

## Metodyka modelowania przestrzennego budowy geologicznej osadowych złóż pokładowych na przykładzie cechszyńskiego złoża soli kamiennej Mechelinki nad Zatoką Pucką

Grzegorz Czapowski\*, Jacek Chelmiński\*, Maciej Tomaszczyk\*, Hanna Tomassi-Morawiec\*



G. Czapowski



J. Chelmiński



M. Tomaszczyk



H. Tomassi-Morawiec

**Methodology of 3D structure modelling of sedimentary stratiform mineral deposits — a case of the Mechelinki Zechstein salt deposit at the Puck Bay.** *Prz. Geol.*, 55: 681–689.

*S u m m a r y . Construction of a data base structure and resulted 3D structure images of sedimentary stratiform deposits was exemplified in a case of rock salt deposit at the Puck Bay (northern Poland). Analysis of 3D models of deposit structure (lithological and facies ones) and distribution models of selected chemical (resource) parameters evidenced a high correlation between the distinguished*

*salt facies types and resource features. The imaged facies and chemical patterns indicated that the middle and western parts of the deposit are the most prospective for future management for both underground salt exploitation and cavern solution (gas/oil storage). Another area for future prospecting and management is located towards NW and NNW from the actual salt deposit area. The presented methodology could be applied to other sedimentary deposits, e.g. raw minerals and lignites, simplifying the resource calculation and projecting their proper and economic management.*

**Key words:** 3D structure modeling, stratiform salt deposit, Zechstein, Puck Bay

Dotychczas opracowywane standardowe modele budowy złóż surowców mineralnych, stanowiące istotę dokumentacji geologicznych poszczególnych złóż i podstawę oszacowania zasobów kopaliny, były wykonywane w sposób klasyczny, tzn. poprzez graficzne przedstawienie: lokalizacji punktów pomiarowych (otworów wiertniczych), map izolinii wybranych parametrów (np. grubości serii złożowej, głębokości jej zalegania, zawartości składnika użytecznego etc.), oraz konstrukcję przekroi geologicznych i blokdiagramów. Otrzymane, przestrzenne modele budowy złoża danej kopaliny były — na podstawie przyjętych dla danego surowca kryteriów bilansowości — dzielone na bloki obliczeniowe do oszacowania zasobów kopaliny. Uzyskane tak żmudną metodą obrazy budowy złoża były statyczne i każdorazowe wprowadzenie jakichkolwiek zmian, wynikających z uzyskania nowych informacji geologicznych, wymagało ponownych przeliczeń i konstrukcji nowych załączników, zwykle w formie aneksu do dokumentacji geologicznej. Ze względu na koszty procedury, aneksowania prowadzono rzadko i zwykle tylko w przypadkach koniecznej aktualizacji dokumentacji.

Możliwość szybkiej aktualizacji obrazu budowy geologicznej złoża, szczególnie złoża eksploatowanego, gdzie informacje geologiczne napływają nieprzerwanie, może zaważyć na prawidłowym określeniu lokalizacji stref pożądanego surowca oraz wskazać na strefy zagrożenia. Przestrzenne modele złoża są niezbędne w metodzie wielariantowego projektowania robót górniczych.

Cyfrowy model złoża — wykonywany dzięki oprogramowaniu *Grass GIS 6.3* ([www.grass.itc.it](http://www.grass.itc.it)) oraz *ParaView* ([www.paraview.org](http://www.paraview.org)) — umożliwi wizualizację budowy

geologicznej poprzez cięcia poziome i pionowe w dowolnych kierunkach, zapewniając szybką weryfikację ich obrazu. Opracowując model cyfrowy, można konstruować sieciowy model struktury złoża oraz oszacować zasoby w jego obrębie. Do tak opracowanego, wirtualnego modelu można wprowadzać nowe parametry geologiczne i surowcowe w miarę pozyskiwania kolejnych danych i dzięki temu płynnie uzyskiwać nowy, zaktualizowany kształt złoża. Model ten umożliwia projektowanie wyrobiska z zachowaniem bezpieczeństwa eksploatacji poprzez utrzymanie wymaganych pól i filarów ochronnych. Uzyskany model cyfrowy jest modelem dynamicznym, kontrolowanym przez zmieniające się w czasie zasoby bazy danych, stąd jego ogromna użyteczność w prowadzeniu wszelkich prac górniczych i rozwojowych.

Do konstruowania modelu 3D złoża surowca wybrano złożo osadowe typu pokładowego, ze względu na jego specyficzne cechy:

— kopalina w złożu osadowym — o ile nie przeszło ono istotnej przebudowy postsedymentacyjnej — jest rozmieszczona zgodnie z rozwojem procesów depozycji w danym środowisku i znajomość modeli tych środowisk pozwala prawidłowo odczytać rozmieszczenie nagromadzeń pożądanego kopaliny;

— stwierdzone w takim złożu dysjunktywne przemieszczenia tektoniczne można stosunkowo łatwo odczytać i przedstawić w modelu cyfrowym;

— zmiany parametrów surowcowych kopaliny w złożu (np. zawartość składnika użytecznego, wartość opałowa, punkt piaskowy itp.) są determinowane głównie przez procesy depozycyjne i powiązane z litofacjami, dlatego dość łatwo można je wizualizować oraz zweryfikować na podstawie poznanych modeli środowiskowych (Rossa i in., 2005).

Do modelowania cyfrowego wybrano złożo osadowe, ponieważ w Polsce ogromne złoża kopaliny o dużym znaczeniu ekonomicznym — eksploatowane i jeszcze niez-

\*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; [grzegorz.czapowski@pgi.gov.pl](mailto:grzegorz.czapowski@pgi.gov.pl); [jacek.chelminski@pgi.gov.pl](mailto:jacek.chelminski@pgi.gov.pl); [maciej.tomaszczyk@pgi.gov.pl](mailto:maciej.tomaszczyk@pgi.gov.pl); [hanna.tomasi-morawiec@pgi.gov.pl](mailto:hanna.tomasi-morawiec@pgi.gov.pl)

gospodarowane — są złożami właśnie tego rodzaju, np. permskie sole kamienne północnej (rejon Zatoki Gdańskiej) i południowo-zachodniej Polski (rejon Lubina-Głogowa), neogenskie węgle brunatne, złoża iłów ceramicznych czy liczne późnoneogeneńskie (plejstocen-holocen) złoża kruszywa naturalnego (piaski i żwiry).

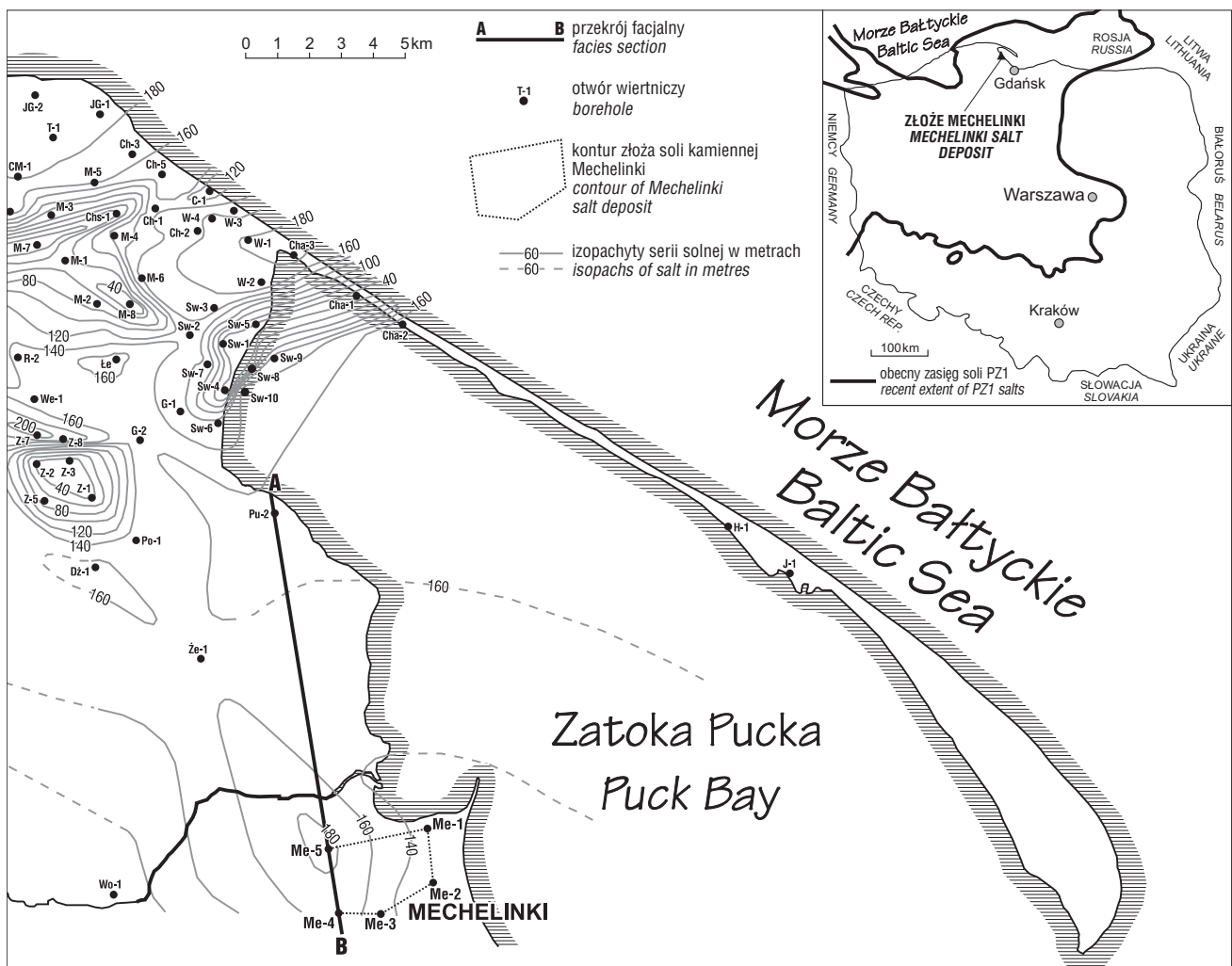
Jako przykładowy obiekt geologiczny do wygenerowania modelu 3D budowy takiego typu złoża wybrano udokumentowane, pokładowe złożo cechsztyńskiej soli kamiennej Mechelinki, zlokalizowane w rejonie Zatoki Puckiej (ryc. 1). Wybór ten był również spowodowany rosnącym ostatnio zainteresowaniem tym złożem jako potencjalnym miejscem budowy strategicznych zbiorników ropy i gazu, w ramach zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego Polski.

### Podstawowe dane geologiczne złoża soli kamiennej Mechelinki

Dotychczas udokumentowano w rejonie Zatoki Gdańskiej 3 złoża soli kamiennej o łącznych zasobach bilansowych rzędu 21 mld ton. Jednym z tych złożów jest złożo Mechelinki na terenie gminy Kosakowo, udokumentowane w kategorii C1. Powierzchnia złoża wynosi ok. 6,4 km<sup>2</sup> i ma kształt zbliżony do pięcioboku o podstawowych wymiarach 3,2 km x 2,0 km. Jego zasoby bilansowe oszacowano na 2,07 mld ton (Werner, 1975). Złożo zlokalizowano 5 otworami wiertniczymi (Mechelinki IG 1 do IG 5; ryc. 1,

tab. 1), przewiercając na głębokości od 946,2 m (otwór Mechelinki IG 1) do 996,1 m (otwór Mechelinki IG 3) pokład soli kamiennej reprezentujący ogniwo najstarszej soli kamiennej (Na1) cyklu PZ1 cechsztynu (np. Czapowski, 1983, 1987). Grubość pokładu zmienia się od 123,6 m (otwór Mechelinki IG 2) do 185,9 m (otwór Mechelinki IG 5), wartość średnia to 152,6 m (Werner, 1975). Spąg złoża soli zalega na głębokości od 1078,0 m (otwór Mechelinki IG 1) do 1150,2 m (otwór Mechelinki IG 3), a przyjęta w obliczeniach zasobów średnia ważona zawartość NaCl wynosi 97,05%, co klasyfikuje surowiec jako sól konsumpcyjną I kategorii.

Pod utworami cechsztynu występują (od spągu) utwory syluru oraz piaskowce i zlepińce czerwonego spągowca, nawiercone najdalej na północ w rejonie Swarzewa, Zdrady i Ostrowa (Werner, 1975). W podłożu pokładu soli występują kolejno od dołu utwory kolejnych ogniwo cyklu PZ1: łupek miedzionośny (T1; 0,8 m), wapień cechsztyński (Ca1; do 10 m) oraz bezpośrednio pod solą — siarczany anhydrytu dolnego (A1d) grubości 47,3–105,9 m. Nadkład soli buduje poziom anhydrytu górnego (A1g) grubości 14,3–18,5 m. Obecne tu utwory cyklu PZ2 i PZ3 cechsztynu są pozbawione soli — są to węglany i siarczany z poziomami iłowców. Ponad utworami permu stwierdzono osady dolnego i środkowego triasu, dolnej i środkowej jury, kredy górnej oraz kenozoiku. W stropie cechsztynu nawierco-



Ryc. 1. Mapa miąższości pokładu najstarszej soli kamiennej (Na1) na obszarze złoża Mechelinki  
Fig. 1. Thickness map of the Oldest Halite (Na1) seam in the Mechelinki deposit area

**Tab. 1. Parametry występowania pokładu najstarszej soli kamiennej (Na1) w złożu Mechelinki (Werner, 1975; uzupełnione)**  
 Table 1. Salt seam parameters of the Oldest Halite (Na1) in the Mechelinki deposit (Werner, 1975; supplemented)

Otwór wiertniczy (symbol) <i>Borehole (symbol)</i>	Głębokość stropu pokładu soli [m] <i>Depth to salt seam top</i>	Głębokość spągu pokładu soli [m] <i>Depth to salt seam bottom</i>	Miaższość pokładu soli [m] <i>Salt seam thickness</i>	Kompleks soli „czystej” (Na1A) strop–spąg/miaższość [m] <i>“Pure” halite unit (Na1A) top-bottom/thickness</i>	Kompleks soli „zailonej” (Na1B) strop–spąg/miaższość [m] <i>“Clayey” halite unit (Na1B) top-bottom/thickness</i>	Anhydryt śródsolny (A1s) strop–spąg/miaższość [m] <i>Intrasalt anhydrite (A1s) top-bottom/thickness</i>
MECHELINKI IG 1 (Me-1)	946,2	1078,8	131,8	993,5–1078,0/84,5	946,2–993,5/43,7	973,8–973,9/0,1 1050,8–1050,95/0,15 (I) 1063,4–1063,6/0,2 (II)
MECHELINKI IG 2 (Me-2)	982,6	1106,2	123,6	1011,9–1106,2/94,3	982,6–1011,9/29,3	1059,8–1060,9/1,1 (I) 1071,8–1078,9/0,1 (II) 1097,8–1097,9/0,1
MECHELINKI IG 3 (Me-3)	996,1	1150,2	154,1	996,1–1150,2/154,1	0	1097,8–1097,9/0,1 (I) 1108,5–1108,6/0,1 (II)
MECHELINKI IG 4 (Me-4)	977,0	1144,7	167,7	977,0–1144,7/167,7	0	1089,0–1089,4/0,4 (I) 1101,1–1101,2/0,1 (II)
MECHELINKI IG 5 (Me-5)	951,9	1145,0	185,9	951,9–1145,0/185,9	0	1092,9–1093,2/0,3 (II)

(I) — górny, korelowany poziom anhydrytu śródsolnego; (II) — dolny, korelowany poziom anhydrytu śródsolnego  
 (I) — upper correlable layer of intrasalt anhydrite, (II) — lower correlable layer of intrasalt anhydrite

no izolowany poziom wodonośny, a na głębokości od 650 m do 900 m występują utwory nieprzepuszczalne (*op. cit.*).

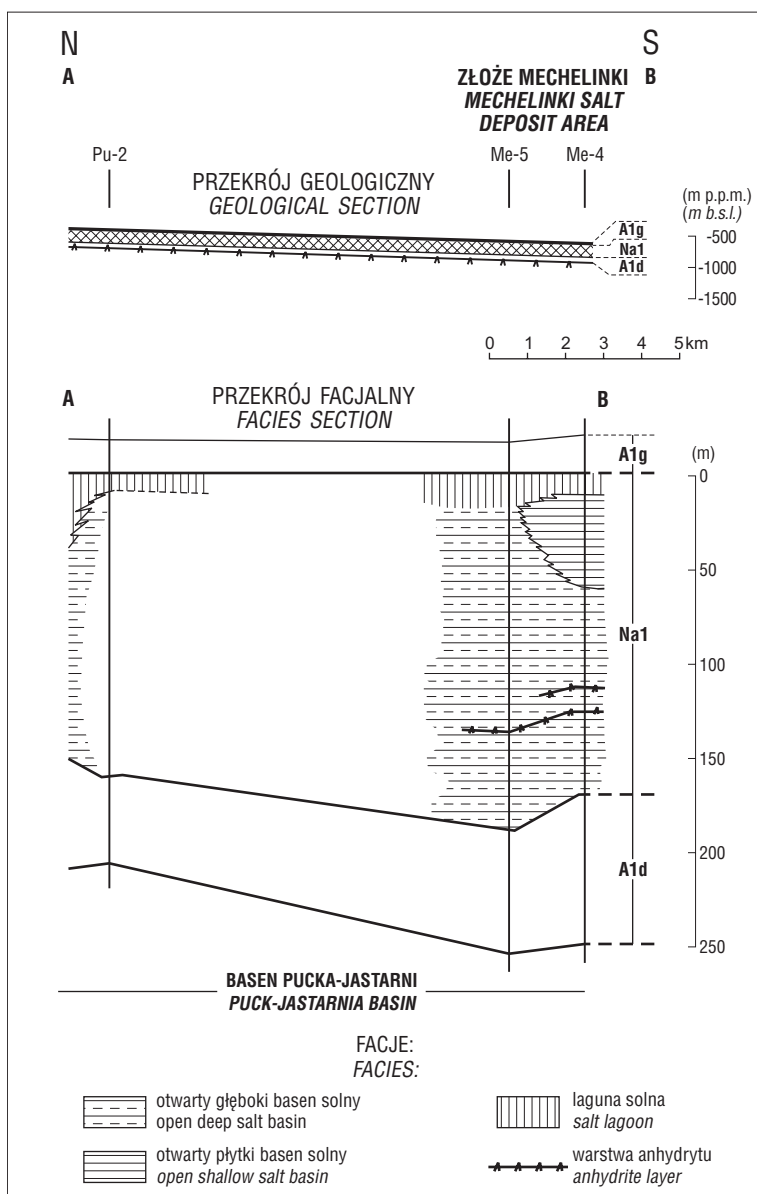
Sól kamienna w złożu Mechelinki przyjmuje — podobnie jak na całym obszarze od Łeby po rejon Trójmiasta (np. Werner 1975, 1978) — formę pokładu nachylonego pod kątem <math><10^{\circ}</math> ku SSE. Wobec braku przejawów istotnej tektoniki postsedymentacyjnej w tym rejonie (np. Peryt i in., 1984, 1985), obserwowane zróżnicowanie miaższości chlorków jest natury sedymentacyjnej, a stwierdzona ścisła odwrotna korelacja pomiędzy miaższościami anhydrytu dolnego i najstarszej soli kamiennej dowodzi „wypełnieniowego” typu sedymentacji soli, gromadzącej się głównie w pierwotnych obniżeniach basenu ewaporatowego cyklu PZ1 (Czapowski, 1983, 1987, 1998; Czapowski & Tomassi-Morawiec, 1985).

Wyniki badań sedymentologiczno-facjalnych (np. Czapowski, 1983, 1987, 1998) pozwoliły wydzielić w profilu utworów solnych 2 główne kompleksy litologiczne w pokładzie najstarszej soli kamiennej (tab. 1). Są to: a) sole „czyste” (Na1A), dominujące w rejonie Mechelinek, zawierające anhydryt i związany z nim polihalit w formie rozproszonej oraz jako laminy i pojedyncze warstwy (grubości 01–1,0 m), ubogie w materiał terygeniczny; oraz b) sole „zanieczyszczone (zailone)” (Na1B), stwierdzone w stropie kompleksu solnego w 2 otworach wiertniczych (Mechelinki IG 1 i IG 2), miaższości 29,3–47,3 m,



**Ryc. 2.** Przekrój facjalny przez pokład najstarszej soli kamiennej (Na1) w obszarze złoża Mechelinki; A1d — utwory anhydrytu dolnego; A1g — utwory anhydrytu górnego

**Fig. 2.** Facies section of the Oldest Halite (Na1) seam in the Mechelinki deposit area; A1d — Lower Anhydrite unit; A1g — Upper Anhydrite unit





cechujące się większą domieszką rozproszonych siarczanów (występuje w nich tylko jedna warstwa anhydrytu, grubości 0,1 m, w otworze Mechelinki IG 1) oraz udziałem substancji ilastej. Udowodniono (*op. cit.*; Tomassi-Morawiec, 1983, 1990, 2003), że oba typy soli: „czysta” i „zanieczyszczona” są odmianami facjalnymi powstałymi z solanek morskich, i sole „zanieczyszczone” reprezentują utwór pierwotny, nie zaś osad krasowy, jak sugerował Poborski (1975, 1980).

Analiza litofacji solnych w profilach z rejonu Mechelinek wykazała następstwo różnych środowisk depozycji chlorkowej (ryc. 2), od facji otwartego, głębokiego basenu solnego w dolnej części formacji solnej, przez osady płytkiego basenu, laguny solnej głębszej i płytszej, aż po fację panwi solnej w stropie. Rekonstrukcje paleofacjalne (Poborski, 1975, 1980; Peryt i in., 1992) pozwoliły ulokować obszar Mechelinek w południowej części ówczesnego basenu solnego Puck–Jastarnia, obramowanego od zachodu i wschodu strefami płycizn siarczanowych Orle–Wejherowo i Gdynia–Gdańsk. Morfologia dna tego basenu została odziedziczona po etapie depozycji znacznej części utworów anhydrytu dolnego (A1d) i determinowała rozmieszczenie wymienionych facji solnych. W wyniku osadzania chlorków obszar basenu ulegał stopniowemu wypełnianiu osadami i początkowe różnice w batymetrii tego zbiornika zaczęły się zacierać. Otwarty basen solny, o swobodnej wymianie solanek ze zbiornikiem cechsztyńskim na obszarze Niżu Polskiego, zamienił się w laguny lub panwie solne, a dominujące dotąd facje głębokowodne zostały stopniowo zastąpione przez utwory bardziej płytkowodne. Największą miąższość osiągnęły chlorki w osi basenu, najmniejszą — na skłonach obramowujących go płycizn siarczanowych.

Eksploatacji złoża Mechelinki, podobnie jak pozostałych złóż soli w rejonie Zatoki Gdańskiej, nie podjęto. Rozpatrywano jedynie możliwość zagospodarowania niektórych obszarów wystąpień soli o maksymalnej miąższości jako zbiorników na paliwa (np. Werner, 1975, 1979) lub bezpiecznych magazynów odpadów promieniotwórczych (np. Czapowski i in., 1988; Ślizowski i in., 2004).

### Metodyka prac nad konstrukcją modelu budowy złoża

Realizację budowy modelu 3D złoża soli kamiennej Mechelinki podzielono na 2 etapy.

Etap I objął następujące prace:

- analiza potrzeb informacyjnych dla realizowanego projektu;
- określenie metodologii projektowania systemu;
- wyбір środowiska tworzenia systemu;
- projekt i wykonanie bazy danych geologicznych;
- wypełnienie bazy danymi archiwalnymi poprzez zebranie i weryfikację danych archiwalnych związanych z budową geologiczną oraz rozkład wskaźników geochemicznych;
- wizualizacja 3D danych archiwalnych.

Podczas realizacji etapu II wykonano kolejne prace:

- obliczenia geostatystyczne w 3D w celu określenia przestrzennego rozkładu wskaźników geochemicznych i litofacji w modelu bryły złoża;
- opracowanie cyfrowego, przestrzennego modelu budowy bryły złoża 3D.

### Konstrukcja bazy danych

Dla potrzeb modelowania określonych elementów budowy złoża soli Mechelinki opracowano bazę danych (Chełmiński i in., 2006) zawierającą wybrane parametry geologiczne i geochemiczne. Wybierając serwer bazy danych, kierowano się następującymi kryteriami:

- system operacyjny: popularność, wsparcie techniczne;
- system zarządzania bazą danych (ang. RDBMS): popularność, stopień znajomości przez użytkowników, zgodność z systemem operacyjnym;
- możliwość rozwoju — np. migracja aplikacji do technologii WEB;
- raportowanie, analityka i statystyki — uzyskanie danych statycznych, możliwość zapytania *ad hoc* i opracowania własnych szablonów, możliwość przekazania danych do innych popularnych narzędzi analitycznych (*MS Excel*) itp.;
- możliwość integracji z innymi systemami, eksport i import, m.in. w formatach ASCII, .txt.

Do budowy bazy danych dla potrzeb modelowania złoża Mechelinki wybrano system relacyjnej bazy danych *MS Access*, pracujący pod kontrolą systemów operacyjnych rodziny *MS Windows* w wersjach 9x, ME, 2000 lub XP.

*MS Access* należy do narzędzi IV generacji, przeznaczonych do tworzenia aplikacji udostępniających klientom bazy danych, które łączą w sobie następujące funkcje:

- programu dla projektanta,
- interakcyjnego narzędzia do operowania danymi,
- interpretera wykonującego gotowe aplikacje.

Wykorzystując cechy serwera bazy danych *MS Access*, jakimi są związki między obiektami (tabelami), podzielono bazę danych dla złoża Mechelinki na następujące moduły, wiążąc je między sobą relacjami:

1. Moduł *Lokalizacja*, w którym są wpisywane informacje, pozwalające:

- zidentyfikować profil (otwór), m.in. nazwę i symbol otworu, jego rodzaj;
- zlokalizować dany profil (otwór), m.in. współrzędne geograficzne, rzędna profilu (otworu), nazwy arkuszy map w skali 1 : 50 000 i 1 : 100 000, dane administracyjne: powiat, gmina i miejscowość;

— zapisać historię wykonania profilu (otworu) i przeprowadzonych w nim badań (rok wykonania, dane wykonawcy i geologa profilującego, obecność i uzysk rdzenia oraz miejsce jego przechowywania, a także informację, gdzie są przechowywane wyniki badań szczegółowych materiału rdzeniowego).

2. Moduł *Wydzielenia* (ryc. 3) pozwala zapisać podstawowe informacje o zaobserwowanej w określonym profilu (otworze) sukcesji głównych wydzieleni skalnych. Informacje te obejmują:

- pozycję wydzielenia w profilu (głębokość stropu, spągu oraz miąższość wydzielenia);
- określenie wieku wydzielenia (w odniesieniu do głównych jednostek chronostratygraficznych, regionalnych i lokalnych jednostek litostratygraficznych, według opracowanych słowników);
- oznaczenie typu litologicznego wydzielenia (według opracowanych słowników);
- przestrzenną orientację granic danego wydzielenia (bieg i upad warstwy).

3. Moduł *Wykształcenie utworów solnych* umożliwia zapisywanie — za pomocą kodów opracowanych i udostępnionych w słownikach — szczegółowych informacji o wykształceniu utworów solnych pokładu najstarszej soli

kamiennej (Na1). Opisując utwory solne użytkownik ma możliwość omówienia mniejszych wydzielen w obrębie danego pokładu soli. Parametrami, za pomocą których można opisać mniejsze wydzielenia, są:

— głębokość stropu i spągu oraz miąższość, a także uzysk rdzenia;

— zawartość NaCl (określona na podstawie wyników analiz próbek soli; podany przedział zawartości w procentach lub średnia) i wynikająca z niej klasyfikacja gatunkowa soli (wg odpowiednich norm).

Moduł *Wykształcenie utworów solnych* umożliwi również określenie cech danego wydzielenia, m.in.:

— stwierdzenie zjawisk tektonicznych (odpowiednich struktur tektonicznych) i deformacyjnych (określonych kodami wg słowników), kątów biegu i upadu tych struktur, np. uskoków, ciosu;

— określenie typu litologicznego skały, np. sól, anhydryt czy brekcja (kody wg słowników);

— określenie typu litofacjalnego (kody wg słowników);

— określenie cech strukturalnych soli, np. ziarnistości (kody wg słowników);

— określenie rodzaju zarejestrowanych struktur sedimentacyjnych (kody wg słowników);

**Wyszukaj otwór** Mechelinki IG-2

**Nazwa otworu** Mechelinki IG-2

**Mapa 1:50** GDYNIA **Gmina** **Wys.n.p.m.:** 9,40

**Mapa 1:200** GDAŃSK **Miejscowość** Mosty **Rok zak. wiercenia** 1975

**Głębokość otworu** 1250

**Szerokość geograficzna - X**

Stopnie 54  
Minuty 36  
Sekundy 50  
Współ.prost. 468257,183264  
Pas 30

**Długość geograficzna - Y**

Stopnie 18  
Minuty 30  
Sekundy 30  
Współ.prost. 750124,054518  
Słup 27

**Wykonawca otworu** Państwowy Instytut Geologiczny

**Czy rdzeniowano?**

**Geolog profilujący** J.Dębski

**Miejsce przechowywania rdzenia** Leszcze/Kłodawy

**Miejsce przechowywania analiz** PIG Warszawa

**Otwory dla wydzielen**

**Nazwa otworu** Mechelinki IG-2

**Wydzielenia w otworze**

Strop	Spąg	Miąższość	Chronostrat.	Litostratyg.	Litostrat lokalna	Litologia	Azymut	Upad
965,00	980,00	15,00	Pz	A1g		An	0	-90
980,00	1 104,00	124,00	Pz	Na1		Na	0	-90
1 104,00	1 208,50	104,50	Pz	A1d		An	0	-90

Rekord: 10 z 14

Ryc. 3. Okno opracowanej aplikacji LEBA.MDB, przeznaczonej do rejestracji i przechowywania danych lokalizacyjnych oraz innych informacji o określonym profilu (otworze) sukcesji głównych wydzielen skalnych na obszarze złoża Mechelinki

Ryc. 3. The LEBA.MDB application window constructed for data entering and storage referred to all geological divisions within the sections from the Mechelinki salt deposit area



— określenie rodzaju zarejestrowanych struktur post-sedymentacyjnych (kody wg słowników);

— określenie typu petrograficzno-mineralnego skały, na podstawie rodzaju i sposobu występowania głównych jej składników mineralnych (kody wg słowników).

Ponadto w polu *Informacje dodatkowe* są wpisywane takie cechy, jak: barwa soli, jej przezroczystość, sposób występowania, miąższość nadkładu i warstwy podścielającej sole oraz dane nie ujęte w tabelach słownikowych.

4. Moduł *Hydrogeologia* umożliwia zapisywanie informacji szczegółowych o zjawiskach hydrogeologicznych, zaobserwowanych w danym profilu (otworze) w złożu, oraz o składzie chemicznym wód, oznaczonym w pobranych próbkach.

5. Moduł *Skład mineralny* umożliwia zapisywanie informacji (za pomocą kodów według słowników tematycznych) o składzie mineralnym badanych skał.

6. Moduł *Geochemia* umożliwia zapisywanie informacji o składzie geochemicznym badanych skał.

7. Moduł *Badania gazowe* umożliwia zapisywanie informacji o składzie geochemicznym próbek gazów, których występowanie zarejestrowano w danym profilu (otworze) w złożu.

8. Moduł *Właściwości skał* umożliwia zapisywanie informacji o właściwościach fizyko-mechanicznych skał solnych, uzyskanych dzięki badaniom próbek z określonych wydzieli w obrębie pokładu soli kamiennej, zarejestrowanych w danym profilu (otworze) w złożu.

Przedstawioną strukturę bazy wypełniono informacjami z materiałów archiwalnych, określającymi sposób występowania, wykształcenie oraz skład chemiczny pokładu najstarszej soli kamiennej w złożu Mechelinki oraz utworów jego bezpośredniego podłoża i nadkładu. Tak skonstruowana baza danych posłużyła do wykreowania modeli 3D rozmieszczenia ciał skalnych w omawianym złożu, charakteryzujących się określonymi parametrami.

### Modele 3D budowy złoża Mechelinki

Na podstawie danych z wierzeń oraz częściowo na podstawie analogowych interpretacji kształtu spągu i stropu pokładu soli zostały wygenerowane powierzchnie graniczne wydzieli geologicznych oraz facji. Powierzchnie te posłużyły do konstrukcji brył 3D, będących wirtualną, przestrzenną prezentacją ciała skalnego. Każda powierzchnia graniczna została wygenerowana z wykorzystaniem danych ze wszystkich 5 otworów wiertniczych wykonanych w złożu. Ze względu na niewielką ilość danych została użyta metoda interpolacji *rst* (ang. *regularized spline with tension* — Mitasova & Mitas, 1993). Metoda ta jest często stosowana do konstruowania modeli 2D i 3D, gdyż doskonale sprawdza się zarówno w przypadku małej, jak i bardzo dużej ilości danych. Dodatkowym jej atutem jest kontrola nad wszystkimi parametrami algorytmu, co pozwala zmniejszyć wartość błędu generowanego podczas interpolacji.

Opracowany model 3D budowy złoża Mechelinki zawiera następujące elementy (ryc. 4):

a) bryłę pokładu najstarszej soli kamiennej (Na1), jej nadkładu (A1g) i utworów podścielających (A1d);

b) przewarstwienia anhydrytu śródsolnego (A1s);

c) wydzielenia kompleksów soli „czystej” (Na1A) i „zailonej” (Na1B) — w otworach Me-1 i Me-2.

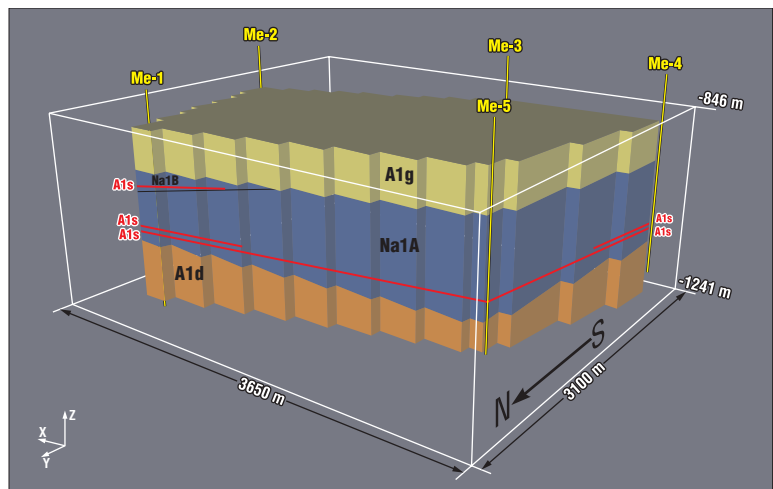
Uszczegółowienie budowy wewnętrznej pokładu soli prezentuje kolejny model 3D (ryc. 5), który zawiera także 3 zgeneralizowane typy facjalne, odpowiadające różnym środowiskom depozycji chlorków (Czapowski, 1998):

a) otwartego, głębokiego basenu solnego (GB);

b) otwartego, płytkiego basenu solnego (PB);

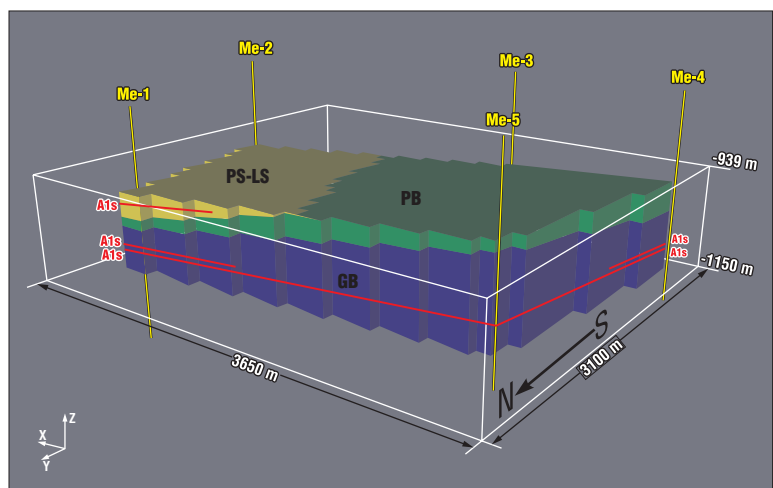
c) laguny solnej i panwi solnej (PS-LS).

Zaprezentowane modele ilustrują niemal horzontalne zaleganie pokładu soli kamiennej, o większych deniwela-



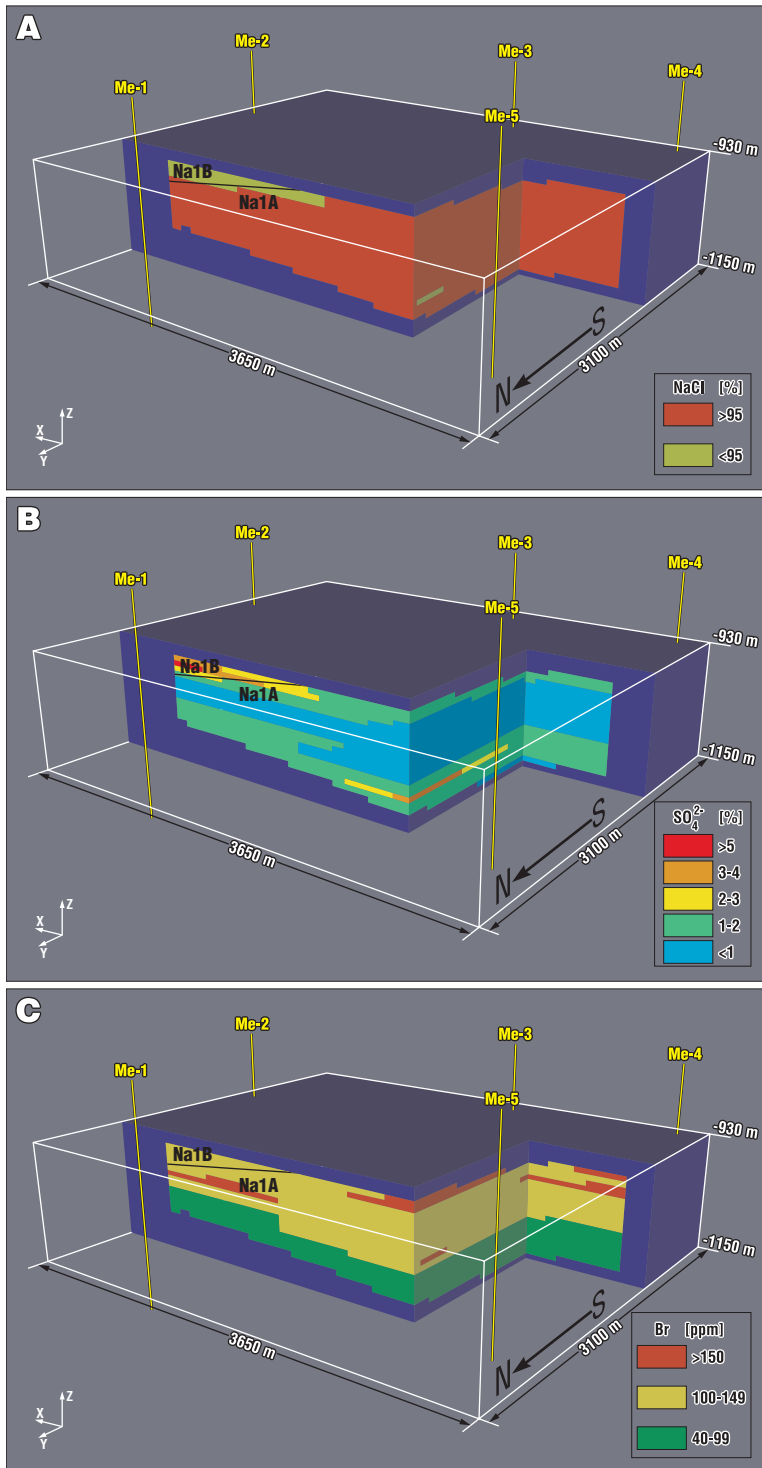
**Ryc. 4.** Geologiczny model 3D złoża Mechelinki; A1g — anhydryt górny; A1d — anhydryt dolny; Na1 — najstarsza sól kamienna; Na1A — kompleks soli „czystej”; Na1B — kompleks soli „zailonej”; A1s — anhydryt śródsolny; Me-1 — otwór Mechelinki IG 1

**Fig. 4.** A 3D geological model of the Mechelinki salt deposit; Na1A — “pure halite” complex; Na1B — “clayey halite” complex; A1s — intrasalt anhydrite; Me-1 — Mechelinki IG 1 borehole



**Ryc. 5.** Model 3D rozprzestrzenienia facji w obrębie pokładu soli w złożu Mechelinki; GB — facja otwartego, głębokiego basenu solnego, PB — facja otwartego, płytkiego basenu solnego, PS-LS — facja laguny lub panwi solnej. Pozostałe objaśnienia jak do ryc. 4

**Fig. 5.** A 3D model of facies distribution within the Mechelinki salt deposit. Facies: GB — open deep salt basin, PB — open shallow salt basin, PS-LS — salt lagoon and pan. For other explanations see Fig. 4



**Ryc. 6.** Przekroje przez modele 3D przestrzennego rozprzestrzenienia składników chemicznych w pokładzie soli złoża Mechelinki. A — zawartość NaCl; B — zawartość  $\text{SO}_4^{2-}$ ; C — zawartość Br. Objasnienia jak do ryc. 4

**Fig. 6.** Sections across a 3D model of spatial distribution of geochemical components within the salt seam of the Mechelinki salt deposit. Contents of: NaCl (A),  $\text{SO}_4^{2-}$  (B), Br (C). For explanations see Fig. 4

cyjach spągu niż stropu. Wydzielony kompleks soli „zailonej” (Na1B), grubości do 43,7 m, występuje tylko w 2 otworach wiertniczych w północno-wschodniej i wschodniej części obszaru złoża w stropowej części pokładu i wyklinowuje się ku zachodowi, przechodząc w kompleks soli „czystej” (Na1A). Przewarstwienia anhydrytu śródsolnego (A1s) występują głównie w obrębie kompleksu soli

„czystej” (ryc. 4). Tworzą w nim 2–3 poziomy, grubości od 0,1 m do maksimum 1,1 m. Pojedyncza, cienka (0,1 m) warstwa anhydrytu występuje również w kompleksie soli „zailonej”. Zasięg jej występowania jest jednak ograniczony do rejonu otworu Mechelinki IG 1. Rejestruje zatem jedynie chwilową fazę rozcieńczenia solanek w środowisku płytkowodnym, dominującym w momencie powstawania kompleksu (ryc. 5). Pozostałe warstwy anhydrytu lokują się w niższej części profilu kompleksu soli „czystej”. Dwie wyższe z nich można korelować na znacznym obszarze złoża (otwory od Me-1 do Me-3; tab. 1). Odzwierciedlają one regionalną wymianę solanek w całym basenie solnym. Dolnej z tych dwu warstw odpowiada zapewne pojedyncza warstwa anhydrytu zarejestrowana na podobnej wysokości ponad spągiem pokładu soli w otworze Mechelinki IG 5 (tab. 1, ryc. 4), położonym na południu, w kierunku otwartego basenu solnego cechsztynu na Niżu Polskim. Stwierdzona najniżej w profilu soli (ok. 8 m ponad spągiem) cienka warstwa anhydrytu w otworze Mechelinki IG 2 (tab. 1) odnotowuje zapewne jedynie w tej strefie, bliskiej położonej na wschód płyciznie siarczanowej (Czapowski, 1998), etap rozcieńczenia solanek i osadzania siarczanów. W położonych na zachodzie głębszych partiach zbiornika etap ten nie wpłynął na stężenie przydennych solanek chlorkowych i nie osadziły się w nich utwory siarczanowe.

Model facjalny bryły złoża soli (ryc. 5) ilustruje przynależność większości pokładu — szczególnie w zachodniej części obszaru udokumentowanego — do facji otwartego, głębokiego basenu solnego, o monotonnym jednorodnym wykształceniu soli kamiennej (Czapowski, 1987, 1998). Utwory facji bardziej płytkowodnej, o nieco większej zmienności wykształcenia soli, pojawiają się na tym obszarze jedynie w stropowej części pokładu i są zastępowane obocznie i pionowo ku wschodowi (otwory Me-1 i Me-2) przez najbardziej zróżnicowane osady facji laguny i panwi solnej (ich zasięgowi odpowiada występowanie kompleksu soli „zailonej” [Na1B]).

Dane z analiz chemicznych rdzeni wiertniczych oraz wcześniej uzyskane bryły 3D złoża zostały wykorzystane do konstrukcji przestrzennych modeli geochemiczno-surowcowych (ryc. 6A–C), z wykorzystaniem metody rst. Modele te ukazują przestrzenny rozkład udziału określonych składników chemicznych w złożu pokładowym. Rozdzielczość poziomą modeli ustalono — podobnie jak w modelach litologicznym i facjalnym (ryc. 4 i 5) — na 50 m, pionową zaś na 5 m (pojedyncza komórka modelu ma postać prostopadłościanu o wymiarach 50 m x 50 m x 5 m).

W celu zilustrowania zmienności chemicznej złoża spośród wielu badanych w materiale rdzeniowym składników skały (Werner, 1975) wybrano 3 elementy, istotne dla:

a) określenia kategorii surowcowej skały wg odpowiednich norm — zawartość czystego chlorku sodu (ryc. 6A);

b) oceny podatności soli na ługowanie, czyli zawartości siarczanów (jako jonu  $\text{SO}_4^{2-}$ ; ryc. 6B) — im jest ona mniejsza, tym lepsze jest ługowanie soli i mniej pozostaje residuum; zawartość ta pozostaje zwykle w odwrotnej zależności do udziału NaCl;

c) określenia środowiska powstania skały solnej (w tym: określenia możliwości występowania zjawisk reprecypitacji i powstania krasu solnego, co ma wpływ na podatność soli na ługowanie) — zawartość bromu (ryc. 6C).

Istotny dla procesu ługowania soli udział w niej terygenicznego materiału nierozpuszczalnego w wodzie został pominięty, gdyż jego zawartość nieco tylko wyższa od 4% ogranicza się do kompleksu soli „zailonej” (Na1B), występującego podrzędnie na obszarze złoża.

W modelu udziału chlorku sodu (ryc. 6A) przyjęto dla uproszczenia wizualizacji wydzieleń w bryle złoża 2 przedziały zawartości: > 95% wag. (odpowiada on obu kategoriom soli jadalnej wg normy PN-66G-92008) oraz < 95% wag. (obejmuje głównie sól drogową i odpadową). Przewaga w budowie złoża soli kamiennej wysokiej jakości soli (jadalnej) jest uderzająca, jest ona podstawowym składnikiem kompleksu soli „czystej” (Na1A) i obu facji otwartego basenu solnego. Sól o gorszych parametrach (drogowa i odpadowa) dominuje w kompleksie soli „zailonej” (Na1B) i facji laguny-panwi solnej oraz podrzędnie pojawia się w stropie kompleksu soli „czystej” w facji płytkiego basenu solnego.

Odwrotnie przedstawia się rozmieszczenie zawartości siarczanów (głównie anhydrytu, podrzędnie — polihalitu; *vide* Czapowski, 1998). Ustalono 5 przedziałów udziału jonu siarczanowego (ryc. 6B) w celu dokładniejszego zobrazenia rozmieszczenia w złożu tego niepożądanego podczas pozyskiwania soli jako surowca i ługowania składnika. Przedziały te to: < 1% wag., 1–2%, 2–3%, 3–4%, 4–5% i > 5%. Najwięcej siarczanów w formie rozproszonej i przewarstwień (od 3 do >5% wag.) występuje w kompleksie soli „zailonej” (Na1B) i litofacji laguny-panwi solnej oraz w dolnej części kompleksu soli „czystej” (litofacja otwartego, głębokiego basenu solnego), gdzie odpowiadają strefie pojawienia się miąższych przewarstwień anhydrytu. Mniej siarczanów (1–2%) zarejestrowano w stropie kompleksu soli „czystej” (Na1A), w litofacji płytkiego basenu solnego, oraz w środku tego kompleksu w rejonie otworu Me-1 (dwa przewarstwienia anhydrytowe). Kompleks ten cechuje bardzo mały udział siarczanów w profilu.

Bardzo niska zawartość bromu w halicie (< 40 ppm) jest cechą zarówno soli osadzonych w warunkach kontynentalnych, jak i reprecypitatów solnych (w tym utworów krasowych; *vide* Tomassi-Morawiec, 2003, z literaturą). Tak małego udziału bromu w pokładzie soli w złożu Mechelinki (ryc. 6C) nie odnotowano, co dowodzi pierwotnie morskiego pochodzenia soli i braku produktów jej istotnego recyklingu oraz zjawisk krasowych. Obecność zjawisk krasowych mogłaby wpływać — poprzez występowanie stref zabliznionego krasu z gniazdami soli wielokryształicznej — na kształt ługowanych kawern. Zarejestrowana stosunkowo mała zawartość bromu (40–99 ppm) w dolnej części kompleksu soli „czystej” (Na1A), reprezentującej fację głębokiego basenu solnego, jest typowa dla pierwszych chlorków basenowych strąconych z solanek morskich (Tomassi-Morawiec, 1990, 2003). Większy udział bromu (>100 ppm), zaobserwowany w wyższej części tego kompleksu oraz w całym kompleksie soli „zailonej” (Na1B; ryc. 6C), wiąże się ze stopniowym wzrostem stężenia pierwotnych solanek, głównie w wyniku powolnego

spłylenia zbiornika — przejścia od facji głębokiego do płytkiego basenu solnego oraz laguny-panwi solnej.

### Praktyczne aspekty analizy modeli 3D budowy złoża

Przestrzenna wizualizacja w postaci modeli 3D wzajemnych powiązań różnych parametrów (głębokości występowania, miąższości) i cech (np. litologii, składu chemicznego, facji, właściwości fizyko mechanicznych) skał budujących pokładowe złoża surowców mineralnych ułatwia zarówno udokumentowanie jego zasobów (szybkie kreowanie brył o zadanych wartościach parametrów surowcowych), jak i określanie partii złoża najbardziej optymalnych dla wybranej formy zagospodarowania.

Kompleksowa analiza przedstawionych, wybranych modeli 3D budowy złoża soli kamiennej Mechelinki, pomimo zamierzonego uproszczenia, pozwala ocenić przydatność złoża do zagospodarowania i określić jego partie o najlepszych parametrach. Niemal cały pokład soli kamiennej w złożu zawiera sól wysokiej jakości, o małym udziale części nierozpuszczalnych. Nie występują w nim formy krasowe ani inne zjawiska stwarzające istotne problemy z projektowaniem i wykonaniem wyrobisk. Zagospodarowanie złoża — czy to wyłącznie w celu pozyskiwania soli, czy też do wykonania podziemnych zbiorników magazynowych z jednoczesnym pozyskaniem soli z otrzymanych solanek — należy prowadzić w jego środkowej i zachodniej części, na zachód od linii otworów Me-1 i Me-2 (ryc. 1). W rejonie tym pokład buduje kompleks soli „czystej” (Na1A) o najlepszych parametrach surowcowych i największej grubości, a więc stwarzający najbardziej dogodne warunki do budowy licznych wyrobisk. Można tu określić przebieg w obrębie dolnej części pokładu soli jednego korelowanego poziomu anhydrytu śródsolnego, co znakomicie upraszcza projektowanie lokalizacji i kształtu wyrobisk. W świetle danych regionalnych (ryc. 1, 2) podobnych cech pokładu soli należy oczekiwać na NW i NNW od obszaru udokumentowanego złoża. Mniej korzystne warunki — mniejsze miąższości, obecność w górnej części pokładu kompleksu soli „zailonej” (Na1B), o mniej korzystnych parametrach surowcowych, oraz częstsze przewarstwienia anhydrytu — oferuje wschodnia część złoża (rejon otworów Me-1 i Me-2), odpowiadająca szybciej spływającej się części zbiornika solnego. Podobnych i zapewne pogarszających się cech pokładu soli należy oczekiwać w rejonach położonych bezpośrednio na E i S od udokumentowanego obszaru złoża.

Dla przyszłych prac projektowych nad zagospodarowaniem złoża Mechelinki przydatne będzie wykreowanie bardziej szczegółowych modeli (Tomaszczyk i in., 2007) rozmieszczenia wszystkich pomierzonych parametrów chemicznych, wskaźników techniczno-inżynierskich skał solnych i pewnych elementów strukturalnych, np. stopnia krystaliczności soli oraz obecności i intensywności spekań. Warto zaznaczyć, że ustalenie przestrzennego rozmieszczenia i stopnia zaangażowania tektonicznego skały solnej, stwierdzonego w utworach najstarszej soli kamiennej w rejonie Zatoki Puckiej (Czapowski, 1998), może mieć istotne znaczenie dla oceny zagrożenia projektowanych wyrobisk (szybsze urabianie spekań skały zniekształca planowany kształt wyrobiska, następuje też szybsze zaciskanie spekanego górotworu). Kompleksowa analiza takich modeli, o różnym, zależnie od potrzeb, stopniu rozdzielczości (przedziału wartości danego parametru), pozwoli wskazać partie złoża o najbardziej korzystnych właściwościach dla wybranej formy eksploatacji. Rola takich analiz



jest nie do przecenienia w świetle ostatnich planów wykorzystania złoża soli Mechelinki do budowy podziemnego, kawernowego magazynu węglowodorów w regionie gdańskim.

### Wnioski

Przedstawiona analiza wykreowanych modeli 3D budowy złoża pokładowego soli kamiennej Mechelinki dowodzi przydatności takiej metody wizualizacji do projektowania zagospodarowania złoża. Nawet uproszczone modele 3D wybranych parametrów złoża ułatwiają wskazanie obszarów o optymalnych cechach dla przyszłej eksploatacji, bardziej szczegółowe zaś — dokładną lokalizację części złoża o najkorzystniejszych właściwościach geologiczno-surowcowych. W złożu Mechelinki jest to środkowa i zachodnia część udokumentowanego złoża, w której dominuje sól kamienna o najlepszych parametrach surowcowych i największej grubości. Podobnie korzystnych warunków można oczekiwać na obszarze położonym na NW i NNW od konturu złoża i tam należy prowadzić dalsze prace badawcze.

Opisane modele posłużyły też udokumentowaniu dużej zależności pomiędzy facjami (wydzieleniami genetycznymi), wyróżnionymi w utworach solnych, a właściwościami surowcowymi, co potwierdza przydatność metod analizy sedymentologicznej i facjalnej w dokumentowaniu zasobów złóż osadowych. Znajomość układu facjalnego w pokładzie kopaliny oraz całej badanej formacji umożliwia wyznaczenie obszarów występowania kopaliny o optymalnych parametrach surowcowych.

Operacje matematyczne na skonstruowanych modelach 3D pozwalają obliczyć oraz analizować rozmaite ilościowe i jakościowe parametry danej kopaliny w złożu, np. objętość ciała solnego czy zawartość różnych składników geochemicznych w poszczególnych partiach złoża. Możliwe jest też uwzględnienie w modelach elementów tektoniki postdepozycyjnej i efektów epigenetycznej przebudowy, np. krasu i erozji. Pozwala to na wydzielenie w złożu brył o najlepszych parametrach (w zależności od przyjętych kryteriów), oszacowanie ich zasobów, a w konsekwencji — umożliwiania racjonalne planowanie zagospodarowania złoża oraz wytypowanie stref o optymalnych właściwościach.

Zaprezentowana metoda wizualizacji budowy złóż osadowych i oferowane przez nią możliwości interpretacyjne mogą znaleźć szerokie zastosowanie w dokumentowaniu i planach zagospodarowania pokładowych złóż innych kopaliny, np. surowców skalnych (surowców ilastych i okrucowych oraz węglanowych) czy złóż węgla brunatnego, gdzie głównym czynnikiem rządzącym cechami skały jest pierwotny rozkład facji, a późniejsza przebudowa jest stosunkowo niewielka. Prace nad konstrukcją baz danych i kreowaniem modeli wybranych złóż innych surowców są prowadzone w Państwowym Instytucie Geologicznym przez zespół autorski we współpracy ze specjalistami w danej grupie kopaliny.

W niniejszej publikacji wykorzystano wyniki prac nad konstrukcją baz danych do kreowania modeli 3D budowy pokładowych złóż soli (temat nr 6.62.0001.00.0), finansowanych ze środków przeznaczonych przez Ministerstwo Nauki i Edukacji na działalność statutową Państwowego Instytutu Geologicznego. Autorzy serdecznie dziękują dr Ewie Szyrakurk z Państwowego

Instytutu Geologicznego i dr Stanisławowi Burlidze z Uniwersytetu Wrocławskiego za cenne uwagi i wnikliwą recenzję pracy.

### Literatura

- 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: 311.
- CZAPOWSKI G. 1983 — Zagadnienia sedymentacji soli kamiennej cyklotemu PZ1 na wschodnim skłonie wyniesienia Łeby. *Prz. Geol.*, 31: 278–294.
- CZAPOWSKI G. 1987 — Sedimentary facies in the Oldest Rock Salt (NaI) of the Łeba elevation (northern Poland). *Lecture Notes of Earth Sciences*, Springer Verlag, 10: 207–224.
- CZAPOWSKI G. 1998 — Geneza najstarszej soli kamiennej cechsztyńsku w rejonie Zatoki Puckiej (Studium sedymentologiczne). *CAG Państw. Inst. Geol.*, nr arch. 696/99.
- CZAPOWSKI G., PERYT T.M. & TARKA R. 1988 — Opracowanie warunków geologicznych na obszarze przyszłej ewentualnej kopalni soli kamiennej w rejonie Mieroszyna i wytypowanie obszaru korzystnego z geologicznego punktu widzenia dla potrzeb składowania odpadów radioaktywnych. *Arch. Geol. Gosp. Państw. Inst. Geol.*
- CZAPOWSKI G. & TOMASSI-MORAWIEC H. 1985 — Sedymentacja i geochemia najstarszej soli kamiennej w rejonie Zatoki Puckiej. *Prz. Geol.*, 33: 663–670.
- MIATASOVA H. & MITAS L. 1993 — Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and implementation. *Mathematical Geology*, 25: 641–655.
- PERYT T.M., CZAPOWSKI G., DĘBSKI J., GAŚIEWICZ A., HERBICH E. & PIZON A. 1984 — Poszukiwania złóż soli cechsztyńskich i polihality na wyniesieniu Łeby. Część I. Analiza geologicznych warunków występowania i genezy polihality i soli cechsztyńskich na wyniesieniu Łeby. *Arch. Geol. Gosp. Państw. Inst. Geol.*
- PERYT T.M., CZAPOWSKI G., DĘBSKI J. & PIZON A. 1985 — Model sedymentacji ewaporatów cechsztyńskich na wyniesieniu Łeby. *Prz. Geol.*, 33: 204–211.
- PERYT T.M., CZAPOWSKI G. & GAŚIEWICZ A. 1992 — Facje i paleogeografia cechsztyńsku zachodniej części syneklizy perybałtyckiej. *Prz. Geol.*, 40: 223–233.
- POBORSKI J. 1975 — O halogenicznych zjawiskach krasowych w permie górnym na wyniesieniu Łeby. *Prz. Geol.*, 23: 325–328.
- POBORSKI J. 1980 — Discontinuity in Upper Permian (Zechstein), Succession of Evaporites in Eastern Pomerania, Poland. 5<sup>th</sup> Symp. on Salt, the North. Ohio Geol. Society, Cleveland, 2: 153–157.
- 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. *Tech. Poszuk. Geol.*, 44: 94–96.
- TOMASSI H. 1983 — Rozkład bromu w najstarszej soli kamiennej w wybranych otworach wiertniczych na wyniesieniu Łeby. *Prz. Geol.*, 31: 284–289.
- TOMASSI-MORAWIEC H. 1990 — Geochemia bromu w utworach najstarszej soli kamiennej w rejonie Zatoki Puckiej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 364: 31–59.
- TOMASSI-MORAWIEC H. 2003 — Charakterystyka geochemiczna najstarszej soli kamiennej (NaI) w rejonie Zatoki Puckiej. *Prz. Geol.*, 51: 693–702.
- TOMASZCZK M., CZAPOWSKI G. & TOMASSI-MORAWIEC H. 2007 — Model 3D różnicowania geologiczno-geochemicznego pokładowego złoża cechsztyńskiej soli kamiennej w rejonie Zatoki Gdańskiej jako podstawa koncepcji zagospodarowania złoża. *Abstrakty, XI Międz. Symp. Solne QUO VADIS SAL, Szklarska Poręba 2006. Gosp. Sur. Miner.*, 23 (1): 196–198.
- ŚLIZOWSKI K., KÖHSLING J. & LANKOF L. 2004 — Uwarunkowania podziemnego składowania odpadów niebezpiecznych w Polsce. *Studia, Rozprawy, Monografie*. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 129: 264.
- WERNER Z. 1975 — Dokumentacja geologiczna złoża soli kamiennej „Mechelinki”, kat. C1, woj. Gdańsk. *CAG Państw. Inst. Geol.*, nr arch. 11637.
- WERNER Z. (red.) 1978 — Dokumentacja geologiczna złoża soli kamiennej w kat. C1 w rejonie Zatoki Puckiej. *CAG Państw. Inst. Geol.*, nr arch. 13050.

Praca wpłynęła do redakcji 09.03.2007 r.  
Akceptowano do druku 11.06.2007 r.