

## Wykształcenie i tektonika utworów solnych cechsztynu w wysadzie solnym Góra koło Inowrocławia w świetle wyników kompleksowych badań geochemiczno-litologicznych w profilach wybranych otworów wiertniczych

Grzegorz Czapowski<sup>1</sup>, Hanna Tomassi-Morawiec<sup>1</sup>, Joanna Tadych<sup>2</sup>,  
Łukasz Grzybowski<sup>2</sup>, Tadeusz Szyrak<sup>1</sup>



G. Czapowski



H. Tomassi-  
-Morawiec



J. Tadych



Ł. Grzybowski



T. Szyrak

**Characteristics and tectonics of Zechstein salt rocks of the Góra salt diapir near Inowrocław on the basis of geochemical-lithological study of selected borehole sections.** *Prz. Geol.*, vol. 57: 494–503.

*Abstract.* Detailed macroscopic profiling of salt cores from selected wells drilled in the Góra salt diapir (central Poland; Fig. 1, 2) and analyses of bromine content made it possible to define and characterize lithostratigraphic units of the Zechstein (Upper Permian) succession (Fig. 3, 4). Interpretation of relations between the units identified in the studied well sections allowed the first schematic reconstruction of internal structure of top part of the salt trunk (Fig. 5). The principal idea of this reconstruction is probable origin of the Góra diapir as a salt trunk with a recumbent fold at the top (Fig. 6A). Subsequent uplift of the diapir and erosion resulted in removal of significant part of younger salt deposits so only those squeezed into the salt trunk interior escaped the erosion (Fig. 6B). Models of internal structure of salt diapirs are of remarkable practical value as they facilitate proper location of the mining works (e.g. leaching wells, galleries, chambers and caverns) and prediction of possible gas and water hazards.

**Key words:** salt deposits, tectonics, Zechstein

Interpretacja budowy wewnętrznej wysadów solnych, zwykle wyjątkowo skomplikowanej, opiera się na rozpoznaniu wiertniczym, a w przypadku budowy kopalni podziemnej na rozpoznaniu struktury odsłaniającej się w podziemnych wyrobiskach górniczych. W Polsce dobrymi przykładami wysadów o dość dobrze poznanej budowie wewnętrznej są struktury Kłodawa (czynna kopalnia podziemna) oraz Inowrocław (kopalnia zlikwidowana). Głębokość rozpoznania jest warunkowana głębokością wykonanych wyrobisk i nie przekracza 800 m. Interpretacja budowy wewnętrznej pozostałych wysadów solnych, w obrębie których udokumentowano złoża soli, np. Damasławek, Lubień, Łanięta czy Rogoźno, lub prowadzono ich eksploatację metodą otworową, np. Góra czy Mogilno, jest nadal bardzo powierzchowna, choć często dane pozyskane podczas zagospodarowania złoża mogą posłużyć do konstruowania bardziej szczegółowych modeli.

W 2008 r. Państwowy Instytut Geologiczny wykonał na zlecenie Inowrocławskich Kopalni Soli *Solino* S.A. badania geochemiczne i profilowanie wykształcenia utworów solnych cechsztynu w profilach otworów wiertniczych

G-34, G-39 i G-16, zlokalizowanych na wysadzie Góra — ryc. 1 (Tomassi-Morawiec i in., 2008). Wyniki tych badań pozwoliły uściślić litostratygrafię i sukcesję osadów solnych w tych profilach w interwale głębokości 200–1750 m. Dzięki wnioskowi z przeprowadzonych badań możliwe było zdefiniowanie wydzieleni stratygraficznych także w profilu otworu G-28, położonym pomiędzy otworami G-34 i G-39, i w konsekwencji — wykonanie po raz pierwszy interpretacji budowy wewnętrznej fragmentu wysadu Góra w strefie rozpoznanej tymi otworami.

Celem niniejszej pracy jest ukazanie geologom górniczym możliwości interpretacyjnych, jakie do odtworzenia budowy wewnętrznej wysadów solnych dają kompleksowe badania materiałów rdzeniowych utworów solnych, szczególnie z pełnordzeniowanych otworów wiertniczych. Należy jednak podkreślić, że na tym etapie prac, wobec braku większej liczby porównywalnych danych geologicznych, możliwa była jedynie wstępna interpretacja budowy wewnętrznej fragmentu wysadu Góra. Opracowanie modelu budowy całego wysadu i odtworzenie etapów jego ewolucji będzie możliwe dopiero po wykonaniu podobnych prac na podstawie zachowanych materiałów wiertniczych i archiwalnych, znajdujących się w posiadaniu Inowrocławskich Kopalni Soli *Solino* S.A. Wiedza o budowie wewnętrznej choć części zagospodarowywanego wysadu ma kluczowe znaczenie dla projektowania lokalizacji i kształtu wyrobisk górniczych, np. kawern solnych.

<sup>1</sup>Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; hanna.tomassi-morawiec@pgi.gov.pl; grzegorz.czapowski@pgi.gov.pl, tadeusz.szyrak@pgi.gov.pl

<sup>2</sup>Inowrocławskie Kopalnie Soli *Solino* S.A., ul. Św. Ducha 26a, 88-100 Inowrocław; asia.tadych@solino.pl, lukasz.grzybowski@solino.pl

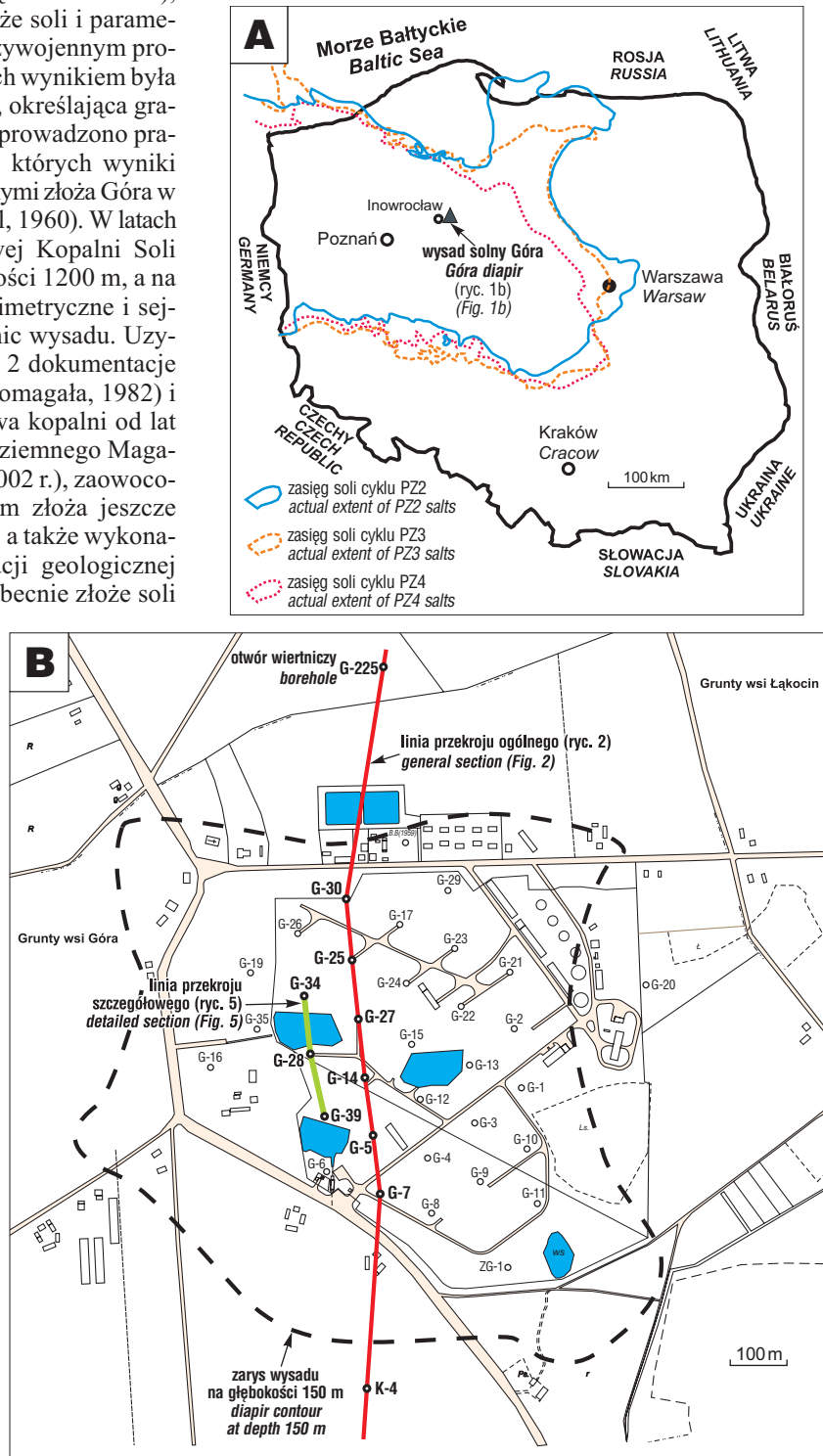
## Położenie i zarys budowy geologicznej wysadu Góra

Wysad solny Góra znajduje się w odległości ok. 15 km na wschód od Inowrocławia (ryc. 1A), w południowej części województwa kujawsko-pomorskiego. Jego rozpoznanie zapoczątkowało wykonanie w latach 1911–1912 piętnastu płytkich otworów (do głębokości 175 m) oraz jednego głębokiego otworu — G-226 (do głębokości 1100 m), za pomocą których udokumentowano złoża soli i parametry jakościowe kopaliny. W okresie międzywojennym prowadzono pomiary grawimetryczne, których wynikiem była mapa anomalii grawimetrycznych (1946), określająca granice złoża. W latach 50. ubiegłego wieku prowadzono prace wiertnicze do głębokości ok. 300 m, których wyniki zaowocowały dokumentacjami geologicznymi złoża Góra w kategorii C2 (Fiegel, 1956) oraz C1 (Fiegel, 1960). W latach 1964–1966 w ramach budowy otworowej Kopalni Soli Góra wykonano cztery otwory do głębokości 1200 m, a na początku lat 90. XX w. — badania grawimetryczne i sejsmiczne w celu uściślenia przebiegu granic wysadu. Uzyskane dane pozwoliły opracować kolejne 2 dokumentacje geologiczne: w kategorii B + C1 + C2 (Domagała, 1982) i C2 + C1 + B (Parecka, 1994). Rozbudowa kopalni od lat 60. ubiegłego wieku, a także budowa Podziemnego Magazynu Ropy i Paliw (oddany do użytku w 2002 r.), zaowocowały do dnia dzisiejszego rozwierceniem złoża jeszcze ponad czterdziestoma otworami (ryc. 1B), a także wykonaniem czterech dodatków do dokumentacji geologicznej (np. Biernat, 2005; Brańka i in., 2001). Obecnie złożo soli jest udokumentowane do głębokości 1700 m (głębokość możliwej eksploatacji). Celem dalszego rozpoznania jest ustalenie geometrii południowo-zachodniej i południowej ściany złoża. Zasoby bilansowe soli kamiennej w złożu są szacowane na 2,3 mld ton, przemysłowe zaś — na 0,3 mld ton (Gientka i in., 2008).

Wysad solny Góra jest położony w środkowej części polskiego basenu cechsztyńskiego, na zachodnim skraju antyklinorium kujawskiego (Karnkowski, 2008), gdzie występują wszystkie ogniwa ewaporatowe cechsztynu (ryc. 1), a miąższość ogniwi solnych sięga do kilkuset metrów (Czapowski, 1993; Czapowski i in., 1991, 1993; Wagner, 1994). Budowę geologiczną tego rejonu determinują zapoczątkowane w triasie ruchy halokinetyczne i halotektoniczne mas solnych, przedzierających się ku górze poprzez skały nadkładu mezozoicznego-kenozoicznego w strefach aktywności tektonicznej podłoża podpermskiego (np. Burliga i in., 2003; Dadlez, 1997, 1998; Dadlez & Marek, 1974; Dadlez i in., 1998; Krzywiec, 2004a, b; Tarka, 1991). Wysad Góra jest wyciśniętym słupem solnym na NW skraju wielkiej poduszki solnej Radziejowa, obcięty od NE dyslokacją o biegu NNW-SSE (Dadlez, 1998). Biernat (2005), powołując się na wyniki badań geofizycznych z 1991 r., stwierdził obecność od północy równoleżnikowej dyslokacji, a od wschodu i zachodu — dyslokacji o kierunku

N-S. Ściany wysadu na znacznych odcinkach są niemal pionowe, jedynie ściany południowa i południowo-zachodnia są mniej stromo nachylone. W przekroju poziomym wysad ma kształt nieforemnej elipsy, której dłuższa oś, o przebiegu NW-SE, ma długość około 1000 m, krótsza zaś — 900 m.

Cały wysad jest przykryty osadami plejstoceno-holocenickimi o zróżnicowanej miąższości, od 30 do ponad



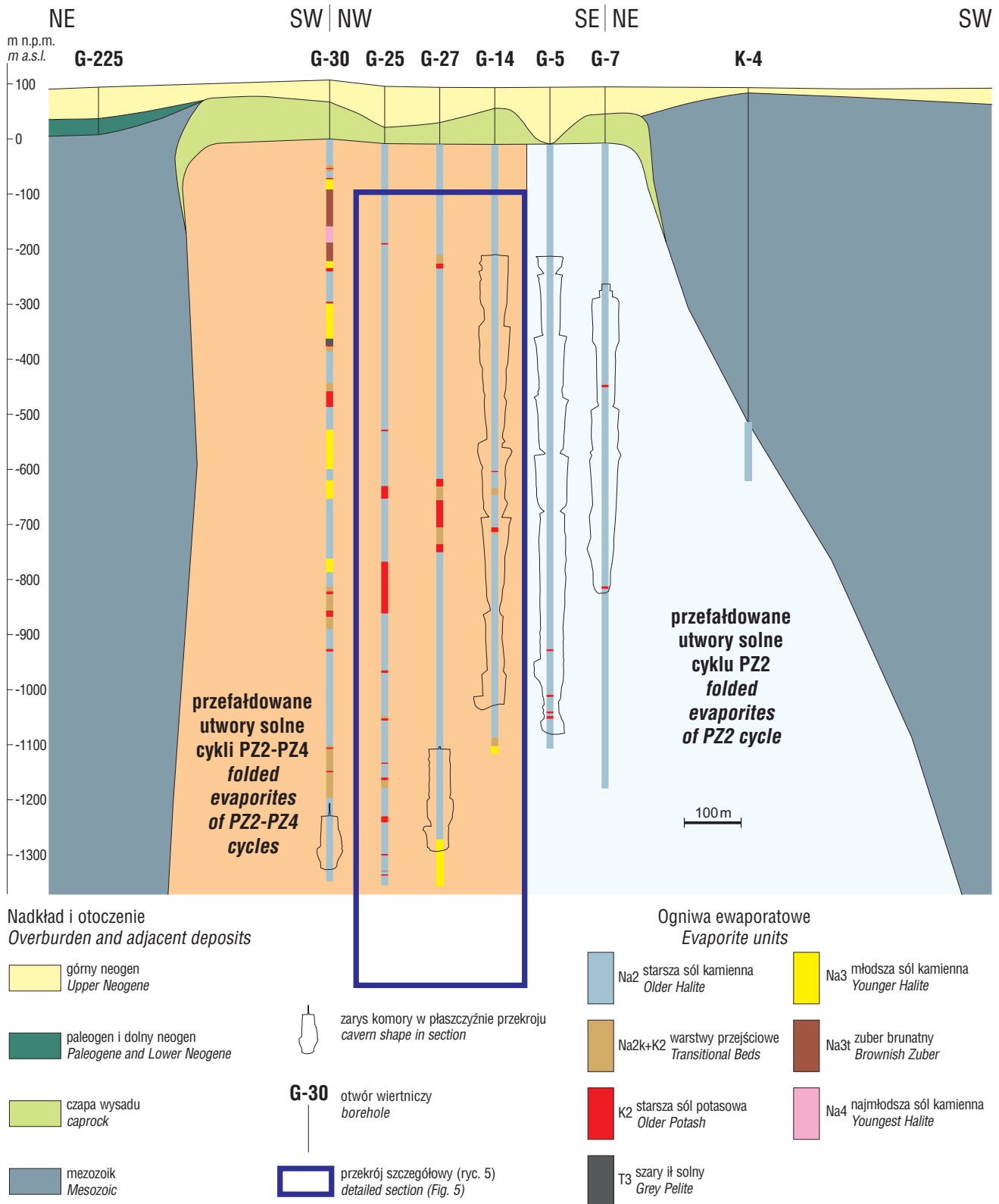
Ryc. 1. A — Lokalizacja wysadu Góra na tle rozmieszczenia utworów solnych cechsztynu w Polsce (zasięgi soli wg R. Wagnera. [W:] Dadlez i in., 1998); B — Rozmieszczenie otworów wiertniczych w rejonie wysadu solnego Góra

Fig. 1. A — Location of the Góra diapir within the actual extent of Zechstein salts in Poland (extents of salts after R. Wagner. [In:] Dadlez et al., 1998); B — Location of boreholes in the Góra diapir area

100 m (ryc. 2), reprezentowanymi głównie przez piaski różnoziarniste i gliny zwałowe. Pod nimi występują utwory czapy wysadu, złożone z siarczanów (anhydryt–gips) lub ilów i gipsów. Górna powierzchnia czapy wysadu jest bardzo zróżnicowana — deniwelacje położenia jej stropu dochodzą do 50 m, grubość zmienia się od 34 do 116 m, a w dwóch otworach wiertniczych bezpośrednio pod skałami nadkładu stwierdzono zwierciadło solne. Na obrzeżach

wysadu, pod utworami plejstoceno-holoceno osady neogenu (iły, piaski brunatne z pyłem węgla brunatnego oraz żwiry i mułki). Otulinę wysadu stanowią zaś utwory jurajskie wykształcone w facji wapiennej i piaskowcowo-mułkowej.

Z obserwacji poczynionych w trakcie wykonywania otworów wiertniczych wynika, że wewnętrzną budowę wysadu Góra charakteryzuje strome lub prawie pionowe



Ryc. 2. Syntetyczny przekrój geologiczny przez górną część wysadu solnego Góra  
Fig. 2. Schematic section of the upper part of the Góra diapir



ułożenie warstw utworów cechsztynu, wykształconych jako anhydryty, sole kamienne i potasowo-magnezowe oraz skały ilaste i zubrowe. Utwory solne odnotowane w wysadzie są reprezentowane przez sfałdowane ogniwa starszej soli kamiennej i potasowej cyklotemu stassfurt (Na2 i K2), które zajmują środkową i południową rozpoznaną część wysadu, oraz przełańdowane z utworami cyklotemu stassfurt ogniwa solne cyklotemów leine (PZ3) i aller (PZ4), występujące w części północnej i północno-zachodniej wysadu (np. Brańka i in., 2001; Domagała, 1982; Parecka, 1994), na północ od otworów G-17, G-21, G-23 i G-28 (ryc. 1). Ogniwo najstarszej soli kamiennej (Na1) cyklotemu werra prawdopodobnie znajduje się w głębszej partii wysadu, nie rozpoznanej wierceniami.

Dotychczasowe rozpoznanie wiertnicze wskazuje, że utwory starszej soli kamiennej (Na2) to sole kamienne szare, pół- i przezroczyste, różnoziarniste, czasem kryształowe, zanieczyszczone głównie anhydrytem, występującym w postaci lamin lub rozproszonych ziaren. Ogniwo starszej soli potasowej (K2) reprezentują sole kamienne z domieszkami soli potasowo-magnezowych (głównie kizerytu). Na utwory cyklotemu PZ3 składa się ogniwo anhydrytu głównego (A3), na ogół występujące jako porwak pośród starszej soli kamiennej, oraz ogniwo młodszej soli kamiennej (Na3), wykształcone jako pomarańczowe sole kamienne z wprysnięciami soli potasowo-magnezowych (karnalitu i kizerytu). Ogniwo zubru brunatnego (Na3t) występuje pod postacią okruchów soli pomarańczowych i szarych, spojonych stalowym lub zielonkawym ilem, którym towarzyszą wtórne skupienia soli potasowo-magnezowych. Ogniwo najmłodszej soli kamiennej (Na4) cyklu PZ4 opisano dotychczas jedynie z otworu G-30 i tworzą je ciemnoszare sole kamienne, gruboziarniste, z domieszkami rozproszonych substancji anhydrytowo-ilastej.

Obecnie w rejonie wysadu Góra działalność górnictwa prowadzą Inowrocławskie Kopalnie Soli *Solino* S.A. z siedzibą w Inowrocławiu. Złoże jest eksploatowane poprzez otwory wiertnicze metodą strefowego i wielostopniowego ługowania komór z izolacją stropu olejem ekranizującym. Otwory eksploatacyjne są rozmieszczone w siatce trójkąta równobocznego o boku 100 m. Głębokość eksploatacji sięga 1700 m. Maksymalna średnica komór wynosi 55 m. Półka stropowa, której zadaniem jest ochrona powierzchni przed wpływami eksploatacji, ma grubość 250 m, a w przypadku komór magazynowych — 350 m. Szerokość filaru brzeżnego, którego zadaniem jest izolacja wyrobisk górniczych od skał otaczających wysad, wynosi ok. 50–100 m. Część kawern, w których zakończono eksploatację soli, została zaadaptowana na potrzeby magazynu ropy i paliw, który jest ściśle powiązany z otworową kopalnią soli. Produkowana w komorach solanka służy m.in. do wyłaczania węglowodorów z komór magazynowych.

### Metodyka badań

Materiał rdzeniowy z 3 otworów wiertniczych: G-16, G-34 i G-39 (ryc. 1B), dokładnie sprofilowano celem określenia makroskopowych cech strukturalnych i teksturalnych skał solnych i wychwycenia zmienności w badanych profilach (ryc. 3). Próbkę proszkową (do oznaczeń chemicznych) materiału rdzeniowego (głównie sól kamienna) pobrano za pomocą wiertarki w odstępach 1; 1,5 i 2 m, uwzględniając zmienność strukturalno-teksturalną i wiekową materiału skalnego.

Na Uniwersytecie Technicznym w Clausthal (Niemcy) wykonano oznaczenia zawartości w pobranych próbkach bromu i jonu siarczanowego metodą chromatografii jonowej. Dokładność oznaczenia bromu wynosi  $\pm 2\mu\text{g Br/g}$  halitu. Na podstawie zawartości jonu siarczanowego został obliczony udział anhydrytu w próbkach. Uzupełnienie do 100% stanowi zawartość halitu. Oznaczone w próbkach koncentracje bromu zostały przeliczone na czysty halit. Tak okrojony tok analityczny (nie uwzględniający oznaczeń takich jonów, jak  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  i  $\text{Cl}^-$ ) nie pozwala na precyzyjne określenie składu mineralnego badanych utworów, tak więc w przypadku próbek pobranych z wydzielen zawierających sole potasowo-magnezowe należy spodziewać się, że oznaczona zawartość bromu jest związana nie tylko z halitem, ale także z innymi chlorkami (sylwinem i karnalitem).

Oznaczenia zawartości bromu (tzw. metoda bromowa) są dodatkowym kryterium identyfikacji wydzielen litostratygraficznych w obrębie formacji solnych. Metoda ta polega na założeniu, że ogniwa chlorkowe kolejnych cyklotemów, np. cechsztynu w Polsce, charakteryzują się sobie właściwymi rozkładami zawartości bromu, odróżniającymi je od pozostałych — rozkład zawartości bromu w badanej serii solnej jest więc wykorzystywany do określenia jej pozycji stratygraficznej.

Podczas ewaporacji wody morskiej brom wchodzi w struktury krystaliczne minerałów chlorkowych, zastępując diadochowo chlor, i w miarę zmian stężenia i składu solanki jego zawartość rośnie zarówno w roztworze, jak i w kolejnych generacjach osadzanych chlorków. Udział bromu w halitach pozwala zatem wnioskować o stężeniu macierzystych solanek, a analiza rozkładu zawartości bromu w profilach formacji solnych umożliwia prześledzenie historii zasolenia zbiornika ewaporacyjnego. Opisana metoda w zastosowaniu do stratygrafii utworów ewaporatowych jest z powodzeniem stosowana w Niemczech (Schramm i in., 2002, 2005; Schramm & Bornemann, 2004). W Polsce szczegółowe profile bromowe utworów chlorkowych różnych ogni wiekowych (opracowane na podstawie wyników badań materiału rdzeniowego z różnych rejonów kraju) były dotychczas wykorzystywane do korelacji odcinków serii solnych charakteryzujących się podobną tendencją zmian zawartości bromu i zbliżonymi koncentracjami tego pierwiastka (Tomassi-Morawiec, 2003, 2006).

Prowadzone w ostatnich latach przez Państwowy Instytut Geologiczny szczegółowe badania geochemiczne serii solnych cyklotemów w wysadzie kłodawskim umożliwiły opracowanie wzorcowych profili bromowych dla ogni w soli kamiennych cykli PZ2, PZ3 i PZ4 oraz określenie przedziałów zawartości bromu w halitach z tych wydzielen (Bornemann i in., 2008; Tomassi-Morawiec i in., 2007, 2009). Profile te, odzwierciedlające zmienność zawartości bromu w solankach z osiowych części kolejnych basenów cechsztyńskich na terenie Polski, okazały się bardzo pomocne do identyfikacji ogni w litostratygraficznych w badanym materiale rdzeniowym z wysadu Góra. Rozkłady zawartości bromu w halicie oraz zasięg wydzielonych ogni w litostratygraficznych w profilach otworów G-34 i G-39 ukazują rycina 4.

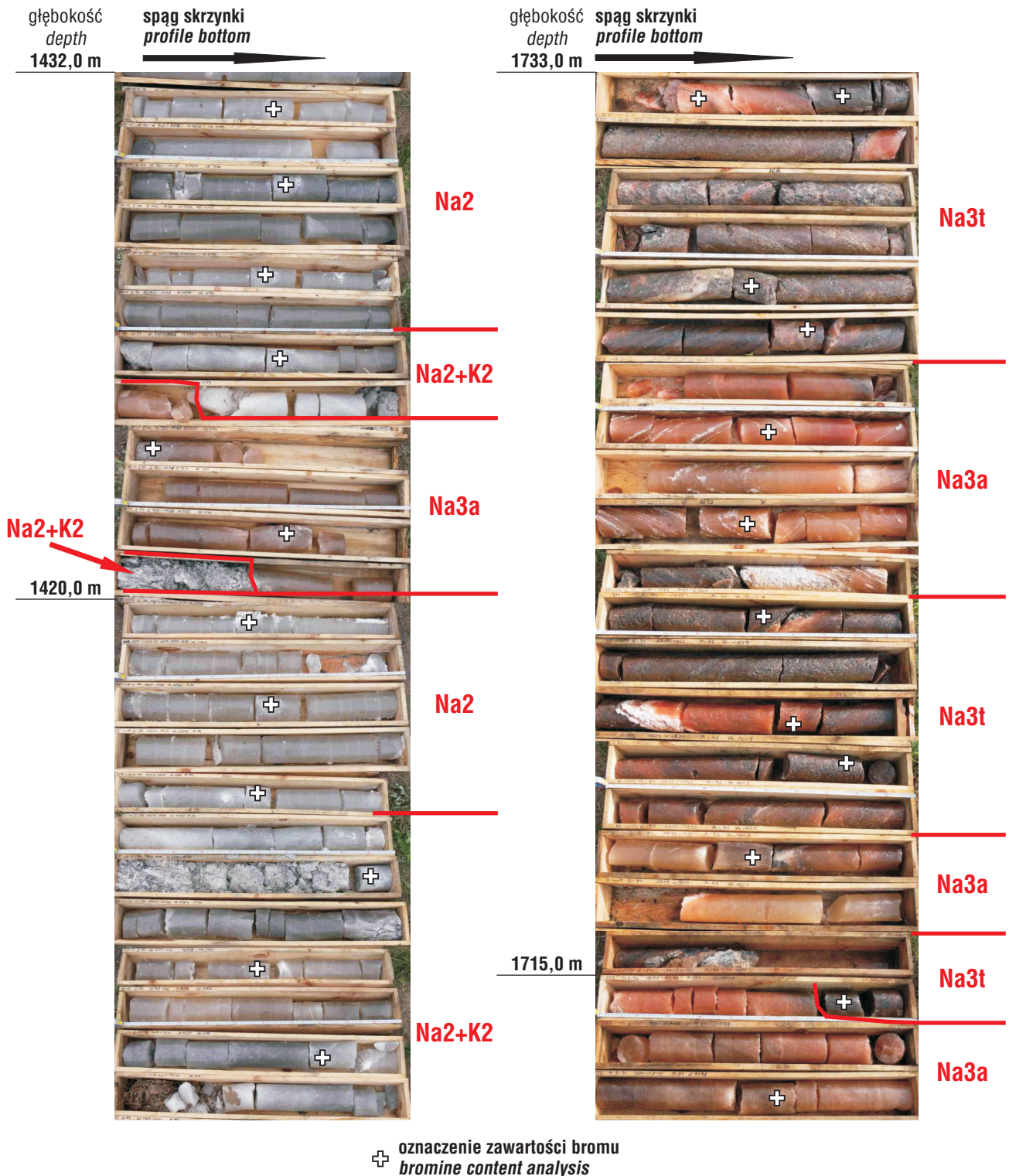
### Wykształcenie i geochemia zbadanych ogni w solnych cechsztynu w wysadzie Góra

Analiza materiału rdzeniowego z otworów wiertniczych G-34, G-39 i G-16 umożliwiła przedstawienie dokładnej

charakterystyki wykształcenia i zmian zawartości bromu w ogniwach solnych cykli PZ2 i PZ3.

**Utwory cyklu PZ2.** Wyniki badań prowadzonych w celu dokumentacji geologicznej złoża soli kamiennej Góra (Brańka i in., 2001; Domagała, 1982; Parecka, 1994) wykazały, że utwory ogniwa starszej soli kamiennej (Na<sub>2</sub>), stanowiące w wysadzie Góra główny komponent cyklu PZ2, są reprezentowane przez średnio- i gruboziarnistą sól kamienną, białą, mlecznoszarą, szarą i jasnoszarą, lokalnie

kryształową, przezroczystą. Czasem sole te są zabarwione na miodowo, jasnoróżowo i niebieskawo. Cechuje je bardzo wysoka zawartość NaCl — 92–99% (Brańka i in., 2001). Domieszki nierozpuszczalne to piasek anhydrytowy i substancja ilasta, występujące w postaci smug i prążków, częściej jednak rozproszone nierównomiernie w soli. Rozpoznane wystąpienia soli potasowo-magnezowej zaliczono do ogniwa starszej soli potasowej (K<sub>2</sub>) i są one reprezentowane przez smugi i kilkunastocentymetrowej grubości wkładki przedzielone solą kamienną (Brańka i in., 2001).



Ryc. 3. Fragmenty rdzenia z profilowanego otworu wiertniczego G-34. Objasnienia wydzielenia litostratigraficznych w tekście  
Fig. 3. Fragments of core from the studied G-34 profile. Lithostratigraphic units as explained in the text



Przeprowadzone obserwacje i analiza geochemiczna materiału rdzeniowego z otworów wiertniczych G-34, G-39 i G-16 pozwoliły bliżej scharakteryzować oba wydzielenia solne.

a) **ogniwo starszej soli kamiennej (Na<sub>2</sub>)** tworzy sól kamienna szara, rzadziej biała do miodowej i różowawej w pobliżu kontaktu z wydzieleniem Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub> (ryc. 3), przezroczysta do półprzezroczystej, lokalnie nieprzezroczysta (o wyjątkowo dużej zawartości nierozpuszczalnych domieszek), równo- do różnokrystalicznej, drobno- do grubokrystalicznej, ze strefami i gniazdami soli kryształowej wtórnej, przezroczystej, zawierającej zwykle gazowe inkluzje. Sól jest silnie spękana. W profilach wierceń występują strefy o kryształach przebudowanych tektonicznie (wydłużonych). Domieszki nierozpuszczalne to głównie anhydryt w formie piasku, drobnych agregatów, tworzących smugi, rzadziej laminy, a sporadycznie laminy i warstwy anhydrytu grubości do kilku cm. Smugi i laminy nadają partiom soli wygląd rytmów solno-anhydrytowych, tak charakterystycznych dla dolnej części ogniwa Na<sub>2</sub> w wyrobiskach w wysadzie kłodawskim. Anhydryt jest czasem spolihalityzowany i zwykle towarzyszy mu substancja ilasta. Ogniwo Na<sub>2</sub> stanowi główną część przebadanych profili wiertniczych. Udział bromu w jego utworach zmienia się od 28 do 313 µg/g halitu (ryc. 4), NaCl zaś — od 69,8 do 100%.

b) **wydzielenie Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub>** jest opisywane jako *seria* lub *warstwy przejściowe Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub>* w wysadzie kłodawskim (np. Czapowski i in., 2005). W przypadku badanych profili wysadu Góra bardziej celowe wydaje się użycie tego wydzielenia zamiast terminu *ogniwo starszej soli potasowej (K<sub>2</sub>)*, gdyż stwierdzone przewarstwienia asocjacji soli kamiennej i soli potasowo-magnezowej są dość cienkie i przedzielone znacznie grubszymi pakietami czystej soli kamiennej, co bardzo przypomina wykształcenie wydzielenia Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub> w wysadzie kłodawskim. W tym wysadzie utwory ogniwa K<sub>2</sub> — najlepiej dostępne obserwacjom — są zdominowane przez sole karnalitowe z kizerytem i tworzą wyraźny pokład wśród soli kamiennej.

Wydzielenie Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub> tworzą szare do beżowych sole kamienne równo- i różnokrystaliczne, średnio- i grubokrystaliczne, czasem kryształowe, przezroczyste i półprzezroczyste, ze smugami anhydrytu z domieszką substancji ilastej i przewarstwieniami (żyłami?) grubości do kilku cm soli potasowo-magnezowej (ryc. 3). Skład mineralny tej soli nie został w badanym materiale precyzyjnie określony. W opracowaniach dokumentacyjnych (Domagała, 1982; Parecka, 1994) wymienia się, że w solach potasowych w wysadzie Góra występują: sylwin, karnalit, kizeryt, kainit i polihalit. Udział bromu w utworach wydzielenia Na<sub>2</sub>+K<sub>2</sub> zmienia się od 59 do 651 µg/g halitu (ryc. 4), NaCl zaś — od 69,8 do 99,5%.

**Utwory cyklu PZ3.** Utwory cyklu PZ3 obejmują (Brańka i in., 2001; Domagała, 1982; Parecka, 1994): ogniwo młodszej soli kamiennej (Na<sub>3</sub>), zbudowane z białej, szarej, miodowej i różowej soli kamiennej; brunatne i ciemnoszare zubry ogniwa zubru brunatnego (Na<sub>3t</sub>) oraz sole ilaste (należące zapewne do ogniwa młodszej soli kamiennej górnej [Na<sub>3b</sub>]). Charakterystyka wyróżnionych w przebadanym materiale rdzeniowym 4 ogniw solnych cyklu PZ3 przedstawia się następująco:

a) **ogniwo młodszej soli kamiennej dolnej (Na<sub>3a</sub>)** tworzą sole kamienne beżowe, szare, miodowe, różowe do czerwonych i brunatnych (ryc. 3), równo- do różnokrystalicznych, drobno- do grubokrystalicznych, przezroczyste

do półprzezroczystych, dość rytmicznie laminowane i smugowane piaskiem anhydrytowym z domieszką substancji ilastej (tzw. sole liniowane, znane np. z wysadu kłodawskiego). Udział bromu w utworach tego ogniwa zmienia się od 70 do 345 µg/g halitu (ryc. 4), NaCl zaś — od 85,3 do 99,9%.

b) **ogniwo młodszej soli potasowej (K<sub>3</sub>)**, stwierdzone w profilu otworu wiertniczego G-39, tworzą sole kamienne podobnego typu do występujących w ogniwie Na<sub>3a</sub>, z warstwami soli potasowo-magnezowej (o składzie trudnym do określenia wobec silnego zwietrzenia rdzenia) rytmicznie warstwowanymi solą kamienną, o grubości warstw 1–2 cm. Jako domieszki pojawiają się anhydryt i substancja ilasta. W wyższej części wyróżnionego ogniwa zaobserwowano systemy pionowych szczelin grubości 5–10 cm, wypełnionych halitem z solą potasową i iłem, przypominających szczeliny z wysychania, zarejestrowane w podobnej pozycji stratygraficznej w profilach z wysadu kłodawskiego. Udział bromu w utworach tego ogniwa zmienia się od 234 do 649 µg/g halitu (ryc. 4), NaCl zaś — od 90,7 do 99,5%.

c) **ogniwo młodszej soli kamiennej górnej (Na<sub>3b</sub>)** wyróżniono w profilu otworu wiertniczego G-39. Tworzą je beżowe, szare i różowe sole kamienne, równo- do różnokrystalicznych, grubokrystaliczne, półprzezroczyste do nieprzezroczystych, ze smugami i rozproszonym anhydrytem i substancją ilastą. Udział bromu w utworach tego ogniwa zmienia się od 138 do 222 µg/g halitu (ryc. 4), NaCl zaś — od 93,8 do 99,8%.

d) **ogniwo zubru brunatnego (Na<sub>3t</sub>)**, wyróżnione w dolnej części profili wszystkich trzech badanych otworów wiertniczych, zawiera zubry i sole kamienne zailone, różowe, czerwone do brunatnych, różnokrystaliczne, półprzezroczyste do nieprzezroczystych, ze smugami, gruzłami i rozproszonym anhydrytem oraz substancją ilastą (ryc. 3). Często są widoczne żyły barwnej soli wtórnej (włóknistej), sporadycznie występują przewarstwienia szarego iłowca (do 16 cm grubości) oraz rytm soli brunatnej (bardziej zailonej) i czerwonej. Udział bromu w utworach tego ogniwa zmienia się od 108 do 203 µg/g halitu (ryc. 4), a NaCl — od 81,4 do 99,6%.

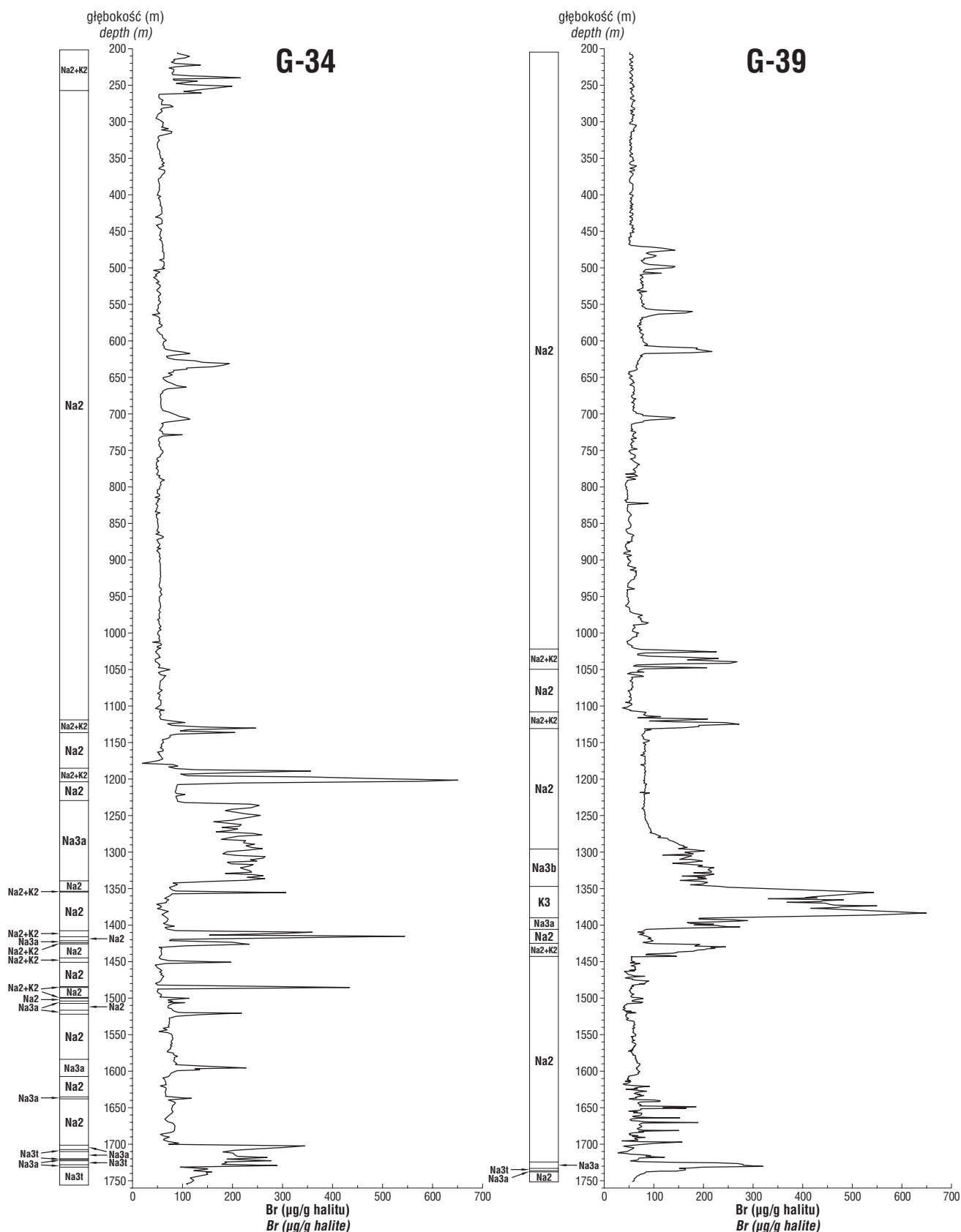
Cykl PZ4 reprezentują w wysadzie (Brańka i in., 2001; Domagała, 1982; Parecka, 1994) sole kamienne czerwone i pomarańczowe z wkładkami soli białej (odpowiadające zapewne ogniwo najmłodszej soli kamiennej dolnej [Na<sub>4a</sub>] wg Wagnera, 1994) oraz zubry ogniwa zubru czerwonego (Na<sub>4t</sub>). Sole kamienne obu cykli cechuje większy udział nierozpuszczalnych domieszek i mniejszy udział NaCl — 82–95% (Brańka i in., 2001; Domagała, 1982; Parecka, 1994).

W przebadanym materiale wiertniczym jako przypuszczalnie należące do cyklu PZ4 wyróżniono jedynie utwory siarczanowe zaobserwowane w spągowej części profilu otworu G-34. Są to warstwy szarego anhydrytu grubości 18–20 cm, laminowanego i smugowanego iłem, z gniazdami halitu, zaklinowane tektonicznie pomiędzy utworami ogniwa zubru brunatnego (Na<sub>3t</sub>) i młodszej soli kamiennej dolnej (Na<sub>3a</sub>). Uznano je za odpowiednik ogniwa anhydrytu pegmatytowego (A<sub>4a</sub>).

Należy podkreślić, że obserwowane nachylenie badanych utworów (ocenione na podstawie przebiegu granic litologicznych, laminacji i smugowania) zmienia się od 0 do 60–80°. Na pewnych odcinkach profili warstwy są ustawione pionowo, zarejestrowano też fałdy o promieniu kilku-kilkunastu metrów oraz drobnoskalowe zaburzenia laminacji („sejsmity”). O lokalnie intensywnej przebudowa-

wie tektonicznej skał świadczą partie solne o silnie wydłużonych kryształach halitu oraz towarzyszące im szczeliny i systemy gęstych spękań, dobrze czytelne w seriach soli kryształowej. Obserwowane powtórzenia

wydzieleń litostratigraficznych w profilach otworów wiertniczych (ryc. 4, 5) dowodzą wielokrotnych przeładowań, połączonych z wyklinowaniem i wycienieniem niektórych ogniw.



Ryc. 4. Rozkład zawartości bromu i litostratigrafia w profilach otworów G-34 i G-39. Objaśnienia wydzieleń litostratigraficznych w tekście

Fig. 4. Bromine distribution and lithostratigraphy of G-34 and G-39 profiles. Lithostratigraphic units as explained in the text

### Budowa wewnętrzna wysadu Góra w świetle wyników badań profili wybranych otworów wiertniczych

Informacje o wykształceniu poszczególnych ogniw solnych, uzyskane na podstawie szczegółowej analizy materiału rdzeniowego, umożliwiły zdefiniowanie podobnych wydzielen w profilu wycinkowo rdzeniowanego otworu G-28, położonego pomiędzy otworami G-34 i G-39. Uzyskano w ten sposób kompletny obraz sukcesji ogniw litostratygraficznych w przedziale głębokości 200–1750 m w trzech sąsiadujących otworach wiertniczych, umożliwiającą skonstruowanie wycinkowego przekroju geologicznego (ryc. 5), ilustrującego stopień komplikacji budowy wewnętrznej fragmentu wysadu.

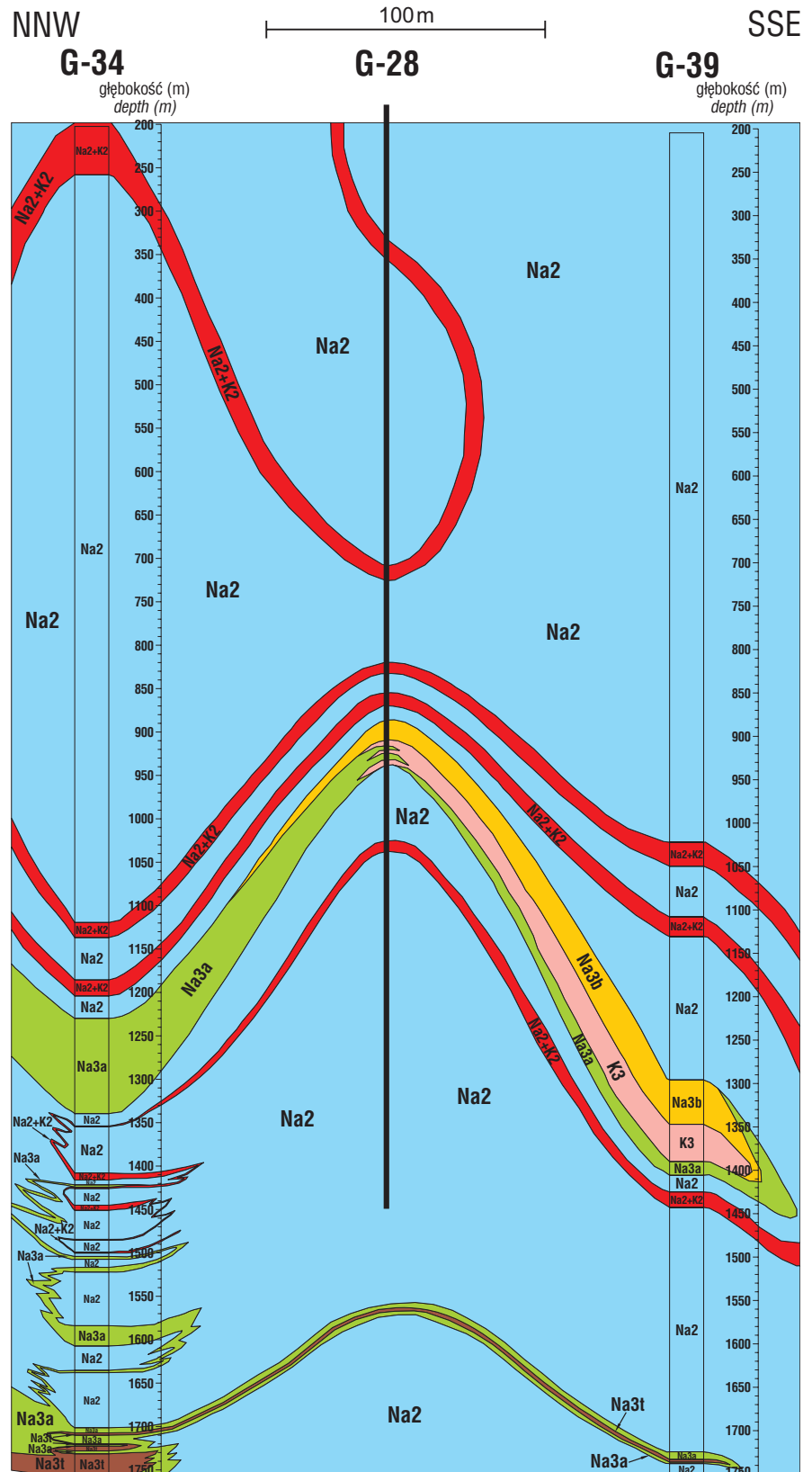
W dolnej części przebadanego profilu otworu G-34 (ryc. 5) występują powtórzenia zubru brunatnego (Na3t) i młodszej soli kamiennej dolnej (Na3a) z zaklinowanymi tektonicznie siarczanami ognia anhydrytu pegmatytowego (A4a — ze względu na niewielką miąższość, 18–35 cm, nie uwzględniono go na ryc. 5). Wyżej sukcesja obejmuje powtórzenia ogniw: młodszej soli kamiennej dolnej (Na3a) i starszej soli kamiennej (Na2) z powtórzeniami utworów serii przejściowej Na2+K2, a stropową część tworzą powtórzenia obu wydzielonych ogniw solnych cyklu PZ2: starszej soli kamiennej i wspomnianej serii Na2+K2. Profil otworu G-39 jest bardzo podobny do profilu otworu G-34 i stanowi jakby jego dopełnienie odnośnie ogniw solnych cyklu PZ3 — jednak w środkowej części tego profilu pojawiają się ogniwa młodszej soli potasowej (K3) i młodszej soli kamiennej górnej (Na3b), które nie występują w profilu G-34. W spągu przewierconej sukcesji natrafiono na ogniwo starszej soli kamiennej (Na2), co sugeruje, że wydzielone w badanych profilach utwory młodszych cykli (PZ3 i PZ4), są jedynie fragmentem jądra wielkiej obalanej struktury synklinalnej (fałdu obalonego). Fałd ten jest głęboko wciśnięty w prze-fałdowany wewnętrznie zespół solny cyklu PZ2, obejmujący: starszą



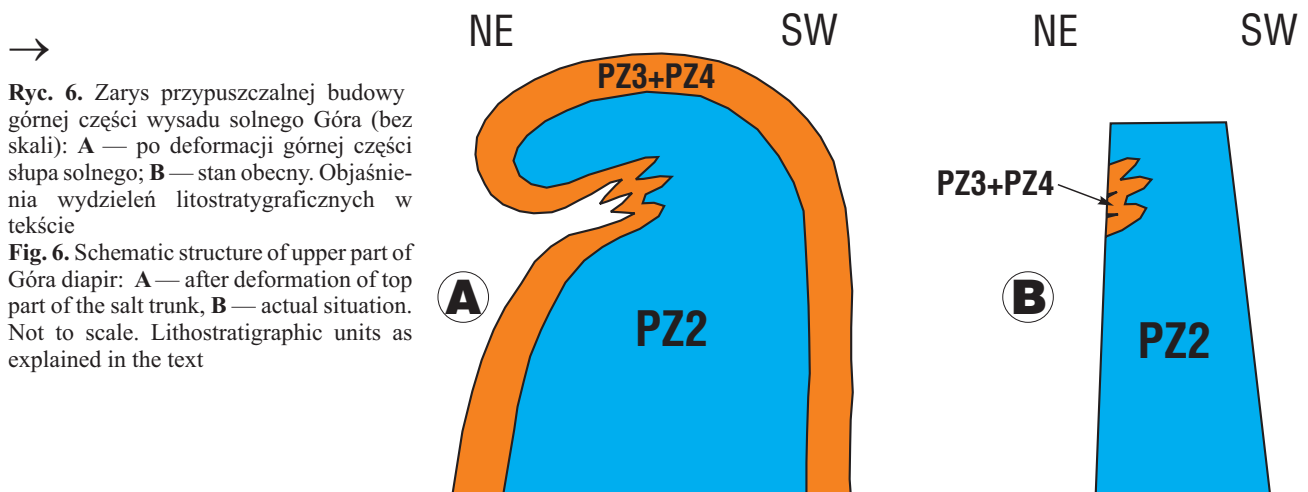
**Ryc. 5.** Szczegółowy przekrój geologiczny przez górną część wysadu solnego Góra pomiędzy otworami G-34 i G-39. Objasnienia wydzielen litostratygraficznych w tekście

**Fig. 5.** Detailed geological section of the upper part of Góra diapir between G-34 and G-39 boreholes. Lithostratigraphic units as explained in the text

sól kamienną (Na2) i serię przejściową (Na2+K2) oraz być może w innych częściach wysadu — starszą sól potasową (K2). Interesujące jest dwukrotne pojawienie się w górnej części sukcesji solnej w obu otworach (G-34 i G-39) dość miąższych utworów serii przejściowej Na2+K2, tworzących 2 poziomy, w porównaniu z ich pojedynczym wystąpieniem w dolnej części profilu otworu G-34. W interpretacji budowy wewnętrznej przyjęto — na podstawie zbliżonej







**Ryc. 6.** Zarys przypuszczalnej budowy górnej części wysadu solnego Góra (bez skały): **A** — po deformacji górnej części słupa solnego; **B** — stan obecny. Objasnienia wydzieleni litostratygraficznych w tekście

**Fig. 6.** Schematic structure of upper part of Góra diapir: **A** — after deformation of top part of the salt trunk, **B** — actual situation. Not to scale. Lithostratigraphic units as explained in the text

pozycji w profilach i stosunków miąższościowych — że najbliższy stropowi ogniwa Na2 i przyległym utworom cyklu PZ3 poziom Na2+K2 może być korelowany, natomiast drugi poziom, starszy wiekowo i bliższy spągowi starszej soli kamiennej, jest nieobecny w dolnej części profilu wskutek zredukowania całego ogniwa Na2.

Zinterpretowany profil otworu G-28 łączy elementy sukcesji górnej połowy obu poprzednich profili z większą liczbą powtórzeń wydzielenia Na2+K2 (ryc. 5). Rejestruje też wzajemne przeładowanie i wyklinowanie ogniw młodszej soli potasowej (K3) i młodszej soli kamiennej dolnej (Na3a). Profil ten potwierdza obecność wspomnianego fałdu obalonego i dodatkowo wewnętrzne przeładowanie górnego zespołu ogniw solnych cyklu PZ2 — trzykrotne powtórzenie wspomnianego starszego poziomu wydzielenia Na2+K2.

Przedstawiony przekrój geologiczny (ryc. 5), zlokalizowany w środkowo-zachodniej części wysadu (ryc. 1B), jest pierwszą próbą interpretacji szczegółowej budowy wewnętrznej struktury solnej Góra do głębokości jej wiertniczego rozpoznania. Implikacją tego przekroju jest szkic hipotetycznej formy i wewnętrznej budowy wysadu przed jego erozją (ryc. 6), ukazujący główne elementy strukturalne jego górnej części. Przypuszczalnie podczas wypiętrzania się słupa solnego, pierwotnie złożonego z pełnej sukcesji cechsztyńskich ewaporatów (zapewne od cyklu PZ1 po cykl PZ4 — przez analogię do innych struktur wysadowych w regionie kujawskim), nastąpiło „przelanie się” szczytu słupa w kierunku NE w formie obalonego fałdu (łuski?) z jądrem z ewaporatów cyklu PZ2 (ryc. 6A). Otulające fałd od strony brzusznej utwory cykli PZ3 i PZ4 zostały silnie przeładowane i częściowo „wciągnięte” w głąb słupa. W jądrze fałdu skały solne cyklu PZ2 zostały dodatkowo silnie przeładowane. Późniejsze ruchy wynoszące i erozja usunęły znaczną część opisanego fałdu i otuliny najmłodszych ewaporatów, nadając słupowi solnemu obecną formę (ryc. 6B). Należy podkreślić, że przedstawione tu szkice nie są obrazem ewolucji wysadu, gdyż pomijają poszczególne fazy jego rozwoju — akcentują tylko pewne nowe elementy budowy wewnętrznej struktury, składające do dalszych studiów. Odtworzenie wiarygodnego modelu formowania się wysadu i ewentualne wydatowanie etapów rozwoju tej struktury będzie możliwe dopiero po wykonaniu kompleksowych badań wszystkich dostępnych materiałów rdzeniowych i reinterpretacji materiałów archiwalnych.

### Wnioski końcowe

Opracowanie stratygrafii utworów w wysadach solnych, umożliwiającej interpretację skomplikowanej budowy wewnętrznej tych struktur, wymaga połączenia dwóch metod: szczegółowego rozpoznania makroskopowego (ewentualnie wspartego analizami mineralogicznymi) skał solnych oraz badania składu chemicznego (wykonania analizy zawartości składników głównych oraz zawartości bromu). Gdy mamy do czynienia z wydzieleniami litologicznymi podobnymi makroskopowo, a takimi są zwykle sole kamienne, oznaczona zawartość bromu może rozstrzygać o ich identyfikacji wiekowej. Z kolei korzystanie tylko z metody bromowej, tzn. porównywanie rozkładu zawartości bromu w profilu wysadu solnego z wzorcowymi profilami bromowymi opracowanymi dla serii solnych o normalnym następstwie warstw, będzie zawodne, jeśli nie uwzględni się równocześnie zmienności litologicznej badanych skał. Jedynie pełne wykorzystanie obu metod pozwala uzyskać wiarygodne wyniki, czego przykładem jest kompleksowe opracowanie rdzeni wiertniczych z wysadu solnego Góra.

Ustalone sukcesje wydzieleni litostratygraficznych cechsztynu w wybranych profilach otworów wiertniczych w wysadzie Góra pozwoliły na interpretację stylu budowy wewnętrznej fragmentu wysadu w interwale głębokości objętych wierceniami. Jest to pierwsza interpretacja budowy o tak wysokim stopniu szczegółowości bardzo dobrze wiertniczo rozpoznanej struktury solnej Góra (40 otworów wykonanych w rejonie wysadu). Wskazuje ona na pewne cechy budowy wewnętrznej wysadu, sugerujące specyficzny sposób przypuszczalnego rozwoju diapiru, z „obaleniem” szczytowej partii słupa solnego. Być może przechylenie to było spowodowane odmiennymi właściwościami petrofizycznymi serii soli cykli PZ2 i PZ3, wpływającymi na ich selektywne uruchomienie w różnych fazach halokinezy, w odmiennych warunkach ciśnienia i temperatury. Rezultatem tych procesów jest obserwowana dominacja utworów starszych po jednej stronie i w górnej części słupa oraz „wciągnięcie” w jego obręb serii utworów młodszych. Przedstawiony obraz jest hipotetyczny. Aby go zweryfikować, należy — w przedstawiony w artykule sposób — wykonać kompleksowe badania rdzeni pozostałych otworów nawierczających tę strukturę, sporządzić i zinterpretować liczne przekroje geologiczne i opracować model przestrzenny budowy górnej części wysadu.

Dysponowanie wiarygodnym modelem budowy wewnętrznej każdej struktury solnej, a szczególnie wysadowej, jest warunkiem możliwości jej prawidłowego zagospodarowania. Wykonanie wiarygodnego modelu wysadu solnego jest możliwe tylko wówczas, gdy jest on dobrze rozpoznany (jak np. wysad Damasławek czy Łanięta) lub już zagospodarowany górnictwem (np. Mogilno). Dotychczas opracowano jedynie szczegółowe obrazy budowy wewnętrznej wysadów kłodawskiego i inowrocławskiego (a więc wysadów rozciętych wyrobiskami kopalni podziemnych). Oprócz aspektu poznawczego takich badań, pozwalającego na odtworzenie ewolucji struktur wysadowych, konstruowanie modeli przestrzennych ich budowy ma wymiar praktyczny. Ustalenie przypuszczalnego położenia warstw solnych o różnych parametrach surowcowych i mechanicznych, np. zębów, soli kamiennej czy potasowej bądź skał niesolnych, np. węglanów, siarczanów czy ilów, warunkuje lokalizację przyszłych wyrobisk górniczych w wysadzie oraz stwarza możliwość oceny wystąpienia zagrożeń wodnych bądź gazowych, towarzyszących często określonym typom skał (np. Burliga & Misiek, 2007; Chełmiński i in., 2008).

Autorzy dziękują Prezesowi Zarządu Inowrocławskich Kopalni Soli *Solino* S.A., panu Ryszardowi Orłowskiemu, za wyrażenie zgody na opublikowanie części wyników opracowania wykonanego w 2008 roku przez Państwowy Instytut Geologiczny na zlecenie IKS *Solino* S.A. Osobne podziękowania autorzy kierują do Szanownych Recenzentów pracy: prof. dr hab. Ryszarda Wagnera i doc. dr hab. Marka Jarosińskiego z Państwowego Instytutu Geologicznego za wnikliwe recenzje i cenne uwagi, pomocne w ostatecznym zredagowaniu artykułu.

## Literatura

- BIERNAT H. 2005 — Dodatek nr 4 do dokumentacji geologicznej złoża soli kamiennej „Góra” kategoria rozpoznania C2+C1+B, gm. Inowrocław, woj. kujawsko-pomorskie, miejscowość: Góra, powiat: Inowrocław. *Polgeol* S.A., CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 151/2005.
- BRAŃKA S., PIEŚIEWICZ T., JUŚCZAK W. & LEMPART A. 2001 — Dodatek nr 2 do dokumentacji geologicznej złoża soli kamiennej „Góra” kategoria rozpoznania C2+C1+B, gm. Inowrocław, woj. kujawsko-pomorskie, miejscowość: Góra, powiat: Inowrocław. OBRGSCchem *Chemkop*, CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 271/2002.
- BORNEMANN O., SCHRAMM M., TOMASSI-MORAWIEC H., CZAPOWSKI G., MISIEK G., KOLONKO P., JANIÓW S. & TADYCH J. 2008 — Wzorcowe profile bromowe cechsztyńskich soli kamiennych w Polsce i w Niemczech na przykładzie kopalni soli w Kłodawie i w Görleben. *Geologos*, 14: 73–90.
- BURLIGA S., KOYI H.A. & KRZYWIEC P. 2003 — Decoupling of deformation between the basement and cover during normal- to reverse-slip movement on a basement fault; model results. Proceedings of the 8<sup>th</sup> Meeting of the Czech Tectonic Studies Group/1<sup>st</sup> Meeting of the Central European Tectonics Group, 24–27.04, Hrubá Skala. *Geolines* — Papers in Earth Science, 16: 20.
- BURLIGA S. & MISIEK G. 2007 — O możliwości prognozowania przebiegu stref zagrożen 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 r.: 51–52.
- CHEŁMIŃSKI J., TOMASZCZYK M., SŁODKOWSKI M., CZAPOWSKI G. & MISIEK G. 2008 — Zintegrowany system baz danych dla modelowania 3D budowy geologicznej złoża soli w celu rejestracji i prognozowania występowania zagrożeń wodnych na przykładzie kopalni soli Kłodawa w wysadzie kłodawskim (centralna Polska). *Gosp. Sur. Miner.*, 24: 185–195.
- CZAPOWSKI G. 1993 — Facies characteristics and distribution of the Zechstein (Upper Permian) salt deposits of PZ3 (Leine) Cycle in Poland. *Bull. Pol. Acad. Sc., Earth Sc.*, 41: 229–237.
- CZAPOWSKI G., ANTONOWICZ L. & PERYT T. 1991 — Facies and paleogeography of the Zechstein (Upper Permian) Older Halite (Na2) in Poland. *Bull. Pol. Acad. Sc., Earth Sc.*, 38: 45–55.
- CZAPOWSKI G., PERYT T.M. & ANTONOWICZ L. 1993 — Facies and paleogeography of the Zechstein (Upper Permian) Oldest Halite (Na1) in Poland. *Bull. Pol. Acad. Sc., Earth Sc.*, 41: 217–227.
- CZAPOWSKI G., SADOWSKI A., MISIEK G. & KOLONKO P. 2005 — Możliwości niekonwencjonalnego wykorzystania walołów przyrodniczych i technicznych kopalni soli Kłodawa. *Tech. Poszuk. Geol.*, 44: 35–47.
- DADLEZ R. 1997 — Ogólne rysy tektoniczne bruzdy środkowopolskiej. [W:] Marek S. & Pajchłowa M. (red.), *Epikontynentalny perm i mezozoik w Polsce*. Pr. Państw. Inst. Geol., 153: 410–414.
- DADLEZ R. (red.) 1998 — Mapa tektoniczna kompleksu cechsztyńsko-mezozoicznego na Niżu Polskim w skali 1 : 500 000, Państw. Inst. Geol.
- DADLEZ R. & MAREK S. 1974 — General Outline of the Tectonics of the Zechstein — Mesozoic Complex in Central and Northwester Poland. *Biul. Inst. Geol.*, 274: 11–140.
- DADLEZ R., MAREK S. & POKORSKI J. (red.) 1998 — Atlas paleogeograficzny epikontynentalnego permu i mezozoiku w Polsce w skali 1 : 2 500 000. Państw. Inst. Geol.
- DOMAGAŁA J. 1982 — Dokumentacja geologiczna złoża soli kamiennej „Góra” k. Inowrocławia w kategorii rozpoznania B+C1+C2, miejscowość Góra, gmina Inowrocław, woj. Bydgoszcz. OBRGSCchem *Chemkop*, Kraków. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 3726/530.
- FIGIEL G. 1956 — Dokumentacja geologiczna złoża solnego w Górze, pow. Inowrocław w kategorii C2. Zarząd Przemysłu Solnego, Inowrocław.
- FIGIEL G. 1960 — Dokumentacja geologiczna złoża solnego w Górze koło Inowrocławia w kategorii C1. Żupa Solna Inowrocław.
- GIENKA M., MALON A. & DYLAĞ J. (red.) 2008 — Bilans zasobów kopalni i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 31 XII 2007 r. Państw. Inst. Geol.
- KARNKOWSKI P.H. 2008 — Regionalizacja tektoniczna Polski — Niż Polski. *Prz. Geol.*, 65: 895–903.
- KRZYWIEC P. 2004a — Triassic evolution of the Kłodawa salt structure: basement-controlled salt tectonics within the Mid-Polish Trough (central Poland). *Geol. Quart.*, 48: 123–134.
- KRZYWIEC P. 2004b — Basement vs. salt tectonics within the Mid-Polish Trough (central Poland) and their influence on sedimentary systems — Triassic evolution of the Kłodawa salt structure. *Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft „GeoLeipzig2004“*, Leipzig, Germany, 29.09–01.10.2004, 34: 259.
- PARECKA K. 1994 — Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej złoża soli kamiennej „Góra”, kategoria rozpoznania C2+C1+B, gmina Inowrocław, woj. bydgoskie. *Przed. Geol. Polgeol*, Warszawa. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 1017/94.
- SCHRAMM M., BORNEMANN O., WILKE F., SIEMANN M. & DIJK H.L. 2002 — Bromine Analysis — A Powerful Tool to solve Stratigraphical Problems in Exploration Boreholes for Salt Caverns. [In:] Technical Meeting Papers, SMRI, Fall 2002 Meeting, Bad Ischl/Austria. Solution Mining Research Institute, Encinitas, USA.
- SCHRAMM M. & BORNEMANN O. 2004 — Brom, efektywne narzędzie do badania kavern solnych. IX. Międzynarodowe Sympozjum Solne, QUO VADIS SAL. Polish Salt Mining Association, Bochnia, Abstracts: 18–19.
- SCHRAMM M., BORNEMANN O., SIEMANN M., WILKE F. & GELUK M. 2005 — Correlation between bromine concentrations in halites and their stratigraphical position in Zechstein 2 salt deposits of North-West Europe. Abstracts of the contributions of the General Assembly of the European Geophysical Society, Vienna, Austria, 24–29 April 2005. *Geophysical Research Abstracts*, 7, 04552 (CD): 1. Wien.
- TARKA R. 1991 — The Tectonic Evolution of Polish Salt Diapirs. *Bull. Pol. Acad. Sc., Earth Sc.*, 39: 85–91.
- TOMASSI-MORAWIEC H. 2003 — Charakterystyka geochemiczna najstarszej soli kamiennej (Na1) w rejonie Zatoki Puckiej. *Prz. Geol.*, 51: 693–702.
- TOMASSI-MORAWIEC H. 2006 — Chemostratygrafia cechsztyńskich soli kamiennych w Polsce. *Prz. Geol.*, 54: 315–316.
- TOMASSI-MORAWIEC H., CZAPOWSKI G., BORNEMANN O., SCHRAMM M., TADYCH J., MISIEK G., KOLONKO P. & JANIÓW S. 2007 — Wzorcowe profile bromowe utworów solnych cechsztynu Polski: sole cyklu PZ2 (Z2) w kopalni soli Kłodawa. *Gosp. Sur. Miner. (Prz. Solny)*, 23: 103–115.
- TOMASSI-MORAWIEC H., CZAPOWSKI G. & SZTYRAK T. 2008 — Oprobowanie geochemiczne rdzeni z utworów solnych cechsztynu w otworach wiertniczych G-34, G-39 i G-16 zlokalizowanych w Kopalni Soli i PMRiP „Góra”. Inowrocławskie Kopalnie Soli *Solino* S.A., Inowrocław.
- TOMASSI-MORAWIEC H., CZAPOWSKI G., BORNEMANN O., SCHRAMM M. & MISIEK G. 2009 — Wzorcowe profile bromowe dla solnych utworów cechsztynu w Polsce. *Gosp. Sur. Miner. (w druku)*.
- WAGNER R. 1994 — Stratygrafia i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niżu Polskim. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 146: 1–71.

Praca wpłynęła do redakcji 09.03.2009 r.

Po recenzji akceptowano do druku 05.05.2009 r.