

## Utwory pogranicza cyklotemów PZ1 i PZ2 cechsztynu w kłodawskim wysadzie solnym (środkowa Polska)

Grzegorz Czapowski<sup>1</sup>, Hanna Tomassi-Morawiec<sup>1</sup>



G. Czapowski



H. Tomassi-Morawiec

**Deposits from the transition of Zechstein PZ1 to PZ2 cyclothem in the Kłodawa salt dome (central Poland).** *Prz. Geol.*, 66: 303–308.

*A b s t r a c t.* The possible occurrence of the Oldest Halite (Na1) unit of the Zechstein PZ1 cyclothem in the Kłodawa salt dome was a discussed matter for many years. Profiling and sampling of the evaporite Zechstein succession (a transition of PZ1 to PZ2 cyclothem) visible in a corridor of the “Kłodawa” Salt Mine at the mining level –650 m, located near the NE marginal pillar of the dome, were done in 2011. The studied section includes rock salt, shale, sulphate and carbonate rocks inclined at 60–90° to the NE and represents a normal succession of the PZ1 and PZ2 cyclothem. The normal succession of the top part of the PZ1 cyclothem consists of two lithological units: 1) rock salt complex (extending over a distance of ca. 5.8 m), defined as the Oldest Halite (Na1) lithostratigraphic unit, and 2) anhydrite bed, c.a. 1.3 m thick, distinguished as the Upper Anhydrite (A1g). These deposits are overlain by 4 lithological units, considered as

those creating the normal sequence of the lower part of the younger PZ2 cyclothem. The first one is a dolomitic shale bed, ca. 3.7 m thick, defined as the Stink Shale (T2). It is overlain by a dolomite layer, 0.3–0.5 m thick, representing the Main Dolomite (Ca2), and by an anhydrite series, over 17 m thick, attributed to the Basal Anhydrite (A2). The studied section ends with a rock salt complex, ca. 4 m thick, interpreted as the Older Halite (Na2). The bromine (Br) content in both salt units is relatively low: 81–86 ppm (7 samples) in the Na1 unit and 54–77 ppm (4 samples) in the Na2 unit, with a distinct upward-increasing trend in the latter. Similar low Br values and their distribution trends were characteristic for the top of the Na1 standard bromine curve in Poland and for the lower part of such curve for the Na2 salts. This geochemical similarity could support a proper stratigraphic position of both units. The analysed section was interpreted as a tectonic slice or intrusion, composed of Na1 rock salt overlain with the younger A1g sulphate, incorporated within the folded complex of Na2 rock salt. Such image confirms the current opinion of a more complicated internal structure of the so-called “marginal anticlines” within the Kłodawa dome, composed of intensively folded both salt units. It also documents that the oldest Zechstein evaporites (chlorides and sulphates) could occur above within the dome section than was stated earlier.

**Keywords:** evaporites, bromine, Zechstein, Kłodawa salt dome, central Poland

Wysad solny Kłodawa stanowi środkową część grzbietu solnego Izbica Kujawska–Kłodawa–Łęczycza o długości ok. 60 km i orientacji NW–SE (ryc. 1), który występuje w centralnej Polsce (np. Werner i in., 1960; Burliga, 1996, 1997; Misiek, 1997; Krzywiec, 2009). Jest to największy wysad solny w kraju, o długości ok. 25 km. W środkowej części wysadu, na odcinku długości ok. 8 km i szerokości od 2,5 km do 1,5 km, w udokumentowanym złożu soli kamiennej i potasowej założono Kopalnię Soli Kamiennej Kłodawa S.A. (np. Werner, 1959, 1962).

Wyrobniska kopalni w wysadzie umożliwiły dotychczas udokumentowanie większości utworów cechsztynu, składających się na wszystkie cztery cyklotemy znane z obszaru Polski (np. Werner i in., 1960; Charysz, 1973; Wagner, 1994; Burliga i in., 1995; Misiek, 1997; Czapowski i in., 2005; Burliga, 2010a, b).

Przedmiotem prowadzonej przez wiele lat dyskusji było miarodajne udokumentowanie obecności w wysadzie najstarszych utworów cechsztynu, związanych z cyklotemem PZ1, w tym szczególnie najstarszej soli kamiennej. O możliwości występowania utworów najstarszej soli kamiennej cyklotemu PZ1 w kłodawskim wysadzie pisali m.in. Werner i in. (1960), Czapowski i in. (2005) i Burliga (2010a, b, c), choć pozostawało to kwestią dyskusyjną. Zaprezentowane w pracy wyniki badań potwierdzają ten pogląd i implikują uszczegółowienie budowy tektonicznej wysadu.

### ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ WYSADU KŁODAWSKIEGO

Wysad kłodawski tworzą sole górnego permu (cechsztynu), przebijające się przez skały mezozoiczne z głębokości ok. 6 km. W interwale głębokości 2–3 km występuje przewieszka solna (Krzywiec, 2004, 2006), skutkująca wzrostem szerokości wysadu z 2 km u podstawy struktury do 8 km. Dzięki podziemnym wyrobiskom kopalni wewnętrznej budowę wysadu rozpoznano w różnym stopniu do głębokości 810 m.

Najwyższą część wysadu stanowi czapa gipsowo-iliowa o zmiennej miąższości, wynoszącej od 40 do ok. 220 m (Mazurek i in., 2016), przeważnie 100–150 m (ryc. 2). Ściana północno-wschodnia wysadu zapada ku NE pod kątem 45–60°, ściana południowo-zachodnia wysadu jest zaś bardzo stroma i miejscami nachylona ku NE pod kątem 80°. W górnej części wysadu do ściany NE przylegają utwory kajpru, przykryte kompleksami skał jurajskich, a do ściany SW – silnie zdyslokowane utwory jury środkowej i górnej.

Na utwory nadkładu wysadu składają się osady kenozoiku, datowane na czwartorzęd (plejstocen, miąższości 23,0–138,0 m) i neogen (pliocen i miocen, miąższości 5,5–180 m).

Główne serie solne, tworzące dotychczas rozpoznaną część wysadu, to sole kamienne cyklotemów PZ2, PZ3 i PZ4,

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; grzegorz.czapowski@pgi.gov.pl.



**Ryc. 1.** Lokalizacja wysadu solnego Kłodawa na tle występowania utworów solnych cechsztynu oraz poduszek i wysadów solnych w Polsce (wg Czapowskiego i in., 2017; zmieniona)

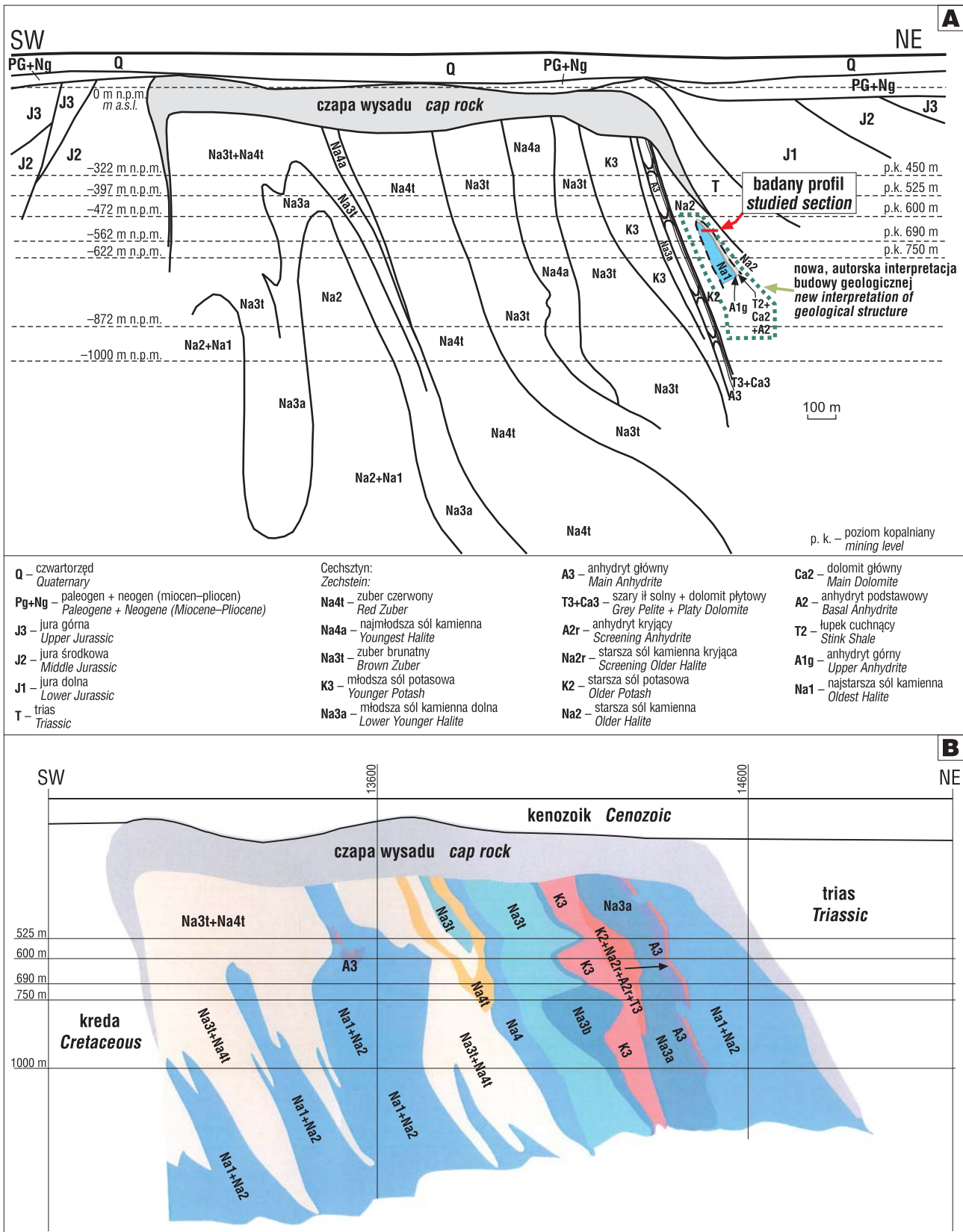
**Fig. 1.** Location of the Kłodawa salt dome, and the distribution of Zechstein salt deposits, salt pillows and diapirs in Poland (after Czapowski et al., 2017; modified)

sole potasowo-magnezowe cyklotemów PZ2 i PZ3 oraz zubry cyklotemów PZ3 i PZ4 (ryc. 2).

Wyniki badań prowadzonych w ostatnich latach (por. Mazurek i in., 2016 z literaturą) kwestionują występowanie w części wysadu dostępnej wyrobiskami kopalni najstarszych utworów najstarszego cyklotemu PZ1, które wyróżniali wcześniej np. Werner i in. (1960), Kucia (1970), Burliga i in. (1995), Misiak (1997) oraz Czapowski i in. (2005). Wydzielenia te obejmują utwory łupka miedziowego (T1), wapienia cechsztyńskiego (Ca1) i anhydrytu dolnego (A1d). Tak dotychczas definiowane osady aktualnie zakwalifikowano do ich odpowiedników litologicznych rozpoczynających młodszy cyklotem PZ2, czyli: łupka cuchnącego (T2), dolomitu głównego (Ca2) i anhydrytu podstawowego (A2).

### PROFIL UTWORÓW POGRANICZA CYKLOTEMÓW PZ1 I PZ2

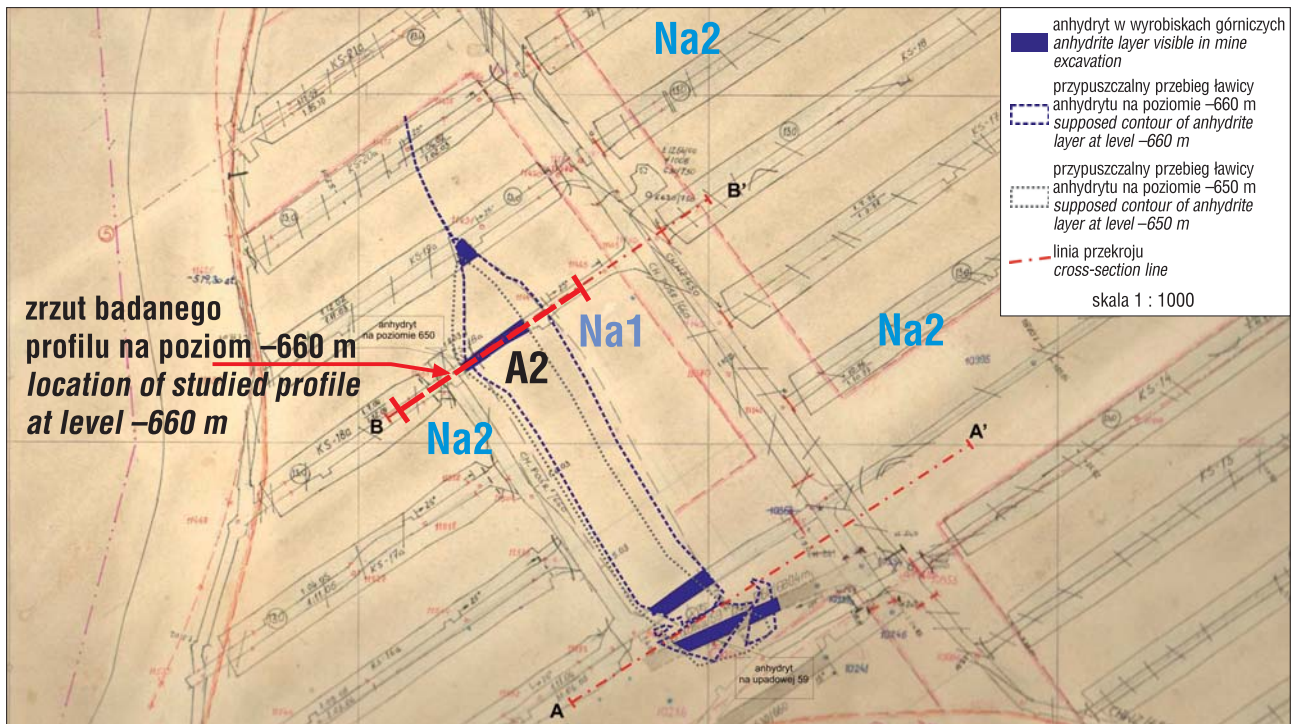
W 2011 r. w przekopie przy komorze 18A na poziomie –650 m w Kopalni Soli Kłodawa S.A. przeprowadzono profilowanie i pobieranie próbek do szczegółowych badań utworów ewaporatowych uznanych za przejściowe od cyklotemu PZ1 do PZ2 cechsztynu (ryc. 3). Obserwacje prowadzono w tzw. antyklinie północnej (Burliga, 1997) w kierunku NNE, w stronę NE filaru brzeżnego wysadu (ryc. 2A). Początek profilowanego odcinka wyrobiska stanowił punkt poligonowy nr 11461. Występują w nim utwory solne, ilaste, siarczanowe i węglanowe, nachylone ku NE pod kątem od 60 do 90°, reprezentujące przypuszczalnie normalne następstwo utworów cyklotemów PZ1 i PZ2 (ryc. 4 i 5).



**Ryc. 2.** Uproszczone przekroje geologiczne przez wysad solny Kłodawa, ukazujące zmiany koncepcji budowy wewnętrznej: **A** – przekrój wg Burligę (1997) z lokalizacją miejsca badań i nową interpretacją budowy geologicznej, **B** – uzupełniony przekrój wg Mazurka i in. (2016)  
**Fig. 2.** Simplified cross-sections through Kłodawa dome, illustrating various concepts of its internal structure: **A** – section after Burliga (1997), modified with new interpretation based on the studied profile; **B** – supplemented section after Mazurek et al. (2016)

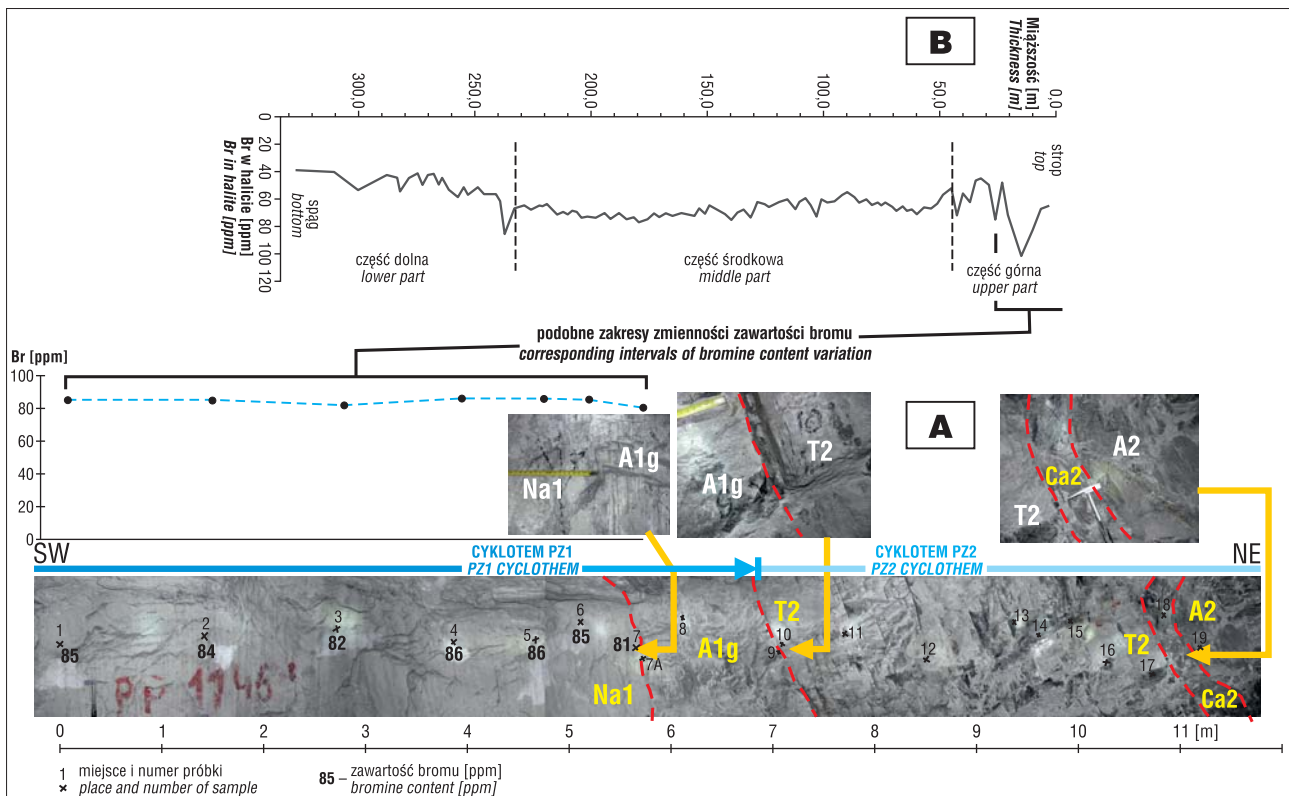
Utwory uznane za najstarszą sól kamienną (Na1) występują na odcinku ok. 5,8 m (ryc. 4A). Jest to sól biała, splekana, średnio- i grubokrystaliczna, regularnie równole-

gle warstwowana co 4–5 cm laminami anhydrytu o grubości 5–15 mm (laminacja ma upad ok. 90°). Opisane sole stanowią zapewne stropową część wydzielenia Na1, które



Ryc. 3. Lokalizacja przebadanego profilu z utworami stropowej części cyklotemu PZ1 i spagowej części cyklotemu PZ2 na mapie poziomu -660 m w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. (wg Burligi, 2010a). Objaśnienia jak na ryc. 2

Fig. 3. Location of the studied section with deposits of the top part of the PZ1 cyclothem and the lower part of the PZ2 cyclothem in a map of level -660 m in the “Kłodawa” Salt Mine (after Burliga, 2010a). For explanations see Fig. 2



Ryc. 4. Fragment przebadanego profilu z utworami stropowej części cyklotemu PZ1 i spagowej części cyklotemu PZ2 na poziomie -650 m w Kopalni Soli Kłodawa S.A. i wyniki oznaczeń zawartości bromu (A) oraz odpowiadający im odcinek standardowego profilu bromowego (B) w utworach solnych cyklotemu PZ1 w Polsce (wg Tomassi-Morawiec i in., 2009). Objaśnienia jak na ryc. 2; 1 x – miejsce i numer pobranej próbki, 85 – zawartość bromu [ppm]

Fig. 4. Part of the studied section showing top PZ1 cyclothem deposits and bottom PZ2 cyclothem deposits at the level -650 m in the Kłodawa Salt Mine, including bromine content data in salt (A) and the equivalent interval of standard bromine curve for PZ1 chlorides (B) in Poland (after Tomassi-Morawiec et al., 2009). For explanations see Fig. 2; 1 x – sampling site and sample number, 85 – bromine content [ppm]

kontaktuje z warstwą szarego anhydrytu, grubości ok. 1,3 m, równolegle laminowanego substancją ilastą i miejscami z widocznym warstwowaniem soczewkowym. Anhydryt ten przypisano wydzieleniu anhydrytu górnego (A1g), które zamyka profil cyklotemu PZ1.

Nad anhydrytem zalega ostro odgraniczona warstwa szarego łupku dolomitycznego, miąższości 3,7 m (ryc. 4A), gęsto równolegle laminowanego (upad tektoniczny laminacji wynosi ok. 70–75°), z pojedynczą żyłą kalcytową. Utwory te zaliczono do wydzielenia łupku suchnącego (T2), rozpoczynającego sukcesję cyklotemu PZ2.

Dalej jest widoczna warstwa beżowoszarego, słabo smugowanego dolomitu (grubości 0,3–0,5 m), uznana za wydzielenie dolomitu głównego (Ca2). Ponad dolomitem w normalnym następstwie na odcinku ponad 17 m występuje kompleks szarego anhydrytu (ryc. 4A i 5A), słabo równolegle laminowanego (nachylenie tektoniczne 65–70°), określonego jako anhydryt podstawowy (A2).

Przebadany profil kończy z ostrą granicą w spągu seria soli kamiennej grubości ok. 4 m (ryc. 5A), białej, średnio-kryształicznej, silnie spękanej, smugowanej równolegle skupieniami anhydrytu (tektoniczne nachylenie systemu smug 50–60° ku NE). Sól tę uznano na podstawie podobieństwa do otaczających omawiany profil chlorków za wydzielenie starszej soli kamiennej (Na2) i zapewne reprezentuje ona fragment spągowej części profilu tego wydzielenia.

Z utworów solnych występujących w profilu pobrano 11 próbek (ryc. 4A i 5A; tab. 1), w tym 7 próbek z utworów najstarszej soli kamiennej (Na1) i 4 próbki z wydzielenia

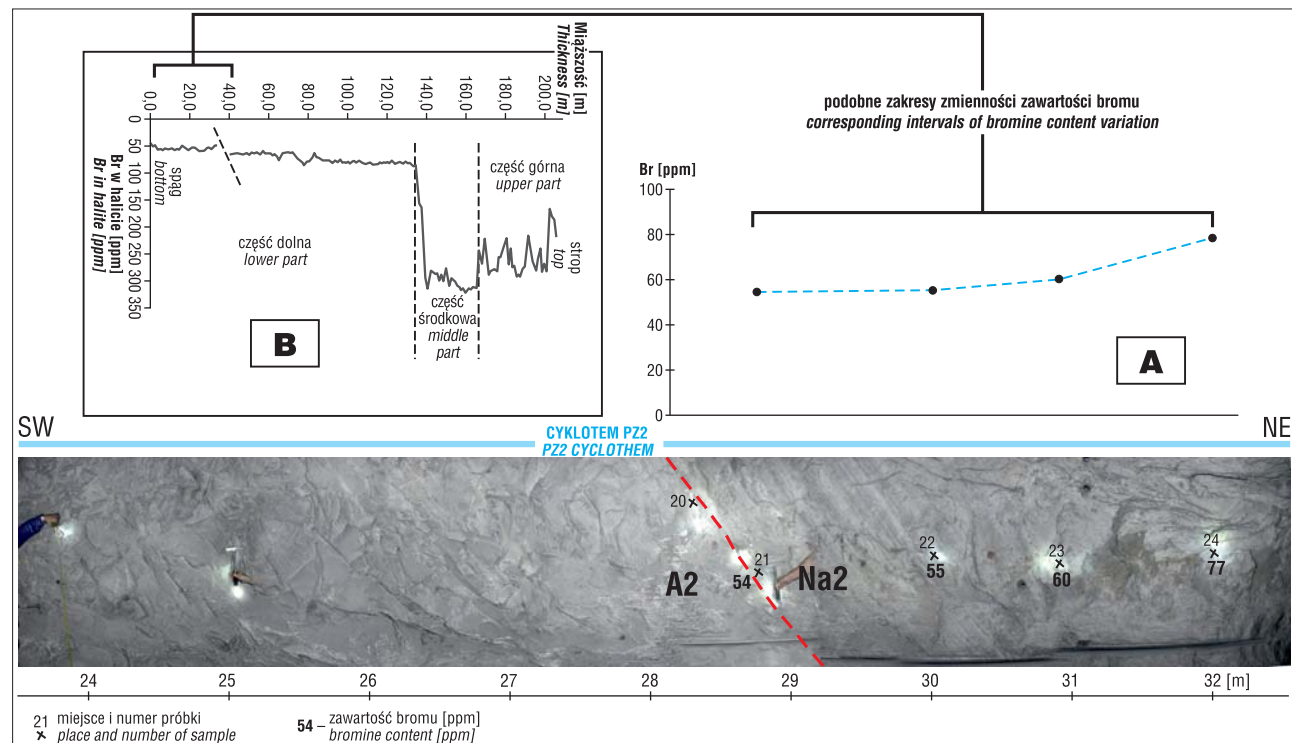
starszej soli kamiennej (Na2). W Centralnym Laboratorium Chemicznym PIG-PIB z próbek tych sporządzono prasowane preparaty proszkowe i oznaczono zawartość bromu, wykorzystując spektrometr fluorescencji rentgenowskiej (WD-XRF) model PW 2400 firmy Philips. Precyzja tej metody oznaczania, wyrażona błędem względnym, wynosi dla bromu ok. 3%.

Wyniki oznaczeń wskazują, że przebadane utwory najstarszej soli kamiennej (Na1) charakteryzuje względnie stała zawartość bromu, zmieniająca się w granicach 81–86 ppm (ryc. 4A; tab. 1). Natomiast w opróbowanym odcinku profilu starszej soli kamiennej (Na2) jest widoczny stopniowy wzrost udziału bromu od 51 ppm w partii dolnej do 77 ppm w górnej części profilu soli (ryc. 5A; tab. 1).

Podobne przedziały i rozkład zawartości bromu są charakterystyczne dla stropowej części standardowego profilu bromowego, opracowanego dla utworów najstarszej soli kamiennej w Polsce (ryc. 4B) oraz dla partii spągowej podobnego profilu dla starszej soli kamiennej (ryc. 5B – por. Tomassi-Morawiec i in., 2009). Podobieństwa te (ryc. 4 i 5) wydają się potwierdzać prawidłowe określenie pozycji stratygraficznej obu badanych soli.

Należy jednak podkreślić, że w opisanym profilu zarejestrowano jedynie fragmenty – odpowiednio stropową i spągową część – obu wydzielen solnych, nie zaś kompletne ich sukcesje, stąd możliwa wycinkowość interpretacji danych bromowych w stosunku do wspomnianych profili standardowych.

Wyniki badań pozwalają uściślić obraz budowy wewnętrznej NE części wysadu kłodawskiego. Przypuszczal-



**Ryc. 5.** Fragment przebadanego profilu z utworami ewaporatowymi dolnej części cyklotemu PZ2 na poziomie –650 m w Kopalni Soli Kłodawa S.A. z wynikami oznaczeń zawartości bromu (A) oraz odpowiadający im odcinek standardowego profilu bromowego (B) w utworach solnych cyklotemu PZ2 w Polsce (wg Tomassi-Morawiec i in., 2009). Objasnienia jak na ryc. 2; 21 x – miejsce i numer pobranej próbki, 54 – zawartość bromu [ppm]

**Fig. 5.** Part of the studied section with evaporites of the lower part of the PZ2 cyclothem at the level –650 m in the Kłodawa Salt Mine, including bromine content data in salt (A) and the equivalent interval of standard bromine curve for PZ2 chlorides (B) in Poland (after Tomassi-Morawiec et al., 2009). For explanations see Fig. 2; 21 x – sampling site and sample number, 54 – bromine content [ppm]

**Tab. 1.** Zawartość bromu w badanych solach kamiennych cyklotemów PZ1 i PZ2 w Kopalni Soli Kłodawa S.A.**Tab. 1.** Bromine content in the rock salts of the PZ1 and PZ2 cyclothems in the Kłodawa Salt Mine

Wydzielenie litostratigraficzne <i>Lithostratigraphic unit</i>	Nr próby <i>Sample number</i>	Zawartość bromu <i>Bromine content</i> [ppm]
Najstarsza sól kamienna <i>Oldest Halite</i> (Na1)	1	85
	2	84
	3	82
	4	86
	5	86
	6	85
	7	81
Starsza sól kamienna <i>Older Halite</i> (Na2)	21	54
	22	55
	23	60
	24	77

nie opisane utwory najstarszej soli kamiennej (Na1) wraz z anhydrytem górnym (A1g) stanowią fragment łuski bądź intruzji starszych osadów, reprezentujących cyklotem PZ1, wciśniętych w sfałdowany – wraz ze starszymi skałami ilasto-węglanowo-siarczanowymi – kompleks starszej soli kamiennej (Na2) cyklotemu PZ2 (ryc. 2A). Taka interpretacja wpisuje się w pogląd o bardzo złożonej budowie tzw. antyklin brzeżnych wysadu, a szczególnie tzw. antykliny północnej, uformowanych głównie z wielokrotnie prze-fałdowanych utworów najstarszej i starszej soli kamiennej (ryc. 2B). W świetle tej koncepcji budowy tektonicznej należy oczekiwać występowania najstarszych utworów chlorkowych cechsztynu w większej skali w miarę prowadzenia eksploatacji na coraz niższych poziomach – w tym również w środkowej części pnia wysadu – skoro coraz więcej danych świadczy o ich obecności na płytszych poziomach eksploatacyjnych.

### WNIOSKI

Profil przebadany w kłodawskim wydziele solnym, w wyrobisku Kopalni Soli Kłodawa S.A. na poziomie –650 m, dokumentuje obecność w płytszych partiach wysadu utworów chlorkowych (wydzielenie najstarszej soli kamiennej) i siarczanowych (wydzielenie anhydrytu górnego) cyklotemu PZ1 cechsztynu, których występowanie było przez wiele lat przedmiotem dyskusji.

Wspomniane utwory tworzą zapewne łuskę bądź intruzję osadów cyklotemu PZ1, wciśniętych w sfałdowany – wraz rozpoczynającymi profil cyklotemu PZ2 skałami ilasto-węglanowo-siarczanowymi – kompleks starszej soli kamiennej. Taka interpretacja uściśla obraz bardzo złożonej budowy tzw. antyklin brzeżnych wysadu, a szczególnie tzw. antykliny północnej, którą tworzą głównie utwory najstarszej i starszej soli kamiennej.

Autorzy dziękują panom: Romanowi Chęcińskiemu i inż. Arkadiuszowi Wiśniewskiemu z Działu Geologicznego Kopalni Soli Kłodawa S.A. oraz inż. Tadeuszowi Szyrakowi z PIG-PIB za

pomoc w profilowaniu i poborze próbek oraz udostępnienie materiałów archiwalnych. Osobne podziękowania składamy recenzentowi pracy, dr. inż. Jackowi Wachowiakowi, niegdyś wieloletniemu geologowi tejże kopalni, za cenne uwagi odnośnie wykształcenia i stratygrafii badanych utworów.

### LITERATURA

- BURLIGA S. 1996 – Kinematics within the Kłodawa salt diapir, central Poland. [W:] Alsop G.I., Blundell D.J., Davison I. (eds), Salt Tectonics. Geol. Soc. Spec. Publ., 100: 11–21.
- BURLIGA S. 1997 – Ewolucja wysadu solnego Kłodawy. Mat. konf. pt. Tektonika solna regionu kujawskiego. Uniejów, 23–25.10.1997. WIND, Wrocław: 1–14.
- BURLIGA S. 2010a – Interpretacja szczegółowej budowy geologicznej wysadu solnego w rejonie bloku anhydrytu występującego w polu nr 2 oraz określenie zagrożenia dla potencjalnych stref zawadnienia i nasycenia gazem w badanym obszarze. Arch. Kopalni Soli Kłodawa.
- BURLIGA S. 2010b – Litofacjalne zróżnicowanie najstarszej soli kamiennej w wydziele solnym Kłodawy. [W:] Rotnicka J., Szczuciński W., Kolasińska K., Jagodziński R., Jasiewicz J. (red.), Teraźniejszość Kluczem do Przeszłości: Współczesne Procesy Sedymentacyjne i ich Zapis Kopalny. IV Polska Konferencja Sedymentologiczna – POKOS'4, Smóldzino, 21–26.06.2010. Streszczenia referatów i posterów, przewodnik do wycieczek: 73.
- BURLIGA S. 2010c – Czy najstarsza sól kamienna występuje w wydzielach solnych w Polsce? XV Międzynarodowe Sympozjum Solne pt. Potencjał gospodarczy polskiego górnictwa solnego – stan obecny i perspektywy rozwoju. Świeradów Zdrój, 21–22.10.2010 r.: 68–69.
- BURLIGA S., KOLONKO P., MISIEK G., CZAPOWSKI G. 1995 – Kłodawa Salt Mine. Upper Permian (Zechstein) profile from basin center, salt tectonics, mineral transformations, salt mining problems. XIII International Congress on Carboniferous-Permian Guide to Excursion A3. Państw. Inst. Geol.: 45–54.
- CHARYSZ W. 1973 – Cechsztyńskie piętro soli młodszych (Z3) w regionie kujawskim. Pr. Inst. Geol., 75: 1–68.
- CZAPOWSKI G., ALEKSANDROWSKI P., JAROSIŃSKI M. 2017 – Struktury solne, 1:5000 000. [W:] J. Nawrocki i A. Becker (red.), Atlas geologiczny Polski. Państw. Inst. Geol.
- CZAPOWSKI G., SADOWSKI A., MISIEK G., KOLONKO P. 2005 – Możliwości niekonwencjonalnego wykorzystania walołów przyrodniczych i technicznych kopalni soli Kłodawy. Tech. Posz. Geol., Geosynoptyka i Geotermia, 234–235 (4–5): 35–47.
- KRZYWIEC P. 2004 – Triassic evolution of the Kłodawa salt structure: basement-controlled salt tectonics within the Mid-Polish Trough (Central Poland). Geol. Quart., 48 (2): 123–134.
- KRZYWIEC P. 2006 – Structural inversion of the Pomeranian and Kuivian segments of the Mid-Polish Trough – lateral variations in timing and structural style. Geol. Quart., 50 (1): 151–168.
- KRZYWIEC P. 2009 – Geneza i ewolucja wybranych struktur solnych z obszaru Niżu Polskiego w świetle danych sejsmicznych. Prz. Geol., 57 (9): 812–818.
- KUCIA Z. 1970 – Nowe człony stratygraficzne cechsztynu w kopalni Kłodawa. Prz. Geol., 18 (7): 345–346.
- MAZUREK S., BURLIGA S., WIŚNIEWSKI A., STASZCZAK W., MISIEK Ł., KURDEK D., BARTŁOMIEJCZAK G. 2016 – Dodatek nr 2 do Dokumentacji geologicznej złoża soli kamiennej Kłodawy 1. Kłodawa. Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol. [3420/2017].
- MISIEK G. 1997 – Stratygrafia i wykształcenie utworów cechsztynu w wydziele solnym Kłodawy. Mat. konf. pt. Tektonika solna regionu kujawskiego, Uniejów, 23–25.10.1997. WIND, Wrocław: 20–23.
- TOMASSI-MORAWIEC H., CZAPOWSKI G., BORNEMANN O., SCHRAMM M., MISIEK G. 2009 – Wzorcowe profile bromowe dla solnych utworów cechsztynu w Polsce. Gosp. Sur. Miner., 25 (2): 75–143.
- WAGNER R. 1994 – Stratygrafia i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niżu Polskim. Pr. Państw. Inst. Geol., tom 146: 1–71.
- WERNER Z. 1959 – Dokumentacja geologiczna złoża soli potasowo-magnezowych i soli kamiennej w Kłodawie. 1–58. Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol. [3928/370, 13226].
- WERNER Z. 1962 – Dokumentacja geologiczna złoża soli potasowo-magnezowych i soli kamiennej w kłodawskim wydziele solnym. 1–58. Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol. [3927/209, 1919].
- WERNER Z., POBORSKI J., ORSKA J., BĄKOWSKI J. 1960 – Złoże solne w Kłodawie w zarysie geologiczno-górnictwym. Pr. Inst. Geol., 30: 467–512.

Praca wpłynęła do redakcji 8.02.2018 r.  
Akceptowano do druku 19.03.2018 r.