



Nowe dane o budowie geologicznej wysadu solnego Lubień. Część I – interpretacja danych geofizycznych

New data on the geological structure of the Lubień Salt Dome. Part I - interpretation of geophysical data

Jacek Wachowiak¹, Paweł Roman²

¹ Geosalt - Badania i Ekspertyzy Geologiczne Ziół Soli, ul. Rzepichy 42, 30-240 Kraków, e-mail: geosalt@wp.pl.

² Orlen Upstream Sp. z o.o. (do 2019 r)

STRESZCZENIE

Wysad solny Lubień jest jedną z kilkadziesiąt struktur solnych występujących na Nizinie Polskiej. Został zidentyfikowany badaniami grawimetrycznymi, prowadzonymi w latach 1937-1950. Zalega w formie nieregularnego słupa solnego, zwężającego się wraz z głębokością. W przekroju poprzecznym wysad ma kształt koła o maksymalnej średnicy około 2,8 km. Wnętrze wysadu budują ewaporaty cechsztyńskiej serii solnej, które są przykryte czapą anhydrytowo-gipsowo-ilastą. W otoczeniu wysadu występują utwory jury górnej i środkowej, nad którymi zalegają osady paleogenu i neogenu oraz czwartorzędu.

W rejonie występowania wysadu odwiercono 31 otworów, z których 20 nawierciło serię solną. Zostały też wykonane liczne badania i pomiary geofizyczne.

Na podstawie danych z pomiarów sejsmicznych wykonanych w 2014 roku oraz ich reprocessingu i reinterpretacji w 2017 i 2018 roku, opracowano modele przestrzenne wysadu Lubień i zaktualizowano podstawowe parametry wysadu.

Słowa kluczowe: górny perm, cechsztyń, wysady solne, wysad solny Lubień, sejsmika, model 3D.

ABSTRACT

The Lubień Salt Dome is one of the several dozen salt structures found in the Polish Lowlands. It was identified by gravimetric research conducted in the years 1937-1950. It lies in the form of an irregular salt column, narrowing with depth. In its cross-section, the dome has a circular shape with a maximum diameter of about 2.8 km. The interior of the dome is built

by evaporates of the Zechstein salt series, which are overlain by an anhydrite-gypsum-clay cap-rock. In the vicinity of the dome there are Upper and Middle Jurassic formations over which Palaeogene, Neogene and Quaternary deposits.

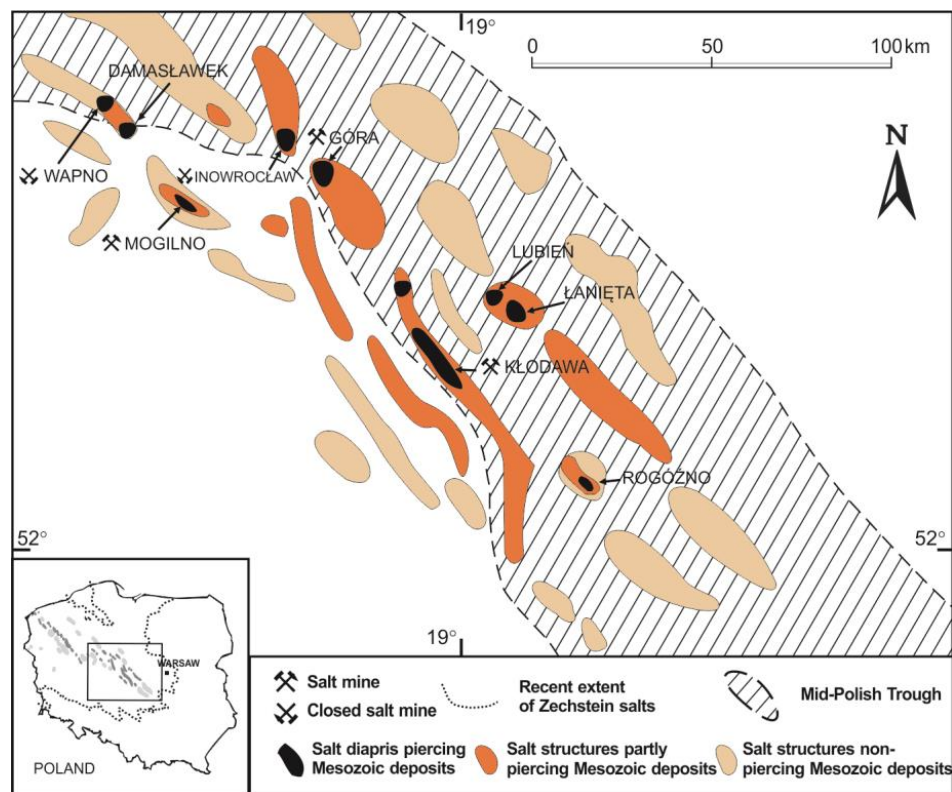
31 holes were drilled in the area of the dome, 20 of which drilled a series of salt. Numerous geophysical surveys and measurements were also made.

Based on the data from seismic measurements made in 2014 and their reprocessing and reinterpretation in 2017 and 2018, spatial models of the Lubień Salt Dome were developed and the basic parameters of the dome were updated.

Keywords: Upper Permian, Zechstein, salt dome, Lubień Salt Dome, seismic, 3D model.

WSTĘP

Wysad solny Lubień jest położony w centralnej Polsce, w południowym odcinku Wału Kujawsko-Pomorskiego (Ryc. 1; m. in. Werner 1961, Marek 1971, Marek i Znosko 1972, Orska 1979) i jest jedną z kilkadziesiąt struktur solnych, występujących na Nizinie Polskiej. Geograficznie znajduje się w obrębie mezoregionu Pojezierza Kujawskiego oraz Wysozczyzny Kłodawskiej (Kondracki 2013). Obszar ten znajduje się na granicy oddziaływania zlodowacenia północnopolskiego i ma charakter nizinny. Deniwelacje powierzchni ponad strukturą solną Lubienia sięgają kilku metrów. Wysad solny Lubień i przylegający do niego wysad Łanięta zidentyfikowano w wyniku badań grawimetrycznych wykonanych w latach 1937-1950 (Janczewski 1955, Werner 1961). Wysady te nie były i nie są dotąd eksploatowane.

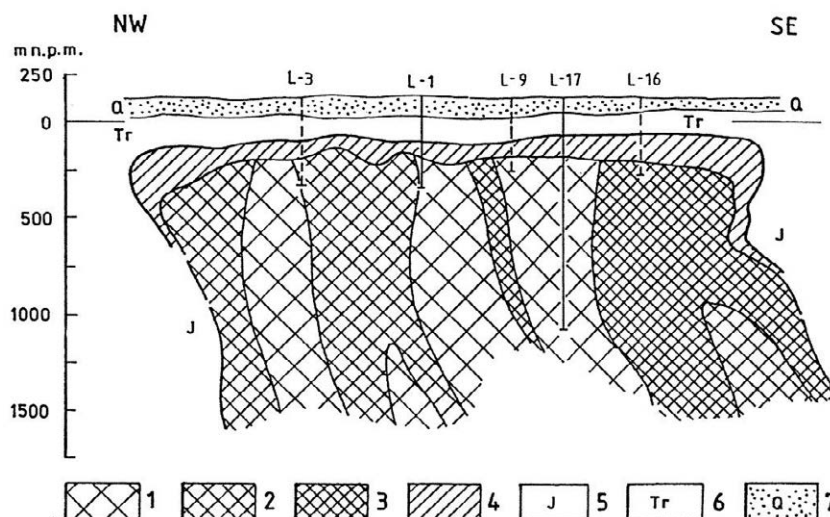


Ryc. 1. Rozmieszczenie struktur solnych w centralnej części Bruzdy Środkowo-Polskiej (wg: Garlicki, Szybist 1986; Dadlez i in. 1998, 2000; Wachowiak i in. 2012).

Fig. 1. Distribution of salt structures in the central part of the Mid-Polish Trough (from: Garlicki, Szybist 1986; Dadlez i in. 1998, 2000; Wachowiak i in. 2012).

Według dotychczasowych badań wysad Lubień w przekroju pionowym ma kształt słupa nieznacznie nachylonego w kierunku północno-zachodnim (m.in. Poborska 1980, Krzywiec 2009), (Ryc. 2). W planie poziomym wysad ma zarys kolisty o powierzchni około 2,6 km². Wnętrze wysadu budują skały ewaporatowe górnego permu – cechsztynu:

sole kamienne, sole potasowo-magnezowe, sole ilaste (zubry) i anhidryty. Utwory ewaporatowe przykryte są eluwalną zwierzeliną – tzw. czapą ilową, ilowo-anhidrytową i anhidrytowo-gipsową. W otoczeniu wysadu występują utwory jury górnej i środkowej, nad którymi zalegają osady paleogenu i neogenu oraz czwartorzędu.



Ryc. 2. Przekrój geologiczny przez wysad solny Lubień (wg Poborska 1980)

1 – sole starsze (PZ2), 2 – sole młodsze (PZ3), 3 – sole najmłodsze (PZ4), 4 – czapa ilowo-gipsowa + płaszcz anhidrytowy, J – jura, Tr – paleogen/neogen, Q – czwartorzęd.

Fig. 2. Geological cross-section across the Lubień Salt Dome (after Poborska 1980).

1 – Older Halite (PZ2), 2 – Younger Halite (PZ3), 3 – Youngest Halite (PZ4), 4 – Cap Rock, J – Jurassic, Tr – Paleogene/Neogene, Q – Quaternary.

AKTUALNY STAN ROZPOZNANIA
WYSADU SOLNEGO LUBIEŃ

Dotychczas w wysadzie solnym Lubień odwiercono 31 otworów badawczych z czego 20 otworów nawierciło serię solną (Tab. 1, Ryc. 3).

Na podstawie danych z 15 otworów wiertniczych, odwierconych w latach 50-tych, nawiercających serię solną, Państwowy Instytut Geologiczny w Warszawie opracował w 1956 roku pierwszą dokumentację geologiczną złoża w kategorii C2 (Werner 1956).

Na podstawie danych z kolejnych odwiertów, zwłaszcza głębokiego otworu L-17 oraz badań geofizycznych, w 1979 opracowano „Dokumentację geologiczną złoża soli kamiennnej w kat. C1 w wysadzie solnym Lubień” (Orska, 1979).

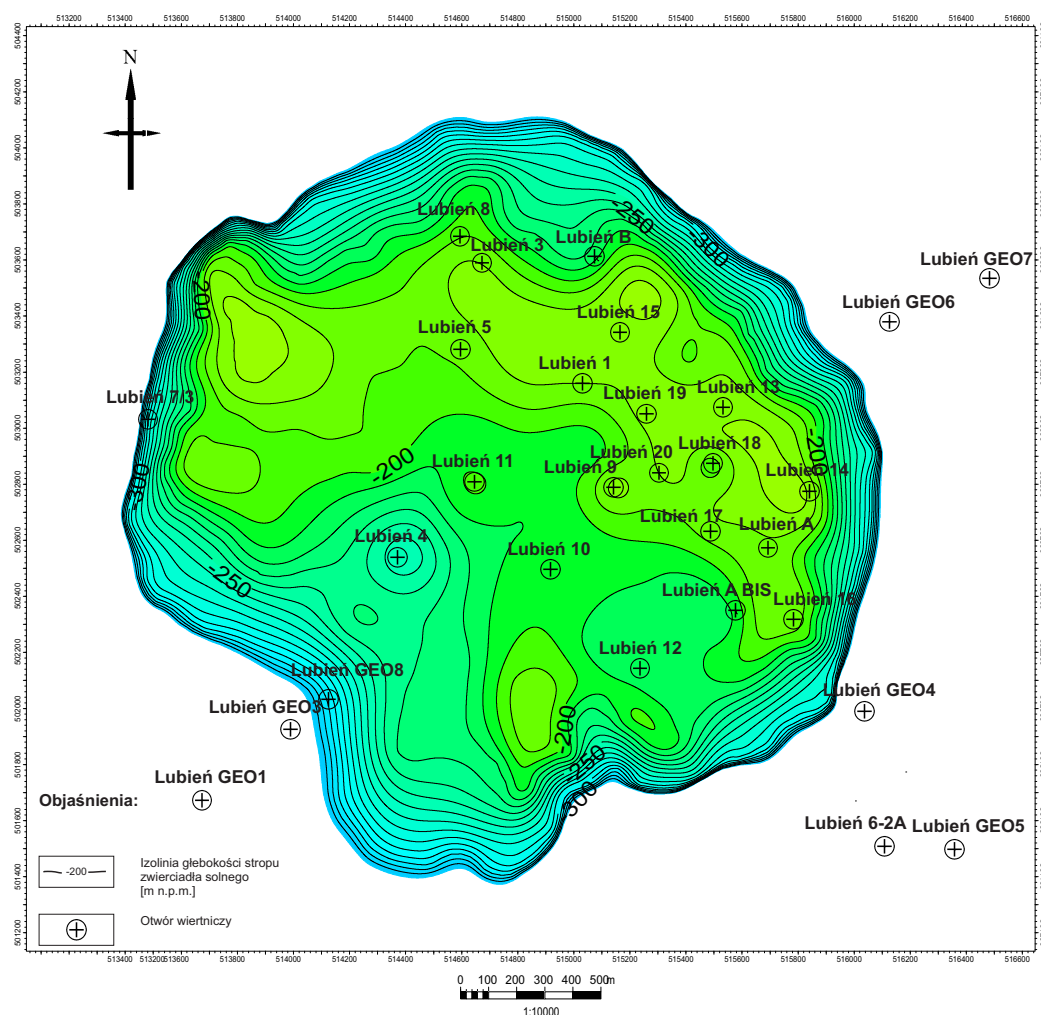
W latach 2014 – 2017, w ramach koncesji na rozpoznanie złoża Lubień, firma PKN Orlen S.A. odwierciła 3 nowe otwory badawcze: A, B i A’.

Otwór A, zlokalizowano w południowo-wschodniej, brzeżnej części wysadu i odwiercono kilka lat temu. Niestety z powodu awarii technicznej wiercenie zostało przerwane przed dowiezieniem się do serii solnej i już nie wznowione.

Tabela I. Wykaz otworów wiertniczych odwierconych w rejonie wysadu solnego Lubień.

Table I. List of boreholes drilled in the area of the Lubień Salt Dome.

lp.	Nazwa i nr otworu <i>Name and number of borehole</i>	Rok zakończenia wiercenia <i>Year of completion of drilling</i>	Rzędna otworu [m n.p.m.] <i>Borehole altitude [m a.s.l.]</i>	Górny perm [PZ]/ Upper Permian [P2]			
				Czapa wysadu <i>Cape rock</i>		Seria solna <i>Salt serie</i>	
				Głębokość stropu Depth of the top [m p.p.t.]	Mięszczość Thickness [m]	Głębokość stropu Depth of the top [m p.p.t.]	Mięszczość Thickness [m]
1	GEO1	1956	131	-	-	-	-
2	GEO2	1956	130	-	-	-	-
3	GEO3	1956	124	-	-	-	-
4	GEO4	1956	126	-	-	-	-
5	GEO5	1956	125	-	-	-	-
6	GEO6	1956	131	-	-	-	-
7	GEO7	1956	130.5	-	-	-	-
8	GEO8	1957	122	358	83.6	441.6	47.8
9	L-1	1955	127	217.6	89.4	307	154
10	L-2	1956	124	180.8	130.7	311.5	13.5
11	L-3	1956	125	213.8	81.9	305.9	144.1
12	L-4	1957	128	178.1	161.9	340	48.5
13	L-5	1958	127	151.5	163.2	314.7	116.8
14	L-6/2	1958	126	-	-	-	-
15	L-7/3	1958	129	-	-	-	-
16	L-8/1	1958	128	-	-	-	-
17	L-9	1978	124.85	220	83	303	76
18	L-10	1978	124	168	161	329	83
19	L-11	1978	125.1	179.4	144.6	324	54
20	L-12	1978	126.05	174	169	343	157
21	L-13	1977	130.19	202.5	102.5	305	52
22	L-14	1977	129.86	186	117	303	97
23	L-15	1978	128.83	175	132	307	78
24	L-16	1977	127.75	175.5	138.5	314	78
25	L-17	1979	124.6	182	126	308	894
26	L-18*	1979	125.79	174.5	129.5	304	896
27	L-19*	1980	125.4	190	117	307	693
28	L-20*	1981	126.6	182	126.2	308.2	879.8
29	Lubień A	2014	128.6	200	126	-	-
30	Lubień A bis	2017	124.66	164	166.5	330.5	1594.5
31	Lubień B	2014	129.1	176	157	333	617



Ryc. 3. Mapa strukturalna zwierciadła solnego wysadu Lubień.

Fig. 3. Structural map of the salt mirror: Lubień Salt Dome.

Otwór B zlokalizowano w północno-wschodnim obrzeżeniu wysadu (Ryc. 3). Jego celem było okonturowanie wysadu od strony północno-wschodniej, w szczególności stwierdzenie występowania tzw. przewieszki ściany wysadu (wkłknięcia wysadu), którą to przewidywali geolodzy z firmy Chemkop z Krakowa. Otwór odwiercono do około 900 metrów i przewieszki nie stwierdzono. Cały otwór wiercono w serii solnej o złej jakości surowca (duży udział soli ilastych i anhydrytów). Petrologia niektórych przewierconych skał, zwłaszcza na głębokości 470-540 m, wskazywała na bliskość granicy wysadu ale szczegółowych badań nie wykonano.

Otwór A' (A bis) zlokalizowano, podobnie jak otwór A, w południowo-wschodniej części wysadu (Ryc. 3). Otwór odwierciła firma G-Drilling z Warszawy do głębokości 1920 m. Wiercenie zakończono w kwietniu 2017 roku. Nadzór inwestycyjny nad wierceniem sprawował Dział Mierniczo-geologiczny IKS Solino S.A. Otwór nawiercił skały serii solnej nie najlepszej jakości, w szczególności dużo bloków anhydrytu. Nie natrafiono na miększe warstwy czystych, litych soli kamiennych Na₂, w których można by ługować kawerny magazynowe.

Na podstawie danych z Dokumentacji Geologicznej z 1979 roku oraz nowo odwierconych otworów, zespół geologów z 3 firm: Geosalt, OBRGSChem Chemkop i Orlen Upstream (G.K. Orlen) opracował w 2018 r. Dodatek nr 1 do Dokumentacji Geologicznej złoża Lubień, który został zatwierdzony przez Ministerstwo Energii pod koniec 2018 roku.

W dokumentacji przedstawiono m. in. reinterpretację danych geofizycznych do stworzenia modelu przestrzennego wysadu.

METODYKA I PRZEBIEG BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

a) pomiary grawimetryczne

W wyniku badań grawimetrycznych wykonanych w latach 1937-1950 zidentyfikowano wysad solny Lubień i Łanięta (Werner, 1961). W latach 1939-1945 wyznaczono kontury wysadu solnego Lubień na podstawie pomiarów wagą skręceń, które uzupełniono pomiarami grawimetrycznymi w 1947 r. W 1950 wykonano mapę anomalii siły ciężkości w skali 1:25 000 (Niewiarowski, 1950). W 1977 Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauki o Ziemi przeprowadziło badania grawimetryczne uszczegółwiające te dane.

b) pomiary sejsmiczne

W 1953 r. przeprowadzono pierwsze prace sejsmiczne w rejonie wysadu, wykonano dwa profile refrakcyjno-refleksyjne o kierunku SW-NE. W 1955 r. Zakład Złóż Soli Instytutu Geologicznego wykonał kolejne cztery profile sejsmiczne, co przyczyniło się do wstępnego okonturowania wysadów Lubień i Łanięta.

W 1961 r. wykonano profil sejsmiczny „Kłodawa - Lubień”.

W 1978 r. wykonano prześwietlenie sejsmiczne z wykorzystaniem głębokiego otworu wiertniczego L-17 dla określenia granic wysadu solnego.

W roku 2007 na zlecenie PIG Warszawa wykonano cztery profile sejsmiczne wysokiej rozdzielczości o łącznej długości 34,2 km, w celu ustalenia prawidłowości występowania węgla brunatnego w nadkładzie i sąsiedztwie wysadów solnych Lubień i Łanięta oraz określenia przydatności takich badań do oszacowania parametrów występowania węgla brunatnego (Siupij 2007).

Kolejne badania geofizyczne wykonano w 2014 r. w ramach koncesji na rozpoznanie złoża Lubień, uzyskanej przez PKN Orlen S.A. Badania obejmowały wykonanie profilu sejsmicznego 2D (T0111814) o długości 10 km oraz zdjęcie sejsmiczne Lubień 3D o powierzchni pola wzbudzenia/odbioru 38,8 km². Prace terenowe, przetwarzanie danych i interpretacja zostały wykonane przez Geofizykę Toruń S.A.

Ze względu na niezadawalające wyniki przetwarzania danych sejsmicznych podjęto decyzje o wykonaniu reprocessingu i reinterpretacji zdjęcia sejsmicznego Lubień 3D. Reprocessing wykonała firma NovaSeis, a reinterpretacja została wykonana przez zespół ORLEN Upstream Sp. z o.o. na przełomie 2017 i 2018 roku.

WYNIKI BADAŃ

Na podstawie danych z otworów wiertniczych oraz interpretacji pomiarów geofizycznych opracowano model przestrzenny oraz zaktualizowano podstawowe parametry wysadu:

Teren ponad wysadem

- teren płaski, równinny. Rzędne otworów wiertniczych wahają się od 122 m n.p.m. (otw. Geo 8) do 131 m n.p.m. (otw. Geo 1).

Kształt wysadu:

- izometryczny, zbliżony do kołowego o maksymalnej średnicy ok. 2,8 km. W głębszych partiach średnica się zmniejsza.

Powierzchnia wysadu :

- na głębokości 325 m p.p.t. (strop zwierciadła solnego) – 5 km²
- na głębokości 625 m p.p.t. (-500 m n.p.m.) – 5,74 km² (max.)

- na głębokości 1800 m p.p.t. – 4 km²
- na głębokości 4000 m p.p.t. – 2,49 km²

Czapa wysadu:

- głębokość stropu w centrum wysadu: od 151,5 m.p.p.t. (-24,5 m n.p.m.; otw. L-5) do 220 m p.p.t. (otw. L-9)
- głębokość stropu na obrzeżu wysadu: 358 m. p.p.t. (-236 m n.p.m.; otw. Geo 8)
- średnio: 178 m.p.p.t.
- miąższość czapy: od 81,9 m (otw. L-3) do 169 m w otworze L-12.

średnia z 21 otworów, którymi ją przewiercono = 129 m

Zwierciadło solne (Ryc. 3)

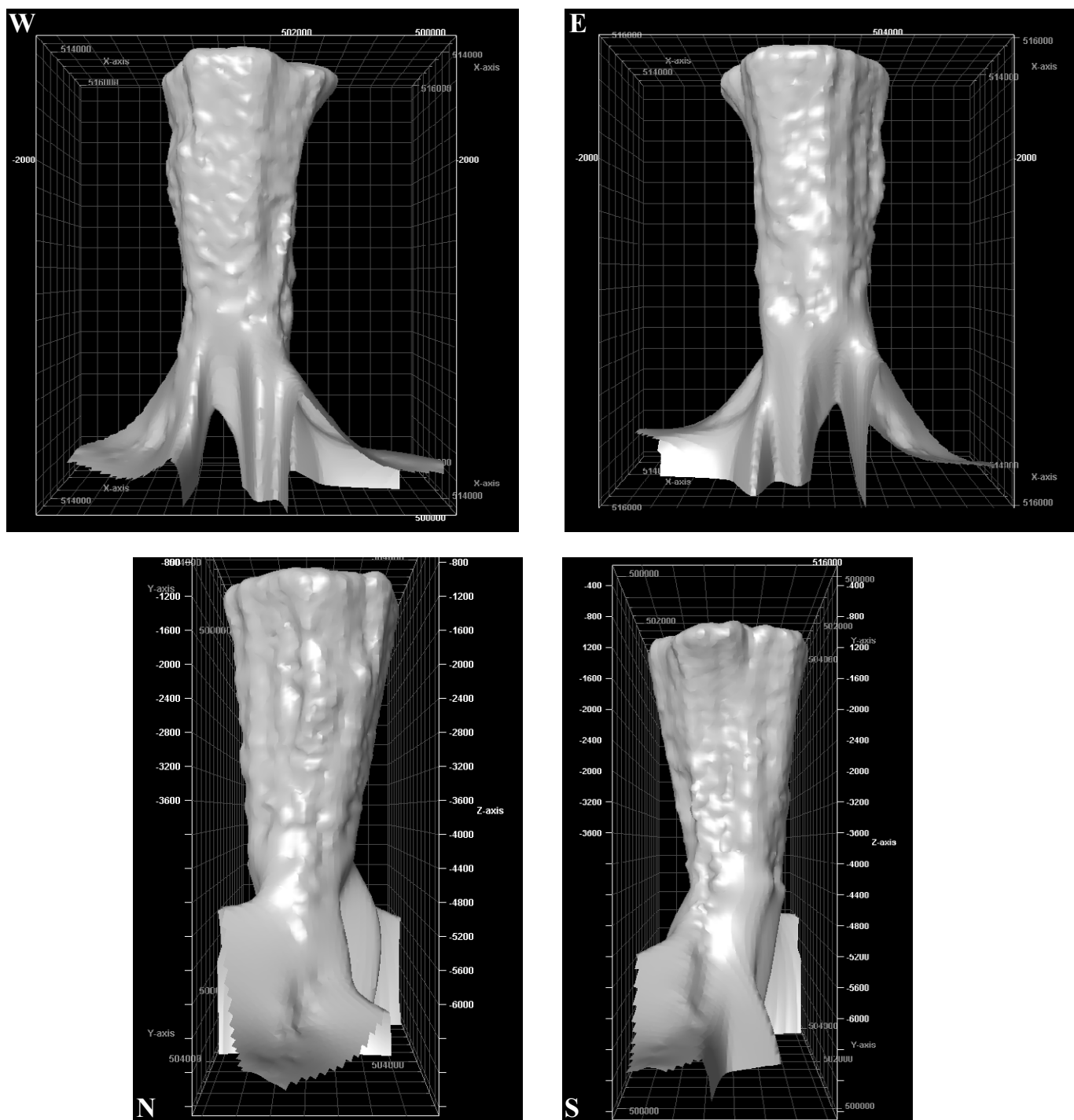
- głębokość od 303 m p.p.t. w centralnej części do 441,6 m.p.p.t. w brzeżnych partiach (otwór Geo 8)
- średnio: 325 m p.p.t.

Z pomiarów sejsmicznych wynika, że wysad Lubień ma kształt nieregularnego słupa, w formie maczugi, zwężającej się wraz z głębokością (Ryc. 4 W, E, N, S). Cała struktura jest lekko nachylona w kierunku południowo-zachodnim. W planie poziomym wysad ma kształt zbliżony do nieregularnego koła (Ryc. 3). Maksymalna rozciągłość w kierunku WE wynosi 2,75 km a w kierunku NS – 2,8 km. Powierzchnia wysadu jest zmienna w zależności od głębokości. Największy zasięg przestrzenny słupa solnego stwierdzono pomiarami geofizycznymi na głębokości 625 m p.p.t. (-500 m n.p.m.) – 5,74 km² a najmniejszy na głębokości około 4000 m p.p.t. – 2,49 km².

Na głębokości około 625 m p.p.t. następuje przegięcie wysadu i zaczyna się on zwężać w głąb, aż do 4000 m p.p.t. Głębiej wysad ponownie zaczyna się rozszerzać aż do połączenia z pierwotną strukturą poduszki Wojszyc. Jak wynika z pomiarów geofizycznych, wysad ze wszystkich stron ograniczony jest mniejszymi lub większymi przewieszkami. Największa przewieszka znajduje się na południowo-zachodniej krawędzi (SSW) i ma postać półokrągłego występu skalnego, ograniczonego dwoma małymi wcięciami w kierunkach WSW i SSE. Jest to wyraźnie uwidocznione na rycinie 5B. Przewieszka wystaje ok. 1,5 km od osi wysadu i ok. 650 m od najwęższego punktu ściany wysadu. Jej maksymalny zasięg jest na głębokości ok. 625 m p.p.t. Głębiej następuje przegięcie całej struktury a izoliny głębokościowe przewieszki stopniowo „chowają się”. Na głębokości ok. 1370 m p.p.t. przewieszka przestaje odznaczać się na ścianie wysadu.

WNIOSKI

Z interpretacji badań sejsmicznych oraz danych z nowo odwierconych otworów wynika, że forma, kształt i zaleganie wysadu solnego Lubień różni się od dotychczas przedstawianych obrazów. Przede wszystkim nie stwierdzono spodziewanej przewieszki na północno-zachodniej stronie wysadu. Zaprojektowany w tym rejonie otwór Lubień B,



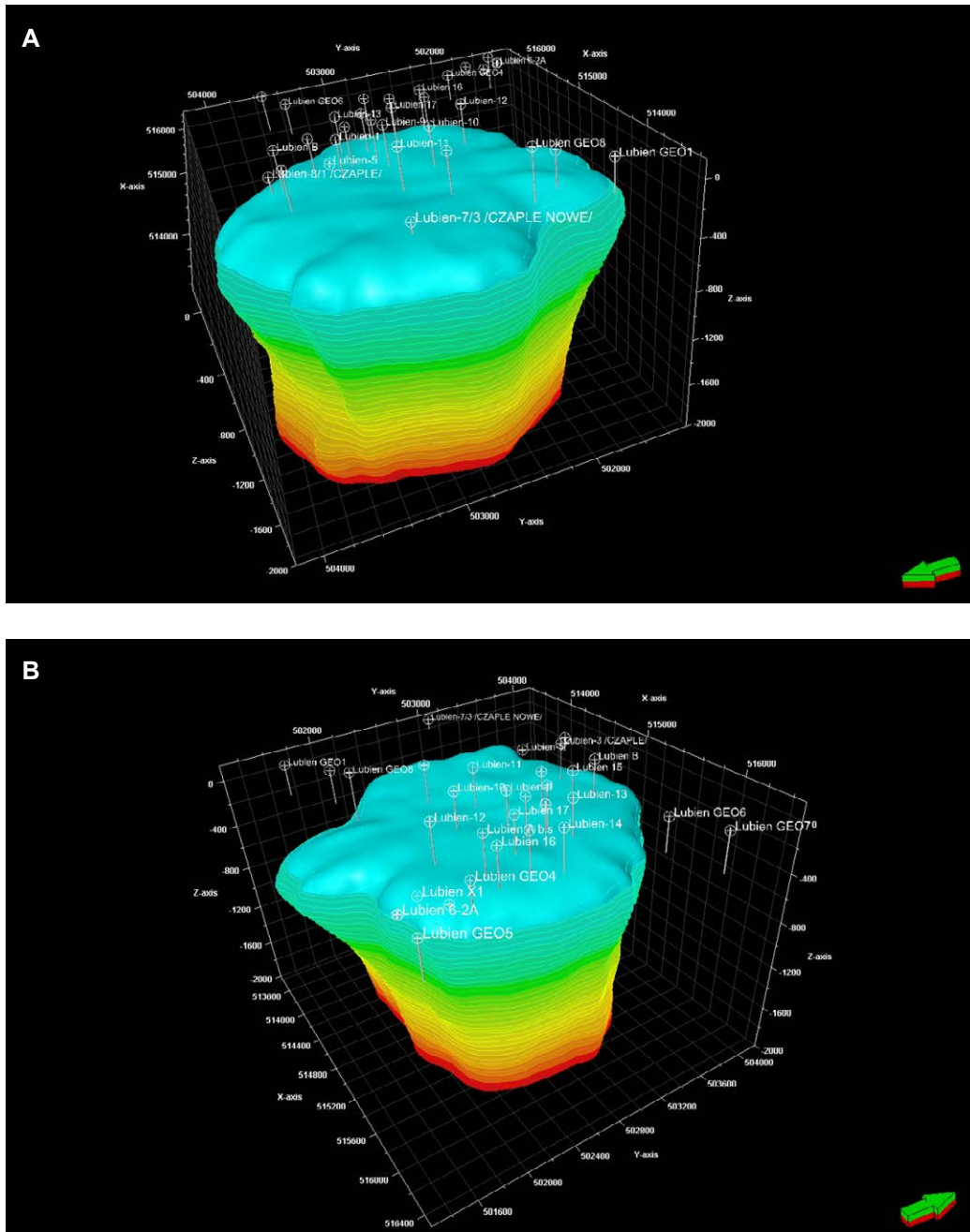
Ryc. 4. Obraz geofizyczny wysadu solnego Lubień do głębokości - 6000 m. W – widok od strony zachodniej, E – widok od strony wschodniej, N – widok od strony północnej, S – widok od strony południowej.

Fig. 4. Geophysical image of the Lubień Salt Dome to a depth of - 6000 m. W - view from the west side, E - view from the east side, N - view from the north side, S - view from the south side.

po przewierceniu czapy wysadu miał przewiercać skały serii solnej do głębokości około 500,0 – 700,0 m a następnie wejść w utwory otaczające wysad. Otwór został wykonany do głębokości 950 m i nie wyszedł poza wysad a tym samym nie potwierdził istnienia przewieszki. Taki kształt wysadu w tym rejonie potwierdziły również badania sejsmiczne. Należy tu jednak zaznaczyć, że w interwale głębokości 470-

540 otwór B przewiercił skały mułowcowe z domieszką gipsu, które mogłyby sugerować bliskość ściany wysadu lub samą granicę wysadu.

Istnienie wyraźnej przewieszki solnej badania sejsmiczne ujawniły natomiast na południowo-zachodniej ścianie wysadu SSW (Ryc. 4 W i 5 A,B), która kontynuuje się od czapy wysadu do głębokości około 1000 metrów.



Ryc. 5 A,B. Bryła wysadu solnego Lubień na podstawie interpretacji sejsmicznej, do głębokości - 2000 m (strzałka wskazuje północ).
Fig. 5. The geometry of the Lubień Salt Dome on the basis of a seismic interpretation, to a depth of - 2000 m (the arrow points to North).

Badania sejsmiczne nie potwierdziły nachylenia wysadu w kierunku NW, co wcześniej sugerowano w opracowaniach.

Należy na koniec dodać, że przedstawione obrazy i modele geofizyczne zostały opracowane na podstawie reprocessingu i reinterpretacji pomiarów sejsmicznych wykonanych w 2014 roku. W rejonie wysadu nie wykonano otworów konturujących, potwierdzających badania sejsmiczne. Zatem dane te, mimo niewątpliwego przyczynku do poszerzenia wiedzy o wysadzie Lubień, należy traktować z pewną dozą ostrożności, zwłaszcza te dotyczące poziomego zasięgu wysadu w interwale ewentualnej eksploatacji.

SUMMARY

The interpretation of seismic research and the data, collected from new boreholes, indicate that the form, shape, and location of the Lubień salt dome are different than the previous descriptions claimed. First of all, no rock overhang was found in the north-western side of the salt dome. The Lubień B borehole designed in that area was expected to drill through the cap and into salt series rocks, down to about 500-700 m, followed by entry into the salt dome's surrounding formations. Actually, the borehole was drilled down to 950 m, without leaving the salt dome. Consequently, the existence of the rock overhang was not confirmed. The shape of the salt dome

was confirmed also by seismic data in that area. However, we should mention that Borehole B was drilled through mudstone, with the admixture of gypsum, at the level of 470-540 m. That could suggest the proximity of the salt dome boundary or the salt dome boundary itself. The existence of a clear salt overhang was revealed by seismic testing rather in the south-western (SSW) wall of the salt dome (Figs. 4 W and 5 A, B) that stretches from the cap down to 1,000 m.

LITERATURA

- DADLEZ R., MAREK S., POKORSKI J. (red.), 1998. Atlas paleogeograficzny epikontynentalnego permu i mezozoiku w Polsce w skali 1:2 500 000. Wyd. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- DADLEZ R., MAREK S., POKORSKI J., 2000. Mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoiku 1: 1 000 000. Ministerstwo Środowiska i Państwowy Instytut Geologiczny. Wydawnictwo Kartograficzne Polskiej Agencji Ekologicznej, Warszawa.
- GARLICKI A., SZYBIST A., 1986. Osady salinarnie polskiego cechsztynu z solami potasowo-magnezowymi. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 2: 391-404.
- KONDRACKI J., 2013. Geografia regionalna Polski. Warszawa : Wydawnictwo Naukowe PWN.
- KRZYWIEC P., 2009. Geometria i ewolucja wybranych struktur solnych z obszaru Niżu Polskiego w świetle danych sejsmicznych. *Przegląd Geologiczny*, 57 (9): 812-818.
- JANCZEWSKI E.W., 1955. Zarys sejsmologii ogólnej i stosowanej. Wyd. Geologiczne Warszawa: 270-274.
- MAREK S., 1971. Przegląd cechsztyńskich struktur solnych na Niżu Polski środkowej. *Mat. Z kol. Inowrocław-Kłodawa*, 10-12 listopada. Wydawnictwa AGH.
- MAREK S., ZNOSKO J., 1972. Tektonika Kujaw. *Kw. Geol.*, 16 (1): 1-18.
- NIEWIAROWSKI J., 1950. Anomalie siły ciężkości na obszarze przypuszczalnych wysadów solnych Lubień-Łanięta. *Archiwum I.G. Warszawa*.
- ORSKA J., 1979. Dokumentacja geologiczna złoża soli kamiennej w kat. C1 w wysadzie solnym Lubień, NAG PIG-PIB Warszawa.
- POBORSKA K., 1980. Wysady solne Lubień i Łanięta w świetle nowych badań geologicznych. *Masz. Pr. Dypl. Arch. Zakładu Geol. Złóżowej i Górn. AGH, Wydz. GGiOŚ*.
- SIUPIJ J., 2007. Projekt badań sejsmicznych 2D dla rozpoznania złóż węgla brunatnych w rejonie wysadów solnych Lubień-Łanięta. *Archiwum PIG Warszawa*.
- WACHOWIAK J., PAWLIKOWSKI M., WILKOSZ P., 2012. Lithostratigraphy of Zechstein evaporites of the central and north-western parts of the Mogilno Salt Diapir, based on boreholes Z-9 and Z-17. *Geology, Geophysics & Environment*, 38 (2): 115-151.
- WERNER Z., 1956. Dokumentacja geologiczna złoża soli kamiennej w Lubieniu, NAG PIG-PIB Warszawa.
- WERNER Z., 1961. Wysad solny Łanięta na północo-zachód od Kutna. *Przegląd Geologiczny*. Vol 9, No 11. Warszawa.