

Geometria i ewolucja wybranych struktur solnych z obszaru Nizy Polskiego w świetle danych sejsmicznych

Piotr Krzywiac¹



Geometry and evolution of selected salt structures in the Polish Lowlands in the light of seismic data. Prz. Geol., 57: 812–818.

A b s t r a c t. Permo-Mesozoic Mid-Polish Trough formed eastern segment of the Southern Permian Basin, within which thick series of the Upper Permian (Zechstein) evaporites, including rock salt, have been deposited. During subsidence phase the presence of thick salt series led to regional decoupling between sub-salt basement and supra salt Mesozoic sedimentary cover, and to development of various salt structures. Evolution of salt pillows and diapirs was genetically related to activity of the basement fault zones. The Goleniów, Dzwonowo-Człopa, Damasławek, Mogilno, Kłodawa and Lubień salt diapirs have been analyzed using conventional seismic reflection data acquired during petroleum exploration, and — in case of Damasławek and Lubień diapirs — shallow high-resolution seismic data. Interpretation of available seismic data gave new insight into geometry of these salt structures, finally shaped during Late Cretaceous-Palaeogene inversion of the Mid-Polish Trough and partly modified during younger (Neogene-Quaternary) phases of their tectonic activity.

keywords: reflection seismics, salt diapirs, salt pillows, Mid-Polish Trough

Permsko-mezozoiczny basen polski tworzył wschodni segment systemu epikontynentalnych basenów osadowych zachodniej i centralnej Europy. Osady permu (łącznie z miąższymi cechsztyńskimi ewaporatami) i mezozoiku, zdeponowane w osiowej części basenu, zwanej bruzdą śródpolską, osiągnęły miąższość wielu kilometrów. W późnej kredzie–paleogenie bruzda śródpolska uległa inwersji (por. Dadlez, 1998; Scheck-Wenderoth i in., 2008). W trakcie rozwoju pomorskiego i kujawskiego segmentu bruzdy śródpolskiej duże znaczenie miała tektonika solna (szczegółowe omówienie i szerszy spis literatury — por. Krzywiac, 2002a, b, 2004). Obecność miąższych cechsztyńskich ewaporatów w spągu wypełnienia osadowego bruzdy śródpolskiej doprowadziła do występującego w regionalnej skali zjawiska mechanicznego odspojenia mezozoicznej pokrywy osadowej od podcechsztyńskiego podłoża oraz powstania uskoków, fałdów, a także poduszek i diapirów solnych, genetycznie związanych ze strefami uskokowymi (początkowo aktywnymi jako uskoki normalne, a następnie — na etapie inwersji basenu — jako uskoki odwrócone) w obrębie podłoża podcechsztyńskiego (Krzywiac, 2006a, b; Krzywiac i in., 2006).

W niniejszym artykule zostały zaprezentowane przykłady obrazu sejsmicznego wybranych struktur solnych położonych w różnych częściach bruzdy śródpolskiej (ryc. 1). Celem artykułu nie jest jednak szczegółowa analiza tektoniki solnej w rejonach, z których pochodzą poszczególne przykłady sejsmiczne, a jedynie krótkie omówienie oraz zilustrowanie różnic w wykształceniu i — bardzo ogólnie zarysowanej — ewolucji poszczególnych struktur solnych. Szczególną uwagę zwrócono na ostatnie etapy aktywności struktur solnych (późna kreda–kenozoik), gdyż te właśnie etapy mają największe znaczenie w analizach współczesnej i przyszłej aktywności tektonicznej struktur solnych, co z kolei ma kluczowe znaczenie w kontekście budowy podziemnych zbiorników na węglowodory

czy też składowisk materiałów radioaktywnych (por. Czapowski i in., 2006).

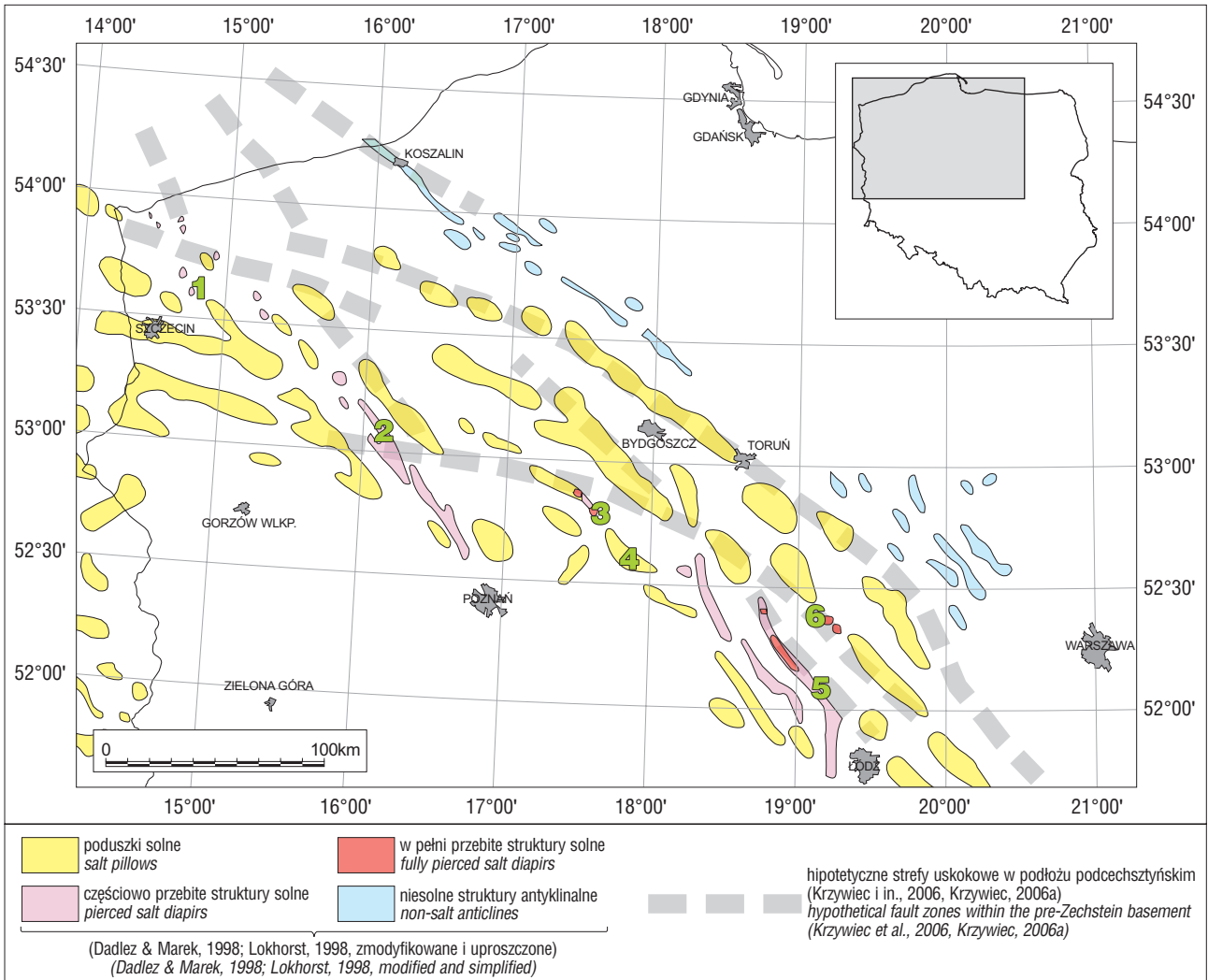
Dotychczas zaprezentowano wiele publikacji zawierających wyniki interpretacji danych sejsmicznych obrazujących struktury solne z Nizy Polskiego (np. Dadlez & Marek, 1969, 1974; Dziewińska i in., 2001; Dadlez, 2001, 2005; Wagner i in., 2002). Publikacje te pod wieloma względami się różnią, jednak można wskazać jeden ich wspólny mianownik — wysady solne wyinterpretowane na podstawie danych sejsmicznych w znakomitej większości mają dość regularne ściany, na ogół nieprzewieszane. Tego typu geometria struktur solnych jest po części odbiciem ich faktycznej budowy geologicznej, jednak w wielu przypadkach jest efektem innego podejścia autorów tych publikacji do problemu reaktywacji struktur solnych w kompresyjnym polu naprężeń, co w przypadku struktur solnych z obszaru Nizy Polskiego zaszło w trakcie inwersji bruzdy śródpolskiej (późna kreda–paleogen). Istotnym elementem jest również jakość danych sejsmicznych jako takich — wiele starszych publikacji było opartych na danych sejsmicznych istotnie gorszej jakości niż obecnie dostępne dane, wcześniej szczególnym problemem było poprawne obrazowanie bardzo stromych, pionowych bądź przewieszonych fragmentów struktur solnych. Nawet nowsze dane były jednak w niektórych przypadkach interpretowane w dość odmienny sposób, czego powodem było różne podejście do zagadnienia wpływu inwersji bruzdy na struktury solne (por. Dadlez, 2005; Krzywiac, 2006b, c).

Przyjęty tu ogólny model rozwoju struktur solnych na obszarze Nizy Polskiego zakłada ich inicjację i przynajmniej częściowy wzrost na etapie triasowo-jurajskiej ekstensji i subsydencji (por. Jackson & Vendeville, 1994; Withjack & Callaway, 2000; Dooley i in., 2005) oraz późnokredowo-paleogeńską reaktywację w trakcie kompresji i inwersji (por. Kockel, 2003; Hudec, 2004; Kukla i in., 2008).

Wybrane struktury solne w obrazie sejsmicznym

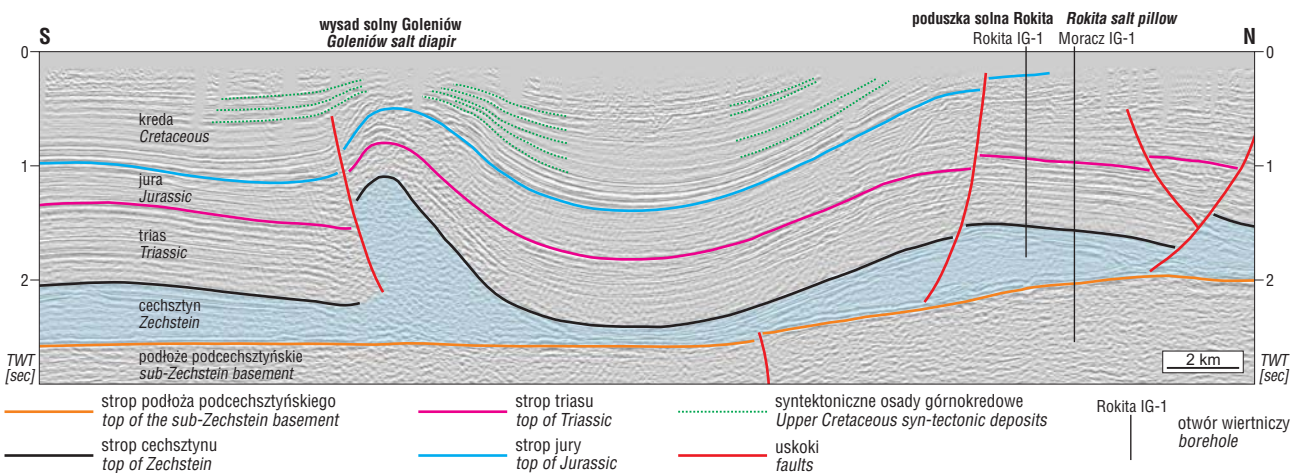
Wysad solny Goleniów (ryc. 2; por. Dadlez, 2001; Krzywiac, 2006a; Krzywiac i in., 2006) znajduje się w północno-zachodniej części bruzdy śródpolskiej, w pobliżu

¹Państwowy Instytut Geologiczny — Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; piotr.krzywiac@pgi.gov.pl



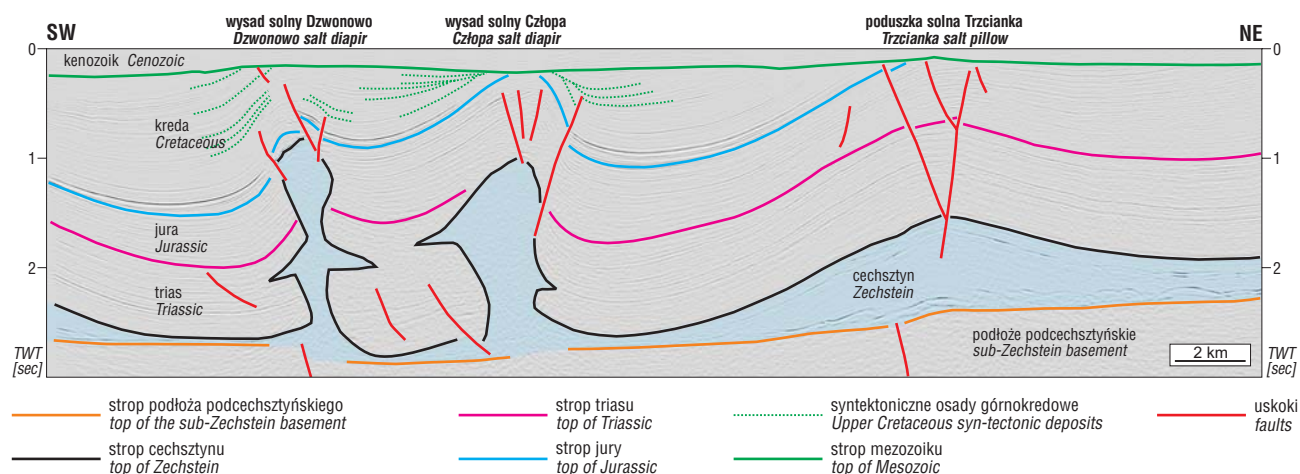
Ryc. 1. Struktury solne Nizżu Polskiego: 1 — wysad solny Goleniowa (ryc. 2), 2 — struktura solna Dzwonowo-Człopa (ryc. 3), 3 — wysad solny Damasławek (ryc. 4), 4 — wysad solny Mogilno (ryc. 5), 5 — wysad solny Kłodawa (ryc. 6), 6 — wysad solny Lubień (ryc. 7)

Fig. 1. Salt structures of the Polish Lowland: 1 — Goleniów salt diapir (Fig. 2), 2 — Dzwonowo-Człopa salt diapirs (Fig. 3), 3 — Damasławek salt diapir (Fig. 4), 4 — Mogilno salt diapir (Fig. 5), 5 — Kłodawa salt diapir (Fig. 6), 6 — Lubień salt diapir (Fig. 7)



Ryc. 2. Wysad solny Goleniów. Lokalizacja — patrz ryc. 1

Fig. 2. Goleniów salt diapir. See Fig. 1 for location



Ryc. 3. Wysady solne Dzwonowo-Człopa (Krzywiec, 2006b, zmodyfikowane). Lokalizacja — patrz ryc. 1
Fig. 3. Dzwonowo-Człopa salt diapirs (Krzywiec, 2006b, modified). See Fig. 1 for location

Szczecina, i ze względu na taką lokalizację jest on rozważany jako potencjalny kawernowy magazyn węglowodorów. Wysad ten jest strukturą asymetryczną, której południowo-zachodnia ściana została zinterpretowana jako oparta o uskoki odwrócony. Geometria wysadu Goleniów oraz lokalnie zredukowana miąższość utworów górnokredowych ponad jego szczytem wskazują na kompresyjną reaktywację wysadu w trakcie inwersji bruzdy śródpolskiej, podobnie jak w przypadku struktury solnej Oświno (Krzywiec, 2002b). Obserwowana istotna asymetria wysadu solnego Goleniów oraz dowody na jego stosunkowo niedawną aktywność tektoniczną sugerują, że konieczna jest szczegółowa analiza ewolucji geologicznej i obecnej stabilności geodynamicznej tego wysadu przed podjęciem decyzji o budowie podziemnego magazynu.

Struktura solna Dzwonowo-Człopa jest to skomplikowany system połączonych genetycznie wysadów (ryc. 3). Zaprezentowana interpretacja obrazuje strome, często przewieszane ściany obu wysadów oraz występowanie w obrębie utworów triasowych przewieszek solnych (por. Krzywiec, 2006b). Tego typu geometria, odmienna od przyjmowanej w innych modelach (Dadlez, 2001, 2005), jest zgodna z podobnymi interpretacjami struktur solnych z obszaru Niemiec (Kockel, 2003; Hudec, 2004; Kukła i in., 2008), wg których w triasie dochodziło do ekstruzji soli na dno zbiornika morskiego. Ekstruzje te były następnie zasypany przez młodsze osady, a cała powstała w ten sposób struktura solna uległa kompresyjnej reaktywacji (por. Kukła i in., 2008, fig. 5.3.8). Model ten odpowiada interpretacji zaproponowanej wcześniej dla wysadu Kłoda-wa (por. Krzywiec, 2004, fig. 7 i 8). Ponad obydwoma wysadami solnymi, w obrębie utworów górnej kredy, są wyraźnie widoczne lokalne niezgodności kątowe i redukcje miąższości, wywołane reaktywacją i wzrostem wysadów w trakcie inwersji bruzdy śródpolskiej (Leszczyński, 2002; Krzywiec, 2006b).

Wysad solny Damasławek (ryc. 4) jest zlokalizowany w ciągu struktur solnych o biegu NW-SE, do których należy również wysad Wapna (por. Jaworska & Ratajczak, 2008). Wysad Damasławek przebił się prawie do samej powierzchni, cechują go strome, częściowo przewieszane ściany (ryc. 4A). Widoczne w jego otoczeniu lokalne zmiany miąższości w obrębie utworów triasu i przede wszystkim jury dokumentują aktywność tej struktury solnej na etapie ekstensji i subsydencji bruzdy śródpolskiej. W otoczeniu wysadu Damasławek (ryc. 4A) nie rejestruje się zmian miąższości w obrębie utworów górnej kredy, jednak zaznaczają się one bardzo wyraźnie ponad poduszką solną Janowca. Tego typu zmiany miąższości utworów górnej kredy dokumentują późnokredowy etap aktywności tektonicznej w tym rejonie. Na rycinie 4B zaprezentowano płytki, wysokorozdzielczy profil sejsmiczny, wykonany ponad wysadem Damasławek w związku z planami lokalizacji w jego obrębie składowiska odpadów radioaktywnych (Krzywiec i in., 2000). Profil ten z dużą dokładnością obrazuje stropową część wysadu, jego kredowy (zachowany jedynie szczątkowo) i kenozoiczny nadkład. Obecna struktura stropu wysadu solnego Damasławek jest efektem mioceńskiej lokalnej subsydencji, której towarzyszyła depozycja węgla brunatnych, a następnie plioceńskiej i młodszej inwersji, połączonej z ostatnimi fazami wzrostu wysadu solnego (Jarosiński & Krzywiec, 2006; Jarosiński i in., 2009). Wysokorozdzielcze dane sejsmiczne świadczą, że wysad ten może być nadal aktywny i dlatego należy go poddać szczególnie skrupulatnym badaniom w związku z planami ulokowania w nim składowiska odpadów radioaktywnych.

Wysad solny Mogilno (ryc. 5; Sokołowski, 1966; Wilkosz, 2006) jest o tyle szczególną strukturą solną, iż w jego obrębie znajduje się czynna kopalnia soli oraz podziemny magazyn gazu. Na rycinie 5 jest pokazana południowo-

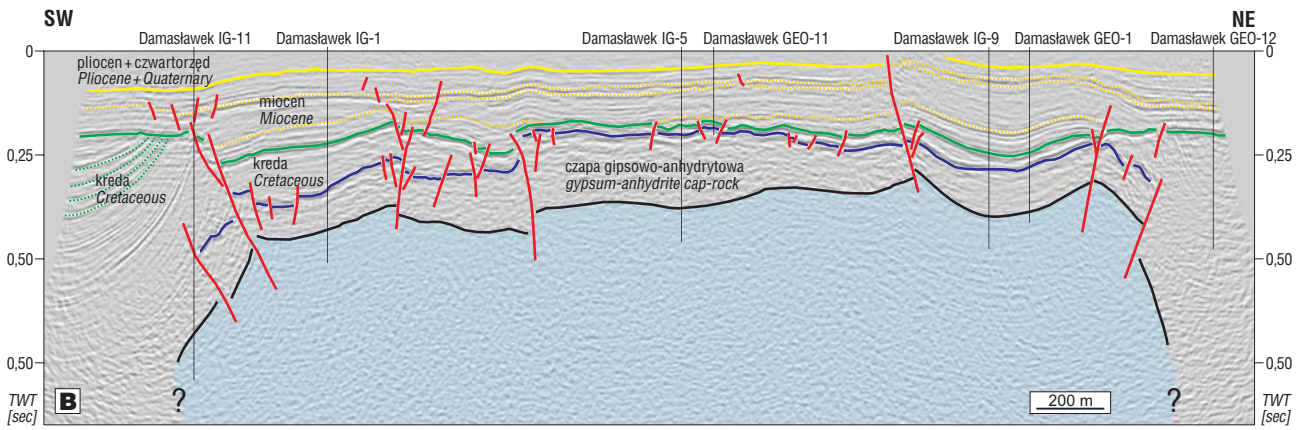
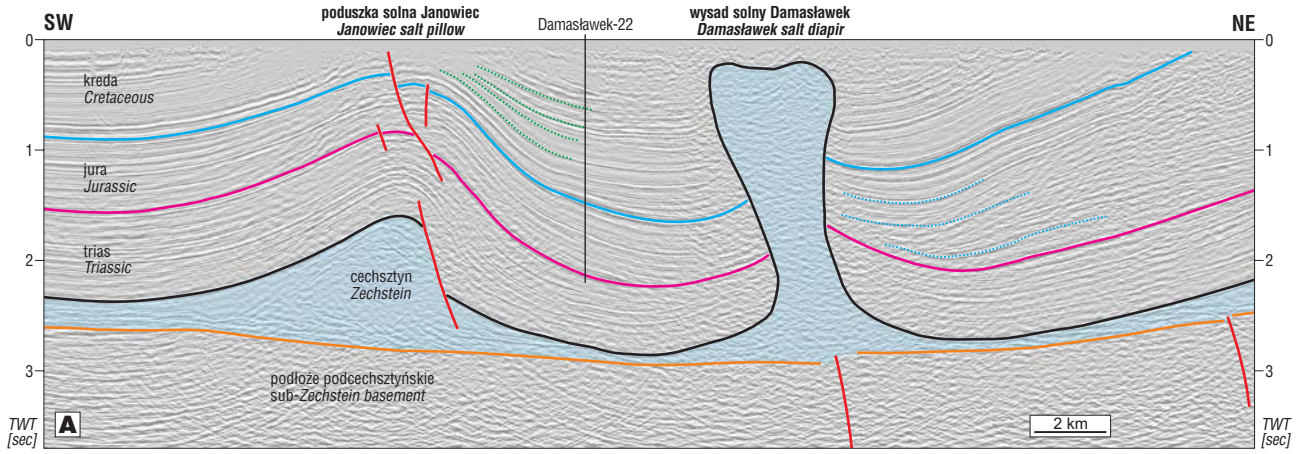
→

Ryc. 4. Wysad solny Damasławek (**A** — głęboki regionalny profil sejsmiczny, **B** — płytki wysokorozdzielczy profil sejsmiczny). Lokalizacja — patrz ryc. 1

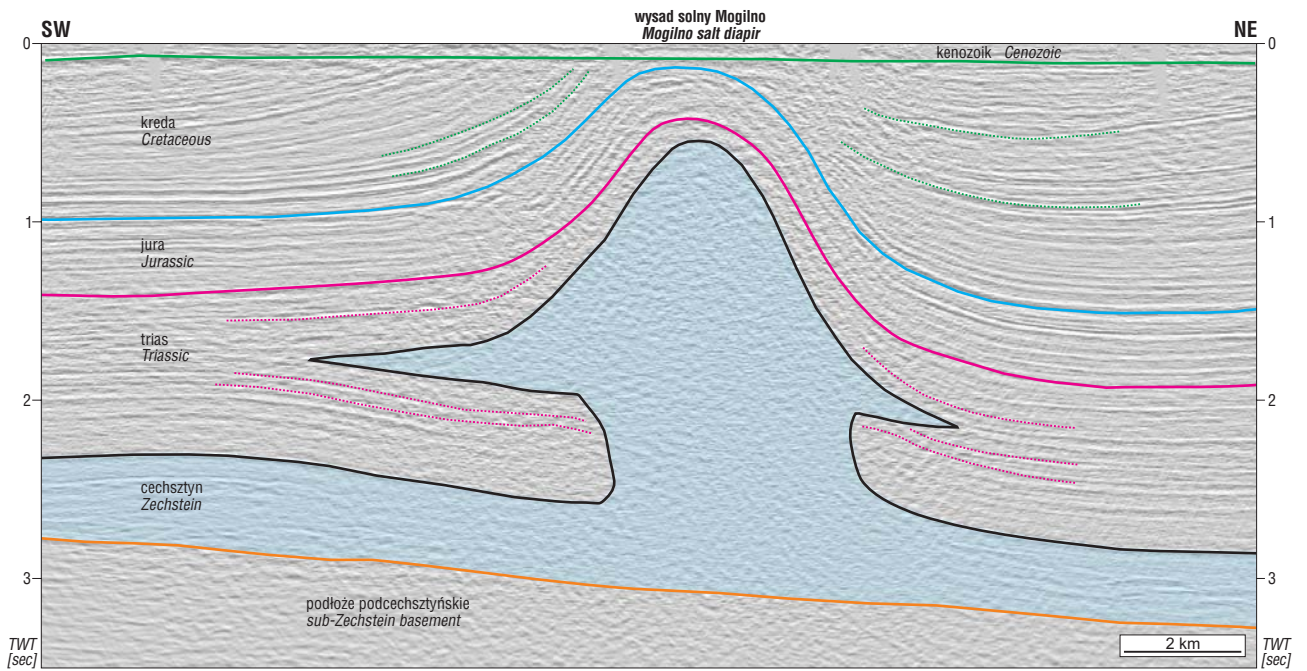
Fig. 4. Damasławek salt diapir (**A** — deep regional seismic profile, **B** — shallow high-resolution seismic profile). Location see Fig. 1

Ryc. 5. Wysad solny Mogilno. Lokalizacja — patrz ryc. 1

Fig. 5. Mogilno salt diapir. See Fig. 1 for location



- | | | |
|--|---|---|
| — strop podłoża podcechsztyńskiego
top of the sub-Zechstein basement | syntektoniczne osady jurajskie
syn-tectonic Jurassic deposits | pokłady mioceńskich węgla brunatnych
Miocene lignite seams |
| — strop cechsztyń
top of Zechstein | — strop jury
top of Jurassic | — strop miocenu
top of Miocene |
| — strop czapy anhydrytowo-gipsowej
top of the gypsum-anhydrite cap-rock | syntektoniczne osady górnokredowe
Upper Cretaceous syn-tectonic deposits | — uskoki
faults |
| — strop triasu
top of Triassic | — strop kredy
top of Cretaceous | |
- Damaslówek-22
otwór wiertniczy
borehole
- 4**



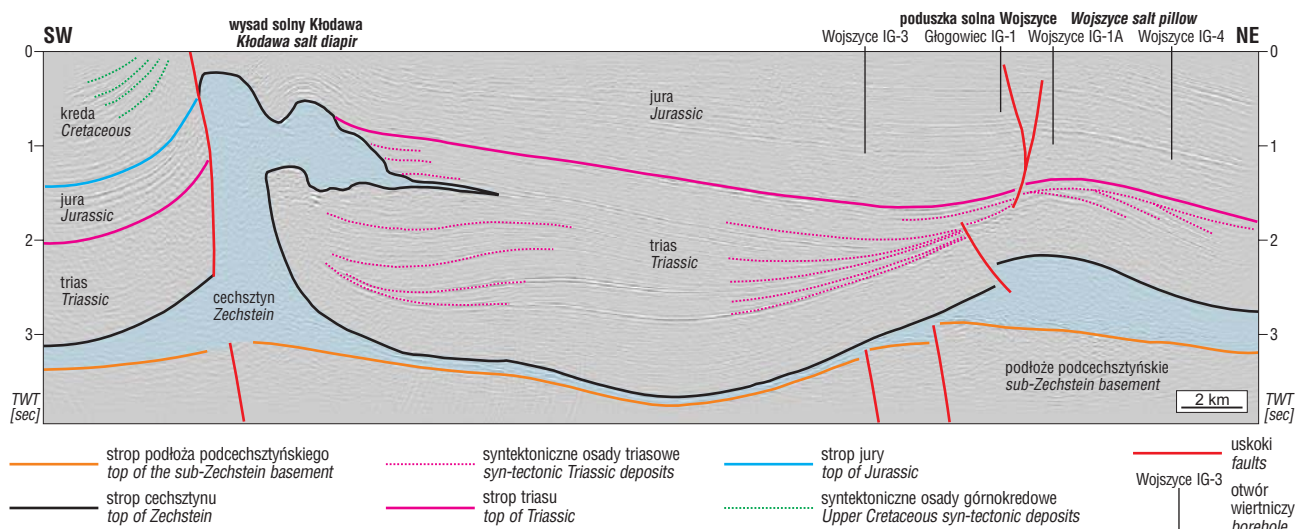
- | | | | |
|---|---|------------------------------------|---|
| — strop podłoża podcechsztyńskiego
top of the sub-Zechstein basement | syntektoniczne osady triasowe
syn-tectonic Triassic deposits | — strop jury
top of Jurassic | syntektoniczne osady górnokredowe
Upper Cretaceous syn-tectonic deposits |
| — strop cechsztyń
top of Zechstein | — strop triasu
top of Triassic | — strop kredy
top of Cretaceous | |
- 5**

-wschodnia część wysadu, zobrażowana na profilu sejsmicznym wykonanym w 1978 r. i poddanym reprocessin-gowi w 1997 r. Struktura solna Mogilno w tym fragmencie to częściowo przebitý wysad solny, przykryty od góry utworami najwyższego triasu i młodszymi. W porównaniu z innymi interpretacjami (Dadlez, 2001) na rycinie 5 jest widoczna jedna zasadnicza różnica — wysad Mogilno charakteryzuje się występowaniem przewieszek solnych, rozwinętych w obrębie utworów triasowych. Mechanizm ich powstania był zapewne podobny jak w przypadku struktury Drawno-Człopa i wiązał się z ekstruzją soli na dno zbiornika triasowego. Dane sejsmiczne nie są dobrej jakości, jednak rejestrują lokalne redukcje miąższości utworów górnej kredy w kierunku wysadu, co dowodzi jego reaktywacji w trakcie inwersji bruzdy śródpolskiej. W kenozoiku strop wysadu podlegał lokalnej subsydencji połączonej z depozycją węgla brunatnych (Wilkosz, 2006), chociaż centrum tej lokalnej strefy subsydencji znajdowało się na północny zachód od umiejscowienia omawianego profilu sejsmicznego.

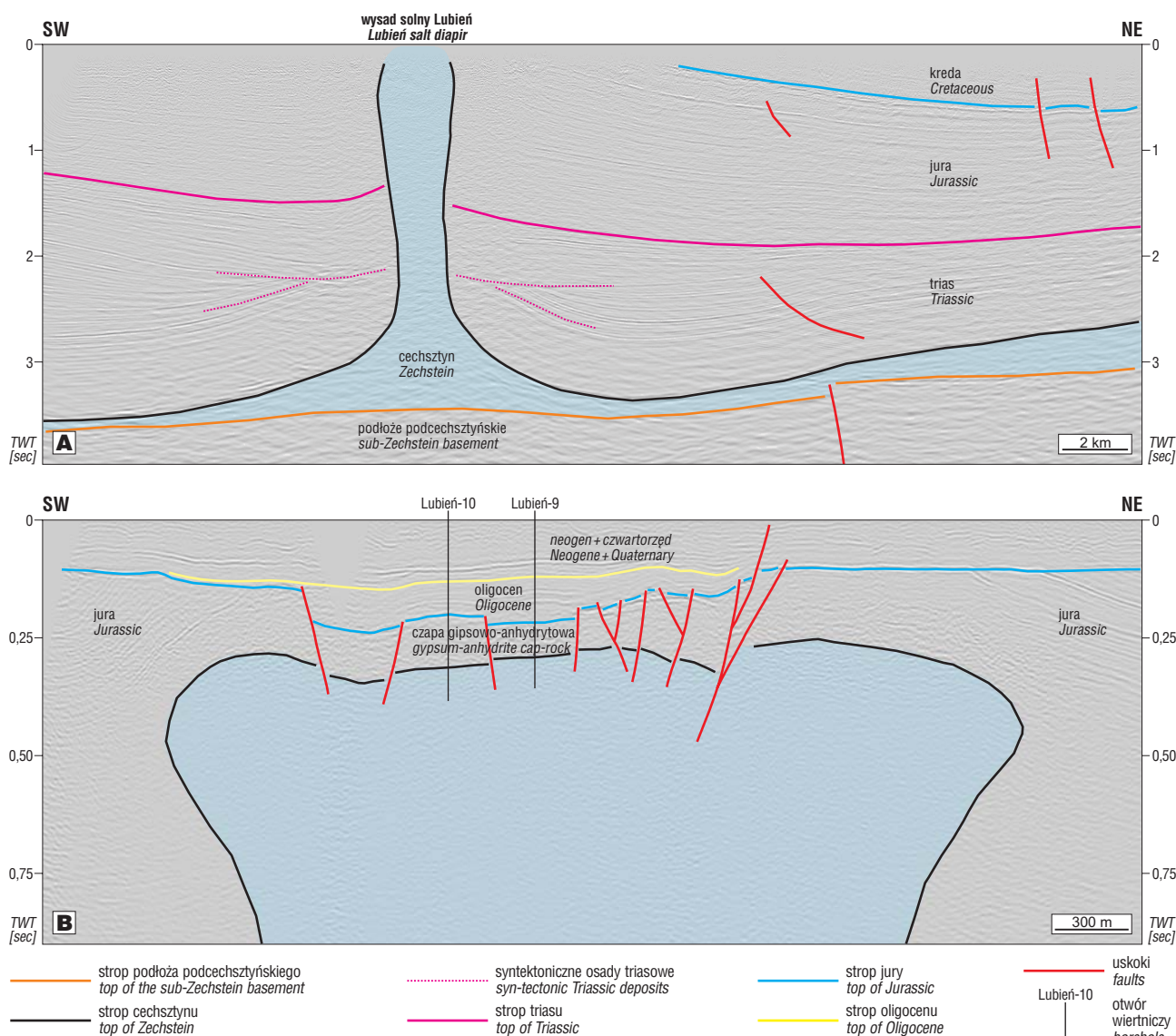
Wysad solny Kłodawa (ryc. 6; a właściwie wał solny Izbica Kujawska-Kłodawa) to najbardziej spektakularna struktura solna na Niziu Polskim, w obrębie której nadal funkcjonuje podziemna kopalnia soli w Kłodawie. W segmencie kujawskim bruzdy śródpolskiej, w rejonie Kłodawy, intensywna ekstensja i zuskokowanie podłoża doprowadziły do powstania najpierw poduszki solnej, a następnie (w późnym triasie) diapiru solnego (Burliga, 1996), który ekstrudował na dno basenu. Skomplikowana ewolucja strukturalna utworów solnych Kłodawy w triasie jest udokumentowana wyraźnymi zmianami miąższości utworów triasowych, widocznymi w jej otoczeniu. Ekstruzja soli na dno zbiornika triasowego doprowadziła do powstania znacznych rozmiarów przewieszki solnej, która następnie została zasypana przez młodsze osady triasu i jury (Krzywiec, 2004). Model ten, istotnie odmienny od wcześniej publikowanych interpretacji (Wagner i in., 2002), został ostatnio użyty do wytłumaczenia budowy geologicznej struktur solnych z obszaru basenu północnoniemieckiego (Kukła i in., 2008). W trakcie inwersji bruzdy śródpolskiej wysad solny Kłodawa został znacznie

przebudowany, przewieszka solna wraz z nadkładem triasowym i jurajskim została sfałdowana, natomiast na południowy zachód od wysadu, w zachowanej pokrywie górnokredowej widać lokalną redukcję miąższości, która dokumentuje syninwersyjny etap wzrostu tego wysadu (por. Leszczyński, 2000).

Na północny wschód od wału solnego Izbica Kujawska-Kłodawa znajdują się dwa niewielkie wysady solne **Lubień i Łanięta** (ryc. 1), o zdecydowanie mniejszej szerokości niż wysokości (ryc. 7). W otoczeniu wysadu Lubień widać bardzo charakterystyczną niezgodność kątową w obrębie górnego triasu (ryc. 7A); jej powstanie było związane z wysklepieniem poduszki solnej i erozją stropowej (przegubowej) części antykliny rozwiniętej w utworach triasu przykrywających cechszryn. Utwory najwyższego triasu i jury charakteryzują się dużo bardziej regularnym rozkładem miąższości. W otoczeniu tego wysadu widać poddarcie warstw triasowych i jurajskich, powstałe na ostatnim etapie jego aktywności, najprawdopodobniej w trakcie ich kompresyjnej reaktywacji podczas inwersji bruzdy śródpolskiej. Brak osadów kredowych w otoczeniu tego wysadu nie pozwala jednak na bezpośrednią analizę tego etapu jego aktywności. Ostatnio w trakcie badań złóż węgla brunatnych ponad wysadem Lubień zebrano wysokiej rozdzielczości płytkie dane sejsmiczne, które bardzo precyzyjnie zobrazowały najpłytsze otoczenie i nadkład tego wysadu (Kasiński i in., 2009). Na rycinie 7B są widoczne warstwy jurajskie, uniesione po obu stronach wysadu, których strop jest związany z bardzo wyraźną powierzchnią niezgodności kątowej, występującą poniżej utworów kenozoiku. Ponad samym wysadem zaznacza się bardzo wyraźnie niecka tektoniczna, ograniczona przez uskoki zakorzenione w czapie i w samym wysadzie. W obrębie tej niecki utwory oligocenu mają znacznie zwiększoną miąższość. Takie lokalne centrum subsydencji było związane z depozycją węgla brunatnych, podobnie jak w przypadku omówionego wysadu Damasławek. Jednakże w odniesieniu do wysadu Lubień nie rejestruje się w zasadzie żadnych objawów kenozoicznej i neotektonicznej czy też współczesnej reaktywacji i lokalnej inwersji.



Ryc. 6. Wysad solny Kłodawa. Lokalizacja — patrz ryc. 1
Fig. 6. Kłodawa salt diapir. See Fig. 1 for location



Rys. 7. Wysad solny Lubień (A — głęboki regionalny profil sejsmiczny, B — płytki wysokorozdzielczy profil sejsmiczny). Lokalizacja — patrz ryc. 1

Fig. 7. Lubień salt diapir (A — deep regional seismic profile, B — shallow high-resolution seismic profile). See Fig. 1 for location

Wnioski

Jak pokazano na przykładzie wybranych struktur solnych, wyniki analiz nowych bądź powtórnie przetworzonych danych sejsmicznych, uwzględniające najnowsze interpretacje genetyczne struktur solnych, pozwalają na zaproponowanie nowych, genetycznie znacznie bardziej wiarygodnych modeli budowy i ewolucji geologicznej tych struktur. Modele te często znacznie odbiegają od prezentowanych w przeszłości. Oznacza to, że w przypadku wykonania nowych badań sejsmicznych poszczególnych struktur solnych należy się liczyć ze znacznymi zmianami poglądów dotyczących ich geometrii i ewolucji geologicznej. Może to mieć zasadnicze znaczenie podczas oceny ich obecnej i przyszłej stabilności, co z kolei jest niesłychanie ważnym problemem w kontekście budowy w obrębie struktur solnych podziemnych zbiorników na węglowodory bądź też składowisk odpadów radioaktywnych.

Literatura

- BURLIGA S. 1996 — Implications for early basin dynamics of the Mid-Polish Trough from deformational structures within salt deposits in central Poland: *Kwart. Geol.*, 40: 185–202.
- CZAPOWSKI G., BURLIGA S., KASIŃSKI J.R., KRZYWIEC P., POLECHOŃSKA O., TOMASSI-MORAWIEC H., WILKOSZ P. & WRÓBEL G. 2006 — Geologia niezagospodarowanych permskich wysadowych struktur solnych na obszarze Niżu Polskiego — aktualny stan wiedzy. *Prz. Geol.*, 54: 302–303.
- DADLEZ R. 1998 — Epikontynentalne baseny sedymentacyjne w Polsce, od dewonu po kredę — zależności rozwoju od budowy skorupy krystalicznej. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 165: 17–30.
- DADLEZ R. 2001 — Przekroje geologiczne przez bruzdę śródpolską. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- DADLEZ R. 2005 — South-western boundary of the Mid-Polish Trough — new seismic data from the Oświno-Człopa Zone (NW Poland). *Geol. Quart.*, 49: 471–480.
- DADLEZ R. & MAREK S. 1969 — Styl strukturalny kompleksu cechsztyńsko-mezozoicznego na niektórych obszarach Niżu Polskiego. *Kwart. Geol.*, 3: 543–565.
- DADLEZ R. & MAREK S. 1974 — General Outline of the Tectonics of the Zechstein-Mesozoic Complex in Central and Northwest Poland. *Biul. Inst. Geol.*, 274: 11–140.

- DADLEZ R. & MAREK S. 1998 — Główne uskoki, antykliny solne i niesolne. [W:] Dadlez R., Marek S. & Pokorski J. (red.) Atlas paleogeograficzny epikontynentalnego permu i mezozoiku w Polsce (1 : 2 500 000). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- DOOLEY T., McCLAY K.R., HEMPTON M. & SMIT D. 2005 — Salt tectonics above complex basement extensional fault system: results from analogue modelling. [In:] Dore A.G. & Vinning B.A. (eds.) Petroleum geology: North-West Europe and global perspectives — Proceedings of the 6th Petroleum Geology Conference. The Geological Society, London: 1631–1648.
- DZIEWIŃSKA L., MAREK S. & JÓŹWIĄK W. 2001 — Przekroje sejsmiczno-geologiczne przez wał kujawski i gielniowski (skala 1 : 100 000). Biul. Państw. Inst. Geol., 398: 5–22.
- HUDEK M. 2004 — Salt intrusions: time for a comeback? [In:] 24th Annual GCSSEPM Foundation Bob F. Perkins Research Conference “Salt — Sediment Interactions and Hydrocarbon Prospectivity: Concepts, Applications and Case Studies for the 21st Century”. Houston, Texas, 5–8.12.2004: 119–132.
- JACKSON M.P.A. & VENDEVILLE B.C. 1994 — Regional extension as a geologic trigger for diapirism. Geol. Soc. Amer. Bull., 106: 57–73.
- JAROSIŃSKI M. & KRZYWIEC P. 2006 — Zapis zmian reżimów tektonicznych wokół wysadów solnych w Polsce na przykładzie struktury „Damaśławek”. Prz. Geol., 54: 305.
- JAROSIŃSKI M., POPRAWA P. & ZIEGLER P.A. 2009 — Cenozoic dynamic evolution of the Polish Platform. Geol. Quart., 53: 3–26.
- JAWORSKA J. & RATAJCZAK R. 2008 — Budowa geologiczna struktury solnej Wapna w Wielkopolsce. Pr. Państw. Inst. Geol., 190.
- KASIŃSKI J., KRZYWIEC P., CZAPOWSKI G., KIJEWSKA S., SATERNUS A., URBĄŃSKI P., WRÓBEL G. & PAPIERNIK B. 2009 — Perspektywy występowania węgla brunatnego w sąsiedztwie wysadów solnych na Niziu Polskim. Centralne Archiwum Geologiczne, Warszawa, temat nr 21.5600.0601.00.0.
- KOCKEL F. 2003 — Problems of diapirism in northern Germany. Geologos, 6: 57–88.
- KRZYWIEC P. 2002a — Mid-Polish Trough inversion — seismic examples, main mechanisms and its relationship to the Alpine-Carpathian collision. [In:] Bertotti G., Schulmann K. & Cloetingh S. (eds.) Continental collision and the tectonosedimentary evolution of forelands. European Geosciences Union Stephan Mueller Sp. Publ. Series, 1: 151–165.
- KRZYWIEC P. 2002b — Oświno structure (NW Mid-Polish Trough) — salt diapir or inversion-related compressional structure? Geol. Quart., 46: 337–346.
- KRZYWIEC P. 2004 — 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. 2006a — Triassic-Jurassic evolution of the NW (Pomeranian) segment of the Mid-Polish Trough — basement tectonics vs. sedimentary patterns. Geol. Quart., 51: 139–150.
- KRZYWIEC P. 2006b — Structural inversion of the Mid-Polish Trough (NW and central segments) — lateral variations in timing and structural style. Geol. Quart., 51: 151–168.
- KRZYWIEC P. 2006c — Triassic-Jurassic evolution of the Pomeranian segment of the Mid-Polish Trough — basement tectonics and sedimentary patterns — Reply. Geol. Quart., 50: 491–496.
- KRZYWIEC P., JAROSIŃSKI M., TWAROGOWSKI J., BURLIGA S., SZEWCZYK J., WYBRANIEC S., CZAPOWSKI G., ZIENTARA P., PETECKI Z. & GARLICKI A. 2000 — Geofizyczno-geologiczne badania stropu i nadkładu wysadu solnego Damaśławek. Prz. Geol., 48: 1005–1014.
- KRZYWIEC P., WYBRANIEC S. & PETECKI Z. 2006 — Budowa tektoniczna podłoża bruzdy śródpolskiej w oparciu o wyniki analizy danych sejsmiki refleksyjnej oraz grawimetrii i magnetyki. [W:] Krzywiec P. & Jarosiński M. (red.) Struktura litosfery w centralnej i północnej Polsce — obszar projektu POLONAISE’97. Pr. Państw. Inst. Geol., 188: 107–130.
- KUKLA P.A., URAI J.L. & MOHR M. 2008 — Dynamics of salt structures. [In:] Littke R., Bayer U., Gajewski D. & Nelskamp S. (eds.) Dynamics of complex intracontinental basins. The Central European basin system. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg: 291–306.
- LESZCZYŃSKI K. 2000 — The Late Cretaceous sedimentation and subsidence south-west of the Kłodawa Salt Diapir, central Poland. Geol. Quart., 44: 167–174.
- LESZCZYŃSKI K. 2002 — Late Cretaceous inversion and salt tectonics in the Koszalin-Chojnice and Drawno-Człopa-Szamotuły zones, Pomeranian sector of the Mid-Polish Trough. Geol. Quart., 46: 347–362.
- LOKHORST A. (ed.) 1998 — NW European gas atlas. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Utrecht [CD ROM].
- SHECK-WENDEROTH M., KRZYWIEC P., ZÜLKE R., MAYSTRENKO Y. & FRIZHEIM N. 2008 — Permian to Cretaceous tectonics. [In:] McCann T. (ed.) The geology of Central Europe, vol. 2: Mesozoic and Cenozoic. Geological Society, London: 999–1030.
- SOKOŁOWSKI J. 1966 — Rola halokinezy w rozwoju osadów mezozoicznych i kenozoicznych struktury Mogilna i synklinorium mogileńsko-łódzkiego. Pr. Inst. Geol., 50.
- WAGNER R., LESZCZYŃSKI K., POKORSKI J. & GUMULAK K. 2002 — Paleotectonic cross-sections through the Mid-Polish Trough. Geol. Quart., 46: 293–306.
- WILKOSZ P. 2006 — Ewolucja geologiczna i kinematyka struktury solnej Mogilna. Prz. Geol., 54: 307.
- WITHJACK M.O. & CALLAWAY S. 2000 — Active normal faulting beneath a salt layer: An experimental study of deformation patterns in the cover sequences. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 84: 627–651.

Praca wpłynęła do redakcji 12.12.2008 r.
Po recenzji akceptowano do druku 3.06.2009 r.