

Kompleksowe badanie budowy geologicznej struktur przypowierzchniowych z zastosowaniem analizy danych geologiczno-geofizycznych na przykładzie rozpoznania wysadu solnego „Damasławek” i jego otoczenia

Jerzy Twarogowski*, Beata Bruszevska*, Grzegorz Czapowski*, Barbara Dąbrowska**, Piotr Zientara*

Comprehensive study of geological subsurface structure of Damasławek Salt Dome and its surrounding with analysis of geophysical and geological data. *Prz. Geol.*, 50: 1169–1176.

Summary. Analysis of archive materials on telluric and thermal investigations performed just above the Damasławek salt dome and its surroundings as well as modelling along the former seismic sections expanded the knowledge of tectonics of dome caprock and adjacent deposits. These informations, together with earlier well and geophysical data allowed to reconstruct the salt dome structure in greater detail.

Key words: seismics, telluric, geothermics, tectonics, diapir cap, tectonic discontinuities, lithology

W 1999 r. zakończono opracowanie wykonywane na zlecenie Państwowej Agencji Atomistyki, poświęcone rozpoznaniu budowy geologicznej czapy anhydrytowo-gipsowej wysadu solnego „Damasławek” i jego nadkładu. Zgodnie ze zleceniem wykonano prace sejsmiczne, geoelektryczne i analizę istniejącego w tym rejonie zdjęcia grawimetrycznego. Wyniki tego opracowania przedstawione zostały w artykule Krzywca i in. w 2000 r. W ramach działalności statutowej finansowanej przez Komitet Badań Naukowych, Państwowy Instytut Geologiczny rozszerzył zakres prac nad wysadem i jego otoczeniem o analizy materiałów tellurycznych oraz termicznych i rozszerzył interpretację płytkiej sejsmiki refleksyjnej wysokiej rozdzielczości o modelowania sejsmiczne. Prace te miały na celu dalsze uściślenie określenia przebiegu granic wysadu oraz tektoniki czapy i nadkładu całej struktury. Pozyskanie tych informacji służy lepsze rozpoznaniu uszczelnienia utworów budujących czapę i otoczenia w celu lepszego poznania dróg krążenia wód, a co za tym idzie zwiększenia możliwości rozpoznania ewentualnych stref przecieków wód do struktury solnej w przypadku jej zagospodarowania.

Budowa geologiczna wysadu solnego i jego nadkładu

Wysad solny w Damasławku, odkryty w 1960 r., jest położony w północnej części niecki łódzkiej, w ciągu struktur solnych strefy Piła–Wapno–Damasławek–Mogilno o rozciągłości NW–SE (Tarka, 1992), w odległości 8 km na SE od wysadu Wapno. Spąg utworów cechsztynu w rejonie wysadu znajduje się na głęb. ok. 6 km, wspólną zaś cechą wszystkich trzech wysadów tej strefy jest elipsoidalny kształt, o biegu dłuższej osi NW–SE, podobnie jak większości struktur wysadowych na Niżu (Tarka, 1992). Wysad Damasławka ma w planie poziomym kształt elipsy o powierzchni ok. 16,5 km², której dłuższa oś ma długość 5,5 km, krótsza zaś ok. 3,5 km (Kornowska, 1983). W przekroju pionowym wysad ma formę słupa przechylonego w kierunku południowo-zachodnim (Kornowska, 1983; Ślizowski & Saługa, 1996), otoczonego głównie przez utwory jury i kredy górnej oraz trzeciorzędu. Pień solny — podobnie jak w większości wysadów na Niżu Polskim — budują ewaporaty cyklotemów PZ2, PZ3 i PZ4, w tym zaś

przypadku największy zasięg pod czapą wysadu wydają się mieć sole cyklu PZ2, a najmniejszy — PZ3. W świetle dotychczasowych danych (Marek & Pajchłowa, 1997; Ślizowski & Saługa, 1996; Tarka, 1992) spośród trzech diapirów omawianej strefy pień solny Damasławka wydaje się mieć najprostszą budowę. Środkową część zajmuje starsza sól kamienna (Na2), otulinę zaś stanowią kolejno ku zewnątrz ogniwa solne cykli PZ3 (młodsza sól kamienna Na3 i młodsza sól potasowa K3 oraz zubry) i PZ4 (najmłodsza sól kamienna Na4). Sam wysad jest założony na udokumentowanej sejsmicznie głębokiej dyslokacji w podłożu permu (Jarosiński i in., 2000). Należy przypuszczać, iż ta dyslokacja była odpowiedzialna też za inicjację powstania dwu pozostałych diapirów.

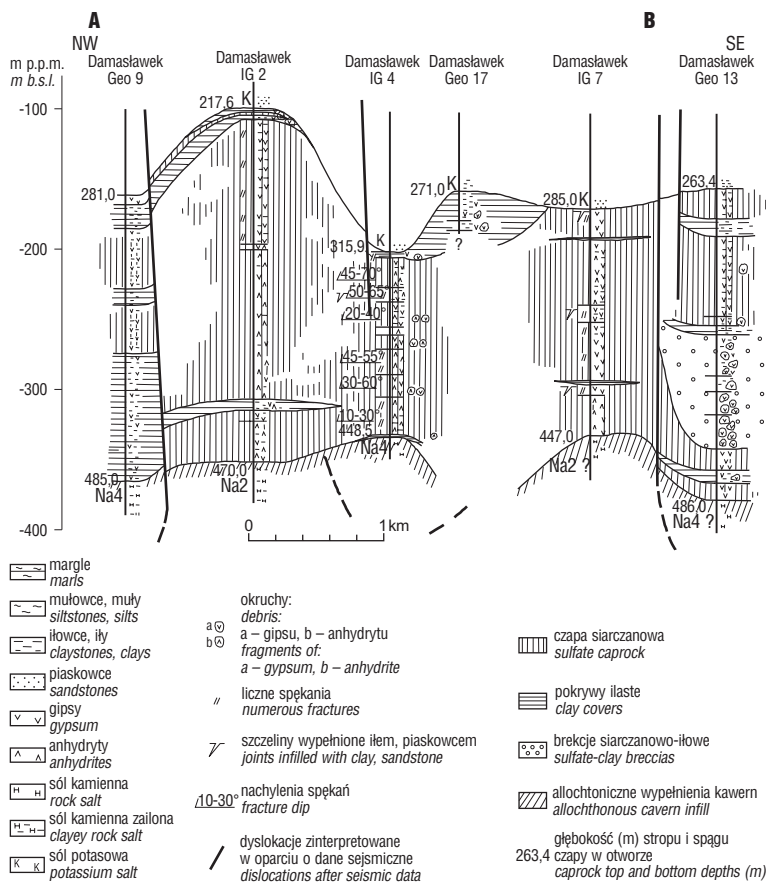
Pierwsze ruchy mas soli cechsztyńskich, inicjujące formowanie się antykliny solnej w rejonie Damasławka, nastąpiły — podobnie jak w innych strukturach solnych obszaru Niżu Polskiego (Marek & Pajchłowa, 1997) — w lądynie i wczesnym karniku (trias młodszy). Przebiecie się antykliny przez nadkład mezozoiczny jest związane ze stadium inwersji bruzdy śródpolskiej, po mastrychcie i dano-paleocenie a przed eocenem środkowym. W starszym miocenie nastąpiło zróżnicowane obniżenie wysadu (łącznie o 70–110 m), od schyłku zaś miocenu po pliocen z różną intensywnością trwało wynoszenie struktury (do maksymalnie 100 m ponad otoczenie — Krzywiec i in., 2000).

Utwory otaczające wysad i tworzące jego nadkład to osady czwartorzędu (miąższość do 81,0 m), trzeciorzędu (pliocen, miocen i przypuszczalny oligocen, grubość ich sięga odpowiednio: 83 m, 245 m i 70 m), kredy górnej (miąższość do 2100,5 m) i nie przewiercone utwory jury. Sukcesję kredowo-trzeciorzędową nadkładu wysadu można rozdzielić na 4 kompleksy sejsmiczne, o dobrze zaznaczonych granicach litologicznych (Krzywiec i in., 2000).

Utwory czapy gipsowo-iłowej wysadu stanowią rezydium, powstałe dzięki wieloetapowemu procesowi niszczenia ewaporatów pnia solnego. Ich czas powstawania jest trudny do określenia, zapewne zaczęły się formować w triasie, w momencie uruchomienia mas solnych i dotarcia ich stropu w strefę infiltracji wód gruntowych. Proces ten trwa nieustannie, ze zmienną intensywnością, do chwili obecnej, w miarę jak wysad się wypiętrza i są udrażniane do infiltracji wód utwory samej czapy i otuliny osadowej wysadu. Czapa jest zbudowana głównie z (Kornowska, 1983; Garlicki, 1997–1998) siarczanów (gips głównie w strefie zewnętrznej, anhydryt zaś w środkowej części

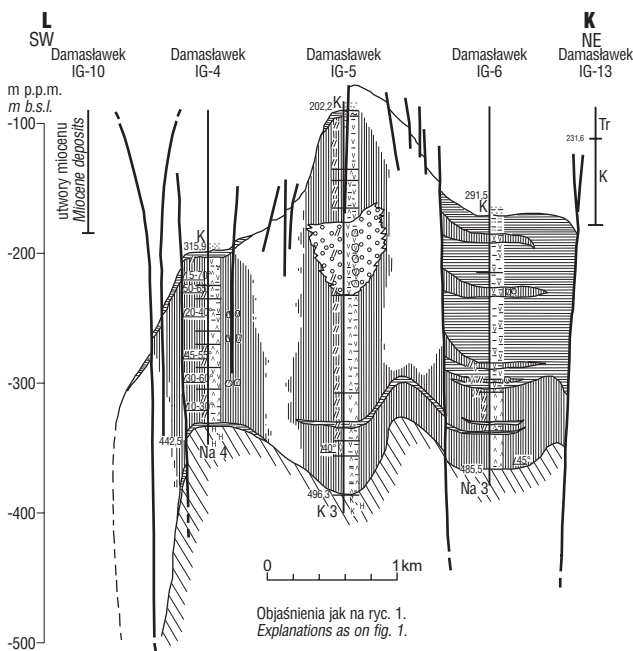
*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

** ul. Zakątek 1, 05-075 Wesoła



Ryc. 1. Schematyczny przekrój geologiczny A–B przez czapę wysadu solnego „Damasławek”; K — kreda, Na4 — najmłodsza sól kamienna, Na3 — młodsza sól kamienna, K3 — młodsza sól potasowa, Na2 — najstarsza sól kamienna

Fig. 1. Schematic geological section A–B through the caprock of the "Damasławek" salt dome; K — Cretaceous, Na4 — Youngest Halite, Na3 — Younger Halite, K3 — Younger Potash, Na2 — Older Halite



Ryc. 2. Schematyczny przekrój geologiczny L–K przez otwory czapy wysadu solnego „Damasławek”; objaśnienia jak na ryc. 1

Fig. 2. Schematic geological section L–K through the caprock of the "Damasławek" salt dome; explanations as Fig. 1

czapy), pelitów (iły i iłowce) oraz brekcji ılasto-siarczanowe i węglanów (wapienie i margle). Czapa gipsowo-ıłowa wysadu została nawiercona na gıęb. 184–245 m, a jej miążdżość waha się od 84 do 294 m (Kornowska, 1983). Zwierciadło solne stwierdzono na gıęb. 446–497 m.

Wyniki badań sejsmicznych wykazują (Jarosiński i in., 2000), że w stropie czapy zaznacza się linijne podniesienie w części osiowej wysadu (tzw. wyniesienie centralne, o elewacji do 100 m, gdzie czapa osiąga maksymalną miążdżość do 300 m) oraz ciąg mniej regularnych wyniesień wzdłuż północno-wschodniej krawędzi wysadu, zorientowanych wzdłuż linii NW–SE, zgodnie z wydłużeniem wysadu (ryc. 1, 2). Wyniesienia te lokują się nad wystąpieniami starszej soli kamiennej (Na2) w zwierciadle solnym. Spąg czapy jest bardziej wyrównany.

Analiza materiałów archiwalnych i danych sejsmicznych (Jarosiński i in., 2000; Krzywiec i in., 2000) pozwoliła przypisać skały czapy czterem kategoriom genetycznym:

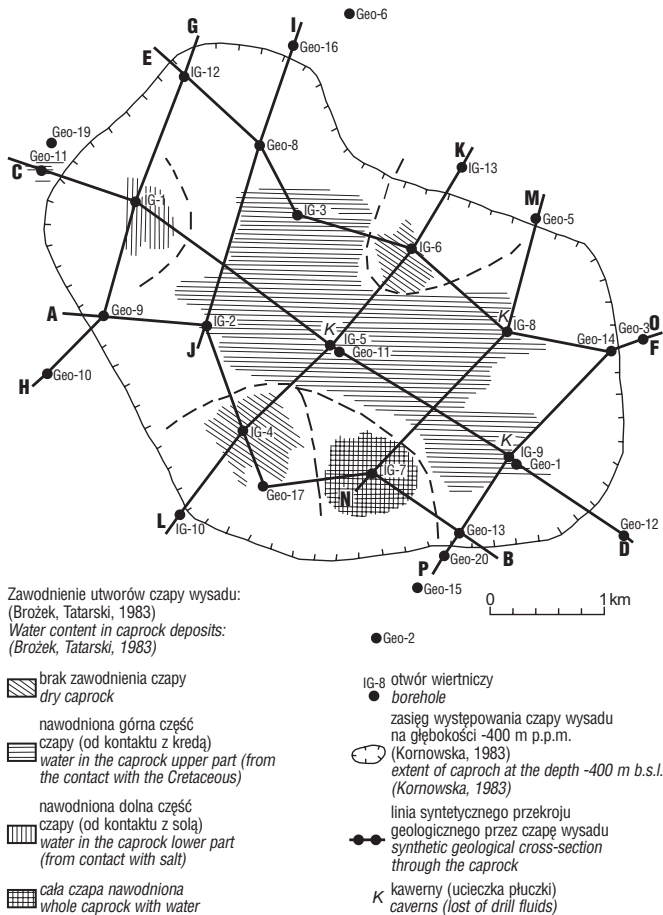
- czapa siarczanowa — podstawowe skały „pierwotnej” czapy gipsowej, powstające dzięki infiltracji wód w pierwotne ewaporaty (siarczany i sole) wysadu; po wylugowaniu i usunięciu materiału pelitycznego; pozostał mniej lub bardziej kawernisty osad siarczanowy, stopniowo lityfikowany dzięki procesom późniejszej cementacji oraz kompaktacji;

- rezydualne pokrywy ılaste, gromadzące w obniżeniach/kawernach czapy rezydualny materiał pelityczny, wymyty z niszczonej czapy, bądź powstałe na granicy zwierciadła solnego i czapy, wskutek koncentracji nierozpuszczalnych rezydów poniżej czapy gipsowej, a wzdłuż powierzchni niszczonego pnia solnego;

- brekcje krasowe siarczanowo-ıłowe, powstałe zapewne w wyniku kolapsu ścian i stropów kawern krasowych, wylugowanych w porowatej czapie gipsowej, i/bądź redepozycji rumoszu w zagłębienia/kawerny czapy;

- allochtoniczne wypełnienia kawern krasowych, uformowane wskutek donoszenia materiału klastycznego do systemów kawern w czapie w różnych etapach rozwoju wysadu, np. podczas depozycji klastyków kredy czy trzeciorzędu bądź podczas niszczenia tych utworów w warunkach lądowych.

Zwraca uwagę koncentracja utworów krasowych (brekcji i wypełnień kawern) na obrzeżach czapy; tylko lokalnie (otwory Damasławek IG-5 i IG-6) otwory te stwierdzono w środkowej części czapy (ryc. 2). Pokrywy ılaste rzadko pojawiają się w dolnej części czapy, grubsze są na jej obrzeżu (np. otwór Damasławek Geo-9 — ryc. 1). W północnej fragmencie środkowej części wysadu (otwór Damasławek IG-6) zaznaczyła się, podczas ewolucji wysadu, strefa wyraźnie depresyjna (ryc. 2), gromadząca rezydualne ılaste oraz krasowy materiał rumoszowy. Strefa ta miała założenia wybitnie tektoniczne, o czym świadczy gęsty system uskoków różnej skali w jej obrębie (obramowana jest uskokami, przecinającymi czapę bądź wnikającymi w nią od stropu). Wspomniana seria ılasta kontynuuje się zapewne ku północy aż do granicy wysadu, powodując brak zawodnienia czapy w tym rejonie (ryc. 2, 3) i stanowi pośrednio dowód, iż obecnie rejestrowana czapa gipsowa była zapewne przykryta ciągłą pokrywą peli-



Ryc. 3. Zasięg występowania utworów czapy gipsowo-iłowej wysadu solnego „Damasławek” na głębokości 400 m p.p.m. i stopień zawodnienia czapy

Fig. 3. Extent of gypsum-clay caprock of the Damasławek salt dom at the depth 400 m below sea level, and water content in the caprock

tów, której fragmenty — różnej grubości — są zachowane obecnie w wielu otworach (ryc. 1, 2) na kontakcie utworów czapy z osadami kredy. Lokalne zniszczenie tej pokrywy ochronnej, zapewne już przed późną kredą, udrożniło dla infiltracji utwory czapy, sprzyjając dalszej jej rozbudowie. Obecność przypuszczalnie ciągłych pokryw ilastych w dolnej części profilu czapy (ryc. 2), wskazuje na pulsacyjny charakter jej rozwoju i okresy stagnacji, przedzielające wzmoczone fazy niszczenia skał wysadu (np. rejestrują dawne pozycje zwierciadła solnego wysadu).

Zdecydowana większość spośród stwierdzonych uskoków w czapie wysadu (Jarosiński i in., 2000; Krzywiec i in., 2000) to uskoki wygasające w strefie zewnętrznej czapy (przedneogeńskie i wczesnomiocenijskie), niektóre zaś o największych zrzutach, związane z fazą późnotrzeciorzędowego i współczesnego wynoszenia, penetrujące nadkład i całą czapę, mogą wygasać dopiero w najwyższej partii pnia solnego. Przeważnie dyslokacje grupują się w 4 strefach, z których dwie lokują się na obrzeżach wysadu wzdłuż jego rozciągłości, dwie zaś przecinają wysad w poprzek.

Modelowania sejsmiczne wzdłuż profilu

Do modelowań sejsmicznych wykorzystano horyzonty głębokościowe zinterpretowane na czasowych sekcjach sejsmicznych i przeliczone na wersję głębokościową po skorelowaniu z danymi otworowymi. Horyzonty te wyeks-

portowano z bazy danych projektu (programy firmy Landmark) w postaci zbiorów ASCII, przekształcono je do postaci odpowiedniej dla programu GXII. Podobnie postąpiono w przypadku głównych uskoków. Horyzonty i uskoki zostały użyte do zdefiniowania następujących warstw-obszarów:

- 1 — warstwa najwyższa do horyzontu określanego jako strop górnego kompleksu mioceńskiego,
- 2 — cienka warstwa w stropie górnego kompleksu mioceńskiego charakteryzująca się dużą zawartością węgla brunatnych,
- 3 — górny kompleks mioceński,
- 4 — dolny kompleks mioceński,
- 5 — warstwa złożona z utworów kredy,
- 6 — czapa wysadu solnego,
- 7 — słup solny.

Obszarom tym przyporządkowano prędkości określone na podstawie analizy dostępnych danych otworowych. W punktach między otworami prędkości były interpolowane. Następnie dobierając odpowiednie wartości prędkości w punktach interpolowanych starano się uzyskać jak najlepszą zgodność ze zmigrowaną sekcją czasową odpowiedniego profilu. Modelowania przeprowadzono posługując się przebiegiem promienia pozornego (ang. *image ray*). Promień pozorny biegnie w dół prostopadle do powierzchni, na której fala jest rejestrowana i załamuje się zgodnie z prawem Snelliusa na wszystkich powierzchniach nieciągłości parametru prędkości. Syntetyczne dane generowane w taki sposób odpowiadają zmigrowanej czasowo sekcji sejsmicznej.

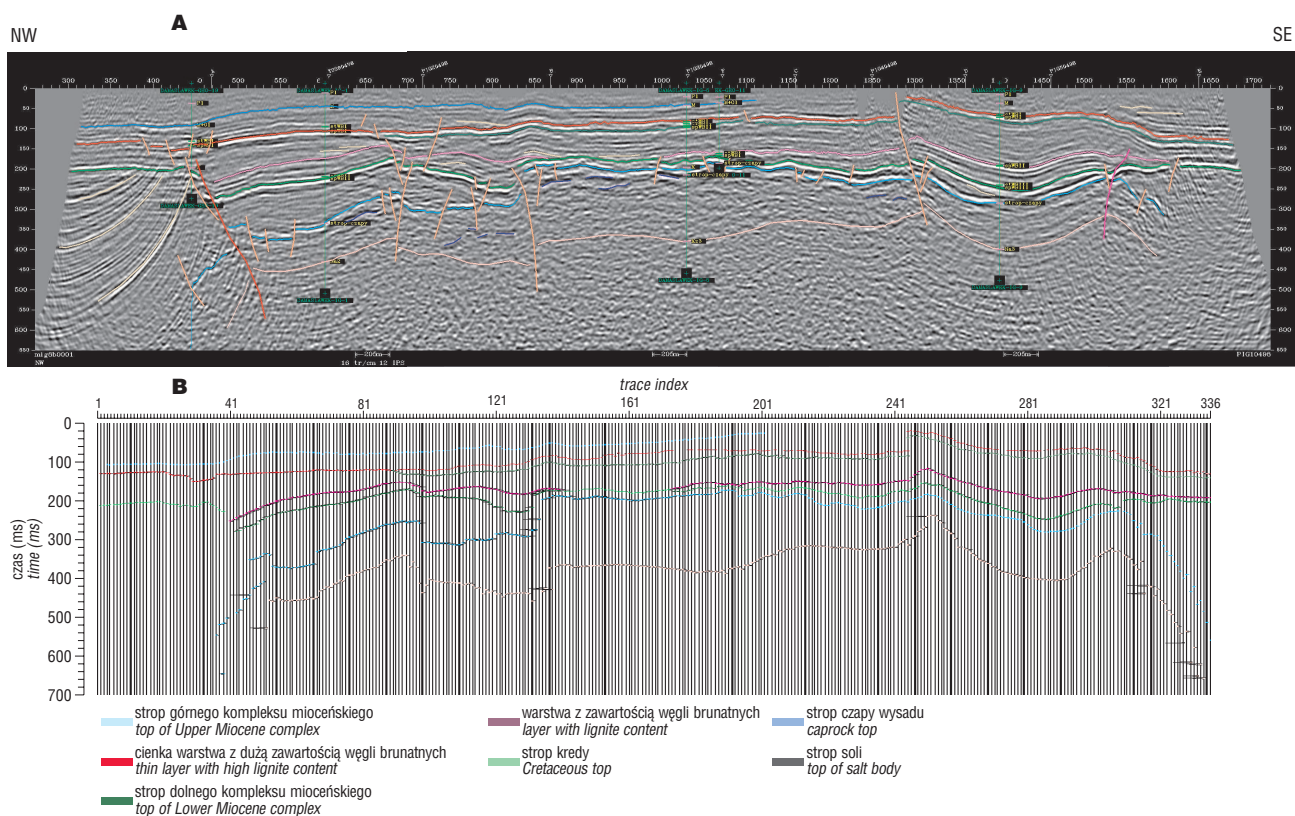
Uzyskany z modelowań rozkład prędkości dla profilu PIG10498 został zamieszczony na ryc. 4. Słup soli (kolor ciemno szary) nie wykazuje na nich żadnego zróżnicowania, gdyż stanowi on jeden obszar, dla którego przyjęto stałą wartość, a brak niżej leżących horyzontów powoduje brak danych do wprowadzania zmian w modelowaniu prędkości. Widać natomiast duże zróżnicowanie prędkościowe czapy wysadu zwłaszcza w jej północno-zachodniej części, gdzie prędkości w czapie są największe. Wskazuje to na większą zawartość anhydrytu, który charakteryzuje się większymi prędkościami fal sejsmicznych niż gips. Duże zróżnicowanie litologii i to zarówno w pionie, jak i poziomie wykazuje także nadkład. Występujące na sekcji sejsmicznej liczne uskoki tnące czapę i jej nadkład pokrywają się ze strefami gradientu poziomego pola prędkości.

Wynik modelowania sejsmicznego wzdłuż profilu pokazano przez porównanie sekcji syntetycznej ze zmigrowanym czasowym przekrojem sejsmicznym z interpretacją geologiczną (ryc. 4A)

Badania telluryczne

Badania telluryczne dla tematu „Damasławek” wykonało w 1963 r. Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych (Święcicka-Pawliszyn, 1963), na zlecenie Instytutu Geologicznego. Zapoczątkowały one serię badań nad wysadami solnymi w środkowej Polsce.

Badania telluryczne stosuje się do śledzenia mięjszych kompleksów wysokooporowych. Celem stawianym przed badaniami tellurycznymi w 1963 r. było wyznaczenie granic wysadu solnego. Pomiary karotażowe, wykonane w otworach wiertniczych serii Geo, dostarczyły wstępnych informacji o opornościach utworów kenozoicznych, kredowych, a także czapy, którą określono jako gip-



Ryc. 4. Wynik modelowania sejsmicznego; A — czasowy przekrój sejsmiczny PIG 10498, B — sekcja syntetyczna PIG 10498
Fig. 4. Results of seismic modelling; A — time seismic PIG 10498, B — synthetic section PIG 10498

sowo-iłową. Wyznaczone zakresy oporności tych utworów pozwalały przypuszczać, że wysokooporowy wysad solny będzie odróżniał się od skał otaczających i zaznaczy się w postaci dodatniej anomalii pola tellurycznego odzwierciedlającej kontur wysadu. Obecnie stawianym zadaniem była próba wykorzystania zdjęcia tellurycznego do rozpoznania wewnętrznej budowy czapy, którą w świetle wiercenii IG określono jako gipsowo-anhydrytową.

Badania telluryczne wykorzystują naturalne prądy płynące w Ziemi. Ich natężenie zależy z jednej strony od indukujących je zmiennych prądów płynących w górnych warstwach astenosfery, a z drugiej od właściwości elektrycznych ośrodka, w którym płyną. Aby usunąć wpływ pierwszego czynnika rejestracja prądów prowadzona jest jednocześnie w danym punkcie polowym i na tzw. bazie, na której poziom pola tellurycznego przyjmuje się umownie jako 100 jednostek. Wartość średniego natężenia pola tellurycznego E w punkcie polowym jest stosunkiem wielkości amplitud prądów na nim zarejestrowanych do amplitud prądów zarejestrowanych na bazie i jest podawana w jednostkach umownych (j.u.), które określają wartość E w procentach w stosunku do wartości pola na bazie. Metoda telluryczna jest więc metodą pomiarów względnych. Tak wyznaczona wartość E jest uzależniona głównie od warunków geoelektrycznych badanego ośrodka.

Do rejestracji prądów (jednocześnie na punkcie polowym i na bazie) stosuje się układ dwóch par elektrod tworzących dwie prostopadłe do siebie linie pomiarowe w kształcie litery L. Na całym obszarze badań rozstaw elektrod wynosił 500 m, a linie były usytuowane w kierunku N-S i W-E. Określone wartości E są odnoszone do wierzchołka kąta prostego utworzonego przez linie pomiarowe. Metodyka opracowania zarejestrowanych zmian pola tel-

lurycznego (tellurogramów) została przedstawiona w dokumentacji PPG z 1963 r.

W rejonie Damasławka wykonano pomiary na 202 punktach. Na wybranych punktach wykonano dodatkowe rejestracje w celu oceny powtarzalności wyników. Pozwoliło to określić dokładność wyznaczenia wartości E na ± 5 j.u. Na kilku punktach wykonano pomiary układem obróconym o 90° , 180° i 270° w stosunku do podstawowego, które wykazały, że kierunek układu pomiarowego ma niewielki wpływ na wyznaczenie wartości E tylko w strefach silnego gradientu pola. Na 12 punktach stwierdzono brak zależności liniowej wielkości rejestrowanych prądów w stosunku do bazy. Świadczy to o usytuowaniu punktów w pobliżu lub nad strefą nieciągłości.

Na mapie lokalizacyjnej (ryc. 5) jest widoczny brak ciągłości w numeracji punktów tellurycznych. Należy sądzić, że brakujące punkty zostały odrzucone w trakcie interpretacji z powodu trudności w wyznaczeniu wartości E . Łącząc ten fakt z wspomnianym brakiem zależności liniowej można wnioskować o dużym zaangażowaniu tektonicznym tego rejonu.

Nowych danych o opornościach utworów kenozoicznych, kredowych i stropowych partii soli dostarczają badania geoelektryczne wykonane przez Geoserwis (Jagodzińska & Kalituk, 1999). Sondowania geoelektryczne o rozstawach AB do 2000 m umożliwiły penetrację ośrodka do głęb. ok. 500 m — sięgnęły więc do górnych partii wysadu solnego. Na podstawie sondowań reperowych przy wierceniach i zinterpretowanych sondowań, usytuowanych na ciągach, wyznaczono zakresy oporów właściwych dla poszczególnych utworów. Ogólnie można określić, że oporności utworów zawierają się w przedziałach: czwartorzęd — 14–68 Wm, trzeciorzęd — 7–98 Wm, kreda — 14–85 Wm. Należy zwrócić uwagę, że najwyższe wartości oporności są

związane z obecnością piasków i piaskowców. Oporność utworów cechstyńskich przedstawiają się następująco: czapa wysadu — 16–98 Wm (gips — 20–86 Wm, anhydryt — 47–98 Wm), stropowe partie soli — 42–95 Wm.

Mimo, że podane przedziały oporności w znacznym stopniu się pokrywają, to biorąc pod uwagę ich średnie wartości stwierdza się pewne różnice. Utwory czwartorzę-

du, trzeciorzędu i kredy z małym udziałem piaskowców charakteryzują się niższymi opornościami niż piaskowce kredy, anhydryt i sól. Dalsze szczegółowe rozważania w tym zakresie mijają się jednak z celem, ponieważ natężenie pola tellurycznego zależy od oporności podłużnej ośrodka. Na tę oporność największy wpływ mają przewarstwienia o najniższych opornościach (utwory ilaste, utwory nasączone wodami zasolonymi, a także strefy spękań, często też zawadnione) i może być ona znacznie niższa od oporności średnich wyinterpretowanych z sondowań geoelektrycznych.

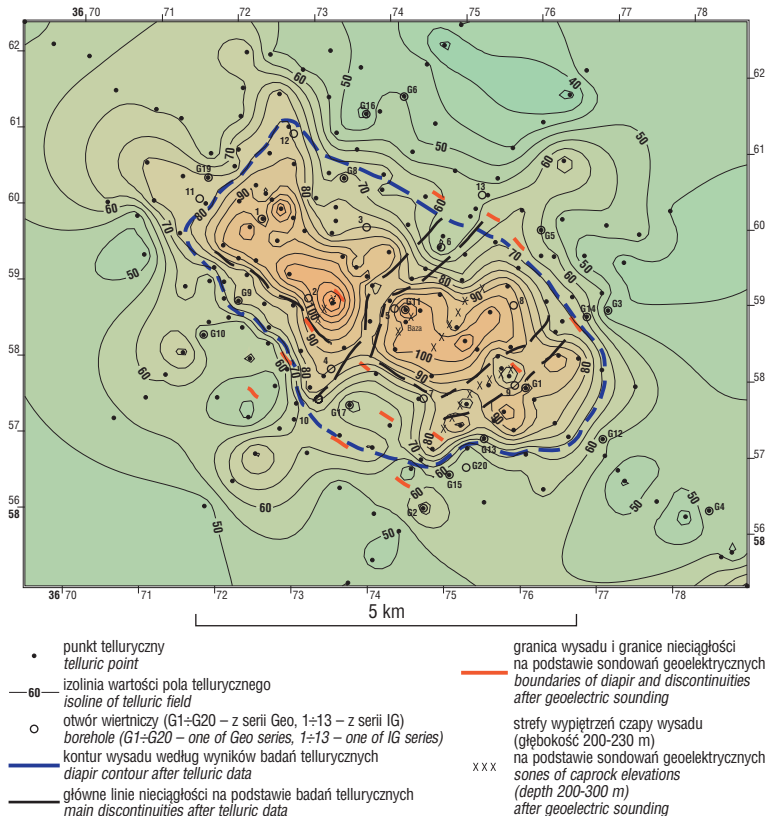
Na Niżu Polskim zasięg metody tellurycznej sięga głębokości ponad 1500 m, stąd na obraz pola mają wpływ nie tylko warunki geoelektryczne utworów do głębokości stropu soli, ale także głębsze.

Rezultatem opracowania materiałów polowych jest mapa średniego natężenia pola tellurycznego (ryc. 5). Została ona wykreślona przy pomocy programu Surfer. Z pakietu proponowanego przez program wybrano metodę krigingu, polecaną szczególnie dla nieregularnie rozmieszczonych punktów pomiarowych. W celu wyeksponowania zmienności pola E izolynie poprowadzono co 5 j.u. Na mapie zaznaczono lokalizację punktów tellurycznych i wierceń zarówno z serii Geo, wykorzystanych w interpretacji z 1963 r., jak i z serii IG.

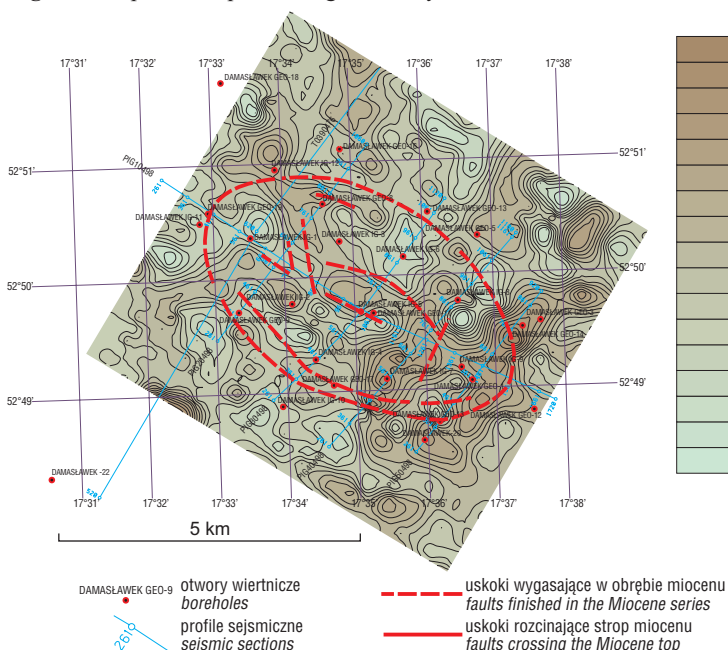
Wartości średniego natężenia pola tellurycznego w rejonie Damasławka zmieniają się w szerokim zakresie. W środkowej części obszaru badań rejestruje się wartości powyżej 100 j.u., na jego brzegach wartości E w granicach 35 do 65 j.u. Dominującym elementem na mapie E jest leżąca w środkowej części obszaru dodatnia anomalia. Biorąc pod uwagę wyniki wierceń jest to niewątpliwie anomalia związana z obecnością wysokooporowego wysadu solnego.

Pierwszym problemem, jaki należy rozwiązać przed przystąpieniem do dalszej analizy wyników badań tellurycznych, jest określenie tzw. przynależności stratygraficznej wysokooporowego horyzontu śledzonego w rejonie Damasławka. W tym celu tworzy się wykres zależności wartości średniego natężenia pola tellurycznego od głębokości zalegania horyzontu, który byłby odpowiedzialny za mierzony poziom pola. Dane z wierceń z serii IG wskazują, że głębokość stropu masy solnej mieści się w wąskim przedziale 446–497 m. Te zmiany głębokości nie mogą wywoływać obserwowanych nad wysadem dużych zmian wartości E. Po przeanalizowaniu profilów litologicznych i analizie charakterystyki geoelektrycznej skał, uzyskanej z sondowań elektrooporowych, opracowano zależność E od głębokości zalegania stropu czapy wysadu H. W celu ujednocnienia danych wartości E dla wszystkich otworów zostały odczytane z mapy tellurycznej (ryc. 5). Stwierdzono, że czapa z punktu widzenia parametrów geoelektrycznych jest dość jednorodna i na tyle wysokooporowa, że razem z masami solnymi tworzy ciało odróżniające się od skał otaczających.

W obrębie zarysu wysadu daje się także wyciągać wnioski dotyczące miąższości i litolo-



Ryc. 5. Mapa średniego natężenia pola tellurycznego z elementami interpretacji
Fig. 5. Interpreted map of average intensity of telluric field



Ryc. 6. Temperatura na głębokości 2 m p.p.t.; pomiar pierwsza połowa maja 1978 r.

Fig. 6. Temperature at the depth 2 m b.g.l.; measured during the first half of May, 1978

gii osadów kredowych przykrywających czapę. Analiza materiałów tellurycznych w zasadzie potwierdziła lokalizację granic wysadu pokazaną w opracowaniu źródłowym (Święcicka-Pawliszyn, 1963).

Biorąc pod uwagę zmienność wartości E na zagęszczonych punktach usytuowanych wzdłuż profilu przebiegającego cały obszar badań z NW na SE, należy podkreślić, że zagęszczenie punktów w środkowej części wysadu (co wynika oczywiście z uprzednio stawianego celu badań) jest bardzo nieregularne. Ponadto w rejonie na północ od otworu Damasławek IG-2, wokół otworu Damasławek IG-3, a także na SE od otworu Damasławek Geo-11 brak punktów pomiarowych. W związku z tym przebieg izolacji pochodzący z interpolacji między odległymi punktami może być znacznie zniekształcony.

Pewne elementy jednak, tworzące urozmaicony powierzchniowy rozkład średniego natężenia pola tellurycznego w obrębie zaznaczonego konturu, są na tyle wyraźne, że można je poddać analizie.

Pierwszym wnioskiem, jaki się nasuwa na podstawie obrazu izolacji, to podział wysadu na dwie części. Północno-zachodnia część ma kształt zbliżony do trapezu o wyraźnej, położonej w strefie gradientu pola, granicy południowo-zachodniej. Po stronie północno-wschodniej gradienty pola są znacznie mniejsze. Tę asymetrię podkreśla strefa maksymalnych wartości pola tellurycznego, która jest przesunięta od osi wysadu na południowy zachód i prawdopodobnie, szczególnie od strony SW jest ograniczona strefą tektoniczną, w przybliżeniu równoległą do granicy wysadu. W części północno-zachodniej izolacja 75 j.u. odsuwa się znacznie od izolacji 80 j.u., przyjętej jako granica wysadu, tworząc jakby dwie odnogi. Uwzględniając dane z otworu Damasławek IG-11 można wnioskować, że w tym rejonie ściana wysadu nie zapada pionowo w dół. Być może, że z podobną sytuacją mamy do czynienia wzdłuż północno-wschodniej granicy tej części wysadu, co powoduje powolne zmiany pola E.

Omówiona część wysadu jest oddzielona od części południowo-wschodniej wąską strefą obniżonych wartości pola tellurycznego, w której na północy leży otwór Damasławek IG-6, a na południu wchodzi ona w obszar obniżonych wartości E, o kształcie niemal prostokątnym, w którym leży otwór Damasławek Geo-17. Biorąc dodatkowo pod uwagę rozkład izolacji poza wysadem, można wnioskować, że jest to większa strefa tektoniczna, która mogła mieć wpływ nawet na ukształtowanie wysadu.

Południowo-wschodnia część wysadu ma kształt zbliżony do kolistego i charakteryzuje się odmiennym układem izolacji. Granice tej części wysadu są znacznie wyraźniejsze. Składa się ona z kilku elementów. Jako pierwszy można wskazać rejon najbardziej wypiętrzony, z usytuowanym na nim otworem Damasławek Geo-11, otoczony izolacją 90 j.u. Jest on oddzielony od grupy trzech małych anomalii, leżących w pobliżu południowo-wschodniej granicy wysadu, otoczonych izolacjami 85–90 j.u. strefą obniżonych wartości pola. W otworach Damasławek Geo-1 i Damasławek IG-9, leżących w tej strefie stwierdzono znaczne zaangażowanie tektoniczne skał. Ta strefa obniżonych wartości E może także mieć głębsze założenia tektoniczne. Na podstawie posiadanego materiału trudno powiedzieć, czy te trzy anomalie są częściami jednego większego obiektu w kształcie „rogala” i czy łączą się z „półwyspem”, ograniczającym obszar obniżonych wartości pola wokół otworu Damasławek Geo-17. Ten obszar w dokumentacji z 1963 r. był zinterpretowany jako rejon

występowania czapy przewieszanej (otwór Damasławek Geo-17 nie przewiercił czapy). Możliwe jest też, że w tym rejonie czapa jest nachylona w kierunku północno-wschodnim. Strefa gradientowa oddzielająca ten element od najbardziej wypiętrzonej części wysadu z otworem Damasławek Geo-11 może być potwierdzeniem takiej koncepcji.

Poza granicami wysadu zaznaczają się pojedyncze anomalie dodatnie ograniczone izolacją 60 j.u. O Z braku punktów pomiarowych nie można stwierdzić, czy łączą się one w rodzaj aureoli otaczającej na pewnych odcinkach wysad. Te anomalie mogą być związane z wychodniami wysokooporowych utworów kredy lub z budową wysadu na znacznych głębokościach.

Na mapę telluryczną (ryc. 5) naniesiono granice wysadu i najwyraźniej się zaznaczające strefy tektoniczne. W celu porównania naniesiono również analogiczne informacje, jak i zaznaczono miejsca naj płytszego zalegania czapy wysadu, wyinterpretowane na podstawie sondowań geoelektrycznych (Jagodzińska & Kalitiuk, 1999). Łatwo zauważyć dużą zbieżność lokalizacji tych elementów. Pewne różnice zaznaczają się tylko na profilu D, przebiegającym w pobliżu otworów Damasławek Geo-13, Damasławek IG-9 i Damasławek Geo-14. Biegnie on wzdłuż strefy obniżonych wartości pola tellurycznego, tymczasem wyinterpretowane głębokości stropu czapy (230 m) niewiele odbiegają od głębokości wyinterpretowanych na profilach przebiegających przy otworach Damasławek IG-2 i Damasławek Geo-11 (200–220 m), a strefa największych wypiętrzeń czapy i południowa granica wysadu są przesunięte na SW w stosunku do wyznaczonych badaniami tellurycznymi.

Badania geotermiczne

Pole cieplne jest polem potencjalnym. Powierzchniowy rozkład parametrów termicznych zawiera informację dotyczącą zmienności tych parametrów w przestrzeni. Jeśli zatem w głębi Ziemi istnieją struktury, których zdolność przewodzenia ciepła jest znacznie większa niż otaczających je skał, w obrazie powierzchniowym pola cieplnego Ziemi nad tymi strukturami możemy spodziewać się znacznych odchyłeń pola temperaturowego i strumienia cieplnego.

Te przesłanki teoretyczne były podstawą zastosowania metody geotermicznej do rozpoznania wysadu solnego Damasławek (Kornowska, 1982). Przewodność cieplna soli i anhydrytów jest 2–5 krotnie wyższa niż otaczających wysad skał, dlatego podczas pomiarów, spodziewano się otrzymać nad wysadem dodatnią anomalię parametrów termicznych, która w przybliżony sposób wskazywałaby na granice wysadu.

Podczas badań (Boroński & Grycko, 1978), zajęto się wyłącznie „płytką geotermiką”, nie wykorzystano karotażowych pomiarów temperatury, wykonanych w głębokich otworach wiertniczych nad wysadem i w jego sąsiedztwie.

Obecnie na podstawie pomiarów z 1978 r. (Boroński & Grycko, 1978), podjęto próbę zestawienia map cyfrowych temperatur na głęb. 2 m p.p.t. przy zastosowaniu różnych metod interpolacji, analizy rozkładu temperatury w głębokich otworach wiertniczych na obszarze wysadu i w jego sąsiedztwie, oznaczenie strumienia cieplnego dla wysadu i dla otoczenia i porównania z wynikami regionalnymi, oraz porównania warunków cieplnych wysadu „Damasławek” z warunkami dla wysadów „Rogoźno” i „Goleniów”. Jedyne mapa rozkładu temperatur na głębokości 2 m p.p.t. (ryc. 6) dostarczyła informacji przydatnych do rozpoznania budowy geologicznej wysadu. Pozostałe, wymienione

wyżej, analizy, oznaczenia i porównania nie przyniosły pozytywnych rezultatów ze względu na niewielką ilość pomiarów i ich dosyć słabą jakość.

Płytkie pomiary temperatury nad wysadem Damasławek wykonano wiosną (pierwsza połowa maja 1978 r.) i latem 1978 r. Pomiary temperatury dokonywano na głęb. 2 m ppt., w otworach wierconych przenośnym, mechanicznym urządzeniem, udarowo-obrotowym typu „Pionjar” i wiertnicą WH-1. Temperaturę mierzono termometrem GT-2 i odczytywano ją z dokładnością do $0,1^{\circ}\text{C}$. Czas stabilizacji otworu był większy niż 1h, co gwarantowało wynik dla warunków ustalonych. Pomiary wykonano wzdłuż profili A ... P o długości 6,5 km każdy, odległość między profilami wynosiła ok. 500 m, a krok pomiarowy na profilu ok. 250 m ryc. W pierwszej połowie maja wykonano pomiary na całym obszarze w 493 punktach. Latem powtórzono pomiar tylko w 68 punktach głównie SE części obszaru. W celu określenia okresowego dryftu temperatury, codziennie prowadzono pomiar w punktach bazowych nad wysadem (2A, 3A — Boroński & Grycko, 1978) i w jego sąsiedztwie (1A — Boroński & Grycko, 1978). Jako tło przyjęto pomiar na bazie w dniu 5–6.05.1978 r. wynoszący $6,05^{\circ}\text{C}$. Pomiar na punkcie bazowym służył do wprowadzenia poprawki (dla uproszczenia przyjęto, że inercja przepływu ciepła w skałach dla każdego mierzonego punktu jest taka jak na bazie). Głębokość pomiaru — 2 m ppt. jest znacznie większa niż głębokość dobowych zmian temperatury dla tego obszaru — ~ 1 m p.p.t., natomiast mniejsza niż głębokość zmian dekadowych — ~ 3 m p.p.t. (Stajniak, 1978). Krótki czas pomiarów (ok. dwa tygodnie) gwarantował jednorodność danych po wprowadzeniu poprawki.

Uzyskany materiał pomiarowy jest wyjątkowo jednorodny i dobrej jakości.

Zastanawiano się przy obecnym opracowaniu nad wyborem metody interpolacji — sposobu obliczenia wartości współrzędnej t w węzłach siatki — co decyduje o jakości uzyskanej mapy. Do interpolacji w naszym zadaniu użyto siatki o odstępach węzłów 94 m; przy tak przyjętej siatce i takiej gęstości i równomiernym rozmieszczeniu pomiarów (ciągi co 500 m, pomiar w ciągu co 250 m) jakim dysponowano, w zasadzie dobór metody interpolacji nie powinien znacząco wpływać na wynik. Ze względów metodycznych, pokuszono się o wykonanie mapy trzema metodami: metodą odwrotnego dystansu, z której nie uzyskano zadowalającej mapy korelującej się z mapami opracowanymi przy pomocy innych metod, metodą krigingu, z której uzyskano obraz zbliżony i metodą najmniejszych krzywizn, z której uzyskano obraz najlepszy, który poddało dalszej interpretacji.

Mapę temperatury na głęb. 2 m p.p.t. (ryc. 6), zestawiono dla 485 punktów pomiarowych. Izotermy wykreślono co $0,1^{\circ}\text{C}$. Dla lepszej wizualizacji na każdej z prezentowanych map naniesiono granice wysadu, a konkretnie uskoków okalających wysad, wyinterpretowanych na podstawie badań sejsmicznych (Krzywiec i in., 1999).

Zmienność temperatur nad wysadem i w jego obrębie jest mała: $5,4\text{--}7,1^{\circ}\text{C}$ ($DT=1,7^{\circ}\text{C}$). Boroński i Grycko (1978) założyli, że struktura solna Damasławka w polu cieplnym wywołuje taki efekt, na podstawie którego można wnioskować o granicach wysadu. Okazało się jednak, że rzeczywistość jest bardziej skomplikowana. Na podstawie otrzymanego obrazu nie da się wnioskować o granicach wysadu. Pole podwyższonych wartości temperatury (do $7,1^{\circ}\text{C}$, gdy tło wynosi $6,0^{\circ}\text{C}$) w SE części obszaru,

układające się w dwa owale, o osiach prostopadłych do osi wysadu, nie wyznaczają granic wysadu. Nieco mniejsze, ale też wyższe niż tło wartości T rozchodzą się od części środkowej wysadu w kierunku NW i W w kształcie litery V. Zestawienie mapy T (dla 2 m p.p.t.) z mapą grawimetrycznych anomalii lokalnych (dla $R=1000$ m) wskazuje, że temperatura odwzorowuje tektonikę w strefie przypowierzchniowej. Także strefy uskokowe wewnątrz wysadu, wyznaczone z badań sejsmicznych, wykazują dużą zgodność z przebiegiem wyższych wartości izolinii temperatury. Mapa temperatury może być zatem bardzo pomocna przy kartowaniu nieciągłości, stref uskokowych, szczególnie w strefach przypowierzchniowych.

Związek płytkich anomalii geotermicznych z tektoniką został zauważony już w 1976 r. przez Stajniaka i in. (1976). Powiązał on występowanie dodatnich anomalii temperatury z występowaniem głębokich uskoków tektonicznych.

Autorzy rozpatrzyli w tym opracowaniu także procesy, które w nadkładzie wysadu mogą wpływać na rozkład i sposób transportu ciepła. Zawodnienie nadkładu, filtracja i drenaż wód powoduje zwiększenie konwekcji w przenoszeniu ciepła nawet do 50, 60% (Haenel, 1988). Rozważając sytuację statyczną, woda ma bardzo wysokie ciepło właściwe, stanowiąc tym samym niejako „kondensator” ciepła. Przy wyższej temperaturze — obniża pomierzone wartości, przy niższej — na odwrót. Zastosowanie metody geotermicznej przy rozpoznaniu dróg płytkiego krążenia dało bardzo dobre rezultaty (Stajniak, 1981). Metoda ta wykazała, że strefy obniżonej temperatury w letnich miesiącach najczęściej są związane z płytkim występowaniem wód infiltracyjnych.

Na badanym obszarze stwierdzono (Kornowska, 1983) cztery piętra wodonośne: Q, Trz, K, P — o silnej więzi hydraulicznej pomiędzy sobą. Być może anomalie ujemne wskazują na znaczne zawodnienie nadkładu wysadu wodami infiltracyjnymi. Może wskazywać na to zwiększona miąższość czapy wysadu w części NW, bowiem w NW części czapy występują takie wody.

Poziomy wodonośne (piaskowce drobnoziarniste) w utworach kredy okalają wysad solny oraz zalegają bezpośrednio na czapie gipsowej, stąd też (por. Brożek & Tatarski, 1983) w miejscach, gdzie brak izolacji wspomnianego poziomu z utworami czapy i słupa solnego bądź jest ona słaba, wody kredowe stanowią największe zagrożenie dla słupa soli. Wody te są — wskutek aktywnego kontaktu z utworami czapy i pnia solnego — wysoko zmineralizowane (I, II i III grupa) i ich skład dowodzi (Brożek & Tatarski, 1983), że są to wody strefy aktywnej wymiany z wodami infiltracyjnymi.

W obrębie czapy gipsowej występują nawodnione partie spękanych gipsów i anhydrytów o skomplikowanych drogach krążenia i zasilania (Brożek & Tatarski, 1983). Wody tu obecne należą do II, III i IV grupy pod względem mineralizacji.

Mniej istotne są zagrożenia ze strony poziomów wodonośnych w utworach czwartorzędu (jeden) i trzeciorzędu (dwa — wody nisko- i średniozmineralizowane I i II klasy).

Interesująco przedstawia się zróżnicowanie zawodnienia czapy wysadu w świetle dotychczasowych danych wiertniczych (ryc. 3). Osiowa część czapy o orientacji NW–SE (rejon otworów Damasławek IG-2, IG-3, IG-5, IG-8, IG-9, Geo-11) zawiera wody w swej górnej partii, przy kontakcie z utworami kredy, natomiast dolna pozostaje sucha i szczelna. Spotykane są tu kawerny (otwory: Damasławek IG-5, IG-8, IG-9), rejestrowane ucieczką płuczek. Od tego schematu odbiega rejon otworu Damasławek IG-1, gdzie zawodniona jest dolna część czapy, aż do kontaktu z solą. Obecność wód

zmineralizowanych w całym profilu czapy stwierdzono w otw. Damasławek IG-7 na SE skłonie wysadu. Jest to zapewne wynik krzyżowania się tu wielu dyslokacji, rozwiniętych wzdłuż krawędzi wysadu, oraz kontaktu stropu spękanej czapy bezpośrednio z piaskowcami kredy, stanowiącymi poziom wodonośny (ryc. 1). Całkowicie szczelna i sucha jest czapa w otworach Damasławek IG-4 i IG-6, położonych naprzeciw siebie po NE i SW stronach wysadu. Pomimo znacznego uszczelnienia występujących tu siarczanów (ryc. 2) są one izolowane od wodonośnych piaskowców kredowych przez horyzonty ilaste, stanowiące rezydium niszczonej czapy.

W obrębie wysadu nie stwierdzono obecności wód termalnych, co może świadczyć, o tym, że nie ma wód wstępujących, pod ciśnieniem, z dużych głębokości, a co za tym idzie, że nieciągłości tektoniczne nie przewodzą wody z dużych głębokości.

Procesy hydrogeologiczne zachodzące w nadkładzie w dużej mierze są determinowane płytką tektoniką, odpowiadają z znaczną komplikacją obrazu temperatury na głęb. 2 m p.p.t.

Duży wpływ na rozkład temperatur ma także litologia nadkładu wysadu. Utwory ilaste, a w szczególności węgle brunatne bardzo słabo przewodzą ciepło konduktywnie, również konwekcja w nich jest utrudniona. Dodatkowo czapa nad wysadem „Damasławek” należy do najbardziej mięjszych. W obrębie czapy występują utwory o stosunkowo małych kontrastach litologicznych. Gipsy są dobrym izolatorem ciepła. Występująca nad wysadem mięjsza seria: utworów ilastych, węgla brunatnych, gipsów, izolująca przepływ ciepła ku górze, stanowi doskonałą zaporę dla przepływu ciepła. Zatem zmian w obrazie temperatury powierzchniowej można się spodziewać bardziej w otoczeniu wysadu, gdzie „izolator” ten zalega głębiej albo lokalnie nad wysadem, gdzie brak utworów izolujących, bądź w strefach tektonicznych, niż w sytuacji, gdy decydującą rolę odgrywa konwekcyjny transport ciepła. Ta sytuacja — indywidualna dla wysadu „Damasławek” wydaje się tłumaczyć brak korelacji granic wysadu z obrazem temperatur na głęb. 2 m p.p.t.

Podsumowanie

Przeprowadzenie modeli sejsmicznych wzdłuż profili i analiz archiwalnych opracowań termicznych i tellurycznych okazało się w pełni uzasadnione. Prace te w znaczący sposób wzbogaciły materiał użyty przy opracowaniu dla Państwowej Agencji Atomistyki (Krzywiec i in., 1999). Umożliwiły one większe zintegrowanie danych geologicznych i geofizycznych.

Modelowanie sejsmiczne pozwoliło na dokładniejsze określenie prędkości dla poszczególnych serii litologicznych, co doprowadziło do skorygowania interpretacji wykonanych profili sejsmicznych i uściślenia korelacji nieciągłości tektonicznych w obrębie czapy i jej najbliższym otoczeniu.

Analiza archiwalnych prac tellurycznych, ukierunkowana na śledzenie zmienności tektonicznej wewnątrz obrębu wysadu, pozwoliła na uszczegółowienie obrazu tektonicznego. Z jednej strony potwierdziła przebieg pewnych linii tektonicznych, z drugiej zaś pokazała ich przebieg w miejscach, które nie były dokumentowane innymi metodami. Wykazała też, że nowe metody przetwarzania umożliwiają pozyskanie większej ilości informacji niż było to możliwe w czasie realizacji zadania, z którego materiały wykorzystano obecnie.

Wykorzystanie materiałów termicznych budziło początkowo wątpliwości co do celowości tego zabiegu. Okazało się jednak, że dane te umożliwiły na wyciągnięcie wielu wniosków mających znaczenie w rozpoznaniu hydrogeologicznym.

Rozkład pola cieplnego nad wysadem i w jego otoczeniu pozwolił na wyciągnięcie wniosków dotyczących dróg krążenia wód. Częściowo zostało odwzorowane także zaleganie warstw izolacyjnych nad czapą wysadu.

Każda z użytych metod w czasie realizacji zadania dostarczała pewnej ilości informacji dotyczących budowy geologicznej wysadu solnego i jego otoczenia. Dopiero jednak zintegrowana interpretacja wszystkich obserwacji pozwoliła na uzyskanie przestrzennego obrazu struktury i jej otoczenia. Umożliwiła powiązanie ze sobą różnego rodzaju efektów i wyeliminowała błędy powstające przy każdej metodzie. Drugim efektem przeprowadzonych badań było opracowanie metodyki badania płytko leżących struktur solnych. Okazało się, że możliwe jest wyciąganie wspólnych wniosków ze, zdawałoby się odległych od siebie, metod geofizycznych uzupełnionych reperowymi obserwacjami geologicznymi z otworów wiertniczych. Wydaje się, że większość archiwalnych prac geofizycznych nadaje się do ich powtórnej interpretacji nowoczesnymi programami obliczeniowymi. Daje to szansę na otrzymanie lepszych wyników niż było to możliwe do uzyskania w czasie prowadzenia prac pierwotnych.

Literatura

- BOROŃSKI B. & GRYCKO M. 1978 — Dokumentacja badań geotermicznych; temat „Damasławek”. [W:] Kornowska I. Dokumentacja geologiczna złoża soli kamiennej w wydazie solnym „Damasławek”, kat. C2, t. I. CAG Państw. Inst. Geol. nr 3725/377, 1982
- BROŻEK B. & TATARSKI A. 1983 — Dokumentacja geologiczna złoża soli kamiennej w wydazie solnym „Damasławek”, kat. C2, t. II, część hydrogeologiczna. Państw. Geol.
- GARLICKI A. (ed.) 1997–1998 — Uzupełniające rozpoznanie wysadu „Damasławek”. Etap I (1997), Etap II (1998). Arch. PAA, Warszawa.
- HAENEL R., RYBACH L. & STEGENA L. 1988 — Handbook of terrestrial heat-flow density determination. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht–Boston–London
- JAGODZIŃSKA B. & KALITIUK R. 1999 — Dokumentacja badań geoelektrycznych temat: Rozpoznanie budowy wewnętrznej czapy gipsowo-anhydrytowej wysadu solnego „Damasławek”. CAG Państw. Inst. Geol., 971/99
- JAROSIŃSKI M., CZAPOWSKI G., BURLIGA S. & GARLICKI A. 2000 — Badania nadkładu i czapy wysadu „Damasławek” — zintegrowany model geofizyczno-geologiczny. Posiedz. Nauk. Państw. Inst. Geol., 56: 45–46.
- KORNOWSKA I. 1983 — Dokumentacja geologiczna złoża soli kamiennej w wydazie solnym „Damasławek”, kategoria rozpoznania C2, gmina: Żnin i Janowiec Wielkopolski, województwo bydgoskie. CAG Państw. Inst. Geol., 3725/377.
- 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 „Damasławek”. Prz. Geol., 48: 1005–1014.
- KRZYWIEC P., KRÓLIKOWSKI CZ., JAROSIŃSKI M., SZEWCZYK J., WYBRANIEC S., CZAPOWSKI G., ZIENTARA P., PETECKI Z., TWAROGOWSKI J., JÓ WIĄK W. & ŻÓLTOWSKI Z. 1999 — Rozpoznanie budowy wewnętrznej czapy gipsowo-anhydrytowej wysadu solnego „Damasławek” płytkimi badaniami sejsmicznymi. Arch. PAA Warszawa.
- MAREK S. & PAJCHŁOWA M. (eds) 1997 — Epikontynentalny perm i mezozoik w Polsce. Pr. Państw. Inst. Geol., 152: 1–452.
- STAJNIAK J. 1980 — Zastosowanie metody geotermicznej do badania wysadów solnych. Biul. Inf. PBG Geofizyka Stosowania, 1: 33–47
- STAJNIAK J. 1981 — Zastosowanie metody geotermicznej do poszukiwań wód podziemnych w Polsce. Biul. Inf. PBG Geofizyka Stosowania, 1: 29–50.
- STAJNIAK J., GAJEWSKI A. & KRÓLIKOWSKI C. 1976 — Regionalne badania geotermiczne na profilu Chociwel–Lębork. Prz. Geol., 24: 651–658.
- ŚLIZOWSKI K. & SAŁUGA P. 1996 — Surowce mineralne Polski. Surowce chemiczne. Sól kamienna. Wyd. Centrum PPGSMiE PAN, Kraków.
- ŚWIĘCICKA-PAWLISZYN J. 1963 — Opracowanie badań tellurycznych temat: Damasławek. CAG Państw. Inst. Geol., 3725/174, z. 9.
- TARKA R. 1992 — Tektonika wybranych złóż soli w Polsce na podstawie badań mezostrukturalnych. Pr. Państw. Inst. Geol., 137: 1–47.