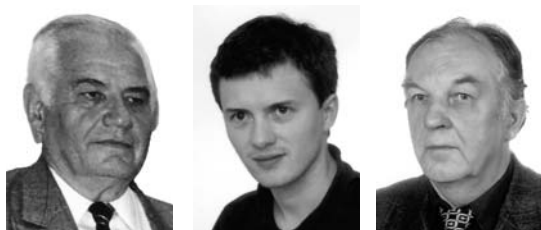


Wyznaczanie kształtu ścian bocznych wysadów solnych metodą tomografii sejsmicznej na przykładzie wysadu „Góra”

Tadeusz Krynicki*, Radosław Mieszkowski*, Adam Wojas**



T. Krynicki

R. Mieszkowski

A. Wojas

Shape estimation of the salt domes' side walls with seismic tomography— a salt dome “Góra” case study. *Prz. Geol.*, 53: 695–698.

S u m m a r y. Salt Dome “Góra” was studied with seismic tomography method. Three profiles are described. The interpretation of wave pictures helped to locate the walls of the studied salt dome s. The research confirmed the salt dome has good properties for storage of gas or toxic and radioactive wastes.

Key words: seismic tomography, salt dome, storage of gas, wave picture

Wysady solne od dawna są przedmiotem badań geofizycznych (Kasina, 2001a.; Bujakowski i in., 2003). Już w latach 20. ubiegłego stulecia lokalizowano wysady na podstawie danych metody refrakcyjnej. Obecnie również wyniki geofizyczne są cenną informacją o budowie tych form strukturalnych oraz skał ich otaczających i wydawnie przyczyniają się do odkrycia złóż ropy naftowej (Leggott i in., 2004; Mierszczij i in., 2002).

W związku z tym, że sole charakteryzują się dobrymi właściwościami uszczelniającymi, wysady solne mogą być wykorzystywane jako zbiorniki gazu ziemnego lub do bezpiecznego składowania odpadów promieniotwórczych. Wolna przestrzeń w wysadach solnych wiąże się z wyrobiskami górniczymi oraz komorami, powstałymi w wyniku ługowania soli gorącą wodą z wierceń. Ocena przydatności wysadu solnego do przechowywania odpadów radioaktywnych lub gazu ziemnego jest dokonywana na podstawie rozpoznania geometrii wysadu na głębokości przewidywanego ulokowania odpadów szkodliwych. Określenie geometrii wysadu może być wystarczająco dokładne tylko wówczas, gdy znana jest lokalizacja jego ścian bocznych oraz ich ukształtowanie. Wyznaczanie ścian bocznych wysadów solnych możliwe jest na podstawie wyników uzyskanych metodą tomografii sejsmicznej. Zostanie to przedstawione na przykładzie wysadu „Góra”.

Metoda tomografii sejsmicznej (TS)

Metoda tomografii sejsmicznej jest stosowana na szeroką skalę w takich działach geologii, jak: geologia strukturalna, inżynierska, kopalniana, a także w ochronie środowiska i in. Podstawowym celem badań TS jest rozpoznanie ośrodka geologicznego pod względem jego jednorodności (Dębski, 2000; Kasina, 2001b). Stopień jednorodności masywu skalnego ocenia się na podstawie prędkości przebiegu fal sprężystych zarówno podłużnych, jak i poprzecznych. Do obliczania prędkości niezbędna jest znajomość drogi i czasu przebiegu fali sprężystej od punktu wzbudzenia do miejsca pomiaru. Czas przebiegu fali jest rejestrowany w aparaturze sejsmicznej. Natomiast ustalenie długości drogi przebiegu fali, a dla wygody obliczeń przyjmuje się długość drogi przebytej przez promień fali,

jest trudne i nie zawsze wystarczająco dokładne. Dotyczy to zwłaszcza badań obiektów występujących na głębokości stu i więcej metrów. Do takich obiektów zaliczyć można wysad solny „Góra”. W celu zwiększenia dokładności obliczanych prędkości przebiegu fal w masywie skalnym, sporządza się modele geologiczno-geofizyczne. Opracowuje się je na podstawie danych geologicznych oraz rozkładu wartości parametrów sprężystych i gęstości skał. W przypadkach, gdy wzbudzanie fal odbywa się w otworze kolejno na kilku głębokościach, a ich rejestracja geofonami rozstawionymi na powierzchni, model może być uściślony na podstawie wstępnych danych pomiarów tomograficznych. W celu sprawdzenia czy budowa geologiczna na odcinku przekroju przedstawionym na modelu jest bliska rzeczywistej, porównuje się pomierzone wartości czasu przyścia fal do geofonów z wartościami obliczonymi na podstawie przyjętego modelu. Gdy wartości te różnią się, wykonuje się korekty modelu, aż do uzyskania wystarczającej zgodności obliczonych i pomierzonych wartości czasu przebiegu fal. Zgodność wartości czasu pozwala sądzić, że obraz budowy geologicznej przedstawiony na modelu jest bliski rzeczywistości.

Metodyka pomiarów tomograficznych

Badania terenowe na wysadzie „Góra” zostały wykonane przez pracowników przedsiębiorstwa „Geofizyka Toruń Sp. Z o. o.”

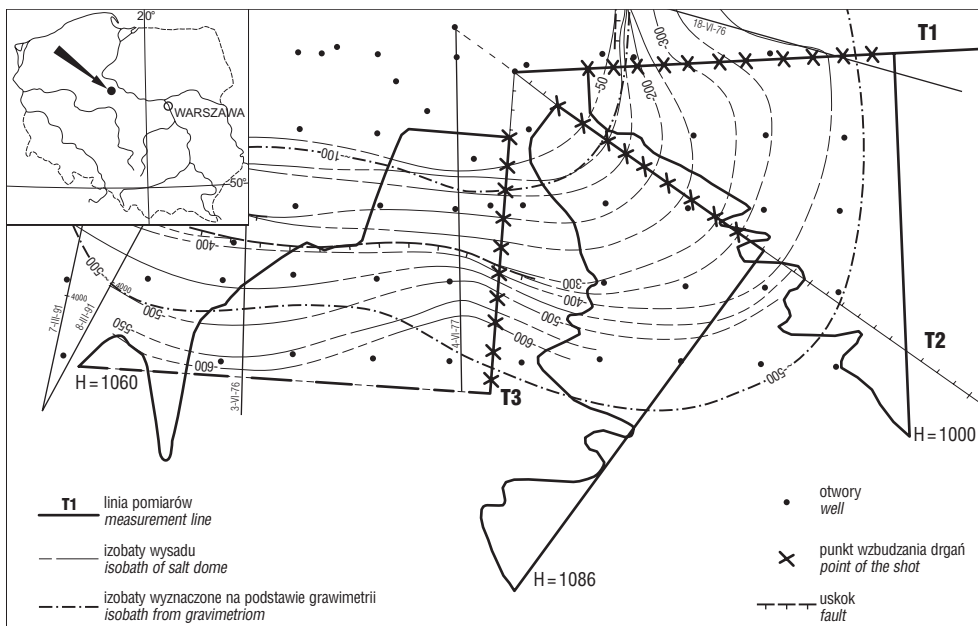
Fale wzbudzano w otworze ZG 11, a głównie w komorze poeksploatacyjnej w przedziale głębokości od 360 do 1160 m poniżej wylotu otworu, odpalając kolejno ładunki materiału wybuchowego rozmieszczone w odstępach wynoszących średnio 50 m. Łącznie odpalono 17 ładunków.

Do rejestracji fal zastosowano wielokanałową aparaturę sejsmiczną. Pomiarów fal prowadzono jednocześnie wzdłuż trzech linii T1, T2 i T3 o długości 1800 m (ryc. 1).

Odległości między odbiornikami wynosiły 25 m. Zastosowana metodyka pomiarów zapewniła uzyskanie dużej liczby danych dotyczących wartości czasu przebiegu promieni sejsmicznych w masywie skalnym. Przypomnijmy, że dokładność wyników badań tomograficznych jest funkcją liczby promieni wykorzystywanych w obliczeniach prędkości fal sejsmicznych. Wykonanie pomiarów na tak długich liniach, ułatwia analizę obrazu falowego odzwierciedlającego charakter rozkładu parametrów sprężystych, również w pewnej odległości od wysadu, na co wskazują trajektorie promieni fal (ryc. 2).

*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; r.mieszkowski@uw.edu.pl

**Miner-PBG, Sp. Z o.o. ul. Jagiellońska 76, 03-301 Warszawa; minerpbg@wp.pl



Ryc. 1. Lokalizacja profili badawczych na tle struktury wysadu solnego
 Fig. 1. The location of research profiles within the of salt dome

Uzyskany obraz falowy

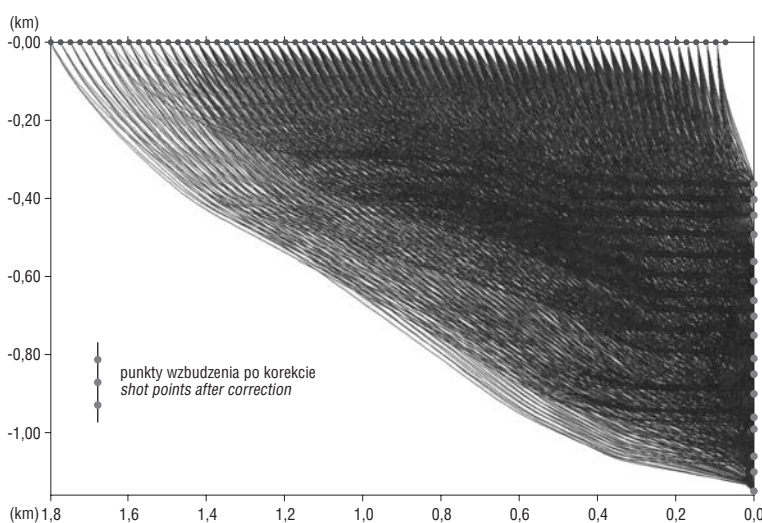
Rejestrowany obraz falowy, stanowiący podstawę interpretacji geologicznej wyników każdej metody sejsmicznej, odzwierciedla istniejący stan fizyczny ośrodka, a zwłaszcza jego właściwości sprężyste. Można uważać, że w rejonie badań na obraz falowy wpływa budowa geologiczna (rozmieszczenie skał o różnych parametrach sprężystych oraz gęstości). W sąsiedztwie wysadu „Góra” na powierzchni występują w miarę jednorodne osady, a teren jest płaski. Pomimo to, wartości czasu rejestracji fal dodatkowo skorygowano poprzez wprowadzenie poprawek statycznych. Podczas badań na wysadzie solnym „Góra” ładunki materiału wybuchowego detonowano na głębokości kilkuset metrów p.p.t. Otaczająca ładunki solanka, sprzyjała przekazaniu energii wybuchów do masywu skalnego i zapewniała zachowanie podobnych warunków wzbudzenia fal na długości całego otworu wiertniczego. Fale najbardziej intensywne i wykazujące dobrą ciągłość zarejestrowano na liniach T1 i T2 (ryc. 3, 4), chociaż i tu wystąpiły trudności przy wyznaczaniu fal na

niektórych sejsmogramach. Prawdopodobnie jest to spowodowane tym, że trajektorie przebiegu fal zmieniają się w zależności od głębokości punktu wzbudzenia. Przykład obrazu falowego uzyskanego na poszczególnych liniach T1, T2 i T3 przy zdetonowaniu ładunku na głębokości 560 m — przedstawiają ryc. 3–5.

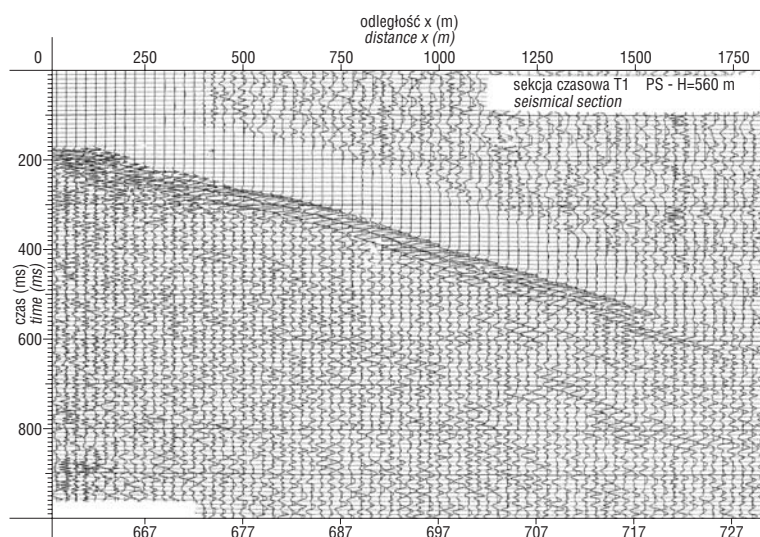
Zarejestrowane obrazy falowe (ryc. 3–5) wykazują pewne cechy zapisu wspólne, ale również odmienne. Na odcinkach wszystkich linii ograniczonych punktami 0–400 w przedziale czasu 180–300 ms zapis jest złożony. Złożoność zapisu jest spowodowana interferencją fal, zanikiem lub pojawieniem się faz fal, a także szybko zachodzącą zmianą wartości czasu rejestracji pierwszych wstąpień fal. Począwszy od punktu 400 na liniach T1 i T2 następuje uproszczenie obrazu falowego. Natomiast na linii T3, gdzie zastosowano inną formę prezentacji zapisu sejsmicznego, obserwuje się wyraźny spadek intensywności fal od punktu 500, tak że między punktami 1000–1500 energia zapisu fal praktycznie jest bliska zero. Na sejsmogramach zarejestrowanych na każdej linii obserwuje się też wyraźne zmiany wartości czasu przyścia fali do odbiorników. Wzrost czasu rejestracji występuje między punktami 50–450 — linia T1, w sąsiedztwie punktu 1100 — linia T2, czy też w rejonie punktu 400 — linia T3. Występują również odcinki, na których wartości czasu rejestracji fal zmniejszają się. Przyczyny zmian czasu rejestracji fal są związane z występowaniem odmiennych właściwości sprężystych w masywie skalnym, a także uskoku, z których jeden rozpoznany metodą refleksyjną (ryc. 1) wpłynął na intensywność fal na linii T3.

Wyniki badań TS

W metodzie TS podstawowym materiałem wyjściowym służącym do odwzorowania kształtu ścian bocznych, a zatem i określenia rozmiarów wysadu solnego są mapy i przekroje rozkładu prędkości przebiegu fal sprężystych. W przypadku badań wysadów solnych, zadanie



Ryc. 2. Trajektorie promieni fal
 Fig. 2 The trajectory of wave radii

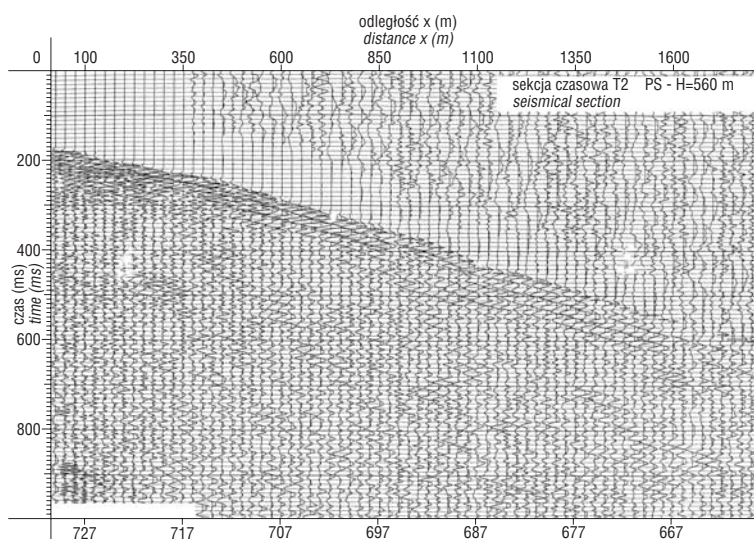


Ryc. 3. Obraz falowy na profilu T1
Fig. 3. The wave picture for profile 12

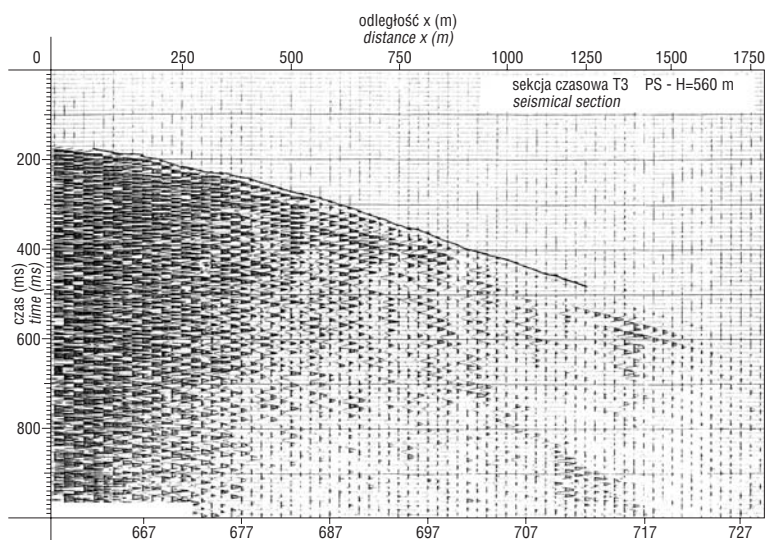
jest nieco ułatwione, gdyż prędkość przebiegu fal w soli, niezależnie od jednostki geologicznej i głębokości występowania zmienia się w niewielkim stopniu i najczęściej wynosi 4400–4800 m/s (Krynicky, 1980). Przy ocenie dokładności wyników badań TS należy brać pod uwagę rozmieszczenie geofonów oraz punktów wzbudzania fal. Wyniki w górnych i dolnych partiach wysadu mogą być mniej dokładne, ponieważ brak tu jest dostatecznej ilości przecięć promieni fal, weryfikujących poprawność przyjętych wartości prędkości. W warunkach wysadu solnego „Góra”, jako najbardziej pewne należy traktować wyniki od głębokości 200 do 800 m.

Na podstawie przeprowadzonej analizy prędkości, dokładności wyznaczania czasu rejestracji fali, obliczono, że błąd w określeniu położenia ściany wysadu w kierunku poziomym nie przekroczy 50 m (Wojas & Kokot, 2000). Dane pomiarów TS przetworzono przy użyciu programu opracowanego przez B. Kokota. Wyniki badań uzyskane na liniach T1, T2 i T3 przedstawiono odpowiednio na ryc. 6–8.

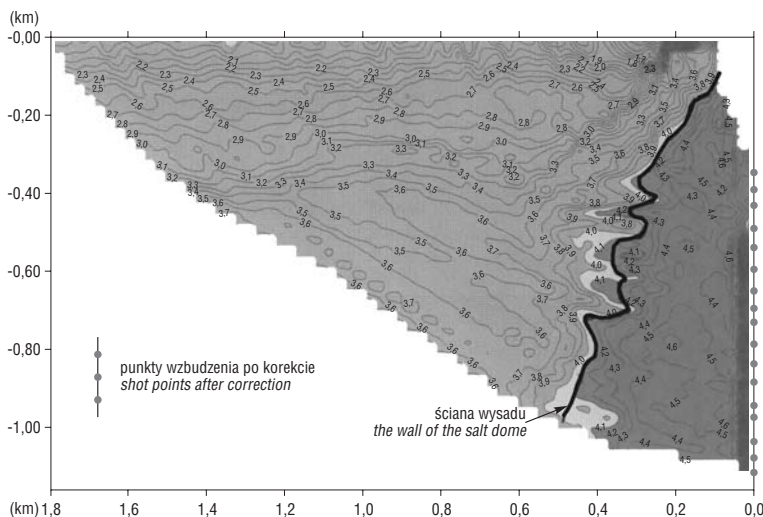
Wyznaczone na poszczególnych liniach ściany boczne wysadu różnią się kształtem. Najbardziej urozmaicona pod względem kształtu ściana występuje w przedziale głębokości 400–700 m na linii T1 (ryc. 6). Powstanie takiej formy prawdopodobnie można wiązać z wyciśnięciem się bardziej mobilnej soli w przylegające do ściany wysadu warstwy. Ściana boczna wysadu na linii T2 (ryc. 7) jest dosyć regularna z wyjątkiem odcinka ograniczonego głębokościami 600–850 m. Kierunek wciskania się soli jest nieco inny niż na linii T1. Ponadto ściana wysadu w przedziale głębokości 300–600 m i 850–1000 m przebiega prawie pionowo (ryc. 7). Charakterystyczne poszerzenie wysadu z 250 do ok. 400 m w interwale głębokości 600–850 m. Sól przybiera tutaj kształt siodła. Wyraźna zmiana szerokości wysadu występuje także na profilu T3, ale na



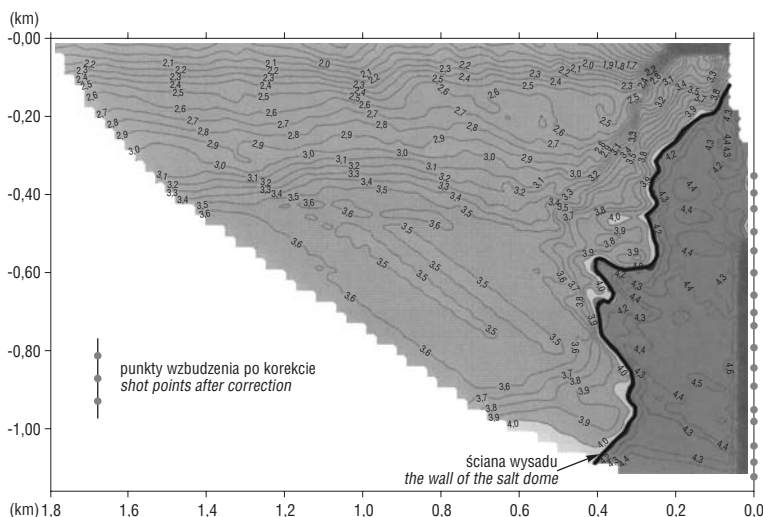
Ryc. 4. Obraz falowy na profilu T2
Fig. 4. The wave picture for profile T2



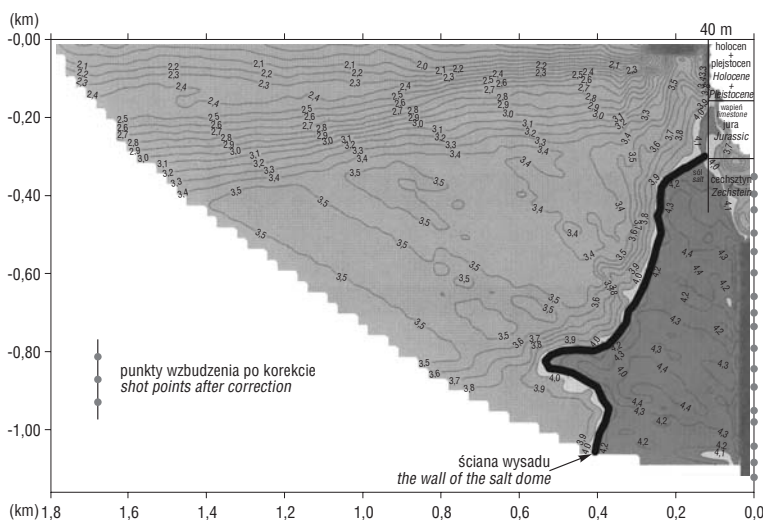
Ryc. 5. Obraz falowy na profilu T3
Fig. 5. The wave picture for profile T3



Ryc. 6. Interpretacja wyników badań tomografii sejsmicznej (linia T1)
Fig. 6. The interpretation of research of seismic tomography results (line T1)



Ryc. 7. Interpretacja wyników badań tomografii sejsmicznej (linia T2)
Fig. 7. The interpretation of research of seismic tomography results (line T2)



Ryc. 8. Interpretacja wyników badań tomografii sejsmicznej (linia T3)
Fig. 8. The interpretation of research of seismic tomography results (line T1)

głębokości ok. 800 m (ryc. 8). Ze względu na inny kształt, trudno jest stwierdzić, czy obydwie formy utworzone przez sól na liniach T2 i T3 mogą być łączone. Natomiast pewnym jest, że na wszystkich liniach pomiarów TS, wysad zwiększa powierzchnię poprzeczną wraz z głębokością. Ponadto w przedziale przebadanych tomografią sejsmiczną głębokości brak jest takich zmian powierzchni ściany bocznej wysadu, które by w jakimkolwiek stopniu wpływały ujemnie na przydatność pustek w wysadzie do przechowywania gazu ziemnego.

Pomimo, iż przedział zmian prędkości przebiegu fal w wysadzie jest niewielki, to jednak należy brać pod uwagę możliwość wystąpienia zróżnicowania właściwości uszczelniających soli.

Wnioski

Uzyskane wyniki potwierdzają przydatność metody tomografii sejsmicznej w badaniach kształtu ścian bocznych wysadów solnych. Dokładność określenia położenia ścian bocznych wysadów jest wystarczająca do podejmowania decyzji co do przydatności wykorzystania wysadów jako zbiorników na gaz a nawet na odpady (promieniotwórcze lub toksyczne). Metoda TS może znaleźć również zastosowanie, chociaż w zmienionym wariancie metodycznym, przy rozpoznawaniu innych niż wysady solne obiektów niejednorodnych oraz stref o innych parametrach fizycznych niż skały otaczające.

Literatura

- BUJAKOWSKI W., CZERWIŃSKI T., GARLICKI A., JARZYNA J., MULARZ S. & TARKOWSKI R. 2003 — Termiczna charakterystyka górotworu w rejonie wysadów solnych. Wyd. IGSMiE PAN Kraków.
- DĘBSKI W. 2000 — Tomografia sejsmiczna i jej nowe aspekty [W:] Działalność naukowa PAN — Wybrane zagadnienia, 10: 147–149.
- GOGONIENKOW G. N. 1987 — Izuczenie detalnego strojenia osadocnych tołszcz sejsmorazwiedkoy. Wyd. Niedra.
- KASINA Z. 2001a — Prześwietlenia sejsmiczne wysadów solnych dla celów projektowania magazynów podziemnych. [W:] Geofizyka w inżynierii i ochronie środowiska (dla potrzeb samorządności lokalnej): Dębę, marzec 200: streszczenia referat: 23–24.
- KASINA Z. 2001b — Podstawy teoretyczne tomografii sejsmicznej i możliwości jej wykorzystania w problematyce górniczej [W:] Badania geofizyczne w kopalniach: praca zbiorowa pod red. Józefa Dubińskiego, Zenona Pileckiego i Waclawa M. Zuberka. — Kraków. Wyd. IGSMiE PAN, 2001: 317–327.
- KRYNICKI T. 1980 — Właściwości sprężyste utworów cechsztyńskich. Kwart. Geol., 24: 593–610.
- LEGGOTT R., COWLEY J. & GARETH W. R. 2004 — The case for applying wave equation depth migration in the north Sea. First Break, August, 22: 75–80.
- MIERSZCZIJ W. W., KOSTJUKIEWICZ A. S. & LESNOJ G. D. 2002 — Primienie połnowołnowogo sejsmiczeskogo, wyzwannych bokowymi czastjami solanogo diapira. Geof. Żurnal, 24: 56–61. Wyd. „Esse”. Kijew.
- WOJAS A. & KOKOT B. 2000 — Dokumentacja konco-wa wyników prześwietlania w otworze ZG–11. Wysad „Góra”: maszynopis–Archiwum Miner-PBG Sp. z o. o.