

Stanisław SPECZIK*, Lidia DZIEWIŃSKA**, Andrzej PEPEL***, Waldemar JÓŹWIĄK****

Możliwość wykorzystania impulsowej postaci zapisu sejsmicznego do rozpoznania złóż prognostycznych miedzi i srebra w północnej części monokliny przedsudeckiej

Streszczenie: W badanym rejonie w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX w. wykonane zostały szczegółowe badania sejsmiczne metodą profili 2D dla poszukiwań złóż ropy i gazu ziemnego. Wykryte struktury w utworach cechsztynu rozpoznane zostały licznymi wierceniami, z których część nawierca podłoże cechsztynu. W wytypowanych obszarach Mozów–Janów–Nowa Sól oraz Borzęcin–Janowo–Sulmierzyce wykonano kompleksową interpretację archiwalnych materiałów geofizycznych powierzchniowych (sejsmicznych – refleksyjnych) i otworowych przyspągowych utworów cechsztynu. Wyniki prac ukierunkowane zostały na wyznaczenie stref predysponowanych do występowania prognostycznych złóż miedzi i srebra, a w dalszej perspektywie dla lokalizacji kontrolnych prac wiertniczych. Podstawę pracy stanowiły wybrane zbiory danych sejsmicznych 2D oraz wyniki profilowań geofizycznych w otworach nawiercających utwory czerwonego spągowca. Do wyboru profili sejsmicznych i otworów wykorzystana została mapa występowania prognostycznych złóż miedziowo-srebrowych w cechsztyńskiej serii miedzionośnej (Oszczepalski, Speczik 2010).

Wyniki badań pozwoliły na szczegółowe rozpoznanie stref zmian litologicznych i miąższościowych poszczególnych cyklotemów cechsztynu oraz elementów tektonicznych związanych z tymi utworami. Obok regionalnych stref tektonicznych są to lokalne nieciągłości litologiczno-tektoniczne oraz strefy występowania mikrouskoków. Uzyskano także bardziej precyzyjne kartowanie stropu czerwonego spągowca wraz z wykształceniem utworów występujących w jego stopowych partiach. Zastosowana metoda pozwoliła także na zwiększenie rozdzielczości zapisu sejsmicznego w stosunku do dotychczas uzyskiwanego obrazu falowego, szczególnie w odniesieniu do utworów cechsztynu. W tym celu falowe trasy sejsmiczne przedstawione zostały w postaci efektywnych współczynników odbicia dzięki przekształceniu jednej z najważniejszych cech zapisu sejsmicznego – amplitudy – w postać impulsową. Nowa postać zapisu sejsmicznego istotnie zwiększa rozdzielczość, pozwalając na wyznaczenie warstw o miąższościach rzędu kilkunastu metrów oraz drobnych uskoków, a po dowiązaniu do profilu głębokich otworów umożliwia identyfikację i śledzenie serii litologicznych wzdłuż profili sejsmicznych. Zasugerowano, że w spągowej serii utworów P2 występujące nad granicą sejsmiczną Z_1' odbicia o niskich wartościach współczynników rejestrowanych na krótkich odcinkach można interpretować jako „warstwy anomalne”, które wskazują miejsca występowania zwiększonej miąższości potencjalnych stref okruszczenia.

* Prof. dr hab., Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Warszawa; e-mail: s.speczik@uw.edu.pl

** Dr, **** Inż., Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa;
e-mail: lidia.dziewinska@pgi.gov.pl, waldemar.jozwiak@pgi.gov.pl

*** Dr inż., S-Systems Sp.o.o. Dobiesz, Góra Kalwaria

Słowa kluczowe: Monoklina Przedsudecka, złoża miedzi i srebra, efektywne współczynniki odbicia, impulsowa postać zapisu sejsmicznego

Possible use of impulse seismic record for recognition of prospective deposits of copper and silver in the northern part of the Fore-Sudetic Monocline

Abstract: In the study area detailed seismic investigation has been done for prospecting of natural oil and gas in 1980–1990-ies and the 2D sections were applied. The discovered structures in Zechstein rocks were identified with numerous boreholes, some of which penetrated into the bedrock of Zechstein. In the selected areas Mozów–Janów–Nowa Sól and Borzęcin–Janowo–Sulmierzyce a complex interpretation of archival surficial geophysical (seismic – reflective) and log data was done for the lowermost deposits of Zechstein. Results of these works focused on demarcation of the zones predisposed to occurrence of prospective copper and silver deposits and later, in setting of control drilling works. The present work is based on selected sets of seismic 2D data and results of geophysical sounding in boreholes that reached the Rotliegendes deposits. Selection of seismic sections and boreholes was based on the map of occurrence of prospective copper-silver deposits in the Zechstein copper-bearing series.

Results of investigation enable detailed recognition of zones with changes of lithology and thickness of every cyclothem of Zechstein and tectonic elements connected with these deposits. Except for regional tectonic zones they comprise local lithologic-tectonic discontinuities and zones with micro-faults. Besides, more detailed mapping of the top of Rotliegendes was received, together with characteristics of the rocks in its upper part. The applied method enabled also to increase a distribution of the seismic record if compared with the previous wavy image, particularly if related to the Zechstein deposits. Therefore, the wavy seismic tracks were presented as effective reflection coefficients, due to transformation of the most important feature, that is of the amplitude into the impulse figure. A new reflection form considerably increases distribution, therefore enables delimiting the layers several meters thick, and fine faults. After comparison with a log of deep borehole, it enables identification and investigation of lithologic series along the seismic sections. Reflections with low coefficients recorded at short distances in the bottom part of P2 deposits, occurring above the seismic boundary Z_1' , can be interpreted as 'abnormal layers' that indicate occurrence of thicker potential mineralization zones.

Key words: Fore Sudetic Monocline, copper and silver mineral deposit, effective reflection coefficients, impulse record of seismic signal

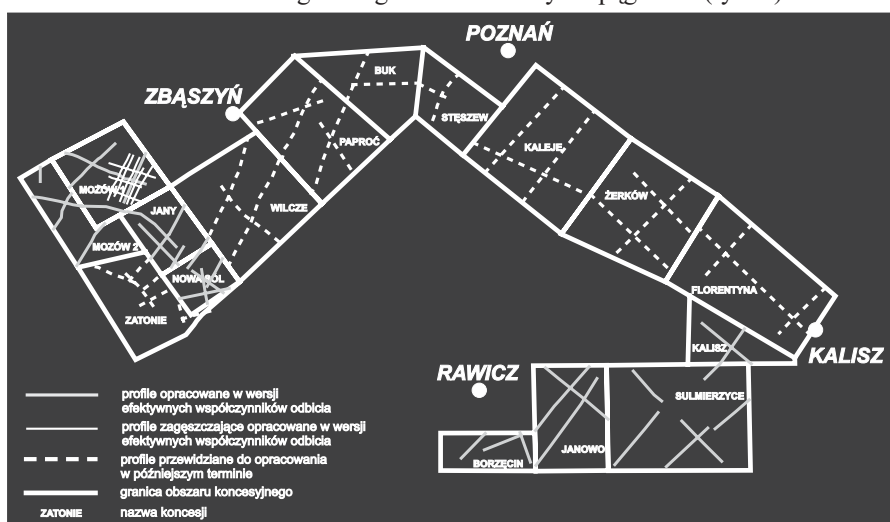
Wprowadzenie

Problematyka poszukiwawcza złóż rud miedzi wymaga od metod sejsmicznych nie tylko określenia budowy strukturalnej określonego obszaru, ale również zmian litofacjalnych, głównie utworów cechsztynu P2. Obserwowane na przekrojach w obrębie tych utworów strefy zmian zapisu sejsmicznego wiążą się głównie ze zmianami litologiczno-facjalno-miąższościowymi poszczególnych cyklotemów P2, a w szczególności stassfurt i werry, jak również z występowaniem stref zaburzeń tektonicznych. Znacznie zróżnicowane litologicznie utwory cechsztynu (iłowce, łupki, wapienie, dolomity, anhydryty, sole, margle, piaskowce) nie tworzą na ogół pakietów dużej miąższości. Niewystarczająca rozdzielczość sekcji sejsmicznych falowych prezentowanych w dokumentacjach utrudnia odwzorowanie budowy cienkowarstwowego przekroju P2 ze znacznie rozwiniętą mikrotektoniką. Jakość rejestracji odbić cechsztyńskich uzależniona jest od budowy w głębszej, stosunków miąższościowych między utworami solnymi i węglanowymi powodujących interferencyjny charakter zapisu między horyzontami Z_3 , Z_2 , Z_1 i Z_1' . Poszczególne granice sejsmiczne przedstawiające na sekcjach zinterferowany obraz falowy, przyjmują charakter umowny.

W artykule prezentowane są prace reprocessingowe, polegające na przekształceniu wybranych przekrojów sejsmicznych w postać efektywnych współczynników odbicia, które podnoszą w znacznym stopniu rozdzielczość zapisu sejsmicznego i w konsekwencji eksponują zmienność litologiczną i tektoniczną skał. Pozwalają one wytypować obszary perspektywiczne dla prac poszukiwawczych rud Cu-Ag oraz dokonać wyboru optymalnej lokalizacji ewentualnych wierceń badawczych. Zaprezentowana metoda obejmuje następujący program:

- 1) określenie zaangażowania tektonicznego i wyznaczenie elementów tektonicznych,
- 2) określenie głębokości i morfologii zalegania utworów spągowych cyklotemu P2,
- 3) rozpoznanie litologicznego wykształcenia poszczególnych ogniw stratygraficznych P2 ze szczególnym zwróceniem uwagi na utwory starszego cechsztynu będące potencjalnymi warstwami miedzionośnymi (nośnikami mineralizacji miedziowej),
- 4) analizę wzajemnego ułożenia poziomów sejsmicznych i rozkładu miąższości śledzonych warstw oraz określenie stref ich zmian, jako czynników wspomagających odtworzenie historii rozwoju utworów cechsztyńskich,
- 5) wyznaczenie prawdopodobnych stref występowania zwiększonej miąższości potencjalnych serii okruszczowanych.

Wybór profili poprzedzony analizą materiału geologicznego pod kątem zalegania perspektywicznych serii złożowych (Oszczepalski, Speczik 2011a) wraz z uwzględnieniem lokalizacji istniejących głębokich otworów i planowanych wierceń należy uznać za optymalny na etapie prac o charakterze doświadczalno-zwiadowczym. Wytypowane profile w ilości średnio ~70 km na każdym z bloków (Mozów 1, Mozów 2, Janów, Nowa Sól w części zachodniej i Borzęcin, Janowo, Sulmierzyce, Kalisz w części wschodniej) charakteryzują się reprezentatywnym dla danego rejonu obrazem falowym uzyskanym w trakcie badań polowych w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX wieku dla poszukiwań złóż ropy i gazu ziemnego, głównie w utworach dolomitu głównego i w czerwonym spągowcu (rys. 1).



Rys. 1. Szkic lokalizacyjny obszarów koncesyjnych, w ramach których opracowywano profile sejsmiczne w wersji efektywnych współczynników odbicia

Fig. 1. Location sketch map of the concession area for which effective reflection coefficient seismic profiles were performed

1. Tło geologiczne

Budowa geologiczna obszaru monokliny przedsudeckiej stanowi przedmiot licznych opracowań archiwalnych i publikowanych (m.in. Dadlez i in. 1998; Karnkowski 1999; Kiersnowski 1998; Marek, Pajchłowa red. 1997; Peryt i in. 1978; Wierzchowska-Kicułowa 1984). Utwory podpermskie charakteryzuje tektonika nieciągła z przeważającymi kierunkami uskoków NW-SE i prostopadłych do nich. Na tle tektoniki piętra waryscyjskiego utwory laramijskiego kompleksu leżące niezgodnie na utworach karbońskiego podłoża cechuje stosunkowo spokojne, pasmowe zaleganie warstw i generalnie kilkustopniowe zapadanie w kierunku N i NE. Pokrywa permsko-mezozoiczna składa się z utworów czerwonego spągowca, cechsztynu, triasu oraz lokalnie jury i kredy.

Zalegające nad osadami P1 utwory węglanowo-siarczanowe i solne P2 stanowią przedmiot szczególnego zainteresowania ze względu na cel przedstawianej pracy. Utwory cechsztyńskie reprezentują 4 cyklotemy wykształcone w typowy sposób dla rejonu monokliny przedsudeckiej (Wagner 1994). Różnice miąższościowe i facjalne stanowią wynik takich czynników jak zmienna morfologia podłoża, różne tempo subsydencji i wpływ zjawisk tektonicznych.

Pełny profil cyklotemu werra, najważniejszego obiektu dla omawianego tematu, reprezentowany jest przez następujące ogniwa: łupek miedzionośny, wapień cechsztyński, anhydryt dolny, sól najstarsza i anhydryt górny. Charakterystyczną cechą cechsztyńskiej serii miedzionośnej jest zróżnicowanie facjalne przejawiające się występowaniem 2 zasadniczych facji geochemicznych: redukcyjnej oraz utlenionej. Prawidłowością występowania mineralizacji kruszcowej jest obecność mineralizacji miedziowo-srebrowej w najbliższym otoczeniu utworów utlenionych. Mineralizacja występuje w łupku miedzionośnym, wapieniu cechsztyńskim oraz białym spągowcu w zależności od rozkładu strefy utlenionej i redukcyjnej. Partia łupków ilasto-dolomitycznych lub marglistych stanowi główną, potencjalną warstwę miedzionośną. Cechuje ją nieznaczna, lecz zmienna miąższość, zwykle w granicach kilkudziesięciu cm (Oszczepalski 2007; Oszczepalski, Speczik 2011b; Speczik i in. 2007).

Występujące nad utworami permskimi osady mezozoiczne w tej strefie reprezentowane są głównie przez trias. Przykrywa je niezgodnie, prawie płasko leżąca pokrywa utworów kenozoicznych.

2. Zasady przetwarzania sekcji efektywnych współczynników odbicia

Dotychczas metodę efektywnych współczynników odbicia zastosowano z pozytywnym rezultatem dla rozwiązania kilku zagadnień geologicznych mających na celu bardziej precyzyjne wyznaczenie warstw geologicznych określonych na podstawie badań sejsmicznych refleksyjnych. Przykłady tej metody przedstawiono i zastosowano np. do śledzenia zmian litologicznych w utworach karbonu lubelskiego (Dziewińska, Józwiak 2000) oraz do precyzyjnego rozpozniomowania utworów P2 w utworach N-W obrzeżenia Gór Świętokrzyskich (Dziewińska, Petecki, Józwiak 2000; Dziewińska, Petecki 2004). Praca (Dziewińska, Petecki, Tarkowski 2011) w rejonie struktury Wilkowa (Monoklina Przedsudecka), wytypowanej do potencjalnego składowania CO₂ w eksploatowanych złożach gazu ziemnego w P1,

zwraca szczególną uwagę na piaskowcowe poziomy zbiornikowe i przewodnie horyzonty uszczelniające. Realizację podobnego zadania reprezentuje publikacja dotycząca utworów jurajsko-triasowych struktury Choszczna (Dziewińska, Tarkowski 2011).

Podstawę do obliczeń efektywnych współczynników odbicia stanowią dane w postaci zbiorów czasowych zapisów sejsmicznych w układzie SEG Y, najlepiej z rzeczywistymi wielkościami amplitud (RAP). Materiały te na potrzeby przedstawionej pracy zostały przygotowane przez zespoły specjalistów Geofizyki Toruń i Kraków.

Autorskie oprogramowania specjalistów S-Systems opracowane na platformę typu PC umożliwiają przetwarzanie i interpretację danych podstawowych. Obliczenie efektywnych współczynników odbicia umożliwia przekształcenie falowego obrazu sejsmicznego w ciąg współczynników odbicia przedstawiających kolejne warstwy budujące badany ośrodek geologiczny. Wykorzystuje się w tym celu jedną z najważniejszych cech zapisu sejsmicznego – amplitudę, której wielkość przyjmuje się za proporcjonalną do współczynnika odbicia dla określonej granicy geologicznej.

Schemat przetwarzania obejmuje 3 etapy: określenie impulsu elementarnego, kilkukrotną wzajemną korelację impulsu z trasą sejsmiczną, standaryzację z zastosowaniem poziomego i pionowego sumowania oraz z wykorzystaniem opracowania statystycznego celem przedstawienia przekroju impulsowej charakterystyki sekcji sejsmicznej w postaci poziomych i pionowych znaków graficznych.

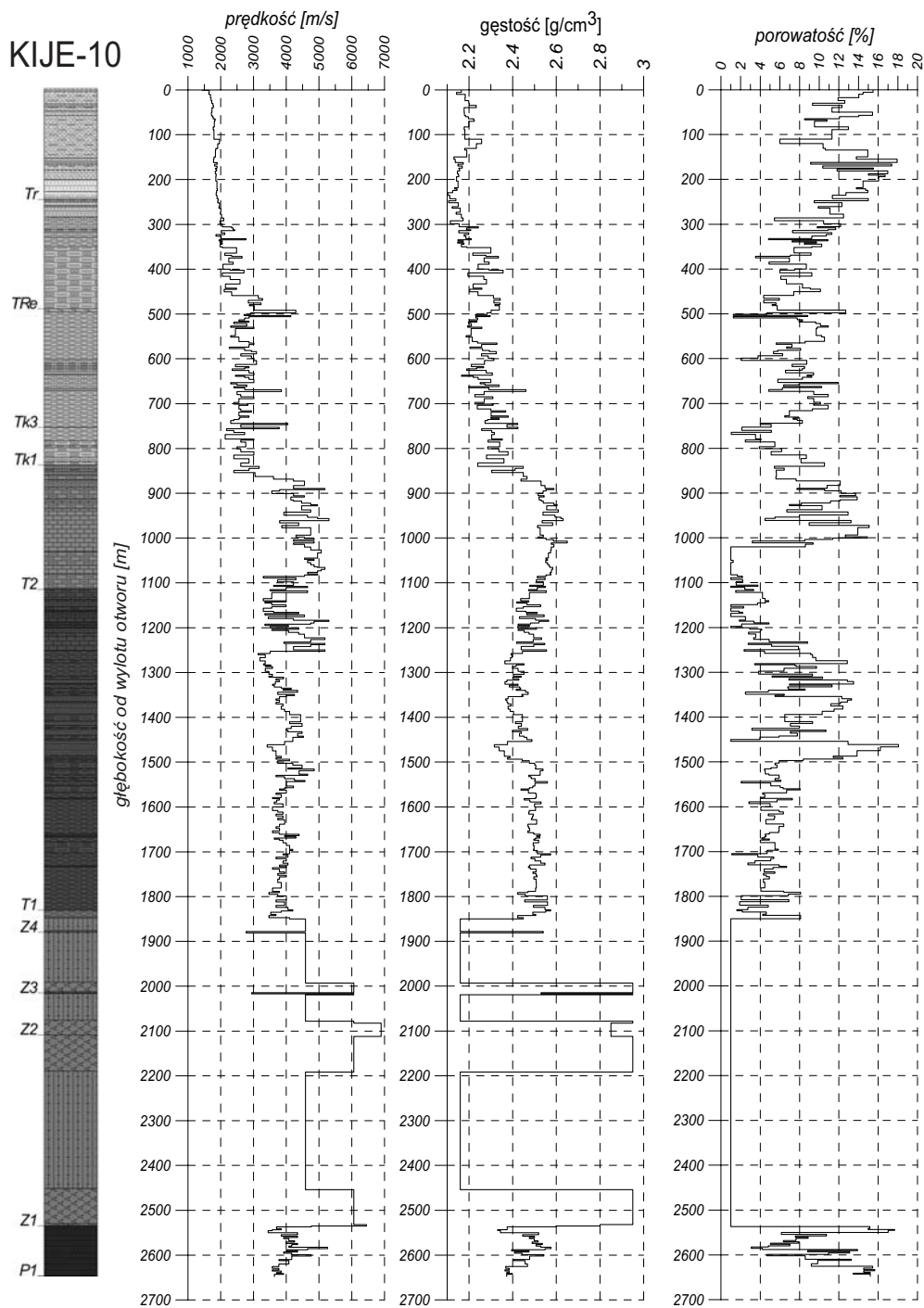
W przetworzeniu zbiorów sejsmicznych oraz w ich interpretacji są stosowane dwa podstawowe systemy: EWO i REFL COEF. Pierwszy program umożliwia wyliczenie impulsu elementarnego i przekształcenie falowych sekcji sejsmicznych w postać współczynników odbicia, drugi program służy do interpretacji i wizualizacji sekcji współczynników odbicia.

W przedstawianym opracowaniu szczególna uwaga została zwrócona na poprzedzony licznymi testami dobór odpowiedniego impulsu elementarnego wykorzystanego do procesu korelacji. Ze względu na charakter danych zapisu falowego wiążanego głównie z utworami cechsztynu, współczynniki odbicia zostały wyznaczone dla impulsów elementarnych wyliczonych dla poszczególnych profili sejsmicznych. Funkcja wzajemnej korelacji sygnału elementarnego z każdą trasą sejsmiczną umożliwia zamianę falowej trasy sejsmicznej na czasowe szeregi amplitud zerofazowych nazywanych efektywnymi współczynnikami odbicia.

Na sekcji współczynników odbicia poziome kreski wyznaczają położenie granic odbijających pomiędzy dwoma ośrodkami różniącymi się prędkościami, a pionowe kreski wskazują znak i wielkość współczynnika odbicia. Zastosowanie tego sposobu umożliwia wydzielenie granic odbijających, których wzajemna odległość jest większa od 1/4 okresu sygnału elementarnego, a więc znacznie bardziej szczegółowego odwzorowania przekroju geologicznego aniżeli na amplitudowej sekcji sejsmicznej z równoczesną charakterystyką układu geometrycznego i fizycznego budujących go warstw.

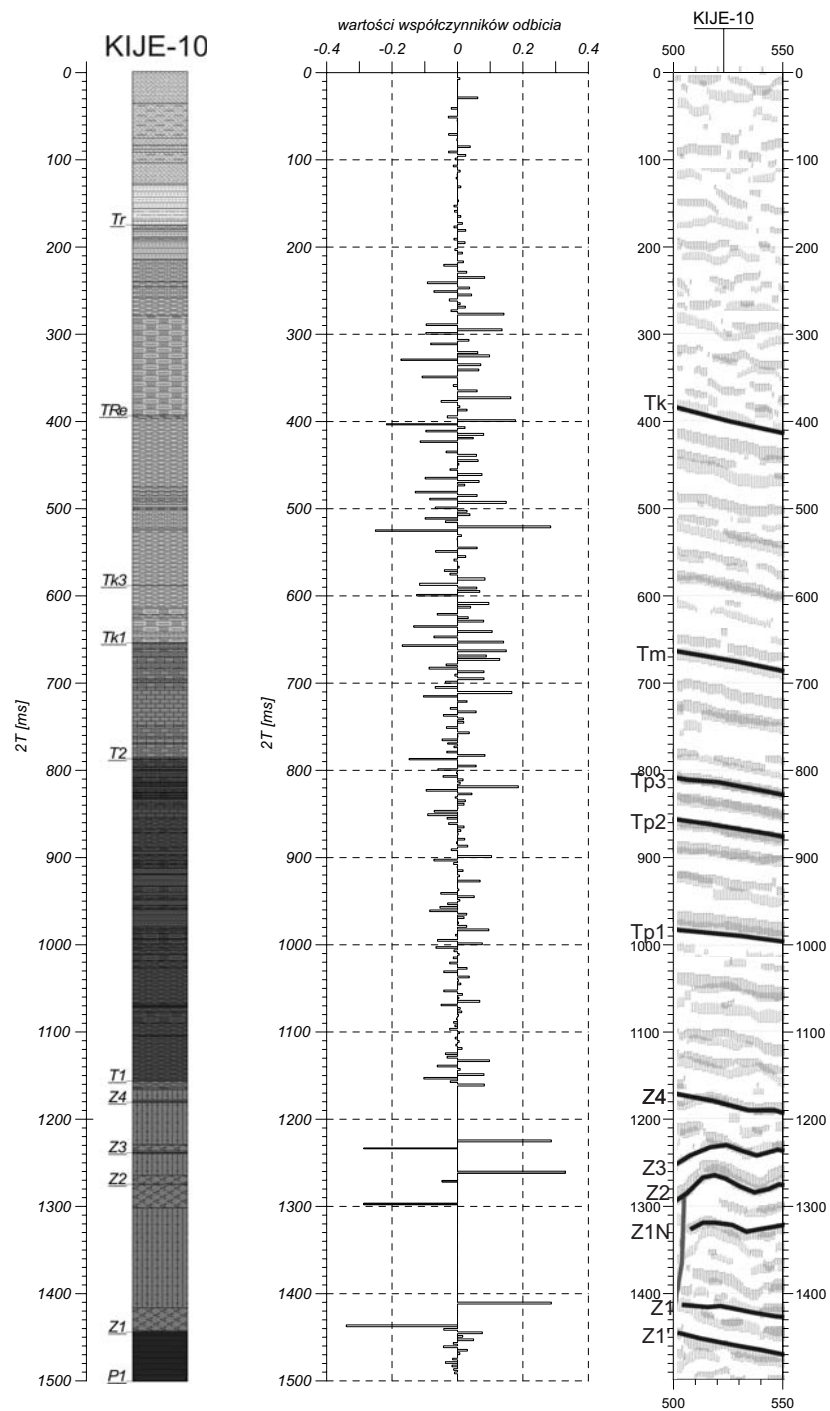
Rozdzielczość pionowa metody określana jest minimalną miąższością warstwy od spągu i stropu, w której uzyskuje się rozpoznawalne impulsy. Dla większości ośrodków dolna granica miąższości takich warstw wynosi 12–15 m. Znak współczynnika odbicia pozwala identyfikować określone serie litologiczne wzdłuż profilu sejsmicznego.

Bardzo istotny element interpretacji geologicznej stanowią dla tych zagadnień wyniki geofizyki wiertniczej (Pepel, Umiński 1995). Korelacja sekcji współczynników odbicia



Rys. 2. Zestawienie wykresów parametrów fizycznych skał w otworze Kije 10

Fig. 2. Physical parameters of rock from the Kije 10 borehole



Rys. 3. Dowiązanie efektywnych współczynników odbicia do profilu litologicznego otworu Kije 10

Fig. 3. Effective reflection coefficient tied the lithological section of the Kije 10 borehole

z danymi z otworów wiertniczych przedstawionych w postaci profili litologiczno-stratigraficznych z określonymi na podstawie profilowań geofizycznych wartościami wybranych parametrów fizycznych skał (prędkość, gęstość, porowatość) dla wydzielonych pakietów i warstw geologicznych umożliwia identyfikację oraz śledzenie serii litologicznych wzdłuż przekrojów sejsmicznych (rys. 2, 3).

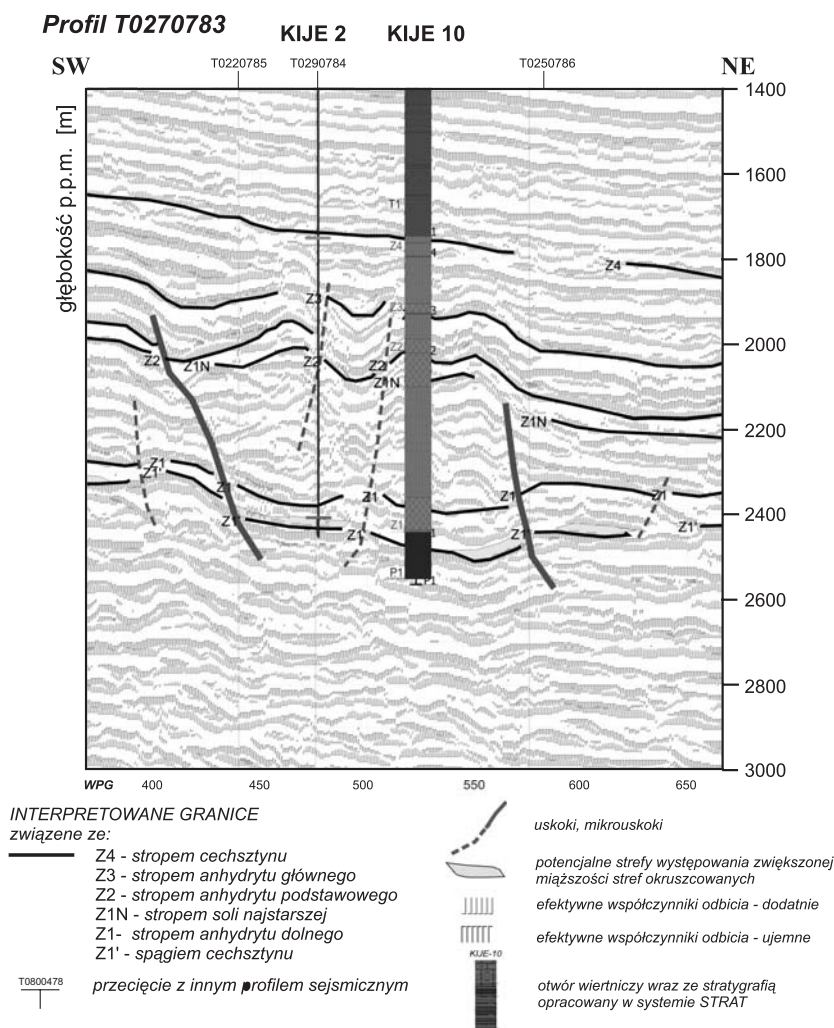
Wszystkie rodzaje plików ze współczynnikami odbicia otrzymane w wyniku wykonanych transformacji są przedstawiane w zbiorach o rozszerzeniu RAP oraz w zbiorach uwzględniających opracowanie statystyczne o rozszerzeniu STD przystosowanych do wprowadzenia do programu interpretacyjnego. Korzystanie z plików typu RAP w procesie interpretacji umożliwia większą ingerencję w wypracowanie bardziej optymalnej formy zapisu w analizie materiałów. Dzięki wykorzystaniu przedstawionych atrybutów impulsowego przekroju: znaku współczynnika odbicia, intensywności fali odbitej oraz położenia miejsca odbicia, wzrasta efektywność wykorzystania pola fal zapisów sejsmicznych do odtworzenia budowy geologicznej ośrodka. Stąd metoda ta jest szczególnie przydatna przy rozpoznaniu warstw o małej miąższości, wyznaczaniu drobnych dyslokacji oraz śledzeniu wzdłuż profilu sejsmicznego zmian w wykształceniu litologicznym danej warstwy.

3. Interpretacja sekcji efektywnych współczynników odbicia

Niniejszy artykuł przedstawia wykorzystanie wymienionych elementów obrazu zapisu sejsmicznego do analizy obrazu zarejestrowanego dla utworów permu, a przede wszystkim utworów cechsztynu i ich kontaktu z czerwonym spągowcem. Analiza wyników wierceń oraz opracowań parametrów fizycznych skał w otworach wskazuje, iż utwory wiązane ze strefą okruszczowaną posiadają miąższość pojedynczych metrów, a charakteryzujące te utwory parametry fizyczne skał – prędkość i gęstość – posiadają wartości zbliżone do wysokoprędkościowego o znacznej miąższości ośrodka występującego w ich nadkładzie zbudowanego z wapieni, anhydrytów i soli kamiennej. Przedstawiony obraz zobowiązuje do zwrócenia szczególnej uwagi w interpretacji na korelacje ujemnego współczynnika odbicia wiążanego ze spągami cechsztynu oraz zmian w wykształceniu występującym nad nim układu współczynników odbicia.

Proces interpretacji z wykorzystaniem programu RELF COEF obejmuje korelację granic sejsmicznych wiązanych z utworami cechsztynu i triasu oraz śledzenie stref tektonicznych w tych osadach. Uzyskane wyniki zaznaczone są na przekrojach współczynników zróżnicowaną grafiką. Konwersja czasowo-głębokościowa przeprowadzana jest za pomocą programów: HOR TD i RAP TD. Pierwszy program dotyczy konwersji liniowych elementów interpretacyjnych takich jak: korelowane granice współczynników, uskoki i zmiany facjalne oraz inne strefy wyróżnione w interpretacji; drugi program dokonuje przeliczeń sekcji czasowej współczynników w przekrój głębokościowy.

Sekcje czasowe i przekroje głębokościowe w wersji efektywnych współczynników odbicia obrazują granice utworów śródcechsztyńskich podkreślając zmienny rozkład miąższości poszczególnych jednostek litostratigraficznych, w tym kolejnych cyklotemów w przedziale obejmującym utwory P2 oraz lokalną tektonikę w postaci mikrouskoków i linii nieciągłości litologicznych (rys. 4).



Rys. 4. Sekcja głębokościowa efektywnych współczynników odbicia w utworach cechsztynu Profil T0270783 z rejonu Mozowa 1

Fig. 4. Depth converted seismic reflection coefficient section in the Zechstein deposit Profile T0270783 – of the Mozów 1 area

Wyniki na poszczególnych przekrojach potwierdzają generalne zapadanie wszystkich granic permsko-mezozoicznych w kierunku zbliżonym do północnego, komplikowane przez uskoki. Zaangażowanie tektoniczne obejmuje głównie utwory P2 i starsze, a w obrębie rowów tektonicznych (blok Janowo i Sulmierzyce) – triasowe. Wykazana w stosunku do interpretowanych na sekcjach falowych, większa liczba stref zaburzeń obrazu sejsmicznego wynika z możliwości metody i wiąże się z ich różnorodnym charakterem. Część zakłóceń spowodowana jest istnieniem naruszeń tektonicznych, niektóre małymi zmianami miąższości i/lub litologii interpretowanych, jako mikrouskoki lub linie nieciągłości litologicznych. W pakietach tych często obserwowane są przemieszczenia (przesunięcia) śród-

i międzywarstwowe. Wyznaczone uskoki o małej amplitudzie obejmują zwykle nieduże interwały przekroju głębokościowego – dolne odcinki P2, a także P1. Stosunkowo duża liczba dyslokacji odnotowanych w horyzoncie Z1' związana jest ze zróżnicowaną morfologią utworów podcechsztyńskich i strefami rozluźnień tektonicznych w utworach starszych, co świadczy o ich głębszych założeniach.

Uzyskany obraz sejsmiczny wskazuje na znaczne zaangażowanie tektoniczne zalegającego na solach najstarszych pakietu anhydrytowo-węglanowego. W obrębie cyklotemów stassfurtu i werry w miejscach naruszeń tektonicznych zarejestrowano szereg uskoków lub stref uskokowych, nieciągłości i zaniku refleksów. Uskoki lokalne o charakterze mikrouskoków lub zmian facjalnych, zwykle obejmujące 2–3 granice współczynników, są w cechszynie rozmieszczone dość nieregularnie na całym obszarze prac. Uskoki regionalne rozpoczynające się w stropowych partiach czerwonego spągowca obejmują zazwyczaj utwory cechsztynu do granicy Z₂ lub Z₃.

Na sekcjach współczynników odbicia, widoczne trzy charakterystyczne grupy współczynników odbicia związane są z utworami triasu, cechsztynu i podłoża podobnie jak w zapisie falowym. Dodatkowo współczynniki odbicia charakteryzują szczegółowy układ granic odbijających w każdym widocznym kompleksie geologicznym, a w utworach cechsztynu także elementy tektoniczne. Utwory triasu charakteryzowane przez granice Tm i Tp2 przedstawiają wyraźne odbicia monoklinalnie zapadające w kierunku zbliżonym do północnego, które są podścielone strefą braku współczynników odbicia lub odbiciami o niskich wartościach współczynników. Zalegające poniżej utwory cechsztynu to stosunkowo wąski interwał czasowy zwykle niewiele przekraczający 300 ms o zmiennej, lecz dynamicznej charakterystyce odbić, zróżnicowanej morfologii granic odbijających, niekiedy z brakiem ciągłości korelowanych granic oraz bogatej siatce dyslokacji lub stref zmian facjalnych. Poniżej cechsztynu widoczna strefa wiązana z utworami czerwonego spągowca lub karbonu charakteryzuje się złożonym obrazem odbić, gdzie poszczególne warstwy są korelowane zwykle na krótkich odcinkach profilu, odpowiadające prawdopodobnie wewnętrznym ilasto-mułowcowym przewarstwieniom. Charakter i wielkość współczynników odbicia wskazują na możliwość występowania tuż pod utworami P2 wkładek skał charakteryzujących się dużo większą prędkością w stosunku do piaskowców (np. anhydrytowych). Utwory triasu o wysokich prędkościach oraz złożony układ warstw niekiedy także wysokoprędkościowych w cechszynie ma znaczący wpływ na powstawanie odbić w niżej położonych ośrodkach, gdzie mamy do czynienia z małym zróżnicowaniem prędkości tzn. w czerwonym spągowcu i prawdopodobnie w karbonie.

4. Uzyskane wyniki i ich interpretacja geologiczna

Połączenie informacji uzyskanych z otworów wiertniczych przewiercających utwory P2 z obrazem sejsmicznym pozwala na wyciągnięcie wniosków o relacjach miąższościowych i budowie poszczególnych pięter cechsztynu, której charakter oddają kolejne granice: Z₄, Z₃, Z₂, Z_{1N}, Z₁, Z_{1'}. Zmienność ich wykształcenia odzwierciedlają często zmieniające się odległości czasowe między wyznaczonymi horyzontami oraz istnienie dodatkowych poziomów wewnątrz warstw. Obserwowane w wielu miejscach zmiany miąższościowe kompleksów Z₃-Z₂ i Z₂-Z_{1'} związane są ze zmianami miąższości soli starszej stassfurtu oraz soli

i anhydrytu werry. Korelowane poziomy występują z różną wagą. Zróżnicowane wartości współczynników odbicia wzdłuż profili świadczą o zmieniających się twardościach akustycznych, głównie soli i anhydrytów. Brak lub redukcja miąższości poszczególnych poziomów solnych, na granicy których z anhydrytami powstają odbicia śródcechsztyńskie, powoduje ograniczenie warunków fizycznych do ich generacji.

Miejsca o interesującym anomalnym zapisie – wskazujące na zmiany w wykształceniu facjalno-litologicznym – są zwykle zauważalne jako zmiany w wykształceniu efektywnych współczynników odbicia ponad korelowaną granicę związaną z kontaktem utworów P2 i P1 jako różniące się wartościami współczynników przesunięte w czasie względem siebie. Te wyróżniające się względnie niższe wartości dodatnich współczynników niż wartości w warstwach otaczających na niedużych odcinkach profili zamykają się zwykle wyklinowaniem lub uskokami o małej amplitudzie. Korelacja tych stref z wynikami badań złożowych w utworach potwierdza słuszność przyjętych założeń metodyczno-merytorycznych i wskazuje na celowość włączenia metody efektywnych współczynników odbicia do programu badań poprzedzających planowane prace wiertnicze.

W utworach triasu i cechsztynu na podstawie danych z profili stratygraficznych głębokich otworów oraz z wykorzystaniem pomiarów akustycznych i gęstościowych z profilowań geofizycznych w otworach, wyróżnionych zostało szereg korelowanych granic odbijających. Uwzględniając granice kontrastów prędkościowych – horyzonty T_{p2} , Z_4 , Z_1N i Z_1' odzwierciedlają się wzdłuż ujemnych współczynników odbicia, natomiast pozostałe wzdłuż dodatnich.

T_k – granica związana z utworami kajpru, rejestrowana w rejonie prac fragmentarycznie;

T_m – granica związana ze stropem wapienia muszlowego, powstała na kontakcie niskopiędkościowych utworów triasu górnego i wysokopiędkościowych utworów wapienia muszlowego oraz górnego pstrego piaskowca T_{p3} , korelowana wzdłuż dodatnich wartości współczynników odbicia, dobrze śledząca się na przekrojach;

T_{p2} – granica odzwierciedlająca morfologię stropu środkowego pstrego piaskowca (spąg retu) związana z kontrastem wysokopiędkościowych skał wapiennych T_{p3} i niskopiędkościowych utworów klastycznych (piaskowce, łupki) kompleksu T_{p2} . Na przekrojach sejsmicznych widoczna w postaci ujemnych wartości współczynników z komplikacjami śledzenia w rejonach stref uskokowych, szczególnie w obrębie triasowych rowów tektonicznych;

Z_4 – granica w postaci ujemnego odbicia o słabej dynamice i zróżnicowanej ciągłości odpowiadająca kontaktowi T_{p2} z ilowcami alleru (I4) i/lub utworów anhydrytowych (A3) ew. solnych (Na3) cyklotemu leine, o niejednoznacznym zapisie na sekcjach sejsmicznych, interpretowana jako przystropowe twory cechsztynu, zwykle słabo wyróżniona w zapisie współczynników i trudna do ciągłej korelacji wzdłuż poszczególnych profili.

Rejestrowana poniżej grupa granic Z_3 , Z_2 , Z_1N i Z_1 o bardzo zróżnicowanej morfologii odzwierciedla głównie zmiany miąższości utworów solnych, a przede wszystkim soli najstarszej tworzącej w części rejonu prac szereg poduszek solnych. Są to poziomy związane z następującymi utworami geologicznymi:

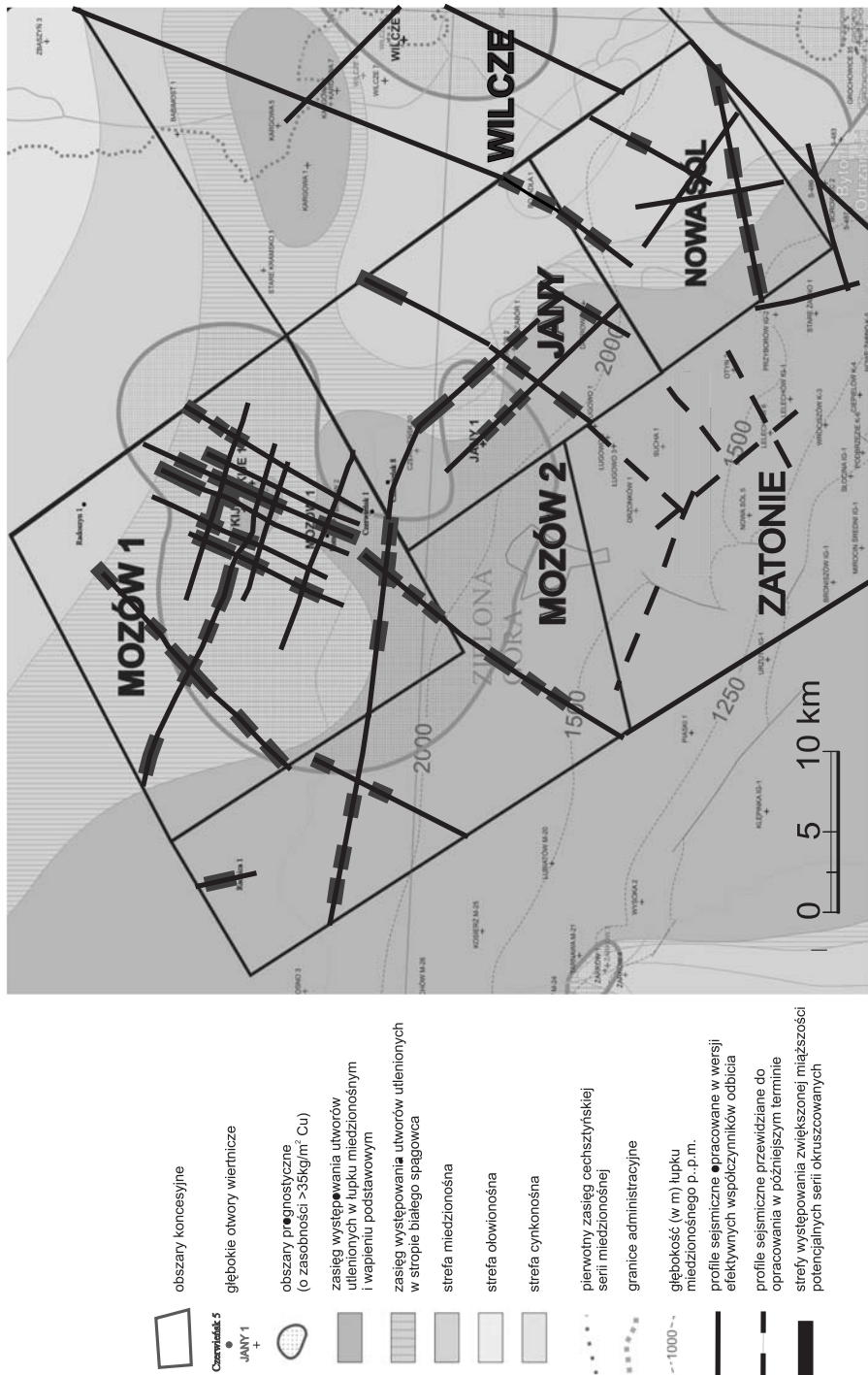
Z_3 – granica związana ze spągami soli młodszej (Na3) na kontakcie ze stropem anhydrytu głównego (A3) cyklotemu leine dobrze korelująca się charakterystycznym dynamicznym zapisem dodatnich współczynników odbicia w większości rejonów. Jeśli utwory solne

- cyklotemu leine (Na3) nie występują, granica jest utożsamiana ze stropem anhydrytu głównego (A3);
- Z_2 – granica korelowana wzdłuż dodatnich wartości współczynników odbicia związana z wysokoprędkościowym pakietem anhydrytowo-węglanowym, odzwierciedlająca kontakt stropu anhydrytu podstawowego (A2) z solami starszymi (Na2) cyklotemu stassfurt lub łowcami solnymi leine (I3). Wielkość i znak współczynników odbicia zanotowanych między granicami Z_2 i Z_3 pozwala oszacować procentową zawartość soli starszej w stosunku do anhydrytów w tym kompleksie;
- Z_{1N} – granica nadsolna powstała na kontakcie spągu anhydrytu górnego (A1g) ze stropem utworów soli najstarszej (Na1) cyklotemu werra, rejestrująca się w postaci wyraźnych (z wyjątkiem stref o małej miąższości utworów solnych) ujemnych współczynników odbicia, dobrze śledzona na prawie całym obszarze prac;
- Z_1 – granica odzwierciedlająca kontakt spągu soli najstarszej (Na1) i stropu anhydrytu dolnego (A1d) cyklotemu werra, dobrze śledząca się dynamiczna o współczynniku dodatnim, ale o bardzo zmiennym charakterze w zależności od miąższości utworów solnych nadległych, jak i stosunków miąższościowych w niżej ległych utworach. Warstwa Z_{1N} - Z_1 odzwierciedla miąższość i strukturę najstarszej soli cyklotemu werra Z_1 ;
- Z_1' – granica związana z kontaktem wysokoprędkościowych utworów cechsztynu (spąg wapienia cechsztyńskiego w cyklotemie werra z niskoprędkościowymi piaskowcowo-zlepieńcowatymi utworami czerwonego spągowca, korelowana w postaci wyraźnych, dynamicznych ujemnych efektywnych współczynników odbicia, zamykających grupę odbić należących do P2 i położonych prawie poziomo w stosunku do nachylonych, bezładnie ułożonych odbić P1; interpretowana, jako spąg P2 i charakteryzująca także morfologię powierzchni stropowej P1.
- Kontakt utworów P2 z P1, jako utworów mających podstawowe znaczenie dla poszukiwań horyzontów miedzionośnych stanowi główny przedmiot procesu interpretacji sekcji efektywnych współczynników odbicia. Obejmuje ona: wyróżnienie stref zmian litologicznych, warstw o charakterystycznych wartościach współczynników oraz uskoków o małej amplitudzie (mikrotektonika), a także określenie zasięgu poszczególnych warstw ograniczonych zmianami tektonicznymi lub litologicznymi.

5. Prognozowany rozkład mineralizacji

Analizując rozkład wyznaczonych stref występowania zwiększonej miąższości potencjalnych serii okruszczonych na tle mapy występowania prognostycznych złóż miedziowo-srebrowych w cechsztyńskiej serii miedzionośnej (Oszczepalski, Speczik 2011a) można sformułować szereg sugestii odnośnie lokalizacji obszarów perspektywicznych.

Granica obszaru prognostycznego zaznaczona w rejonie bloków W (Mozów 1, 2, Jany, Nowa Sól) znalazła nie tylko potwierdzenie rezultatami otrzymanymi na przekrojach, ale może być też przesunięta we wskazanych poniżej kierunkach powiększając powierzchnię tej strefy (rys. 5). Strefa rozprzestrzenienia się ciała rudnego ujawnionego na obszarze Mozów 1 otworami Mozów 1, Kije 9 i 10 prawdopodobnie przedłuży się w kierunku E w stronę bloku Wilcze, gdzie ujawniono kolejne ciało kruszcowe w głębokim otworze wiertniczym Wilcze 5.



Rys. 5. Szkic występowania stref zwiększonej miąższości potencjalnych serii okruszcowanych na obszarach koncesyjnych Mozów 1, Mozów 2, Jany, Nowa Sól na tle *Mapy występowania prognostycznych złóż miedziowo-srebrnych w cechsztyńskiej serii miedzionosnej, w skali 1 : 200 000 (Oszczepalski, Speczik 2011a)*

Fig. 5. Sketch map showing the occurrence of thick potential mineralization zones in the Mozów 1, Mozów 2, Jany, Nowa Sól concession on the map of occurrence of prospective copper-silver deposits in the Zechstein copper-bearing series (Oszczepalski, Speczik 2011)

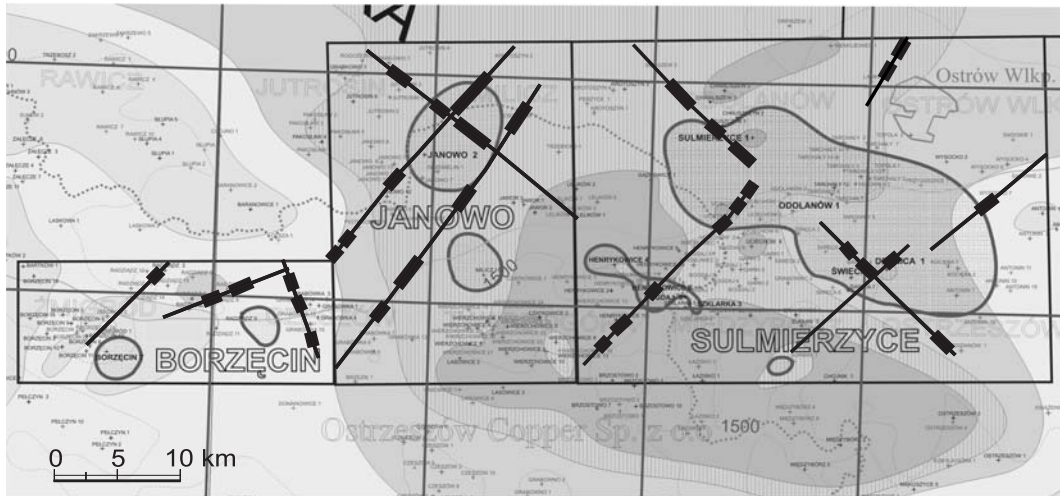
Można sądzić, że strefa mineralizacji miedziowej wyznaczona na bloku Mozów 1 znajduje kontynuację w kierunku SW, na co najmniej NE część bloku Mozów 2. Podstawą tego wniosku stanowią tylko dane uzyskane na przekrojach sejsmicznych, gdyż na obszarze Mozów 2 nie zbadano dotychczas żadnego profilu cechsztyńskiej serii miedzionośnej. Interpretacja wykazała również duże prawdopodobieństwo ciągłości mineralizacji z rejonu Kije w stronę NWW oraz między obszarami Pomorsko i sąsiedniego bloku Jany, gdzie stwierdzono okruszcowanie w otworze Jany 1. W świetle otrzymanych wyników istnieje duże prawdopodobieństwo ciągłości mineralizacji ujawnionej otworem Jany 1 w kierunku NW w stronę w/w obszaru Mozów 1, jak i w kierunku W w stronę obszaru Mozów 2.

Wstępne rozpoznanie sejsmiczne obszarów Jany i Nowa Sól potwierdza tezę o przebiegu dolnocechsztyńskich ciał złożowych miedzi w formie dość szerokiego pasa (5–10 km) biegnącego wzdłuż E zasięgu zielonogórskiego obszaru utlenionego i dalej w kierunku SE do złoża Bytom Odrzański. Prawdopodobnie część NE bloku Jany jest mniej interesująca pod względem występowania stref perspektywicznych dla złóż miedzi, ale jest to wniosek oparty zaledwie na wynikach jednego przekroju. Serie anomalne wyznaczone na N krańcach profili, leżące już w obrębie przyległego w/w bloku Wilcze, potwierdzają pogląd o rozprzestrzenianiu się ciała rudnego ujawnionego na tym bloku również w kierunku SW. Realizacja projektu opracowania wybranych profili sejsmicznych w wersji efektywnych współczynników odbicia w obszarze pasa bezpośrednio przylegającego do granic bloków odpowiednio – W Jany oraz SW i S Nowa Sól pozwoli na bardziej wiarygodną interpretację wyników odnośnie spodziewanego rozprzestrzenienia się ciała kruszcowego w stosunku do granicy redoks.

Obszar prognostyczny zaznaczony w rejonie bloków E (Borzęcin, Janowo, Sulmierzyce) podobnie jak obszar bloków W znalazł potwierdzenie rezultatami otrzymanymi na przekrojach (rys. 6). W świetle uzyskanych wyników na bloku Borzęcin istnieją przesłanki do poszerzenia zasięgu występowania obszarów prognostycznych zdefiniowanych na podstawie badań złożowych w otworach odpowiednio Borzęcin 7 – w kierunku N i Radziądz 9 – w kierunku NW. Strefy potencjalnego okruszcowania wyznaczone w rejonie wierceń Grabówka wskazują na możliwość ich połączenia z obszarem Radziądza. Analogiczne dane uzyskane w rejonie zespołu kolejnych otworów Grabówka na przyległym bloku Janowo świadczą o możliwości ciągłości ciała kruszcowego między wymienionymi obszarami, może aż do połączenia z obszarem prognostycznym Milicza.

Potwierdzono zdecydowanie mineralizację kruszczową w obrębie obszaru perspektywicznego Janowo 2, poszerzając jego granice w kierunkach SW i NE. Udokumentowana została szczególnie część NE tego obiektu. Interpretacja w pobliżu otworu Cieszków 1, w którym ujawniono próbami złożowymi podwyższoną zawartość miedzi pozwala na przedłużenie strefy koncentracji miedzi Janowa w kierunku E zbliżając się do NW obrzeżenia zasięgu występowania utworów utlenionych Ostrzeszowa. Osiągnięte wyniki umacniają tezę istnienia pasa szerokości 3–5 km o wysokiej koncentracji miedzi wzdłuż granicy w/w obrazu utlenionego przechodzącego m.in. przez otwór Milicz oraz między wierceniami Lelikowa i Jawora.

Interpretacja wyników na bloku Sulmierzyce wskazuje na skupienie stref potencjalnej mineralizacji w rejonach Chwaliszew – Chruszczyn – Sulmierzyce i Uciechów oraz wokół otworów Świeca 1 i Dębica 1. Są to obszary usytuowane w pobliżu rejonów występowania utworów utlenionych i jednocześnie w zasięgu obszaru prognostycznego Sulmierzyce odpowiednio w NE oraz S jego części. Obecność kilku otworów o podwyższonej zasobności



Rys. 6. Szkic występowania stref zwiększonej miąższości potencjalnych serii okruszczowanych na obszarach koncesyjnych Borzęcin, Janowo, Sulmierzyce na tle *Mapy występowania prognostycznych złóż miedziowo-srebrnych w cechsztyńskiej serii miedzionośnej, w skali 1 : 200 000* (Oszczepalski, Speczik 2011a)

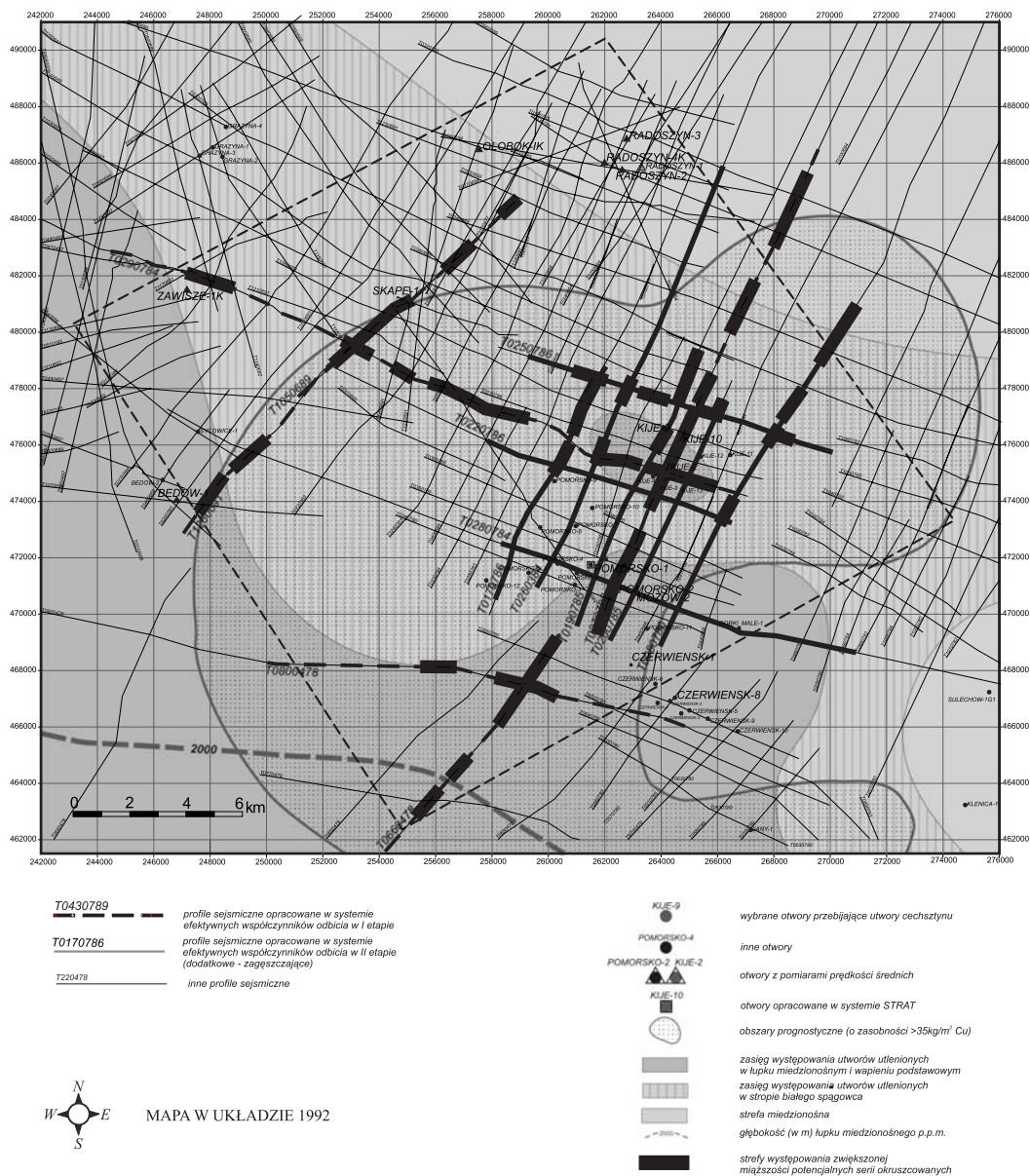
Fig. 6. Sketch map showing the occurrence of thick potential mineralization zones in the Borzęcin, Janowo, Sulmierzyce concession area on the map of occurrence of prospective copper-silver deposits in the Zechstein copper-bearing series (Oszczepalski, Speczik 2011)

miedzi, w otoczeniu SW rejonu prognostycznego Sulmierzyce wskazuje na możliwość jego połączenia z rejonem prognostycznym Henrykowice. Do rejonów perspektywicznych można tu zaliczyć okolice otworu Henrykowice 8 i na SW od niego (w pobliżu wiercenia Henrykowice 15) w stronę Brzostowa. Dodając do tego wyniki w pobliżu otworu Biedzanów 1 i sugestie dotyczące sąsiedztwa wiercenia Surmin 1, można potwierdzić tezę istnienia pasa o wysokiej koncentracji miedzi wokół granicy zasięgu występowania utworów utlenionych Ostrzeszowa w obrębie bloku Sulmierzyce. Wyniki na przekrojach uzasadniają połączenie rejonów perspektywicznych Janowo i Sulmierzyce poprzez zakres w/w pasa potencjalnej mineralizacji.

Na obszarze bloku Kalisz, gdzie brak otworów przebadanych złożowo, w wyniku reprocessingu otrzymano obraz upoważniający do zlokalizowania potencjalnych stref okruszczowanych w rejonie na NE od otworu Lamki 1, czyli w E otoczeniu obszaru utlenionego Chwaliszew. Natomiast zbadanie trendów w stosunku do rejonów prognostycznych: bliskiego – Sulmierzyce i dalej położonego Florentyna wymaga kontynuacji prac.

Dokładność określenia trendów i prawidłowości w prognozowanym rozkładzie mineralizacji jest adekwatna do liczby przetworzonych profili. Złożone warunki występowania wyznaczonych stref okruszczowanych w badanym obszarze, a przede wszystkim ich zmienne rozmiary, wymagają potwierdzenia dodatkowymi profilami. Na szczególną uwagę zasługują wyeksponowane obiekty o dużej rozciągłości lub zasygnalizowane dwoma profilami. Przykładem takiego myślenia jest realizacja dodatkowych profili na bloku Mozów 1. Interpretacja przekrojów rozmieszczonych w dobranej siatce umożliwia uzyskanie dodatkowych in-

formacji o przestrzennym układzie warstw ze szczególnym zwróceniem uwagi na elementy tektoniczne i litologiczne na biegnących w pobliżu siebie profilach sejsmicznych (rys. 7).

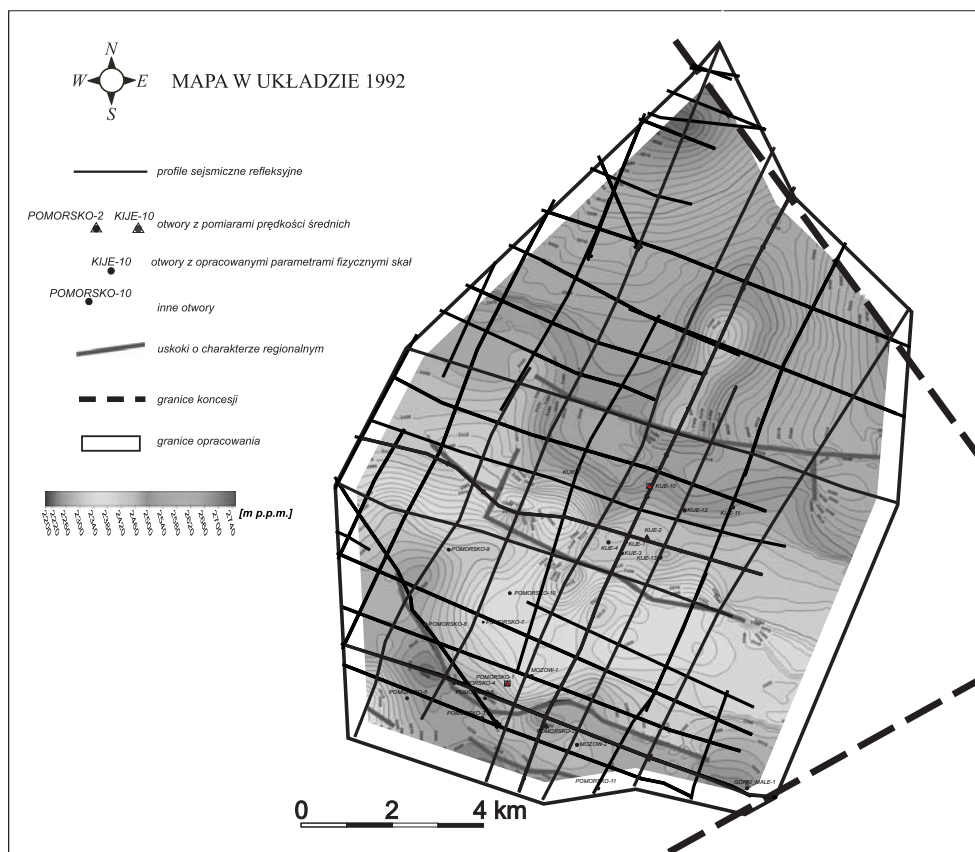


Rys. 7. Szkic występowania stref zwiększonej miąższości potencjalnych serii okruszczonych na obszarze koncesyjnym Mozów 1 na tle Mapy występowania prognostycznych złóż miedziowo-srebrowych w cechsztyńskiej serii miedzionośnej, w skali 1 : 200 000 (Oszczepalski, Speczik 2011a)

Fig. 7. Sketch map showing the occurrence of thick potential mineralization zones in the Mozów 1 concession area on the map of occurrence of prospective copper-silver deposits in the Zechstein copper-bearing series (Oszczepalski, Speczik 2011)

Przestrzenny obraz budowy strukturalnej cechsztynu dokumentują obok przekrojów mapy sporządzone dla granic sejsmicznych Z3 i Z1' (rys. 8). Wykorzystane do ich opracowania programy: INTER XY, SRID, GEN MAP pozwalają na powiązanie interpretacji na profilach ze współzrzednymi płaskimi w układzie 92 i uwzględnienie wyników interpretacji np. danych o przebiegu dyslokacji. Poziom Z₃ to zapadająca w kierunku N granica charakteryzująca się występowaniem naprzemianległych, oddzielonych od siebie strefami uskokowymi podniesień i obniżeń. Antyklinalne, zamknięte struktury odzwierciedlają występowanie zwiększonej miąższości utworów solnych. Cechą charakterystyczną jest obserwowany kierunek NWW-SEE osi obniżeń i wyniesień. Ważna dla rozwiązania postawionego zadania geologicznego mapa spągu P2 przedstawia zapadanie granicy Z1' w kierunku N w postaci czterech nachylonych tarasów oddzielonych regionalnymi uskokami, które przebiegają WE w przybliżeniu równoległe do siebie.

Obserwowany szereg elementów strukturalnych oddzielonych uskokami nadaje budowie geologicznej charakter blokowy. Towarzyszy temu dość duże zróżnicowanie głębokościowe zalegających utworów, w którym wyróżniają się 2 tarasy położone w centralnej części mapy. Mapy strukturalne stropu i spągu P2 oraz wyznaczone strefy tektoniczne i kierunki ich



Rys. 8. Mapa strukturalna horyzontu sejsmicznego Z₁' wiązane go ze spągiem cechsztynu z rejonu Mozowa 1

Fig. 8. Structural map of the seismic boundary Z₁' correlated with the bottom of Zechstein rocks

przebiegu stanowią istotny materiał do realizacji zagadnień związanych z programem wiertniczym. Wielkość poszczególnych bloków ograniczonych liniami nieciągłości litologiczno-tektonicznych oraz ocena zakładanej głębokości zalegania spągu P2 są ważnymi informacjami w aspekcie wyboru optymalnej lokalizacji planowanych głębokich otworów geologiczno-badawczych wyjaśniających perspektywy zasobowe.

Ważnym elementem są strefy zmian facjalnych w pobliżu podłoża P2, z którymi można powiązać strefy zwiększonej mineralizacji łupków miedzionośnych. W większości układają się one w obszarze zawartym między dwoma uskokami, w którym znajdują się otwory Kije 2, 9 i 10.

Wnioski

1. Przetwarzanie sejsmicznych sekcji falowych w postać efektywnych współczynników odbicia lepiej odwzoruje rzeczywistą budowę litologiczno-strukturalną i tektoniczną w stosunku do nie zawsze jednoznacznych materiałów podstawowych. Pozwala to sformułować wnioski dotyczące występowania potencjalnych stref okruszczowanych. Przeprowadzony cykl prac umożliwi wydzielenie głównych stref tektonicznych, stref mniejszych spękań i określenie zalegania spągu serii węglanowej Z1' oraz wyróżnienie podstawowych kompleksów litologicznych w obrębie cechsztynu.
2. Interpretacja elementów litologicznych oraz tektonicznych w interwałach położonych pomiędzy przewodnimi granicami sejsmicznymi wzbogaca zakres informacji prezentowanych w standardowych dokumentacjach wynikowych badań sejsmicznych, szczególnie odnośnie rozpoznania warstw o małej miąższości i wyznaczenia stref nieciągłości litologiczno-tektonicznych i małej amplitudzie.
3. Zaprezentowane dane stanowią materiał uzyskany stosunkowo niedużymi nakładami finansowymi, bez udziału drogich prac polowych do wykorzystania przez zespoły specjalistów dla przeprowadzenia i dalszych analiz i to w różnych aspektach badawczych, w tym do programu wierceń.
4. Uzyskane wyniki uzasadniają potrzebę kontynuacji prac w celu rozpoznania i uwiarygodnienia zasięgu i skali rozprzestrzenienia się horyzontów zmineralizowanych oraz wydzielenia rejonów mogących być przedmiotem zainteresowania przemysłu wydobywczego.
5. Dotychczasowe doświadczenia wskazują na celowość włączenia metody efektywnych współczynników odbicia do kompleksu badań geofizyczno-geologicznych związanych z poszukiwaniem złóż miedzi i srebra. Reprocessingowe prace sejsmiczne stanowią pierwszy, niewątpliwie najważniejszy etap opracowania materiałów geofizycznych. Potwierdzenie kierunków wyznaczonych stref tektonicznych wymaga uwzględnienia danych grawimetrycznych, których interpretacja wspomogłoby rozpoznanie budowy strukturalnej podłoża P2. Metoda grawimetryczna i kompleksowa interpretacja wyników prac geofizycznych przewidziane są w następnym etapie badań.

Autorzy składają serdeczne podziękowania Dyrekcji PGNiG SA za wyrażenie zgody na wykorzystanie danych sejsmicznych, a specjalistom z Zakładów Geofizyki Kraków i Toruń za ich profesjonalne przygotowanie

Literatura

- Dadlez R., Marek S., Pokorski J., 1998 – Atlas paleogeograficzny epikontynentalnego permu i mezozoiku w Polsce. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Dziewińska L., Petecki Z., Tarkowski R., 2011 – Budowa geologiczna utworów permu struktury Wilków (monoklina przedsudecka) w świetle interpretacji sekcji współczynników odbicia. *Przegląd Górniczy*, Nr 1–2, 64–72.
- Dziewińska L., Józwiak W., 2000 – Zmiany litologiczne w utworach karbonu rowu lubelskiego w świetle interpretacji geofizycznej. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 392, 5–48.
- Dziewińska L., Petecki Z., 2004 – Kompleksowa interpretacja badań geofizycznych północnego Obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. *Instrukcje i Metody Badań Geologicznych*. Państwowego Instytutu Geologicznego, Zeszyt 58, Warszawa.
- Dziewińska L., Petecki Z., Józwiak W., 2000 – Model strukturalno-gęstościowy NW Obrzeżenia Gór Świętokrzyskich na podstawie interpretacji pomiarów geofizycznych. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 392, 49–74.
- Dziewińska L., Tarkowski R., 2011 – Budowa geologiczna struktury Choszczna (Niecka Szczecińska) w świetle interpretacji sekcji efektywnych współczynników odbicia dla potrzeb podziemnego składowania CO₂. *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN* (w druku).
- Karnkowski P. H. 1999 – Origin and evolution of the Polish Rotliegend basin. *Polish Geological Institute – Special Papers*, 3, 1–93.
- Kiersnowski H., 1998 – Architektura depozycyjna basenu czerwonego spągowca w Polsce. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego* CLXV, 113–128. Warszawa.
- Marek S., Pajchłowa M. (red.), 1997 – Epikontynentalny perm i mezozoik w Polsce. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego* CLIII. Warszawa.
- Oszczepalski S., 2007 – Mineralizacja Au-Pt-Pd w cechsztyńskiej serii miedzionośnej na obszarach rezerwowych górnictwa miedzianego. [W:] *Geologiczne, gospodarcze i społeczne znaczenie odkrycia złoża rud miedzi* (red. S. Oszczepalski). *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 423, 109–124.
- Oszczepalski S., Speczik S., 2011a – Mapa występowania prognostycznych złóż miedziowo-srebrowych cechsztyńskiej serii miedzionośnej w skali 1 : 200 000. *Centralne Archiwum Geologiczne Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego*, Warszawa.
- Oszczepalski S., Speczik S. 2011b – Rudy miedzi i srebra. [W:] *Zasoby perspektywiczne kopalin Polski wg stanu na 31.XII.2009 r.* (red. S. Wołkiewicz, T. Smakowski, S. Speczik), 76–93. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Pepel A., Umiński J., 1995 – Obliczanie parametrów fizycznych skał na podstawie pomiarów geofizycznych w otworach. *Biuletyn Informacyjny Geofizyki*, 1, 13–25, Warszawa
- Peryt T.M., Piątkowski T.S., Wagner R., 1978 – Atlas litofacjalno-paleogeograficzny permu obszarów platformowych Polski. *Instytut Geologiczny*. Warszawa.
- Speczik S., Oszczepalski S., Nowak G., Karwasiecka M., 2007 – Cechsztyński łupek miedzionośny – poszukiwania nowych rezerw. [W:] *Geologiczne, gospodarcze i społeczne znaczenie odkrycia złoża rud miedzi* (red. S. Oszczepalski). *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 423, 173–188.
- Wagner R., 1994 – Stratygrafia osadów i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niżu Polskim. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego* 146.
- Wierzchowska-Kicułowa K., 1984 – Budowa geologiczna utworów podpermskich monokliny przedsudeckiej. *Geologica Sudetica*, 19 (1), 121–142.

