

**Zeszyty Naukowe**Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk

rok 2018, nr 102, s. 153–170

Lidia DZIEWIŃSKA*, Radosław TARKOWSKI**

Możliwość rozpoznania podpermskiego podłoża południowej części monokliny przedsudeckiej w świetle istniejących materiałów geofizycznych

Streszczenie: We wstępnej części artykułu przedstawiono stan obecnego rozpoznania geologicznego południowej części monokliny przedsudeckiej na tle waryscyjskich struktur tektonicznych środkowej Europy, z uwzględnieniem tematyki surowcowej. Zasadnicza część pracy zawiera analizę dotychczasowych materiałów geofizycznych, grawimetrycznych, magnetycznych i sejsmicznych pod kątem ustalenia i interpretacji związków korelacyjnych wyników badań, w tym między tektoniką obserwowaną na przekrojach sejsmiki płytkiej i głębokiej. Pokazano, że odpowiedni dobór zastosowanych metod stwarza szanse na efektywniejsze rozpoznanie budowy geologicznej podłoża podpermskiego obszaru. Zaproponowano pełniejsze wykorzystanie w interpretacji dynamicznych cech zapisu sejsmicznego na przytoczonym przykładzie wybranych sekcji sejsmicznych w wersji efektywnych współczynników odbicia (EWO). We wnioskach przedstawiono propozycję dalszych prac dla kompleksowej reinterpretacji materiałów geofizyczno-geologicznych, w celu rozpoznania utworów głębszego podłoża, z możliwością nawiązania do obszaru Niemiec.

Słowa kluczowe: przetwarzanie danych geofizycznych, głębokie podłoża monokliny przedsudeckiej, korelacja wyników badań

The possibility of a Sub-Permian basement of the south part of the Fore-Sudetic Monocline identification based on available geophysical materials

Abstract: The introductory part of the paper presents the state-of-the-art geological knowledge of the southern Fore-Sudetic Monocline against the background of Variscan tectonic structures of Central Europe, including economic geology issues. The main body of the paper provides an analysis of earlier gravimetric, magnetic and seismic materials considered in terms of determining and interpreting the correlativeness of the research results, including the relationships between tectonic features observed on deep and near-surface seismic sections. It is shown that a proper selection of methods provides a chance to conduct a better reconnaissance of the geological structure of the sub-Permian basement in the area.

* Dr, ** Dr hab. inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: lidiad@interia.pl; tarkowski@min-pan.krakow.pl

A more complete utilization of the seismic record in the interpretation of dynamic features, based on the presented example of selected seismic sections as converted to effective reflection coefficients (ERC), is proposed. The conclusions provide a proposal of further research for the complex reinterpretation of geophysical and geological materials to examine geological formations in the deep basement, with a possibility of correlations with the area of Germany.

Keywords: geophysical data processing, deep sub-basement Fore-Sudetic Monocline, economic minerals

Wprowadzenie

Źródłem inspiracji podjętej w artykule tematyki są prace zrealizowane na obszarze monokliny przedsudeckiej, związane z poszukiwaniem złóż miedzi i srebra (Speczik i in. 2011, 2012). Stanowi ona kontynuację rozpoczętego cyklu badań, który obejmował dotychczas głównie kompleks cechsztyński oraz młodsze utwory. Przyjmując za wskazanymi autorami, że przypuszczalnie głębokie założenia tektoniczne w zasadniczy sposób wpłynęły na rozwój permsko-mezozoicznego kompleksu skalnego i w konsekwencji na powstanie złóż surowców mineralnych, interesujące wydaje się rozpoznanie głębszych struktur i stref zaangażowanych tektonicznie. Pierwszy etap tego procesu stanowi opublikowana ostatnio praca poświęcona interpretacji przetworzonych danych grawimetrycznych (Dziewińska i in. 2017). Pozwoliła ona na nowe spojrzenie na wyniki badań geofizycznych podpermskiego podłoża południowej części monokliny przedsudeckiej.

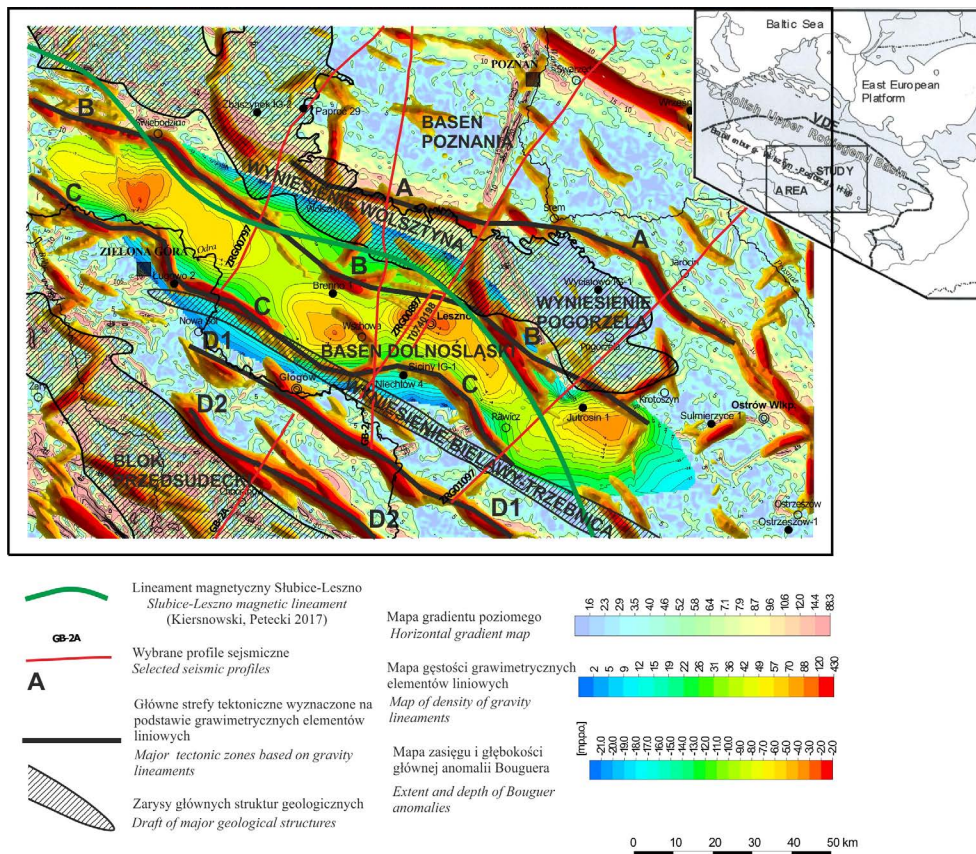
Celem prezentowanej publikacji jest pokazanie, że odpowiedni dobór metod zastosowanych do korelacji wyników badań geofizycznych stwarza szansę na rozwiązanie licznych problemów geologicznych związanych z interpretacją strukturalną podpermskiego podłoża tego rejonu. W pierwszej części artykułu przedstawiono stan obecnego rozpoznania geologicznego obszaru na tle waryscyjskich struktur tektonicznych środkowej Europy, z nawiązaniem do tematyki surowcowej. Dotychczasowe (publikowane i archiwalne) wyniki badań geofizycznych grawimetrycznych, magnetycznych, sejsmicznych i magnetotellurycznych oraz ich zaproponowana interpretacja i korelacja pod kątem rozpoznania budowy geologicznej podłoża podpermskiego stanowią treść dalszej, zasadniczej części pracy. Zaproponowano pełniejsze wykorzystanie w interpretacji dynamicznych cech zapisu sejsmicznego na przytoczonym przykładzie wybranych sekcji sejsmicznych w wersji efektywnych współczynników odbicia (EWO). We wnioskach przedstawiono propozycję dalszych prac dla kompleksowej reinterpretacji materiałów geofizyczno-geologicznych, w celu rozpoznania utworów podcechsztyńskich w zakresie, który dotychczas w tym obszarze nie był przedmiotem takich analiz.

1. Stan rozpoznania geologicznego

Obszar badań, przedstawiony w artykule, położony jest w obrębie południowej części monokliny przedsudeckiej zbudowanej ze skał osadowych permu i mezozoiku, zapadających pod niewielkim kątem ku NE. Jego południową granicą jest strefa tektoniczna pomiędzy monokliną przedsudecką a blokiem przedsudeckim, przebiegająca wzdłuż strefy

dyslokacyjnej środkowej Odry, ograniczonej od NE i SW złożonym systemem nieciągłości tektonicznych. Uskoki te określają granice zrębu, którego wewnątrz budują skały krystaliczne określane jako metamorfik środkowej Odry. Bezpośrednie podłoże platformowej pokrywy monokliny przedsudeckiej stanowią sfałdowane utwory karbońskie, interpretowane jako południowo-wielkopolskie pasmo fałdowo-nasuwcze (sfałdowany flisz karboński). Pasma to reprezentuje fragment eksternidów waryscyjskich występujących między strefami uskokuwymi Odry i Dolska, które w kierunku WNW nawiązują strukturalnie do pasma reńsko-hercyńskiego (Żelaźniewicz red. 2011) zbudowanego ze skał osadowych i zmetamorfizowanych (Żelaźniewicz i in. 2003; Górecka i in. 1977; Górecka-Nowak 2008).

Wyróżnione jednostki (rys. 1) wyniesienie Wolsztyn–Pogorzela, wyniesienie Bielawy–Trzebnica, basen Poznania i basen dolnośląski, reprezentują struktury wgłębne tworzące podpermskie podłoże monokliny przedsudeckiej (Żelaźniewicz red. 2011). Wyniesienie Wolsztyna jest waryscyjskim paleoelementem strukturalnym, stanowiącym środkową część rozczłonkowanych podniesień tektonicznych, rozciągających się od Brandenburgii na za-



Rys. 1. Interpretacyjna mapa grawimetryczna (na podstawie Dziewińska i in. 2017 z uzupełnieniami)

Fig. 1. Interpretative gravimetric map

chodzie po wyniesienie Pogorzeli (WP) – na południowym wschodzie. Struktura ta była wyeksponowana w permie oddzielając permskie baseny osadowe czerwonego spągowca: basen dolnośląski (Zielonej Góry) na południu od basenu Poznania na północy (Kiersnowski i in. 2010).

Z punktu widzenia przyjmowanej rejonizacji tektonicznej Polski, omawiany obszar uważany jest za wschodnie przedłużenie wydzielonych, w obrębie waryscydlów Niemiec, stref: reńsko-hercyńskiej i saksońsko-turyngskiej oraz środkowo-niemieckiej strefy krystalicznej (*The Mid-German Crystalline Rise* – MGCR) (Dekorp Research Group 1994; Żelaźniewicz i in. 1997). Na obszarze Niemiec MGCR pasmo o kilkudziesięciokilometrowej szerokości definiowane jest jako głęboko zmetamorfizowane podłoże z przewagą skał krystalicznych. Ograniczone głębokimi rozłamami i otoczone północną i południową osłoną zbudowaną z fyllitów, uważane jest za fragment strefy saksońsko-turyngskiej (Franke i in. 1990). Od północy zaś wyróżniana jest szeroka strefa reńsko-hercyńska. Należy podkreślić, że zagadnienia budowy strukturalno-tektonicznej Europy środkowej są przedmiotem zainteresowań i opracowań wielu autorów (np. Aleksandrowski 1995; Dallmeyer i in. reds. 1995; Dekorp Research Group 1994; Franke 2000; Franke i in. 1993; Geisler i in. 2008; Katzung 2001; Kroner i in. 2008; Lokhorst red. 1997; Żelaźniewicz red. 2011).

Na omawianym terenie w polskiej części informacje o budowie dolnych pięter strukturalnych są fragmentaryczne. Głębsze elementy podłoża bloku południowo-wielkopolskiego nawiercono tylko w strefach wyniesionych (w sensie tektonicznym stanowiących zręby), to jest na wyniesieniu Wolsztyn i wyniesieniu Bielawy–Trzebnica, w postaci silnie sfałdowanych fyllitów odsłaniających się tam na powierzchni podpermskiej. Stwierdzony w fyllitach wczesnowizeński wiek metamorfizmu (końcowa faza deformacji i przeobrażeń) wskazuje na przynależność tych skał do orogenu waryscyjskiego – najmłodsze utwory tego kompleksu mogą być turnejskie, a nawet dewońskie (Żelaźniewicz i in. 2003, 2011). Te „gęste” skały są tektonicznie wyniesione w formie rozległej megałuski lub nasunięcia tektonicznego na niezmetamorfizowane utwory karbonu dolnego, co sugerują Kiersnowski i in. (2010). Autorzy ci wyrażają również przypuszczenie, że fyllity (analogicznie do niemieckiej północnej strefy fyllitowej) mogą stanowić osłonę przedłużenia na wschód rozciągającej się aż do granic zachodnich Polski, środkowo-niemieckiej strefy krystalicznej. Strefa ta jest wydzielana i dość dobrze udokumentowana na niemieckim odcinku waryscydlów (Northern and Southern–deutsche Phyllite Zone, por. Dekorp Research Group 1994).

Przedstawiane w publikacjach koncepcje geologiczne na temat występowania jednostek geologicznych śledzonych w Niemczech, na terenie Polski są różne (m.in.: Kiersnowski i in. 2010; Żelaźniewicz i in. 1997; Cwojdzński i in. 1995). Cwojdzński i in. (1995) uważają blok przedsudecki za odpowiednik strefy saksońsko-turyngskiej, z północną granicą w postaci strefy uskokowej środkowej Odry oraz blok wielkopolski za odpowiednik strefy reńsko-hercyńskiej. Metamorfik środkowej Odry wydzielają zaś jako odrębną jednostkę położoną pomiędzy obiema wymienionymi strefami, która może stanowić wschodnie przedłużenie środkowo-niemieckiej strefy krystalicznej. Żelaźniewicz i in. (1997) przyjmują, iż kontynuacja MGCR w Polsce znajduje się pod monokliną przedsudecką znacznie bardziej na północ niż zręb metamorfiku środkowej Odry. Autorzy ci zakładają też kontynuację strefy saksońsko-turyngskiej na obszarze bloku przedsudeckiego i co najmniej w południowej części mo-

nokliny przedsudeckiej. Natomiast występowanie strefy reńsko–hercyńskiej może nie mieć miejsca z powodu wyklinowania się jej w okolicach Frankfurtu. Charakterystyczna zmiana kierunku wymienionych jednostek, widoczna w opracowaniach niemieckich w postaci łukowatego przegięcia struktur na południe od Berlina i zmianie kierunku na SW, poważnie utrudnia określenie przewidywanego ich przebiegu występowania w Polsce.

Zagadnienie rozpoznania położenia wspomnianych stref w Polsce, znanych z opracowań niemieckich, ma istotne znaczenie dla prac poszukiwawczych na monoklinie przedsudeckiej. Analogicznie do rozpoznania w Niemczech, istnieje możliwość odkrycia w południowo-zachodniej Polsce nowych złóż rud metali i pierwiastków rzadkich oraz węglowodorów.

Opisem zjawisk metalogenicznych na przedpolu Sudetów zajmował się m.in. Speczik (1985). Porównanie ze strefą reńsko–hercyńską pozwalało mu sądzić, że miało tu miejsce łuskowe podsuwanie się, położonej na N od strefy rozłamów Dolska, płyty litosfery pod jednostkę Krotoszyn–Wolsztyn (fig. 6 w: Speczik 1985). Ruch z północy na południe mógł być skompensowany przez nieznaczne płaszczowinowe nasunięcie strefy reńsko–hercyńskiej na przedpole w trakcie ruchów młodowaryscyjskich. We wzmiankowanym opracowaniu został wykazany związek pomiędzy znanymi elementami tektonicznymi i możliwością występowania złóż polimetalicznych, a nawet węglowodorów. Jego autor wyróżnia dwie epoki metalogeniczne: prekambryjską i kaledońsko-waryscyjską. Podkreślona została również rola ruchów tektonicznych i związanych z nimi procesów magmatycznych i hydrotermalnych, jako czynnika powodującego naruszenie równowagi paleohydrologicznej w procesie formowania się złóż. Strefy naruszeń tektonicznych sugerują istnienie dróg migracji węglowodorów, krążenia roztworów metasomatycznych i stref generacji kopalin użytecznych. Rozpoznane w głębokich badaniach sejsmicznych rozłamy można uznać za kanały dla konwekcji ciepła niezbędnego dla procesów mineralizacji (Piestrzyński 2007). Lokalizacja odkrytych oraz potencjalnych złóż Cu w Polsce (Speczik i in. 2011; 2012) i w Niemczech (Kucha i Bil 2017) wskazuje kierunek badań zgodny z przedstawianym w niniejszej pracy.

Istniejący dotychczas stan wiedzy w zakresie rozpoznania elementów strukturalnych paleozoicznego podłoża omawianego obszaru nie jest zadowalający, pomimo wykonania pewnej ilości wierceń i profili sejsmicznych. Ograniczony zasięg głębokościowy zainteresowań firm poszukiwawczych i nieskuteczność dotychczas stosowanych metod interpretacyjnych, stanowią główną przyczynę braku dostatecznej informacji o budowie podłoża cechsztynu, do którego też co najwyżej dowierca się większość otworów geologicznych. W związku z prowadzonymi pracami poszukiwawczymi obszar monokliny do spągu cechsztynu rozpoznany jest stosunkowo licznymi wierceniami; mniej otworów rozpoznaje utwory na głębokościach czerwonego spągowca i karbonu, a kilka tylko nawierciło starszy paleozoik. W ogólnych zarysach tektonikę podłoża permomezozoiku przedstawia monografia poświęcona zachodniej części monokliny przedsudeckiej (Deczkowski 1977) oraz charakterystyka geologiczna utworów podpermских, z wydzieleniem większych elementów strukturalnych oraz zarysem głównych linii tektonicznych (Wierzchowska-Kicułowa 1984, 1987). Obraz ten zgodny z ówczesnym stanem wiedzy wymaga dzisiaj, w świetle nowych materiałów – weryfikacji geofizycznej.

2. Wyniki badań geofizycznych – analiza i interpretacja związków korelacyjnych

Przykład najnowszych wyników badań rozważanego obszaru pokazuje możliwości wykorzystania wybranych, nowych transformacji danych grawimetrycznych (Dziewińska i in. 2017). Zastosowane metody przetwarzania w jednoznaczny sposób odzwierciedlają, zwykle nieprezentowane w standardowym opracowaniu, elementy tektoniczne paleozoicznego podłoża Wyniesienia Wolsztyn–Pogorzela oraz basenu dolnośląskiego, które stanowią zasadniczy obszar niniejszego opracowania. Przedstawiona poniżej analiza uzyskanych wyników ukierunkowana jest na podkreślenie związków korelacyjnych z wynikami innych metod geofizycznych. Kompleksowość interpretacji odpowiednich materiałów geofizycznych prowadzona pod kątem rozpoznania budowy geologicznej podłoża podpermskiego podnosi znacznie efektywność uzyskiwanych rezultatów, co wykazuje niniejszy artykuł.

2.1. Badania grawimetryczne i magnetyczne

Na mapie grawimetrycznej anomalii Bouguera (Królikowski i Petecki 1995) wyróżnia się dodatnia anomalia rozciągająca się w basenie dolnośląskim pomiędzy Zieloną Górą i Leszmem. W rozległej strefie gradientowej znajdującej się na NE skrzydle anomalii położone jest wyniesienie Wolsztyn–Pogorzela (rys. 1). Na końcu SW skłonu anomalii zlokalizowane jest wyniesienie Bielawy–Trzebnica. Na mapach anomalii magnetycznych (Petecki i in. 2003; Wybraniec i Cieśla 1995; Narkiewicz i Petecki 2017; Kiersnowski i Petecki 2017) wyniesienie Wolsztyn–Pogorzela jest trudne do wyznaczenia, natomiast w basenie dolnośląskim widoczna jest, o podobnym kształcie jak w obrazie grawimetrycznym, dodatnia anomalia prawdopodobnie wiązana z głębokimi źródłami magnetycznymi. Zwraca też uwagę obecność anomalii w wąskim pasie o szerokości około 20 km przebiegającym tuż na S od Zielonej Góry i Głogowa, które wykazują związek ze strefą uskokową środkowej Odry. Źródłem informacji o strefach tektonicznych mogą być magnetycznie czynne skały magmowe lub wylewne o zwiększonej zawartości minerałów ferromagnetycznych lub inne utwory związane z migracją roztworów w strefie uskokowej (Cieśla i Wybraniec red. 1997).

Wspomniana mapa wynikowa przedstawia rezultaty uzyskane w wyniku opracowań danych grawimetrycznych: anomalie gradientu poziomego według Rosenbacha, kierunki stref tektonicznych A, B, C oraz D1 i D2 wyznaczone na podstawie gęstości grawimetrycznych elementów liniowych i izolinie umownej głębokości dodatniej anomalii grawimetrycznej.

Na terenie basenu dolnośląskiego wyznaczona dodatnia anomalia występująca w całym analizowanym przedziale głębokościowym wydaje się być związana ze strukturą geologiczną wyróżniającą się wysokimi wartościami kontrastu gęstości. Możliwość występowania tu kompleksu o wyraźnie podwyższonej gęstości (ok. 2900 kg/m^3) względem skał otaczających (2700 kg/m^3) potwierdzają wyniki, wykonanego wzdłuż profilu GB 2, modelowania sejsmiczno-grawimetrycznego (Młynarski i Zespół 1997). Granice bloku stanowiłyby w tym przypadku kontynuację głębokich stref rozłamowych wyznaczonych w spągu skorupy ziemskiej. Ogólna zgodność wyznaczonych na podstawie wyników badań sejsmicznych granic

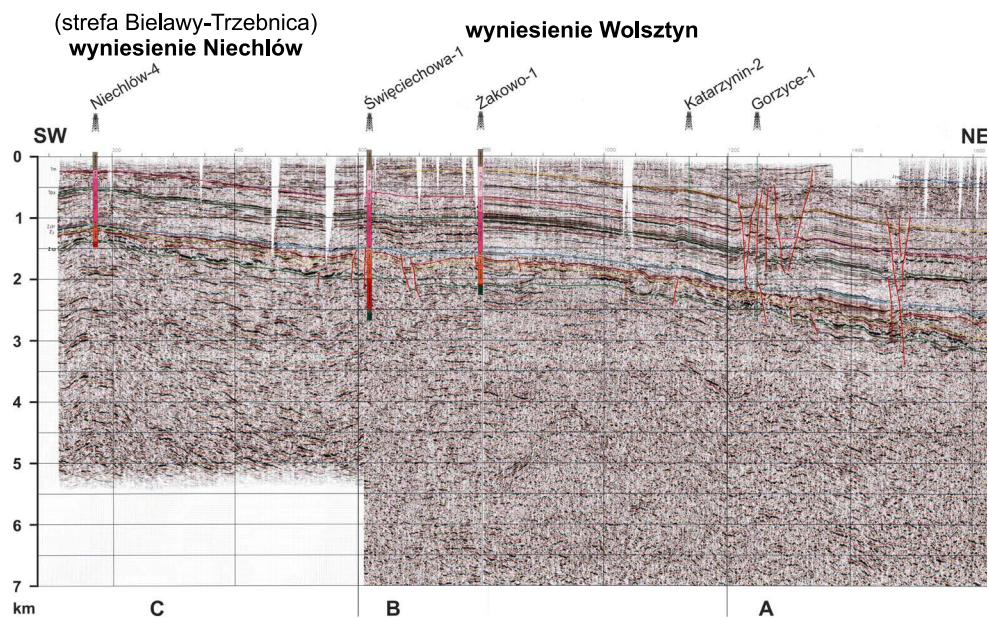
kontrastów gęstości z profilem grawimetrycznym potwierdza, przyjętą w obecnej pracy tezę, że anomalia jest wywołana przez masy zaburzające o wysokiej gęstości, ze źródłem występującym na znacznej głębokości w górnej skorupie, prawdopodobnie w (podcechsztyńskim) paleozoiku. Liniowy charakter anomalii grawimetrycznych i magnetycznych sugeruje, że mamy do czynienia ze skałami intruzywnymi w strefie rozłamów, w podłożu monokliny przedsudeckiej. Linie dyslokacyjne stanowiły, być może, drogę migracji materii z dolnej skorupy lub z górnego płaszczu.

Podstawowymi dyslokacjami odwzorowanymi na prezentowanej mapie wynikowej są kierunki NW-SE lub też o kierunku do niego zbliżonym, związane z głębszymi uskokami obejmującymi starsze, jak również zalegające bezpośrednio pod cechsztynem utwory geologiczne. Nie można wykluczyć, iż większość uskoków nie ma swojego przedłużenia w pokrywie mezozoicznej. Wyróżnione kierunki układają się w charakterystyczne ciągi składające się przynajmniej z dwóch, a nawet trzech linii wyznaczających dyslokację. Szczególnie wyraźnie dają się śledzić strefy tektoniczne ograniczające wyniesienie Wolsztyn–Pogorzela (A i B), dodatnią anomalię w basenie dolnośląskim (B i C) oraz uskoki w sąsiedztwie rzeki Odry – (D1 i D2). Przebieg strefy tektonicznej, utożsamianej z południową granicą wyniesienia Wolsztyn–Pogorzela (B), oddzielającą ją od basenu dolnośląskiego, prawdopodobnie jest bardziej skomplikowany, zakłócony dodatkowymi poprzecznymi przemieszczeniami tektonicznymi. Na północ od wyniesienia Wolsztyn widoczne są nowe, słabiej zarysowane południkowe kierunki dyslokacji wyznaczające dwa krzyżujące się kierunki tektoniczne, sięgające południowego uskoku ograniczającego wyniesienie Wolsztyn–Pogorzela. Najbardziej z nich wyraźna i interesująca jest linia wyróżniająca obszar Pogorzeli od pozostałej części podniesienia, co jest odzwierciedleniem odmiennej budowy strukturalnej i może też litologicznej w wykształceniu tych jednostek: Wolsztyna i Pogorzeli. Reasumując nową, rozpoznaną jednostką strukturalną jest struktura w basenie dolnośląskim i wyraźne oddzielenie wyniesienia Pogorzeli od wyniesienia Wolsztyna. Możliwość interpretacji wyniesienia Wolsztyn–Pogorzela jako odgałęzienia anomalii związanej z jednostką strukturalną w basenie dolnośląskim o wyższych kontrastach gęstości, które dominują w powierzchniowym obrazie anomalii Bouguera, wymaga potwierdzenia dalszymi pracami interpretacyjnymi. Anomalie związane z wyniesieniem Wolsztyn zamykają się w przedziale głębokościowym 0–8 km, podczas gdy anomalia w basenie dolnośląskim obejmuje cały przedział głębokościowy od 5 do 20 km (rys. 4 w: [Dziewińska i in. 2017](#)).

2.2. Sejsmiczne badania refleksyjne

Obszar badań pokryty jest refleksyjnymi profilami sejsmicznymi wykonanymi w latach 1977–1999 metodą 2D o charakterze zdjęcia szczegółowego. Kilka elementów strukturalnych związanych z perspektywnymi utworami cechsztynu, a także czerwonego spągowca, charakteryzują dodatkowe zdjęcia sejsmiczne 3D z lat 2000–2002. Zbiornicze profile sejsmiczne (ZRG) zestawione wzdłuż wytypowanych linii przez basen permsko-mezozoiczny ([Klecan i in. 1999](#)), z których trzy częściowo zlokalizowane są w granicach niniejszego opracowania (rys. 1), stanowią reprezentatywny materiał uzyskiwanych wyników. Widoczne

na przekrojach sejsmicznych intensywne grupy refleksów w dużym przedziale czasowym, charakteryzujące głęboką budowę strukturalną, potwierdzają dodatkowo realność uzyskiwania wyników z większych głębokości. Na sekcjach można prześledzić ciąg wyniesienia Wolsztyn–Pogorzela czy też Bielawy–Trzebnica (np. przekrój ZRG00797 – fig. 27 w: Klecan i in. 1999). Zarysy bloków pod powierzchnią stropową utworów podpermskich, na falowych przekrojach sejsmicznych, znajdują odzwierciedlenie w postaci skomplikowanych form. Rysunek 2 przedstawia wybrany przekrój z zaznaczoną lokalizacją odwzorowanych w obrazie falowym stref tektonicznych wyznaczonych na podstawie wyników badań grawimetrycznych. Dodatkową wskazówkę odnośnie do budowy niższych pięter podłoża monokliny przedsudeckiej mogą stanowić granice refrakcyjne o zróżnicowanych prędkościach granicznych (Młynarski 1982; Skorupa 1974).



Rys. 2. Głębokościowy przekrój sejsmiczny (SW odcinek profilu ZRG 00897, Klecan i Fedorowicz 1999) z lokalizacją stref tektonicznych wyznaczonych na podstawie wyników badań grawimetrycznych

Fig. 2. Depth-converted seismic section (SW part of profile ZRG 00897) with location of tectonic zones defined based on the gravity data

Zastosowanie przetwarzania amplitudowych zapisów falowych w postać impulsową – efektywnych współczynników odbicia (EWO) istotnie zwiększa czytelność danych sejsmicznych i możliwość odwzorowania elementów litologicznych i tektonicznych przekroju. Szczególne znaczenie ma tutaj określenie znaku i wartości współczynników odbicia dla poszczególnych warstw, co pozwala na identyfikację parametrów dyslokacji oraz możliwość rozpoznawania bloków wydzielonych jednostek strukturalnych. Metodyka ta jest szczegól-

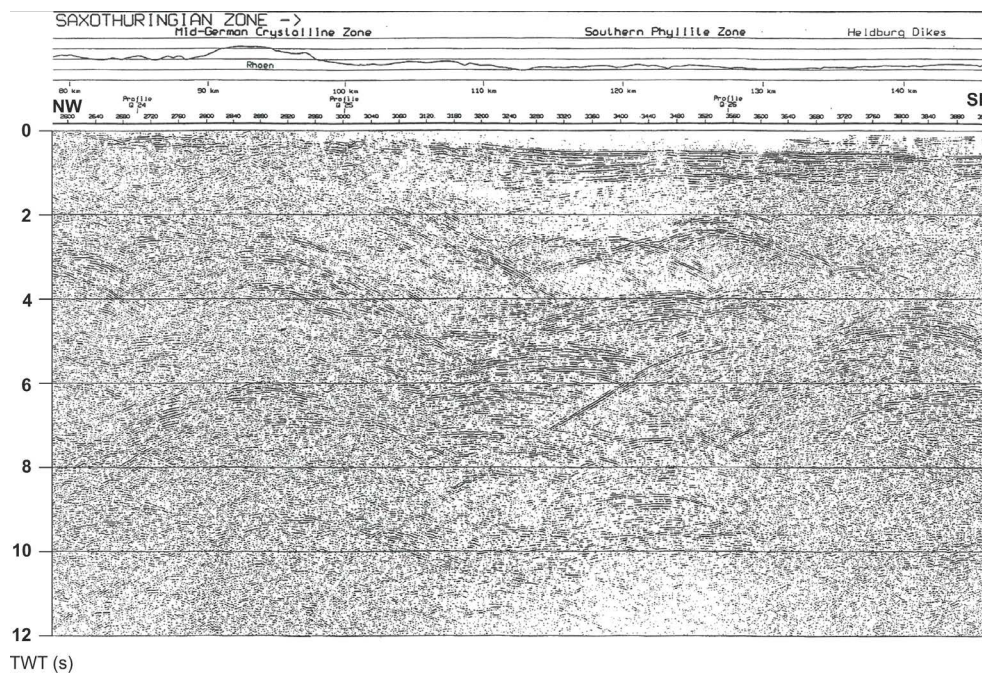
nie przydatna w interpretacji i identyfikacji warstw związanych z utworami paleozoiku oraz korelowanych kompleksów stratygraficznych i wydzielanych nieciągłości tektonicznych. Wiąże się to z niższą dynamiką zarejestrowanych fal odbitych, gdzie zastosowanie dodatkowych kryteriów korelacji pozwala na bardziej jednoznaczne śledzenie granic odbijających oraz identyfikowanie warstw na obu skrzydłach dyslokacji, w tym uskoków o małej amplitudzie. Powyższe uwiarygodniają liczne przykłady (np. [Dziewińska i Józwiak 2000](#); [Dziewińska i Petecki 2004](#); [Dziewińska i Tarkowski 2016a](#)). Inny artykuł ([Dziewińska i Tarkowski 2016b](#)) pokazuje użyteczność tej metody do rozpoznania głębokiego podłoża NW Polski.

Prezentowane przekroje (rys. 2 i 3 w: [Dziewińska i in. 2011](#)) ilustrują możliwość wykorzystania archiwalnych zbiorów sejsmicznych w postaci efektywnych współczynników odbicia dla poznania budowy utworów czerwonego spągowca, karbonu i głębszych, z rejonu struktury Wilków. Struktura Wilków stanowi element regionalnego wyniesienia w utworach czerwonego spągowca (P1), o kierunku NWW-SEE Grochowice–Wilków–Niechlów, zlokalizowanego w obszarze na NE od strefy nieciągłości tektonicznej Odry. Sekcje EWO przedstawiają wyniki wzdłuż profili o kierunku prostopadłym w stosunku do rozciągłości struktury. Utwory podpermskie charakteryzuje tektonika nieciągła. Kierunki uskoków tworzą wyraźny system blokowy. Jest to układ dużej ilości dyslokacji tworzących system wypiętrzeń i obniżen dzielących obszar na poszczególne bloki, między którymi zarejestrowane zostały też uskoki o mniejszej amplitudzie. Skrzydło SW posiada spokojniejszy charakter i bardziej łagodne zapadanie w porównaniu do skrzydła NE obciętego uskokiem o większej amplitudzie. Zwracają uwagę śledzone na krótkich odcinkach granice, które informują o stosunku planów strukturalnych utworów stropowych P1 i utworów niżej leżących. Szczególnie interesujące są rejonu charakteryzujące się niezgodnością tych planów i przemieszczeniami elementów strukturalnych. Przekroje sejsmiczne wskazują na dwudzielność interpretowanego obiektu w utworach dolnocechsztyńskich, czerwonego spągowca oraz podpermskich. Strefa nieciągłości tektonicznej (w zasięgu wyznaczonego grawimetrycznie uskoku C) występująca w pobliżu części centralnej struktury i równoległa do jej rozciągłości w obrazie powierzchniowym, pokrywającym się z lokalizacją zasięgu zrębu Bielawy–Trzebnica dzieli ją na dwie części (NE i SW). Przedstawiona interpretacja struktury Wilków stanowi przykład możliwości korelacji grawimetrycznych stref tektonicznych z danymi z prac sejsmicznych, poniżej spągu utworów cechsztynu, dzięki wykorzystaniu informacji z przetworzonego obrazu falowego w systemie EWO. Opisany rejon znajduje się w granicach strefy rozłamów środkowej Odry, której rolę jako elementu tektonicznego o ponad regionalnym znaczeniu uwypukla publikacja dotycząca budowy geologicznej podcechsztyńskiego podłoża Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) i jego otoczenia ([Kiersnowski i Petecki 2017](#)). Jest w niej ona określana jako system głęboko zakorzenionych uskoków, prawdopodobnie o charakterze przesuwczym.

2.3. Głębokie badania sejsmiczne (GBS)

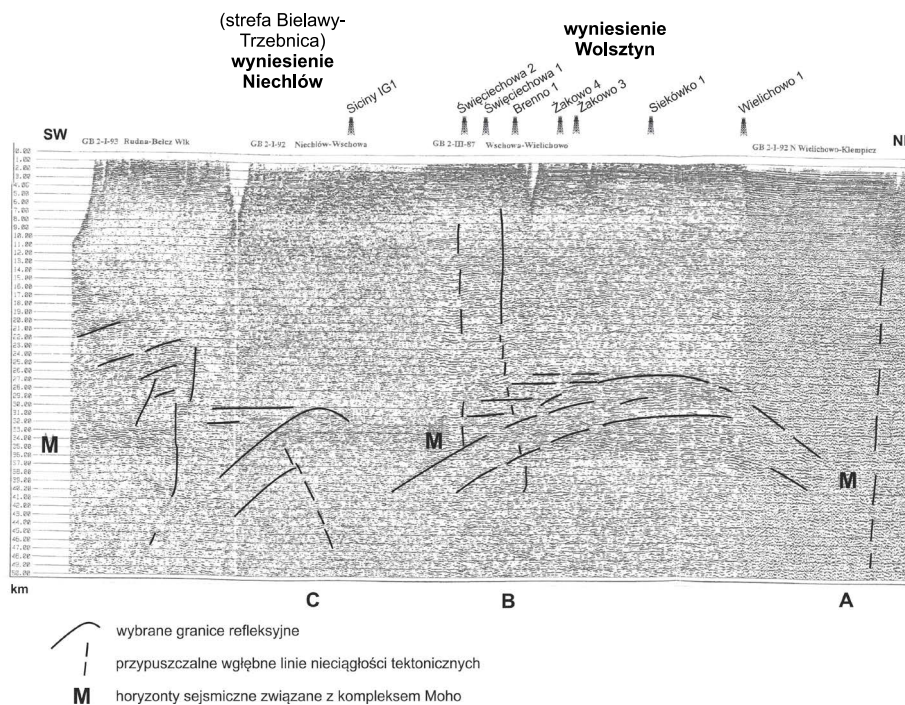
Interpretacja geologiczna rezultatów prac sejsmicznych z wykonanych głębokich profili refleksyjnych w ramach konsorcjum Dekorp ([Dekorp Research Group 1994](#); [Dekorp–Basin](#)

Research Group 1999; Franke i in. 1990) umożliwiła stosunkowo dobre rozpoznanie struktury skorupy ziemskiej waryscydu na terenie Niemiec, bezpośrednio na W od Polski. Wyniki prac geofizycznych i ich geologiczną interpretację zawiera m.in. publikacja Dekorp Research Group 1994 (np. Figs. 5.9, 5.10, 5.11, 7, 8). Jest to strefa tworząca zespół antyklin, w jądrach których ukazują się utwory dewonu dolnego, a nawet skały ordowiku i syluru, które prawdopodobnie podścielają całą strefę oraz synklin zbudowanych z utworów dewonu środkowego i dolnego z utworami fliszowymi karbonu dolnego – namuru w przestrzenie ograniczonych jądrach. Kompleksy refleksów wzajemnie ponasuwane oraz warstwowanie skorupy można uznać za wynik deformacji tektonicznych o charakterze kompresyjno–nasuwczym. Rysunek 3 prezentuje wyniki na jednym z profili sejsmicznych (fragment) zlokalizowanym w południowej niemieckiej strefie fyllitowej. Wykonane podobną metodyką głębokie badania sejsmiczne metodą refleksyjną w SW Polsce stanowią wkład strony polskiej w realizację tego międzynarodowego programu głębokich badań sejsmicznych (GBS). Wyniesienie Wolsztyn przecina profil głębokich badań sejsmicznych GB 2 (Młynarski i in. 2000), natomiast od południa basen dolnośląski graniczy z profilem GB 2a (Cwojdzński i in. 1995; Żelaźniewicz i in. 1997) (rys. 4).



Rys. 3. Przekrój sejsmiczny saksońsko-turyngskiej strefy (fragment profilu 3-B/MVE-90) – przykład S strefy fyllitowej z obszaru Niemiec (Dekorp Research Group 1994)

Fig. 3. Seismic section through the Saxothuringian Zone (part of profile 3-B/MVE-90) – example of the Southern Phyllite Zone in Germany



Rys. 4. Przekrój głębokich badań sejsmicznych GB 2 (Dokumentacja sejsmicznych badań refleksyjnych, Młynarski 1996) z interpretacją autorów i lokalizacją stref tektonicznych wyznaczonych na podstawie wyników badań grawimetrycznych

Fig. 4. Deep seismic section GB 2 (Documentation of reflection seismic studies) with the author's interpretation and location of tectonic zones defined based on results gravity surveys

Zróznicowanie powierzchni Moho związane z licznymi uskokami świadczy o możliwości występowania bloków i dyslokacji w zalegających wyżej kompleksach geologicznych. Opracowane we wspomnianych pracach modele geofizyczne z uwzględnieniem tła regionalnego pokazują związki z budową geologiczną sąsiadujących obszarów oraz wspomnianą możliwość różnych wariantów kontynuacji rozpoznanych w Niemczech struktur na terenie Polski. Brak dostatecznej ilości danych z podłoża podpermskiego nie pozwala obecnie na pełną weryfikację tych wniosków.

Pewien postęp mogą stanowić przedstawione interpretacje wykonane w ramach niniejszego artykułu. Skorupę krystaliczną na profilu GB 2 (rys. 4) wyznaczają dwa poziomy refleksyjne: dolny M (granica Moho) i górny – strop skorupy krystalicznej. W górnej skorupie obserwuje się subhoryzontalną strefę o słabej refleksyjności i o dość dobrze zdefiniowanych granicach. Jej strop leży na głębokościach 5–6 km, a pod wyniesieniem Wolsztyn 2–3 km i wykazuje zgodność z położeniem stropu podłoża krystalicznego wg danych refrakcyjnych (Młynarski 1982; Skorupa 1974), utożsamianym z granicą sejsmiczną wyznaczającą spąg kompleksu serii osadowej. Dolną granicę skorupy ziemskiej wyznacza zespół odbić wy-

stępujący na głębokościach 32–39 km. W środkowej części skorupy występują pojedyncze refleksy lub ciągi refleksów ułożone horyzontalnie, ewentualnie pod niewielkimi kątami, których śledzenie umożliwia, w ograniczonym zakresie, odtworzenie zasięgu poszczególnych dyslokacji czy też lokalnych nasunięć. Wyraźniejsze struktury tego typu koncentrują się w południowej części profilu, która leży na bezpośrednim przedpolu strefy uskokowej środkowej Odry (SUŚO). Odwzorowanie SUŚO można zaobserwować na przekroju GB 2a (Cwojdzński i in. 1995), którego interpretacja uwidacznia też zmiany grubości skorupy na niewielkim odcinku, pod strefą uskokową. Pasmowe dodatnie anomalie grawimetryczne i magnetyczne biegnące wzdłuż N i S granicy tej strefy wskazują na obecność tu masywów skał zasadowych. Głęboko zakorzeniony uskoko śląsko-lubuski na profilu GB 2 występuje w podobnej sytuacji jak na NE krańcu przekroju GB 2a, której towarzyszy zmiana grubości skorupy ze wzrostem na NE.

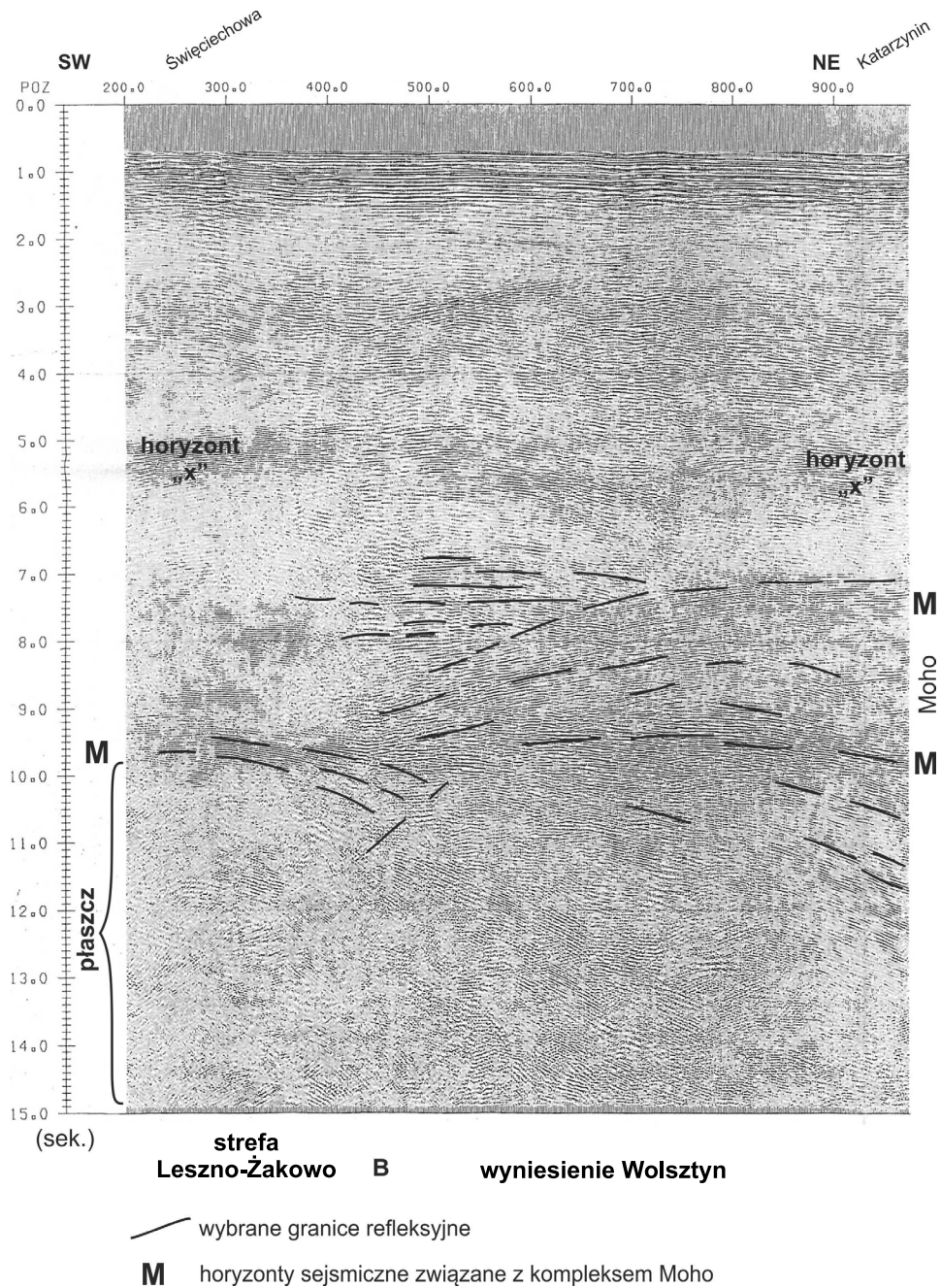
Na południe od wiercenia Święciechowa 2 zwracają uwagę refleksy o ułożeniu synklinalnym. Zanotowany ciąg refleksów w całym przedziale głębokościowym rejestracji wskazuje na zmianę warunków sejsmologicznych w tym rejonie oraz na obecność formy synklinalnej. Na odcinku między Wschową i Wielichowem obserwuje się w dolnej skorupie, w obrębie kompleksu Moho, zaburzenia w ułożeniu refleksów. Dolna skorupa jest wygięta łukowato ku górze tworząc rodzaj kopułowego spiętrzenia, którego oś leży na wysokości wiercenia Siekówko 1. W obrębie kopuły obraz pola refleksyjnego charakteryzuje się podwyższoną refleksyjnością. Nachylone refleksy zapadają dwustronnie: ku S (rejon Wschowy – otwory Święciechowa 1 i Brenno 1) i ku N (rejon Wielichowa). Na południowym skłonie ich jednostajnego zapadania i nieznacznie ponad stropem elementu wypiętrzonego, występuje niezgodność kierunków upadu granic w postaci kompleksu refleksów ułożonych w sposób horyzontalny. Podobna struktura (kompleks soczewkowaty), ale o mniejszej amplitudzie, występuje w rejonie Niechlowa na wysokości wiercenia Niechlów 1. Tak znaczne spiętrzenie kompleksów w dolnej skorupie, osiągające maksymalną wartość 10 km może być interpretowane jako efekt nasunięć wewnątrz skorupy, analogicznych do wykrytych badaniami sejsmicznymi na obszarze waryscydy niemieckich. W świetle przedstawionych materiałów istnieje podstawa do stwierdzenia, że skały podłoża kompleksu waryscyjskiego WW i WBT zostały wypiętrzone prawdopodobnie wzdłuż dyslokacji sięgających w głąb dolnej skorupy, aż po powierzchnię Moho. Lokalizacja wszystkich wymienionych wglębnych uskoków (rozłamów) wyznaczonych na podstawie interpretacji stref zaburzeń typu przerwania ciągłości refleksów i odpowiadających im zmianom w poziomie powierzchni Moho, koreluje się ze strefami tektonicznymi wyznaczonymi na podstawie grawimetrycznych elementów liniowych A, B, C, D1 i D2 (na rys. 1), w przedziale głębokości do 20 km. Sytuacja taka występuje najwyraźniej na wysokości wiercenia Brenno 1. W tym rejonie na podstawie zapisu w całym zakresie głębokości, można sugerować istnienie uskoku utożsamianego z S granicą wyniesienia Wolsztyn (strefa B). Jednocześnie jest to strefa gradientowa związana z gwałtowną zmianą charakteru pola magnetycznego, która była przedmiotem analizy map anomalii magnetycznych (Petecki 2008; Narkiewicz i Petecki 2017; Kiersnowski i Petecki 2017). Charakter pola magnetycznego wskazuje na uskokowy kontakt bloków skorupy wzdłuż linii LMSL rozdzielającej obszary o odmiennych własnościach magnetycznych. Strefa ta

znajduje również bardzo wyraźne odzwierciedlenie w górnym przedziale głębokościowym, co można zaobserwować np. na sejsmicznym przekroju ZRG010097 do głębokości 6,5 km (fig. 30 w: Klecan i in. 1999), w postaci silnie zaburzonego odcinka obrazu falowego.

Dodatkowe źródło informacji stanowią wyniki pomiarów magnetotellurycznych wzdłuż profilu Zgorzelec–Wiżajny (Stefaniuk i in. 2007, Petecki red. 2007). Badania magnetotelluryczne przedstawiają wyniesienie Wolsztyn w postaci struktury o wysokich opornościach elektrycznych z maksymalnym wyniesieniem w centrum, odpowiadającemu najbardziej wydźwigniętym utworom podpermskim. Przekroje geoelektryczne (zob. też Pokorski 2017) potwierdzają blokowy charakter, wskazując równocześnie na bardzo głębokie założenia stref uskokowych wymienionej struktury. Wysokie oporności mogą wskazywać na nieznanego wieku skały wysokometamorficzne i może magmowe, podobnie jak w strefie krystalicznej uskoku środkowej Odry utożsamianej z NE granicą bloku przedsudeckiego.

Rysunek 5 przedstawia profil doświadczalny T0740198 o długości 23 km w wersji głębokiej do 15 sek. wykonany w ramach prac Przemysłu Górnictwa Naftowego i Gazownictwa w rejonie Kościan–Krobia między otworami Święciechowa 1 i Katarzynie 1. Są to rezultaty przetwarzania ukierunkowanego na znalezienie i zmaksymalizowanie pakietów odbitej energii w celu zdefiniowania przejścia od pokrywy permsko-mezozoicznej do ośrodka o własnościach skorupy krystalicznej. Na profilu można wydzielić pakiet refleksów zarejestrowany w przedziale czasowym 7–10,5 sek., które wykazują znacznie większą dynamikę zapisu w stosunku do otoczenia z wyraźną granicą Moho w spągu. Wyniki potwierdzają i jednocześnie uzasadniają koncepcje odnośnie do głównych rysów tektonicznych przedstawionych w tym artykule. Niezgodność układu refleksów wyznaczająca kompleks, w którym energia refleksów wyraźnie rośnie, zarysowuje strukturę sejsmiczną podobną do interpretowanej na analogicznym fragmencie przekroju GB 2. Nachylone refleksy przedłużają się poniżej podłoża dolnej skorupy. Zmienny kierunek upadów i wielkość nachylenia refleksów oraz ich dynamika podkreślają zarejestrowane formy tektoniczne oraz zmiany w miąższościach kompleksów występujących między granicami. Charakter pola refleksyjnego – wiązki horyzontów o różnych upadach przedzielone strefami nieciągłości sejsmicznych, obrazują kontakt między skałami o różnych własnościach fizycznych skał w tej części skorupy. Strukturalna niezgodność układu refleksów wskazuje zaś na istnienie struktury sejsmicznej powstałej prawdopodobnie w wyniku tektoniki kolizyjno-przesuwczej.

W zapisie czasowym na około 5,5 sek. śledzi się wyraźnie granica horyzont „x” związana prawdopodobnie ze strefą przejściową między środkową i dolną skorupą. Odmienny charakter pola falowego poniżej nieciągłości Moho odwzorowuje strukturę płaszcza ziemskiego. Wyższą jakość wyników w stosunku do uzyskanych na przekroju GB 2 można m.in. uzasadnić kierunkiem przebiegu profilu prostopadłym do rozciągłości struktur w głębokich kompleksach. Podobna zasada jest stosowana w pracach niemieckich.



Rys. 5. Sekcja sejsmiczna T0740198 z wydłużonym czasem rejestracji do 15 sek. (Dokumentacja Geofizyka Toruń; Klecan i Federowicz 2000) z interpretacją autorów

Fig. 5. Seismic section T0740198 with the time recording extended to 15 s. with authors' interpretation

Dyskusja i podsumowanie wyników

Interpretacja profili sejsmicznych nawiązuje do informacji uzyskanych z innych badań geofizycznych wykonywanych w Polsce i na terytorium Niemiec. Są to m.in. badania grawimetryczne, magnetyczne, magnetotelluryczne charakteryzujące strukturę skorupy ziemskiej w analizowanym obszarze. Przedstawiony materiał dokumentuje znaczące możliwości rozpoznania podłoża podpermskiego południowej części monokliny przedsudeckiej na podstawie archiwalnych materiałów geofizycznych.

W świetle przedstawionej dotychczasowej interpretacji związków korelacyjnych wyników badań geofizycznych można sformułować następujące wnioski:

1. Złożoność budowy geologicznej obszaru monokliny przedsudeckiej objawia się występowaniem licznych dyslokacji i stref tektonicznych wskazanych w prezentowanej pracy. Ma to istotne znaczenie dla dalszych prac poszukiwawczych węglowodorów i rud metali, gdzie lokalizacja złóż ma związek ze złożoną tektoniką oraz występowaniem głębokich rozłamów w paleozoicznym podłożu. Stwarza to możliwość nawiązania do perspektyw złożowych w omawianym obszarze do podobnych stref w jednym z najbardziej rudnych rejonów w sąsiadującej części Niemiec, jakim jest obszar między strefą fylitową a górami Harc z bardzo zróżnicowaną i bogatą mineralizacją.
2. Z przedstawionej interpretacji przekrojów sejsmiki (płytkiej i głębokiej) wynika, że związek między tektoniką obserwowaną w pokrywie osadowej i ułożeniem refleksów w głębszych partiach skorupy ziemskiej jest niejednoznaczny. Spiętrzenie kompleksów w dolnej skorupie, występujące w rejonach między Wschową i Wielichowem oraz o mniejszej amplitudzie w rejonie Niechlowa, może być efektem nasunięć wewnątrz skorupy, którym odpowiadają wypiętrzenia podłoża podwaryscyjskiego odpowiednio w rejonach wyniesienia Wolsztyn i wyniesienia Bielawy–Trzebnica.
3. Można postulować, że strefa będąca odpowiednikiem środkowo-niemieckiej strefy krystalicznej (MGCR), w Polsce znajduje się pod monokliną przedsudecką bardziej na N niż przyjmowany powszechnie dotychczas zrąb metamorfiku środkowej Odry. Wcześniej sugerował to Żelaźniewicz (1997), nie precyzując jednak lokalizacji. Aktualna interpretacja, z uwzględnieniem również wyników badań refrakcyjnych, wskazuje rejon usytuowania tej strefy w basenie dolnośląskim pomiędzy wyniesieniem Bielawy–Trzebnica (Siciny IG1) i wyniesieniem Wolsztyn–Pogorzela (Święciechowa1), zgodnie z przebiegiem pasa dodatnich anomalii magnetycznych.
4. Strefy fylitowe wyniesienia Wolsztyn i wyniesienia Bielawy–Trzebnica, można utożsamiać ze strefami fylitowymi w Niemczech odpowiednio (południowa i północna). W tym świetle zasięg strefy saksońsko-turyngskiej na obszarze Polski wyznaczałaby NE granica wyniesienia Wolsztyn, stanowiąc jednocześnie kontakt z ewentualnie występującą w Polsce strefą reńsko-hercyńską. Powstaje wówczas nierozwiązany problem bezpośredniej liniowej kontynuacji układów tektonicznych Niemiec na obszar Polski. Udział dodatkowych ruchów np. rotacyjnych w tektonice kolizyjno-przesuwowej (lub orogen dwustronny?) mogłyby tłumaczyć tę sytuację. Jest to temat do dyskusji w aspekcie ewolucji geologicznej obszaru.
5. Odnośnie do różnorodnych koncepcji lokalizacji N granicy internidów na terenie Polski można postulować jej umiejscowienie wzdłuż południowej krawędzi wyniesienia

Wolsztyn–Pogorzela, co potwierdzają również wyniki badań magnetycznych (lineament magnetyczny Słubice–Leszno). Zasięg internidów wzdłuż tego lineamentu koreluje się z lokalizacją strefy uskokowej B, która stanowiłaby granicę między obszarem internidów i położonym na N obszarem eksternidów.

6. Lineament magnetyczny Słubice–Leszno po załamaniu w okolicy Leszna kontynuuje się w kierunku SSE, oddzielając przylegający od S do wyniesienia Pogorzela SE człon dodatniej anomalii grawimetrycznej związanej z basenem dolnośląskim. Należy tu podkreślić rolę rysujących się w obrazie grawimetrycznym linii nieciągłości tektonicznych i/lub litologicznych o kierunku przybliżonym do południkowego, które wydzielają poszczególne segmenty. Najsilniej wyrażona oddziela wyniesienie Pogorzela od pozostałej części wyniesienia. Słabiej zarysowane przedłużenia omawianych linii w kierunku S przesuwają osie maksymalnych wartości anomalii grawimetrycznych dzieląc ciąg dodatnich anomalii na kilka bloków. Blok najbardziej południowy położony jest bezpośrednio na wschód od wspomnianego lineamentu magnetycznego.

Sformułowane na podstawie przedstawionego etapu prac wnioski należy traktować częściowo jako hipotezę wymagającą potwierdzenia. Uzyskane rezultaty uzasadniają potrzebę kontynuacji prac w celu sprecyzowania i uwiarygodnienia (w skali regionalnej) zasięgu i skali rozprzestrzenienia się analizowanych elementów strukturalno-tektonicznych z odniesieniem do wyników badań zachodniej części Polski i przyległych obszarów Niemiec. Wymaga to m.in. podniesienia jakości wytypowanych do dalszych analiz materiałów sejsmicznych zebranych w ramach tego opracowania, w tym obejmujących środkową część skorupy ziemskiej, bardzo istotnych dla interpretacji tektonicznej. Zastosowanie odpowiednich procedur przetwarzania sejsmicznego obrazu falowego, jak metoda efektywnych współczynników odbicia (EWO), powinno umożliwić wydzielenie szeregu zmian w przebiegu granic sejsmicznych niewidocznych na tradycyjnym zapisie, z dokładnością i na głębokościach dotąd niedostępnych. W konsekwencji da to podstawy do ściślejszej korelacji przekrojów polskich z wynikami prac sejsmicznych zrealizowanych w Niemczech oraz stworzenia wspólnej koncepcji budowy strukturalno-tektonicznej.

Praca została wykonana w ramach badań statutowych IGSMiE PAN.

Autorzy składają serdeczne podziękowania Dyrekcji PGNiG SA za wyrażenie zgody na udostępnienie przekrojów sejsmicznych, a Geofizyce Toruń SA za ich przygotowanie.

Literatura

- Aleksandrowski, P. 1995. Rola wielkoskalowych przemieszczeń przesuwczych w ukształtowaniu waryscyjskiej struktury Sudetów. *Przegląd Geologiczny* 43, s. 745–754.
- Cieśla, E. i Wybraniec, S. red. 1997. *Kompleksowa interpretacja grawimetryczno-magnetyczna Polski zachodniej*. Warszawa: Narodowe Archiwum Geologiczne PIG.
- Cwojdziański i in. 1995 – Cwojdziański, S., Młynarski, S., Dziewińska, L., Józwiak, W., Zientara, P. i Baziuk, T. 1995. Pierwszy sejsmiczny profil głębokich badań refleksyjnych (GBS) na Dolnym Śląsku. *Przegląd Geologiczny* 43, s. 727–737.
- Dallmeyer i in. 1995 – Dallmeyer, R.D., Franke, W. i Weber K. eds. 1995. *Pre-Permian Geology of Central and Eastern Europe*, 604 s.

- Dekorp-Basin Research Group, 1999 – Deep crustal structure of the Northeast German basin: New DEKORP-Basin'96 deep-profiling results. *Geology*: January, 27, s. 55–58.
- Dekorp Research Group, 1994 – The deep reflection seismic profiles DEKORP 3/MVE-90. *Zeitschrift für Geologische Wissenschaften*, 22(6), s. 623–825.
- Deczkowski, Z., 1977 – Budowa geologiczna pokrywy permo-mezozoicznej i jej podłoża we wschodniej części monokliny przedsudeckiej (obszar kalisko-częstochowski). *Prace Instytutu Geologicznego* 82, 63 s.
- Dziewińska, L. i Józwiak, W. 2000. Zmiany litologiczne w utworach karbonu rowu lubelskiego w świetle interpretacji geofizycznej. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 392, s. 5–48.
- Dziewińska i in. 2017 – Dziewińska, L., Pepel, A., Tarkowski, R. i Żuk, Z. 2017. Nowe spojrzenie na wyniki badań geofizycznych monokliny przedsudeckiej w aspekcie poszukiwań surowców. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 468, s. 165–174.
- Dziewińska, L. i Petecki, Z. 2004. Kompleksowa interpretacja badań geofizycznych północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. *Instrukcje i metody badań geologicznych* 58, 107 s.
- Dziewińska i in. 2011 – Dziewińska, L., Petecki, Z. i Tarkowski, R. 2011. Budowa geologiczna utworów permu struktury Wilków (monoklina przedsudecka) w świetle interpretacji sekcji współczynników odbicia. *Przeгляд Górniczy* 67, s. 64–72.
- Dziewińska, L. i Tarkowski, R. 2016a. Sejsmiczna interpretacja struktury Wierzchowa dla potrzeb podziemnego składowania CO₂ z wykorzystaniem efektywnych współczynników odbicia. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* 92, s. 261–274.
- Dziewińska, L. i Tarkowski, R. 2016b. Geophysical study of deep basement structure of NW Poland using effective reflection coefficients. *Comptes Rendus Geoscience* 348, s. 587–597.
- Franke, W. 2000. The mid-European segment of the Variscides: tectonostratigraphic units, terrane boundaries and plate tectonic evolution. [W:] Franke W., Haak V., Oncken O., Tanner D. (eds); *Orogenic Processes Quantification and Modeling in the Variscan Belt*, Geological Society of London, Special Publications 179, s. 35–61.
- Franke i in. 1990 – Franke, W., Bortfeld, R.K., Drozdowski, G., Durbaum, H.J., Giese, P., Jodicke, H., Reichert, C., Schmoll, J., Thomas, R., Thunker, M., Weber, K., Wiesner, M.G. i Wong, H.K. 1990. Dekorp 2S. *Geologische Rundschau* 79, s. 523–566.
- Franke i in. 1993 – Franke, W., Żelaźniewicz, A., Porębski, S.J. i Wajsprych B. 1993. The Saxothuringian zone in Germany and Poland: differences and common features. *Geologische Rundschau* 82, s. 583–599.
- Geisler i in. 2008 – Geisler, M., Breitkreuz, C. i Kiersnowski, H. 2008. Late Paleozoic volcanism in the central part of the Southern Permian Basin (NE Germany, W Poland): facies distribution and volcano-topographic hiatus. *International Journal of Earth Sciences* 97 (5), s. 973–989.
- Górecka i in. 1997 – Górecka, T., Juroszek, C., Karwowski, L., Kłapiński, J., Lorenc, S., Mierzejewski, M., Sachanbiński, M. i Ślusarczyk, S. 1977. Utwory skalne podłoża permu zachodniej części monokliny przedsudeckiej i perykliny Żar oraz przyległej części bloku przedsudeckiego. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej* 22, s. 3–92.
- Górecka-Nowak, A. 2008. New interpretations of the Carboniferous stratigraphy of SW Poland based on miospore data. *Bulletin of Geosciences* 83, s. 101–116.
- Katzung, G. 2001. The Caledonides at the southern margin of the East European Craton. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abh.* 222, s. 3–53.
- Kiersnowski i in. 2010 – Kiersnowski, H., Peryt, T.M., Buniak, A. i Mikołajewski, Z. 2010. From the intra-desert ridges to the marine carbonate island chain: middle to late Permian (Upper Rotliegend-Lower Zechstein) of the Wolsztyn-Pogorzela high, west Poland. *Geological Journal* 44, s. 319–335.
- Kiersnowski, H. i Petecki, Z. 2017. Budowa geologiczna podczęsżyńskiego podłoża Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) i jego otoczenia: spojrzenie krytyczne. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 468, s. 175–198.
- Klecan i in. 1999 – Klecan, A., Fedorowicz, A. i Wierzbę, D. 1999. *Regionalne profile sejsmiczne przez basen permno-mezozoiczny*. Warszawa: Narodowe Archiwum Geologiczne PIG.
- Klecan, A. i Fedorowicz, A. 2000. *Opracowanie badań sejsmicznych temat Kościan–Krobia 1997–1999*. Warszawa: Narodowe Archiwum Geologiczne PIG.
- Kroner i in. 2008 – Kroner, U., Mansy, J.-L., Mazur, S., Aleksandrowski, P., Hann, H.P., Huckriede, H., Lacquement, F., Lamarche, J., Ledru, P., Pharoah, T.C., Zedler, H., Zeh, A. i Zulauf, G. 2008 – *The Geology of Central Europe, Volume 1: Precambrian and Palaeozoic* (ed. T. McCann). Geological Society London, s. 599–664.

- Królikowski, C. i Petecki, Z. 1995. *Gravimetric Atlas of Poland 1:500 000 i 1:750 000*. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny.
- Kucha, H. i Bil, B. 2017. Charakterystyka mineralizacji kruszcowych cechsztynu na obszarze Weisswasser w Niemczech. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 468, s. 143–152.
- Lokhorst, A. ed. 1997. *NW European Gas Atlas (EC JOULE Programe)*. CD-ROM, Netherland Geological Survey, Haarlem.
- Młynarski, S. 1982. The structure of deep basement in Poland in the light of refraction seismic surveys. *Kwartalnik Geologiczny* 26, 2, s. 285–296.
- Młynarski, S. i Zespól 1997. *Kompleksowa interpretacja geofizyczno-geologiczna sejsmicznych badań refleksyjnych na profilach GB-2A, GB-2, GB-2B, 25-III-82*. Warszawa: Narodowe Archiwum Geologiczne PIG.
- Młynarski, S. 1996. *Dokumentacja sejsmicznych badań refleksyjnych na profilach GB-2 i 25-III-1982*. Warszawa: Narodowe Archiwum Geologiczne PIG.
- Młynarski i in. 2000 – Młynarski, S., Pokorski, J., Dziewińska, L., Józwiak, W. i Zientara, P. 2000. Deep reflection seismic experiments in western Poland. *Geological Quarterly* 44, 2, s. 75–181.
- Narkiewicz, M. i Petecki, Z. 2017. Basement structure of the Palaeozoic Platform in Poland. *Geological Quarterly* 61, s. 502–520.
- Petecki, Z. 2008. Podłoże magnetyczne w pomorskim segmencie strefy szwu transeuropejskiego. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego* 191, 72 s.
- Petecki i in. 2003 – Petecki, Z., Polechońska, O., Cieśla, E. i Wybraniec, S. 2003. *Mapa magnetyczna Polski 1:500 000*. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny.
- Petecki, Z. red. 2007. *Badania magnetotelluryczne wzdłuż profilu Zgorzelec–Wiązajny*. Warszawa: Narodowe Archiwum Geologiczne PIG.
- Piestrzyński, A. 2007. Historyczny rozwój poglądów na genezę złoża rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej – dyskusja. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 423, s. 69–76.
- Pokorski, J. 2017. Przekrój magnetotelluryczny Zgorzelec–Wiązajny. [W:] *Atlas Geologiczny Polski* (red. J. Nawrocki, A. Becker). Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, s. 40.
- Skorupa, J. 1974. *Wyniki regionalnych prac refrakcyjnych prowadzonych w związku z rozpoznaniem głębokiego podłoża w Polsce. Objaśnienia do Mapy sejsmicznej Polski 1:500 000*. Warszawa: Narodowe Archiwum Geologiczne PIG.
- Speczik, S. 1985. Metalogeneza podłoża podcechsztyńskiego monokliny przedsudeckiej. *Geologica Sydetica* 20, s. 37–96.
- Speczik i in. 2011 – Speczik, S., Dziewińska, L., Pepel, A. i Józwiak, W. 2011. Możliwość wykorzystania impulsowej postaci zapisu sejsmicznego do rozpoznania złóż prognostycznych miedzi i srebra w północnej części monokliny przedsudeckiej. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* 81, s. 117–135.
- Speczik i in. 2012 – Speczik, S., Dziewińska, L., Pepel, A. i Józwiak, W. 2012. Analiza i przetwarzanie danych geofizycznych jako instrument poszukiwań złóż Cu-Ag na monoklinie przedsudeckiej. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 452, s. 257–286.
- Stefaniuk i in. 2007 – Stefaniuk, M., Wojdyła, M., Kosobudzka, I. i Ostrowski, C. 2007. *Dokumentacja badań geofizycznych, temat: Pomiary polowe magnetotelluryczne, magnetyczne i grawimetryczne wzdłuż profilu Zgorzelec–Wiązajny wraz z ich przetwarzaniem i interpretacją, 2005–2007*. Warszawa: Narodowe Archiwum Geologiczne PIG.
- Wierzchowska-Kicułowa, K. 1984. Budowa geologiczna utworów podpermskich monokliny przedsudeckiej. *Geologica Sudetica* 19, s. 121–142.
- Wierzchowska-Kicułowa, K. 1987. Charakterystyka geologiczna podłoża permu obszaru przedsudeckiego. *Kwartalnik Geologiczny* 31,4, s. 557–568.
- Wybraniec, S. i Cieśla, E. 1995. *Mapa magnetyczna zachodniej Polski 1:200 000 z komputerowym bankiem danych i interpretacją elementów strukturalnych*. Warszawa: Narodowe Archiwum Geologiczne PIG.
- Żelaźniewicz i in. 1997 – Żelaźniewicz, A., Cwojdzński, S., England, R.W. i Zientara, P. 1997. Variscides in the Sudetes and the reworked Cadomian orogen: evidence from the GB-2A seismic reflection profiling in southwestern Poland. *Geological Quarterly* 41,3, s. 289–308.
- Żelaźniewicz i in. 2003 – Żelaźniewicz, A., Marheine, D. i Oberc-Dziedzic, T. 2003. A Late Tournaisian synmetamorphic folding and thrusting event In the Variscan foreland: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ evidence from the phyllites of the Wolsztyn-Lesno High, western Poland. *International Journal of Earth Sciences* 92, s. 185–194.
- Żelaźniewicz, A. red. 2011. *Rejonizacja tektoniczna Polski*. Wrocław: Komitet Nauk Geologicznych PAN, 60 s.