

Prof. dr hab. inż. Teresa Grabowska

Kraków, dn.15.07.2016 r.

profesor emerytowany

Akademia Górniczo-Hutnicza

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

Katedra Geofizyki

Kraków, al. Mickiewicza 30

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Mikołajczaka pt. ” **Analiza struktury podłoża prowincji łupków gazonośnych centralnej Polski w oparciu o dane grawimetryczne i magnetyczne**”

Recenzowana rozprawa przedstawia wyniki badań geofizycznych wykonanych z wykorzystaniem metod pól potencjalnych (grawimetria i magnetometria), których celem było rozpoznanie struktury i głębokości występowania podłoża gazonośnych sylurskich formacji łupkowych, występujących na skłonie wschodnioeuropejskiej platformy na obszarze Polski.

Podstawowym obiektem badań były anomalie siły ciężkości oraz anomalie całkowitego pola magnetycznego Ziemi polskiej części wschodnioeuropejskiego kratonu, jego skłonu i strefy Teisseyre’a – Tornquista. Szczególną uwagę poświęcono obszarom wczesnopaleozoicznych basenów: bałtyckiego, podlaskiego i lubelskiego, dla których wyniki interpretacji anomalii pól potencjalnych zostały przedstawione na tle szeroko zaprezentowanych informacji geologicznych.

Rozprawa składa się z 9. rozdziałów, liczących w sumie 204 strony maszynopisu, ilustrowanych wieloma figurami i tabelami oraz obszernej bibliografii liczącej 185. pozycji literaturowych.

Do pracy dołączone zostały, ujęte w formie tabel dane geologiczne pozyskane ze 144. otworów wiertniczych oraz skonstruowana przez doktoranta mapa głębokości do stropu podłoża krystalicznego, obejmująca obszar badań.

W wstępie, będącym pierwszym rozdziałem rozprawy, autor przedstawia zakres i poszczególne etapy wykonanych badań. Są nimi przede wszystkim jakościowa interpretacja anomalii grawimetrycznych i anomalii magnetycznych, której celem było rozpoznanie

elementów budowy tektonicznej obszaru oraz interpretacja ilościowa anomalii, przydatna w ocenie głębokości występowania i rozpoznaniu morfologii podłoża krystalicznego.

Drugi rozdział rozprawy poświęcony jest charakterystyce geologicznej jednostek strukturalnych obszaru badań, przedstawionej na tle wyników uzyskanych metodą głębokich sondowań sejsmicznych a także dotychczasowych badań grawimetrycznych i magnetycznych.

W podrozdziałach autor w oparciu o wyniki aktualnych badań geologicznych wspartych badaniami geofizycznymi, pokrótce omówionymi w osobnym podrozdziale, charakteryzuje budowę geologiczną polskiego fragmentu platformy wschodnioeuropejskiej.

Wiele uwagi, z racji występowania w utworach sylurskich gazu łupkowego, poświęca wczesnopaleozoicznym basenom osadowym rozwiniętym na skłonie wschodnioeuropejskiej platformy.

W oparciu o dane literaturowe przedstawia zarys budowy geologicznej obszaru i ewolucję jego jednostek strukturalnych podkreślając równocześnie wspólną, sięgającą wczesnego kambru, historię zdarzeń tektonicznych na tym obszarze.

Zamieszczone w tym rozdziale mapy anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera a w szczególności anomalii całkowitego pola magnetycznego Ziemi obszaru Polski są dobrymi przykładami wskazującymi m.in. na zróżnicowaną budowę geologiczną podłoża dolnopaleozoicznych basenów sedimentacyjnych.

W kolejnych podrozdziałach autor przedstawia geologiczną charakterystykę basenów: bałtyckiego i podlaskiego, wskazując na słabe zaangażowanie tektoniczne, wypełniających je utworów paleozoicznych.

W odniesieniu do zlokalizowanego w południowej części skłonu platformy basenu lubelskiego podkreśla jego ryftową genezę i złożoną budowę tektoniczną paleozoiku.

Opisy budowy geologicznej basenów zilustrowane zostały znaną z literatury mapą autorstwa W. Pożaryskiego i A. Dembowskiego przedstawiającą główne strefy uskokowe i jednostki tektoniczne północno – wschodniej i południowo – wschodniej Polski.

W ostatnim, czwartym podrozdziale drugiego rozdziału rozprawy autor przedstawia historię badań geofizycznych, obejmujących m.in. wschodnią część Polski. Wymienione są tutaj i krótko omówione głębokie sejsmiczne sondowania metodą refrakcyjną a także

późniejsze projekty sejsmiczne o nazwach POLONAISE'97 i CELEBRATION 2000 oraz regionalny eksperyment POLCRUST 01, a także eksperyment sejsmiczny PolandSPANTM, którego wyniki wykorzystane zostały w recenzowanej pracy. Autor wspomina również nawiązujące do badań sejsmicznych wcześniejsze prace, zawierające analizy i interpretacje anomalii pól potencjalnych i danych magnetotellurycznych.

Bardzo obszerny rozdział 3., liczący 37 stron, szczegółowo informuje czytelnika o bezpośrednio wykorzystanych przez autora rozprawy danych grawimetrycznych w postaci, spróbkowanych w 2. kilometrowej siatce anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera, obliczonych zgodnie z międzynarodowym standardem IGSN71 dla gęstości warstwy pośredniej $2,67 \text{ Mg/m}^3$ oraz anomalii izostatycznych, wyznaczonych w oparciu o teorię Airy'ego dla głębokości Moho wynoszącej 32 km.

Podobnie dokładne informacje dotyczą danych magnetycznych zestawionych w węzłach 0,5 km kwadratowej sieci, a następnie wyinterpolowanych w sieci 0,25 km. Są to wartości anomalii całkowitego pola magnetycznego Ziemi wyrażone w jednostkach indukcji magnetycznej i wyznaczone dla przyjętego pola normalnego IGRF2005. Anomalie te, jak informuje autor, poddane zostały transformacjom w postaci przedłużenia analitycznego na poziom 0,5 km i redukcji do bieguna magnetycznego.

Wykorzystane w pracy dane sejsmiczne to wyniki badań metodą sejsmiki refleksyjnej, pochodzące z projektu PolandSPANTM na podstawie, których określano głębokości występowania poszczególnych pięter stratygraficznych i ich morfologię. Natomiast do określenia głębokości i morfologii granicy Moho oraz powierzchni stropowej dolnej skorupy posłużono się danymi pochodzącymi z głębokich sejsmicznych badań refrakcyjnych.

Informacje o strukturze piętra osadowego skorupy, a w tym jego dolnopaleozoicznych horyzontów wzbogacone zostały danymi pochodzącymi z 144. otworów wiertniczych zestawionych w 10. tabelach.

Ostatni podrozdział rozdziału 3. zawiera podstawy teoretyczne metod grawimetrycznej i magnetycznej opracowane na podstawie dostępnej literatury.

W bardzo rozbudowanym rozdziale 4. poświęconym budowie podłoża basenów sedymentacyjnych omówione zostały metody jakościowej interpretacji anomalii pól potencjalnych, bazujące na analizie Fouriera. Autor wykorzystując komercyjne programy

Oasis montajTM firmy Geosoft dokonał wielu transformacji anomalii grawimetrycznych i magnetycznych wizualizując wyniki tych transformacji przy użyciu programu GetGrid firmy Getech.

W podrozdziale 4.2 zostały przedstawione mapy ilustrujące wyniki wykonanych transformacji anomalii grawimetrycznych i magnetycznych, obejmujących swoim zasięgiem pokazać część obszaru Polski. W formie kolorowych, cieniowanych map autor przedstawia anomalie grawimetryczne wolnopowietrzne, anomalie w redukcji Bouguera, anomalie izostaticzne oraz różnego rodzaju pochodne anomalii takie jak; pochodne pionowe, poziome, skośne anomalii siły ciężkości a także całkowitą pochodną poziomą tych anomalii, oraz mapę obrazującą sygnał analityczny i tzw. anomalie filtracyjne.

Na uwagę zasługują również transformacje anomalii całkowitego pola magnetycznego w postaci mapy anomalii magnetycznych zredukowanych do bieguna oraz map pochodnych podobnego typu jak w przypadku anomalii siły ciężkości.

Podsumowaniem tego etapu badań są mapy przedstawiające obrazy anomalii transformowanych z naniesionymi elementami strukturalnymi, ujawnionymi w procesie jakościowej analizy anomalii pól potencjalnych.

Geologiczne implikacje wyników interpretacji jakościowej anomalii pól potencjalnych w odniesieniu do będących tematem rozprawy wczesnopaleozoicznych basenów sedymentacyjnych zostały opisane w podrozdziale 4.4.

Autor omawia w nim kolejno trzy części badanego obszaru.

Część północną, gdzie koncentruje się na basenie bałtyckim, tektonicznej strefie Koszalin-Chojnice i północnym fragmencie strefy T-T.

Część środkową, dla której dokonuje szczegółowej analizy wyników jakościowej interpretacji anomalii pól potencjalnych dla obszaru basenu podlaskiego. W tym przypadku uzyskane w procesie interpretacji jakościowej anomalii pól potencjalnych struktury tektoniczne potwierdzają obecność rowu tektonicznego o rozciągłości ENE – WSW, wypełnionego utworami syluru i stanowiącego przedłużenie basenu podlaskiego w kierunku zachodnim.

Dużo uwagi poświęca również uskoku Grójca wyraźnie zaznaczającemu się na mapach transformowanych anomalii siły ciężkości.

Część południową, obejmującą basen lubelski, gdzie wyniki jakościowej analizy anomalii pól potencjalnych autor opatruje szerokim komentarzem geologicznym. Zwraca uwagę na różnorodność elementów strukturalnych wiązanych z tektoniką paleozoicznej pokrywy osadowej jak również strukturą podłoża krystalicznego.

Rezultaty jakościowej analizy anomalii pól potencjalnych na tym obszarze przedstawia w formie map ilustrujących wyinterpretowane elementy strukturalne wkomponowane w obrazy transformowanych anomalii pól potencjalnych.

Rozdziały 5. i 6. poświęcone są ilościowej interpretacji anomalii grawimetrycznych i anomalii magnetycznych.

W rozdziale 5. przedstawia wyniki dwuwymiarowego zintegrowanego grawimetryczno – magnetycznego modelowania, zrealizowanego przy użyciu programu firmy Geosoft/NGA GM - SYSTM. Program ten umożliwia obliczenie dwuwymiarowych efektów grawimetrycznych i magnetycznych oraz rozwiązanie zadania odwrotnego dla ciał o rozciągłości prostopadłej lub skośnej do kierunku profilu.

Dwuwymiarowe modelowania zostały wykonane wzdłuż 10. profili, usytuowanych w bliskim sąsiedztwie profili sejsmicznych PolandSPANTM, które w przeważającej liczbie przypadków są usytuowane prostopadle do brzegu kratonu i struktur geologicznych kompleksu osadowego skorupy.

Do konstrukcji tzw. startowych modeli autor wykorzystał gęstości pochodzące z wierceń położonych w pobliżu profili sejsmicznych a przede wszystkim ujawnioną w kompleksie osadowym skorupy, dzięki badaniom sejsmiki refleksyjnej geometrię horyzontów sejsmicznych, uznanych za granice rozdziału gęstości.

Dla określenia głębokości występowania i morfologii granicy Moho jak i przebiegu granicy gęstościowej w dolnej skorupie posłużył się wynikami głębokich badań refrakcyjnych.

Rozdział 6. poświęcony jest modelowaniu trójwymiarowemu, którego celem jest określenie głębokości i morfologii podłoża dolnopaleozoicznych basenów w wymiarze przestrzennym.

W celu realizacji tego zadania z pola obserwowanych anomalii siły ciężkości został usunięty efekt grawitacyjny związany z oddziaływaniem granicy Moho. Wykorzystując

wyniki badań refrakcyjnych odnośnie głębokości i ukształtowania granicy Moho autor wyznaczył związane z nią efekty grawitacyjne w 2. km siatce, przyjmując wartość $0,35 \text{ Mg/m}^3$ jako kontrast gęstości między górnym płaszczem i dolną skorupą. Uzyskana na tej drodze anomalia różnicowa stanowiła podstawowy zbiór danych w procesie modelowania odwrotnego (inwersji). Modelowanie to wykonano w domenie częstotliwości sposobem iteracyjnym przy użyciu programu Gproc(ARKeX Ltd.) i założeniu kontrastu gęstości między podłożem a pokrywą osadową o wartości $0,2 \text{ Mg/m}^3$. Proces obliczeń uwzględniający tzw. warunki brzegowe (dane otworowe, wyniki 2D modelowania) powtarzano wielokrotnie aż do uzyskania zadawalającej zgodności obliczonego efektu grawitacyjnego z wartościami anomalii różnicowych. Wyniki modelowania zostały przedstawione w formie przestrzennej przedstawiającej 3D model podłoża krystalicznego oraz 3D model powierzchni stropowej wendu.

W kolejnym 7. rozdziale autor przedstawia powstałe z wykorzystaniem specjalistycznych programów komputerowych i uwzględnieniem wyników 3D modelowania, 2D gęstościowych modeli skorupy, przesłanek geologicznych i danych literaturowych mapy głębokości stropu krystalicznego podłoża i powierzchni stropowej utworów wendu wraz z zaznaczonymi na nich elementami budowy tektonicznej.

W odróżnieniu do wyżej wymienionych map, mapa stropu syluru została opracowana na bazie danych pochodzących z otworów wiertniczych i wyników 2D modelowania wzdłuż profili zlokalizowanych w sąsiedztwie linii sejsmicznych PolandSPANTM.

Wymienione wyżej mapy za pośrednictwem programu Oasis montajTM posłużyły do konstrukcji map miąższości wendu, syluru i dolnego paleozoiku. Odpowiedniego kolorystycznego opracowania map wraz z wprowadzeniem uzyskanych w procesie interpretacji jakościowej elementów strukturalnych dokonano z wykorzystaniem programu ArcGISTM.

Dwa ostatnie rozdziały rozprawy to przedstawienie wyników badań grawimetrycznych na bardzo szerokim tle hipotez geologicznych.

Autor, zajmując się głównie skłonem wschodnioeuropejskiej platformy, omawia głównie wyniki badań geologicznych i sejsmicznych dotyczących podłoża krystalicznego i nadległych poziomów starszego paleozoiku. W bardzo rozbudowanej formie posiłkując się aktualnymi informacjami z zakresu badań sejsmicznych omawia szczegóły budowy

tektonicznej osadów ediakaru, zwracając również szczególną uwagę na wpływ fazy bretońskiej na tektonikę osadów dolnopaleozoicznych Lubelszczyzny, a w przypadku basenu bałtyckiego na rolę ruchów laramijskich w jego przebudowie.

Zamykający rozprawę rozdział 9. zawiera obszerne podsumowanie i wnioski obudowane informacjami pochodzącymi z badań sejsmicznych a przede wszystkim konkluzjami geologicznymi.

Po dokładnym zapoznaniu się z obszerną pracą Pana mgr inż. Mateusza Mikołajczaka i przeanalizowaniu jej niezwykle rozbudowanej warstwy geologicznej stwierdzam, że Autor w sposób twórczy połączył wiedzę geologiczną z dostarczającymi wielu elementów poznawczych wynikami badań geofizycznych, prowadzonych z wykorzystaniem metod pól potencjalnych.

Za warę podkreślenia uważam następujące osiągnięcia Doktoranta:

1. Konstrukcję map strukturalnych podłoża krystalicznego prowincji łupków gazonośnych i powierzchni stropowej wendu na obszarze skłonu platformy. Mapy te powstały na drodze inwersji różnicowych anomalii siły ciężkości przy uwzględnieniu danych z wierceń, wyników dwuwymiarowego modelowania i jakościowej analizy anomalii grawimetrycznych.
2. Przeprowadzenie, opatrzonej obszernymi komentarzami geologicznymi, jakościowej analizy map anomalii siły ciężkości i anomalii magnetycznych, wykonywanej po kątem ich geologicznej identyfikacji i rozpoznania systemów dyslokacji w obrębie wczesnopaleozoicznych basenów sedimentacyjnych.
3. Opracowanie banków danych grawimetrycznych i magnetycznych z obszaru obejmującego 2/3 Polski. Dane te były podstawą obliczeń i konstrukcji map anomalii siły ciężkości i anomalii całkowitego pola magnetycznego oraz map licznych transformacji tych anomalii wraz z wyinterpretowanymi strukturami, przebiegiem uskoków, nasunięć i fałdów.
4. Umieszczenie zintegrowanych wyników transformacji pól potencjalnych, danych strukturalnych, dwuwymiarowych modeli gęstościowych i modeli magnetycznych oraz map głębokości podłoża na platformie cyfrowej ArcGISTM.
5. Konstrukcję dwuwymiarowych modeli gęstościowych z wykorzystaniem informacji pochodzących z eksperymentu PolandSPANTM, danych z otworów wiertniczych odnośnie rozkładu gęstości w utworach pokrywy osadowej i kompilacji danych dotyczących

- spagowych warstw skorupy łącznie z granicą Moho, będących wynikiem realizacji międzynarodowych projektów sejsmicznych POLONAISE'97 i CELEBRATION2000,
6. Komputeryzację procesu geofizyczno-geologicznej interpretacji anomalii pól potencjalnych.

Recenzowana praca, mimo niewątpliwie wartościowego przekazu zawierającego wiele informacji poszerzających wiedzę o budowie geologicznej, występujących na skłonie wschodnioeuropejskiej platformy wczesnopaleozoicznych basenów sedimentacyjnych i ich podłoża, zawiera merytoryczne nieścisłości, niezręczności i uchybienia językowe. Należy do nich zaliczyć:

1. Przedstawienie błędnej tezy o braku odzwierciedlenia tektonicznej strefy Koszalin – Chojnice na mapach anomalii siły ciężkości (str. 88, 202). Strefa Koszalin – Chojnice widoczna jest na mapie anomalii siły ciężkości w red. Bouguera, mapach transformowanych anomalii zamieszczonych w recenzowanej pracy p. Fig 4.2 a,d,e.
2. Brak odniesienia strefy T-T do koncepcji TESZ
3. Błędne stwierdzenie odnośnie zmiany (wzrostu) wartości przyspieszenia ziemskiego z wysokością (str. 63)
4. Nieuprawnione 2D modelowanie grawimetryczne wzdłuż profili przecinających struktury geologiczne wzdłuż ich rozciągłości (np. profile PL – 1100 i PL – 1000)
5. Brak 2D modeli magnetycznych na figurach przedstawiających wyniki interpretacji na profilach (Fig. 5.8 – 5.27)

Za niezręczności i uchybienia językowe należy uznać obecność nie stosowanych w literaturze dotyczącej pól potencjalnych określeń, a mianowicie: lateralny gradient pola siły ciężkości (str. 16), mechanizmy sterujące grawitacją (str. 63), grawimetria bouguerowska (str. 72), magnetyczna sygnatura (str. 84, 103), pomiar anomalii całkowitego natężenia (str. 34), widok płytki, widok głęboki w opisach modeli 2D (str. 112 i str. 117–153).

Jednakże należy zaznaczyć, że przedstawione powyżej krytyczne uwagi nie obniżają znacząco poziomu naukowego rozprawy, posiadającej charakter interdyscyplinarny, w której Autor wykorzystał wiedzę geologiczną na różnych etapach procesu interpretacji danych geofizycznych.

Reasumując, recenzowaną rozprawę pt. „**Analiza struktury podłoża prowincji łupków gazonośnych centralnej Polski w oparciu o dane grawimetryczne i magnetyczne**” oceniam pozytywnie i stwierdzam, że zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki (Dz. U. 65, poz. 595, z późn. zm.), spełnia ona wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

W związku z powyższym wnoszę do Rady Naukowej Instytutu Nauk Geologicznych PAN o przyjęcie przedłożonej rozprawy i dopuszczenie Pana mgr. inż. Mateusza Mikołajczaka do dalszych etapów postępowania w przewodzie doktorskim.

Teresa Grabowska