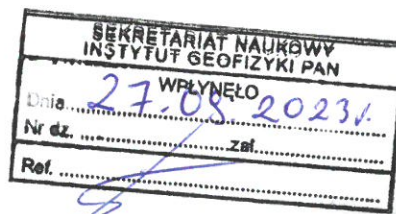


16F-SN-420-02/23



Prof. dr hab. Paweł Aleksandrowski
Państwowy Instytut Geologiczny -
- Państwowy Instytut Badawczy
Oddział Dolnośląski we Wrocławiu
Al. Jaworowa 19, 53-122 Wrocław

Wrocław, 7 września 2023

Recenzja rozprawy doktorskiej p. mgr Julii Rewers

pt. Upper mantle structure and anisotropy beneath the Sudetes based on data from passive seismic experiment "AniMaLS" - Analiza struktury i anizotropii górnego płaszczka pod Sudetami na podstawie danych z pasywnego eksperymentu sejsmicznego „AniMaLS”, przygotowanej w Instytucie Geofizyki Polskiej Akademii Nauk pod kierownictwem naukowym dr. hab. Piotra Środy, prof. PAN

Recenzowana rozprawa doktorska oparta jest na wynikach badań opublikowanych w czasopiśmie z listy JCR w postaci dwóch współautorskich artykułów naukowych, w których p. mgr Julia Rewers pełni rolę, odpowiednio, drugiego oraz pierwszego autora. Artykuły te, to:

- Bociarska, M., **Rewers, J.**, Wójcik, D., Materkowska, W., Środa, P. & AniMaLS Working Group, 2021, Passive seismic experiment "AniMaLS" in the Polish Sudetes (NE Variscides). *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 10 (2), 183-202 (70 punktów MEiN) oraz
- **Rewers, J.**, Środa, P., & AniMaLS Working Group, 2023, Seismic upper mantle anisotropy beneath the Polish Sudetes from SKS splitting—Effect of present-day asthenospheric mantle flow deflected by cratonic keel?. *Tectonophysics*, 846, 229687 (łącznie stron 19; 140 punktów MEiN).

Zawartość rozprawy

Rozprawa została przygotowana zasadniczo w języku angielskim, jednak w swej części wstępnej, stanowiącej omówienie wyżej wymienionych publikacji i obejmującej streszczenie, wprowadzenie i komentarz (łącznie 31 stron), zawiera także - równoważny tekstowi angielskiemu - tekst w języku polskim (o objętości 13 stron). Oba artykuły naukowe opatrzone są anglojęzycznymi suplementami o objętościach, odpowiednio, 3 stron (artykuł #1) oraz 8 stron i 43 stron (artykuł #2). Tym samym, łączna objętość rozprawy (bez polskojęzycznych powtórzeń) zamyka się w rozmiarze 123 stron, z czego 43 obejmuje tabela obejmująca wszystkie pomierzone wartości parametrów rozszczepionych faz fal poprzecznych we wszystkich punktach pomiarowych dla wszystkich zanalizowanych wydarzeń sejsmicznych.

We Wstępie do omówienia obu artykułów, wyjaśnione jest ogólnie znaczenie badań nad strukturą płaszczka ziemskiego, w tym jego warstwy astenosferycznej, dla zrozumienia procesów geodynamicznych, kształtujących litosferę Ziemi. Podkreślona jest rola w tych badaniach metod sejsmicznych, zwłaszcza metod pasywnych, gdyż tradycyjne metody aktywne nie są wystarczające do eksploracji głębszych partii płaszczka. Objąśnione jest zachowanie w płaszczku dominujących w jego budowie kryształów oliwinu, których uporządkowane przestrzenne ułożenie odzwierciedla efekty

deformacji tektonicznych i warunkuje wytworzenie regionalnych rozmiarów domen anizotropii prędkości fal sejsmicznych, na podstawie rozpoznania których można próbować wnioskować o geometrii i charakterze tych deformacji oraz o ich ewentualnym związku z układem dużych jednostek tektonicznych w litosferze bądź skorupie ziemskiej.

Krótko sformułowany jest cel przeprowadzonych przez Autorkę badań – w ramach zespołowego, pasywnego eksperymentu sejsmicznego "AniMaLS" (ang. *Anisotropy of the Mantle beneath the Lower Silesia*), zlokalizowanego, jak wskazuje sam jego tytuł, na północno-wschodnim obrzeżeniu obszaru Masywu Czeskiego: w Sudetach i na ich przedpolu. Cel ten zaś stanowi "uzyskanie informacji o regionalnych deformacjach płaszczka pod Sudetami, ale także, w szerszym kontekście, uzupełnienie obrazu struktury płaszczka i ewolucji tektonicznej strefy kontaktu terranów waryscyjskich ze starszymi jednostkami paleozoicznymi w Europie Środkowej".

W rozdziale Motywacja, Doktorantka rozwija nieco szerzej temat znaczenia oraz metodyki prowadzenia badań nad anizotropią sejsmiczną górnego płaszczka, m.in. wskazując, że ujednoczona orientacja osi krystalograficznych ułożonych w uporządkowany sposób w efekcie deformacji tektonicznej kryształów oliwinu zazwyczaj wyznacza kierunek przepływu materii płaszczka w astenosferze i często jest ona też równoległa do regionalnego wydłużenia orogenu w nadległej litosferze. Wskazuje też, że anizotropia sejsmiczna w obrębie płaszczka litosferycznego stanowi zwykle zapis dawnych, „przeszłych”, deformacji tektonicznych, podczas gdy anizotropia rozpoznana w astenosferze może wyznaczać kierunek współczesnego przepływu materii płaszczka; anizotropia taka może też łączyć obie powyższe sytuacje.

Rozwinięty jest też temat zastosowanych metod badawczych, opartych na analizie rozszczepienia fal poprzecznych w ośrodku anizotropowym (ang. *shear-wave splitting methods*), charakteryzujących się dobrą rozdzielczością poziomą, ale słabą rozdzielczością pionową, co powoduje konieczność uwzględnienia dodatkowych danych geofizycznych i geologicznych dla wiarygodnego określenia głębokości warstwy anizotropowej, sygnalizowanej zaobserwowanym rozszczepieniem fali poprzecznej.

Bardzo skrótowo przedstawiona jest charakterystyka tektoniczna, najpłytszej, skorupowej, warstwy obszaru poddanego badaniom, tj. Sudetów i ich przedpola, jako mozaiki wzajemnie odmiennych geologicznie jednostek strukturalnych i zaprezentowana historia badań sejsmicznych dla tego obszaru. Sudety i ich przedpole były przedmiotem takich badań w odniesieniu do skorupy i najpłytszych części górnego płaszczka metodą szerokokątowych profilii refrakcyjno-refleksyjnych (WARR) w ramach projektu „Sudety 2003” oraz przy użyciu analizy anizotropii prędkości faz Pn i Pg. Jednak badania te nie dostarczyły wyników z głębokości przewyższającej najpłytszą część górnego płaszczka, a ponieważ „interakcja litosfery i astenosfery jest przypuszczalnie w dużej mierze odzwierciedlona w głębszej strukturze górnego płaszczka” konieczne stało się wykorzystanie „metod sejsmologii pasywnej, które pozwalają na badania płaszczka na głębokościach astenosferycznych, bądź większych”. Miało to już poprzednio do pewnego stopnia miejsce w ramach pasywnego eksperymentu „PASSEQ” obejmującego znacznie większy obszar, ale uzyskane wyniki miały małą rozdzielczość ze względu na niewielką liczbę użytych wtedy na Dolnym Śląsku stacji sejsmicznych. Zdecydowało to o podjęciu nowego pasywnego eksperymentu sejsmicznego „AniMaLS”, dedykowanego specyficznie obszarowi sudeckiemu, w którym wykorzystano 23 szerokopasmowe stacje sejsmiczne, rozmieszczone w odstępach co ok. 25-30 km oraz, dodatkowo, zapisy z 8 stacji

polskiej i czeskiej sieci sejsmologicznych, dostarczając danych o względnie wysokiej rozdzielczości, pozwalających na stawianie znacznie bardziej niż dotychczas wiarygodnych hipotez dotyczących struktury płaszcza litosferycznego i astenosferycznego podścielającego Dolny Śląsk. Eksperyment pozwolił na uzyskanie rejestracji dalekich (telesejsmicznych) trzęsień ziemi w okresie 2 lat, pomiędzy październikiem 2017 i wrześniem 2019, włącznie z zapisami fal refrakcyjnych SKS i SKKS.

Rozdział Wyniki przybliży czytelnikowi treść obu publikacji stanowiących załączniki do ocenianej rozprawy:

Publikacja #1: Artykuł Bociarskiej i in. (2021) opisuje kwestie metodologiczne związane z planowaniem oraz realizacją pasywnego eksperymentu sejsmicznego „AniMaLS”, jak również charakteryzuje dane sejsmiczne pomierzone w jego ramach. Zdaniem Doktorantki, „przeprowadzony eksperyment sejsmiczny dostarczył dobrej jakości rejestracji w szerokim zakresie częstotliwości i pozwolił na rejestracje zjawisk o szerokim zakresie odległości epicentralnych: od wstrząsów lokalnych, po wstrząsy telesejsmiczne [zaś] uzyskany zbiór danych stanowi podstawę do badania struktur geologicznych” zarówno w skorupie ziemskiej, jak i w głębszych horyzontach litosfery i astenosfery.

Publikacja #2: Artykuł Rewers, Środy i AniMaLS Working Group (2023) przedstawia wyniki „analizy zjawiska rozszczepienia fazy SKS i SKKS” fal poprzecznych dla wszystkich stacji obserwacyjnych, „przy założeniu jednowarstwowego modelu anizotropii z poziomą osią symetrii” - modelu zgodnego z większością poczynionych obserwacji. Dane analizowano dwiema metodami, jednak ostatecznie do wyliczenia uśrednionych dla każdej stacji parametrów anizotropii wybrano jedną z nich - metodę minimalizacji energii składowej transwersalnej SC.

Generalnie, w wyniku przeprowadzonych badań zaobserwowano dosyć jednolite kierunki i wartości parametrów anizotropii sejsmicznej na poszczególnych stacjach pomiarowych; nieco tylko odmienne okazały się kierunki polaryzacji fal o maksymalnej prędkości w południowo-zachodniej względem północno-wschodniej części obszaru sudeckiego. W południowo-zachodniej części charakteryzują się one dominacją orientacji WNW-ESE, natomiast w części północno-wschodniej przeważa kierunek zbliżony do NW-SE. Ponieważ obie części obszaru oddzielone są od siebie sudeckim uskokiem brzeżnym i sąsiadującym z nim uskokiem śródsudeckim, to – zdaniem Doktorantki - „zaobserwowane różnice kierunku szybkiej polaryzacji (~15-20°) mogą odzwierciedlać różnice struktury litosfery po obu stronach wspomnianych stref uskokowych, które [z kolei] mogą być związane z wielkoskalowymi waryscyjskimi przesunięciami wzdłuż uskoku śródsudeckiego”.

Zdaniem p. Julii Rewers, otrzymane w ramach eksperymentu „AniMaLS” kierunki anizotropii sejsmicznej dla głębszych partii płaszcza dobrze korespondują z takimi kierunkami uzyskanymi dla skorupy i płytkiej części górnego płaszcza metodami aktywnymi, na podstawie czego wnioskuje Ona o „spójnej deformacji litosfery związanej z orogenezą waryscyjską” na różnych głębokościach pod obszarem sudeckim. Jednocześnie, kierunki te – na podstawie wyników pomiarów z otaczających obszarów, „wydają się [...] częścią wielkoskalowego trendu anizotropii płaszcza z dominującą orientacją NW-SE do WNW-ESE, rozciągającego się na różne jednostki o różnym pochodzeniu i odmiennej historii tektonicznej - od wczesnopaleozoicznych jednostek północnych Niemiec i Trans-Europejskiej Strefy Szwu, do kenozoicznych struktur regionu karpacko-panońskiego. Ta wielkoskalowa spójność, wykraczająca poza granice jednostek litosferycznych, sugeruje znaczący udział anizotropii astenosferycznej”. Jednocześnie – według Autorki rozprawy – „obserwowany

kierunek szybkiej polaryzacji fal S nie jest zgodny z aktualnym kierunkiem przemieszczania się euroazjatyckiej płyty litosfery, jak można by oczekiwać w przypadku anizotropii astenosferycznej. Kierunek ten jest [natomiast] w przybliżeniu równoległy do strefy Teisseyre'a-Tornquista, powszechnie uważanej za krawędź litosfery kratonu wschodnioeuropejskiego (EEC) o znacznej miąższości”. Potwierdzać ma to „koncepcję anizotropii związanej z odchyleniem przepływu astenosfery na granicy jednostek paleozoicznych i kratonu wschodnioeuropejskiego, gdzie obserwuje się znaczną zmianę miąższości litosfery”, podczas gdy „lokalne odchylenia azymutów szybkiej polaryzacji fal mogą odzwierciedlać złożoność struktury płaszczka litosferycznego wynikającą z różnic w strukturze litosfery poszczególnych jednostek”.

Krótką dyskusja krytyczna

Pomimo osiągnięcia znacznego postępu w rozpoznaniu struktury górnego płaszczka w głębokim podłożu Dolnego Śląska zreferowanymi w rozprawie badaniami sejsmologicznymi w ramach pasywnego eksperymentu „AniMaLS”, przeprowadzonymi przez lub przy znaczącym współudziale p. Julii Rewers, w związku jednak - jak się wydaje - z pozostającymi wciąż nierozwiązanymi zagadnieniami, zwłaszcza dotyczącymi „przełożenia” pomiędzy generalnie dość jednolitą anizotropową strukturą górnego płaszczka, a złożoną budową geologiczną nadległej skorupy w rejonie Sudetów, Autorka w Podsumowaniu zdaje się postulować „[dalsze?] uzupełnienie wiedzy o górnym płaszczu pod tym regionem”. Należy temu oczywiście należy przyklasnąć. Faktycznie, pomimo zapowiedzi we Wstępie i Motywacji dotyczących wspomnianego przeze mnie wyżej „przełożenia”, raczej nie udało się w rozprawie - na podstawie wyników badań nad anizotropią ośrodka skalnego w górnym płaszczu - w istotnym stopniu posunąć do przodu kwestii ewentualnej współzależności pomiędzy jego anizotropową strukturą (jeśli faktycznie jest ona waryscyjska) a jakimiś powszechnie występującymi elementami strukturalnymi o analogicznej orientacji w strukturze sudeckiego fragmentu internidów waryscyjskich. Pozwolę tu sobie odpowiedzieć, że taki element istnieje i jest reprezentowany (poza słusznie zauważonymi przez Doktorantkę wielkimi uskokami – o kinematyce najprawdopodobniej przesuwczej podczas intensywnych deformacji waryscyjskich) przez powszechnie występujące w większości z przedpermskich jednostek strukturalnych Sudetów fałdy i lineacje z rozciągania (prawdopodobnie przynależne do dwóch nieznacznie odległych od siebie w czasie generacji) o kierunkach od NW-SE do E-W i o późnokarbońskim wieku. Niewątpliwie ciekawe byłyby rozważania nad możliwym związkiem genetycznym tych relatywnie płytko występujących struktur tektonicznych, a analogicznie zorientowaną anizotropią sejsmiczną w płaszczu (o ile – przypominam – faktycznie została ona wytworzona podczas orogenezy waryscyjskiej).

Drugą dyskusyjną kwestię, być może alternatywną w stosunku do wyżej wypowiedzianej, otwiera wspomniana w drugim akapicie powyżej konstatacja Doktorantki, niesłusznie – moim zdaniem - wykluczająca możliwość współczesnej/kenozoicznej genezy badanej anizotropii górnego płaszczka, gdyż jakoby „obserwowany kierunek szybkiej polaryzacji fal S nie jest zgodny z aktualnym kierunkiem przemieszczania się płyty euroazjatyckiej litosfery, jak można by oczekiwać w przypadku anizotropii astenosferycznej”. O ile dobrze rozumiem, Autorce chodzi o kierunek „absolute plate motion” – w ustalonym układzie odniesienia, zewnętrznym w stosunku do zbioru poruszających się wzajemnie płyt litosferycznych, gdzie na odnośnych mapach zwykle widzimy „nasz kawałek” płyty euroazjatyckiej poruszający się wolniej lub szybciej ku NE (czyli poprzecznie do linii TT, która zresztą

też się w tym kierunku razem z „naszą” płytą porusza). Tymczasem ewentualna „młoda” anizotropia w „naszej” astenosferze może być związana ze współczesnym lub niedawnym względny ruchem naszej płyty w stosunku do płyty północnoamerykańskiej aplikowanym nam przez pchanie od grzbietu (*ridge-push*) północnoatlantyckiego, co ew. przekłada się na przemieszczanie się ku ~SE (oraz generuje podobnie zorientowane naprężenia kompresyjne w górnej skorupie, dość często obserwowane w NW Europie). Istnieje jeszcze i taka możliwość, że anizotropia waryscyjska w górnym płaszczu pod Sudetami, całkiem przypadkowo ustawiona jest dziś zgodnie z kierunkiem współczesnego przemieszczania się naszej płyty w tym samym odatlantyckim kierunku...

Należy jeszcze zauważyć, że obserwowana i badana przez Doktorantkę anizotropia sejsmiczna miała, alternatywnie, szansę utworzyć się również na przełomie kredy i neogenu, kiedy to zachodnia i środkowa Europa w swej części położonej na N i W od dzisiejszych Alp doznała skutków silnego transkontynentalnego epizodu kompresyjnego, który na polskich ziemiach pozostawił wielkoskalowe, choć morfologicznie zwykle łagodne, fałdy i uskoki o rozciągłości NW-SE, ciągnące się niekiedy przez całą długość/szerokość Polski.

Ocena rozprawy i podsumowanie recenzji

W recenzowanej rozprawie doktorskiej, niezależnie od podniesionych powyżej przykładowych kwestii dyskusyjnych, mamy do czynienia z jednoznacznie pozytywnym osiągnięciem jej Autorki, polegającym na rozwiązaniu zagadnienia naukowego sprowadzającego się do rozpoznania na znacznie lepszym od dotychczasowego poziomie rozdzielczości, elementów struktury górnego płaszczu podścielającego polski fragment europejskich waryscyjdów, na podstawie badań nad anizotropią sejsmiczną w ramach pasywnego eksperymentu sejsmicznego „AniMaLS”. Eksperyment ten był prowadzony zespołowo, jednakże samodzielny wkład pracy Doktorantki w badania nad anizotropią fali poprzecznej nie budzi wątpliwości. W trakcie prowadzonych badań, jak również przy przygotowaniu międzynarodowych publikacji, będących jądrem ocenianej rozprawy doktorskiej, p. mgr Julia Rewers wykazała się umiejętnościami i wiedzą w zakresie sejsmologii i sejsmiki, oraz opanowaniem warsztatu badawczego w zakresie akwizycji, przetwarzania oraz interpretacji danych. Na podstawie poziomu naukowego rozprawy można też pozytywnie wnioskować o umiejętności samodzielnego prowadzenia przez Nią prac badawczych.

Oceniana rozprawa zawiera oryginalne i metodycznie poprawne rozwiązanie zdefiniowanego powyżej zagadnienia naukowego, a rozwiązanie to w istotnym stopniu przyczynia się do poprawienia stanu wiedzy o strukturze górnego płaszczu podścielającego południowo-zachodnią Polskę. Tym samym recenzowana praca jednoznacznie spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą ustawę z 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668 z późn. zmianami). Na tej podstawie wnioskuję o przyjęcie przedłożonej rozprawy doktorskiej i dopuszczenie p. mgr Julii Rewers do publicznej obrony przedstawionych w Jej rozprawie tez.



