

Prof. dr hab. Andrzej Muszyński
Instytut Geologii UAM
ul. Krygowskiego 12
61-680 Poznań
e-mail: anmu@amu.edu.pl

Poznań. 15.12.2021.

Recenzja rozprawy Pana mgr. Marcina Golenia pt. „Ewolucja tektonometamorficzna Pasma Kamienieckiego (Dolny Śląsk)”

1/ Uwagi wstępne

Rozprawa napisana jest pod kierunkiem dr. habilitowanego Jacka Szczepańskiego profesora UWr z Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego.

Praca w całości liczy 197 stron w języku polskim z dwoma dwustronicowymi streszczeniami w języku polskim i angielskim. Praca zawiera 63 rycin/figur i 18 tabel w tekście. Podzielona jest na 5 głównych rozdziałów. Spis literatury ma 101 pozycji, zasadniczo w języku angielskim i obejmuje zakres regionalnej literatury oraz literaturę dotyczącą petrologii skał metamorficznych. W pracy zamieszczone są barwne figury oraz tabele, w tym mikrofotografie i obrazy BSE. Praca jest napisana staranną polszczyzną z niewielką ilością literówek. Uderzająca jest bardzo wysoka jakość edytorska całej rozprawy.

Większość zamieszczonych wyników badań została już opublikowana w czasopiśmie o międzynarodowym zasięgu i wysokim współczynniku wpływu.

2/ Ocena merytoryczna

W krótkim wstępie Autor umiejscawia pasmo fałdowe Kamieńca Ząbkowickiego na tle budowy geologicznej tej części Sudetów oraz definiuje swoje cele badawcze. Głównym celem badań jest odtworzenie ewolucji tektonometamorficznej skał odsłaniających się w badanym paśmie orogenicznym. Ten cel został rozdzielony na trzy części obejmujące zagadnienia mezostrukturalnych i mikrostrukturalnych deformacji oraz petrologii paragenez mineralnych podczas etapów metamorfizmu badanych skał. Odpowiada temu schemat badań terenowych i rozbudowany zakres prac laboratoryjnych i kameralnych. Istotne jest także, że wszystko przeprowadzone zostało w ramach projektu NCN.

Historia badań omawia dwa zasadnicze zagadnienia dla tematu dysertacji, którymi są metamorfizm i deformacja. Doktorant zwięźle podsumował stan wiedzy w obu kluczowych nurtach badań.

Równie krótko przedstawione zostały położenie i kontekst geologiczny pasma Kamieńca Ząbkowickiego oraz podany został zarys jego budowy geologicznej.

Najważniejszą częścią pracy doktorskiej Pana mgr. Marcina Golenia jest rozdział czwarty, zawierający wyniki przeprowadzonych badań. Obejmuje on 151 stron i jest podzielony na sześć podrozdziałów.

W pierwszym podrozdziale omówione są mezo- i mikrostruktury deformacyjne, które zostały zebrane w 71 odsłonięciach z całego obszaru badań. Doktorant rozpoznał trzy etapy podatnej deformacji, które są zapisane w dwóch dominujących odmianach litologicznych skał PKZ, tj. w łupkach łuszczkowych (zarówno drobno- i gruboblastycznych) oraz w łupkach kwarcowo-skaleniovych. Na podstawie relacji ułożenia struktur planarnych w skałach, które są wyrażone uporządkowanym ułożeniem minerałów, zostały wyróżnione etapy deformacji D1, D2 i D3. Etap D1 został w zasadzie rozpoznany reliktoowo i jest podrzędny, bo dominujące są dwa pozostałe etapy deformacji. Wyniki pomiarów wszystkich mezostruktur zostały przekonywująco zestawione na figurze czwartej, gdzie dla sześciu podobszarów pokazano na diagramach około dwa tysiące pomiarów wykonanych kompasem. Diagramy przedstawiają orientacje powierzchni foliacji S1, S2, S3, pomiary lineacji L2, L3 oraz osie fałdów F2. Również bardzo przekonywująco figury: piąta, szósta, siódma i ósma pokazują mezostruktury deformacyjne etapów D1 i D2, rozwinięte w łupkach łuszczkowych i w łupkach kwarcowo-skaleniovych. Deformacje etapu D3 odczytane zostały i dobrze udokumentowane jako efekty ścinania w skali mezoskopowej i mikroskopowej. Obie wskazują na ścinanie o zwrocie góra ku WSW lub ku SW.

Drugi podrozdział 4.2 obejmuje wyniki badań mikrowięzby soczewek i lamin kwarcowych, które określone są jako agregaty kwarcowe. Na podstawie próbek z 35 odsłonieć i 50 płytek cienkich Doktorant w badanych skałach wykonał opis wielkości ziaren, morfologii granic i uprzywilejowanej orientacji krystalograficznej osi-c kwarcu. Ta czasochłonna metoda analityczna wymagała kilkutyśięcznych pomiarów pod mikroskopem i została wykonana poprawnie i bardzo dobrze udokumentowana. Wnioski wypływające z tych pomiarów mocno wspierają wyniki badań mikrostrukturalnych. Dzięki rozpoznaniu więzby kwarcu w skałach i wskazaniu mechanizmów rekrytalizacji ziaren kwarcu możliwe było przypisanie struktur deformacyjnych do etapów D1, D2 i D3.

Trzeci podrozdział 4.3 zawiera charakterystykę petrograficzną głównych odmian litologicznych skał PKZ. We wszystkich odmianach zostały opisane zespoły mineralne (czyli paragenezy), które krystalizowały w tym samym czasie deformacji metamorficznej. W grubo- i drobnoblastycznych łupkach łuszczkowych wyróżnione zostały po dwa zespoły mineralne M1 i M2, które oprócz głównych budulców: kwarcu i jasnej miki, zawierają szereg akcesorycznych składników. Największą uwagę Autora dysertacji przyciągnęły blasty granatu, ze względu na zawarte w nich wrostki mineralne, dzięki którym

można było odczytać historię zmian rekrytalizacyjnych badanych skał. Granaty są powszechne w odmianie gruboblastycznej i podrzędne w drobnoblastycznej. Pozostałe minerały, które są wskaźnikowe dla oceny stopnia metamorfizmu, obejmują rutyl, chlorytoid, paragonit, margaryt, staurolit, biotyt, chloryt i andaluzyt. Poszczególne paragenezy mineralne zostały przypisane do odpowiednich etapów deformacji oraz wyraziście udokumentowane mikrofotografiami.

Czwarty podrozdział 4.4 dokumentuje chemizm minerałów z wybranych odmian litologicznych PKZ. Oznaczenia składu chemicznego minerałów wykonano dla 15 próbek łupków łyszczykowych przy pomocy mikroskopy elektronowej i mikroskopu skaningowego, z czego 9 stanowią próbki łupków drobnoblastycznych, a 6 gruboblastycznych. W obu odmianach litologicznych dominującymi minerałami w tle skały jest jasna mika i kwarc. Jasna mika występuje tam w dwóch generacjach: jako MsI fengit i MsII muskowitz, które powiązane są strukturalnie z foliacjami i fałdami F2. Oba typy jasnej miki udokumentowane są również jako wrostki w porfiroblastach granatów. Ponadto występuje podrzędnie biotyt i plagioklaz o składzie An 6-28 w odmianie gruboblastycznej i An 8-35 w drobnoblastycznej. Ale najwięcej informacji dotyczącej warunków metamorfizmu zostało udokumentowanych z badania blastów granatów z łupków gruboblastycznych, które wykazywały dwa etapy blastezy. W obu łupkach łyszczykowych występuje granat pierwszej generacji, który posiada charakterystyczne wrostki mineralne, takie jak: chlorytoid, paragonit, margaryt, muskowitz, epidot i rutyl. Również tutaj jest bardzo dobra dokumentacja mikrofotografii, zdjęć BSE, rozkładu pierwiastków w granatach oraz ich zmienności składu w profilach poszczególnych blastów z ukazaniem drobnego zróżnicowania. W łupkach drobnoblastycznych jedynie wrostki jasnej miki w granatach obu generacji wykazują bardziej zróżnicowany skład chemiczny. Wszystkie pozostałe minerały zostały poprawnie zbadane i udokumentowane.

Jedną z fundamentalnych podstaw rozprawy Pana mgr Marcina Golenia jest wyodrębnienie minerałów, które wskazują na blastezę M1 w warunkach wysokich ciśnień w łupkach gruboziarnistych. Oprócz jasnej miki (fengitu) o podwyższonej zawartości krzemu we wzorze, wskaźnikowe są wrostki chlorytoidu oraz potencjalne produkty rozpadu po lawsonicie (klinozoizyt, kwarc, margaryt lub paragonit). Również istotne jest założenie, iż albit z tła łupków łyszczykowych jest wynikiem reakcji połączenia jadeitu i kwarcu. Natomiast plagioklasy jako wrostki z granatów są przypisane do reakcji z etapu metamorfizmu M2, do którego zalicza się również staurolit, andaluzyt i chloryt.

Podrozdział 4.5 omawia warunki temperatury i ciśnienia metamorfizmu skał PKZ, czyli dla dwóch paragenez mineralnych. Założeniem jest osiągnięcie warunków równowagi termodynamicznej między poszczególnymi paragenezami w czasie metamorfizmu, co przy polifazowym metamorfizmie nastręcza wiele trudności. W dysertacji Doktorant posłużył się głównie

geobarometrem fengitowym dla określenia ciśnienia oraz geotermometrem tytanowym w muskowicie dla określenia temperatury warunków metamorfizmu. W tym ważnym fragmencie rozprawy w sposób prawidłowy i efektywny zostały przedyskutowane ograniczenia składów mineralnych do zastosowania klasycznej termobarometrii. Również wyniki obliczeń i cała dokumentacja są przedstawione bardzo czytelnie, chociaż pozostawiają miejsce do dyskusji. W podsumowaniu Doktorant stwierdził, że metamorfizm HP/LT przebiegał generalnie w ciśnieniu powyżej 15 kbar i w temperaturze 400-500°C, natomiast metamorfizm MT/LP przebiegał w ciśnieniu 5-7 kbar i temperaturze 550-600°C, co zostało zgrabnie przedstawione na figurze 52.

Szósty podrozdział 4.6 dotyczy modelowania termodynamicznego, opartego na nowoczesnych, spójnych wewnętrznie bazach danych termodynamicznych oraz nowoczesnym oprogramowaniu komputerowym. Modelowanie to zasada się na obliczaniu pól stabilności równowagowych paragenez mineralnych w wybranym zakresie T i P dla określonego składu chemicznego próbki skalnej. Obliczenia termodynamiczne przeprowadzone zostały dla dwóch próbek: gruboblastycznej i drobnoblastycznej odmiany łupków łyszczykowych. Pierwsza próbka zapisuje HP/LT etap deformacji D1 oraz inicjalny zapis etapu deformacji D2, natomiast druga próbka ma zapis MT/LP etapu deformacji D3. Po dość zaawansowanych obliczeniach na diagramach przedstawione są odpowiednie paragenazy mineralne, którym przypisane zostały liczbowe dane ciśnienia i temperatury w konkretnych punktach. Podsumowanie tej zasadniczej części rozprawy Doktorant zawarł na figurze 61, na której zaproponował ścieżki ewolucji P-T dla przebadanych dwóch próbek. Wzdłuż ścieżek zaznaczone są etapy deformacji D1-D3 oraz etapy metamorfizmu M1-M2.

Ostatni piąty rozdział dysertacji Pana mgra Marcina Golenia zawiera model rozwoju tektonometamorficznego skał PKZ. Autor podkreśla, że w badanych łupkach łyszczykowych, zapisany metamorfizm wysokich ciśnień (15-21 kbar) i niskich temperatur (400-520°C), jest po raz pierwszy opisany w metapelitach we wschodniej części bloku przedsudeckiego. Zrekonstruowana w wyniku kompleksowych badań ścieżka ewolucji P-T-d dla kompleksu PKZ, została przedstawiona na figurze 62 jako kolizja terranu Saksoturyńskiego z terranem Brunovistulicum. Ten model ewolucji jest do pewnego stopnia podobny do modelu przedstawionego przez Mazura i Józefiaka (1998), ale różni się od niego poprzez udokumentowanie etapu metamorfizmu HP-LT. Mocnym poparciem dla wyników badań Doktoranta jest końcowe zestawienie na figurze 63. Zestawienie to przedstawia ścieżki ewolucji P-T łupków łyszczykowych PKZ uzyskane w ramach pracy doktorskiej (próbki PK023 i PK045) oraz zamieszczone w artykułach naukowych Szczepańskiego i in. (2021) oraz Szczepańskiego i Golenia (w recenzji). Ścieżki ewolucji pokrywają się i uzupełniają wzajemnie.

3/ Uwagi i dyskusje

Mam redakcyjną uwagę do skrótowego tytułu rozprawy: czy zamiast dotychczasowego tytułu (Ewolucja tektonometamorficzna Pasma Kamienieckiego (Dolny Śląsk)) (na Dolnym Śląsku jest kilka Kamieńców) nie poprawniej by było zatytułować: *Ewolucja strukturalna i metamorficzna skał Pasma Kamieńca Żąbkowickiego (Dolny Śląsk)*. W dysertacji nie jest badana nazwa geograficzna - Pasma Kamienieckie, ale skały należące do tego pasma, a w szczególności ich ewolucja strukturalna i metamorficzna. Zresztą następnie, w wielu miejscach tekstu, Autor używa poprawnego określenia: skały Pasma Kamieńca Żąbkowickiego, chociaż nie obejmuje to wszystkich typów skał z tego regionu. Pozostają poza opisem w dysertacji takie skały jak: łupki kwarcowo-plagioklazowe, skały węglanowe, skały wapniowo-krzemianowe, epidozyty lub zoisytyty, wszystkie odmiany kwarcytów, zgnejsowane trondhejmity i wszystkie skały zasadowe.

Chyba najbardziej interesującym polem do szerokiej, naukowej dyskusji są zagadnienia dotyczące określenia wyjściowego zespołu minerałów i ich składów chemicznych, które Autor użył do obliczenia i odtworzenia/modelowania historii zmian warunków metamorfizmu (P-T-x) badanych łupków łuszczkowych. Założenia te, jak widzimy, mają znaczenie podstawowe, determinują bowiem obliczenia termobarometryczne oraz obliczenia topologiczne modelowania zmian ciśnienia, temperatury i składów faz w przestrzeni/dziedzinie zdefiniowanej rzeczywistym składem chemicznym całej skały.

W szczególności w omawianej dysertacji dotyczy to min. problemu pseudomorfoz, które zostały opisane w blastach granatów. Czy przyjęcie, że zbadane wrostki klinozoizytu w towarzystwie kwarcu, margarytu lub paragonitu są po lawsonicie, jest jedyną możliwą interpretacją? Możliwe bowiem jest, że są to pseudomorfozy po pumpellyicie, bo oba minerały mają podobny, rombowy lub płytkowy zarys w szlifach mikroskopowych. Jednak tego problemu nie da się rozstrzygnąć na podstawie obserwowanego składu minerałów wypełniających pseudomorfozy. Natomiast istotny jest fakt, że takich pseudomorfoz nie ma w więźbie badanych łupków łuszczkowych. Nie ma w nich także ani jadeitu, ani innych odmian klinopiroksenów - chloromelanitu, omfacytu lub domen symplektytów (pl+di/amf/hem), po nich, które by wzmacniały tezę o tym, że blasty czystego albitu dokumentują wcześniejsze istnienie jadeitu w obecności kwarcu. Ponadto w granacie nie zauważa się wrostków jadeitu (ani innych cpx), który powinien się zachować jako faza metastabilna, bo tak opancerzony nie miał kontaktu z kwarcem i reakcja $Jd + Q = Ab$ była niemożliwa. Jest zatem trudny do wytłumaczenia fakt, że podczas blastezy granat „przyjął” do siebie tylko wskaźnikowe wrostki

chlorytoиду i interpretowanego tutaj lawsonitu, a pominął jadeit i inne możliwe klinopirokseny sodowe.

Do dyskusji można postawić także założenie, że przypuszczalny jadeit przez cały czas był skrajnie czystym członem szeregu izomorficznego, a nie mógł być bardziej pośrednim w kierunku omfacytu. Zwłaszcza, że w łupkach łuszczkowych czysty albit jest dość rzadki (a prawdopodobnie pochodzi z rozpadu paragonitu, i łączy się z nim przestrzennie), a Autor wykazywał wrostki plagioklazę o składzie $X_{an}>30$ w granacie. Stąd jednoczesne wrostki albitu i oligoklazę/andezynu w granacie nie mogą być dowodem na obecność jadeitu.

Dlatego kieruję pytanie do Doktoranta: jakiego wyjściowego składu klinopiroksenu użył do obliczeń termodynamicznych, które są czytelnie przedstawione np. na figurze 54? Po przekroczeniu temperatury ok. 400°C klinopiroksen powinien już mieć zawartość cząsteczki egirynowej lub diopsydowej, a nie być dalej czystym jadeitem (por. teoretyczne paragenezy 1-8 na figurze 54).

Z obliczeniami termodynamicznymi jest związane zagadnienie przyjęcia stanu walencyjnego jonu żelaza w składzie całej skały. Przyjęcie do obliczeń tylko postaci jonowej Fe^{2+} ma daleko idące konsekwencje, bo wyklucza z obliczeń modelowych epidot, hematyt, cząsteczkę andradytową granatu oraz cząsteczkę egirynową z domniemanych Na-klinopiroksenów.

Obecność dystenu w łupkach łuszczkowych w tym badanym regionie opisywali już wszyscy wcześniejsi badacze. Progresywny charakter zmian warunków metamorfizmu stawia zatem pytanie o nieuwzględnienie fazy Al_2SiO_5 (dystenu) w łupkach łuszczkowych PKZ. Wydaje się, że przy skale bogatej w Al_2O_3 , która przechodzi przez metamorfizm HP powinien pojawić się dysten, bo ścieżka przebiega w polu jego trwałości. Zwłaszcza, że z drugiej strony, przy retrogresywnym stadium metamorfizmu M2 w tych samych skałach, pojawia się andaluzyt jako faza Al_2SiO_5 .

Zazwyczaj z procesem subdukcji płyt kontynentalnych poniżej 10 km związane jest zjawisko dehydratacji minerałów, które to zjawisko zwykle inicjuje procesy topienia skał (np. rozpad paragonitu do albitu i korundu lub rozpad fengitu). Taki proces, choćby w stadium inicjalnym, powinien się zarysować w badanych metapelitach, które są bardzo bogate w łuszczki. Niestety w tak przedstawionej ścieżce metamorfizmu nie ma dla niego miejsca. Jasne, że inicjalne topienie jest funkcją temperatury i składu fazowego, jednak w rzeczywistości łupki rejonu Kamieńca Ząbkowickiego obfitują w przykłady powstania i segregacji drobnego leukokratycznego stopu in situ.

Osobna dyskusja może dotyczyć obliczonego stopnia geotermicznego, który jest wyjątkowo niski, 6,5 stopnia/km. Tak niski stopień jest dokumentowany w skrajnych UHP kompleksach w Chinach. Stąd wyszacowana głębokość zanurzenia subdukowanych skał może być nieco przesadzona. Z tym się wiąże problem braku w badanym kompleksie skał ultrazasadowych (lub przynajmniej granulitów), które powinny być obecne w tym zespole skał, jeśli

plyta subdukowała na głębokość 70-80 km do górnego płaszczu i potem została tektonicznie wyniesiona. Zwłaszcza, że wtedy, po drodze subdukowania skały powinny minąć granicę trwałości plagioklazów, a ślady po tym zdarzeniu powinny się zachować inaczej, niż możemy to obserwować w PKZ.

Proponowany model kolizji Saksoturyngicum/Brunovistulicum wydaje się być północnym przedłużeniem strefy zamknięcia Oceanu Reickiego w modelu znanym jako kolizyjna granica Masywu Czeskiego z Brunovistulicum. Taki model geotektoniczny mógł być tutaj przedstawiony w szerszym kontekście regionalnym. I najważniejsze, wyliczony, bardzo niski stopień geotermiczny dla łupków łyszczykowych PKZ wydaje się niemożliwy do zastosowania w geodynamicznym modelu kolizji płyty kontynentalnej z płytą oceaniczną.

4/ Podsumowanie i konkluzja

Pomimo powyższych uwag i kilku wątków szerszej naukowej dyskusji, moja ogólna ocena rozprawy doktorskiej Pana mgra Marcina Golenia pozostaje bardzo pozytywna i wysoka. Doktorant opanował szeroki wachlarz warsztatu mineralogiczno-petrologicznego oraz wykazał się dużą umiejętnością pracy geologa strukturalnego w terenie. Opanował dobrze warsztat liczenia paragenez mineralnych w skomplikowanych systemach termodynamicznych, co daje bardzo spójny teoretyczny obraz.

Włożył wiele wysiłku w pracochłonne rozpoznanie złożonych struktur mikrotektonicznych i minerałów budujących metapelity oraz wszystko konsekwentnie usystematyzował. Dogłębnie poznał problemy współczesnych badań petrologiczno-strukturalnych, co dobrze wykazał w dyskutowanej i cytowanej literaturze. Na uznanie zasługuje użycie pracochłonnych i nowatorskich badań mikrotektonicznych w ziarnach kwarcu.

Uważam, że przedłożona rozprawa doktorska jest opracowaniem spełniającym wymogi ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*, z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz.U.218, poz. 1668). Wnoszę zatem do Wysokiej Rady o dopuszczenie mgr. Marcina Golenia do publicznej obrony.

A. Muszyński

Andrzej Muszyński