

dr Andrzej Domonik
Uniwersytet Warszawski
Wydział Geologii
ul. Żwirki i Wigury 93
02-089 Warszawa
adomonik@uw.edu.pl

Załącznik 3a
do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

A U T O R E F E R A T

Analiza samopodobieństwa wybranych procesów geologicznych z zastosowaniem metod matematyki nieliniowej, analizy obrazu i struktury geometrycznej powierzchni

oraz omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Warszawa, kwiecień 2019

1. Imię i nazwisko: Andrzej Domonik

2. Posiadane dyplomy, stopnie

- 2006 – doktor nauk o Ziemi w zakresie geologii, Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii. Praca doktorska pt.: *Geomechaniczna analiza powierzchni ciosowych w piaskowcach cergowskich z Komańczy*. Promotor: Prof. dr hab. inż. Joanna Pinińska (Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii)
- 2001 – studia magisterskie, Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii. Specjalność: Geologia Inżynierska. Praca magisterska pt.: *Odwzorowanie powierzchni ciosowych piaskowców fliszowych w badaniach wytrzymałościowych*. Promotorzy: Prof. dr hab. inż. Joanna Pinińska (Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii); Prof. dr hab. Leonard Mastella (Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii)
- 1995 r. – matura, dyplom technika elektronika, specjalność: elektronika ogólna.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

Od	Do	Nazwa Zakładu Pracy	Stanowisko
01.10.2018	obecnie	Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Zakład Geomechaniki	Starszy wykładowca
01.10.2016	30.09.2018	Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Zakład Geomechaniki	Starszy wykładowca
01.10.2006	30.09.2016	Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Zakład Geomechaniki	Adiunkt
01.02.2006	30.09.2006	Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Zakład Geomechaniki	Starszy technik

4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego,

Jako osiągnięcie naukowe przedstawiono cykl siedmiu publikacji pod zbiorczym tytułem:

Analiza samopodobieństwa wybranych procesów geologicznych z zastosowaniem metod matematyki nieliniowej, analizy obrazu i struktury geometrycznej powierzchni

b) (tytuł/tytuły publikacji, nazwa wydawnictwa, rok wydania, autorzy)

1. *The Hurst exponent as a tool for the description of magma field heterogeneity reflected in the geochemistry of growing crystals.* ACTA GEOLOGICA POLONICA Tom 60 Nr 3 r. 2010, str. 437-443. Andrzej Domonik (70%), Ewa Słaby (15%), Michał Śmigielski (15%). [MNiSW Lista A 2010: 20 pkt].
2. *Chaotic three-dimensional distribution of Ba, Rb, and Sr in feldspar megacrysts grown in an open magmatic system.* CONTRIBUTIONS TO MINERALOGY AND PETROLOGY Tom 162 Nr 5 r. 2011, str. 909-927. Ewa Słaby (30%), Michał Śmigielski (20%), Tomasz Śmigielski (20%), Andrzej Domonik (20%), Klaus Simon (5%), Andreas Kronz (5%). [MNiSW Lista A 2011: 45 pkt]
3. *Evidence in Archaean Alkali Feldspar Megacrysts for High-Temperature Interaction with Mantle Fluids.* JOURNAL OF PETROLOGY Tom 53 Nr 1 r. 2012, str. 67-98. Ewa Słaby (25%), Hervé Martin (5%), Morihisa Hamada (5%), Michał Śmigielski (15%), Andrzej Domonik (15%), Jens Götze (5%), Jochen Hoefs (5%), Stanisław Hałas (5%), Klaus Simon (5%), Jean-Luc Devidal (5%), Jean-François Moyen (5%), Mudlappa Jayananda (5%). [MNiSW Lista A 2012: 45 pkt]
4. *Digital Concentration-Distribution Models - tools for a describing heterogeneity of the hybridized magmatic mass as reflected in elemental concentration of growing crystal.* ACTA GEOLOGICA POLONICA Tom 62 Nr 1 r. 2012, str. 129-141. Michał Śmigielski (50%), Ewa Słaby (25%), Andrzej Domonik (25%). [MNiSW Lista A 2012: 20 pkt]
5. *Protomylonite evolution potentially revealed by the 3D depiction and fractal analysis of chemical data from a feldspar.* CONTRIBUTIONS TO MINERALOGY AND PETROLOGY Tom 167 r. 2014, str. 1-23. Ewa Słaby (20%), Andrzej Domonik (15%), Michał Śmigielski (15%), Katarzyna Majzner (15%), Gediminas Motuza (4%), Jens Götze (4%), Klaus Simon (4%), Izabela Moszumańska (4%), Łukasz Kruszewski (4%), Paweł Rydelek (15%). [MNiSW Lista A 2014: 40 pkt]
6. *Geochemistry and growth morphology of alkali feldspar crystals from an IAB iron meteorite – insight into possible hypotheses of their crystallization.* ANNALES SOCIETATIS GEOLOGORUM POLONIAE. 2017, vol 87 p. 121-140. Ewa Słaby (25%), Łukasz Karwowski (15%), Katarzyna Majzner (15%), Richard Wirth (10%), Andrzej Muszyński (4%), Łukasz Birski (4%), Klaus Simon (4%), Andrzej Domonik (15%), Izabela Moszumańska (4%), Ryszard Orłowski (4%). [MNiSW Lista A 2017: 20 pkt]
7. *Analiza Porównawcza wytrzymałości rezydualnej powierzchni pozniszczeniowych na przykładzie wybranych struktur geometrycznych.* PRZEGLĄD GEOLOGICZNY, vol 64, nr 4. 2016. str.:254-260. Andrzej Domonik (40%), Przemysław Wilczyński (60%). [MNiSW Lista B 2016: 12 pkt]

oświadczenia współautorów o ich wkładzie w autorstwo prac znajdują się w załączniku nr 5

c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Od początku swej działalności naukowej zajmowałem się badaniami nad związkami przyczynowo-skutkowymi wiążącymi procesy geologiczne z obserwowanymi w rzeczywistych ośrodkach skalnych polami zmienności ich struktury i tekstury w makro oraz mikroskali. Starłem się nadać opisowi tej zmienności formę odwzorowania matematycznego. W mojej ścieżce badawczej było to przejście od stosowania podstawowych zasad systematyki do zastosowania analizy fraktalnej, uzupełnianej następnie analizą przestrzenną modeli strukturalnych poprzez poszerzenie multi-dyscyplinarnymi informacjami cząstkowymi, co pozwoliło na analizę samopodobieństwa procesów geologicznych wyrażoną uniwersalnym narzędziem matematycznym. Efektem tych kilkuletnich prac jest cykl siedmiu publikacji z okresu 2010 -2017 opartych na badaniach procesów przekształcania struktury skał podczas diagenety, a w szczególności na zobrazowaniu dynamiki i następstw wymiany pierwiastków podczas przepływu, mieszania się i krystalizacji magmy. W przedstawionym zbiorze prac zastosowane zostały fraktalne modele matematyczne, a warsztat badawczy, który pozwolił mi na interpretację i systematyzację obserwowanych zjawisk wynika ze zdobytego wieloletniego doświadczenia związanego z badaniami geomechanicznymi mechanizmów przemian strukturalnych skał w różnych warunkach naprężenia i temperatury (w zmieniających się warunkach geologicznych), w zależności od składu mineralnego, geometrii kryształów i genezy ośrodka skalnego. Jest to zatem cykl publikacji dotyczący zaimplementowanej przeze mnie metodyki analizy fraktalnej do odzwierciedlenia procesu mieszania się magm (pozycje 1, 3, 5), publikacji łączących metodykę analizy fraktalnej z wizualizacją przestrzenną dystrybucji elementów pola magmowego (struktury) i koncentracji pierwiastków śladowych w kryształach wzrastających w stopie magmowym (pozycje 2, 4, 5) oraz publikacje z wykorzystaniem elementów analizy obrazu i analizy struktury geometrycznej powierzchni (pozycje 6 i 7).

PUBLIKACJA 1

The Hurst exponent as a tool for the description of magma field heterogeneity reflected in the geochemistry of growing crystals. ACTA GEOLOGICA POLONICA Tom 60 Nr 3 r. 2010, str. 437-443. Andrzej Domonik (70%), Ewa Słaby (15%), Michał Śmigieński (15%). [MNiSW Lista A 2010: 20 pkt].

W publikacji skoncentrowałem się na problematyce możliwości zastosowania opisu matematycznego do wykazania różnicowania się pola magmowego w oparciu o analizę fraktalną z wykorzystaniem wykładnika Hursta. Dzięki zastosowaniu tej metodyki możliwy jest matematyczny, powtarzalny opis dynamicznych, nieliniowych procesów, z pozoru wyglądających na losowe. W geologii na przykład jest to proces mieszania się cieczy, fluidów czy magmy, tak istotny w rozważaniach nad genezą przemian globalnych, kiedy to domieszka nieznacznych ilości pierwiastka (pierwiastków) w warunkach początkowych może mieć ogromny wpływ na finalny efekt tego procesu. Jest to równocześnie ścieżka do poszukiwań dróg migracji materii ziemskiej. Mieszanie się magmy ma charakter nieliniowy, który prowadzi w efekcie do wykształcenia geochemicznie heterogenicznego pola magmowego, które jest środowiskiem krystalizacji dużej liczby minerałów. Wiele obiektów i zjawisk spotykanych w przyrodzie, w tym procesy fluktuacji magmy, może być modelowanych za pomocą geometrii fraktali. Teoria fraktali wyewoluowała z zasad geometrii i zajmuje się opisem obiektów i porządkowaniem struktury ośrodków heterogenicznych, a zatem nieco bardziej skomplikowanych niż w geometrii klasycznej (euklidesowej). W geometrii euklidesowej wymiar topologiczny obiektów ma wartości całkowite. Natomiast fraktal, to „skomplikowany” obiekt geometryczny, którego wymiar fraktalny jest większy (i przyjmuje wartości niewymierne) od jego wymiaru topologicznego. Wymiar wskazuje w jaki sposób fraktal wypełnia przestrzeń, w której jest osadzony. Stąd jego przydatność w modelowaniu ośrodków przyrodniczych. Dzięki zastosowaniu wymiaru fraktalnego można wykazać samopodobieństwo pola magmowego i zobrazować pole tej struktury, która jest taka sama w każdej skali. Samopodobieństwo jest szczególnym przypadkiem samoafiniczności (Peitgen, Jurgens, Saute, 2002), gdzie jednym z przekształceń afinicznych jest skalowanie, którego opisem zajmuje się wykładnik Hursta. Wprowadzona przez Hursta w 1951 roku analiza przeskalowanego zasięgu (R/S) jest rezultatem wieloletnich, wnikliwych badań nad pomiarem „efektu pamięci” procesu naturalnego, jakim są okresowe wezbrania Nilu. Hurst (1951) udowodnił, że analiza R/S i wyznaczony na jej podstawie wykładnik jest narzędziem zdolnym do wykrycia trendów i „efektu pamięci” w procesach pozornie chaotycznych, ponieważ uwzględnia wpływ zmiennych poprzedzających na wynik końcowy. W rozważanym przypadku umożliwia

zatem ustalenie, czy zachodzi koncentracja, czy też dekoncentracja zawartości danego pierwiastka w procesie mieszania się magmy oraz pozwala na ilościowe oszacowanie intensywności dynamiki tego nieliniowego procesu.

Najważniejsze aspekty poznawcze moich badań przedstawionych w pracy to:

- wykazanie przydatności metod analizy fraktalnej do porządkowania chaotycznych procesów geologicznych, a w szczególności do oceny zmienności dynamiki przepływu pierwiastków w stopie magmowym, pozwalającej na ustalenie stopnia zaawansowania procesu homogenizacji,
- ustalenie, że w przypadku poszczególnych kryształów analiza fraktalna pozwala na określenie, które strefy jego wzrostu podczas krystalizacji przynależą do domeny aktywnej, heterogenicznej, a które do domeny homogenicznej pola magmowego,
- ustalenie, że zawartość pierwiastków śladowych we wzrastającym kryształach zmienia się od małej koncentracji do dużej koncentracji dla homogenicznych domen magmy,
- stwierdzenie, że jeśli proces mieszania się magmy zaburzany jest przez inny proces o odmiennym charakterze, to analiza fraktalna przy zastosowaniu wykładnika Hursta pozwala na rozdzielenie tych procesów, co dla odtwarzania przebiegu migracji magmy w systemie magmowym ma bardzo istotne znaczenie.

PUBLIKACJA 2

Chaotic three-dimensional distribution of Ba, Rb, and Sr in feldspar megacrysts grown in an open magmatic system. CONTRIBUTIONS TO MINERALOGY AND PETROLOGY Tom 162 Nr 5 r. 2011, str. 909-927. Ewa Słaby (30%), Michał Śmigielski (20%), Tomasz Śmigielski (20%), Andrzej Domonik (20%), Klaus Simon (5%), Andreas Kronz (5%). [MNiSW Lista A 2011: 45 pkt]

W procesach geologicznych wspomniana powyżej analiza fraktalna, odzwierciedlająca sposób mieszania się magmy jest istotnym narzędziem do interpretacji i wizualizacji zmienności zawartości pierwiastków śladowych w heterogenicznych domenach minerałów powstałych w procesie mieszania się magmy. W publikacji jestem współautorem koncepcji modelu przestrzennego (3D) dystrybucji pierwiastków (Bar, Stront, Rubid), które odzwierciedlają dynamikę wzrostu kryształu. Koncepcja obejmuje dwa modele zachowania się pierwiastków: model względnej koncentracji oraz model gradientu składu chemicznego. Do ich stworzenia posłużyły dane geochemiczne pozyskane ze spektrometrii mas w połączeniu z ablacją laserową (LA-ICP-MS). Model

względnej koncentracji skonstruowano, aby przeanalizować wzajemne zachowanie się pierwiastków śladowych: Ba/Sr, Ba/Rb, Sr/Rb. Dzięki przestrzennej wizualizacji możliwe jest wskazanie w kryształach stref o podwyższonej lub obniżonej koncentracji tych pierwiastków, co pozwala na ustalenie tempa względnej adwekcji czy dyfuzji w obrębie stopu magmowego. Natomiast model gradientu składu chemicznego skonstruowano w celu opisu zróżnicowania w dystrybucji pojedynczych pierwiastków śladowych podczas wzrostu kryształu, co pozwoliło na ustalenie korelacji pomiędzy parami pierwiastków. Jeśli korelacja w jakiejś strefie kryształu jest dodatnia, oznacza to, że koncentracja obu pierwiastków jednocześnie rośnie lub jednocześnie maleje. Jeśli ujemna, to wskazuje, iż zawartość jednego pierwiastka rośnie a drugiego maleje.

Najważniejsze aspekty poznawcze moich badań przedstawionych w pracy to:

- stwierdzenie, że określone ilościowo koncentracje pierwiastków dostarczane do układu nie odzwierciedlają spodziewanego efektu (homogenizacji) mieszania się dwóch skrajnych magm,
- stworzenie modelu względnej koncentracji i modelu gradientu jako nowego narzędzia, co pozwoliło na śledzenie mobilności pierwiastków w trakcie przyrostu kryształu w mikroskali i na dwóch poziomach dokładności geochemicznej,
- modele uzupełniają się nawzajem i tworzą możliwość oceny stopnia wymiany pierwiastka (jeden poziom) oraz stopnia wymieszania się dwóch skrajnych magm (drugi poziom),
- poprawność opracowanych obu modeli potwierdziły badania eksperymentalne i konkluzje innych badaczy (Bindeman, Davis, 1999, De Campos et al. 2004, 2008, 2010, Garci'a-Moreno et al., 2006, Kouchi, Sunagawa, 1984, Perugini et al., 2008).

PUBLIKACJA 3

Evidence in Archaean Alkali Feldspar Megacrysts for High-Temperature Interaction with Mantle Fluids. JOURNAL OF PETROLOGY Tom 53 Nr 1 r. 2012, str. 67-98. Ewa Słaby (25%), Hervé Martin (5%), Morihisa Hamada (5%), Michał Śmigieński (15%), Andrzej Domonik (15%), Jens Götze (5%), Jochen Hoefs (5%), Stanisław Hałas (5%), Klaus Simon (5%), Jean-Luc Devidal (5%), Jean-François Moyen (5%), Mudlappa Jayananda (5%). [MNiSW Lista A 2012: 45 pkt]

Kolejna publikacja z cyklu jest kontynuacją i rozwinięciem wielometodycznego podejścia do rozpoznania procesu mieszania się magmy. W publikacji jestem autorem zastosowanej metodyki analizy fraktalnej z wykorzystaniem wykładnika Hursta do opisu tworzenia się kryształu skalenia w procesie mieszania się magmy z równoczesnym

użyciem wizualizacji przestrzennej (3D) do odtworzenia ścieżki genetycznej oddziaływania fluidów. Materiał do tych analiz był wieloczynnikowy. Stanowił połączenie analiz geochemii izotopów głównych i śladowych pierwiastków, metod podczerwieni, katodoluminescencji. Stanowi zatem rozwinięciem przedstawionych wcześniej metod wizualizacji 3D (Publikacja 2) oraz analizy fraktalnej (Publikacja 1). Jest to wielonarzędziowa próba rozpoznania i wydzielenia poszczególnych procesów zachodzących w trakcie ewolucji stopu magmowego. Jak wykazano w publikacji, wzrastające kryształy skalenia z wymieszanych magm charakteryzują się dużym stopniem homogenizacji, jednakże wizualizacja 3D pierwiastków śladowych w kryształach wskazuje, iż proces krystalizacji był poprzedzony interakcją z fluidami spoza systemu. Pole magmowe zaangażowane w formowanie się skalenia wykazywało zaburzoną dynamikę procesu mieszania się stopu magmowego. Ustalono zatem, iż oddziaływanie fluidów spoza systemu ma wyraźnie deterministyczny charakter, co odróżnia badany proces od klasycznej krystalizacji magmowej. Istotnym zadaniem badawczym było ustalenie magmowego i pomagmowego stanu mieszania się magmy. Aby to ustalić wykorzystałem związek z analizą fraktalną wykładnik Hursta, który został poszerzony o jego przestrzenną wizualizację 3D w poszczególnych strefach kryształu. Ponieważ opis ilościowy homogenizacji pola magmowego odzwierciedlonego w strefach przyrostu kryształu jest opisem nierówności struktury geometrycznej powierzchni (inaczej nazywanej „chropowatością”), gdzie nierówność powierzchni jest definiowana jako zmiana koncentracji danego pierwiastka w czasie lub jednostce odległości, to różnicowanie koncentracji danego pierwiastka w badanym obszarze próbki w praktyce powoduje, że struktura geometryczna wizualizowanych danych w postaci powierzchni także się komplikuje – gęściej wypełnia przestrzeń. Z punktu widzenia klasycznej statystyki i prawdopodobieństwa cały szereg zmiennej (zawartości danego pierwiastka) ma rozkład losowy. Jednak jak stwierdziłem, nie jest on zupełnie przypadkowy, ponieważ dla pewnych odcinków szeregu danych rozkład różni się znacznie od rozkładu Gaussa. Pozwoliło to na wyodrębnienie i analizowanie takich obszarów niejednorodności osobno, mimo iż podobieństwo rozkładów wartości zmiennej jest wyraźne. Jest to wspomiane już wcześniej samopodobieństwo. Skonstruowane na podstawie odpowiednio przygotowanych danych geochemicznych mapy 3D wartości wykładnika Hursta to nowa implementacja danych analizy fraktalnej. Dzięki tej analizie możliwe było ustalenie czy uporządkowanie pierwiastków w systemie podczas krystalizacji było odmienne niż w procesie rekrystalizacji. Mapy 3D wartości wykładnika Hursta wykazują powinowactwo z mapami modelu 3D dystrybucji pierwiastków w kryształach. Z obu analiz wynika

strefowość rozkładu. Mapy koncentracji pierwiastków 3D sugerują, iż w kryształach są strefy tak o dużej heterogeniczności jak i strefy bardziej homogeniczne oraz pośrednie, gdy procesy mieszania się magmy i oddziaływania fluidów zachodzą na siebie.

Najważniejsze aspekty poznawcze moich badań przedstawionych w pracy to:

- zastosowanie niezależnych narzędzi badawczych: wizualizacji 3D danych geochemicznych, kalkulacji statystyki fraktalnej oraz wizualizacji 3D wartości wykładnika Hursta do wyjaśnienia dynamiki procesu mieszania się magmy na podstawie analiz rozkładu zawartości wybranych pierwiastków we wzrastającym kryształach,
- ustalenie na tle wielokierunkowych badań oraz implementacji narzędzi obliczeniowych i modelowania, że krystalizacja magmowa i pomagmowa rekrytalizacja prowadzą do rozwoju nowych (odmiennych) domen w obrębie kryształu skałenia, co umożliwiło konkluzję, że chemiczny skład nowo powstałych domen nie może być wynikiem klasycznego procesu dyferencjacji magmowej,
- stwierdzenie, że z analizy fraktalnej wynika, iż równowaga w systemie magmowym, w którym powstają kryształy jest zaburzana na wielu etapach tego systemu, chemizm skały odzwierciedla następujące po sobie zdarzenia, a odpowiednia metodyka badań pozwala na rozdzielenie nakładających się efektów i wyizolowanie każdego z tych procesów.

PUBLIKACJA 4

Digital Concentration-Distribution Models - tools for a describing heterogeneity of the hybridized magmatic mass as reflected in elemental concentration of growing crystal. ACTA GEOLOGICA POLONICA Tom 62 Nr 1 r. 2012, str. 129-141. Michał Śmigielski (50%), Ewa Słaby (25%), Andrzej Domonik (25%). [MNiSW Lista A 2012: 20 pkt]

Publikacja jest prezentacją wyników wdrożenia poszerzonego narzędzia 3D służącego do wizualizacji danych geochemicznych. Koncepcja, której jestem współautorem, opiera się w tym przypadku na cyfrowych modelach rastrowych koncentracji i dystrybucji (*digital concentration-distribution models* – DC-DM), które są rozwinięciem popularnych, stosowanych w wielu dziedzinach nauk (zwłaszcza w geostatystyce) modelach rastrowych DEM (*Digital Elevation Models*). W badaniach geochemicznych było to nowe wielonarzędzie, które w swoim zamierzeniu posłużyło do precyzyjnego obrazowania przestrzennego wzrostu kryształu w środowisku magmowym, na podstawie zbiorów danych geochemicznych, pozyskanych z badań składu

chemicznego kryształu. Do wspomnianych analiz dane geochemiczne pozyskano z badań mikrosondą elektronową (EMPA) oraz ze spektrometru mas (LA-ICP-MS). Duży zbiór danych geochemicznych, pochodzących z odmiennych metod pomiarowych, wymagał wstępnego przetworzenia i unifikacji danych źródłowych. W tym celu dokonałem preselekcji, która polegała na usunięciu z puli danych pomiarów, mogących być artefaktami oraz anomalnie wysokich. Był to zaledwie 1% wszystkich danych, a pochodziły one głównie od inkluzji minerałów akcesorycznych. Ze względu na charakter zbioru do interpolacji danych pozyskanych przy użyciu EMPA została wykorzystana *Metoda Naturalnego Sąsiada*. Metoda ta wykorzystuje ideę komórek Voronoi (Voronoi, 1907) (inaczej poligonów Thiessena) do nadania wag rzeczywistym pomiarom, na podstawie których uśredniana jest wartość w punkcie węzłowym interpolowanej siatki (Sibson, 1981). W przypadku, gdy danymi źródłowymi były dane pochodzące z pomiarów ablacją laserową (LA-ICP-MS), posłużono się metodą interpolacji *Kriging* (Cressie, 1990). Metoda Kriging opiera się na wykorzystaniu wariogramów, które umożliwiają wprowadzenie do procedury interpolacji parametrów empirycznych. Nowatorsko zastosowane do zobrazowania tekstury wzrastającego kryształu pochodne modeli DC-DM: model 3D powierzchni, mapa cieniowana (relief cieniowany), mapa nachyleń i kierunków to zaawansowana metodyka, szczególnie użyteczna do określenia za pomocą wizualizacji przestrzennej stopnia heterogeniczności pola magmowego w procesie mieszania się magmy. Dyferencjacja stopu magmowego jest skomplikowanym, wieloetapowym procesem, który prowadzi do zmiany składu chemicznego i do zmiany dystrybucji pierwiastków. Modelowanie i wizualizacja tego procesu jest zadaniem trudnym, gdyż przedmiotem analiz są ogromne, z pozoru chaotyczne zbiory danych. Dotychczas wielu badaczy zajmowało się złożoną naturą genezy heterogeniczności kryształów i związaną z tym strefowością ich materii, stosując klasyczne metody geochemiczne łącznie z metodami opartymi na izotopach (Gagnevin, et al. 2005a; Gagnevin, et al. 2005b; Ginibre, et al. 2002; Ginibre, et al. 2004; Ginibre, et al. 2007; Słaby, et al. 2007a; Słaby, Götze 2004; Słaby, et al. 2008). Metody te w większości oparte były o analizę dystrybucji pierwiastków tylko wzdłuż liniowych przekrojów/trawersów, a nie przestrzennie, przez co w ograniczonym zakresie wykazywały złożoność procesów krystalizacji w obrębie heterogenicznego pola magmowego, w którym dochodzi do kontaminacji, mieszania się magmy i krystalizacji.

Najważniejsze aspekty poznawcze moich badań przedstawionych w pracy to:

- opracowanie metody z zastosowaniem DC-DM do stworzenia modelu 3D obrazującego przestrzennie strefy koncentracji pierwiastków w dowolnych

przekrojach kryształu oraz morfologii kryształu; w geochemii była to zatem pionierska metoda służąca do nowoczesnej prezentacji map tematycznych; zapożyczona jest z geostatystyki i stosowana dotychczas tylko w naukach kartograficznych,

- potwierdzenie użyteczności zaadoptowanej metodologii w przypadku potrzeby trójwymiarowego, ilościowego przedstawienia dystrybucji poszczególnych pierwiastków wewnątrz pojedynczego kryształu w dowolnym profilu,
- stwierdzenie, że użyteczność metody jest bardzo duża w przypadku zastosowania do niejednorodnych środowisk, cechujących się dużym zróżnicowaniem składu i nieregularną dystrybucją domen, w których koncentracja określonych pierwiastków ma wyraźne amplitudy,
- wykazanie, że zastosowana metodologia wykrywa wzajemne oddziaływanie i wieloetapowość ścieżki przepływu fluidów w procesach pomagmowych, które uwidaczniają się w wybiórczej wymianie pierwiastków w obrębie kryształu w kilku etapach.

PUBLIKACJA 5

Protomylonite evolution potentially revealed by the 3D depiction and fractal analysis of chemical data from a feldspar. CONTRIBUTIONS TO MINERALOGY AND PETROLOGY Tom 167 r. 2014, str. 1-23. Ewa Słaby (20%), Andrzej Domonik (15%), Michał Śmigieński (15%), Katarzyna Majzner (15%), Gediminas Motuza (4%), Jens Götze (4%), Klaus Simon (4%), Izabela Moszumańska (4%), Łukasz Kruszewski (4%), Paweł Rydelek (15%). [MNiSW Lista A 2014: 40 pkt]

Jest to kolejna publikacja z prezentowanego cyklu, w której zastosowana metodologia opiera się na cyfrowych modelach rastrowych DC-DM koncentracji i dystrybucji pierwiastków oraz na analizie fraktalnej z zastosowaniem wykładnika Hursta, w której jestem autorem metodyki analizy fraktalnej oraz współautorem koncepcji narzędzia 3D wizualizacji danych geochemicznych. Jak wykazano już w poprzednich publikacjach zastosowana metodologia statystyki fraktalnej jest bardzo czułym narzędziem pokazującym dynamikę danego systemu magmowego. W badaniach geochemicznych analiza cech geometrii kryształu oraz pola rozkładu pierwiastków w poszczególnym kryształce jest drogą do analizy procesów mieszania się i krystalizacji magmy. Zatem w przypadku pojedynczego kryształu daje możliwość identyfikacji, które z domen wzrastającego kryształu można przyporządkować aktywnemu, a które jednorodnemu polu magmowemu. W tej pracy analizie poddano

fenokryształ skalenia alkalicznego pochodzący z litewskiego plutonu Kuršiai. Dane do modelu i wizualizacji pozyskano z analiz spektrometrii masowej, tym razem w połączeniu z danymi pochodzącymi z analiz katodoluminescencyjnych oraz spektroskopii ramanowskiej. Jak wspomniano w publikacji, skalenie alkaliczne są często wykorzystywane w celu zrozumienia złożoności procesów magmowych czy metamorficznych (n.p. Vernon 1986; Knesel et al. 1999; Perini et al. 2003; Ginibre et al. 2004; Vernon 2004; Zellmer, Clavero 2006; Ginibre et al. 2007; Słaby et al. 2007a, b; Ishii et al. 2007; Menegon et al. 2008; Słaby et al. 2008; Vernon, Paterson 2008) ze względu na to, iż chemizm powstałych fenokryształów odzwierciedla wiele lokalnych zdarzeń w trakcie ewolucji stopu magmowego. Fenokryształy skaleni uznaje się za niezbyt wrażliwe na chemiczne i fizyczne zmiany środowiska metamorficznego dlatego, iż są bardziej odporne na strukturalne deformacje (Vernon et al. 1983; Vernon, Flood 1988; Vernon 2004). W celu rozpoznania deformacji i rekrytalizacji skaleni zwykle używa się metody EBSD (*Electron Backscatter Diffraction*), a celem analiz są zmiany tylko głównych pierwiastków lub zmiany fizyczne w strukturze kryształu (Schulmann et al. 1996; Ishii et al. 2007; Menegon et al. 2008; Svahnberg, Piazzolo 2013). Moim zadaniem badawczym, co stanowiło novum, było wykazanie za pomocą fraktalnej statystyki, iż wieloetapowość metamorfizmu badanego plutonu jest odzwierciedlona w zmianach koncentracji i dystrybucji pierwiastków śladowych we wzrastającym kryształ skalenia. W tym celu zastosowałem prezentowaną wcześniej metodykę do obliczania wykładnika Hursta. Przestrzenne analizy wartości wykładnika Hursta dla pierwiastków w różnych przekrojach kryształu wykazały, że ewolucja kryształu przebiegała w trzech fazach. Odtworzenie ewolucji plutonu magmowego, poprzez analizy zmian zawartości pierwiastków śladowych jest zatem nowym podejściem, w którym wykazano, że zmiany wywołane metamorfizmem są wykrywalne w strukturze kryształu nie tylko jako efekt deformacji, lecz także są to zmiany dystrybucji i koncentracji pierwiastków śladowych.

Najważniejsze aspekty poznawcze moich badań przedstawionych w pracy to:

- potwierdzenie na przykładzie kolejnego plutonu, że analiza fraktalna z wykorzystaniem wykładnika Hursta i odwzorowanie jego przestrzennej dystrybucji to doskonałe narzędzie do opisu nieliniowego procesu różnicowania się składu pola magmowego, jak również do rozdzielenia efektów procesów magmowych i pomagmowych,
- potwierdzenie analizą fraktalną, że w badanym plutonie dochodziło do rekrytalizacji skalenia na skutek nagłych zmian w obrębie środowiska

magmowego, co wcześniej nie było wykazywane za pomocą klasycznych metod geochemicznych,

- stwierdzenie, że wartości wykładnika Hursta różnicowały się znacznie w zależności od badanej strefy kryształu, co wykazało, że proces metamorfizmu nawet w bardzo początkowym stadium może już prowadzić do subtelnej reorganizacji dystrybucji pierwiastków śladowych i do strefowej rekryształizacji kryształu.

PUBLIKACJA 6

Geochemistry and growth morphology of alkali feldspar crystals from an IAB iron meteorite – insight into possible hypotheses of their crystallization. ANNALES SOCIETATIS GEOLOGORUM POLONIAE. 2017, vol 87 p. 121-140. Ewa Słaby (25%), Łukasz Karwowski (15%), Katarzyna Majzner (15%), Richard Wirth (10%), Andrzej Muszyński (4%), Łukasz Birski (4%), Klaus Simon (4%), Andrzej Domonik (15%), Izabela Moszumańska (4%), Ryszard Orłowski (4%). [MNiSW Lista A 2017: 20 pkt]

Moim zadaniem badawczym była analiza i interpretacja elementów strukturalnych w zespole mineralnym meteorytu Morasko. Jest to pierwsza na świecie praca dająca świadectwo etapowego powstawania wrostków ortoklazu (antypertytu) w meteorycie typu IAB. Zastosowałem w tym celu wielonarzędziowe techniki komputerowej analizy obrazu. Analiza obrazu to element wizji komputerowej – ogromnego działu informatyki intensywnie rozwijanego w ostatnich latach. Analiza obrazu zajmuje się pozyskiwaniem wysokiej jakości obrazów cyfrowych, wstępnego przetwarzania obrazu w celu eliminacji zakłóceń i zniekształceń oraz uczytelnienia tych cech, które mają być przedmiotem analizy. Jako przedmiot analizy posłużyły mi wysokiej jakości mikroskopowe obrazy płytek cienkich meteorytu, a celem mojej analizy było wyodrębnienie szczegółów i w efekcie „uwypuklenie” elementów strukturalnych obrazu oraz określenie procentowego udziału tych wyodrębnionych segmentów w całości. To pozwoliło na ustalenie liczbowego udziału odmiennych składów magmy, co umożliwiło dalszą interpretację, której istotą było wybranie właściwych progów identyfikacji elementów tworzących pola rozdzielające strefy zbliźniaczeń oraz inkluzje. Było to możliwe dzięki wypracowanemu przez ostatnie lata warsztatowi ukierunkowanemu na poszukiwanie zmian strukturalnych w obrębie wzrastających kryształów. Przeprowadzona przeze mnie transformacja obrazu, segmentacja, a następnie ilościowa interpretacja składowych obrazu była podstawą do dalszych interpretacji geochemicznych przeprowadzonych przez współautorów.

Najważniejsze aspekty poznawcze moich badań przedstawionych w pracy to:

- przystosowanie metod analizy obrazu do określania strukturalnych cech kryształu skalenia na podstawie cyfrowej analizy zdjęć płytek cienkich,
- przedstawienie ilościowego składu poszczególnych struktur uwidaczniających się w obrazie mikroskopowym na podstawie którego wykazano, że proporcje roztworu stałego ortoklaz-albit wyraźnie wskazują na wysokotemperaturowe środowisko krystalizacji,
- wykazanie analizą strukturalnych elementów obrazu oraz ich wzajemną relacją, że środowisko krystalizacji skalenia wskazuje na impaktową genezę, gdzie pierwotny stop chondrytowy został zanieczyszczony stopem zasobnym w krzemiany,
- wykazanie poprzez całość wielodyscyplinarnych badań nad składem meteorytu, że stop z którego wykrystalizował skaień nie jest stopem typowo chondrytowym, gdyż obecność w kryształach nagromadzeń inkluzji piroksenowych i siarczkowych oraz żyłek tlenków i wodorotlenków żelaza i niklu wskazuje na współdziałanie niemieszalnych stopów: metalicznych, siarczkowych i krzemianowych.

PUBLIKACJA 7

Analiza Porównawcza wytrzymałości rezydualnej powierzchni pozniszczeniowych na przykładzie wybranych struktur geometrycznych. PRZEGLĄD GEOLOGICZNY, vol 64, nr 4. 2016. str.:254-260. Andrzej Domonik (40%), Przemysław Wilczyński (60%). [MNiSW Lista B 2016: 12 pkt]

Cykl prac zamyka praca nad geometrią powierzchni pozniszczeniowych wybranych mono- i polimineralnych skał, których struktura wewnętrzna jest związana z genezą oraz składem mineralnym, jak również ze sposobem dystrybucji ziaren w obrębie tekstury oraz z kształtem tych ziaren. Przedmiotem moich badań były powierzchnie rozdzielcze andezytów i piaskowców powstałe w testach rozciągania i ścinania. Badania te wynikały z poszerzenia zainteresowań już wcześniej prowadzonych badań o analizę strefowości oraz samopodobieństwa w strukturach wzrastających kryształów oraz kryształów poddawanych deformacji w procesie metamorfizmu. Mechanizm deformacji jest czynnikiem wyraźnie warunkującym charakter struktury geometrycznej powierzchni pozniszczeniowych, lecz także morfologia tych powierzchni jest czynnikiem ograniczającym i kontrolującym proces deformacji pod obciążeniem. Wiele parametrów służących kwantyfikacji chropowatości powierzchni i pojedynczych profili wykorzystywanych jest m.in. w metrologii stosowanej (Jakubiec, Malinowski, 2004). Bezpośrednie przeniesienie tych parametrów statystycznych na pole

geologii i stosowanie ich do określania chropowatości powierzchni skał rodzi pewne problemy ze względu na powszechnie obserwowany w geologii efekt skali. Jednak obrazy powierzchni pozniszczeniowych powierzchni mają właściwości obiektu fraktalnego, samopodobnego, gdyż ich struktury są podobne w każdej skali. Wysokości oraz rozmieszczenie wzniesień i wgłębień nierówności powierzchni (struktura geometryczna) w skali mikro, mezo czy makro są takie same – różnią się tylko wielkością (mikrometry, metry czy kilometry). Obserwacje poczynione w laboratorium w skali próbki skalnej są zatem użyteczne w przypadku analiz struktur wielkoskalowych, jak powierzchnie spękań ciosowych, płaszczyzny uskoków czy pasma górskie pod warunkiem, iż parametry określające ilościowo strukturę geometryczną zostaną dostosowane poprzez odpowiednie przeskalowanie. Praca jest próbą dostosowania metod metrologicznych do zjawisk geologicznych związanych z kruchą deformacją struktury, a co za tym idzie z mechanizmem pękania. Starano się w niej wykazać na ile struktura geometryczna powierzchni pozniszczeniowych ilościowo pozwala odpowiedzieć na pytanie czy mechanizmem zniszczenia była tensja, ekstensja czy ścinanie. W pracy jestem autorem obrazów struktur geometrycznych powierzchni pozniszczeniowych oraz jakościowej i ilościowej charakterystyki tych powierzchni zniszczenia. Zastosowałem kilka parametrów charakteryzujących liczbowo chropowatość, które uzupełniając się wzajemnie dają pełną informację o jakości i wielkości chropowatości. Następnie przeprowadziłem analizy charakterystyk chropowatości w zależności od kierunku obciążania oraz zależności wytrzymałości rezydualnej i związanej z nią wielkości sił tarcia na kontaktach powierzchni rozdzielczych skał. Rezultaty analiz stworzyły nowe możliwości przeniesienia wyników badań laboratoryjnych do obserwacji terenowych, w których poszukuje się głównych kierunków naprężenia współczesnego lub historycznego poprzez analizę struktur tektonicznych na powierzchniach spękań ciosowych czy też powierzchniach uskoków.

Najważniejsze aspekty poznawcze moich badań przedstawionych w pracy to:

- ustalenie roli struktury geometrycznej powierzchni pozniszczeniowych w zachowaniu wytrzymałości reszkowej (rezydualnej) spękanych ośrodków skalnych o różnej genezie,
- potwierdzenie, że analizy parametrów statystycznych, morfologii powierzchni rozdzielczych oraz map tych powierzchni są dobrą metodą dla wyjaśnienia udziału chropowatości w procesie rozciągania i ścinania w skałach o różnej strukturze, a zatem pozwalają na odtworzenie mechanizmów zniszczenia,

- powiązanie parametrów statystycznych z właściwościami mechanicznymi ścianek spękań w ośrodkach skalnych w nowym ujęciu pomiarowym i skomputeryzowanej analizie wyników, co pozwala na uściślenie dotychczasowych, standardowych parametrów i klasyfikacji geomechanicznych.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych.

W dyscyplinie nauk geologicznych, a w szczególności w geomechanice, moja działalność naukowa skupiona jest na analizie śladów historii geologicznej odwzorowanej w zachowaniu się skał pod obciążeniem i dotyczy trzech kierunków badań.

1) Kompleksowych badań wytrzymałości i odkształcalności ośrodków skalnych na tle ich uwarunkowań strukturalnych, powtarzalnych w związku z ich polimorficzną strukturą i polimineralnym składem.

2) Badań nad anizotropią ośrodków skalnych uwarunkowaną procesami geologicznymi i na poszukiwaniu śladów naprężeń tektonicznych poprzez analizę kierunków anizotropii.

3) Kompleksowych badań nad procesem niszczenia i ochrony kamiennych obiektów zabytkowych na tle analiz geomechanicznych i strukturalnych.

Poniżej przedstawiłem krótką charakterystykę każdego zagadnienia, natomiast pełen wykaz publikacji z opisem mojego udziału w autorstwie prac, dane bibliometryczne, listę wystąpień konferencyjnych, realizowanych projektów oraz informacje o działalności dydaktycznej, popularyzatorskiej i organizacyjnej znajdują się w załączniku nr 4.

1) Kompleksowe badania wytrzymałości i odkształcalności ośrodków skalnych na tle ich uwarunkowań strukturalnych

Swoją działalność naukową rozpocząłem od badań nad odwzorowaniem powierzchni ciosowych piaskowców fliszu podhalańskiego w badaniach wytrzymałościowych, których wynikiem była publikacja z 2003 roku (Domonik, 2003). Praca była inspiracją do poszerzenia zainteresowań o badania nad zmianami teksturalnymi, nieciągłościami, mechanizmami powstawiania nieciągłości oraz samopodobieństwa ich struktury, która zaowocowała pracą doktorską pod tytułem „*Geomechaniczna analiza powierzchni ciosowych w piaskowcach cergowskich z Komańczy*”. Od bezpośrednich zastosowań badań terenowych (obserwacji geologicznych) i syntez lokalnych przeszedłem do szerszych rozważań natury ogólnej, w której procesy geologiczne wykazywały pewną powtarzalność i samopodobieństwo. Zainspirowany fraktalną naturą geologicznych

procesów i zjawisk wprowadziłem pioniersko do opisu struktur i powierzchni skał, minerałów i kryształów metodykę badań z użyciem metod statystyki fraktalnej, co pozwoliło na szersze spojrzenie na zachodzące samopodobne procesy geologiczne i wykazanie pewnych, wybranych zjawisk samopodobieństwa struktur w różnych ośrodkach skalnych, a następnie w pojedynczych kryształach minerałów. Ponieważ równocześnie w Zakładzie Geomechaniki UW prowadziłem wraz z zespołem szereg badań nad wytrzymałością i odkształcalnością skał w ujęciu regionalnym, to starałem się wykorzystać w jak największym stopniu dostęp do ogromnego zasobu danych geomechanicznych i na ich podstawie rozwijać własne badania naukowe nad efektem „pamięci” historii geologicznej w celu poszukiwania kierunków osłabień strukturalnych oraz kierunków obciążeń pierwotnych. Efektem prac zespołowych nad wytrzymałością i odkształcalnością skał jest współautorstwo w cyklu monografii pod wspólnym tytułem „*Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał*” (Pinińska red., 2003, 2004, Pinińska red., Dzedzic red., 2006, 2007, Domonik red., 2012a, 2012b), w których uczestniczyłem od 2002 roku. Moje naukowe badania autorskie dotyczyły analizy procesu kruchego pęknięcia oraz związanej z tym emisji akustycznej. Stosując różne metody badawcze, obrazy płytek cienkich, krzywe deformacji oraz efekty emisji akustycznej analizowałem defekty budowy wewnętrznej powstałe w wyniku oddziaływania naprężeń w górotworze wynikające z natury przyrodniczej oraz defekty powstające podczas procesu badań próbek skalnych w quasi-kruchej deformacji pod obciążeniem. Poszukiwałem odpowiedzi na pytanie, na ile pierwotne defekty strukturalne są zalążkiem nowo powstających spękań zgodnych z teorią Griffitha (1921, 1924). Próbowałem też określić, w jakim stopniu proces pęknięcia skał, który w skali próbki jest zależny od wzajemnego układu składników mineralnych, wielkości i kształtu ziaren i ich odporności na działanie sił zewnętrznych ma powtarzalny, samopodobny charakter w zależności od historii geologicznej. Ze względu na rozległą tematykę badań zespołowych w tym okresie skupiłem się z jednej strony na procesach związanych ze sprężystym zachowaniem się skał, a z drugiej strony na zjawiskach odkształceń plastycznych zachodzących na krańcach szczelin i ziaren mineralnych. Następnie poszerzyłem swoje zainteresowania o badania mechanizmów zniszczenia oraz ich korelacji z morfologią powierzchni szczelin pozniszczeniowych. Moje badania nad emisją akustyczną prowadzone od 2002 roku do chwili obecnej poszerzały się w miarę rozwoju i dostępności coraz dokładniejszych technik badawczych, od bezpośredniej analizy zjawisk emisji w obciążanych próbkach skalnych i ich interpretacji, do powiązania wprowadzonych w zakładzie geomechaniki modeli deformacji skał oraz ich interpretacji

na tle składu mineralnego z morfologią ziaren kryształów obserwowanych w mikroskopowym obrazie ośrodka skalnego. Efekty tych badań prezentowane są we wcześniej wspomnianej serii monografii p.t. „*Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał*” oraz w kilku publikacjach naukowych (Domonik 2011; Domonik, Dziedzic, 2009; Dohnalik i in. 2015). Efektem całego zakresu prac badawczych prowadzonych w Zakładzie Geomechaniki UW w latach 1994 - 2017 było stworzenie informatycznej Bazy Danych Geomechanicznych (BDG). BDG zawiera tysiące parametrów charakteryzujących kompleksowo właściwości wytrzymałościowe, odkształceniowe oraz sprężyste skał. W tym przedsięwzięciu jestem autorem koncepcji zintegrowanego systemu gospodarowania danymi oraz autorem informatycznej architektury bazy danych (Pinińska i in., 2008, 2009; Domonik i in., 2009, 2010).

2) Badania anizotropii ośrodków skalnych uwarunkowanej procesami geologicznymi i poszukiwanie śladów naprężeń tektonicznych poprzez analizę kierunków anizotropii

Dzięki wieloletnim badaniom zapoznałem się ze zmiennością oraz z ogromną różnorodnością właściwości petrofizycznych, mechanicznych skał i zauważyłem pewną powtarzalność oraz samopodobieństwo procesów i cech zależnych od uziarnienia (wielkości oraz kształtu), składu mineralnego oraz wielkości i kierunków obciążeń. Wszystkie te obserwacje starałem się powiązać wzajemnie na tle ewolucji historycznej masywów skalnych. Ten dział moich zainteresowań zaowocował badaniami nad anizotropią ośrodków skalnych warunkowaną środowiskiem sedymentacji, przemianami strukturalnymi wywołanymi diagenезą i metamorfizmem oraz w wyniku działania naprężeń historycznych. Efektem tych prac jest kilka publikacji naukowych samodzielnych (Domonik, 2004a, 2004b, 2006, 2007, 2008a, 2008b) oraz we współautorstwie (Ostrowska-Rybak i in., 2017) Badania geomechaniczne skał na tle ich struktury i kierunków obciążeń były również inspiracją do rozszerzenia zakresu badań o charakterystykę zmian właściwości odkształceniowych, sprężystych, zmian gęstości oraz przemian strukturalnych na dużych głębokościach, gdzie skały podlegają wpływowi pola mechanicznego i cieplnego oraz na określenie skutków oddziaływania naprężeń termicznych wywołanych nierównomiernym rozszerzaniem się szkieletu mineralnego (Pinińska red., 2011). Lata badań nad wytrzymałością i odkształcalnością skał, intra-, inter- i transgranularnym charakterem mechanizmów pęknięcia i deformacji pozwoliły mi na badania interdyscyplinarne nad rolą poszczególnych kryształów minerałów w śledzeniu procesów genetycznych. Rola kształtu ziarna mineralnego oraz procesy jego wietrzenia na granicach i w strefach kryształu wpływające na finalną wytrzymałość były impulsem do poszerzenia badań o zagadnienia, będące przedmiotem poszukiwań

w naukach mineralogicznych. Efektem tych badań były prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego oraz publikacja w wydawnictwie monograficznym Springera p.t. „*Self-similar Pattern of Crystal Growth from Heterogeneous Magmas; 3D Depiction of LA-ICP-MS Data*” (Słaby i in., 2014).

3) Kompleksowe badania nad procesem niszczenia i ochrony kamiennych obiektów zabytkowych na tle analiz geomechanicznych i strukturalnych

W Zakładzie Geomechaniki WG UW od kilkunastu lat prowadzone są prace zespołowe nad indukowanymi warunkami środowiskowymi i przemianami właściwości wytrzymałościowych i odkształceniowych skał w celu określenia możliwości ochrony zabytkowych elementów konstrukcyjnych i obiektów małej architektury wykonanych z kamienia naturalnego. Są to badania modelujące naturalne i antropogeniczne procesy wietrzenia oraz badania mające na celu wypracowanie skutecznych sposobów przeciwdziałania wietrzeniu i sposobów zahamowania starzenia się kamienia. Biorę aktywny udział w pracach zespołu i specjalizuję się w analizach przemian struktury materiałów skalnych, analizach obrazów mikroskopowych oraz prognozowaniem wytrzymałości długotrwałej w ścisłym powiązaniu z właściwościami petrofizycznymi tych skał (Pinińska, Domonik, 2012; Bobrowska, Domonik, 2015). Moje doświadczenie badawcze nad przemianami struktury wewnętrznej podczas wietrzenia skał zostało wykorzystane w badaniach naukowych i stosowanych w zakresie prac przeprowadzonych nad projektem geoparku p.t. „Geopark Małopolski Przełom Wisły (od Zawichostu do Puław)”, w którym w latach 2010-2012 zajmowałem się badaniami podatności skalnych geostanowisk na wietrzenie i oceną warunków geologiczno-inżynierskich w celu określenia możliwości przystosowania tych stanowisk do udostępnienia. Efektem tych prac jest zbiór kilku publikacji (Pinińska, Domonik, 2012; Harasimiuk i in. 2011, Pinińska i in. 2015).

Parametry naukometryczne:

Indeks Hirscha	Baza WoS	3
	Baza Scopus	4
	Baza Google Scholar	5
Liczba cytowań	Baza WoS	53
	Baza Scopus	60
	Baza Google Scholar	128

Stan z dnia 25.04.2019 r.

Literatura:

Bindeman I.N., Davis A.M., 1999. Convection and redistribution of alkalis and trace elements during the mingling of basaltic and rhyolitic melts. *Petrology* 7:91–101.

Bobrowska A., Domonik A., 2015. Ultrasonic waves and strength reduction indexes for the assessment of the advancement of deterioration processes in travertines from Pamukkale and Hierapolis (Turkey). *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. 37, nr 3, s. 3-9.

Cressie, N.A.C. 1990. The origins of Kriging. *Mathematical Geology*, 22, 239–252.

De Campos C.P., Dingwell D.B., Perugini D., Civetta L., Fehr T.K., 2008. Heterogeneities in Magma Chambers: insights from the behavior of major and minor elements during mixing experiments with natural alkaline melts. *Chem Geol* 256:131–145.

De Campos C.P., Perugini D., Ertel-Ingrisch W., Dingwell D.B., Poli G., 2011. Enhancement of magma mixing efficiency by chaotic dynamics: an experimental study. *Contrib Mineral Petrol.* Volume 161, Issue 6, pp 863–881.

Dohnalik M, Kowalska S., Mikołajewski Z., Domonik A., Tabor Z., 2015. Mineral composition of shales and the results of triaxial compression tests – a case study from the Ordovician and Silurian rocks of Poland. *NAFTA_GAZ*. 2015. Tom: 71 Zeszyt:6.

Domonik A., 2003. Odzworowanie powierzchni ciosowych piaskowców fliszu podhalańskiego w badaniach wytrzymałościowych z wybranych odsłoneń niecki podhalańskiej. *Przegląd geologiczny* Tom 51 Nr 5 r. 2003, str. 430-435.

Domonik A., 2004a. Geomechaniczne implikacje kompresji tektonicznej w Karpatach Fliszowych na przykładzie piaskowców cergowskich jednostki dukielskiej w: *Problemi geomorfologii i paleogeografii Ukrainskich Karpat i priległych teritorij*, str. 65-82, Wydawniczej Centr LNU imieni Ivana Franka.

Domonik A., 2004b. Wpływ paleonaprężeń na wytrzymałość masywu skalnego w: *Geotechnika i budownictwo specjalne - XXVII Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej*, str. 45-51, Akademia Górniczo-Hutnicza.

Domonik A., 2006. Geomechaniczna analiza powierzchni ciosowych w piaskowcach cergowskich z Komańczy. Praca doktorska. Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii.

Domonik A., 2007. Anizotropia właściwości wytrzymałościowych skał fliszowych jako efekt oddziaływania naprężeń na przykładzie piaskowców z Komańczy. *GEOLOGOS* Tom 11.

Domonik A., 2008a. Textural rock anisotropy as a result of load memory exemplified by Cergowa sandstones from Komańcza. *GEOLOGIJA - VILNIUS* Tom 50, str. 121-125.

Domonik A., 2008b. Detekcja anizotropii teksturalnej w piaskowcach fliszowych za pomocą prostych technik komputerowej analizy obrazu. *Górnictwo i Geoinżynieria: Kwartalnik Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie* tom 32 nr 1, str. 37-44.

Domonik A., Dziedzic A., 2009. Problemy interpretacyjne przy wyznaczaniu modułu sprężystości w niektórych odmianach litologicznych skał. w: *Problemy geotechniczne i środowiskowe z uwzględnieniem podłoża ekspansywnych.*, str. 415-423, Wydawnictwa Uczelniane UTP.

Domonik A., Słaby E., Śmigielski M., 2010. The Hurst exponent as a tool for the description of magma field heterogeneity reflected in the geochemistry of growing crystals. *Acta Geologica Polonica*. Tom 60 nr 3 r. 2010, str. 437-443.

Domonik A., 2011. Wpływ wysokiego ciśnienia i temperatury na wartości modułu Younga i współczynnika Poissona w wybranych typach skał. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* tom 446/2 r, str. 117-122.

Domonik A., (red.), 2012. Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał. Cz. VI Centralne Karpaty Zachodnie. T. 13. str. 1-126. Zakład Geomechaniki Wydziału Geologii UW.

Domonik A., (red.), 2012. Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał. Część VI. Centralne Karpaty Zachodnie. T. 14. str. 1-135. Zakład Geomechaniki Wydziału Geologii UW.

Gagnevin, D., Daly, J.S., Poli, G., Morgan, D. 2005a. Microchemical and Sr isotopic investigation of zoned K-feldspar megacrysts: insights into the petrogenesis of a granitic system and disequilibrium crystal growth. *Journal of Petrology*, 46, 1689-1724.

Gagnevin, D., Daly, J.S., Waight, T., Morgan, D., Poli, G. 2005b. Pb isotopic zoning of K-feldspar megacrysts determined by laser ablation multiple-collector ICP-MS: insights into granite petrogenesis. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 69, 1899-1915.

- García-Moreno O., Castro A., Corretge L.G., El-Hmidi H., 2006. Dissolution of tonalitic enclaves in ascending hydrous granitic magmas: an experimental study. *Lithos* 89:245–258.
- Ginibre, C., Wörner, G., Kronz, A. 2002. Minor- and trace-element zoning in plagioclase: implications for magma chamber processes at Paríacota volcano, northern Chile. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 143, 300-315.
- Ginibre, C., Wörner, G., Kronz, A. 2004. Structure and Dynamics of the Laacher See magma chamber (Eifel, Germany) from major and trace element zoning in sanidine: a cathodoluminescence and electron microprobe study. *Journal of Petrology*, 45, 2197-2223.
- Ginibre, C., Wörner, G., Kronz, A. 2007. Crystal zoning as an archive for magma evolution. *Elements*, 3, 261-266.
- Griffith A.A., 1921. Phenomenon of rapture and flow of solids. *Trans. Roy. Soc., London*.
- Griffith A.A., 1924. The theory of rapture. *Proceedings of the 1-st International Congress on Applied Mechanics*, Delft.
- Harasimiuk M., Domonik A., Machalski M., Pinińska J., Warowna J., Szymkowiak A., 2011. Małopolski przełom Wisły - projekt geoparku. *PRZEGLĄD GEOLOGICZNY Tom 59 Nr 5 r. 2011*, str. 405-416.
- Hurst, H. E., 1951. Long-term storage capacity of reservoirs. *Transactions of the American Society of Civil Engineers* 116, 770–808.
- Ishii K., Kanagawa K., Shigematsu N., Okudaira T., 2007. High ductility of K-feldspar and development of granitic banded ultramylonite in the Ryoke metamorphic belt, SW Japan. *Journal of structural Geology* 29: 1083-1098.
- Jakubiec W., Malinowski H., 2004. *Metrologia wielkości geometrycznych*. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa.
- Knesel K.M., Davidson J.P., Duffield W.A., 1999. Open-system evolution of silicic magma by assimilation followed by recharge: evidence from Sr isotopes in sanidine phenocrysts, Taylor Creek rhyolite, NM. *Journal of Petrology* 40: 773-786.
- Kouchi A., Sunagawa I., 1984. A model for mixing basaltic and dacitic magmas as deduced from experimental data. *Contrib Mineral Petrol* 89:17–23.
- Menegon L., Pennacchioni G., Spiess R., 2008. Dissolution-precipitation creep of K-feldspar in mid-crustal granite mylonites. *Journal of Structural Geology* 30: 565-579.
- Peitgen, H.O., Jurgens, H. and Saute, D., 2002. *Granice Chaosu: Fraktale*, pp. 1–556. PWN; Warszawa.
- Perini G., Tepley F.J., Davidson J.P., Conticelli S., 2003. K-feldspar megacrysts hosted in alkaline potassic rocks from central Italy: a track for low-pressure processes in mafic magma. *Lithos* 66: 223-240.
- Perugini D., De Campos C.P., Dingwell D.B., Petrelli M., Poli D., 2008. Trace element mobility during magma mixing: preliminary experimental results. *Chem Geol* 256:146–157.
- Pinińska J. (red), 2004. *Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał Cz. IV Karpaty fliszowe. T. 8. Objasnienia i interpretacja*. Zakład Geomechaniki Wydziału Geologii UW.
- Pinińska J. (red), 2003. *Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał. Cz. IV Karpaty Fliszowe. T. 7. Katalog*. Zakład Geomechaniki Wydziału Geologii UW.
- Pinińska (red), Dziedzic A., (red), 2007. *Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał. Cz. V Region Lubelski. T. 10. Objasnienia i interpretacja*. Zakład Geomechaniki Wydziału Geologii UW
- Pinińska J., (red), Dziedzic A., (red), 2006. *Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał. Cz. V Region Lubelski. T. 9. Katalog*. Zakład Geomechaniki Wydziału Geologii UW.
- Pinińska J., (red.), 2011. *Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał Polski na dużych głębokościach w warunkach wysokiego ciśnienia i temperatury*. Zakład Geomechaniki Wydziału Geologii UW.
- Pinińska J., Domonik A., 2012. Rock mining industry in history. Geosites and geological and engineering assessment thereof. *Górnictwo i Geoinżynieria: Kwartalnik Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie Tom 36 Nr 1*, str. 275-282.
- Pinińska J., Domonik A., Dziedzic A., Łukasiak D., 2015. The methodology of a complex engineering-geological approach to establish a Geopark: case study of the Małopolska Vistula River Gorge. *GEOLOGICAL QUARTERLY, Tom: 59 Zeszyt: 1*, str 408-418.

- Rybak-Ostrowska B., Konon A., Domonik A., Poszytek A., Uroda J., 2017. Shallow-generated damage within non-planar strike-slip fault zones: role of sedimentary rocks in slip accommodation, SW Holy Cross Mountains, Poland. *International Journal of Earth Sciences*. Volume 106, Issue 6, pp 1863–1888.
- Schulmann K., Mlcoch B.b., Melka R., 1996. High-temperature microstructures and rheology of deformed granite, Erzgebirge, Bohemian Massif. *Journal of Structural Geology* 18: 719-733.
- Sibson, R. 1981. A Brief Description of Natural Neighbour Interpolation. In: V. Barnett (Ed.), *Interpreting Multivariate Data*. John Wiley and Sons, New York, p. 21–36.
- Słaby E., Śmigielski M., Śmigielski T., Domonik A., Simon K., Kronz A., 2011. Chaotic three-dimensional distribution of Ba, Rb, and Sr in feldspar megacrysts grown in an open magmatic system. *Contrib Mineral Petrol*. Tom 162 Nr 5 r. 2011, p. 909-927.
- Słaby, E., Götze, J., 2004. Feldspar crystallization under magma-mixing conditions shown by cathodoluminescence and geochemical modelling - a case study from the Karkonosze pluton (SW Poland). *Mineralogical Magazine*, 64, 541-557.
- Słaby, E., Götze, J., Wörner, G., Simon K., Wrzalik, R., Śmigielski, M. 2008. K-feldspar phenocrysts in microgranular magmatic enclaves: A cathodoluminescence and geochemical study of crystal growth as a marker of magma mingling dynamics. *Lithos*, 105, 85-97.
- Słaby, E., Galbarczyk-Gąsiorowska, L., Seltmann, R., Müller, A. 2007a. Alkali feldspar megacryst growth: geochemical modelling. *Mineralogy and Petrology*, 68, 1-29.
- Słaby, E., Seltmann, R., Kober, B., Müller, A., Galbarczyk-Gąsiorowska, L., Jeffries, T. 2007b. LREE distribution patterns in zoned alkali feldspar megacrysts - implication for parental melt composition. *Mineralogical Magazine*, 71, 193-217.
- Słaby E., Śmigielski M., Domonik A., Galbarczyk-Gąsiorowska L., 2014. Self-Similar Pattern of Crystal Growth from Heterogeneous Magmas: 3D Depiction of LA-ICP-MS Data. S.Kumar and R. N. Singh (eds.) *Modelling of Magmatic and Allied Processes*. Society of Earth Scientists Series, DOI: 10.1007/978-3-319-06471-0_7. ISBN 978-3-319-06470-3. Springer International Publishing, Switzerland, pp.151-165, (rozdział w książce).
- Svahnberg H., Piazzolo S., 2013. Interaction of chemical and physical processes during deformation at fluid present conditions: a case study from an anorthosite–leucogabbro deformed at amphibolite facies conditions. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 165: 543-562.
- Vernon R.H., Williams V.A., D'Arcy W.F., 1983. Grain size reduction and foliation development in a deformed granitoid batholith. *Tectonophysics* 92: 123-45.
- Vernon R.H., 1986. K-feldspar megacrysts in granites – phenocrysts, not porphyroblasts. *Earth Science Reviews* 23 1-63.
- Vernon R.H., Flood R.H., 1988. Contrasting deformation of S- and I-type granitoids in the Lachlan Fold Belt, eastern Australia. *Tectonophysics* 147: 127-43.
- Vernon R.H., 2004. *A practical guide to rock microstructure*. Cambridge University Press. London.
- Vernon R.H., Paterson S. R., 2008. How late are K-feldspar megacrysts in granites? *Lithos* 104: 327-336.
- Voronoi, G. 1907. Nouvelles applications des paramètres continus à la théorie des formes quadratiques. *Journal für die Reine und Angewandte Mathematik*, 133, 97–178.
- Zellmer G.F., Clavero J.E., 2006. Using terrace element correlation patterns to decipher a sanidine crystal growth chronology: an example from Taapaca volcano, Central Andes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 156: 291-301.

Domonik