

**AGH**

AKADEMIA GÓRNICZO – HUTNICZA

IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

Prof. dr hab. inż. Alicja Kicińska
Katedra Ochrony Środowiska
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
kicinska@agh.edu.pl

Kraków 28 lipca 2025r

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Szymona Świątka

1. Wprowadzenie

Recenzję rozprawy doktorskiej mgr Szymona Świątka pt. „*Struktury deformacyjne powstałe w efekcie upłynnienia osadu – podejście doświadczalne*” przygotowano na prośbę Przewodniczącego Rady naukowej dyscypliny nauki o Ziemi i środowisku, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Pana prof. dr. hab. Grzegorza Rachlewicza, na podstawie uchwały nr 49-2024/2025 tejże Rady z dnia 27 maja 2025 r.

Przedstawiona do recenzji dysertacja została zrealizowana pod kierunkiem dwóch Promotorów, Pani prof. dr hab. Małgorzaty Pisarskiej-Jamroży oraz Pani dr hab. inż. Karoliny Lewińskiej, prof. UAM, w Szkole Doktorskiej Nauk Przyrodniczych, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

2. Ocena zasadności podjętej problematyki badawczej

Pomimo znacznego postępu w badaniach nad procesami upłynnienia osadów, jednym z najtrudniejszych wyzwań w interpretacji struktur deformacyjnych pozostaje rozpoznanie mechanizmu sprawczego, który odpowiadał za ich powstanie. Współcześnie znanych jest kilkadziesiąt czynników powodujących deformacje, a różne mechanizmy mogą prowadzić do powstania struktur o bardzo zbliżonej morfologii, co znacząco utrudnia ich jednoznaczną interpretację w zapisie geologicznym. Wiele struktur deformacyjnych, może powstawać zarówno w warunkach sejsmicznych, jak i niezwiązanych z aktywnością sejsmiczną, co prowadzi do znacznych trudności w ich interpretacji. Dodatkowo, wiele struktur deformacyjnych może powstawać w efekcie trwania kilku mechanizmów, w tych samych lub

krótko występujących po sobie interwałach czasowych. Brak spójnych, uniwersalnych narzędzi rozpoznawczych może prowadzić do niepewności interpretacyjnych i potencjalnych błędów w rekonstrukcjach paleogeograficznych oraz paleotektonicznych. Istotnym i nadal mało rozpoznanym zagadnieniem jest rola składu chemicznego osadów, a w szczególności obecność i formy występowania pierwiastków takich, jak Fe czy Mn w warstwach przypowierzchniowych, które mogą mieć znaczący wpływ na plastyczność, na potencjał redoks i ostateczny zapis deformacji osadu.

Badania przeprowadzone przez mgr Szymona Świątkę są znaczącą propozycją zintegrowanego podejścia doświadczalnego, w którym przeanalizowane były równocześnie: siła dynamiczna (parametry wstrząsu sejsmicznego), cechy teksturalne osadu (udział frakcji osadu, stopień mineralizacji wody niezbędnej do nawodnienia osadu) oraz warunki chemiczne (pH, potencjał redoks, obecność Fe i Au). Dzięki zastosowaniu symulacji sejsmicznych w warunkach kontrolowanych, Doktorant przedstawił nową propozycję progów inicjujących deformację, ale także identyfikację potencjalnych wskaźników morfometrycznych charakterystycznych dla deformacji o genezie sejsmicznej. Rozprawa doktorska mgr Szymona Świątkę przedstawia próbę zintegrowania podejścia terenowego oraz eksperymentalnego, w celu zaproponowania nowych kryteriów diagnostycznych sejsmogenicznych struktur deformacyjnych, a także warunków, które pomogą je odróżnić od deformacji o innej genezie.

3. Formalna analiza rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została przygotowana w formie zbioru 3 opublikowanych i powiązanych tematycznie ze sobą artykułów naukowych, co jest zgodnie z art. 187.1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668 z późn. zm.). Całość została opatrzona 34-stronicowym komentarzem Autora, na który składa się: streszczenie (w jęz. polskim i angielskim) i kolejno pojawiające się rozdziały: *Wprowadzenie*, *Cele badań*, *Materiał i metody badań*, *Zarys treści publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej*, *Dyskusja* oraz *Wnioski*. Dodatkowo załączono *Spis literatury* (81 pozycji), podano *Źródła finansowania badań*, konferencje, na których *Prezentowano wyniki badań* oraz załączono kopie *Oświadczeń Autorów* o udziale procentowym i wkładzie merytorycznym, jaki mieli w powstaniu niniejszych prac.

Na dysertację składają się następujące artykuły:

1. **Świątek, S.**, Belzyt S., Pisarska-Jamroży, M., Woronko, B. 2023. Sedimentary records of liquefaction: implications from field studies. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 128, e2023JF007152. <https://doi.org/10.1029/2023JF007152>
2. **Świątek, S.**, Pisarska-Jamroży, M. 2025. Seismogenic liquefaction with M~3.5 in fine-grained sediments: An experimental approach. *Sedimentary Geology* 478, 106833. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2025.106833>
3. **Świątek, S.**, Lewińska, K., Pisarska-Jamroży, M., Günter, C. 2025. An application of quartz grain analyses in earthquake-induced (palaeo)liquefaction studies. *Journal of Structural Geology* 193, 105357. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2025.105357>

Jak wynika z załączonej dokumentacji Doktorant miał znaczący udział (wynoszący odpowiednio: 50, 80 i 65%) w powstaniu wyżej wymienionych prac. Był odpowiedzialny za: przygotowanie wstępnej wersji artykułu, opracowanie wyników badań oraz wykonanie większości rycin i tabel zamieszczonych w publikacji. Brał również aktywny udział w pozostałych etapach przygotowania artykułu, w tym w edycji i poprawie manuskryptu po recenzji, interpretacji wyników oraz formułowaniu wniosków (publikacje 1–3) oraz przeprowadzeniu badań laboratoryjnych (publikacje 2–3).

Wymienione powyżej 3 artykuły (anglojęzyczne), opublikowane zostały w renomowanych czasopismach naukowych (Q1, WoS) i są to: *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, *Sedimentary Geology* oraz *Journal of Structural Geology*. Należą do American Geophysical Union (praca 1) oraz do grupy wydawniczej Elsevier (prace 2 i 3). Prace są: 2 i 4 autorskie, natomiast we wszystkich artykułach Doktorant jest **pierwszym i korespondencyjnym autorem**. Sumaryczny IF tychże prac wynosi 8,8, a liczba punktów ministerialnych to 340.

4. Merytoryczna analiza rozprawy

Rozprawa doktorska mgr Szymona Świąłka została zrealizowana w oparciu o oryginalne wyniki badań i analizy laboratoryjne przeprowadzone na próbkach osadów, które poddano analizie teksturalnej i statystycznej, a ich podatność na upłynnienie była testowana w warunkach symulowanych wstrząsów sejsmicznych. Doświadczenia przeprowadzono w zróżnicowanych warunkach chemicznych, m.in. z zastosowaniem roztworów wodnych o różnym stopniu mineralizacji oraz z dodatkiem związków żelaza.

Doktorant na początku swojej pracy wyznaczył szczegółowe cele badawcze:

1. Określenie zależności pomiędzy teksturą osadu, w szczególności udziałem poszczególnych frakcji, a rozwojem struktur deformacyjnych powstałych w wyniku upłynnienia.
2. Zbadanie zależności między tworzeniem się struktur deformacyjnych, ich cechami teksturalnymi, udziałem wody oraz parametrami wstrząsów sejsmicznych, tj. magnituda, częstotliwość, czas trwania, miąższość osadów, rodzaj osadów i ich gęstość właściwa, wymiary struktur oraz lokalizacja względem całego układu.
3. Określenie zależności między strukturami deformacyjnymi a właściwościami chemicznymi osadu (np. pH i Eh).
4. Wskazanie metod umożliwiających rozróżnianie struktur deformacyjnych powstałych w wyniku upłynnienia wywołanego sejsmicznie od tych, które powstały w wyniku innych mechanizmów, takich jak obciążenie osadem, działalność sztormów czy erupcje wulkaniczne.
5. Określenie wpływu warunków redukcyjnych oraz czasu zapisu zmian w upłynnionym osadzie.

W publikacji nr 1 (Świątek *et. al.* 2023: **Sedimentary records of liquefaction: implications from field studies.** *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* 128, e2023JF007152) Doktorant wraz ze współautorami opisał badania, jakie przeprowadzono na 144 próbkach osadów pobranych z 8 stanowisk terenowych zlokalizowanych w północno-wschodnich Niemczech, na Litwie i Łotwie i zidentyfikowanych jako zdeformowane. W pracy przedstawiono zależność między teksturą osadu a występowaniem struktur deformacyjnych powstałych w wyniku upłynnienia, jak również zidentyfikowane struktury deformacyjne podzielono na dwie grupy: i) formy wklęsłe ku dołowi i ii) formy wklęsłe ku górze. Dodatkowo każdą ze struktur deformacyjnych przyporządkowano do jednej z czterech grup procesowych, jakimi były: AU (*active up*), AD (*active down*), PU (*passive up*), PD (*passive down*). Próbkę poddano analizie granulometrycznej z zastosowaniem dyfrakcji laserowej, a dane przetworzono w programie GRADISTAT, uzyskując podstawowe parametry statystyczne uziarnienia: średnią średnicę ziarna, wskaźnik wysortowania, skośność i kurtozę. Analizy statystyczne (testy t-Studenta, Manna-Whitneya, Snedecora) wykazały, że osady towarzyszące strukturom *concave up* różnią się istotnie od tych, w których występują struktury *concave down* – zarówno pod względem granulometrii, jak i parametrów statystycznych. Autorzy stwierdzili, że struktury typu *concave up* występują głównie w osadach drobnoziarnistych, słabowysortowanych, z wysoką zawartością frakcji pylastej i ilastej, podczas gdy struktury *concave down* rozwijają się w osadach piaszczystych, lepiej wysortowanych. Dodatkowo wyznaczono zależności między udziałem poszczególnych frakcji osadu a podstawowymi parametrami statystycznymi. Integralną częścią pracy było przeprowadzenie modelowania statystycznego, które pozwoliło wskazać wartości progowe oraz kombinacje cech teksturalnych istotnie wpływające na rozwój poszczególnych typów struktur. Opracowany przez Autorów model statystyczny może pełnić funkcję narzędzia prognostycznego, umożliwiającego ocenę potencjału deformacyjnego osadu oraz przewidywanie typu struktur, które mogą się rozwinąć w danej sekwencji osadowej. Niewątpliwie przedstawione wyniki badań stanowią istotny wkład w zrozumienie zależności między teksturą osadu a jego podatnością na upłynnienie oraz rozwój określonych struktur deformacyjnych.

Praca nr 2 (Świątek & Pisarska-Jamroży, 2025: **Seismogenic liquefaction with M~3.5 in fine-grained sediments: An experimental approach.** *Sedimentary Geology* 478, 106833) prezentuje oryginalne i nowatorskie podejście do eksperymentalnych badań laboratoryjnych nad deformacjami osadów wywołanymi przez trzęsienia ziemi o niskiej magnitudzie (~3,5). Autorzy na podstawie przeprowadzonych eksperymentów sprawdzili, czy wstrząsy o tak niskiej magnitudzie mogą inicjować procesy upłynnienia i prowadzić do rozwoju struktur deformacyjnych w nasyconych wodą osadach drobnoziarnistych. W badaniach wykorzystano różne rodzaje osadów (pył, piasek drobno- i gruboziarnisty), które zestawiono w 5 sekwencji warstw (różniących się miąższością i liczbą warstw oraz układem litologicznym) i poddano działaniu drgań generowanych przez urządzenie symulujące fale sejsmiczne. Zidentyfikowano 6 głównych typów struktur: w grupie struktur wklęsłych ku górze

wyróżniono struktury płomieniowe, struktury iniekcyjne (pylaste i piaszczyste) oraz wulkany klastyczne, natomiast w grupie struktur wklęsłych ku dołowi – struktury obciążeniowe, takie jak pograży i pseudonodule. W pracy przedstawiono także wyniki analiz morfometrycznych, obejmujących pomiary wysokości, szerokości oraz obliczenia współczynników kształtu. Wyniki tych badań wskazały wyraźne korelacje między szerokością a wysokością struktur, zwłaszcza dla struktur płomieniowych, pograżów i wulkanów klastycznych. Autorzy potwierdzili, że nawet przy niewielkiej magnitudzie możliwe jest upłynnienie osadu oraz powstawanie struktur deformacyjnych, oraz wskazali silne analogie między strukturami powstałymi w warunkach laboratoryjnych, a tymi obserwowanymi w naturalnych odsłonięciach. W pracy przedstawiono również kryteria rozpoznawania struktur pochodzenia sejsmicznego oraz znaczenie morfometrii jako narzędzia potencjalnie pomocnego w rozróżnianiu liczby zdarzeń deformujących. Wyniki badań i wnioski z tej pracy mogą znaleźć zastosowanie nie tylko w rekonstrukcji przeszłych wstrząsów, lecz także w ocenie zagrożeń związanych z upłynnieniem osadów w regionach dotąd uznawanych za obszary o niskiej aktywności sejsmicznej.

W publikacji nr 3 (Świątek *et al.* 2025: **An application of quartz grain analyses in earthquake-induced (palaeo)liquefaction studies.** *Journal of Structural Geology* 193, 105357) przedstawiono innowacyjne podejście do analizy struktur deformacyjnych powstałych w wyniku sejsmogenicznego upłynnienia osadów, koncentrując się na mikroteksturalnych cechach ziaren kwarcu. Celem przeprowadzonych analiz było ustalenie, czy mikromorfologia ziaren kwarcu oraz inne zdarzenia (tj. nagromadzenie Au) mogą służyć jako wskaźniki potwierdzające deformacje sejsmogeniczne, a także czy zmiany te mogą być wykorzystane do rekonstrukcji dawnych zdarzeń sejsmicznych. Eksperyment został przeprowadzony w laboratorium, przy wykorzystaniu pyłu i piasku drobnoziarnistego nasyczonego trzema typami roztworów wodnych o różnym stopniu mineralizacji. Próbkę poddano działaniu symulowanego wstrząsu sejsmicznego ($M \sim 3,5$), a następnie analizowano mikroskopowo płytki cienkie przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego, skupiając się na cechach ziaren kwarcu. W artykule opisano szereg zidentyfikowanych cech mikrostrukturalnych, i stwierdzono, że stopień mineralizacji roztworów oraz czas ekspozycji istotnie wpływały na intensywność zmian. Szczegółowo też opisano wpływ warunków chemicznych (tj.: pH, Eh, obecność kwasu fluorowodorowego i kwasu ortokrzemowego) na stopień korozji ziaren kwarcu. Podkreślono, że połączenie sił mechanicznych i chemicznych prowadzi do złożonej, często wielofazowej transformacji ziaren, która może być rejestrowana w osadzie jako wskaźnik aktywności sejsmicznej. Autorzy zasugerowali, że mikromorfologia kwarcu, w połączeniu z analizą chemiczną i teksturalną, może stanowić obiecujące narzędzie do identyfikacji i interpretacji struktur deformacyjnych pochodzenia sejsmicznego, a także do oceny ryzyka związanego z upłynnieniem osadów.

Do największych osiągnięć Doktoranta zaliczam następujące stwierdzenia:

- ✓ Obecność frakcji pylastej sprzyja utracie spójności osadu, zwłaszcza w warunkach wysokiego nawodnienia i przy obecności drobnych frakcji piasku. To ona wykazuje najwyższą mobilność i najczęściej uczestniczy bezpośrednio w inicjacji upłynnienia.
- ✓ Podstawowe parametry statystyczne uziarnienia, takie jak średnia średnica ziarna, skośność, wysortowanie i kurtoza mogą stanowić obiektywne kryteria ilościowe klasyfikacji typów struktur deformacyjnych.
- ✓ Analiza morfometrii struktur deformacyjnych wykazała wysoką powtarzalność proporcji (wysokość : szerokość) w obrębie danych struktur deformacyjnych, co może stanowić narzędzie pomocnicze w terenowej klasyfikacji struktur oraz w przybliżonej ocenie liczby zdarzeń, jak i intensywności siły deformującej.
- ✓ Na podstawie analizy modeli statystycznych można oszacować podatność osadu na upłynnienie, i mogą one stanowić narzędzie prognostyczne, umożliwiające ocenę potencjału deformacyjnego osadu.
- ✓ Możliwe jest wywołanie procesu upłynnienia i powstania struktur deformacyjnych przy zastosowaniu niskiej magnitudy ($M \sim 3,5$), pod warunkiem wysokiego nawodnienia osadu i odpowiedniego układu litologicznego warstw.
- ✓ Im bardziej zróżnicowana jest sukcesja osadów podatna na upłynnienie (pod względem frakcji osadu, gęstości właściwej i przepuszczalności), tym większe jest prawdopodobieństwo wystąpienia złożonych i dobrze widocznych struktur deformacyjnych.

5. Uwagi o charakterze merytorycznym i formalnym

Przedstawiony do recenzji materiał jednoznacznie wskazuje, że Doktorant opanował techniki analityczne niezbędne do przeprowadzenia zaplanowanych badań. Wybór technik badawczych czy zaplanowanie eksperymentów nie budzi żadnych moich krytycznych uwag ani wątpliwości. Komentarz autorski napisany jest w sposób jasny i logiczny.

Prosiłabym Doktoranta o ustosunkowanie się do następujących zagadnień:

1. Przeprowadzone analizy uwzględniały stopień mineralizacji roztworów wodnych, ale niestety nie znalazłam komentarza dotyczącego obecności i wpływu minerałów ilastych (tj. montmorylonit, illit czy kaolinit) na przeprowadzone eksperymenty. Ich udział we frakcji pylastej jest bezdyskusyjny, a specyficzne właściwości (dot. zwłaszcza minerałów mieszanopakietowych) mogą znacząco wpływać na uzyskane wyniki – proszę o komentarz.
2. Co to są „uszkodzenia chemiczne” i „potencjał tworzenia nowych struktur mineralnych”? - str. 20.
3. Dlaczego do eksperymentu (publikacja A3) wybrano kwas fluorowodorowy i kwas ortokrzemowy? Jak były one aplikowane i w jakich stężeniach?

Drobne dodatkowe uwagi do komentarza:

- sugerowałabym zamienić termin „mobilizacja metali” na „mobilizację jonów metali” (str. 5),
- termin „warunki chemiczne” w odniesieniu do pH, Eh czy obecności Fe i Au wydaje się być właściwszy niż „warunki geochemiczne”, podobnie jak i „roztwór wodny” zamiast „wody” (str. 11, 12),
- warunki redukcyjne związane są bardziej z ilością/dostępem tlenu niż światła (str. 15),
- określenie „wtórne produkty” w stosunku do Au czy tlenków Fe, jest mało szczęśliwe, podobnie, jak i „ciecz bogata w pierwiastki chemiczne” (str. 25).

6. Wniosek końcowy

Uważam że przedstawiona do recenzji praca doktorska mgr Szymona Świątka jest niezwykle wartościowym i **oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego**, dotyczącym rozpoznawania sejsmogenicznych struktur deformacyjnych.

Doktorant dowiódł, że **posiada szeroką wiedzę teoretyczną z zakresu nauk o Ziemi i środowisku**, jak również **potrafi korzystać z literatury** oraz w sposób **właściwy i kompleksowy potrafi zaplanować oraz samodzielnie przeprowadzić badania związane z tą tematyką**. Wysoko oceniam przedstawione w pracy aspekty innowacyjne, wyniki badań Doktoranta mogą znaleźć zastosowanie zarówno w rekonstrukcjach zdarzeń sejsmicznych, w geologii inżynierskiej, oraz mogą mieć znaczenie dla aktualizacji map zagrożeń sejsmicznych.

Zdaniem recenzentki sformułowany problem badawczy został w pełni osiągnięty. Lektura dysertacji robi bardzo dobre wrażenie. Wykorzystany przez Doktoranta warsztat naukowo-badawczy jest szeroki, a uzyskane wyniki umożliwiły pełne osiągnięcie zakładanych celów pracy. Praca nie budzi żadnych zastrzeżeń pod względem formalnym i merytorycznym.

W związku z powyższym uważam, że rozprawa doktorska mgr Szymona Świątka zatytułowana „Struktury deformacyjne powstałe w efekcie upłynnienia osadu – podejście doświadczalne” spełnia wymagania stawiane pracom na stopień doktora, w rozumieniu Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 r., poz. 1668 z późn. zm.).

Zgodnie z obowiązującymi przepisami prawnymi dotyczącymi szczegółowego trybu przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, składam formalny wniosek do Rady naukowej dyscypliny nauki o Ziemi i środowisku, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu o dopuszczenie mgr Szymona Świątka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Łęcy między recenzent,
Anna Lucini