

Prof. dr hab. inż. Marek Cała  
Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami  
Akademia Górniczo-Hutnicza

## RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartłomieja Warmuza pt.:

**„Dynamika osuwisk usytuowanych w litologicznie zróżnicowanych skałach fliszu karpackiego w oparciu o monitoring instrumentalny”**

Rozprawa została wykonana w Państwowym Instytucie Geologicznym PIB  
pod kierunkiem prof. dr. hab. Antoniego Wójcika

### 1. Wprowadzenie

Recenzję rozprawy doktorskiej magistra inżyniera Bartłomieja Warmuza p.t.: **„Dynamika osuwisk usytuowanych w litologicznie zróżnicowanych skałach fliszu karpackiego w oparciu o monitoring instrumentalny”** opracowałem na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Naukowej Państwowego Instytutu Geologicznego PIBo w Warszawie, Pana dr inż. Henryka Jacka Jezierskiego z dnia 20.06.2024 o znakach NK.433.5.2021.

Potwierdzam, że przedmiotowa rozprawa doktorska pod względem przedstawionej w niej problematyki naukowo-badawczej, mieści się w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych i w obszarze dyscypliny nauki o ziemi i środowisku.

Postępowanie w sprawie nadania stopnia naukowego doktora mgr inż. Bartłomieja Warmuza jest prowadzone w oparciu o uregulowanie prawne zawarte w art. 179 ustawy z dnia 3 lipca 2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. 2018 poz. 1668). W przypadku przedmiotowej rozprawy doktorskiej powinna ona spełniać, według powyższej ustawy, następujące warunki:

- *prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie nauk o ziemi i środowisku oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez kandydata,*
- *przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych kandydata w sferze gospodarczej lub społecznej.*

Opracowana przeze mnie recenzja zawiera analizę przedłożonej rozprawy pod kątem oryginalności problemu naukowego stanowiącego przedmiot rozprawy oraz ocenę udziału magistra inżyniera Bartłomieja Warmuza jego rozwiązaniu, a także ustalenie tych elementów rozprawy które potwierdzają Jego wiedzę teoretyczną i inne istotne umiejętności wymagane przez powyższą ustawę.

## 2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa składa się z 10 rozdziałów oraz spisu literatury. Literatura obejmuje zestaw 225 pozycji w 3 językach: polskim, angielskim (31 pozycji) i francuskim (1 pozycja).

We wprowadzającym rozdziale 1 zajęto się badaniem osuwisk w Karpatach fliszowych, które modelują górskie stoki i wpływają na użytkowanie terenu. Zidentyfikowano, że osuwiska są aktywowane głównie przez długotrwałe opady deszczu oraz wiosenne roztopy, a ich rozmieszczenie zależy od czynników geologicznych i hydrometeorologicznych. Od początku XX wieku prowadzono badania osuwisk w Polsce, a obecnie projekt SOPO monitoruje 67 osuwisk, które zagrażają infrastrukturze. W ramach tego projektu gromadzone i analizowane są dane dotyczące przemieszczeń, poziomu wód gruntowych i opadów atmosferycznych, co pozwala na lepsze zrozumienie dynamiki tych procesów.

W rozdziale 2 poświęconym opisowi celu i zakresu pracy Autor zajął analizą wpływu opadów atmosferycznych na dynamikę osuwisk, której przebieg uzależniony jest od warunków geologicznych. Wykonał zestawienie danych opadowych, poziomu wód gruntowych oraz przemieszczeń na wybranych osuwiskach w Karpatach, aby skorelować te czynniki ze sobą. Przeprowadził szczegółowe analizy dla okresów o zwiększonych opadach, badając ich wpływ na poziom wód gruntowych i dynamikę osuwisk. Dla realizacji celu wybrał jedenaście osuwisk, które reprezentowały różnorodne warunki geologiczne i wykazywały różny stopień aktywności.

W rozdziale 3 zajęto się problematyką monitoringu osuwisk, który jest istotnym zagadnieniem geotechnicznym, opartym na systemach pomiarów powierzchniowych, wgłębnych i meteorologicznych. W Polsce systemy te są rzadko stosowane ze względu na wysokie koszty, a monitoring prowadzony jest głównie w kopalniach odkrywkowych i przy skomplikowanych projektach geotechnicznych. PIG-PIB prowadzi najrozleglejszy monitoring osuwisk w Polsce, bazując na trójczłonowym systemie pomiarów oraz wprowadzając nowe technologie, takie jak skaning laserowy, fotogrametria z dronów i technologia InSAR. Czynniki najczęściej wpływającymi na aktywność osuwisk są opady atmosferyczne oraz zmiany hydrometeorologiczne, które były analizowane w wielu badaniach prowadzonych w Karpatach.

Metodyka badań zastosowanych w pracy doktorskiej została przedstawiona w rozdziale 4. Wskazano na kolejne etapy prac polegające na rozpoznaniu osuwisk, zastosowaniu i interpretacji pomiarów inklinometrycznych, geodezyjnych oraz pomiarów opadów atmosferycznych oraz zwierciadła wód gruntowych.

Największy w pracy rozdział 5 dotyczy charakterystyki obszaru badań dla wytypowanych 11 osuwisk znajdujących się w południowej części Polski. Jako obiekty badań wybrano osuwiska w Milówce, Witanowicach, Lanckoronie, Kasince Małej, Żegocinie, Rożnowie-Zagórze, Grybowie, Łowczówku, Sławęcinnie, Małej oraz Ruszelczycach. Dla każdej lokalizacji przedstawiono budowę geologiczną masywu skalnego, opis sytuacji hydrogeologicznej oraz monitoring powierzchniowy i inklinometryczny.

Naturalnym uzupełnieniem dla rozdziału 5 jest rozdział 6 w, którym dla każdego z wytypowanych osuwisk przeprowadzono analizę wpływu opadów atmosferycznych na zmiany położenia zwierciadła wód gruntowych i dynamikę ruchów masowych.

W rozdziale 7 przedstawiono zarejestrowane przemieszczenia punktów w kolumnach inklinometrycznych w funkcji miesięcznych sum opadów. Okresy wzrostu dynamiki przemieszczeń oznaczono szarymi polami, co umożliwiło wskazanie okresów intensyfikacji aktywności osuwisk. Analiza wykazała korelację pomiędzy wysokimi sumami opadów a wzrostem aktywności osuwisk, szczególnie w latach o wyjątkowo intensywnych opadach, takich jak 2010 czy 2014 rok. Zróżnicowanie wartości przemieszczeń w różnych miejscach tłumaczono różnicami w miąższości strefy ścinania oraz plastycznością skał w tych strefach.

W rozdziale 8 zajęto się litologicznymi uwarunkowaniami dynamiki osuwisk. Analizy te przeprowadzono w odniesieniu do podłoża skalnego będącego niejako łóżyskiem osuwiska oraz składu koluwiów.

W rozdziale 9 zawarto krótkie uwagi dotyczące zastosowanych zakresów monitoringu, zaś w rozdziale 10 przedstawiono podsumowanie pracy.

### 3. Merytoryczna ocena pracy

#### 3.1 Ocena celu i tezy pracy

Cel pracy jest sformułowany dość jasno i sprowadza się do określenia wpływu opadów atmosferycznych na aktywizację ruchów masowych osuwisk w funkcji budowy geologicznej masywu skalnego.

Dla realizacji celu pracy wytypowano 11 przypadków, które są reprezentatywne dla pewnego spektrum osuwisk występujących w Karpatach. Według Autora są to osuwiska, które wykazywały ciągłą aktywność podczas monitoringu i ulegały reaktywacji tylko po ponadnormatywnych opadach deszczu.

Zakres pracy został scharakteryzowany w rozdziale 2 niniejszej recenzji.

W pracy nie ma tezy jako takiej, ale w rozdziale 2 dysertacji została sformułowana hipoteza badawcza, którą z pewnym przybliżeniem można potraktować jako tezę. I chociaż Autor nigdzie tego wprost nie napisał, to można uznać, że taka teza (hipoteza) została udowodniona w sposób dość przekonujący.

#### 3.2 Oryginalność naukowa rozprawy doktorskiej

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Bartłomieja Warmuza jest oryginalnym i wartościowym pod względem naukowym opracowaniem szeregu zagadnień, które mogą mieć praktyczne zastosowania.

Do oryginalnych osiągnięć zawartych w pracy zaliczyć należy:

- wytypowanie 11 przypadków procesów osuwiskowych dla których przeprowadzono ich rozpoznanie, scharakteryzowano budową geologiczną oraz zestawiono dane dotyczące opadów, ruchów z.w.g oraz pomiarów inklinometrycznych i geodezyjnych,
- podjęcie próby skorelowania danych opadowych ze zmianami zwierciadła wód gruntowych i przyrostami przemieszczeń w analizowanych osuwiskach,
- wykonanie analizy wpływu opadów na poziom wód gruntowych i aktywność procesów osuwiskowych,
- analiza zależności położenia z.w.g. od budowy geologicznej,

- określenie charakteru aktywności osuwisk w zależności od budowy geologicznej i warunków hydrologicznych.

Uważam że przedstawione powyżej zagadnienia potwierdzają naukową oryginalność recenzowanej rozprawy doktorskiej i wskazują na istotny udział doktoranta Bartłomieja Warmuza w jej powstaniu. Oceniam zatem pozytywnie osiągnięcia Doktoranta w tym zakresie.

#### 4. Uwagi dyskusyjne

##### 4.1 Uwagi krytyczne

Poniżej sformułowano uwagi dyskusyjne związane z tematyką pracy doktorskiej, na które oczekuję od Doktoranta ustosunkowania się na publicznej obronie.

1. Autor w trzecim rozdziale pracy generalizuje, że „*najczęstszym czynnikiem wpływającym na dynamikę osuwisk w Polsce są opady atmosferyczne*”. Należałoby dodać, że wskazana tendencja dotyczy osuwisk zlokalizowanych na skarpach i zboczach ukształtowanych naturalnie, ewentualnie wzdłuż ciągów komunikacyjnych przecinających tego typu zbocza. Zupełnie inny czynnik będzie kluczowy dla osuwisk występujących na skarpach i zboczach np. w kopalniach odkrywkowych.
2. Na str. 7 autor podaje, że „*pomiary inklinometryczne umożliwiły śledzenie zmian z dużą dokładnością na wszystkich występujących w osuwisku powierzchniach poślizgu wraz z określeniem dynamiki i kierunku przemieszczeń*”. Kluczowymi parametrami w analizie danych z monitoringu inklinometrycznego są głębokości rejestrowanych stref deformacji wglębnych oraz wielkości wglębnych przemieszczeń poziomych.
3. Na str. 9 autor podaje: „*Cykliczne pomiary współrzędnych tych punktów umożliwiają obliczenie wektorów przemieszczeń, a więc określenie kierunku i tempa deformacji powierzchni terenu*”. Generalnie to pomiary reperów geodezyjnych pozwalają na obliczenie przyrostów pomiędzy współrzędnymi X, Y i Z. Samego wektora nie obliczamy, a liczymy jedynie jego współrzędne, a więc miary długości rzutów tego wektora na poszczególne kierunki przyjętego układu współrzędnych. Z punktu widzenia mechaniki jest to istotna różnica.
4. Większość pracy pod względem objętościowym zajmują opisy 11 osuwisk (strony od 13 do 87, cała rozprawa liczy 137 stron bez spisu literatury). Opisy nie zawierają analizy istotnych parametrów kinematycznych.
5. Podstawowe informacje o osuwiskach zamieszczono w osobnych tabelach na przestrzeni kilkudziesięciu stron. Na pewno potrzebne byłoby zestawienie wszystkich omawianych osuwisk i kluczowych parametrów, szczególnie tych kinematycznych w jednej tabeli.
6. We wskazanych tabelach powinny znaleźć się również takie parametry jak: maksymalna rejestrowana prędkość, maksymalne zarejestrowane przemieszczenie, głębokości stref deformacyjnych.
7. Rekomendowane byłoby wykreślenie trajektorii ruchu reperów geodezyjnych.
8. Odczuwa się brak wykresów obrazujących zmiany wartości przemieszczeń w czasie, a także wykresów wykonanych dla przemieszczeń rejestrowanych w osiach poziomych,

- przemieszczenia poziomego, pionowego oraz całkowitego. Brakuje także wykresów zmian wartości prędkości w czasie, wykresów wykonanych dla prędkości rejestrowanych w osiach poziomych, przemieszczenia poziomego, pionowego oraz całkowitego.
9. Nie wiadomo jakie przemieszczenia są podawane przy opisie monitoringu powierzchniowego (poziome, w osiach X, Y, czy może całkowite z uwzględnieniem przemieszczeń pionowych?).
  10. Na rysunkach obrazujących rozmieszczenie punktów pomiarowych dla poszczególnych osuwisk, autor pokazuje wektory przemieszczeń. Jednak nie wiadomo jakie są to przemieszczenia, czy tylko poziome, czy uwzględniają one składową pionową? Cenną informacją byłoby naniesienie na rysunki rzędnych wysokościowych przynajmniej w rejonie analizowanych reperów, aby można było odnieść obserwowany ruch do nachylenia terenu.
  11. Wielokrotnie pojawia się odniesienie wartości przemieszczeń do wartości błędu pomiarowego, ale nie jest podane, ile on wynosił w przypadku prowadzonych pomiarów (wartości te pojawiają się dopiero na stronie 134 w rozdziale 9).
  12. Brakuje zdjęć rejonów osuwiskowych wykonanych w terenie. Opis osuwisk jest bardzo rozbudowany, dokumentacja fotograficzna na pewno pozwoliłaby na jego skrócenie.
  13. W opisach monitoringu inklinometrycznego nie wskazano, o jakim charakterze były rejestrowane ruchy (najczęściej był to ruch o charakterze blokowym, pojawił się ruch o charakterze pełzania głębinowego – m. in. str. 39, a także ruch o charakterze pełzania warstwowego – m. in. str. 18, 31).
  14. W opisach wielokrotnie wskazywane jest uplastycznienie np. łań, w których rozpoznano potencjalną powierzchnię poślizgu, używano sformułowania „*miękkich łupków ilastych*”, jednak nigdzie w pracy nie zamieszczono parametrów fizycznych i mechanicznych ani koluwium, ani ośrodka nienaruszonego. Cenna byłaby informacja o parametrach wytrzymałościowych stref, na których wyróżniono głębokości największych rejestrowanych przemieszczeń poziomych oraz ich odniesienie do wartości parametrów skał otaczających (niżej i wyżej ległych).
  15. Na rysunkach przedstawiających zestawienie opadów deszczu, zmian z.w.g. i przyrostów przemieszczeń na poszczególnych osuwiskach nie wskazano dla jakiej głębokości były zarejestrowane wskazane przemieszczenia poziome w inklinometrach.
  16. Chcąc szukać korelacji, a więc miary powiązania pomiędzy wielkością opadów atmosferycznych, wysokością zwierciadła wód gruntowych i wielkością przemieszczeń, należałoby skorzystać z bardziej zaawansowanych narzędzi i metod statystycznych niż wykorzystane w pracy (choćby analiza regresji prostej wykonując ocenę wyrazu wolnego i współczynnika regresji wraz z oceną normalności reszt). Podstawowym celem analizy korelacyjnej powinno być także ustalenie takich miar jak siła, postać i kierunek korelacji.
  17. Czy w prowadzonej analizie kluczowym czynnikiem nie powinna być raczej intensywność opadów atmosferycznych wyrażona w mm/dobę aniżeli sumaryczna wielkość opadów? Zasadność wprowadzenia tego parametru w pracy potwierdzają pewne poczynione przez autora w rozdziale 8 spostrzeżenia nt. wpływu trzydniowe, czterodniowej kumulacji opadów.

18. Analiza sumarycznej wielkość opadów i jej wpływu na rozwój osuwisk powinna być uzupełniona o dane z pomiaru temperatury powietrza. Należy uwzględnić efekt ubywania wody ośrodka oraz dokonać oceny na ile był on istotny przy kształtowaniu się wysokości z.w.g.
19. Cenne byłoby także opracowanie zależności pomiędzy wartością współczynnika filtracji, głębokością potencjalnej powierzchni poślizgu, a intensywnością opadów atmosferycznych. Zalecana byłaby tu np. postać nomogramu.
20. Interesujące byłoby pokazanie prostego modelu analitycznego obrazującego szybkość infiltrującej wody opadowej w głąb analizowanego ośrodka fliszu karpackiego. Danymi wejściowymi mogłyby być miąższość i współczynniki filtracji warstw oraz wielkość/intensywność opadów atmosferycznych, a wielkością wyjściową czas, po jakim woda zawodni potencjalną powierzchnię poślizgu na danej głębokości, co daje czas ciągłych opadów o konkretnej intensywności.
21. Głównym pojęciem, wykorzystywanym przez autora w pracy jest „*dynamika osuwisk*”. Należy pamiętać, że z definicji dynamika, to dział mechaniki zajmujący się opisem ruchu pod wpływem działających sił. W pracy nie dokonano opisu ruchu ani wyznaczenia podstawowych wielkości kinematycznych dla analizowanych osuwisk (tj. przemieszczeń, prędkości przemieszczeń, ewentualnie przyspieszeń i ich zmian w czasie). W związku z tym nie można tu mówić o analizie dynamiki osuwisk.
22. Być może bardziej odpowiednim tytułem rozprawy w tym przypadku byłby: „*Wpływ wielkości opadów atmosferycznych na rozwój wybranych procesów osuwiskowych w Karpatach fliszowych*”.

#### 4.2 Pytania problemowe

Na stronie 9 autor stwierdza, że „*W pracy przedstawiono wyniki powierzchniowej aktywności osuwisk w oparciu o początkowe i końcowe pomiary. Ze względu na znacznie mniejszą precyzję nie wykonano szczegółowej analizy przemieszczeń jak w przypadku pomiarów inklinometrycznych*”. Jaka jest w takim razie dokładność pomiaru repera geodezyjnego, a jaka inklinometru?

Na str. 49 przy opisie monitoringu powierzchniowego dla osuwiska w Rożnowie-Zagórze, autor podaje, że dla jednego z punktów pomiarowych zarejestrowano azymut ruchu przeciwny do nachylenia stoku. Jako powód autor wskazuje „*mniejszą precyzję pomiarów lub niestabilne zachowanie betonowej obudowy otworu inklinometrycznego*”. Czy autor widzi jeszcze jakąś przyczynę jakiego zjawiska, szczególnie że w opisie monitoringu inklinometrycznego (kolumna 11) autor komentuje, że „*pochyle krzywizny otworu w kierunku wartości ujemnych wskazuje na rotacyjny charakter górnej części osuwiska*”?

W pracy bardzo dużo miejsca poświęcono opisowi litologicznemu utworów fliszowych dla poszczególnych jedenastu osuwisk. Czy autor może wskazać na znaczące i kluczowe dla omawianego zjawiska różnice w litologii? Czy istniałaby możliwość ujednoczenia tego opisu, jako generalnego opisu utworów fliszowych przedmiotowego rejonu Karpat? W pracy nie ma bowiem bezpośredniego nawiązania charakterystyki samego ruchu osuwiskowego w stosunku do litologii warstw (temat ten został poruszony dopiero w rozdziale 8 liczącym 3 strony).

Na stronie 67 autor stwierdza, iż „nie jest wykluczone, że miąższość koluwiów w otworze I3 jest większa, a najniższa nieaktywna powierzchnia poślizgu przebiega głębiej. Wniosek taki sformułowano ze względu na duże rozmiary osuwiska” Nasuwa się pytanie czy wielkość powierzchni objętej osuwiskiem jest jednoznacznie skorelowana z jego zasięgiem głębokościowym? Kolejne pytanie brzmi czy na podstawie danych z dwóch pozostałych inklinometrów, I1 oraz I2, można podstawić wniosek o większym zasięgu głębokościowym osuwiska (szczególnie jego części zachodniej)?

Jak autor wytłumaczyłby tendencję obserwowaną na niektórych wykresach, pokazujących porównanie opadów atmosferycznych i zmian z.w.g. na poszczególnych osuwiskach (w rozdziale 6), gdzie obserwuje się spadek głębokości wód gruntowych wraz z narastającą sumą opadów atmosferycznych?

Co zadecydowało o wyborze akurat 11 zaprezentowanych w pracy osuwisk? Czy zdaniem autora nie mogłoby być ich mniej, a może zupełnie odwrotnie, czy nie wskazane byłoby wykonanie kolejnych analiz? Czy inna liczba przypadków mogłaby wpłynąć na uzyskane wnioski?

#### 4.3 Uwagi edytorskie

Zaleca się numerowanie stron wraz ze spisem treści.

Doprecyzowania wymagałoby, kto wykonywał pomiary inklinometryczne, pomiary reperów oraz zwierciadła wód gruntowych. Czy choć częściowo były one wykonane przez autora pracy, czy podlegały jedynie analizie?

Str. 1 i 4 – na str. 1 autor podaje podział czynników na aktywne i pasywne, dalej w pracy stosuje określenie czynnik aktywizujący osuwisko, np. już na str. 4 – zalecane byłoby ujednolicenie stosowanego nazewnictwa.

Str. 35 – użyto sformułowania „*słabe wartości filtracyjne*” – merytorycznie poprawne byłoby użycie niskie/wysokie parametry filtracyjne.

Str. 133 – autor używa sformułowania: „*Zdaniem autora szybka reakcja na opady atmosferyczne związana może być jedynie z znacznym obciążeniem wodą takich osuwisk, a będących blisko granicy stateczności*”. Poprawne merytorycznie byłoby sformułowanie „*zbczy/skarp znajdujących się w stanie równowagi granicznej*”.

#### 5. Wniosek końcowy

Po dokonanej ocenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartłomieja Warmuza p.t.: „*Dynamika osuwisk usytuowanych w litologicznie zróżnicowanych skałach fliszu karpackiego w oparciu o monitoring instrumentalny*” stwierdzam, że przedstawia ona oryginalne rozwiązanie problemu posiadającego cechy naukowe, który mieści się w obszarze nauki o ziemi i środowisku. Problem ten posiada zarówno wartość poznawczą jak i wyraźne znaczenie użyteczne dla jego wdrożenia w sferze gospodarczej. Moja recenzja w tym zakresie jest pozytywna.

Ponadto Doktorant, w trakcie realizacji badań wykazał się szeroką wiedzą w zakresie tematyki związanej z rozprawą doktorską oraz poprawnie opracował odpowiednią metodykę

badań, które umożliwiły skuteczne rozwiązanie złożonego problemu naukowego, potwierdzając tym samym jego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowo badawczej.

Na tej podstawie stwierdzam, że zostały spełnione wymagania formalne stawiane pracom doktorskim znajdujące się w obowiązującym akcie prawnym i wnoszę do Rady Naukowej Państwowego Instytutu Geologicznego PIB w Warszawie o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr inż. Bartłomieja Warmuza do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.



prof. dr hab. Inż. Marek Cała