

**Recenzja rozprawy doktorskiej**  
**mgr inż. Bartłomieja Warmuza**

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. **Bartłomieja Warmuza** pod tytułem „**Dynamika osuwisk usytuowanych w litologicznie zróżnicowanych skałach fliszu karpackiego w oparciu o monitoring instrumentalny**” przygotowana została w Oddziale Karpackim Państwowego Instytutu Geologicznego – PIB pod kierunkiem naukowym prof. dr hab. **Antoniego Wójcika**.

Praca zawiera 137 stron tekstu podzielonego na 10 rozdziałów. Bogaty materiał ilustracyjny wklejony jest w odpowiednich miejscach w tekście i obejmuje 87 figur i 24 tabele. Autor wykorzystał także różnorodną literaturę przedmiotu zestawioną alfabetycznie w spisie w rozdz. 11 (217 pozycji) obejmujących: 147 artykułów metodycznych i regionalnych (w tym 25% w języku angielskim), 24 mapy i 9 monografii objaśnień do map, 20 kart osuwisk, 15 dokumentacji geologicznych i geologiczno – inżynierskich oraz 2 rozprawy doktorskie. Na uwagę zasługuje uwzględnienie w spisie pozycji historycznych zarówno z międzywojnia jak i wcześniejszych (np. artykułu Zuberera i Blautha z 1907 poświęconego katastrofie osuwiskowej w Duszatynie w Bieszczadach, w wyniku której w niszy osuwiskowej powstały jeziora). Odniesienia historyczne są niezmiernie cenne z uwagi na dynamiczny charakter przekształceń zbcoczy lub niekiedy długoletnią stabilizację i późniejsze uaktywnienie.

W okresie ponad 100 lat rozwijana była metodyka badań i prognozowania rozwoju osuwisk uzależniona początkowo od doświadczenia kartografów, klasycznych pomiarów geodezyjnych a następnie wprowadzania stereoskopowej interpretacji zdjęć lotniczych, satelitarnych, instalowania w koluwiach i podłożu kolumn inklinometrycznych, piezometrów oraz ciągłego pomiaru laserowego przemieszczeń w miejscach wykazujących znaczący ruch pełzający.

Zarówno charakterystyka jak i prognozy rozwoju powierzchniowych ruchów masowych są bardzo zindywidualizowane. Wynika to z różnorodnych przyczyn i zmusza do kompleksowego wieloczynnikowego podejścia w prowadzeniu obserwacji i oceny ryzyka osuwiskowego. Generalnie przyjmuje się podział na czynniki pasywne i aktywne

Doktorant korzystał z wyboru bogatego materiału obserwacyjnego gromadzonego od kilkunastu lat w ramach programu SOPO i dokonał interpretacji związków pomiędzy wartościami i dynamiką opadów, wynikającej stąd zmiany warunków wodnych w obszarach osuwiskowych oraz pomiarów przemieszczeń materiału koluwalnego: zarówno wgłębnie (inklinometry) jak i powierzchniowych przemieszczeń punktów przy użyciu odbiorników GNSS.

Generalnie celem pracy jest analiza związków przyczynowo – skutkowych pomiędzy intensywnością opadów a uaktywnieniem i dynamiką przemieszczeń na

stokach osuwiskowych. Idea ilościowego określania tzw. progów opadowych skutkujących uruchomieniem powierzchniowych ruchów masowych ma długą tradycję zarówno w Polsce jak i za granicą. Odnosząc się do warunków karpackich oprócz wspomnianych wyżej katastrof bieszczadzkich Doktorant przytacza późniejsze prace oparte na coraz kompletniejszym materiale obserwacyjnym hydrologiczno – meteorologicznym oraz analizach form i dynamiki osuwisk. Metodyka monitoringu udoskonalana była początkowo w miejscach o największym zagrożeniu (Szymbark lata 70-te XX w, skarpy zbiornika Włocławskiego – lata 80-te, Bydgoszcz, Jastrzębia Góra po 2000 r.). Najbardziej zaawansowany kompleksowy, ciągły monitoring prowadzony jest od 2018 roku w Międzybrodziu Bialskim.

Zagadnienie prognozowania osuwisk wiąże się z rozwijaniem nowoczesnych metod wieloaspektowych badań i analiz:

- geologicznego rozpoznawania strukturalnego w nawiązaniu do rzeźby terenu i przekształceń form koluwalnych ( z wykorzystaniem m.in. NMT, analizy stereograficznej zdjęć lotniczych);
- określania zmian wytrzymałości na ścinanie, a także parametrów pełzania gruntów, zwietrzelin i skał oddzielonych sedymentacyjnymi i tektogenicznymi powierzchniami nieciągłości (co celowo w niniejszej pracy zostało pominięte);
- wpływu intensywnych opadów skutkujących zarówno:
  - zmianami ciężaru koluwiów,
  - powstawaniem ciśnienia spływowego,
  - znaczącym niekiedy pogarszaniem właściwości fizyczno – mechanicznych gruntów w masywie i/lub na powierzchni poślizgu.

Ta złożoność uwarunkowań podatności osuwiskowej powoduje, że jak stwierdzili w 2019 r. Doktorant we współpracy z Piotrem Nescierukiem „opady atmosferyczne o podobnych wartościach i rozkładzie czasowym bardzo różnie odzwierciedlają się w uaktywnieniu osuwisk” (str.5)

Tak więc opady, choć stanowią zazwyczaj najczytelniejszy czynnik, w wyniku którego można oczekiwać uruchomienia powierzchniowych ruchów masowych nie zawsze muszą powodować ich powstawanie lub też skutkują różną dynamiką ruchu mas gruntowo-skalnych. Na znaczącej liczbie danych z monitoringu prowadzonego w polskiej części Karpat oparta jest główna teza recenzowanej pracy: ocena wpływu opadów o różnej charakterystyce na dynamikę osuwisk z uwzględnieniem zmienności geologicznej i strukturalnej.

W recenzowanej pracy wyróżnić można zasadnicze części:

- Prezentację problemu (**rozdz.1 i 2**), przegląd literatury i materiałów archiwalnych charakteryzujących dynamikę karpackich osuwisk z uwzględnieniem obserwacji i prac od początku XX wieku (**rozdz 3**).
- Charakterystykę prowadzonego obecnie - w ostatnich kilkunastu latach kompleksowego monitoringu (SOPO).

Zastosowana w recenzowanej pracy *Metodyka badań* (**rozdz. 4**) obejmuje:

- rozpoznawanie osuwisk poprzez kartowanie, opróbowanie wiertnicze;
- coraz bardziej zobiektywizowaną analizę geomorfologiczną na podstawie zdjęć i pomiarów z różnych pułapów wysokościowych poczynając od dronów poprzez zdjęcia lotnicze i pomiary satelitarne;
- cyfrowe przetworzenie tych danych co pozwala na wyznaczenie istotnych elementów osuwiska: jego granic i zasadniczych przemian morfologicznych stoku w funkcji czasu;
- pomiary przemieszczeń wgłębnych prowadzone w funkcji czasu w inklinometrach otworowych (o wysokiej precyzji);

- powierzchniowe pomiary wykorzystujące odbiorniki GNSS i systemy nawigacji satelitarnej; (scharakteryzowano tylko przez różnice końcowych i początkowych pomiarów (ze względu na ich mniejszą dokładność);
- pomiary z automatycznych deszczomierzy zainstalowanych na analizowanych osuwiskach. Wykorzystywano także dane z najbliższych stacji IMGW. Należy podkreślić że w ostatnich latach zjawiska opadowe, a szczególnie deszcze nawalne miewają bardzo ograniczony przestrzennie zasięg – stąd bezpośrednio obserwacje opadowe z terenu osuwiska są najbardziej wiarygodne;
- pomiary zmian położenia wód gruntowych w piezometrach, częściowo za pośrednictwem limnimetrów z możliwością odczytów godzinnych, co może być istotne w przypadku deszczy nawalnych.

Zamiar przedstawienia relacji opadów – położenia zwierciadła wód gruntowych oraz przemieszczeń gruntów na wybranych 11 osuwiskach z całego polskiego odcinka Karpat w okresie średnio kilkunastoletnim wymagał akceptacji pomiarów z różnych okresów i różnych instrumentów wprowadzanych sukcesywnie i zapewne z coraz lepszą dokładnością.

Zasada określenia przyrostu przemieszczenia została podana wg Zabuskiego na schemacie kolumny inklinometrycznej (fig.1). Przyrost analizowanych przemieszczeń przyjmuje się jako rzut poziomy. Brakuje takiej informacji w odniesieniu do wyników pomiarów GNSS. W tabelach podawana jest nie objaśniona wartość  $\Delta D$ . Czy dotyczy ona także rzutu poziomego jak w inklinometrach? W tekście (str. 9) mówi się o „obliczeniu wektorów przemieszczeń”. Wektory mogą być definiowane w przestrzeni 2D lub 3D. Jaka w zastosowanych pomiarach satelitarnych była dokładność wyznaczenia położenia współrzędnych punktu w płaszczyźnie poziomej XY i pionowej Z. Tych informacji w rozdz. 4.3 brakuje (pojawia się dopiero w rozdz.9) w przeciwieństwie do metodyki pomiarów z deszczomierzy, gdzie charakterystyka dokładnościowa została zamieszczona w tab 1. (rozdz.4.4). W odniesieniu do pomiarów piezometrycznych także brakuje podania dokładności.

Wymagania dokładności w geologii są zazwyczaj mniejsze niż np. w geodezji – przede wszystkim z tego powodu, że dysponujemy punktowymi lub osiowymi (profile wiertnicze) pomiarami, które niekoniecznie są w pełni reprezentatywne dla często niejednorodnego ośrodka gruntowego. Niemniej tam gdzie to jest możliwe należy dołożyć starań by podać stosowane standardy dokładnościowe. Pozwala to na ocenę miarodajności uzyskiwanych zależności, a także zaprojektowanie ekonomicznej częstotliwości wykonywania pomiarów w dostosowaniu do prędkości obserwowanych zmian.

W dalszej części pracy (rozdz. 5) w tabelach podawane są wartości przemieszczeń  $\Delta D$ . W przypadku wartości kilku, kilkunastu a niekiedy  $> 20$  mm przemieszczeń w okresie kilkunastu lat w uwagach pojawia się komentarz „brak przemieszczeń”. Ta ocena nie jest jednoznacznie powiązana z jednolitym kryterium liczbowym – zapewne z powodu zindywidualizowanych warunków na analizowanych osuwiskach. Niemniej, jeżeli nawet małe przemieszczenia wykazują ten sam trend (np. przyrostowy czyli znaki dodatnie) to trudno jest jednoznacznie rozstrzygnąć, że jest to absolutny brak przemieszczeń. W publikacji warto te sprawy przedyskutować w nawiązaniu do analizy niepewności pomiarowych, z których można określić prawdopodobieństwo i wielkość błędu pomiarowego oddzielając go od np. powolnych i małych trendów zmian.

Zagadnienia te będą nabierały znaczenia zapewne wraz z doskonaleniem technik pomiarowych jak i koniecznością monitorowania powolnych przemieszczeń powodowanych np. pełzaniem warstw gruntu w dłuższym okresie prowadzącym do osiągnięcia awaryjnych lub katastrofalnych stanów granicznych.

Cel badawczy jakim jest ocena relacji między opadami, położeniem wód gruntowych oraz przemieszczeniami (ruchami masowymi) gruntów i skał został zrealizowany przez analizę 11 osuwisk rozwiniętych (tab.2) na różnych 5 jednostkach płaszczowinowych oraz na granicy z mioceniem transgresywnym w Karpatach. Wybrane osuwiska są w miarę regularnie rozmieszczone na obszarze polskich Karpat Zewnętrznych. Kryteria przyjęte przy wyborze osuwisk wskazują na dążenie do regionalnej reprezentatywności analizowanego materiału badawczego. Spośród kilkudziesięciu monitorowanych osuwisk stanowią one kilkanaście procent i spełniają wymogi odpowiednio długiego, co najmniej kilkunastoletniego prowadzenia obserwacji. Wykazują też zmienną dynamikę aktywności osuwiskowej.

Analizę badawczą podzielono na dwa etapy.

W **rozdziale 5** przedstawiono budowę geologiczną, opis sytuacji hydrogeologicznej, monitoring powierzchniowy oraz inklinometryczny każdego osuwiska. W ten sposób zaprezentowany został bogaty materiał obserwacyjny pozyskiwany przez wiele lat dzięki pracy całego zespołu badaczy zatrudnionych przy SOPO ( w tym zapewne także znacząco przez Autora rozprawy). Na podkreślenie zasługuje pracowite, staranne i porównywalne zilustrowanie materiału badawczego obejmujące dla każdego z analizowanych osuwisk następujące elementy:

- Tabelaiczne zestawienie podstawowych informacji o osuwisku zawierające:
  - Sytuację geomorfologiczną w formie podania części stoku objętej osuwiskiem – kryteria tej oceny powinny być skomentowane albo zbiorczo albo przy opisach kolejnych osuwisk;
  - Typ ruchu wg Varnesa oraz Dikau i in.: najczęściej złożony lub zsuw, zsuw konsekwentny. Wskazane byłoby odniesienie się do dwóch kryteriów podziału Varnesa tj. rodzaju materiału i rodzaju ruchu. W starszych pracach wyróżniane było kilka określeń kierunków ruchu w stosunku do struktur (osuwiska asekwentne, konsekwentne, inekwentne, obsekwentne subsekwentne i złożone). Do podziału tego nie nawiązano w pełni w analizowanym materiale. Czy złożoność budowy geologicznej i zmiany kierunkowe we fliszu wskazują, że większość z nich można zaklasyfikować tylko ogólnie jako złożone ?
  - Parametry wymiarowe: powierzchnię osuwiska, średnie nachylenie, średni azymut ruchu, długość i szerokość osuwiska.
- Lokalizację
  - osuwiska na mapie topograficznej oraz w kilkukrotnie większej skali mapę geologiczną na tle NMT ilustrującą litostratygrafię, elementy strukturalne (w tym jednostki tektoniczne);
  - granic osuwiska z wyróżnieniem ich charakteru oraz wysokości systemów skarp osuwiskowych;
  - punktów monitoringu powierzchniowego GNSS z zaznaczeniem wektorów przemieszczeń;
  - otworów badawczych inklinometrycznych i piezometrycznych.

- Informacje te uzupełnia tabelaryczne zestawienie punktów geodezyjnych z podaniem
  - wartości przemieszczenia  $\Delta D$  (w metrach z dokładnością do mm),
  - azymutu wektora,
  - uwag (najczęściej daty ostatnich pomiarów lub oceny ich miarodajności – w przypadku niewielkich wartości Autor opatruje to komentarzem „brak przemieszczeń” – co moim zdaniem jest uproszczeniem i powinno być wyjaśnione np. warunkami pomiaru).
- Wykresy przemieszczeń wgłębnych często z fotografiami kolejnych odcinków rdzenia pozwalających ocenić charakter destrukcji materiału skalnego – szczególnie na powierzchniach poślizgu dokumentowanych przez te przemieszczenia. Przedstawione charakterystyki przemieszczeń niekiedy zmieniają swą dynamikę co nie jest łatwe do wyśledzenia na rysunku – szczególnie gdy są to małe zmiany. Zagadnienie to jednak jest uzupełnione w rozdz. 6 gdzie podane są wykresy zestawiające przyrosty przemieszczeń.

W pracy Autor zrezygnował z przedstawienia syntetycznych przekrojów pokazujących relacje elementów strukturalnych w obrębie osuwiska i w jego podłożu. W zamian za to informacje zazwyczaj pokazywane na przekrojach są podawane w starannym, zindywidualizowanym opisie tekstowym obejmującym:

- charakter osuwiska i jego historię,
- przesłanki wyboru sposobów monitorowania i prowadzenia badań,
- budowę geologiczną zawierającą charakterystykę litostratygraficzną skał podłoża, zwierzelin oraz koluwiów,
- opis sytuacji hydrogeologicznej ze szczególnym uwzględnieniem przepuszczalności utworów koluwalnych i dróg krążenia wód opadowych w spękaniach, powierzchniach przemieszczeń (ścięcia) oraz w podłożu,
- omówienie wyników monitoringu powierzchniowego oraz inklinometrycznego z określaniem charakteru powierzchni poślizgu.

W charakterystyce osuwisk Autor stoi przed dylematem. Z jednej strony wskazane jest ich przedstawienie wg ujednoczonych kryteriów, z drugiej zaś strony analizowane osuwiska wykazują bardzo dużą zmienność swoich uwarunkowań, charakteru i historii. Zindywidualizowany opis tekstowy w tej sytuacji dobrze oddaje to zróżnicowanie.

Drugi etap analizy zawarty jest w **rozdziale 6**.

Na podstawie monitoringu opadów, wyników pomiarów zmian położenia zwierciadeł wód gruntowych w obrębie osuwisk oraz narastania przemieszczeń materiału gruntowego (koluwalnego) przedstawiono w funkcji czasu dynamikę tych powiązanych elementów triady przyczynowo – skutkowej. Relacje te pokazywane są zarówno na wykresach bezpośrednich pomiarów w funkcji ich czasu jak i w wartościach narastających. Jakie są przesłanki i zalety stosowania różnych sposobów prezentowania danych liczbowych ?

Graficzne porównania tych wielkości w całym kilkunastoletnim przedziale czasu prowadzenia monitoringu pozwoliło na wskazanie okresów, w których zaobserwowano dużą dynamikę przyczynowo – skutkową.

Analizując aktywność poszczególnych osuwisk wskazać można różne scenariusze dynamiki. Przykładowo spektakularne, odnowione w 2010 roku po

kilkudziesięciu latach (1960 r.) osuwisko w Milówce wykazywało stabilność. Nie naruszyły jej znaczące majowe opady w 2010 r. o skumulowanej wartości przekraczającej 400 mm miesięcznie. Powtórzenie na przełomie sierpnia i września 2010 r. intensywnych opadów o wartości dochodzącej do 250 mm w ciągu 4 dni spowodowało gwałtowny ruch osuwiskowy i przemieszczenia mas ziemnych dochodzące do 34 m. W konsekwencji zniszczone zostały wszystkie domy pobudowane na starym terenie osuwiskowym oraz droga biegnąca u podnóża. Z kolei w przypadku ruchów osuwiskowych w Lanckoronie kilkakrotne fale opadowe w lipcu 1960 roku oraz w maju 2010 roku spowodowały uaktywnienie osuwiska przy miesięcznych progach opadowych rzędu 300 mm.

Zagadnienie korelowania opadów z ruchem osuwiskowym powinno być uzupełnione informacjami dotyczącymi położenia stacji opadowych w stosunku do terenu osuwiskowego. W górach istotne są zarówno różnice wysokości bezwzględnej jak i odległości. Przykładowo czy można ocenić jak wyglądają te dane w odniesieniu do lokalizacji osuwiska w Milówce oraz stacji meteorologicznej w Żabnicy ?

Wyróżnienie krótkich okresów poddanych szczególnej analizie dynamiki opadowej, położenia zw. wody w piezometrach oraz wartości, tempa przemieszczeń pozwala dokładniej opisywać zróżnicowanie uwarunkowań ruchów osuwiskowych.

Zestawienia miesięcznych sum opadów i głębokości zwierciadła wód gruntowych wskazują, że nie zawsze piki opadowe skutkują podniesieniem zwierciadła wód gruntowych i zwiększeniem dynamiki przemieszczeń wgłębnych. Potwierdzają to także wykresy na których pokazywane są znacząco zróżnicowane głębokości zwierciadła wody gruntowej vs dobowe opady atmosferyczne np. w Milówce (fig. 52) w okresie wrzesień 2013 – maj.2014 r oraz w Rożnowie – Zagórze (fig. 70) w blisko 3 tygodniowym okresie od 18 maja do 5 czerwca 2010 r.. Wykazują one bardzo dużą zmienność, którą zapewne potwierdziłaby analiza istotności korelacji liniowej (fig. 52), której nie podano. Wnioskowanie o czasie reakcji z.w.g. na wysokość opadu dobowego wymaga wyjaśnienia poczynionych założeń.

Opady na wykresach w pracy pokazywane są w postaci histogramów miesięcznych sum opadów dla całego zbioru obserwacji, a w wyróżnionych krótszych okresach jako narastające sumy opadów w odniesieniu do kilkudniowych (różnych na analizowanych osuwiskach) obserwacji. Pozwoliło to na czytelne pokazanie zmian dynamiki opadów a także obliczenie dobowych wartości. Zestawienie danych opadowych w krótkich okresach czasu z pomiarami zw. w. g. pokazuje bardzo różne scenariusze reakcji wód gruntowych na opad. Dotyczy to zarówno czasu reakcji jak i zmian wartości poziomu z.w.g.

Zestawienia te są czytelną ilustracją charakteru krążenia wód, konduktywności ośrodka, w którym wyróżnić można zarówno szybkie krążenie szczelinowe, opóźnione reakcje związane z mniejszą przepuszczalnością koluwiów lub mieszanym charakterem przepływu (porowo – szczelinowym), a także sytuacje w których nieprzepuszczalne kompleksy ilów praktycznie nie dopuszczają do migracji wód opadowych w głębszych partiach koluwiów. W przypadku niektórych osuwisk zamieszczono też (np. okres 2 w Grybowie) informacje o wartości (nie wielkości !) przemieszczeń.

Analiza dynamiki przemieszczeń wymaga szerszego komentarza. W analizowanym zbiorze mamy bowiem różne modele dynamiki przemieszczeń w czasie:

- zmienne, gdzie Autor wskazuje na okresową „redukcję” przemieszczeń (np. Milówce – fig. 50, w mniejszym zakresie w Żegocinie – Fig 64) i wiąże ją np. z

„układaniem się” masywu skalnego ( czy chodzi o zmniejszenie pustek, szczelin ?)

- monotonicznie wzrastające – jednak zapewne z różną prędkością (np. we wszystkich inklinometrach na osuwisku w Grybowie – fig 72)

Na wielu osuwiskach zainstalowane inklinometry pokazują obydwa modele, co potwierdza znaną tezę, o różnej wartości i prędkości przemieszczeń a także występowania okresowej stabilizacji.

Rozdz.6 kończy analityczną część pracy podzieloną na charakterystyki 11 wybranych osuwisk. Rozumiejąc zastosowany podział na dwa etapy analizy, z których drugi ma znaczący charakter autorski pragnę zauważyć, że pogłębiona lektura wymaga wielokrotnego jednoczesnego analizowania danych dla danego osuwiska zawartych zarówno w rozdziale 5 jak i 6.

Kolejne rozdziały stanowiąc mają podsumowanie i syntezę materiału analitycznego.

**W rozdz. 7** zatytułowanym „*Charakter aktywności osuwisk*” istotną syntetyczną ilustrację stanowi fig 79 zawierająca zestawienie zmienności warunków i dynamiki analizowanych osuwisk. Zróżnicowane co do wartości opady w całych Karpatach w latach 2009 – 2021 wskazują na przemienność zbiorów danych z lat suchszych i mokrych. Jednocześnie w większości zestawień rocznych rozkład opadów jest niesymetryczny z szerszym przedziałem między wartościami średnimi i maksymalnymi. To właśnie te kulminacje mogą być istotne dla aktywizacji osuwisk. Na podstawie dynamiki przemieszczeń Autor wydziela trzy grupy zachowań: pierwszą o stosunkowo małych przemieszczeniach wglębnych gdzie jednak katastrofalne opady roku 2010 zaznaczyły się zwiększeniem przemieszczeń. Druga grupa to zachowanie masywu w Rożnowie – Zagórze, gdzie mamy bardzo duże przemieszczenie w roku 2010 po czym następuje praktycznie stabilizacja (fig 26 i 68). Przypadek ten moim zdaniem wydaje się być swoistego rodzaju wyjątkiem a jednocześnie materiałem do modelowania stanów granicznych i warunków osiągnięcia wieloletniej stabilizacji quasi trwałej. Trzecia grupa to osuwiska charakteryzujące się „niemal ciągłym charakterem przemieszczeń ze zmianami dynamiki zależnymi od ilości opadów”.

**Rozdział 8** zatytułowany został „*Litologiczne uwarunkowania dynamiki osuwisk*” przy czym pierwsza jego część poświęcona jest syntetycznej prezentacji „progów opadowych” – zarówno ustaleń zawartych w literaturze jak i własnych przy czym Autor wskazuje, że wyróżnione przez Niego proggi mają często niższe wartości. Po tym przyczynowym tle Autor przechodzi do syntetycznego litostratograficznego wydzielenia jednostek strukturalno – tektonicznych, w których rozwinięte są analizowane w pracy osuwiska. Następnie wydzielone zostają dwa rodzaje środowiska gruntowo – skalnego o różnej reakcji na opady.

W koluwiach i podłożu o znacznym udziale frakcji iłowej przepuszczalność jest bardzo mała i stąd reakcja na opady jest opóźniona. Teza Autora o znacznym obciążeniu wodą takich osuwisk wymaga uściślenia. Jeśli powyżej warstwy ilastej znajdują się utwory gruboziarniste to akumulują one wodę, która nie ma możliwości szybkiego drenażu w dół. Akumulacja wody w iłach w krótkim czasie jest niemożliwa. Może też być tak, że jak pisze wyżej Autor, gdy znaczne opady poprzedzone są suszą to w kompleksach ilastych początkowo mogą zachować się spękania ułatwiające przepływ pewnej części wód opadowych.

Drugi rodzaj gruntów to lepiej przepuszczalne utwory piaskowcowo-lupkowe w których zmiana stosunków wodnych następuje szybko ze względu na porowatość, wyższą przepuszczalność i spękania, którymi infiltrują wody opadowe. Wyakcentowanie w tym miejscu poglądu, że wzrasta ciśnienie wody w porach i spękaniach powodując znaczące zmniejszenie wytrzymałości jest także tylko częściowo prawdziwe. Owszem, krótkotrwale ciśnienie porowe może być wyższe ale dłuższe w czasie obniżanie efektywnej wytrzymałości na ścinanie na skutek obecności wód porowych występuje w utworach ilastych o bardzo wydłużonym czasie konsolidacji ze względu na ich znikomą przepuszczalność. W omawianiu litologicznych i filtracyjnych uwarunkowań osuwisk warto natomiast zwrócić uwagę na fakt, że wody opadowe na stropie utworów ilastych stanowią mogą komponent obniżania wytrzymałości na ścinanie w tej strefie ze względu na jej uplastycznienie. Wydaje się, że w niektórych przedstawionych w pracy osuwiskach ten mechanizm występował.

**Rozdział 9:** „*Uwagi dotyczące zastosowanych metod monitoringu*” zawiera doświadczenia przedstawione w pracy w zestawieniu z informacjami o metodyce pomiarów. Wskazane byłoby podanie źródeł z których oszacowano dokładność pomiarów. Zwraca uwagę bardzo duża różnica pomiędzy dużą dokładnością pomiarów inklinometrycznych (2 mm) i bardzo znaczącą niepewnością pomiarów GNSS (30-50 mm). Jeśli takie dane przyjąć jako miarodajne to wektory przemieszczeń nie powinny być podawane z większą dokładnością niż cm. i z odpowiednim komentarzem dotyczącym liczby cyfr znaczących w tekście. W sytuacji małej dokładności GNSS Autor rekomenduje „klasyczne metody geodezyjne”. Czy chodzi tutaj o tachimetrię i/lub niwelację. Jeśli tak to należałoby przy zamawianiu takich prac wskazać strefy w których można zainstalować „stałe”, nie podlegające ruchom osuwiskowym punkty odniesienia. Wymaga to wiedzy i doświadczenia geologicznego. Nawet w dużych programach pomiarowych popełniane są w tych zagadnienia błędy, które wykrywa analiza wzajemnej stałości kilku punktów odniesienia.

Istotne stwierdzenia dotyczą częstotliwości sesji pomiarowych na podstawie porównania obserwowanej dynamiki przemieszczeń w zestawieniu z dokładnością pomiarów. W przypadku spodziewanych znaczących opadów wskazane byłoby wykonywanie odczytów przed opadami (lub na ich początku) oraz po opadach. Pozwoliłoby to na bardziej miarodajne określenie prędkości zachodzących procesów. Zalecenia te wskazują na bardzo istotną rolę danych przedstawionych w niniejszej pracy w perspektywie przyszłościowego planowania monitoringu.

#### **Rozdział 10: Podsumowanie i wnioski**

Sformułowano 14 wniosków obejmujących zagadnienia:

- Wymiarów osuwisk i ich strefowości (1,9)
- Dynamiki, wielkości szkód (7)
- Warunków litologicznych (2,4,6)
- Opadowych uwarunkowań powstawania osuwisk (3,5,8,14)
- Metodologii monitoringu (10,11,12, 13)

Wnioski te w sposób syntetyczny przedstawiają (generalnie w kolejności omawiania w pracy) najważniejsze stwierdzenia, także w odniesieniu do typów zachowań masywu kolidalnego i skalnego oraz inicjowania osuwisk przez wody opadowe.

## WNIOSEK KOŃCOWY

Przedstawiona rozprawa jest efektem wieloletnich doświadczeń Autora dotyczących monitoringu oraz interpretacji powierzchniowych ruchów masowych w Karpatach fliszowych. W podstawowej tezie jako potencjalne, najistotniejsze uwarunkowanie inicjacji procesów osuwiskowych postrzega się dynamikę opadów. Dobrany materiał analityczny spełniał wymagania reprezentatywności regionalnej. Przyjęte ramy czasowe umożliwiały wykorzystanie systematycznych obserwacji prowadzonych od 2009 roku w ramach programu SOPO. Tam gdzie to było możliwe i celowe przytaczano także wcześniejsze obserwacje obejmujące z reguły wydarzenia katastrofalne.

Zebranie materiału analitycznego i przedstawienie go w ujednocionej i bardzo starannej formie zarówno merytorycznej jak i graficznej wymagało dużego nakładu pracy Autora, a także wykorzystania wiedzy i doświadczenia z zakresu geodynamiki.

Przedstawione relacje pokazują przede wszystkim związki przyczynowo – skutkowe na drodze porównań rozmaitych parametrów jak bezpośrednich pomiarów opadów, ich skumulowanych wartości a także dynamiki i związków głównie poprzez wizualizacyjne porównywanie zależności. Dalszym etapem mógłby być dobór statystycznych narzędzi analiz w sytuacjach gdy ma to fizyczne i geologiczne uzasadnienie.

W rozprawie, wydaje się że celowo, przedstawiano wybraną dynamikę przyczynowo – skutkową z pominięciem związków konstytutywnych stanu granicznego wynikających z mechaniki gruntów. Umożliwiło to przeanalizowanie zróżnicowanych warunków geologicznych i hydrogeologicznych rozwoju osuwisk i wydzielenie typów wzajemnych relacji opadów, krążenia wód gruntowych i przemieszczeń materiału gruntowego i skalnego. Pogrupowana dynamika przemieszczeń znajduje potwierdzenie w powszechnie przyjmowanej tezie o wpływie zróżnicowania właściwości filtracyjnych i wytrzymałościowych materiału gruntowo – skalnego na stateczność zboczy. Zebrane dane i zależności mogą być jednocześnie obiektywnym materiałem do rozwiązywania tzw. „zadania odwrotnego” tzn. określania i korekty właściwości środowiska gruntowo – wodnego z uwzględnieniem efektów skali dla celów prognozowania warunków równowagi zboczy.

Wyniki przeanalizowanego monitoringu umożliwiają także wnioskowanie dotyczące wymagań i metodologii prowadzenia obserwacji, tak by możliwe było zarówno projektowanie zabezpieczeń, odpowiednie zagospodarowanie terenu oraz ostrzeganie o zagrożeniach.

Omówione aspekty wskazują na naukowy i praktyczny wymiar zrealizowanego programu badawczego. Doktorant wykazał się umiejętnością projektowania zadań badawczych, ich interpretacji a także kreatywnością w zakresie metodyki analiz.

Zawarte w niniejszej recenzji oceny pozwalają stwierdzić, że przedstawiona jako dysertacja doktorska praca Pana mgr. inż. Bartłomieja Warmuza w pełni odpowiada wymaganiom zawartym w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. 2023 r., poz. 742 z późn. zm.).

Wnioskuje o dopuszczenie Pana mgr inż. Bartłomieja Warmuza do dalszych etapów przewodu doktorskiego oraz publicznej obrony prezentowanych tez.



