

*Anna Szafarczyk*

## **GEODEZYJNE METODY MONITORINGU OSUWISK**

---

## **GEODETIC METHODS OF LANSLIDES MONITORING**

### **Streszczenie**

Osuwiska z geologicznego punktu widzenia mogą być aktywne przez szereg lat. W przypadku nieświadomego posadowienia obiektów budowlanych na osuwisku powstaje potrzeba monitorowania stabilności terenu. Monitoring taki wykonywany może być przy wykorzystaniu metod geodezyjnych. W artykule przedstawiono obecnie dostępne technologie geodezyjne, które wykorzystywane są w praktyce, jak i nową, dotychczas nie stosowaną w Polsce technologię naziemnej interferometrii radarowej. Technologia ta pozwala na zdalny pomiar, bez potrzeby stabilizacji punktów obserwacyjnych na osuwisku i daje informację o wartości przemieszczeń dowolnie wybranego fragmentu osuwiska objętego pomiarem.

**Słowa kluczowe:** osuwisko, monitoring, naziemna interferometria radarowa

### **Summary**

*Landslides in the geological aspect can be active for many years. There is a need to keep monitoring stability of slope, especially if there are some buildings located on the landslide. Such monitoring can be done with the use of geodetic methods. In the article there are presented possible geodetic techniques which are used in practice and new one, not used up to now- ground radar interferometer technique. This technique allows for spatial measurement without the points stabilization on the landslide and gives the information about displacements values of the chosen area of measured landslide.*

**Key words:** landslide, monitoring, ground radar interferometer

## WSTĘP

Polska uważana jest za kraj niemal całkowicie pozbawiony zagrożeń naturalnych. Tymczasem źródła historyczne donoszą o występowaniu trzęsień ziemi, o powodziach i ruchach osuwiskowych. Według ustawy z dnia 18 kwietnia o stanie klęski żywiołowej, osuwiska ziemi zaliczane są do katastrof naturalnych, a jeśli ich skutki zagrażają życiu lub zdrowiu dużej liczby osób, mieniu w wielkich rozmiarach albo środowisku na znacznych obszarach to osuwiska klasyfikowane są, jako klęska żywiołowa.

Pierwsza rejestracja naturalnych osuwisk, przeprowadzona w końcu lat 60-tych XX wieku, wykazała istnienie na stokach karpackich ponad 3000 osuwisk, których liczba wzrosła do 20000 w miarę prowadzenia dalszych prac rozpoznawczych.

Obecnie na zlecenie Ministra Środowiska realizowany jest projekt o nazwie System Osłony Przeciwosuwiskowej (SOPO) [<http://geoportal.pgi.gov.pl>].

Podstawowym celem projektu, o znaczeniu ogólnopństwowym, jest rozpoznanie, udokumentowanie oraz zaznaczenie na mapie w skali 1:10 000 wszystkich osuwisk oraz terenów potencjalnie zagrożonych ruchami masowymi w Polsce, a ponadto założenie systemu monitoringu wglębnego i powierzchniowego na 100 wybranych osuwiskach. Koniec realizacji projektu prowadzonego od 4 lat jest przewidziany na 2016 rok. Wyniki projektu mają pomóc w ograniczeniu szkód i zniszczeń wywołanych rozwojem osuwisk, poprzez zaniechanie budownictwa mieszkalnego i drogowego w rejonach występowania aktywnych osuwisk. Realizacja zadań przewidzianych harmonogramem projektu ma wspomagać władze lokalne w wypełnianiu obowiązków dotyczących problematyki ruchów masowych, a wynikających odpowiednich ustaw i rozporządzeń.

## PRZYCZYNY WYSTĘPOWANIA RUCHÓW MASOWYCH

Predyspozycję danego obszaru do występowania ruchów masowych określa się podając najistotniejsze elementy budowy geologicznej i/lub rzeźby terenu oraz procesy geologiczne. Elementami tymi są:

- nachylenie powierzchni terenu,
- układ i litologia warstw,
- występowanie pokryw czwartorzędowych,
- tektonika,
- glacictektonika,
- występowanie płytkich wód gruntowych, wycieków i wysięków.

Nachylenie powierzchni terenu ma największy wpływ na rozwój ruchów masowych. Zgodnie z uproszczonymi założeniami [Bober 1984] na zboczach (stokach) zbudowanych z utworów ilastych, osuwiska praktycznie nie występują

przy nachyleniach powierzchni poniżej  $6^\circ$  a w utworach piaszczysto-pyłastych poniżej  $22^\circ$ . W warunkach rzeczywistych niejednokrotnie pojawiają się dodatkowe elementy, które powodują przemieszczanie się gruntu przy mniejszych nachyleniach stoku.

Do rozwoju procesów osuwiskowych dochodzi najczęściej przy sprzyjającej litologii i układzie warstw, a dokładniej na pograniczu skał o różnych właściwościach fizycznych i różnej przepuszczalności. Najkorzystniejsze układy litologiczne dla rozwoju ruchów masowych występują w przypadku naprzemianległego występowania skał luźnych i zwięzłych lub warstw gruntów spoistych i niespoistych.

Występowanie utworów czwartorzędowych w postaci pokryw lub stożków u podnóża zboczy lub w ich obrębie wskazuje na możliwość istnienia w przeszłości ruchów masowych lub spłukiwań.

Elementy tektoniki takie jak obecność spękań, uławień i zależność upadu warstw i kierunku nachylenia powierzchni terenu są bardzo ważnym elementem powstawania procesów osuwiskowych. Do takich procesów dochodzi najczęściej, gdy: upad warstw jest zgodny lub przeciwny do kierunku nachylenia stoku, bieg warstw jest zgodny z rozciągłością stoku a systemy spękań i strefy dyslokacji są zbliżone do kierunku nachylenia stoku. Wartość upadu w stosunku do kąta nachylenia stoku związana jest z rodzajem powstającego osuwiska (skalne, zwietrzelinowe lub gruntowe).

## **PODSTAWY PRAWNE MONITORINGU OSUWISK**

Ustawa Prawo Ochrony Środowiska podaje definicję „ruchów masowych ziemi”. Są to powstające naturalnie lub na skutek działalności człowieka osuwanie, splezywanie, lub obrywanie powierzchniowych warstw skał, zwietrzliny i gleby.

W Ustawie o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym na etapie studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gmin uwzględnia się „występowanie obszarów naturalnych zagrożeń geologicznych” oraz określa się „obszary narażone na niebezpieczeństwo powodzi i osuwania się mas ziemnych. W miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego należy z kolei obowiązkowo określić „granice i sposoby zagospodarowania terenów lub obiektów podlegających ochronie, ustalonych na podstawie odrębnych przepisów, w tym terenów górniczych, a także narażonych na niebezpieczeństwo powodzi oraz zagrożonych osuwaniem się mas ziemnych”

W Ustawie o ochronie gruntów rolnych i leśnych spotkamy się z zapisem: „ochrona gruntów rolnych i leśnych polega między innymi na zapobieganiu procesom degradacji i dewastacji gruntów oraz szkodom w produkcji rolniczej i leśnej, powstającym wskutek działalności nierolniczej i ruchów masowych

ziemi”. Po stronie właściciela gruntów leży przeciwdziałanie degradacji gleb, w tym szczególnie erozji i ruchom masowym.

W Ustawie Prawo Ochrony Środowiska starostowie są wskazani, jako odpowiedzialni za prowadzenie rejestru terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi oraz terenów, na których występują te ruchy. Sposób określania tych terenów podaje Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi.

## **MONITORING OSUWISK**

Przywołane Rozporządzenie narzuca konieczność prowadzenia obserwacji zwanych monitoringiem dla terenów, na których wystąpiły ruchy masowe mogące spowodować lub powodujące bezpośrednie zagrożenie dla życia ludzi, infrastruktury technicznej lub komunikacyjnej. Monitoring ten polegać ma na pomiarach powierzchniowego ruchu mas ziemnych w celu określenia prędkości i charakteru tego przemieszczenia i ma być wykonywany w szczególności przy zastosowaniu metod geodezyjnych. W przypadku, gdy monitoring powierzchniowy jest niewystarczający dla określenia szybkości i zasięgu przemieszczania się mas ziemnych, prowadzi się monitoring polegający na pomiarach wglębnego ruchu mas ziemnych w celu rozpoznania liczby, rodzaju i głębokości położenia powierzchni poślizgu. Monitoring zgodnie z Rozporządzeniem prowadzi się co najmniej dwa razy w roku (w okresach: marzec-kwiecień oraz wrzesień-październik) oraz każdorazowo po wystąpieniu ekstremalnych zjawisk przyrodniczych, które mogą spowodować ruchy masowe ziemi.

Wyniki z prowadzonego monitoringu nakazanego Rozporządzeniem wprowadza się do Rejestru, który jest prowadzony w formie elektronicznej bazy danych i zawiera:

- dane graficzne w formie map terenów zagrożonych sporządzanych w systemie informacji przestrzennej GIS, wykonanej na podkładzie topograficznym w skali 1:10 000,
- karty rejestracyjne terenu zagrożonego ruchami masowymi ziemi lub terenu osuwiska.

System monitoringu osuwiska zgodnie z [Instrukcja opracowania...2008] powinien obejmować 4 fazy: projektową, prac terenowych z instalacją systemu, pomiarową oraz dokumentacyjną.

Projekt musi zawierać zakres i sposoby prowadzenia monitoringu powierzchniowego i wglębnego na osuwisku. Prace terenowe w zakresie geodezyjnym obejmują wykonanie mapy sytuacyjno -wysokościowej oraz stabilizację punktów pomiarowych i instalację przyrządów do obserwacji osuwiska. Monitoring powierzchniowy, wykonywany metodami geodezji klasycznej lub metodą statyczną przy użyciu aparatury GPS prowadzi się na podstawie zastabilizowanej siatki punktów pomiarowych w obrębie osuwiska. Liczbę i lokalizację

punktów pomiarowych tworzących siatkę określa indywidualnie dla każdego monitorowanego obiektu [Instrukcja PIG 2008].

Punkty pomiarowe powinny być zlokalizowane w obszarach o największej aktywności osuwiska i jednocześnie spełniać warunek trwałości posadowienia, umożliwiającego wielokrotny pomiar. Punkt pomiaru dla monitoringu powierzchniowego powinien być tak zlokalizowany, aby umożliwiał pomiar współrzędnych X, Y, Z metodami określonymi w projekcie. Dodatkowo należy wyznaczyć trzy punkty reperowe położone poza obszarem objętym ruchami osuwiskowymi, w odniesieniu, do których prowadzone będą obserwacje (np. punkty osnowy geodezyjnej III klasy).

W ramach fazy trzeciej monitoring może być prowadzony metodami geodezji klasycznej lub z wykorzystaniem aparatury GPS.

Monitoring prowadzony metodami geodezji klasycznej (pomiarów bezpośrednich) oparty jest na sieci zastabilizowanych punktów i punktów monitoringu wglębnego, pomiary powinny być wykonane co najmniej trzy razy w roku, a wyniki pomiaru powinny być zestawione tabelarycznie z podaniem współrzędnych X, Y, Z.

Monitoring z wykorzystaniem aparatury GPS powinien być wykonany metodą statyczną z określeniem punktów bazowych. Anteny odbiorników należy ustawiać nad punktami używając statywów i spodarek z pionownikiem optycznym, a wyniki muszą zostać odniesione do co najmniej trzech punktów państwowej osnowy geodezyjnej, które będą stanowić stałe punkty nawiązania przy kolejnych sesjach pomiarowych. Opierając się na wynikach pomiarów należy obliczyć składowe wektorów oraz wyrównać sieć wektorów GPS w dowiązaniu do trzech punktów osnowy w układzie geocentrycznym GPS. Współrzędne BLH z układu geocentrycznego powinny zostać przetransformowane do układu geodezyjnego 2000 oraz systemu wysokości normalnych Kronsztad 86 na podstawie punktów dostosowania wysokościowego.

Ostatecznie wyznaczone wartości współrzędnych punktów pomiarowych zestawia się w tabelarycznych wykazach współrzędnych. Pomiary realizuje się minimum trzy razy w ciągu roku. W opracowaniu końcowym poza tabelarycznym zestawieniem wyników dla każdej serii pomiarowej zawiera się wykaz współrzędnych punktów nawiązania wraz z precyzyjnym określeniem układu.

W ramach czwartej fazy monitoringu sporządza się opracowanie wyników monitoringu, które należy przedstawić w formie tekstowej i graficznej.

## **ROZPOZNANIE I ANALIZA STATECZNOŚCI OSUWISKA**

W przypadku powstania uszkodzeń obiektów lub podłoża o znamionach zjawisk osuwiskowych celowe jest zaplanowanie prowadzenia obserwacji wraz z prowadzeniem dokumentacji pomiarowej. Takie postępowanie umożliwia systematyczne prowadzenie kontroli procesu, a zwłaszcza umożliwia dokonanie

oceny dynamiki i ewolucji stwierdzonych uszkodzeń obiektów i deformacji terenu. Ponadto konieczne jest udokumentowanie wykonania doraźnych zabezpieczeń, a także zakresu badań geotechnicznych w celu ustalenia przyczyn powstania osuwiska i sposobu jego stabilizacji [Obserwacja i badanie...].

Pomiary i obserwacje ruchu osuwiska wykonuje się na powierzchni terenu oraz włąbnie.

Do pomiarów powierzchniowych stosuje się przyrządy geodezyjne.

Geodezyjne obserwacje i pomiary osuwisk najczęściej obejmują określenie zasięgu osuwiska czynnego, wyznaczenie kierunku jego ruchu oraz oszacowanie wielkości mas ziemnych. W efekcie wykonywanych pomiarów określa się zachodzące wraz z upływem czasu zmiany, które wyrażane są poprzez podanie wybranych wartości wskaźników deformacji. Podstawowymi wskaźnikami deformacji są:

- obniżenie,
- nachylenie,
- przemieszczenie poziome,
- odkształcenie,
- krzywizna.

W celu ich wyznaczenia stosowane są różnego rodzaju przyrządy pomiarowe w tym: niwelatory, tachimetry, odbiorniki GPS, czy też pozwalające na rejestrację zjawiska w sposób ciągły pochylomierze, tensometry i szczelinomierze.

Charakterystyczną cechą wyżej wymienionych przyrządów oraz technik pomiarowych realizowanych z ich wykorzystaniem jest odniesienie wyników do danego, konkretnego punktu lub odcinka pomiarowego zastabilizowanego w terenie.

## **WYKORZYSTANIE RACHUNKU TENSOROWEGO W OBLICZENIACH DEFORMACJI ZBOCZY**

W praktyce geodezyjnej często dochodzi do sytuacji, w której nie są wyznaczane wartości odkształceń ekstremalnych. Wynika to z błędnego lub przypadkowego usytuowania punktów kontrolowanych i skutkuje wyciąganiem fałszywych wniosków odnośnie skali występujących deformacji. Jest to tym bardziej niebezpieczne, że dotyczy zawsze zaniżania wartości występującego odkształcenia. Powyższa sytuacja jest powodem bagatelizowania zagrożenia obiektów budowlanych posadowionych na niestabilnym podłożu i tym samym może doprowadzić do błędów w ocenie bezpieczeństwa obiektów budowlanych, zaniechania ich zabezpieczenia przed skutkami narastających wartości deformacji, a w konsekwencji tego do poważnych zniszczeń.

Poprzez odpowiednie zastabilizowanie punktów pomiarowych i późniejsze pomiary możliwe jest obecnie określenie wartości odkształceń ekstremalnych i kierunków ich występowania [Szafarczyk 2008].

Stabilizując w terenie zespół minimum 4 punktów zwany rozetą i dokonując seryjnych pomiarów długości wszystkich boków takiej rozety, a następnie rozwiązując układ  $n$  równań o trzech niewiadomych uzyskuje się składowe tensora odkształcenia, który dla postaci dwuwymiarowej na przekątnej głównej zawiera dwie składowe, którymi są odkształcenia na kierunkach osi układu, a poza przekątną - połowę wartości dokośztalenia postaciowego.

Znajomość składowych tensora pozwala na analityczne wyznaczenie wartości odkształcenia w dowolnym kierunku wychodzącym z danego punktu.

Dla danego stanu odkształceń, przy znajomości składowych tensora odkształcenia istnieje możliwość wyznaczenia wartości odkształceń głównych (maksymalnego i minimalnego) oraz ich kierunku występowania (poprzez wyznaczenie wartości kąta zawartego między kierunkiem osi  $x$  układu, a kierunkiem występowania odkształcenia maksymalnego). Dodatkowo wyznaczana jest wartość odkształcenia postaciowego, która jest wykorzystywana przez specjalistów z dziedziny budownictwa.

## **INTERFEROMETRIA RADAROWA JAKO NOWA METODA MONITORINGU**

W zakresie wykorzystania naziemnej interferometrii radarowej do obserwacji kinematyki osuwisk w Polsce prowadzone są obecnie badania w ramach projektu finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Tematyką tą w minionej dekadzie zajmował się zespół włoskich naukowców pod kierownictwem M. Pieracciniego. Pomiary, wykonane z powodzeniem kontynuowane były przez zespół G. Bernardiniego i przedstawione na przykładzie monitoringu osuwiska Tessina we Włoszech.

Według informacji producenta [IBIS-L Controller Software, IDS, 2008, Pisa] jednym z podstawowych kierunków zastosowań radaru interferometrycznego IBIS-L jest detekcja, monitoring i predykcja niestabilności skarp, obwałowań osadników oraz deformacji terenu i budowli na obszarach eksploatacji górniczej. Instrument pozwala na zdalny, bezdotykowy pomiar z nieosiągalną w dotychczasowej praktyce precyzją i częstotliwością. Podstawą urządzenia jest pracujący w dozwolonym na terenie UE paśmie Ku radar, wykorzystujący stosowaną dotychczas wyłącznie w pomiarach satelitarnych metodę syntetycznej apertury (In-SAR). Radar emituje w kierunku badanego obiektu spójną wiązkę promieniowania elektromagnetycznego o bardzo małej mocy, skokowo zmiennej częstotliwości i kierunku (SFCW), a następnie odbiera, rejestruje i analizuje odbity sygnał. Wbudowany układ interferometryczny wykonuje precyzyjny pomiar zmiany fazy sygnału odbitego względem sygnału nadawanego, pozwalając na pomiar przemieszczeń obszarów badanego obiektu z rozdzielczością nawet 0, 01 mm, przy czym badany obiekt może znajdować się w odległości 0, 01km do 4, 0km od instrumentu. Jak poświadcza dostępna literatura [IBIS-L Controller Software], jak i wstępne, wykonane już testy wykorzystanie naziemnego radaru interferometrycznego w pomiarach stateczności zboczy naturalnych

i sztucznie ukształtowanych przez człowieka daje wyniki jakościowo i ilościowo lepsze od dotychczas stosowanych metod obserwacyjnych. Zintegrowanie pomiarów prowadzonych przy użyciu radaru interferometrycznego z dotychczas stosowanymi technikami pomiarowymi stanowić może nową, niespotykaną jeszcze w Polsce, a stosowaną w krajach europejskich metodę monitoringu.

## PODSUMOWANIE

W ciągu ostatnich kilkunastu lat po obfitych opadach bądź wiosennych roztopach, konsekwentnie odnawiają się ruchy osuwiskowe, niszcząc budynki mieszkalne i zabudowania gospodarcze, niejednokrotnie stwarzając przy tym zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi. Kroki podejmowane w zakresie badań poznawczych, rejestracji występujących procesów osuwiskowych, ich monitorowania i opisu są bezwzględnie potrzebne ze względów społeczno-ekonomicznych ale też mogą mieć wpływ na gospodarkę i finanse państwa.

## BIBLIOGRAFIA

- Bober L., *Rejony osuwiskowe w Polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną regionu*. Biul. Inst. Geol. 1984, 340ss.
- IBIS-L Controller Software*. IDS, Pisa 2008, 54 ss.
- Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2008, 92 ss.
- Obserwacja i badanie osuwisk drogowych*. GDDP, Warszawa 1999.
- Ustawa z dnia 18 kwietnia 2002 r. o stanie kłęski żywiolowej* (Dz. U. z 2002 r. Nr 62, poz. 558)
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska* (Dz. U. 2001, Nr 62, poz. 627, z późniejszymi zmianami)
- Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym* (Dz. U. 2003, Nr 80, poz. 717)
- Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych* (tekst jednolity Dz. U. 2004, Nr 121, poz. 1266)
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi* (dz. U. 2007, Nr 121, poz. 840).
- Szafarczyk A., *Wyznaczenie odkształceń powierzchni terenu górniczego przy zastosowaniu rozet geodezyjnych*. Rozprawa doktorska, AGH, Kraków 2008, 150 ss.
- [<http://geoportal.pgi.gov.pl>]

*Praca naukowa finansowana z projektu badawczego 11.11.150.088*

Dr inż. Anna Szafarczyk, adiunkt  
szafarcz@agh.edu.pl  
Tel. 012 617 44 86

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie  
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska  
Al. A. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków

Recenzent: *Prof. dr hab. Jerzy Gruszczyński*