CENTRUM GEOZAGROŻEŃ
geozagrozenia.pgi.gov.pl

System Osłony PrzeciwOsuwiskowej
SOPO

Instrukcja prowadzenia monitoringu osuwisk



PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY
MENTE ET MALLEO
1919
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Zespół autorski:

Piotr Nescieruk, Bartłomiej Warmuz, Zbigniew Perski, Tomasz Wojciechowski

Projekt okładki:

Jarosław Kaczorowski

Fotografia: Pomiary monitoringu powierzchniowego (NSL) na osuwisku w Chojniku (fot. Z. Perski, 8.08.2024 r.)

Instrukcja została opracowana w ramach przedsięwzięcia pn. „Zadania państwa wykonywane przez państwową służbę geologiczną w zakresie zagrożeń geologicznych realizowane od 2016 roku (pgg art. 162,ust.1, pkt.10)" finansowanego ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

©Copyright by Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy

Warszawa 2025

Spis treści

1. Wstęp 4
2. Prace przygotowawcze i projektowe 5
3. Prace terenowe 5
   3.1. Prace kartograficzno-wiertnicze 6
   3.2. Instalacja przyrządów do obserwacji ruchu osuwiska 8
      3.2.1. Monitoring powierzchniowy 8
      3.2.2. Monitoring wgłębny 8
   3.3. Instalacja systemu obserwacji hydrogeologicznej 9
   3.4. Badania dodatkowe 10
4. Prowadzenie pomiarów i sposób prezentacji wyników monitoringu 10
   4.1. Monitoring powierzchniowy 10
      4.1.1. Geodezja klasyczna 10
      4.1.2. Pomiary aparaturą GNSS 11
      4.1.3. Naziemny skaning laserowy (NSL) 12
      4.1.4. Pomiary tachimetryczne 12
      4.1.5. Fotogrametria 14
      4.1.6. Satelitarna interferometria radarowa (InSAR) 14
      4.1.7. Satelitarna interferometria rozpraszaczy stabilnych (PSI) 15
   4.2. Monitoring wgłębny 16
      4.2.1. Pomiary inklinometryczne 16
      4.2.2. Pomiary hydrogeologiczne 17
      4.2.3. Pomiary hydrologiczne 17
      4.2.4. Inne pomiary 17
      4.2.5. Badania laboratoryjne 17
5. Opracowanie wyników monitoringu 18

1. Wstęp

Niniejsze wydanie *Instrukcji prowadzenia monitoringu osuwisk* zostało opracowane w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym na zlecenie Ministerstwa Klimatu i Środowiska, w ramach realizacji projektu „System Osłony Przeciwosuwiskowej". Projekt ten jest finansowany ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

W *Instrukcji* uwzględniono wieloletnie doświadczenia w prowadzeniu prac i robót geologicznych przy instrumentalnym monitoringu osuwisk realizowanych w ramach projektu SOPO.

Autorzy zdają sobie sprawę z olbrzymiego progresu zarówno metodycznego jak i technicznego w obszarze monitorowania ruchów masowych ziemi. Stąd też opisane tu metody pomiarowe należy traktować bardziej, jako propozycje niż nakazy (obowiązki). Nie mniej jednak podstawą poprawnie działającego systemu monitoringowego jest dokładne rozpoznanie osuwiska poprzez realizację dokumentacji geologiczno-inżynierskiej oraz właściwy dobór metod pomiarowych do indywidualny cech osuwiska.

§ 1.

1. Monitoring osuwisk stanowi integralną część projektu „System Osłony Przeciwosuwiskowej SOPO", jest prowadzony na wytypowanych osuwiskach równocześnie z wykonywaniem MOTZ i ma wspomagać system ostrzegania oraz oceny możliwości stabilizacji lub skuteczności wcześniej wykonanych prac zabezpieczających.
2. Przyjęty w Instrukcji system monitoringu osuwisk jest oparty na wybranych metodach powierzchniowych i wgłębnych, zalecanych do stosowania w ramach projektu „System Osłony Przeciwosuwiskowej SOPO". Dobór poszczególnych metod uzależnia się od wielkości i typu osuwiska oraz stopnia zagrożenia i szczegółowości wymaganego rozpoznania. Zakres i częstotliwość prowadzonych obserwacji we wszystkich fazach określa się indywidualnie dla każdego osuwiska na podstawie sporządzonego projektu robót geologicznych i zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 4 grudnia 2020 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi (Dz.U. 2020 poz. 2270). System monitoringu prowadzi się również na osuwiskach, które zostały objęte pracami zabezpieczającymi

i stabilizacyjnymi w celu kontroli ich skuteczności. W związku z rozwojem technologii w zakresie monitoringu osuwisk dopuszcza się zastosowanie innych metod pomiarowych.

3. System monitoringu na wytypowanych osuwiskach obejmuje fazy:
    a. projektową,
    b. prac terenowych z instalacją systemu,
    c. pomiarową,
    d. dokumentacyjną.

2. Prace przygotowawcze i projektowe

§ 2.

1. Prace przygotowawcze i projektowe do założenia monitoringu na osuwisku obejmują opracowanie projektu robót geologicznych na podstawie analizy materiałów archiwalnych i wizji terenowej.
2. Projekt musi zawierać zakres i sposoby prowadzenia monitoringu powierzchniowego i wgłębnego na osuwisku. W projekcie należy tak zaprojektować lokalizację i liczbę otworów, aby można było rozpoznać wgłębną budowę geologiczną osuwiska oraz określić maksymalną miąższość koluwiów.
3. Projekt robót geologicznych do założenia sieci monitoringu sporządza się zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji (Dz.U. 211 nr 288, poz. 1696). Projekt musi być zatwierdzony przez właściwy organ administracji geologicznej.

3. Prace terenowe

§ 3.

Monitoring wymaga przeprowadzenia prac terenowych o wyższym stopniu szczegółowości, niż wynika to z opracowywania MOTZ. W związku z tym prace terenowe do monitoringu obejmują:

a. wykonanie mapy sytuacyjno-wysokościowej,
b. szczegółowe zdjęcie geologiczne,
c. wiercenia badawcze,

d. pobór próbek,

e. instalację punktów i przyrządów do obserwacji ruchu osuwiska,

f. instalację systemu obserwacji hydrogeologicznej,

g. wykonanie badań dodatkowych (np. geofizycznych).

3.1. Prace kartograficzno-wiertnicze

§ 4.

1. Mapa sytuacyjno-wysokościowa powinna zostać wykonana przez uprawnionych przedstawicieli służb geodezyjnych w skali odpowiedniej dla zasięgu i rozmiarów osuwiska (1:500; 1:1000 lub 1:2000) w układzie współrzędnych płaskich prostokątnych, oznaczona symbolem „2000", stosowanym w pracach geodezyjnych i kartograficznych, związanych z wykonywaniem mapy zasadniczej. Mapa ma zawierać dokładne odzwierciedlenie wszelkich elementów morfologicznych istotnych dla zobrazowania powierzchni osuwiska i jego bezpośredniego otoczenia.
2. Szczegółowe zdjęcie geologiczne do potrzeb monitoringu wykonuje się w obrębie osuwiska i w jego bezpośrednim sąsiedztwie. Należy w nim uwzględnić zaobserwowane w terenie skarpy, szczeliny, granice jęzora osuwiskowego, wyznaczyć strefy o zróżnicowanym stopniu aktywności i kierunku ruchu materiału koluwialnego oraz zwrócić uwagę na elementy hydrograficzne (źródła, wysięki, sączenia, potoki, zagłębienia bezodpływowe itp.). W trakcie prowadzonych prac należy rozpoznać i zaznaczyć zmienność litologiczną utworów oraz dokonać pomiarów położenia warstw. W przypadku wykorzystywania wcześniej sporządzonych map geologiczno-inżynierskich należy je uzupełnić oraz uaktualnić, uwzględniając zaobserwowane elementy i zjawiska geodynamiczne. Wykartowane elementy należy zaznaczyć na mapie sytuacyjno-wysokościowej, która stanowi integralną część dokumentacji z monitoringu.

§ 5.

1. Wiercenia badawcze obejmują wykonanie par otworów (inklinometrycznego i piezometrycznego), zgodnie z wymaganiami i liczbą ujętymi w projekcie robót geologicznych.
2. Wiercenia powinny być wykonane podwójnym aparatem rdzeniowym z pełnym rdzeniowaniem. Muszą być one głębione do spełnienia zadania geologicznego, czyli rozpoznania budowy koluwiów oraz przebiegu powierzchni poślizgu i nawiercenia utworów nieobjętych osuwiskiem do głębokości 3 m. Zaleca się wykonanie wierceń średnicą 132 mm, systemem mechaniczno-obrotowym.
3. Wykonane otwory będą wykorzystane do instalacji urządzeń do badania dynamiki ruchu osuwiska oraz jako otwory piezometryczne.
4. Wymagany uzysk rdzenia nie może być mniejszy od 85% ze względu na konieczność rozpoznania i udokumentowania miąższości koluwiów, występowania powierzchni poślizgu oraz głębokości położenia utworów nienaruszonych. W przypadku braku możliwości otrzymania założonego uzysku rdzenia nadzór geologiczny w wyjątkowych przypadkach może przyjąć mniejszy uzysk rdzenia, np. przy wystąpieniu silnie spękanych serii piaskowcowych lub brekcji tektonicznych, ale należy to uzasadnić w protokole. W przypadku trudności uzyskania rdzenia z osadów mocno spękanych należy stosować krótki 0,5 m marsz lub prowadzić wiercenie bez użycia płuczki.
5. W trakcie realizacji wierceń należy kontrolować wielkość nacisku aparatu oraz gęstość i ciśnienie płuczki w otworze. Nie może być stosowana płuczka z domieszką soli i węglanu wapnia. Płuczkę należy sporządzić z iłu pozbawionego ww. domieszek. W przypadku nawiercenia wydajnego poziomu wodonośnego (bieżąca kontrola stanu płuczki) konieczne jest zatrzymanie wiercenia i wykonanie pomiarów nawierconego i ustalonego zwierciadła wody.

§ 6.

1. Pobór próbek utworów odbywa się zgodnie z zasadami określonymi w normie PN-B-04452:2002 (ENV 1997-3:1999) i wymaganiami ujętymi w projekcie robót geologicznych. Próbki wody należy pobierać zgodnie z obowiązującymi normami, zapewniając ich naturalny skład chemiczny.

2. Liczbę próbek do badań określa projekt robót geologicznych, a ich lokalizacje w profilu nawierconych otworów typuje osoba pełniąca nadzór geologiczny.
3. Zalecane jest pobieranie próbek z każdej wyodrębnionej warstwy gruntu. W strefach osłabienia i przebiegu powierzchni poślizgu w gruntach spoistych należy przewidzieć możliwość pobrania prób gruntów o nienaruszonej strukturze (NNS) i naturalnej wilgotności (NW).

3.2. Instalacja przyrządów do obserwacji ruchu osuwiska

3.2.1. Monitoring powierzchniowy

§ 7.

1. Monitoring powierzchniowy, wykonywany metodami geodezji klasycznej lub metodą statyczną i RTN przy użyciu aparatury GNSS, prowadzi się na podstawie zastabilizowanej siatki punktów pomiarowych w obrębie osuwiska. Liczbę i lokalizację punktów pomiarowych tworzących siatkę określa projekt, indywidualnie dla każdego monitorowanego obiektu.
2. 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. Projekt może także przewidywać założenie w obrębie osuwiska bądź na stałych elementach konstrukcji geoinżynierskich (w wypadku monitorowania obiektów już zabezpieczonych) innych punktów pozwalających na pomiary przemieszczeń poziomych i pionowych (tensometr strunowy, poziomica mikrometryczna, szczelinomierze, szkiełka, reflektory radarowe).

3.2.2. Monitoring wgłębny

§ 8.

1. Monitoring wgłębny jest prowadzony na podstawie pomiarów inklinometrycznych, których celem jest określenie głębokości występowania stref deformacji oraz wielkości i kierunku poziomych przemieszczeń. Zasady wykonania kolumn inklinometrycznych oraz realizacji pomiarów określa norma PN-EN ISO 18674-3:2018-02.

2. Kolumny inklinometryczne instaluje się w otworach wiertniczych o średnicy 132 lub 194 mm. Głębokość otworu powinna być tak dobrana, aby dno kolumny inklinometru znajdowało się poniżej rzeczywistej powierzchni poślizgu (co najmniej 2 m). Kolumny inklinometryczne powinny być montowane w otworach z pełnym uzyskiem rdzenia, tak aby możliwe było odniesienie przyszłych deformacji otworu do właściwości geologicznych ośrodka. Należy stosować rury inklinometryczne z PCV o średnicach od 70 do 85 mm. Kolumna inklinometryczna powinna być zorientowana w taki sposób, aby jedna z płaszczyzn rowków pomiarowych odpowiadała azymutowi spodziewanego kierunku przemieszczenia utworów koluwialnych [A-A'], a druga – osi do niej prostopadłej [B-B'].
3. W trakcie instalacji kolumny inklinometrycznej należy szczególnie starannie wprowadzać mieszaninę cementu i bentonitu między nią a ścianki otworu, która pęczniejąc umożliwi całkowite wypełnienie przestrzeni. Górną część kolumny, powyżej powierzchni terenu, należy zabezpieczyć przed zniszczeniem poprzez obudowanie rurą stalową z zamknięciem.
4. Odwiercenie otworów oraz zamontowanie kolumn inklinometrycznych i jej stabilizacja jest kwestią podstawową, gdyż od jakości tych prac zależy dokładność i wiarygodność wyników pomiarów. Odwiert otworów, jak i montaż kolumn inklinometrycznych powinien być wykonany przez firmy mające doświadczenie w tego typu pracach.
5. W przypadku montażu ekstensometrów otworowych konieczne jest precyzyjne określenie głębokości powierzchni poślizgu w celu właściwego doboru długości prętów pomiarowych.

3.3. Instalacja systemu obserwacji hydrogeologicznej

§ 9.

System obserwacji hydrogeologicznej badanego obiektu prowadzi się poprzez pomiary zwierciadła wody w otworach piezometrycznych wykonanych w bezpośrednim sąsiedztwie inklinometrów. Zasady konstrukcji piezometrów otwartych określa norma PN-B-04452:2002 (ENV 1997-3:1999). Dopuszcza się również instalowanie w otworach wiertniczych, szczególnie w pobliżu powierzchni poślizgu, przeponowych piezometrów zamkniętych.

3.4. Badania dodatkowe

§ 10.

1. Zakres badań dodatkowych określa się w projekcie robót w zależności od stanu rozpoznania monitorowanego obiektu oraz potrzeb dokumentacji i dostępnych przyrządów pomiarowych.
2. Dla osuwisk pozbawionych szczegółowego rozpoznania geologiczno-inżynierskiego zalecane jest wykonanie badań geofizycznych. Prace te dają duże możliwości diagnozowania stanu górotworu oraz obrazowania struktury geologicznej. Zaletą stosowania badań geofizycznych jest możliwość zastąpienia, często intuicyjnej, interpolacji między otworami lub punktami badawczymi ciągłą korelacją granic.
3. Dla monitorowanych obiektów proponuje się wykonanie badań geofizycznych metodą sondowań refrakcyjnych i elektrooporowych, co pozwala na zastosowanie różnych technik interpretacji danych. W razie potrzeby dopuszcza się wykonanie badań geofizycznych innymi metodami.
4. Projekt robót geologicznych dla monitoringu osuwiska może dopuszczać zastosowanie innych metod pomiarowych w zależności od specyfiki badanego obiektu i stopnia wywołanego zagrożenia. Obecnie istnieje szeroka gama urządzeń i metod pomiarowych (tensometry, ekstensometry, kable sensorowe TDR, tiltmetry itp.), które pozwalają na prowadzenie ciągłych obserwacji tempa i wielkości przemieszczeń.
5. W przypadku stwierdzenia w profilach rdzeni wiertniczych osadów organogenicznych, osadów zawierających szczątki roślinne, malakofaunę należy pobrać próbki do badań palinologicznych, malakologicznych i radiometrycznych. Możliwość takich badań należy zaplanować w projekcie robót geologicznych.

4. Prowadzenie pomiarów i sposób prezentacji wyników monitoringu

4.1. Monitoring powierzchniowy

4.1.1. Geodezja klasyczna

§ 11.

1. Monitoring, prowadzony metodą geodezji klasycznej (pomiarów bezpośrednich), jest oparty na sieci zastabilizowanych punktów i punktów monitoringu wgłębnego.
2. Pomiary powinny być wykonane, co najmniej dwa razy w roku.

3. Wyniki pomiarów przedstawia się tabelarycznie z podaniem współrzędnych X, Y, Z.

4.1.2. Pomiary aparaturą GNSS

§ 12.

1. Pomiary punktów na monitorowanym obiekcie można wykonać metodą statyczną z określeniem punktów bazowych. Anteny odbiorników należy ustawić nad punktami używając statywów i spodarek z pionownikiem optycznym.
2. Wyniki muszą zostać odniesione, do co najmniej trzech punktów państwowej osnowy geodezyjnej, które będą stanowić stałe punkty nawiązania przy kolejnych sesjach pomiarowych.
3. Opierając się na wynikach pomiarów należy obliczyć składowe wektorów oraz wyrównać sieć wektorów GNSS (ang. Global Navigation Satellite System) w dowiązaniu do trzech punktów osnowy w układzie geocentrycznym GNSS. Współrzędne BLH z układu geocentrycznego powinny zostać przetransformowane do układu geodezyjnego 1992 (elipsoida WGS84) oraz systemu wysokości normalnych Kronsztad 86 na podstawie punktów dostosowania wysokościowego.
4. Inną metodą pomiarową jest metoda RTN (ang. *Real-Time Network*) w oparciu o stacje referencyjne GNSS systemu ASG-EUPOS. Wykorzystując najdokładniejszy obecnie serwisu poprawek NAWGEO, które pozwalają osiągnąć powtarzalność pomiarów punktów w granicach ±0,03 m w poziomie i ±0,05 m w pionie. Wszystkie serwisy czasu rzeczywistego systemu ASG-EUPOS dostępne są pod adresem sieciowym: **system.asgeupos.pl**, na odpowiednich portalach.
5. Ostateczne wartości współrzędnych punktów pomiarowych zestawia się w tabelarycznych wykazach współrzędnych.
6. Pomiary powinny być wykonane, co najmniej dwa razy w ciągu roku.
7. Opracowanie końcowe musi zawierać tabelaryczne zestawienie wyników dla każdej sesji pomiarowej oraz wykaz współrzędnych punktów nawiązania wraz z precyzyjnym określeniem układu.

4.1.3. Naziemny skaning laserowy (NSL)

§ 13.

1. Skaning laserowy opiera się na bardzo szybkim wyznaczeniu za pomocą pomiaru laserowego współrzędnych XYZ ogromnej liczby punktów. Zbiór wynikowy, – tzw. "chmura punktów" umożliwia, po odpowiednim przetworzeniu, wygenerowanie trójwymiarowego modelu skanowanego obiektu.
2. W metodzie skanowania naziemnego skaner umieszcza się na statywie geodezyjnym. W celu pokrycia pomiarem skanerowym większych obszarów oraz uzupełnienia obszarów znajdujących się w "cieniu" skanowanych obiektów stosuje się pomiary z wielu stanowisk.
3. Przetwarzanie danych skaningu laserowego składa się z następujących etapów:
   - **Rejestracja chmur punktów** i ich połączenie w jeden model. Wprowadzając na tym etapie współrzędne położenia skanera uzyskujemy wpasowanie modelu w układ współrzędnych geodezyjnych.
   - **Filtracja danych**. Na tym etapie, z chmury punktów usuwane są punkty leżące na obiektach zbędnych w dalszych etapach przetwarzania. W badaniach osuwisk chcemy uzyskać dane o powierzchni terenu, w związku z czym usuwana jest roślinność i zabudowa. Istnieje wiele różnych metod filtracji danych wykorzystujących zaawansowane algorytmy obliczeniowe. W ograniczonym zakresie filtrację można również przeprowadzić metodą manualną.
   - **Interpolacja danych**. Na podstawie przefiltrowanej chmury punktów jest tworzony numeryczny model powierzchni terenu (NMT) osuwiska. Z uwagi na dużą gęstość danych stosuje się najczęściej metody oparte na siatce trójkątów.
4. Dla monitoringu większych powierzchni objętych osuwiskami można wykorzystywać dane pomiarowe pozyskiwane metodą kinematyczną (skaner zamontowany na platformie mobilnej) lub/i z lotniczego skaningu laserowego lub bezzałogowego statku powietrznego (BSP).

4.1.4. Pomiary tachimetryczne

§ 14.

1. Monitoring powierzchniowy można realizować techniką pomiaru tachimetrycznego metodą poligonową lub biegunową. Metoda poligonowa polega na pomiarze kątów i długości pomiędzy poszczególnymi, kolejnymi punktami, z nawiązaniem do punktów wyższego rzędu

(punkty należące do geodezyjnej osnowy państwowej lub wyznaczone za pomocą statycznego pomiaru GNSS RTK). Metoda biegunowa polega na pomiarze kątów i odległości pomiędzy punktami założonej i stabilizowanej sieci obserwacyjnej na monitorowanym obszarze a wybranymi punktami osnowy, znajdującymi się poza strefą występowania osuwiska.

2. Stanowisko pomiarowe powinno być stabilne, położone poza strefą aktywnego osuwiska oraz zapewniać dobrą widoczność na wszystkie punkty pomiarowe. Preferowane są miejsca wyżej położone, które minimalizują zakłócenia optyczne (m.in. przeszkody terenowe).
3. Jeśli jest planowany monitoring długoterminowy to jest zalecane utworzenie trwałego stanowiska, stosując np. betonowy słupek z otworem pod montaż spodarki.
4. Przy pierwszym pomiarze jest wymagane ustalenie pozycji tachimetru względem systemu współrzędnych lokalnych lub państwowych (stanowisko o znanych współrzędnych lub każdorazowe wyznaczanie współrzędnych stanowiska poprzez przyjęcie stabilnych, znanych punktów nawiązania poza obszarem monitorowanym). Aby w trakcie pomiarów tachimetrycznych wykonywać kontrolę geodezyjną, jest zalecana stabilizacja dodatkowych punktów odniesienia w terenie stabilnym.
5. Na monitorowanym terenie przyjmuje się zarówno punkty stałe (betonowe repery, stalowe bolce lub inne trwałe oznaczenia) oraz/lub punkty naturalne (wyraźne obiekty terenowe np. drzewa, budynki lub obiekty budowlane). Dobór punktów powinien uwzględniać charakterystyczne miejsca zmian rzeźby terenu.
6. Pomiar realizuje się z jednego stanowiska dla mniejszych osuwisk, natomiast dla dużych obszarów wykonuje się przejścia między stanowiskami instrumentu.
7. Pomiary tachimetryczne mogą być realizowane w trybie bezlustrowym, poprzez bezpośrednie celowanie na punkty lub w trybie pomiaru na lustro (pryzmat geodezyjny), zamontowanym na tyczce geodezyjnej, która jest ustawiana bezpośrednio na punkcie.
8. Ostateczne wartości współrzędnych punktów pomiarowych zestawia się w tabelarycznych wykazach współrzędnych.
9. Opracowanie końcowe musi zawierać tabelaryczne zestawienie wyników dla każdej sesji pomiarowej oraz wykaz współrzędnych punktów nawiązania wraz z precyzyjnym określeniem układu odniesienia.

4.1.5. Fotogrametria

§ 15.

1. Zastosowanie metody fotogrametrycznej do monitoringu powierzchniowego osuwisk polega na cyklicznym pomiarze ich powierzchni w oparciu o zdjęcia optyczne pozyskane z niskiego pułapu kamerą umieszczoną na pokładzie bezzałogowego statku powietrznego (BSP).
2. Naloty fotogrametryczne były wykonywane na wysokości nie większej niż 120 m ponad powierzchnią terenu. Pozwoliło to uzyskać obrazy z rozdzielczością terenową około 2,5 cm. Zdjęcia podczas nalotów są wykonywane w pokryciu podłużnym i poprzecznym nie mniejszym niż 70%/70%.
3. Podstawowym produktem nalotu fotogrametrycznego jest ortofotomozaika. W trakcie opracowania zdjęć jest generowana również gęsta chmura punktów, która po klasyfikacji jest wykorzystywana do zbudowania numerycznego modelu terenu (NMT).
4. Pomiary położenia charakterystycznych obiektów znajdujących się na powierzchni terenu, wykonywane na wysokorozdzielczych ortofotomozaikach, pozwalają określić potencjalne przemieszczenia poziome osuwiska. Z kolei detekcja przemieszczeń w profilu pionowym osuwiska jest wykonywana w oparciu o mapy różnicowe otrzymane z porównywania różnoczasowych NMT.

4.1.6. Satelitarna interferometria radarowa (InSAR)

§ 16.

1. Satelitarna Interferometria Radarowa – InSAR (*SAR Interferometry*) jest metodą wykorzystywaną do badania zmian ukształtowania powierzchni Ziemi. Jest to metoda teledetekcyjna wykorzystująca wzajemne przesunięcia fazy sygnału dwóch zobrazowań radarowych SAR (*Synthetic Aperture Radar*) tego samego obiektu wykonanych z nieznacznie różnych pozycji. W oparciu o różnice fazy odpowiadających sobie sygnałów radarowych z kolejnych zobrazowań SAR uzyskuje się informację o wartościach względnych rzędnej powierzchni terenu lub jej zmianach w czasie.
2. Tradycyjna technika InSAR opiera się na wykorzystaniu interferogramów tj. rastrowych zbiorów przedstawiających różnice fazy pomiędzy dwoma rejestracjami SAR. InSAR

wykorzystuje rejestracje SAR wykonywane sekwencyjnie za pomocą jednej anteny SAR w czasie kolejnych przelotów satelity nad tym samym obszarem.

3. Uzyskiwane dokładności pomiarowe w tej metodzie są często dużo niższe od oczekiwanych. Z powodu licznych ograniczeń praktyczne użycie metody InSAR jest w większości przypadków zredukowane do zobrazowań o małych bazach czasowych, przypadków badania zjawisk o silnych deformacjach zachodzących w czasie pomiędzy kolejnymi rejestracjami i badania obszarów pozbawionych roślinności.

4.1.7. Satelitarna interferometria rozpraszaczy stabilnych (PSI)

§ 17.

1. Inną metodą satelitarnej interferometrii radarowej (InSAR) jest wykorzystanie tzw. rozpraszaczy stabilnych (PSI, *Persistent Scatterers Interferometry*). Technika ta pozwala ominąć podstawowe ograniczenie klasycznej interferometrii SAR wynikające z dekorelacji sygnału. Metoda PSI pozwala wykorzystywać wszystkie obrazy SAR zarejestrowane dla danego obszaru (dla tej samej ścieżki i kadru – *track and frame*) niezależnie od odległości bazowej i warunków pogodowych w czasie rejestracji.
2. Produktem PSI jest zbiór punktów, dla których obliczono wartości wysokości, przyrostu deformacji (przy założeniu określonego modelu – najczęściej liniowego) oraz wartości deformacji dla poszczególnych epok obserwacyjnych (zobrazowań SAR). Podobnie jak w metodzie InSAR wszystkie otrzymane wartości deformacji są wielkościami względnymi: względnymi w czasie – w stosunku do rejestracji SAR przyjętej za referencyjną oraz w przestrzeni – w stosunku do punktu wybranego jako referencyjny.
3. Rozpraszacze stabilne są to najczęściej obiekty powstałe w wyniku działalności człowieka: ściany budynków, konstrukcje stalowe, betonowe itp. Przy braku takowych w obrębie osuwiska stosuje się instalację specjalnych konstrukcji nazywanych „reflektorami radarowymi”.
4. Z uwagi na dużą efektywność i małą wrażliwość na błędy orientacji, najczęściej stosowany typem reflektora radarowego jest reflektor trójścienny (*Trihedral*), nazywany też reflektorem narożnikowym (*Corner Reflector* – CR). Metoda CRInSAR umożliwia pomiar deformacji o przyrostach rzędu 1 mm/rok.

4.2. Monitoring wgłębny

4.2.1. Pomiary inklinometryczne

§ 18.

1. Ruch koluwiów osuwiska powoduje deformacje rur inklinometrycznych. Wielkość tych deformacji na danej głębokości jest obliczona przez porównanie wyniku kolejnego pomiaru w stosunku do pomiaru poprzedniego. Pozwala to na dokładne określenie badaniami inklinometrycznymi głębokości powierzchni poślizgu, a także kierunku i prędkości przemieszczeń.
2. Sonda inklinometryczna mierzy kąt pochylenia kolumny, który jest przeliczany na odchylenie boczne (odpowiadające interwałom pomiarowym). Odchylenie w jednym interwale pomiarowym jest zwane przyrostem odchylenia (ang. *incremental deviation*), zaś suma tych przyrostów przyrostem kumulacyjnym lub sumarycznym (ang. *cumulativ deviation*). Zmiany pochylenia, tzn. zmiany pozycji rur prowadniczych, są zwane przemieszczeniami. Zmiana w jednym interwale pomiarowym jest przyrostem przemieszczenia (ang. *incremental displacement*), natomiast suma przyrostów przemieszczenia jest zwana przemieszczeniem kumulacyjnym lub sumarycznym (ang. *cumulative displacement*).

§ 19.

1. Sonda inklinometryczna z elektronicznym rejestratorem powinna dokonywać zapisu pomiarów w interwale co 0,5 m w dwóch położeniach obróconych o 180^{o} względem siebie. Do poprawnego określenia azymutu przemieszczeń wymaga się dokonania odczytów we wszystkich czterech położeniach sondy. Dokładność pomiaru jest uzależniona od zastosowanej sondy pomiarowej.
2. Pierwszy pomiar (zerowy, bazowy) powinien być wykonany po całkowitym ustabilizowaniu kolumny inklinometrycznej w otworze (nie mniej niż dwa/trzy tygodnie po montażu).
3. Częstość wykonywania pomiarów inklinometrycznych powinna być nie mniejsza niż dwa razy w roku oraz po każdorazowym wystąpieniu zjawisk ekstremalnych.
4. Na podstawie uzyskanych wyników opracowuje się graficzne wykresy przyrostów odchyleń i kumulację odchyleń dla wszystkich inklinometrów oraz przyrosty przemieszczeń i sumaryczne przemieszczenia dla inklinometrów zamontowanych na monitorowanym osuwisku.

4.2.2. Pomiary hydrogeologiczne

§ 20.

1. Pomiary piezometryczne wykonuje się łącznie z pomiarami hydrologicznymii. Pomiary te mogą być wykonywane metodą standardową (świstawka hydrogeologiczna i taśma pomiarowa) bądź z zastosowaniem elektronicznych urządzeń ciągłego zapisu (limnimetr, piezometr pneumatyczny, czujniki ciśnienia porowego i inne).
2. Raport roczny przedkłada się łącznie z graficznym wykresem zmian dla każdego z punktów obserwacyjnych.

4.2.3. Pomiary hydrologiczne

§ 21

1. Pomiary hydrologiczne (wielkości opadu atmosferycznego) wykonuje się za pomocą deszczomierzy zlokalizowanych na osuwiskach lub w bezpośrednim ich sąsiedztwie.
2. Zalecane jest wykorzystywanie znormalizowanych urządzeń pomiarowych (zgodnych z normami IMiGW).
3. Najkorzystniejszą formą pomiarów ułatwiającą obliczanie tzw. czasu reakcji jest stosowanie automatycznych deszczomierzy z zapisem godzinowym zsynchronizowanym z zapisem czujników poziomu wody.

4.2.4. Inne pomiary

§ 22.

Jeżeli dla monitoringu osuwiska zastosowano inne instrumenty i metody pomiarów niż wymienione w §10–14, projekt badań powinien określać liczbę i częstotliwość pomiarów oraz sposób prezentacji wyników.

4.2.5. Badania laboratoryjne

§ 23.

1. Badania próbek gruntu wykonuje się zgodnie z normą PN-B-04452:2002 (ENV 1997-3:1999) i zaleceniami określonymi w projekcie robót w stopniu niezbędnym do prawidłowego obliczenia stateczności stoku. Zebrane wyniki badań muszą zapewnić w spójny i jednolity

sposób wszechstronną charakterystykę fizyczno-mechanicznych właściwości koluwiów i utworów podłoża osuwiska.

2. Zalecane jest badanie próbek w aparatach trójosiowego ścinania z pomiarem ciśnienia porowego, które pozwala na określenie wartości efektywnych parametrów.
3. Zalecane jest wykonanie obliczeń stateczności stoków. Metodę obliczeń należy dobrać w zależności od stwierdzonej postaci deformacji i rodzaju gruntów. Końcowym wynikiem obliczeń powinno być podanie minimalnych wartości współczynnika stanu równowagi.

5. Opracowanie wyników monitoringu

§ 24.

1. Opracowanie wyników monitoringu i prac geologicznych należy przedstawić w postaci raportów z prac monitoringowych w formie tekstowej i graficznej.
2. Raport powinien zawierać jedynie skrócone informacje o specyfice metodyki dla każdego zastosowanego pomiaru oraz analizę wyników w odniesieniu do poprzedniego i pierwszego pomiaru.
3. Zakres zawartych informacji i rodzaj załączników musi być zgodny z zatwierdzonym projektem robót.
4. Na podstawie uzyskanych wyników w Raporcie określa się stopień dynamiki osuwiska.