

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

STANDARDOWE METODY PRZECIWDZIAŁANIA SKUTKOM OSUWISK W OBSZARZE WSPARCIA

WPROWADZENIE

Działania powiatów w zakresie przeciwdziałania osuwisk sprowadzają się bardzo często do przestrzegania regulacji prawnych. Do najważniejszych aktów prawnych regulujących dotyczących osuwisk należą:

- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo Ochrony Środowiska (Dz. U. 2001, Nr 62, poz. 627) – podająca definicję ruchów masowych ziemi, oraz nakładająca na starostę obowiązek rejestracji terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi oraz terenów, na których występują te ruchy,
- Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz. U. 2004, Nr 121, poz. 1266) – zobowiązująca właścicieli gruntów rolnych i leśnych do przeciwdziałania ruchom masowym ziemi,
- Ustawa z dnia 18 kwietnia 2002 r. o stanie klęski żywiołowej” (Dz. U. 2002 Nr. 62 poz. 558) – nadająca osuwiskom charakter katastrofy naturalnej, dla zapobiegania lub usuwania której celowym może stać się ogłoszenie stanu klęski żywiołowej,
- Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz. U. 2003, Nr 80, poz. 717) – narzucająca na wójta, burmistrza lub prezydenta miasta obowiązek uwzględniania terenów osuwiskowych w zapisach i treści graficznej zarówno studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy, które jest dokumentem obligatoryjnym dla całego obszaru gminy, jak i w miejscowych planach przestrzennych. Ponadto ww. ustawa zobowiązuje organ wykonujący studium lub plan do wystąpienia o opinie dotyczące rozwiązań studium lub planu do właściwego organu administracji geologicznej, – Ustawa z dnia 17 lipca 1994r. Prawo budowlane (Dz. U. 2006, Nr 156, poz. 1118 z późn. Zm.) oraz Ustawa z dnia 11 sierpnia 2001 r. o szczególnych zasadach odbudowy, remontów i rozbiórek obiektów budowlanych zniszczonych lub uszkodzonych w wyniku działania żywiołu (Dz. U. Nr 84, poz. 906 z późn. Zm.)
- regulują kwestie katastrofy budowlanej, powstałej w wyniku osuwania się mas ziemnych.

Czynnikami limitującymi zastosowanie poszczególnych metod w obszarze wsparcia są zasoby finansowe przeznaczane na ochronę przeciwośsuwiskową. Innym czynnikiem limitującym jest wiedza na temat możliwości i techniki zastosowania poszczególnych metod. Nie we wszystkich

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

jednostkach samorządowych personel ma szeroką wiedzę na temat osuwisk, ich powstawania i metod przeciwdziałania ich skutkom. Istnieje potrzeba doksztalcenia kard samorządowych w tym zakresie. Lukę w tym obszarze powinno w pewnym stopniu wypełnić niniejsze opracowanie.

METODYKA OPRACOWANIA

Opracowanie powstało w oparciu o materiały dostępne na stronach internetowych oraz w oparciu o bezpośrednie kontakty z przedstawicielami powiatów. Wyłoniono różne metody standardowe metody przeciwdziałania skutkom osuwisk stosowane przez powiaty w tzw. obszarze wsparcia na terenie Polski oraz na terenie Słowacji (powiaty położone w Polsce: w województwie śląskim: pszczyński, cieszyński, bielski, miasto na prawach powiatu Bielsko-Biała, żywiecki, w województwie małopolskim: olkuski, chrzanowski, oświęcimski, wadowicki, suski, myślenicki, tatrzański, nowotarski, limanowski, nowosądecki, miasto na prawach powiatu Nowy Sącz, gorlicki, w województwie podkarpackim: bieszczadzki, leski, sanocki, brzozowski, krośnieński, miasto na prawach powiatu Krosno, jasielski, rzeszowski, miasto na prawach powiatu Rzeszów, przeworski, przemyski, miasto na prawach powiatu Przemyśl, jarosławski, lubaczowski. Powiaty położone na Słowacji: w Żylińskim Kraju Samorządowym: Čadca, Kysucké Nové Mesto, Bytča, Žilina, Martin, Turčianske Teplice, Ružomberok, Dolný Kubín, Námestovo, Tvrdošín, Liptovský Mikuláš, w Preszowskim Kraju Samorządowym: Poprad, Kežmarok, Stará Ľubovňa, Levoča, Sabinov, Bardejov, Svidník, Prešov, Vranov nad Topľou, Stropkov, Medzilaborce, Humenné, Snina, w Koszyckim Kraju Samorządowym: Spišská Nová Ves).

Intencją niniejszego opracowania zgodnie z zamówieniem nie było wskazanie jakie metody stosowane są w poszczególnych powiatach, lecz przegląd metod, które są stosowane w samorządach położonych w obszarze wsparcia wraz z ich dokładną charakterystyką. W trakcie opracowania posiłkowano się także dostępną literaturą, której spis zamieszczono na końcu opracowania. Opracowanie wykonane zostało według następującego schematu wynikającego z opisu przedmiotu zamówienia:

- a) opis techniczny metody przeciwdziałania osuwaniu wraz założeniami teoretycznymi,
- b) opis wad i zalet każdej metody,
- c) ocena przydatności zastosowania metody,
- d) przykłady zastosowania metod przeciwdziałania osuwaniu z powiatów/okresów położonych w obszarze wsparcia zarówno polskich jak i słowackich.

STANDARDOWE METODY PRZECIWDZIAŁANIA SKUTKOM OSUWISK

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Pośród działań jednostek powiatowych położonych w obszarze wsparcia zidentyfikowano następujące standardowe metody przeciwdziałania skutkom osuwisk w obszarze wsparcia:

1. Mapowanie obszarów osuwisk w celu udostępnienia dla mieszkańców i inwestorów informacji o położeniu osuwisk

a) Opis techniczny metody przeciwdziałania osuwaniu wraz założeniami teoretycznymi

Metoda polega na zobrazowaniu położenia i dokładnej powierzchni osuwisk. Do tego celu opracowywane są systemy mapowe umownie nazywane geoportalami, funkcjonujące często pod nazwą system informacji przestrzennej. Zbudowane są one z wielu warstw prezentujących odmienne typy zespołów obiektów. Do budowy geoportali stosowane są narzędzia GIS które umożliwiają bardzo precyzyjne przyporządkowanie obiektów punktowych, liniowych i przestrzennych m mapie. Każdy z obiektów położonych na mapie ma swoje współrzędne geograficzne. Posiadając odbiornik GPS w prosty sposób można odnaleźć na mapie nawet najmniejsze obiekty położone nie tylko w terenie zabudowany ale także w obszarze leśnym. Obiekty te są uporządkowane w postaci warstw, najczęściej są to: Topografia wraz z obiektami punktowymi i liniowymi, Granice administracyjne, Ortofotomapa, Ukształtowanie powierzchni, Hydrografia. Często system map zawiera różne dodatkowe warstwy np. Osnowę geodezyjną, Plany miejscowe, Monitoring warunków glebowych, Monitoring obiektów ruchomych itp. Wiele z warstw wchodzących w skład geoportalu pochodzi z portalu krajowego Geoportal.gov.pl. Osuwiska najczęściej występują w geoportalu pod nazwą warstwy: Geologia, lub też stawiają odrębną warstwę po prostu o nazwie: Osuwiska. Tereny osuwiskowe zaznaczone są zwykle obrysem, pod nim zamieszczone są dowolnie, inne warstwy w geoportalu.

b) Opis wad i zalet metody

Do zasadniczych zalet mapowania obszarów osuwisk należy możliwość informowania mieszkańców i potencjalnych inwestorów o położeniu osuwisk, co ogranicza zagrożenie planowania inwestycji budowlanych w obszarach objętych osuwiskami. Jedną z podstawowych ról map osuwiskowych jest wyeliminowanie sytuacji, w której inwestor podejmuje działania związane np. z wykupowaniem gruntów na terenach osuwiskowych. Kolejną zaletą proponowanego rozwiązania jest ogólna dostępność (otwarty dostęp) mapy z położeniem osuwisk dla wszystkich potencjalnych użytkowników. Umieszczenie geoportalu w zasobach internetowych Powiatu oraz informacja i linki do uruchomienia geoportalu w wielu opisach na stronie powiatu sprawiają, że informacja o położeniu osuwisk jest ogólnodostępna.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Do zasadniczych wad przyjętego mapowania obszarów osuwiskowych należy fakt, że źródłem obrysów osuwisk są dane SOPO które ulegają ciągłym zmianom, wraz ze zmianami położenia i zasięgu osuwisk. W latach wilgotnych zasięgi osuwisk zmieniają się znacznie, powstają także nowe, liczne osuwiska, które nie są wciągnięte do geoportalu, który stanowi często obraz statyczny. Dane o osuwiskach włączone do wielu geoportali nie są aktualizowane. Z drugiej strony, wśród inwestorów powstaje mylne wrażenie, że jeżeli będą inwestować poza obszarem osuwiskowym zaznaczonym na mapie, wtedy unikną całkowicie zagrożenia osuwiskowego. Nie jest to prawdą, ponieważ tereny położone w górach fliszowych do jakich należą Karpaty Zewnętrzne, są w mniejszym lub większym stopniu narażone na osuwanie. W czasie potencjalnej katastrofy osuwiskowej powstają obszary osuwiskowe, nie zaznaczone do tej pory na mapie. Innym problemem jest wyznaczanie aktywności osuwisk. To właśnie aktywność osuwiska jest elementem, który pozwala oszacować na ile jest ono niebezpieczne. Aktywność ta była szacowana przy sporządzaniu map osuwiskowych SOPO. Jednak oznaczanie aktywności osuwisk polegało na wzrokowej ocenie, co w rzeczywistości nie pozwala na wyznaczenie aktywności osuwisk. Dlatego szacunki co to aktywności osuwisk w ramach SOPO należy traktować z dużą rezerwą. Wyjątek stanowią obszary objęte monitoringiem wglębnym, czyli te osuwiska, na których założono inklinometry.

c) Ocena przydatności zastosowania metody

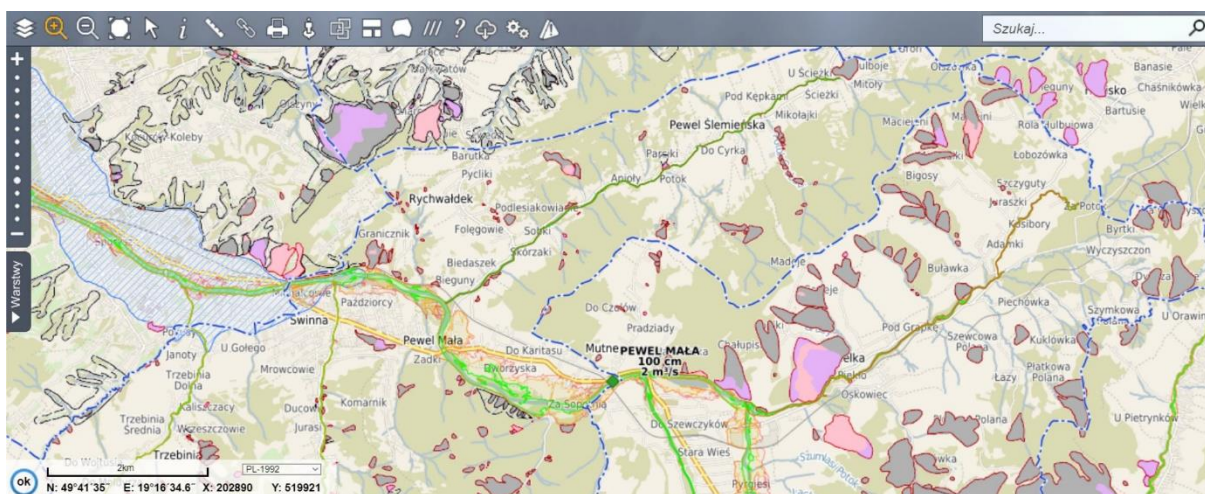
Metoda mapowania osuwisk jest ważnym elementem przeciwdziałania zagrożeniu osuwiskowemu. Mapy osuwiskowe zamieszczone otwartym dostępem, pozwalają dotrzeć wszystkim potencjalnym inwestorom do informacji o położeniu osuwisk. Z pewnością geoportal ogranicza zagrożenie lokalizacji inwestycji na terenach osuwiskowych. Z drugiej strony mapa jest obrazem statycznym, który kiedy nie jest aktualizowany, wtedy nie daje aktualnego obrazu o położeniu osuwisk. Ponadto na mapach nie ma rzetelnych informacji o osuwiskach aktywnych, czyli tych, które są szczególnie niebezpieczne dla inwestorów. Oznacza to, że mapa osuwisk pomimo swoich wielu zalet nie wystarcza do wskazania terenów bezpiecznych pod względem osuwiskowym, czyli takich na których nie powinno dojść do powstania osuwisk. Oprócz mapy powinno się wykorzystywać inne metody analizy osuwisk. Chodzi tu szczególnie o te metody, które pozwalają na określenie aktywności osuwisk, czyli stwierdzenie czy dane osuwisko jest stabilne i nie przemieszcza się, czy też wykazuje ono przejawy aktywności.

d) Przykłady zastosowania metody mapowania w celu przeciwdziałania osuwaniu z powiatów/okresów położonych w obszarze wsparcia, na terenie Polski i Słowacji.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

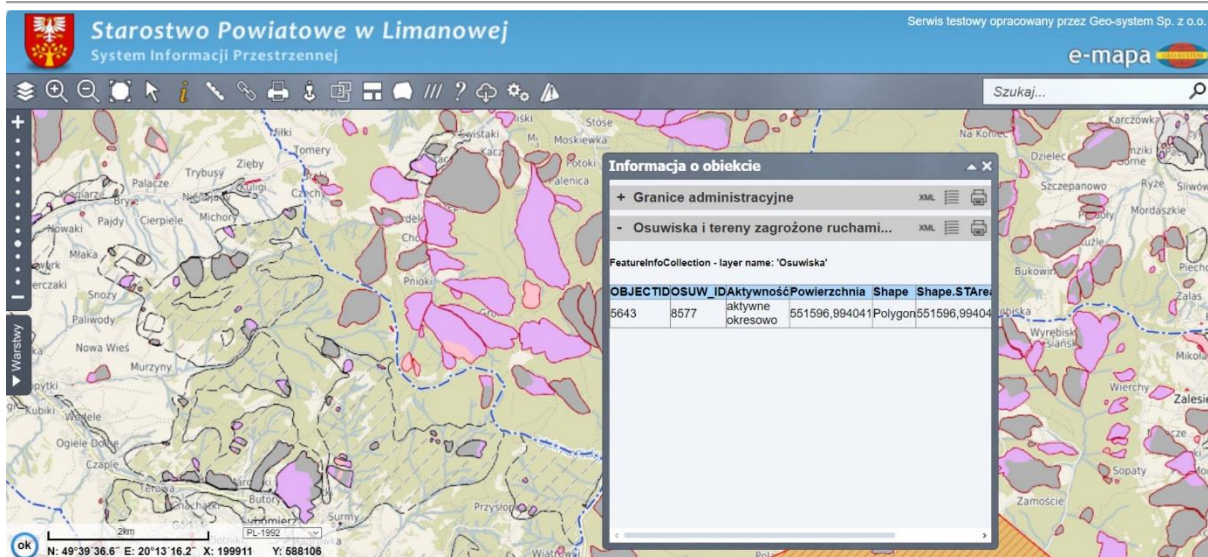
System informacji przestrzennej jest użytkowany przez wszystkie polskie powiaty położone w obszarze wsparcia. Przykładem zastosowania mapowania obszarów osuwiskowych jest system informacji przestrzennej użytkowany przez Starostwa Powiatowe w Żywcu (<https://zywiecki.e-mapa.net>), w Limanowej (<https://limanowski.e-mapa.net>), czy też przez powiat nowosądecki. Osuwiska można obejrzeć na tle warstwy złożonej z obiektów topograficznych. Źródłem dla położenia osuwisk na mapach powiatowych jest portal SOPO (System Osłony Przeciwosuwiskowej). W systemach powiatowych zamieszczono warstwę (Geologia) w obrębie której zaznaczono obrysami granice osuwisk, w zależności od poziomu aktywności osuwiska oznaczono je za pomocą kolorów (Rycina 1). Po kliknięciu na zakreślony obszar każdego osuwiska pojawia się opis dotyczący jego powierzchni oraz szacunku co do jego aktywności (Rycina 2). Szczególnie ważne z punktu widzenia planowania zabudowy są osuwiska oznaczone jako ciągle aktywne (Rycina 3).



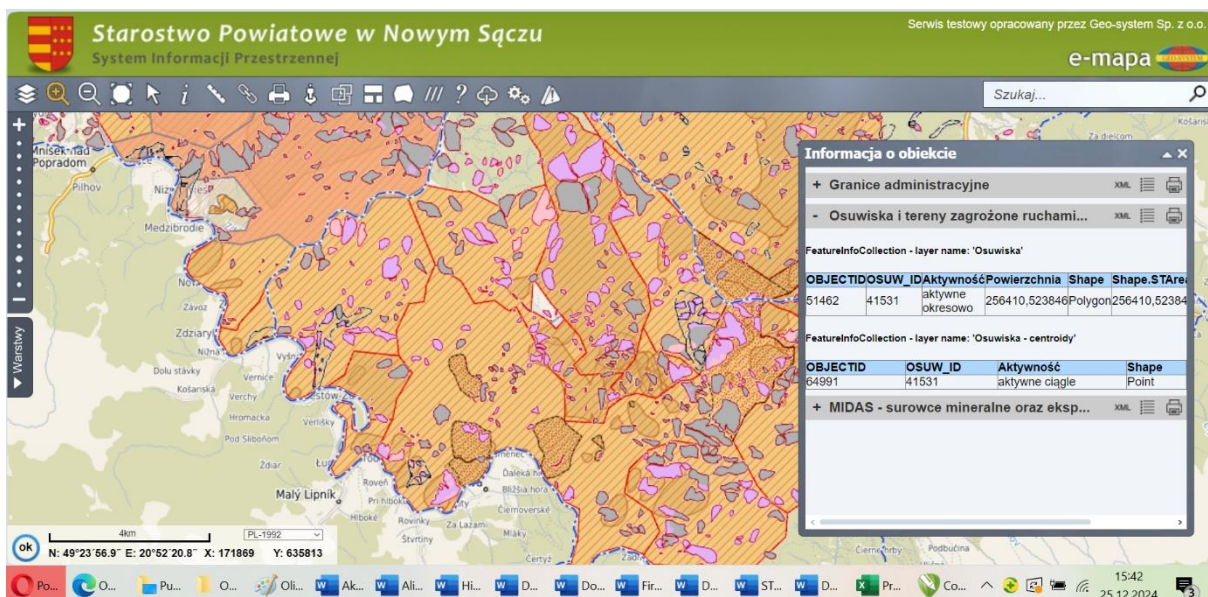
Rycina 1. Mapa wygenerowana z Systemu Informacji Przestrzennej dla obszaru powiatu żywieckiego prezentująca osuwiska obrysowe na czerwono i wypełnione kolorami szarym (osuwiska nieaktywne), różowym (okresowo aktywne) i jasnym czerwonym (stale aktywne).

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zadržanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Rycina 2. Mapa wygenerowana z Systemu Informacji Przestrzennej dla obszaru powiatu limanowskiego prezentująca osuwiska oraz kartę osuwiska otwierającą się po kliknięciu na obszar osuwiska, zaprezentowano przykład osuwiska okresowo aktywnego (kolor różowy).

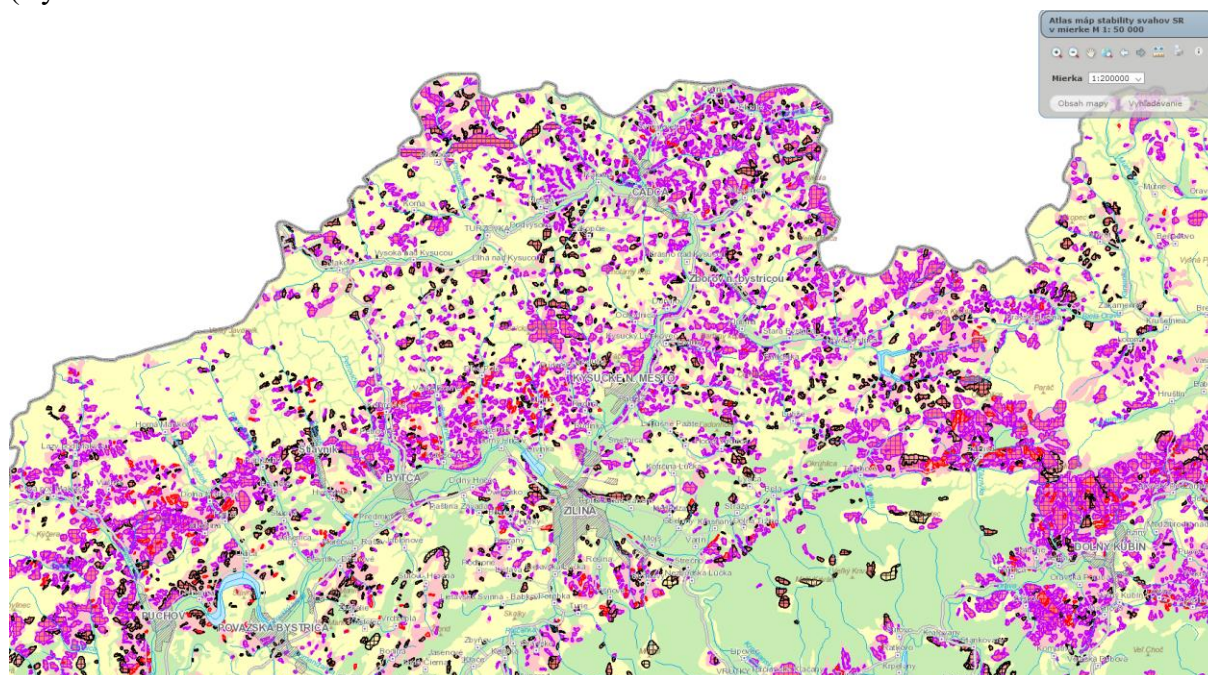


Rycina 3. Mapa wygenerowana z Systemu Informacji Przestrzennej dla obszaru powiatu nowosądeckiego prezentująca osuwiska oraz kartę osuwiska otwierającą się po kliknięciu na obszar osuwiska, zaprezentowano przykład osuwiska ciągle aktywnego (kolor jasnoczerwony).

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Mapy procentujące deformacje na stokach i jednocześnie zagrożenie osuwiskami są dostępne także dla jednostek samorządowych położonych na Słowacji. W słowackim systemie mapowym także zaznaczone są strefy, w których występują przemieszczenia. Podobnie jak w przypadku map z obszaru Polski zaznaczone są one przestrzennie i podzielone na strefy aktywne i nieaktywne (Rycina 4).



Rycina 4. Fragment mapy prezentującej deformacje osuwiskowe i zagrożenie osuwiskami pochodzący z geoportalu słowackiego (strefy zaznaczone na różowo to strefy deformacji stoków, strefy zaznaczone na pomarańczowo to strefy aktywne, zagrażające infrastrukturze (Źródło: www.geology.sk).

2. Monitoring geodezyjny wybranych osuwisk

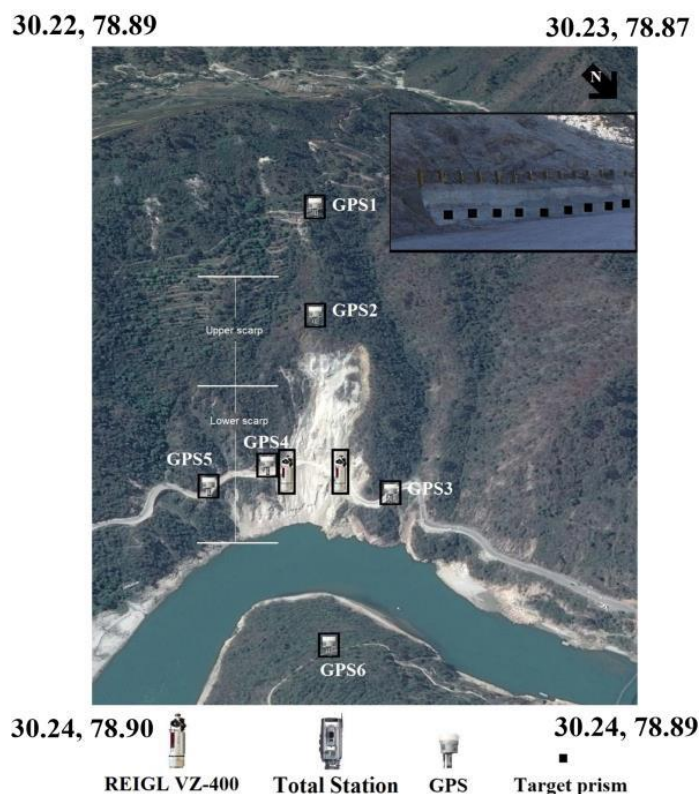
a) Opis techniczny metody przeciwdziałania osuwaniu wraz założeniami teoretycznymi

Monitoring geodezyjny osuwisk znany jest od dawna. Jednak z czasem, wraz z rozwojem technik geodezyjnych staje się on coraz bardziej dokładny. Polega on najogólniej na powtarzalnym pomiarze pozycji punktów położonych w obrębie osuwiska. Mierząc pozycję tych samych punktów na osuwisku (np. co 3 miesiące) można stwierdzić czy osuwisko jest aktywne, czyli czy poszczególne punkty osuwiska zmieniają swoją pozycję w przestrzeni. Niegdyś do monitoringu

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

geodezyjnego osuwisk były używane teodolity, obecnie używa się precyzyjnych odbiorników GPS. Możliwe jest także instalowanie odbiorników GPS na osuwisku i ciągły pomiar ruchu osuwiska, wtedy ewentualna aktywność osuwiska jest najlepiej widoczna. Pomiar geodezyjny osuwisk ma swoje podstawy i pewne założenia wynikające wcześniej opracowanych instrukcji. Prace terenowe obejmujące monitoring geodezyjny osuwisk polegają na kilku etapach: wykonanie mapy sytuacyjno-wysokościowej (1), stabilizacji punktów pomiarowych (2), instalacji przyrządów do obserwacji osuwiska (3), (Instrukcja PIG 2008). Monitoring powierzchniowy osuwisk z wykorzystaniem geodezji prowadzi się na podstawie zastabilizowanej siatki punktów pomiarowych w obrębie osuwiska, przy czym liczbę i lokalizację punktów pomiarowych wchodzących w skład siatki ustala się indywidualnie, dla każdego monitorowanego osuwiska (Szafarczyk, 2011); (Rycina 5).



Rycina 5. Przykład zainstalowanych przyrządów do obserwacji geodezyjnej osuwisk.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Źródło: Tiwari, A., Narayan, A. B., Devara, M., Dwivedi, R., & Dikshit, O. (2018). Multi-sensor geodetic approach for landslide detection and monitoring. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, 287-292.

Lokalizacja punktów pomiarowych jest głównie zależna od ich trwałości posadowienia, co umożliwia wielokrotny pomiar geodezyjny. Punkty powinny być tak posadowione aby możliwy był pomiar współrzędnych X,Y,Z. Zwykle, dodatkowo zakłada się trzy punkty referencyjne dla osuwiskowych punktów pomiarowych. Są to punkty mierzone poza osuwiskiem, bądź są po prostu punkty osnowy geodezyjnej, dla których prowadzone będą obserwacje. Wykorzystanie odbiorników GPS powinno być wykonane metodą statyczną z określeniem punktów bazowych. Za pomocą statywów i spodek z pionownikiem optycznym mocuje się anteny odbiorników. Wyniki pomiarów zostają odniesione do co najmniej 3 punktów osnowy geodezyjnej. Do punktów tych stale nawiązuje się przy kolejnych sesjach pomiarowych. Pomiary geodezyjne osuwisk pozwalają na określenie tzw. wskaźników deformacji do których należą:

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

Przemieszczenia są najczęściej sprawozdawane w postaci tabelarycznej lub poprzez wrysowanie wektorów przesunięć na mapie lub na wykres (Rycina 6).

b) Opis wad i zalet metody

Główną zaletą metody geodezyjnej jest jej stosunkowo niska cena w porównaniu do metod wgłębnych takich jak np. instalowanie inklinometrów. Może być ona także zastosowana w różnych miejscach, niezależnie od położenia osuwiska. Do zalet metody należy także stosunkowo prosty system pomiaru odkształceń. Jest ona także metodą bardzo dokładną pozwalającą na szczegółowy monitoring aktywności osuwania. Do niewątpliwych wad metody należy jej powierzchniowy charakter. W trakcie pomiarów geodezyjnych nie otrzymuje się informacji dotyczących na przykład położenia podziemnej płaszczyzny poślizgu, nie dostępne są dane dotyczące jej głębokości, a co za tym idzie nie można oszacować kubatury masy skał, która może ulec przemieszczeniu podczas przyspieszenia osuwania, czyli zwiększenia aktywności osuwiska. Dlatego skala osuwania w przyszłości jest bardzo trudna do oszacowania przy zastosowaniu monitoringu geodezyjnego osuwisk. Do wad metody należy także konieczność oczekiwania na wyniki dotyczące aktywności osuwiska od momentu pierwszego pomiaru. Zwykle o aktywności osuwiska można wnioskować,

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

co najmniej roku od pierwszych pomiarów geodezyjnych. Oczekiwanie na określenie aktywności osuwiska może czasami opóźnić inwestycje zaplanowane na terenie, w którym prowadzone są pomiary geodezyjne.

c) Ocena przydatności zastosowania metody

Metodę należy uznać jako przydatną do analizy aktywności osuwisk. Szczególnie będzie ona dobra dla jednostek samorządowych, ponieważ może pomiarami obejmować duże obszary i metoda pozwala na analizę wielu osuwisk. Warto także zauważyć, że niezależnie od rozmieszczenia osuwisk można geodezyjnie monitorować obszary, które w przyszłości powinny zostać objęte inwestycjami. Trzeba mieć na względzie fakt, że osuwiska mogą powstawać w strefach gdzie obecnie nie występują. Często takie nowe obszary objęte osuwiskami są zaskoczeniem dla władz lokalnych, czy też dla inwestorów, dlatego rekomenduje się objęcie monitoringiem geodezyjnym obszary przyszłych inwestycji. Dotyczy to zwłaszcza stref górskich i podgórszych położonych w obszarach podatnych na osuwanie z przyczyn geologicznych. Jak wiadomo, właśnie takie obszary występują w powiatach położonych na obszarze wsparcia projektu.

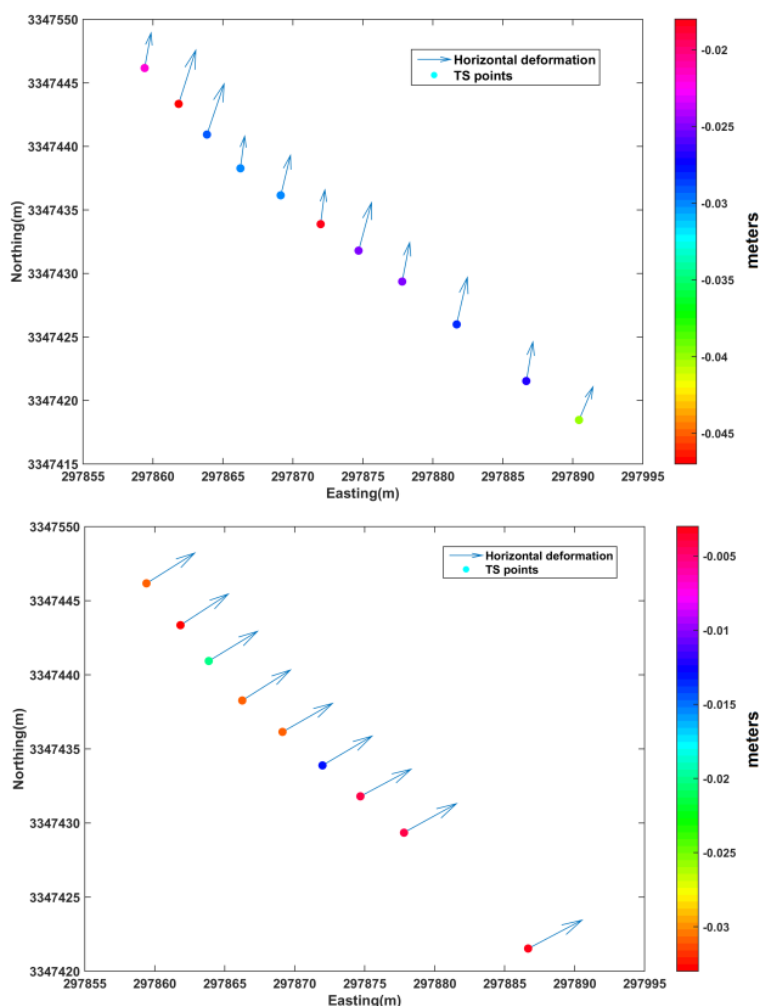
d) Przykłady zastosowania metody geodezyjnej w celu przeciwdziałania osuwaniu z powiatów/okresów położonych w obszarze wsparcia

Przykładem zastosowania metody geodezyjnej w celu przeciwdziałania osuwaniu jest monitoring osuwiska w rejonie nieczynnego kamieniołomu "Kozy" realizowane przez Starostwo Powiatowe w Bielsku Białej. Zwykle takim monitoringiem objęte są osuwiska stanowiące niebezpieczeństwo dla zdrowia i życia ludzi oraz dla infrastruktury. Osuwisko Kozy jest geodezyjnie obserwowane od 2020 roku. Dotąd sporządzono trzy raporty z przeprowadzonych obserwacji geodezyjnych w 2021, 2022 i 2024 roku. Z raportów wynika, że na terenie osuwiska zainstalowano 16 punktów pomiarowych, które na stałe zastabilizowano na obszarze osuwiska. Punkty zostały wyznaczone równomiernie w miejscach występowania zjawisk osuwiskowych, na całym monitorowanym obszarze. Następnie wszystkie punkty umieszczono na mapie sytuacyjno-wysokościowej. Pomiar pierwotny, który był pomiarem referencyjnym dla pomiarów późniejszych został wykonany 20.10.2020 roku za pomocą metody GNSS RTK odbiornikiem GINTEC F90. Pomiar był wykonywany tyczką zastabilizowaną na bipodzie. Pierwszy pomiar kontrolny miał miejsce 22.09.2021. W ten sposób uzyskano współrzędne xyh dla każdego punktu. Punkty zostały pomierzone z dokładnością xy: 0,01 m i h: 0,03 m. Analiza punktów pomiarowych wykazała, że na terenie osuwiska nie wystąpiły przemieszczenia skał mogące wskazywać na uaktywnienie osuwiska. Stwierdzono jedynie niewielki ruch skał, w granicach od dwóch do trzech centymetrów w dół skarpy. Kolejny pomiar kontrolny został wykonany w dniu 01.08.2022. Po ponownej analizie

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

wszystkich pomiarów stwierdzono, że na monitorowanym osuwisku nie wystąpiły znaczące przemieszczenia. Stwierdzono ponownie jedynie niewielkie przemieszczenia gruntu w granicach od dwóch do czterech centymetrów w dół skarpy. Ostatni z dotychczasowych pomiarów miał miejsce w 08.11.2024. Jeszcze raz okazało się, że w badanym obszarze nie wystąpiły znaczne przemieszczenia gruntu wskazujące na ewentualną aktywizację osuwiska. Niewielkie przemieszczenia powierzchniowe osiągnęły zaledwie 5 cm.



Rycina 6. Przykład zobrazowania kierunków i skali przesunięć skał w obrębie osuwiska zidentyfikowanych w podczas monitoringu geodezyjnego.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Źródło: Tiwari, A., Narayan, A. B., Devara, M., Dwivedi, R., & Dikshit, O. (2018). Multi-sensor geodetic approach for landslide detection and monitoring. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, 287-292.

Innym przykładem osuwiska, na którym prowadzony był monitoring geodezyjny jest osuwisko w Kłodnem, w powiecie Limanowskim. Osuwisko to było uruchomione podczas katastrofy osuwiskowej w 2010 roku, od tego czasu objęte jest ono monitoringiem, między innymi geodezyjnym. Osuwisko osiągnęło rozmiary 460 m szerokości i 1050 m długości. Pomiary na osuwisku prowadzono z wykorzystaniem tradycyjnych metod tachimetrycznych jak i z wykorzystaniem techniki GNSS (Global Navigation Satellite Systems); (Ćwiąkała i inni, 2016). Dokładność przyjętego rozwiązania wyniosła kilka milimetrów, punkty pomiarowe założono gęsto, tak, aby obraz osuwania gruntu był pełniejszy. Założono 68 punktów pomiarowych, rozmieszczono je w miarę równoległe tak, aby ich rozmieszczenie odzwierciedlało zmiany morfologii terenu. Stabilizacji punktów dokonano używając stalowych rurek o długości 1 m. Każda z rurek została zaspawana od góry, w spawach nawiercono otwory, które służyły jako miejsce dla instrumentów pomiarowych używanych podczas kolejnych pomiarów geodezyjnych (Ćwiąkała i inni, 2016). Pomiary wyjściowe (referencyjne) wykonane zostały w maju 2013 roku. Pomiary właściwe zostały wykonane w kwietniu 2014 roku i w październiku 2014 roku. Wartości przemieszczeń otrzymane w trakcie pomiaru wykonanego w kwietniu 2014 roku były bardzo niewielkie. Wektor przemieszczenia poziomego wyniósł od 1,0 do 8,1 mm, a pionowego osiągnął od -9,8 do 13,5 mm. Dopiero kolejny pomiar wykonany w październiku 2014 roku wykazał znaczne przesunięcia pionowe i poziome materiału. Aktywowana była górna partia osuwiska, zwłaszcza skarpa główna. Przesunięcia poziome punktów pomiarowych wyniosły do 94 mm, zaobserwowano także niewielkie przesunięcia, które zaszły powyżej osuwiska, jednak przesunięcia te oznaczono na granicy błędu ich wyznaczenia. Zidentyfikowano także ruchy pionowe, wystąpiły one w tych samych punktach pomiarowych, co ruchy poziome, czyli w rejonie skarpy głównej osuwiska. Ruchy pionowe osiągnęły wartość od -63 mm do 16 mm (Ćwiąkała i inni, 2016). W ten sposób przeprowadzone badania pozwoliły na określenie rzeczywistej aktywności osuwiska w Kłodne w ciągu 1 roku. Pozwalają one stwierdzić, jakie części osuwiska uaktywniają się i przewidzieć strefy szczególnie zagrożone na osuwanie.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

3. Monitoring osuwiska z wykorzystaniem inklinometrów w Polsce i na Słowacji

a) Opis techniczny metody przeciwdziałania osuwaniu z wykorzystaniem inklinometrów wraz założeniami teoretycznymi

Inklinometr to czujnik nachylenia (wskaźnik pochyłu), urządzenie to służy do pomiaru kątów nachylenia, mierzy ono wysokości lub obniżenia obiektu względem siły grawitacji. Inklinometry mierzą zarówno nachylenia dodatnie, jak i ujemne. Czujnik przechyłu może mierzyć przechylenie w dwóch lub trzech osiach płaszczyzny. W przypadku wyznaczania aktywności osuwisk inklinometry montuje się w otworach wiertniczych. W otwory te wprowadza się rury o różnej średnicy, najczęściej wyposażone w przeguby zwiększające ich wytrzymałość, umożliwiające pomiar przemieszczeń na dużych głębokościach, nawet do kilkudziesięciu metrów pod ziemią (Rycina 7). Do cementacji otworu wykorzystuje się różne masy np. cementowo-bentonitowe dostosowane do rodzaju skał występujących w strefie, w której wykonano otwór. Cementacji powinno się dokonać w taki sposób, aby zapewnić dobre przenoszenie sił działających w górotworze na rury pomiarowe (Bednarczyk, 2008). Ewentualne nachylenie rur inklinometrycznych jest mierzone za pomocą sondy inklinometrycznej, zwykle mierzącej odchylenia w dwóch płaszczyznach, z dokładnością do 0,1 mm. Po opuszczeniu sondy do otworu odczytuje się pierwszy pomiar, po czym podnosi się sondę o odcinek pomiarowy i dokonuje się kolejnych odczytów, najczęściej co 0,5 m. Procedurę tę powtarza się aż do chwili, gdy sonda znajdzie się na poziomie powierzchni terenu. Serie pomiarowe wykonywane są w odstępach czasowych np. trzymiesięcznych, co daje możliwość zaobserwowania przemieszczeń gruntu wynikających z osuwania wraz z upływem czasu. Po pomiarach wykonuje się profile przemieszczeń obrazujące wielkość, kierunek i głębokość, na której zachodzi ruch osuwiska (Rycina 8). Zmierzone nachylenia rur inklinometrycznych w stopniach są przeliczone na wielkości przemieszczeń poziomych w milimetrach na podstawie funkcji trygonometrycznych. Dla przemieszczeń kalkulowane są także błędy pomiarowe. Dzięki inklinometrom możliwe jest stwierdzenie przemieszczeń poziomych i poziomych skał podlegających osuwaniu na różnych głębokościach, zależnie od głębokości, na której zainstalowany został inklinometr. Podobne prace prowadzone są także na terenie Słowacji, wykorzystanie inklinometrów do oznaczania zagrożenia osuwiskowego jest tam powszechne. Na rycinie 9 przedstawiono wyniki monitoringu osuwiska z wykorzystaniem inklinometru w miejscowości Dolna Tižina.

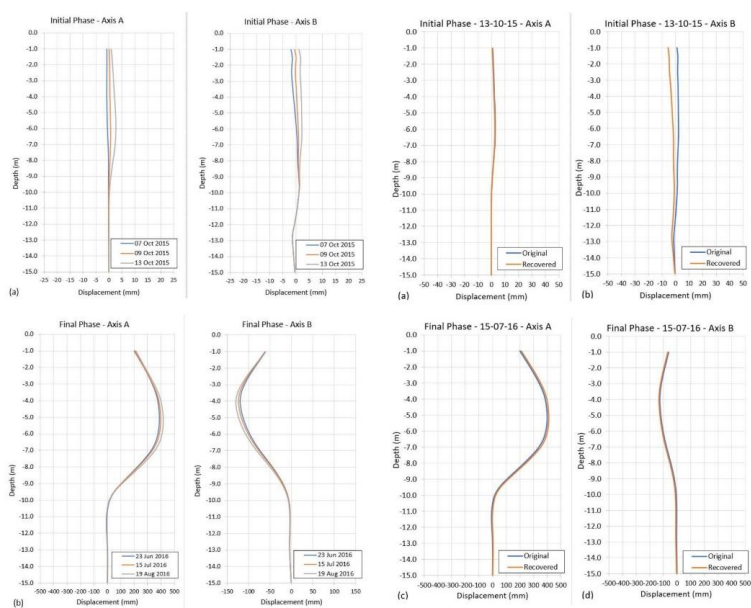
Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Rycina 7. Sonda umieszczona w kolumnie inklinometrycznej

Źródło: <https://azdot.gov/blog-article/measuring-slopes-prevent-landslides> (oficjalna strona internetowa stanu Arizona).



Rycina 8. Przykłady odkształceń wynikających z pomiarów inklinometrycznych

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

osuwania. Dzięki instalowaniu inklinometrów możliwa jest także identyfikacja głębokości, na której występuje tzw. płaszczyna poślizgu, czyli powierzchnia po której przemieszcza się masa osuwiska. Jest to o tyle ważne, że pozwala racjonalnie zaplanować ewentualną stabilizację osuwiska. Do zdecydowanych wad metody należy jej bardzo wysoki koszt. Instalacja inklinometrów jest bardzo droga i raczej nie ma możliwości aby była ona wykonana przez samorządy lokalne, zwykle inklinometry są instalowane w ramach działań Państwowego Instytutu Geologicznego. Z dużym kosztem instalacji inklinometrów łączy się także brak możliwości odczytu ruchu osuwiska na dużym obszarze. Zwykle na osuwisku instalowany jest jeden lub dwa inklinometry, co może być przyczyną niedostrzeżenia ruchu osuwiska, jeśli ruch ten zachodzi poza strefą w której zainstalowano inklinometr. Osuwiska bardzo często uaktywniają się jedynie w niektórych partiach, podczas gdy pozostała część osuwiska jest stabilna. Dlatego istotne jest zainstalowanie punktów pomiarowych w obrębie całego osuwiska, a nawet poza nim, co przy zastosowaniu inklinometrów jest praktycznie niemożliwe, ze względu na duże koszty metody. Do wad metody należy także konieczność oczekiwania na wyniki dotyczące aktywności osuwiska od momentu pierwszego pomiaru inklinometrycznego. Zwykle o aktywności osuwiska można wnioskować co najmniej po roku od zainstalowania inklinometru. Oczekiwanie na określenie aktywności osuwiska może opóźnić inwestycje, a także opóźnia określenie zagrożenia osuwiskowego.

c) Ocena przydatności zastosowania metody

Metoda analizy aktywności osuwania z zastosowaniem inklinometrów z pewnością daje najlepszy obraz osuwania spośród wszystkich metod, jakie stosuje się do identyfikacji aktywności osuwiskowej. Jednak metoda ta, ze względu na bardzo wysokie koszty instalacji i odczytów z inklinometrów jest trudna do powszechnego zastosowania. Zwykle inklinometry są instalowane na osuwiskach, które już zostały wcześniej uruchomione i poczyniły już zniszczenia w infrastrukturze, np. w strefie, w której w wyniku ruchów osuwiskowych pękają ściany budynków. Ogranicza to znacznie skuteczność szacowania zagrożenia osuwiskowego, ponieważ bardzo rzadko inklinometry są instalowane w strefach, w których nie zidentyfikowano dotychczas niszczących infrastrukturę ruchów osuwiskowych.

d) Przykłady zastosowania inklinometrów w celu przeciwdziałania osuwaniu z powiatów/okresów położonych w obszarze wsparcia

Przykładem zastosowania inklinometrów jest monitoring podziemny osuwiska zlokalizowanego w powiecie sanockim, w gminie Komańcza, w miejscowości Radoszyce. Monitoring został założony

Polska – Słowacja

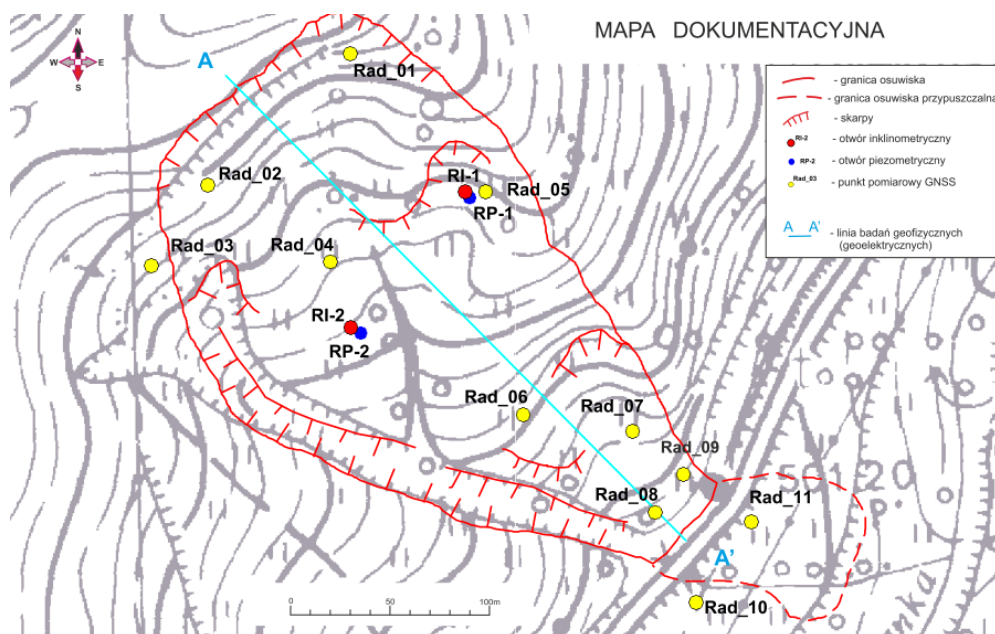
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

w 2017 roku. Powodem instalacji dwóch inklinometrów była analiza rzeźby osuwiskowej która wykazała, że osuwisko może być okresowo aktywne, a przede wszystkim zidentyfikowano odkształcenia na drodze wojewódzkiej biegnącej poprzez koluwia (osady) osuwiskowe. Inklinometry zostały zainstalowane do głębokości 25 metrów, mniej więcej w środkowej części osuwiska (Rycina 9). Pierwszego pomiaru w założonych kolumnach inklinometrycznych dokonano 25.04.2018 roku, był to pomiar referencyjny, do którego odnoszono następne pomiary. Pierwszy pomiar odkształceń wykonany został 11 października 2018 roku. Pomiar wykazał niewielkie odkształcenia, które zostały zarejestrowane w jednej kolumnie inklinometrycznej, wynoszące do 1,3 mm, przemieszczenia te wystąpiły do głębokości 4 m. Kolejne pomiary zostały wykonane w 05.06.2019 roku i w dniu 01.10.2019 roku. W 2019 r., w pierwszej kolumnie odnotowano nieznaczne przyrosty przemieszczenia nieprzekraczające 0,8 mm w najniższej części profilu pomiarowego. Od początku badań skumulowane przemieszczenie nie przekroczyło wartości 3 mm. W drugiej kolumnie odczytano niewielkie przyrosty przemieszczenia do głębokości 4 m., o wartościach około 1,8 mm. W kolejnym, 2020 roku dokonano odczytów 19.05.2020 roku oraz 15.10.2020 roku. Pomiary w pierwszej kolumnie wykazały nieznaczne przyrosty przemieszczenia nieprzekraczające 0,6 mm w najniższej części profilu. W drugiej kolumnie zidentyfikowano niewielkie przyrosty przemieszczenia na głębokości 4 m o wartościach około 0,8 mm, a na głębokości 18,5 m przemieszczenie wyniosło 1,3 mm. W roku 2021 odczyty były wykonane w dniach 26.05.2021 i 05.10.2021. W pierwszej kolumnie odnotowano nieznaczne przyrosty przemieszczenia nieprzekraczające 0,2 mm w najniższej części profilu pomiarowego. W kolumnie drugiej pomierzono niewielkie przyrosty przemieszczenia na głębokości 4 m, o wartościach około 1,8 mm, a na głębokości -18,5 m przemieszczenie wyniosło 1,7 mm. W roku 2022 odczyty miały miejsce 20.05.2022 i 05.15. 2022 roku. W pierwszej kolumnie pomiarowej odnotowano nieznaczne przyrosty przemieszczenia nieprzekraczające 0,5 mm w najniższej części profilu pomiarowego, w drugiej kolumnie pomierzono niewielkie przyrosty przemieszczenia na głębokości 4 m, a na głębokości 18,5 m przemieszczenie wyniosło 2,1 mm, co pokazuje stały przyrost przemieszczenia na tej głębokości. Ostatnie dostępne pomiary miały miejsce w 2023 roku, w dniach 14.06.2023 i w dniu 23.11. 2023. W pierwszej kolumnie odnotowano nieznaczne przyrosty przemieszczenia nieprzekraczające 0,6 mm w najniższej części profilu pomiarowego. Od początku badań skumulowane przemieszczenie nie przekroczyło wartości 8 mm, przy błędzie odczytu pomiarowego wynoszącym $\pm 2,99$ mm. W drugiej kolumnie pomierzono niewielkie przyrosty przemieszczenia na głębokości 4 m ($\pm 1,8$ mm), a na głębokości 18,5 m przemieszczenie wyniosło 4 mm. Pozostałe zmiany mieściły się w granicach błędu pomiarowego $\pm 2,96$ mm. Wyniki pomiarów zostały przedstawione na rycinie 10. Przeprowadzone pomiary nie wykazały znacznych przemieszczeń skał w obrębie punktów, gdzie zainstalowano inklinometry. Zwykle analiza inklinometryczna jest powiązana z analizą powierzchniową aktywności osuwania i dopiero wtedy można w sposób

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

pełniejszy ocenić zagrożenie osuwiskowe (Opisane w tym akapicie dane pochodzą z zasobów witryny internetowej Projektu SOPO prowadzonej przez PIG-PIB).

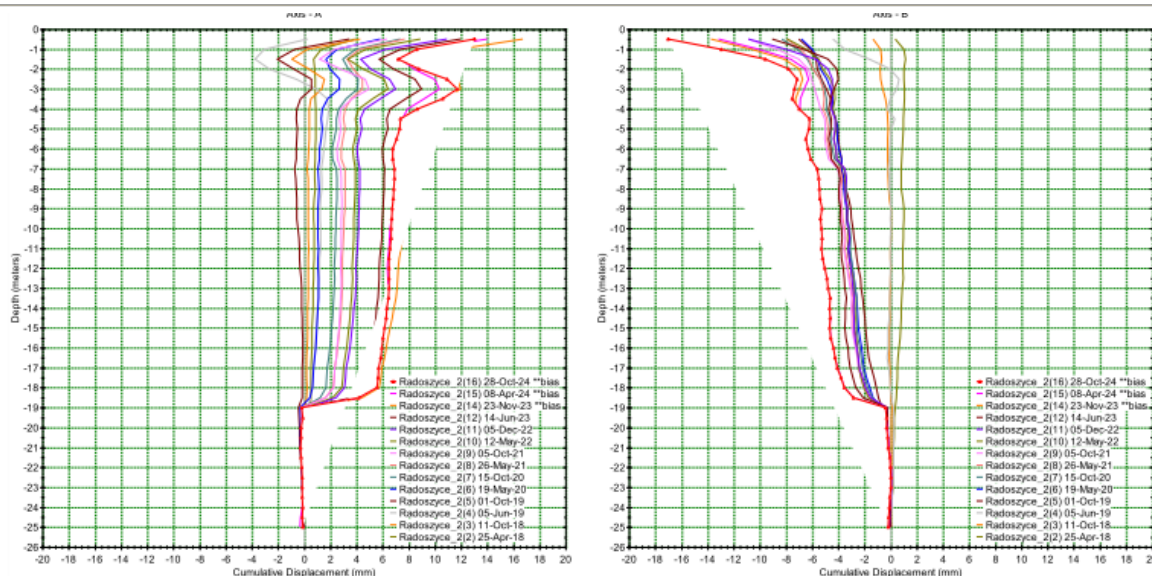


Rycina 9. Położenie inklinometrów w obrębie osuwiska zlokalizowanego w miejscowości Radoszyce (powiat sanocki); ID osuwiska w systemie SOPO 93071. Czerwone punkty oznaczają położenie inklinometrów.

Źródło: Dane pochodzą z zasobów witryny internetowej Projektu SOPO prowadzonej przez PIG-PIB.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Rycina 10. Wyniki pomiarów z inklinometru zainstalowanego w obrębie osuwiska zlokalizowanego w miejscowości Radoszyce (powiat sanocki); ID osuwiska w systemie SOPO 93071). Kolejne krzywe ukazują ruch osuwiska na różnych głębokościach.

Źródło: Dane pochodzą z zasobów witryny internetowej Projektu SOPO prowadzonej przez PIG-PIB.

4. Techniczne metody stabilizacji osuwisk w Polsce i na Słowacji

a) Opis metod technicznego stabilizowania osuwisk wraz założeniami teoretycznymi

Aby odpowiednio dobrać metodę stabilizacji osuwiska należy uprzednio w miarę możliwości jak najlepiej rozpoznać charakterystykę formy osuwiskowej. Zachodzi konieczność rozpoznania warunków geologicznych oraz hydrogeologicznych, a także ukształtowania terenu. Pod uwagę należy także wziąć dostępność, stopień ewentualnego zalesienia i jakość pokrywy roślinnej. Rozpoznanie powinno być oparte o analizę materiałów kartograficznych w tym mapy topograficznej, hydrologicznej, hydrogeologicznej, a także sozologicznej. Najważniejszym czynnikiem dla stabilizacji osuwiska jest uporządkowanie stosunków wodnych w jego obrębie, co

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

sprowadza się do odwodnienia gruntu, najlepiej w strefie płaszczyny poślizgu. W praktyce oznacza to wykonanie systemu odwodnienia, które pozwala na wykonanie konstrukcji technicznej stabilizującej osuwisko zgodnie z uprzednim wyborem technicznego rozwiązania. Odwodnienie powinno gwarantować szybkie przechwytywanie i odprowadzanie wód opadowych. Powinien zostać także wykonany drenaż wgłębny, którego zadaniem jest odprowadzanie wód zasilających teren infiltracyjnie. Czasem dopiero wykonanie drenażu wgłębego pozwala na przeprowadzenie prac w obrębie osuwiska, na przykład polegających na wykorzystaniu na osuwisku ciężkiego sprzętu (Stryczek i inni., 2008). Do głównych metod technicznych stabilizowania osuwisk należą: redukcja obciążenia przez wypłaszczenie (i), dociążenie stoku poprzez przypory, narzuty kamienne na skarpie, również z wykorzystaniem systemów geokomórkowych bądź geosystnetyków (ii), zastosowanie konstrukcji oporowych w postaci murów, ścian i przypór z gruntu zbrojonego i gabionów (iii), zastosowanie metod kotwiczących („zszywających”) aktywną i nieaktywną część osuwiska takich jak: pale i palisady w różnych układach, mikropale i bariery mikropalowe w technologii samowiercącej, instalacja kolumn, kotwienie gruntu, gwoźdzenie gruntu (iiii); (Maca, 2020)

- i) Stabilizacja osuwiska poprzez wypłaszczenie jest jedną z najbardziej popularnych metod używanych w Polsce. Wynika to głównie z jej niskiej ceny i niewielkiego wkładu pracy potrzebnego do stabilizacji osuwiska. Metodę stosuje się poprzez terasowanie zbocza lub wybieranie koluwium, jednak należy bardzo uważać, aby w trakcie prac w obrębie dolnej części osuwiska nie zdestabilizować zbocza, ponieważ może to prowadzić do uaktywnienia procesów osuwiskowych. Ponadto metoda ta może być użyta jedynie w przypadku bardzo niewielkich osuwisk, co ogranicza jej zastosowanie.
- ii) Metody dociążające stok pełnią rolę zabezpieczenia powierzchniowego. Metody te polegają na połączeniu tak zwanego narzutu podłożem naturalnym. Powinno to zostać wykonane w taki sposób, aby uniknąć tworzenia dodatkowej płaszczyny poślizgu w strefie połączenia narzutu z naturalnym podłożem. Oczywiście przy zastosowaniu metod dociążających powinno się zaprojektować ujęcie wód gruntowych i spływu powierzchniowego, ponieważ powstająca zaporą ułatwia infiltrację wód opadowych i może intensyfikować osuwanie.
- iii) Inżynieryjne konstrukcje oporowe, takie jak mury o różnych konstrukcjach, ściany oraz przypory z gruntu zbrojone, czy gabiony, opierają się na podobnych zasadach, co metody dociążające. Jednakże ich zastosowanie musi być poprzedzone dokładną analizą wpływu wykopu tymczasowego, który jest niezbędny do ich realizacji, na stabilność górotworu. Etap ten wiąże się z wysokim ryzykiem, co często wymaga wprowadzenia dodatkowych zabezpieczeń, takich jak gwoździowanie, co znacząco zwiększa koszty projektu. Ponadto, stosowanie koszy siatkowo-kamiennych (gabionów) ze względu na ich ograniczoną trwałość i odporność na

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

uszkodzenia, wymaga szczególnej uwagi, zwłaszcza w korytach rzek. W czasie wezbrań mogą one prowadzić do niszczenia podłoża na skutek erozji dennej.

iii) Zdecydowanie najskuteczniejszą metodą stabilizacji osuwisk jest zastosowanie tzw. "zszywających" technik, które łączą strefę aktywną z bierną osuwiska, a tym samym zwiększają wytrzymałość na ścinanie w strefie potencjalnego poślizgu. Wśród tych metod istnieje kilka kluczowych cech decydujących o ich efektywności i zastosowaniu. PALE I PALISADY w różnych konfiguracjach – jeśli warunki geologiczne pozwalają na użycie sprzętu o masie przekraczającej 40 ton, to optymalnym rozwiązaniem jest zaprojektowanie pali wierconych lub przemieszczeniowych o średnicach w zakresie od 400 do 600 mm. Ze względu na swoje rozmiary, zastosowanie dużych średnic pali w stabilizacji osuwisk jest rzadziej spotykane. Szczególne trudności występują w przypadku gruntów skalistych, zwłaszcza fliszowych, gdzie prawidłowa instalacja pali za pomocą popularnych metod, jest praktycznie niemożliwa. W takich sytuacjach zaleca się stosowanie pali wierconych z odpowiednim osprzętem lub dedykowanych do fliszu. MIKROPALE ORAZ BARIERY mikropalowe stosowane w technologii samowiercącej, takie jak system TITAN, należą do jednych z najbardziej elastycznych metod zabezpieczeń. Ich zaletą jest to, że są one wolne od ograniczeń związanych z techniką wiercenia, co sprawia, że działają skutecznie niezależnie od rodzaju gruntu. Dodatkowo, wiercenie połączone z iniekcją umożliwia skuteczne uszczelnienie stref poślizgu oraz wypełnienie nieciągłości w skałach, a wszystko to bez potrzeby użycia ciężkiego sprzętu. W przypadku ograniczonego dostępu i trudnego terenu, szczególnie na rozległych osuwiskach, na stokach o płaskiej powierzchni (gdzie najwięcej osuwisk występuje na zboczach o nachyleniu 12–18°), doskonałym rozwiązaniem okazują się mikropalowe bariery, które mogą być dowolnie konfigurowane w planie — w systemie dwu- lub trzyczęściowym. KOLUMNY, podobnie jak pale, stanowią zróżnicowaną grupę technologii, które można dostosować do specyficznych warunków geotechnicznych i dostępności osuwiska. Ponadto, oferują one dodatkowy efekt drenujący. Należy jednak zwrócić uwagę na powszechny błąd polegający na zastosowaniu kolumn typu jet grouting w gruntach skalistych. Nawet w gruntach nieskalistych należy zachować ostrożność, ponieważ proces ich instalacji może prowadzić do pogorszenia warunków stabilności, powodując m. in. ścinanie oraz chwilowe upłynnienie gruntu. W tym ostatnim przypadku konieczne jest zastosowanie technologii hydrofrezu, która, niestety, rzadko bywa stosowana w Polsce. KOTWIENIE to efektywny sposób stabilizacji konstrukcji, polegający na zastosowaniu żelbetowego rusztu kotwionego lub jego wariantu. Tego rodzaju rozwiązania są szczególnie przydatne w miejscach, gdzie występują znaczne problemy z statecznością, ponieważ umożliwiają wprowadzenie dużych sił stabilizujących (Rycina 10). W takich sytuacjach można wykorzystać tradycyjne kotwy linowe lub prętowe. Ich zastosowanie jednak może być ograniczone przez możliwości dostępu sprzętu, a w trudnych warunkach – gdy

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

osuwisko rozwinięte jest w skałach fliszowych, instalacja staje się czasochłonna i kosztowna. GWOŹDZIOWANIE GRUNTU to technologia charakteryzująca się wyjątkową wszechstronnością. Dzięki samowiercącym gwoździom można efektywnie i bezpiecznie przeprowadzać instalacje w różnych rodzajach gruntów, jednocześnie je wzmacniając, nawet w trudno dostępnych lokalizacjach, przy użyciu lekkiego sprzętu. Technologia ta umożliwia dostosowanie się do kształtu osuwiska, co w znacznym stopniu ogranicza potrzebę nadmiernej ingerencji w teren, zwłaszcza w przypadku istniejących ciągów komunikacyjnych, gdzie minimalizacja robót ziemnych ma kluczowe znaczenie. Gwoździowanie gruntu można łączyć z różnorodnymi wykończeniami, od naturalnych zielonych stoków po beton architektoniczny. Co więcej, według danych CALTRANS (Departament Transportu Kalifornii), konstrukcje gwoździowane są jednymi z najtańszych rozwiązań w kategorii konstrukcji oporowych. Stabilizowanie osuwisk z zastosowaniem metod technicznych jest także powszechnie stosowane na Słowacji.

b) Opis wad i zalet technicznych metod stabilizacji stoku osuwiskowego

Metody techniczne są powszechnie stosowane przez samorzady lokalne do stabilizacji osuwisk. Do głównych zalet tych metod należy możliwość zastosowania odpowiedniego rozwiązania zależnie od skali ruchów osuwiskowych i warunków środowiskowych występujących na obszarze osuwiska, takich jak głębokość płaszczyzny poślizgu osuwiska, wielkość mas koluwalnych które się przemieściły czy też potencjalnie mogą się przemieścić, nachylenie stoku osuwiskowego, warunki wodne, pokrycie szatą roślinną, dostępną terenu. Z drugiej strony prace techniczne na terenie osuwiska są mocno ryzykowne, ponieważ często mogą one prowadzić do destabilizacji stoku, a co za tym idzie prowadzić do intensyfikacji osuwania. Wadą zastosowania metod technicznych jest możliwość interwencji jedynie w przypadku stosunkowo niewielkich osuwisk, występujących najczęściej przy drogach. W przypadku osuwisk głębokich, o dużych rozmiarach zastosowanie metod technicznych jest niemożliwe, lub też wiąże się z bardzo dużymi kosztami. Dodatkową wadą zastosowania metod technicznych jest najczęściej działanie już po wystąpieniu ruchów osuwiskowych. Często interwencje techniczne polegają na działaniach podejmowanych już po wystąpieniu ruchów osuwiskowych. Metody te nie stanowią zabezpieczenia prewencyjnego, bardziej polegają na zastosowaniu działań interwencyjnych. Dodatkowo zastosowanie metod technicznych nie gwarantuje długotrwałej stabilizacji osuwiska. Osuwiska stale ewoluują i zabezpieczenia techniczne należy traktować, jako jedynie rozwiązania doraźne. Często dochodzi do niszczenia osuwisk zabezpieczonych, ponieważ powstają podczas kolejnych opadów deszczu nowe warunki środowiskowe, które nie były do przewidzenia w trakcie, gdy montowano zabezpieczenie.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Chyba do największych zalet metody należy możliwość szybkiego zabezpieczenia zniszczeń po epizodzie osuwania. Zastosowanie metod technicznych pozwala na przykład na szybką możliwość korzystania z drogi uprzednio nieprzejezdnej. Ostatnio coraz częściej stosuje się metody techniczne, jako ochroną przed przyszłym osuwaniem. Jednak bardzo trudno jest przewidzieć przyszłą skalę osuwania na etapie zastosowania metod technicznych. Do zastosowania metod technicznych niezbędna jest specjalistyczna wiedza i doświadczenie w pracach przy osuwiskach. Często mamy do czynienia z sytuacją, w której firmy niedoświadczone podejmują działania techniczne związane ze stabilizacją osuwisk, wtedy może wystąpić sytuacja, w której zabiegi techniczne doprowadzą do pogorszenia stabilizacji stoku i uruchomienia osuwiska.



Rycina 11. Przykład stoku osuwiskowego zastabilizowanego przez kotwienie.

Źródło: <https://www.schnabel.com/services/landslide>

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Rycina 11. Przykład zabezpieczenia stoku osuwiskowego przy wykorzystaniu metalowych konstrukcji oporowych

Źródło: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/zabezpecenie>

5. Ocena przydatności zastosowania metody technicznego stabilizowania osuwisk

Z pewnością techniczne metody stabilizacji osuwisk powinny być stosowane przez samorządy nie tylko w trakcie, gdy osuwisko poczyniło już straty w infrastrukturze, ale przede wszystkim w przypadku osuwisk, które mogą zostać uruchomione w przyszłości. Jeśli monitoring osuwisk np. inklinometry, czy też metody geodezyjne wskazują jednoznacznie na możliwość uruchomienia osuwiska, wtedy należy rozważyć zastosowanie technicznych metod stabilizacji osuwiska. Bardzo powszechna jest taktyka polegająca na obserwacji aktywnego osuwiska i podjęciu działań dopiero, kiedy wyrządziło ono szkody w infrastrukturze. Wynika to z faktu, że w naszych warunkach ekonomicznych i prawnych bardzo trudno jest wydać dużą sumę pieniędzy na stabilizację osuwiska, które dopiero zagraża infrastrukturze. Najczęściej interweniuje się dopiero po powstałych zniszczeniach. Każdy powiat i gmina najczęściej wie, gdzie znajdują się najbardziej niebezpieczne obszary osuwiskowe, jednak działania samorządów sprowadzają się często jedynie do monitorowania osuwisk. W ostatnim czasie odnotowujemy na szczęście coraz częściej przykłady

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

dobrych praktyk w postaci zabezpieczania stoków osuwiskowych przed ich nagłym uruchomieniem.

- d) Przykłady zastosowania metod przeciwdziałania osuwaniu z powiatów/okresów położonych w obszarze wsparcia zarówno polskich jak i słowackich – techniczne metody stabilizacji osuwisk

W powiecie limanowskim, w południowo-zachodniej części miejscowości Kostrza postanowiono zabezpieczyć techniczne 3 osuwiska. Rejon osuwiska oznaczonego jako nr 1 znajduje się na prawym brzegu potoku Ryjskiego. W tym obszarze można wyróżnić dwa rodzaje osuwisk: nieaktywne, o kierunku zsuwu mas ziemnych na północny zachód, oraz aktywne, które przesuwiają się w kierunku wschodnim. Osuwisko można ogólnie scharakteryzować, jako zboczowo-dolinowe, rozwinięte na terenie zbocza górskiego, którego dolna granica sięga doliny Potoku Ryjskiego. Jest ono rozwinięte zarówno w skałach, jak i w zwietrzelinie. Osuwisko nr 2 znajduje się na zachodnim brzegu Potoku Ryjskiego, do którego od strony zachodniej wpływają niewielkie strumienie, zlokalizowane w wąskich dolinach. To osuwisko charakteryzuje się wyraźnym jęzorem, który sięga aż do Potoku Ryjskiego, a jego szerokość wynosi około 150 m, z głębokością dochodzącą do 700 m, osuwisko to jest częściowo aktywne. Rejon 3 obejmuje obszar osuwiskowy, znajdujący się w południowej części terenu. W przeważającej części teren ten wygląda na osuwisko nieaktywne. Osuwisko ma szerokość około 200 m i rozciąga się na długość około 300 m w górę zbocza. Można je scharakteryzować, jako osuwisko zboczowo-dolinowe, rozwijające się głównie na terenie zbocza górskiego, sięgające doliny Potoku Ryjskiego. Dodatkowo, obejmuje materiał zwietrzelinowy i skalny. Na początku w obrębie badanego osuwiska wydzielono warstwy geotechniczne:

- i) Warstwa pierwsza składa się z gruntów spoistych, plastycznych i miękkoplastycznych, a miejscami występują tu również namuły gliniaste.
- ii) Warstwa druga obejmuje grunty spoiste takie jak w warstwie pierwszej, jednak wyróżniają się one obecnością glin piaszczystych, glin z domieszką okruchów piaskowca oraz glin przewarstwionych piaskiem gliniastym.
- iii) Warstwa trzecia natomiast składa się z gruntów spoistych, twardeplastycznych i półzwarstych, które mają charakter piasków gliniastych, glin piaszczystych oraz glin z domieszką okruchów łupka i piaskowca.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

iiii) Warstwa czwarta to grunty spoiste, plastyczne i miękkoplastyczne, głównie w postaci rumoszu oraz zwietrzelin gliniastych, w których skład wchodzi okruchy piaskowca i łupka.

iiiiii) Warstwa piąta również zawiera grunty spoiste, twarodoplastyczne i półzwarne, składające się z rumoszu oraz zwietrzelin gliniastych złożonych z odruchów piaskowca i łupka, występujących w proporcji 50-90%.

iiiiiii) Warstwa szósta charakteryzuje się gruntami sypkimi, średniozagęszczonymi, które przybierają postać zwietrzliny piaskowca, z przewagą średniego piasku, lokalnie zawierającego okruchy piaskowca.

Prace miały na celu przeprowadzenie działań mających na celu stabilizację ruchów osuwiskowych poprzez poprawę warunków wodnych. W tym celu zostaną zastosowane drenaże wgłębne oraz odcinki rowów drenażowych wzdłuż fragmentów dróg gminnych, co pozwoli na jednoczesne odwodnienie terenów przyległych do osuwiska. Dodatkowo, zabezpieczony został rejon zbiornika wodnego, z którego zaczyna się magistrała wodociągowa.

Osuwiska zaplanowano do zabezpieczenia w następujący sposób:

- wykonanie drenaży, rowów szczelinowych, muld odwadniających,
- odcinkowe zabezpieczenie potoku Ryjskiego,
- zabezpieczenie terenu wokół zbiornika wodnego obejmuje przeprowadzenie zescalenia terenu, zastosowanie pali typu „jet grouting” oraz wykonanie odpowiedniego systemu odwodnienia. Wody opadowe i drenażowe będą odprowadzane do potoku Ryjskiego.

Zastosowanie pali typu „jet grouting” przebiegło w dwóch etapach ETAP I: WIERCENIE. W tej fazie żerdź iniekcyjna o średnicy 60-90 mm jest zagłębiana do planowanego poziomu stopy kolumny. Jej dolna część zakończona jest specjalnym narzędziem wiertniczym, dobranym odpowiednio do warunków panujących w podłożu. Podczas wiercenia używa się płuczki powietrznej lub wodnej, która transportuje urobek na powierzchnię terenu. ETAP II: FORMOWANIE PALA. W tym etapie żerdź iniekcyjna jest stopniowo podciągana, jednocześnie wykonywany jest ruch obrotowy oraz tłoczenie zaczynu przez dysze iniekcyjne, znajdujące się w dolnej części żerdzi. W ten sposób powstaje regularna kolumna „jet grouting”. Urządzenie wiertnicze wyposażone jest w automatyczny system, który reguluje tempo wyciągania żerdzi, co zapewnia ciągłość procesu oraz osiągnięcie zamierzonych parametrów kolumny iniekcyjnej.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Literatura

Allil, R. C., Lima, L. A., Allil, A. S., & Werneck, M. M. (2021). FBG-based inclinometer for landslide monitoring in tailings dams. *IEEE Sensors Journal*, 21(15), 16670-16680.

Bednarczyk, Z. (2008). Metody instrumentacji i monitoringu powierzchniowych ruchów masowych na przykładzie wybranych osuwisk w Karpatach (Beskid Niski, Średni i Pogórze). *Geologia/Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*, 34(4), 721-732.

Ćwiąkała, P., Stanisz, J., Wróbel, A., Kaczmarczyk, R., Drwal, P., Grabek, P., ... & Zierkiewicz, M. (2016). Wyznaczenie przemieszczeń powierzchniowych na osuwisku w Kłodnem (gmina Limanowa, południowa Polska). *Przegląd Geologiczny*, 64(2), 122-130.

Maca, N. (2020). Praktyczne zasady doboru metod stabilizacji osuwisk. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*.

Różycka, R. (2013). Zagrożenia osuwiskowe a proces planowania przestrzennego na przykładzie gminy Zakliczyn. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, (3/I).

Stryczek, S., Gonet, A., & Wiśniowski, R. (2008). Geoinżynieryjne metody stabilizacji skarp i zboczy. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 6(21), 78-81.

Szafarczyk, A. (2011). Geodezyjne metody monitoringu osuwisk. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, (02).

Tiwari, A., Narayan, A. B., Devara, M., Dwivedi, R., & Dikshit, O. (2018). Multi-sensor geodetic approach for landslide detection and monitoring. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, 287-292.

ŠTANDARDNÉ METÓDY ZMIERŇOVANIA NÁSLEDKOV ZOSUVOV PÔDY V OBLASTI PODPORY

ÚVOD

Činnosť okresov v oblasti prevencie zosuvov pôdy sa veľmi často obmedzuje na dodržiavanie právnych predpisov. Medzi najdôležitejšie právne akty týkajúce sa zosuvov pôdy patria:

– Zákon z 27. apríla 2001 o ochrane životného prostredia (Zbierka zákonov 2001, č. 62, položka 627) – ktorý definuje svahové pohyby a ukladá starostovi povinnosť evidovať územia ohrozené svahovými pohybmi a územia, na ktorých sa tieto pohyby vyskytujú,

– Zákon z 3. februára 1995 o ochrane poľnohospodárskej a lesnej pôdy (Zbierka zákonov 2004, č. 121, položka 1266) – zaväzujúci vlastníkov poľnohospodárskej a lesnej pôdy predchádzať svahovým pohybom,

– Zákon z 18. apríla 2002 o stave živeľnej pohromy (Zbierka zákonov 2002, č. 62, položka 558) – ktorý priznáva zosuvom charakter prírodnej katastrofy, pre ktorej prevenciu alebo odstránenie môže byť účelné vyhlásenie stavu živeľnej pohromy,

– Zákon z 27. marca 2003 o územnom plánovaní a rozvoji (Zbierka zákonov 2003, č. 80, položka 717) – ukladajúci starostovi, primátorovi alebo prezidentovi mesta povinnosť zohľadňovať zosuvné územia v textovej aj grafickej časti územnoplánovacej dokumentácie, a to v štúdiu podmienok a smerov rozvoja obce aj v územných plánoch. Zákon zároveň zaväzuje orgán vypracúvajúci štúdiu alebo plán získať stanovisko príslušného orgánu geologickej správy,

– Zákon z 17. júla 1994 stavebný zákon (Zbierka zákonov 2006, č. 156, položka 1118 v znení neskorších zmien) a zákon z 11. augusta 2001 o osobitných zásadách obnovy, opráv a demolácií stavebných objektov poškodených alebo zničených živeľnou pohromou (Zbierka zákonov č. 84, položka 906 v znení neskorších zmien) – upravujú otázky stavebných katastrof vzniknutých v dôsledku zosuvov pôdy.

Faktorom limitujúcim využitie jednotlivých metód v oblasti podpory sú finančné prostriedky určené na ochranu pred zosuvmi. Ďalším obmedzením je úroveň vedomostí o možnostiach a technikách použitia jednotlivých metód. Nie vo všetkých samosprávnych jednotkách má personál dostatočné znalosti o zosuvoch, ich vzniku a spôsoboch prevencie ich následkov. Existuje potreba ďalšieho vzdelávania pracovníkov samosprávy v tejto oblasti. Túto medzeru by malo do určitej miery zaplniť toto spracovanie.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

METODIKA SPRACOVANIA

Spracovanie vzniklo na základe materiálov dostupných na internetových stránkach a tiež na základe priamych kontaktov so zástupcami okresov. Identifikovali sa rôzne štandardné metódy zmerňovania následkov zosuvov pôdy používané okresmi v tzv. oblasti podpory na území Poľska a Slovenska (okresy v Poľsku: v Sliezkom vojvodstve: pszczyński, cieszyński, bielski, mesto s právami okresu Bielsko-Biała, żywiecki; v Malopoľskom vojvodstve: olkuski, chrzanowski, oświęcimski, wadowicki, suski, myślenicki, tatrzański, nowotarski, limanowski, nowosądecki, mesto s právami okresu Nowy Sącz, gorlicki; v Podkarpatskom vojvodstve: bieszczadzki, leski, sanocki, brzozowski, krośnieński, mesto s právami okresu Krosno, jasielski, rzeszowski, mesto s právami okresu Rzeszów, przeworski, przemyski, mesto s právami okresu Przemyśl, jarosławski, lubaczowski. Okresy na Slovensku: v Žilinskom samosprávnom kraji: Čadca, Kysucké Nové Mesto, Bytča, Žilina, Martin, Turčianske Teplice, Ružomberok, Dolný Kubín, Námestovo, Tvrdošín, Liptovský Mikuláš; v Prešovskom samosprávnom kraji: Poprad, Kežmarok, Stará Ľubovňa, Levoča, Sabinov, Bardejov, Svidník, Prešov, Vranov nad Topľou, Stropkov, Medzilaborce, Humenné, Snina; v Košickom samosprávnom kraji: Spišská Nová Ves).

Cieľom tohto spracovania podľa zadania nebolo uviesť, ktoré metódy sa používajú v jednotlivých okresoch, ale poskytnúť prehľad metód využívaných v samosprávach v oblasti podpory spolu s ich podrobnou charakteristikou. Pri spracovaní sa využila aj dostupná odborná literatúra, ktorej zoznam je uvedený na konci dokumentu. Spracovanie bolo vypracované podľa nasledujúcej štruktúry vyplývajúcej z opisu predmetu zákazky:

- e) technický opis metódy prevencie zosuvov vrátane teoretických východísk,
- f) opis výhod a nevýhod každej metódy,
- g) posúdenie vhodnosti použitia metódy,
- h) príklady využitia metód prevencie zosuvov z okresov/regiónov nachádzajúcich sa v oblasti podpory, a to z Poľska aj zo Slovenska.

ŠTANDARDNÉ METÓDY ZMIERŇOVANIA NÁSLEDKOV ZOSUVOV PÔDY

Medzi činnosťami okresných jednotiek nachádzajúcich sa v oblasti podpory boli identifikované nasledujúce štandardné metódy zmerňovania následkov zosuvov pôdy v tejto oblasti:

1. Mapovanie zosuvných území za účelom sprístupnenia informácií o ich polohe pre obyvateľov a investorov

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

a) Technický opis metódy vrátane teoretických východísk

Metóda spočíva v zobrazení polohy a presnej plochy zosuvov pôdy. Na tento účel sa vytvárajú mapové 30tórym30, zvyčajne označované ako geoportály, často fungujúce pod názvom 30tórym priestorových informácií. Sú tvorené viacerými vrstvami prezentujúcimi rôzne typy objektov. Na tvorbu geoportálov sa využívajú 30tórym3030 GIS, ktoré umožňujú veľmi presné umiestnenie bodových, líniových a plošných objektov na mape. Každý objekt zobrazený na mape má svoje geografické súradnice. Pomocou GPS prijímača je možné jednoducho lokalizovať aj veľmi malé 30tórym30 nielen v zastavanom území, ale aj v lesných oblastiach.

Tieto 30tórym30 sú usporiadané do vrstiev, najčastejšie ide o: topografiu s bodovými a líniovými objektmi, administratívne hranice, ortofotomapu, 30tórym 30tórym a hydrografiou. Mapové 30tórym30 často obsahujú aj ďalšie vrstvy, napríklad geodetickú sieť, územné 30tóry, monitoring pôdných podmienok či monitoring pohyblivých objektov. Mnohé vrstvy pochádzajú z národného 30tórym30 Geoportal.gov.pl.

Zosuvy pôdy sa v geoportáloch najčastejšie nachádzajú vo vrstve „Geológia“ 30tór tvoria samostatnú vrstvu „Zosuvy“. Zosuvné územia sú zvyčajne vyznačené obrysom, pod 30tórym môžu byť zobrazené ďalšie vrstvy geoportálu.

b) Výhody a nevýhody metódy

Medzi hlavné výhody mapovania zosuvných území patrí možnosť informovať obyvateľov a potenciálnych investorov o polohe zosuvov, čím sa znižuje riziko plánovania výstavby v ohrozených oblastiach. Jednou zo základných funkcií týchto máp je zabrániť situáciám, keď investor kupuje pozemky v zosuvných územiach.

Ďalšou výhodou je všeobecná dostupnosť (otvorený prístup) máp pre všetkých používateľov. Umiestnenie geoportálu na webových stránkach okresu a odkazy na jeho spustenie zabezpečujú, že informácie o zosuvoch sú ľahko dostupné.

Medzi hlavné nevýhody patrí skutočnosť, že zdrojom údajov sú dáta SOPO, ktoré sa neustále menia spolu so zmenami rozsahu a polohy zosuvov. V daždivých rokoch sa rozsah zosuvov výrazne mení a vznikajú nové zosuvy, ktoré často nie sú zahrnuté v geoportáloch, ktoré majú skôr statický charakter. Údaje v mnohých systémoch nie sú aktualizované.

Zároveň vzniká mylný dojem, že výstavba mimo vyznačených zosuvných území je úplne bezpečná. To však nie je pravda, pretože oblasti flyšových pohorí, ako sú Vonkajšie Karpaty, sú vo väčšej či

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

menšej miere náchylné na zosuvy. Pri potenciálnych katastrofách môžu vzniknúť nové zosuvné územia, ktoré na mapách nie sú zaznačené.

Ďalším problémom je určovanie aktivity zosuvov. Práve aktivita určuje mieru nebezpečnosti zosuvu. V rámci SOPO bola aktivita určovaná vizuálnym hodnotením, čo neumožňuje presné určenie skutočnej aktivity. Preto treba tieto údaje brať s rezervou. Výnimkou sú územia monitorované pomocou inklinometrov.

c) Posúdenie vhodnosti použitia metódy

Mapovanie zosuvov je dôležitým prvkom prevencie zosuvného rizika. Verejne dostupné mapy umožňujú investorom získať informácie o polohe zosuvov a obmedzujú riziko nevhodného umiestnenia stavieb.

Na druhej strane ide o statický nástroj, ktorý bez pravidelnej aktualizácie neposkytuje aktuálny obraz situácie. Mapy navyše neobsahujú spoľahlivé informácie o aktívnych zosuvoch, ktoré predstavujú najväčšie riziko.

Z toho vyplýva, že samotné mapy nestačia na určenie bezpečných území. Je potrebné ich dopĺňať ďalšími metódami, najmä takými, ktoré umožňujú hodnotiť aktivitu zosuvov a určiť, či je zosuv stabilný alebo vykazuje pohyb.

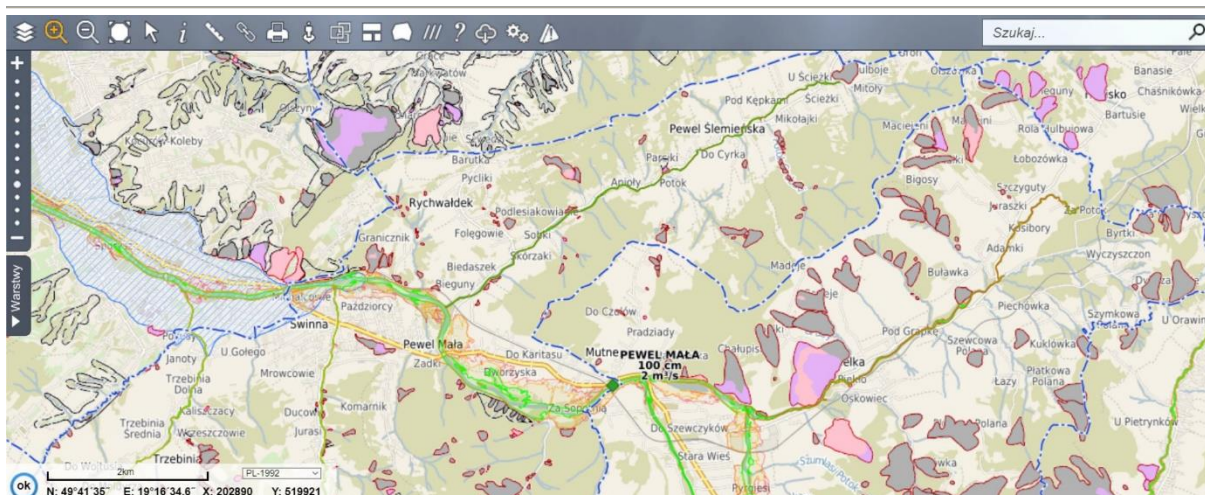
d) Príklady využitia metódy

Systémy priestorových informácií využívajú všetky poľské okresy v oblasti podpory. Príkladom sú geoportály okresov Żywiec (<https://zywiecki.e-mapa.net>), Limanowa (<https://limanowski.e-mapa.net>) či okres Nowy Sącz.

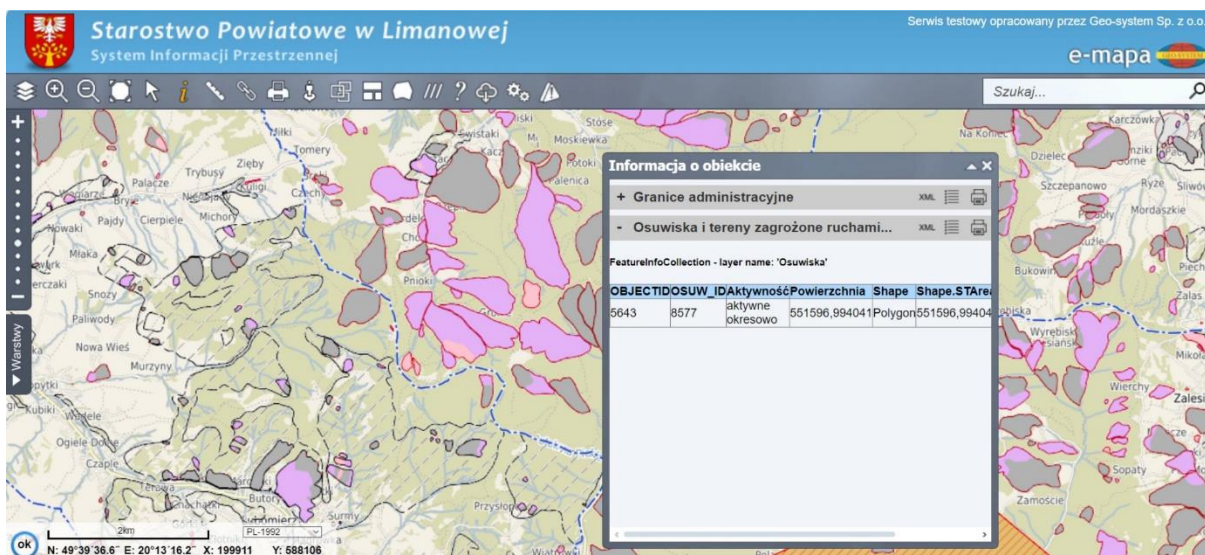
Zosuvy sú zobrazené na pozadí topografických vrstiev. Zdrojom údajov je portál SOPO (Systém ochrany pred zosuvmi). V mapách je použitá vrstva „Geológia“, kde sú hranice zosuvov vyznačené obrysami a farebne rozlíšené podľa úrovne aktivity (Obr. 1). Po kliknutí na vyznačenú oblasť každého zosuvu sa zobrazí popis týkajúci sa jeho rozlohy a odhadu jeho aktivity (Obrázok 2). Mimoriadne dôležité z hľadiska plánovania výstavby sú zosuvy označené ako trvalo aktívne (Obrázok 3).

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



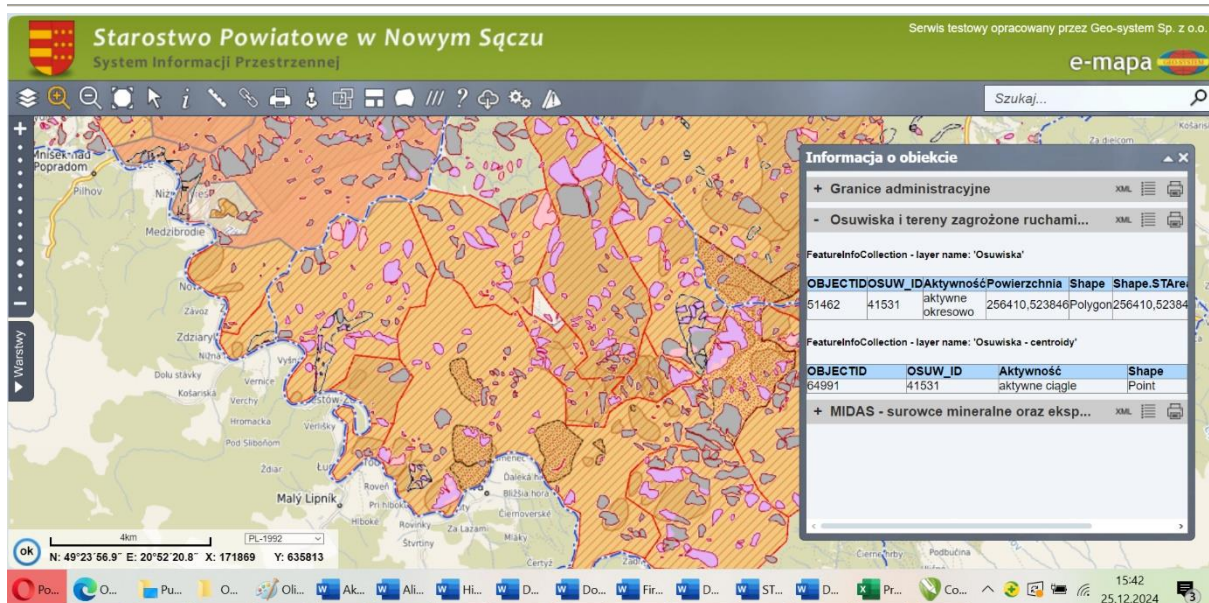
Obrázok 1. Mapa vytvorená zo systému priestorových informácií pre územie okresu Żywiec zobrazujúca zosuvy vyznačené obrysom červenou farbou a vyplnené farbami sivou (neaktívne zosuvy), ružovou (periodicky aktívne) a svetločervenou (trvalo aktívne).



Obrázok 2. Mapa vytvorená zo systému priestorových informácií pre územie okresu Limanowa zobrazujúca zosuvy a kartu zosuvu, ktorá sa otvorí po kliknutí na jeho oblasť; je uvedený príklad periodicky aktívneho zosuvu (ružová farba).

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

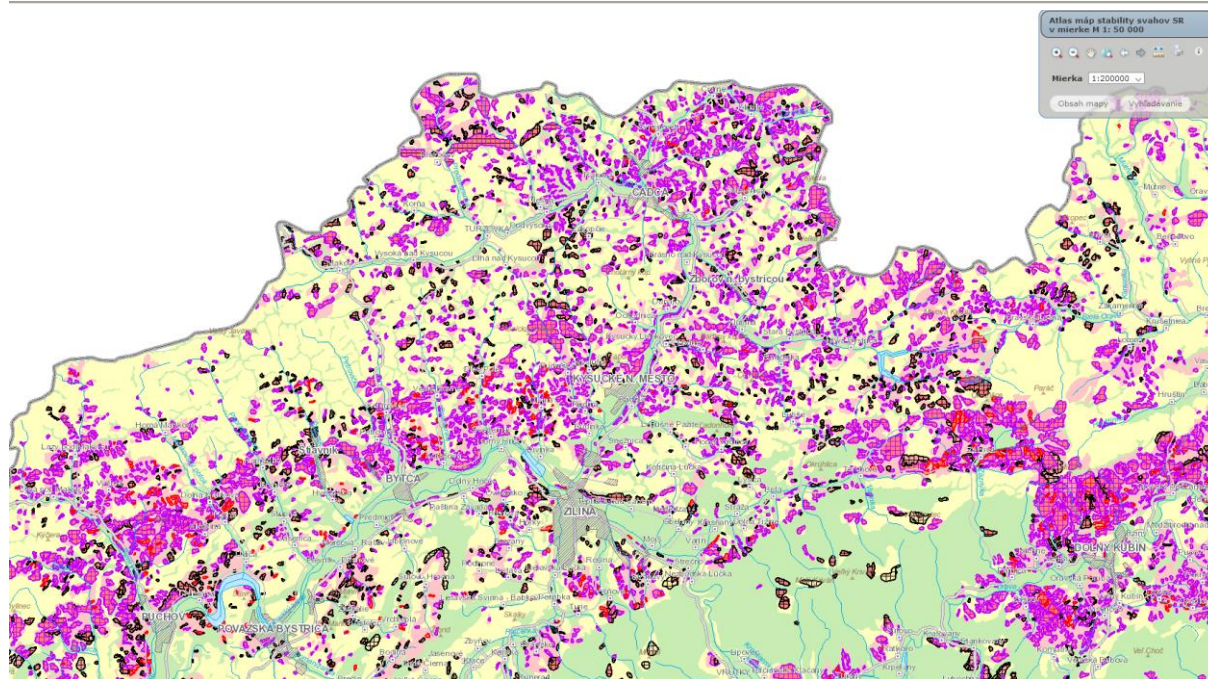


Obrázok 3. Mapa vytvorená zo systému priestorových informácií pre územie okresu Nowy Sącz zobrazujúca zosuvy a kartu zosuvu, ktorá sa otvorí po kliknutí na jeho oblasť; je uvedený príklad trvalo aktívneho zosuvu (svetločervená farba).

Mapy zobrazujúce deformácie svahov a zároveň ohrozenie zosuvmi pôdy sú dostupné aj pre samosprávne jednotky nachádzajúce sa na Slovensku. V slovenskom mapovom systéme sú taktiež vyznačené zóny, v ktorých dochádza k posunom. Podobne ako v prípade máp z územia Poľska sú tieto zóny priestorovo znázornené a rozdelené na aktívne a neaktívne (Obrázok 4).

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 4. Úryvok mapy zobrazujúcej zosuvové deformácie a ohrozenie zosuvmi pôdy pochádzajúci zo slovenského geoportálu (zóny vyznačené ružovou farbou sú zóny deformácie svahov, zóny vyznačené oranžovou farbou sú aktívne zóny ohrožujúce infraštruktúru) (Zdroj: www.geology.sk).

2. Geodetický monitoring vybraných zosuvov

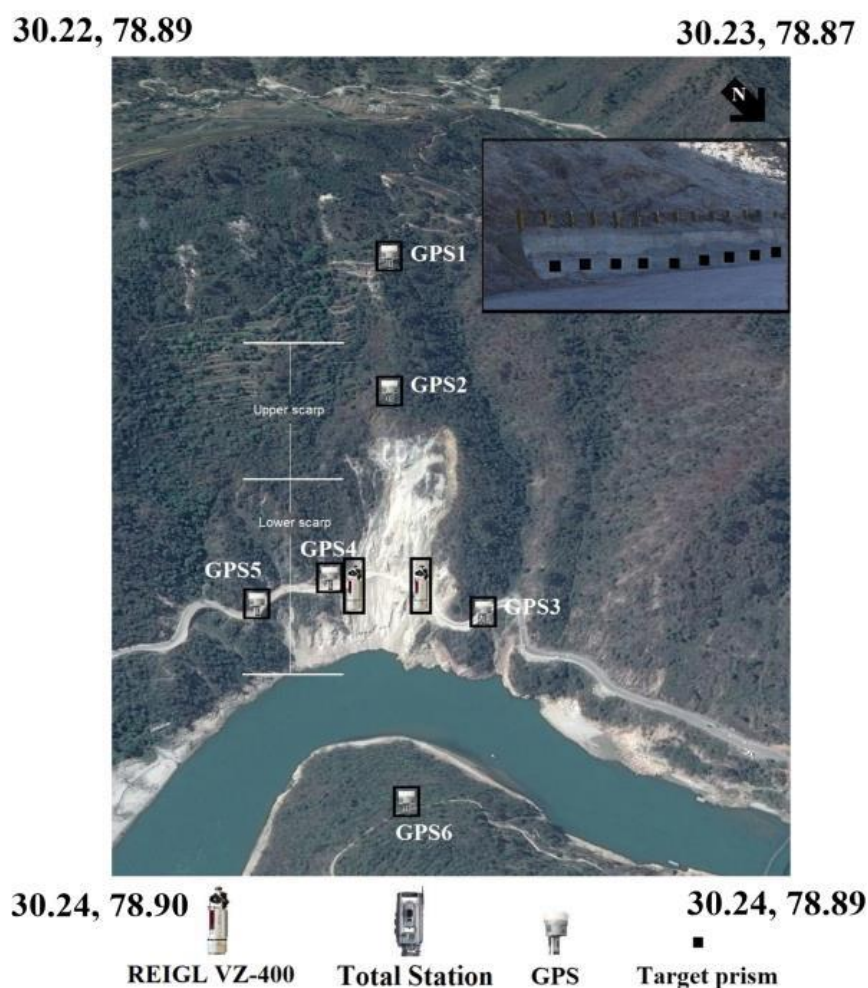
a) Technický popis metódy prevencie zosuvov vrátane teoretických predpokladov
Geodetický monitoring zosuvov je známy už dlhodobo. Postupom času, s rozvojom geodetických techník, sa stáva čoraz presnejším. Vo všeobecnosti spočíva v opakovanom meraní polohy bodov umiestnených v rámci zosuvu. Meraním polohy tých istých bodov na zosuve (napr. každé 3 mesiace) je možné určiť, či je zosuv aktívny, teda či sa jednotlivé body zosuvu pohybujú v priestore. Kedysi sa na geodetický monitoring zosuvov používali teodolity, dnes sa používajú presné GPS prijímače. Je tiež možné inštalovať GPS prijímače priamo na zosuv a kontinuálne merať pohyb zosuvu, vtedy je prípadná aktivita zosuvu najlepšie viditeľná.

Geodetické merania zosuvov majú svoje základy a určité predpoklady vyplývajúce z predtým vypracovaných inštrukcií. Terénne práce zahŕňajúce geodetický monitoring zosuvov pozostávajú z niekoľkých etáp: vyhotovenie situačno-výškovej mapy (1), stabilizácia meracích bodov (2), inštalácia prístrojov na pozorovanie zosuvu (3) (Inštrukcia PIG 2008). Povrchový monitoring

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

zosuvov pomocou geodézie sa realizuje na základe stabilizovanej siete meracích bodov v rámci zosuvu, pričom počet a umiestnenie bodov v sieti sa určuje individuálne pre každý monitorovaný zosuv (Szafarczyk, 2011) (Obrázok 5).



Obrázok 5. Príklad nainštalovaných prístrojov na geodetické pozorovanie zosuvov. Zdroj: Tiwari, A., Narayan, A. B., Devara, M., Dwivedi, R., & Dikshit, O. (2018). Multi-senzorový geodetický prístup k detekcii a monitorovaniu zosuvov. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4, 287-292.

Umiestnenie meracích bodov závisí najmä od ich trvácnosti v podloží, čo umožňuje opakované geodetické merania. Body by mali byť umiestnené tak, aby bolo možné merať súradnice X, Y, Z. Zvyčajne sa navyše určia tri referenčné body pre meracie body zosuvu. Ide o body mimo zosuvu

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

alebo o geodetické body osnovej siete, pri ktorých sa vykonávajú pozorovania. Použitie GPS prijímačov by malo byť realizované statickou metódou s určením bazových bodov. Antény prijímačov sa upevňujú pomocou statívov a držiakov s optickým kolimátorom. Výsledky meraní sa vzťahujú aspoň na 3 body geodetickej osnovej siete. Na tieto body sa pri ďalších meracích reláciách neustále nadväzuje.

Geodetické merania zosuvov umožňujú určiť tzv. deformácie indikátory, medzi ktoré patrí:

- pokles,
- sklony,
- horizontálne posuny,
- deformácia,
- zakrivenie.

Posuny sa najčastejšie prezentujú tabuľkovo alebo pomocou vektorov posunov zakreslených do mapy či grafu (Obrázok 6).

b) Popis výhod a nevýhod metódy

Hlavnou výhodou geodetickej metódy je relatívne nízka cena v porovnaní s hlbinnými metódami, ako je napr. inštalácia inklinometrov. Môže byť tiež použitá v rôznych lokalitách, nezávisle od polohy zosuvu. Výhodou je aj relatívne jednoduchý systém merania deformácií. Je to veľmi presná metóda, ktorá umožňuje detailný monitoring aktivity zosuvov.

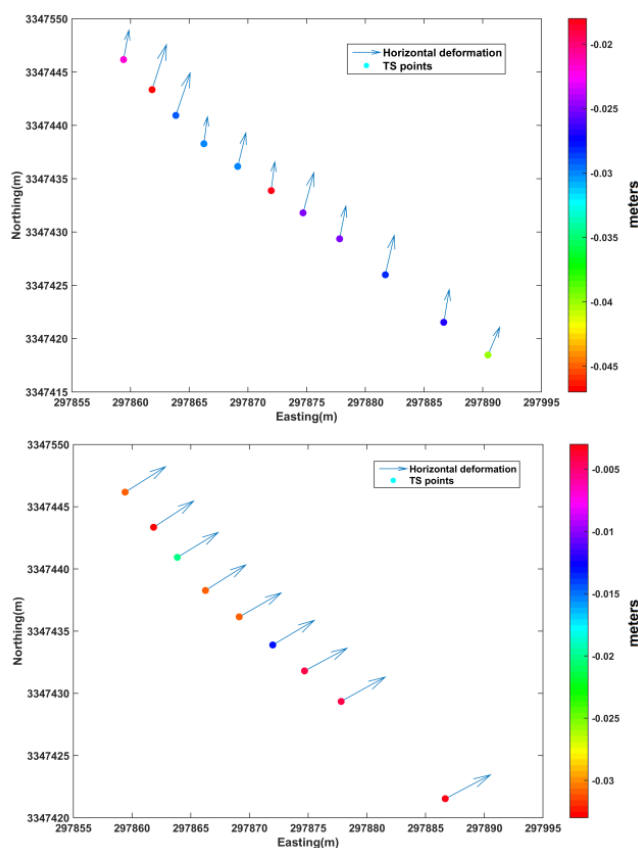
Medzi nevýhody patrí jej povrchový charakter. Pri geodetických meraniach sa nezískavajú informácie o podzemnej sklzovej rovine, jej hĺbke a tým pádom nie je možné odhadnúť objem horninovej hmoty, ktorá sa môže premiestniť pri zrýchlení zosuvu, teda pri zvýšení aktivity zosuvu. Preto je veľmi ťažké odhadnúť budúcu mieru zosuvu pomocou geodetického monitoringu. Ďalšou nevýhodou je nutnosť čakania na výsledky týkajúce sa aktivity zosuvu od prvého merania. Zvyčajne sa o aktivite zosuvu dá usudzovať až najmenej rok po prvých geodetických meraniach. Čakanie na určenie aktivity zosuvu môže niekedy spomaliť investície plánované na území, kde sa merania vykonávajú.

c) Hodnotenie použiteľnosti metódy

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Metódu je vhodné považovať za užitočnú pre analýzu aktivity zosuvov. Obzvlášť je vhodná pre samosprávne jednotky, pretože merania môžu pokrývať veľké územia a umožňujú analyzovať viacero zosuvov. Je tiež dôležité poznamenať, že nezávisle od rozmiestnenia zosuvov je možné geodeticky monitorovať územia, ktoré v budúcnosti plánujú byť predmetom investícií. Treba mať na pamäti, že zosuvy môžu vzniknúť aj v oblastiach, kde aktuálne nie sú. Často takéto nové územia so zosuvmi predstavujú pre miestne úrady alebo investorov prekvapenie, preto sa odporúča geodeticky monitorovať územia budúcich investícií. Toto sa týka predovšetkým horských a podhorských oblastí, ktoré sú náchylné na zosuvy z geologických príčin. Ako je známe, takéto oblasti sa nachádzajú aj v okresoch ležiacich v oblasti podpory projektu.



Obrázok 6. Príklad zobrazenia smerov a rozsahu posunov hornín v rámci zosuvu identifikovaných počas geodetického monitoringu.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Zdroj: Tiwari, A., Narayan, A. B., Devara, M., Dwivedi, R., & Dikshit, O. (2018). Multi-senzorový geodetický prístup k detekcii a monitorovaniu zosuvov. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4, 287-292.

e) Príklady použitia geodetickej metódy na predchádzanie zosuvom z okresov nachádzajúcich sa v oblasti podpory

Príkladom použitia geodetickej metódy na predchádzanie zosuvom je monitoring zosuvu v oblasti neaktívneho lomu „Kozy“, realizovaný Okresným úradom v Bielsko-Białej. Zvyčajne sa takýmto monitoringom sledujú zosuvy predstavujúce nebezpečenstvo pre zdravie a život ľudí a pre infraštruktúru. Zosuv Kozy je geodeticky sledovaný od roku 2020. Doteraz boli vypracované tri správy z vykonaných geodetických pozorovaní v rokoch 2021, 2022 a 2024. Zo správ vyplýva, že na území zosuvu bolo nainštalovaných 16 meracích bodov, ktoré boli trvalo stabilizované v oblasti zosuvu. Body boli rovnomerne umiestnené na miestach výskytu zosuvových javov, po celom monitorovanom území. Následne boli všetky body zakreslené do situáciomapa-výškovej mapy. Počiatočné meranie, ktoré slúžilo ako referenčné pre neskoršie merania, bolo vykonané 20.10.2020 metódou GNSS RTK prijímačom GINTEC F90. Meranie prebiehalo pomocou tyče stabilizovanej na bipode. Prvé kontrolné meranie sa uskutočnilo 22.09.2021. Takto boli získané súradnice XYH pre každý bod. Body boli merané s presnosťou XY: 0,01 m a H: 0,03 m. Analýza meracích bodov ukázala, že na území zosuvu nedošlo k posunom hornín, ktoré by naznačovali aktiváciu zosuvu. Zaznamenal sa iba malý pohyb hornín, v rozsahu 2–3 cm smerom dole po svahu.

Ďalšie kontrolné meranie bolo vykonané 01.08.2022. Po opätovnej analýze všetkých meraní bolo zistené, že na monitorovanom zosuve nedošlo k významným posunom. Opäť sa zaznamenali len malé posuny pôdy, v rozsahu 2–4 cm smerom dole po svahu.

Posledné doterajšie meranie prebehlo 08.11.2024. Opäť sa zistilo, že na skúmanom území nedošlo k významným posunom pôdy, ktoré by naznačovali prípadnú aktiváciu zosuvu. Malé povrchové posuny dosiahli maximálne 5 cm.

Ďalším príkladom zosuvu monitorovaného geodeticky je zosuv v Kłodné, v okrese Limanowa. Tento zosuv bol aktivovaný počas katastrofy zosuvov v roku 2010 a odvtedy je monitorovaný, okrem iného aj geodeticky. Zosuv dosiahol rozmery 460 m šírky a 1050 m dĺžky.

Merania na zosuve prebiehali pomocou tradičných tachymetrických metód aj s využitím GNSS (Global Navigation Satellite Systems); (Ćwiąkała a kol., 2016). Presnosť prijatého riešenia dosiahla niekoľko milimetrov, meracie body boli husté, aby obraz zosuvu bol komplexnejší. Založilo sa 68

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

meracích bodov, ktoré boli umiestnené takmer paralelne, aby ich rozmiestnenie odrážalo zmeny morfológie terénu. Stabilizácia bodov bola vykonaná pomocou oceľových rúrok dĺžky 1 m. Každá rúrka bola zváraná navrchu, v zvaroch boli vyvrtané otvory slúžiace ako miesto pre meracie prístroje používané pri ďalších geodetických meraniach (Ćwiąkała a kol., 2016). Počiatočné (referenčné) merania boli vykonané v máji 2013. Samotné merania prebehli v apríli 2014 a októbri 2014. Hodnoty posunov zaznamenané počas merania v apríli 2014 boli veľmi malé. Vektor horizontálneho posunu sa pohyboval od 1,0 do 8,1 mm, vertikálneho od –9,8 do 13,5 mm. Až ďalšie meranie v októbri 2014 preukázalo významné vertikálne a horizontálne posuny materiálu. Aktivovaná bola horná časť zosuvu, 39braz hlavný svah. Horizontálne posuny meracích bodov dosiahli až 94 mm, zaznamenali sa aj malé posuny nad zosuvom, avšak tieto posuny boli na hranici chyby určenia. Zaznamenali sa aj vertikálne pohyby, ktoré nastali v rovnakých meracích bodoch ako horizontálne pohyby, teda v oblasti hlavného svahu zosuvu. Vertikálne pohyby dosiahli hodnoty od –63 mm do 16 mm (Ćwiąkała a kol., 2016). Takto uskutočnené merania umožnili určiť skutočnú aktivitu zosuvu v Kłodné počas 1 roka. Umožňujú identifikovať, ktoré časti zosuvu sa aktivujú, a predpovedať oblasti najviac ohrozené zosuvom.

3. Monitoring zosuvu s využitím inklinometrov v Poľsku a na Slovensku

a) Technický popis metódy predchádzania zosuvom s využitím inklinometrov a teoretické predpoklady

Inklinometer je snímač sklonu (ukazovateľ naklonenia), ktorý slúži na meranie uhlov naklonenia, meria výšky 39bra pokles 39brazku vzhľadom na gravitačnú silu. Inklinometre merajú kladné aj záporné sklony. Snímač naklonenia 39bra merateľ odklon v 39braz 39bra troch osiach roviny. Pri určovaní aktivity zosuvov sa inklinometre montujú do vrtov. Do týchto vrtov sa vkladajú 39bra rôznych priemerov, najčastejšie vybavené kĺbmi zvyšujúcimi ich odolnosť, čo umožňuje meranie posunov vo veľkých hĺbkach, až niekoľko desiatok metrov pod zemou (Obrázok 7). Na zacementovanie vrtu sa používajú rôzne zmesi, napríklad 39brazku39a-bentonitové, prispôbené typu hornín v oblasti, kde bol vrt vykonaný. Cementovanie by 39bra byť realizované tak, aby sa zabezpečil 39braz prenos síl pôsobiacich v horninovom masíve na meracie 39bra (Bednarczyk, 2008).

Prípadný sklon inklinometrických rúr sa meria pomocou inklinometrickej sondy, ktorá zvyčajne meria odchýlky v 39braz rovinách s presnosťou na 0,1 mm. Po spustení sondy do vrtu sa zaznamená prvé meranie, potom sa sonda zdvihne o meraciu vzdialenosť a vykonajú sa ďalšie odčítania,

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

zwykle po 0,5 m. Tento 40brazku40a opakuje, až kým sonda nedosiahne úroveň 40brazk. Meracie 40braz sa vykonávajú v časových intervaloch, napríklad trojmesačných, čo umožňuje sledovať posuny pôdy v dôsledku zosuvov v čase. Po meraniach sa vytvárajú profily posunov, zobrazujúce veľkosť, smer a hĺbku, na 40brazk dochádza k pohybu zosuvu (Obrázok 8).

Zmerané sklony inklinometrických rúr v stupňoch sa prepočítavajú na veľkosti 40brazku40alnych posunov v milimetroch na základe trigonometrických 40brazku. Pre posuny sa taktiež kalkulujú meracie chyby. Vďaka inklinometrom je možné určiť horizontálne aj vertikálne posuny hornín podliehajúcich zosuvom na rôznych hĺbkach, podľa toho, na akej hĺbke bol inklinometer nainštalovaný. Podobné 40braz sa realizujú aj na Slovensku, použitie inklinometrov na určenie ohrozenia zosuvmi je tam bežné. Na 40brazku 9 sú uvedené výsledky monitoringu zosuvu s využitím inklinometru v lokalite Dolná Tižina.

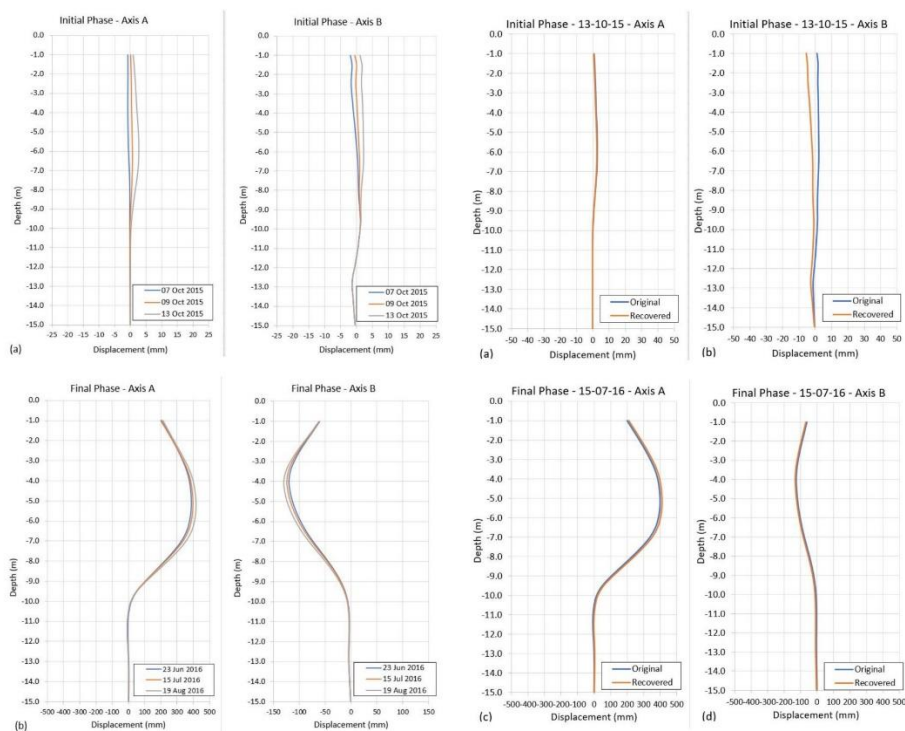


Obrázok 7. Sonda umiestnená v inklinometrickej kolóne.

Zdroj: <https://azdot.gov/blog-article/measuring-slopes-prevent-landslides> (oficiálna webová stránka štátu Arizona).

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

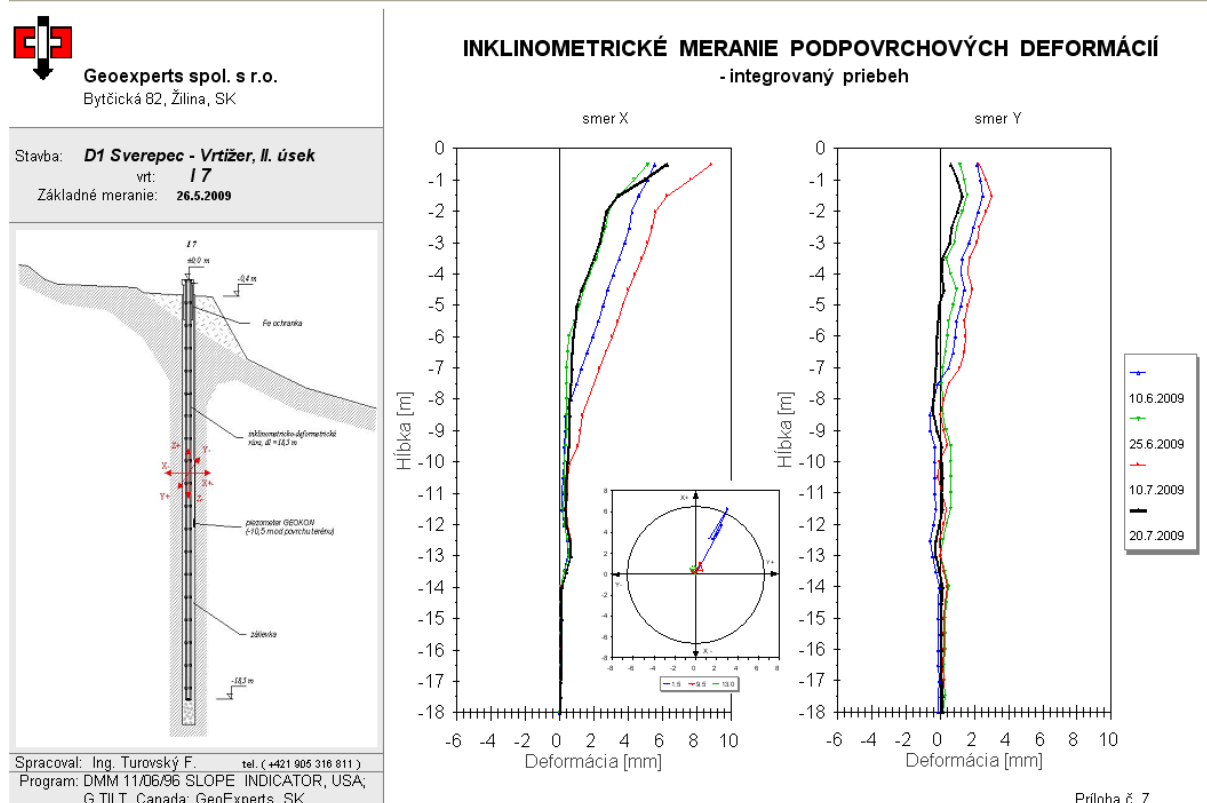


Obrázok 8. Príklady deformácií vyplývajúcich z inklinometrických meraní.

Zdroj: Allil, R. C., Lima, L. A., Allil, A. S., & Werneck, M. M. (2021). FBG-based inclinometer or landslide monitoring in tailings dams. IEEE Sensors Journal, 21(15), 16670-16680.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 9. Výsledky odčítaní presunov v oblasti zosuvu (Dolná Tižina – Slovensko).
Zdroj: Zdroje sprístupnené Žilinskou univerzitou (Svabedná fakulta).

b) Popis výhod a nevýhod metódy

Medzi nepochybné výhody metódy patrí skutočnosť, že inklinometer meria skutočné pohyby pôdy pod zemou na rôznych hĺbkach. Pri povrchových metódach sa informácie týkajú deformácií na povrchu hornín. Takéto deformácie často súvisia napríklad so šmykom zvetranej vrstvy a nemajú spojitosť so zosuvom. Proces šmyku je samozrejme menej nebezpečný pre infraštruktúru v porovnaní so zosuvom. Vďaka inštalácii inklinometrov je možné tiež určiť hĺbku tzv. sklzovej plochy, teda povrchu, po ktorom sa pohybuje hmota zosuvu. To je dôležité, pretože umožňuje racionálne naplánovať prípadnú stabilizáciu zosuvu. Medzi hlavné nevýhody metódy patrí jej veľmi vysoká cena. Inštalácia inklinometrov je veľmi nákladná a spravidla ju nemôžu realizovať miestne samosprávy, inklinometre zvyčajne inštaluje Štátny geologický ústav. S vysokými nákladmi na inštaláciu súvisí aj nemožnosť monitorovať pohyb zosuvu na veľkej ploche. Zvyčajne sa inštaluje

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

jeden alebo dva inklinometre, čo môže spôsobiť, že pohyb zosuvu mimo inštalovanej oblasti zostane nezaznamenaný. Zosuvy sa často aktivujú iba v niektorých častiach, zatiaľ čo zvyšok zosuvu zostáva stabilný. Preto je dôležité umiestniť meracie body na celom zosuve, dokonca aj mimo neho, čo pri použití inklinometrov prakticky nie je možné kvôli vysokým nákladom. Nevýhodou metódy je aj potreba čakať na výsledky aktivity zosuvu od momentu prvého merania inklinometrom. Zvyčajne je možné vyvodiť závery o aktivite zosuvu až najmenej rok po inštalácii inklinometra. Čakanie na určenie aktivity zosuvu môže spomaliť investície a odložiť určenie rizika zosuvu.

c) Hodnotenie použiteľnosti metódy

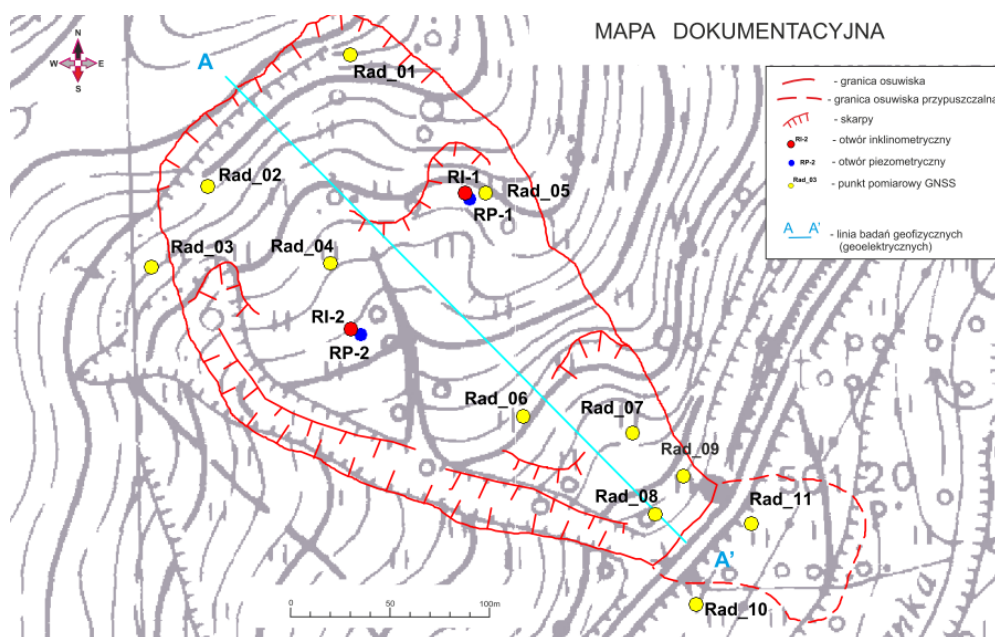
Metóda analýzy aktivity zosuvu s použitím inklinometrov poskytuje určite najlepší obraz zosuvu zo všetkých metód identifikácie aktivity zosuvov. Avšak metóda je vzhľadom na vysoké náklady na inštaláciu a odčítanie inklinometrov ťažko použiteľná bežne. Zvyčajne sa inklinometre inštalujú na zosuvoch, ktoré už boli predtým aktivované a spôsobili poškodenie infraštruktúry, napríklad v oblastiach, kde sa pohybom zosuvu praskajú steny budov. To značne obmedzuje efektivitu odhadu rizika zosuvov, pretože veľmi zriedka sa inklinometre inštalujú v oblastiach, kde sa doposiaľ nezistili pohyby ohrozujúce infraštruktúru.

e) Príklady použitia inklinometrov na prevenciu zosuvov z okresov/obcí ležiacich v oblasti podpory
Príkladom použitia inklinometrov je podzemný monitoring zosuvu v okrese Sanok, v obci Komańcza, v lokalite Radoszyce. Monitoring bol zavedený v roku 2017. Dôvodom inštalácie dvoch inklinometrov bola analýza reliéfu zosuvu, ktorá ukázala, že zosuv môže byť periodicky aktívny, a predovšetkým boli identifikované deformácie na ceste prechádzajúcej cez kolúvia zosuvov. Inklinometre boli inštalované do hĺbky 25 metrov, približne v strednej časti zosuvu (Obrázok 9). Prvé meranie v inštalovaných inklinometrických stĺpcoch sa uskutočnilo 25.04.2018, išlo o referenčné meranie, ku ktorému sa vzťahovali ďalšie merania. Prvé meranie deformácií sa uskutočnilo 11. októbra 2018. Meranie ukázalo malé deformácie, zaznamenané v jednom inklinometrickom stĺpci, dosahujúce až 1,3 mm, pohyby sa vyskytli do hĺbky 4 m. Ďalšie merania boli vykonané 05.06.2019 a 01.10.2019. V roku 2019 boli v prvom stĺpci zaznamenané malé nárasty presunov nepresahujúce 0,8 mm v najnižšej časti profilu. Od začiatku výskumu kumulovaný presun neprekročil hodnotu 3 mm. V druhom stĺpci boli zaznamenané malé nárasty presunov do hĺbky 4 m približne 1,8 mm. V nasledujúcom roku 2020 sa uskutočnili odčítania 19.05.2020 a 15.10.2020. Merania v prvom stĺpci ukázali malé nárasty presunov neprekračujúce 0,6 mm v najnižšej časti profilu. V druhom stĺpci boli identifikované malé nárasty presunov na hĺbke 4 m približne 0,8 mm, a na hĺbke 18,5 m presun dosiahol 1,3 mm. V roku 2021 sa odčítania uskutočnili 26.05.2021 a 05.10.2021. V prvom stĺpci sa zaznamenali malé nárasty presunov neprekračujúce 0,2 mm, v

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

druhom stĺpci boli namerané malé nárasty presunov do hĺbky 4 m približne 1,8 mm, a na hĺbke 18,5 m presun dosiahol 1,7 mm. V roku 2022 sa odčítania uskutočnili 20.05.2022 a 15.05.2022. V prvom meracom stĺpci boli zaznamenané malé nárasty presunov neprekračujúce 0,5 mm, v druhom stĺpci malé nárasty do hĺbky 4 m a na hĺbke 18,5 m presun dosiahol 2,1 mm, čo ukazuje trvalý nárast presunu v tejto hĺbke. Posledné dostupné merania boli v roku 2023, 14.06.2023 a 23.11.2023. V prvom stĺpci boli zaznamenané malé nárasty presunov neprekračujúce 0,6 mm. Od začiatku výskumu kumulovaný presun neprekročil 8 mm pri chybe odčítania $\pm 2,99$ mm. V druhom stĺpci sa zaznamenali malé nárasty presunov do hĺbky 4 m ($\pm 1,8$ mm), a na hĺbke 18,5 m presun dosiahol 4 mm. Ostatné zmeny boli v rámci chyby merania $\pm 2,96$ mm. Výsledky meraní sú zobrazené na obrázku 10. Vykonané merania nepreukázali významné pohyby hornín v bodoch, kde boli inklinometre inštalované. Analýza inklinometrov je spravidla spojená s povrchovou analýzou aktivity zosuvu, až potom je možné komplexnejšie vyhodnotiť riziko zosuvov. (Údaje uvedené v tomto odseku pochádzajú zo zdrojov webovej stránky projektu SOPO prevádzkovanvej PIG-PIB).

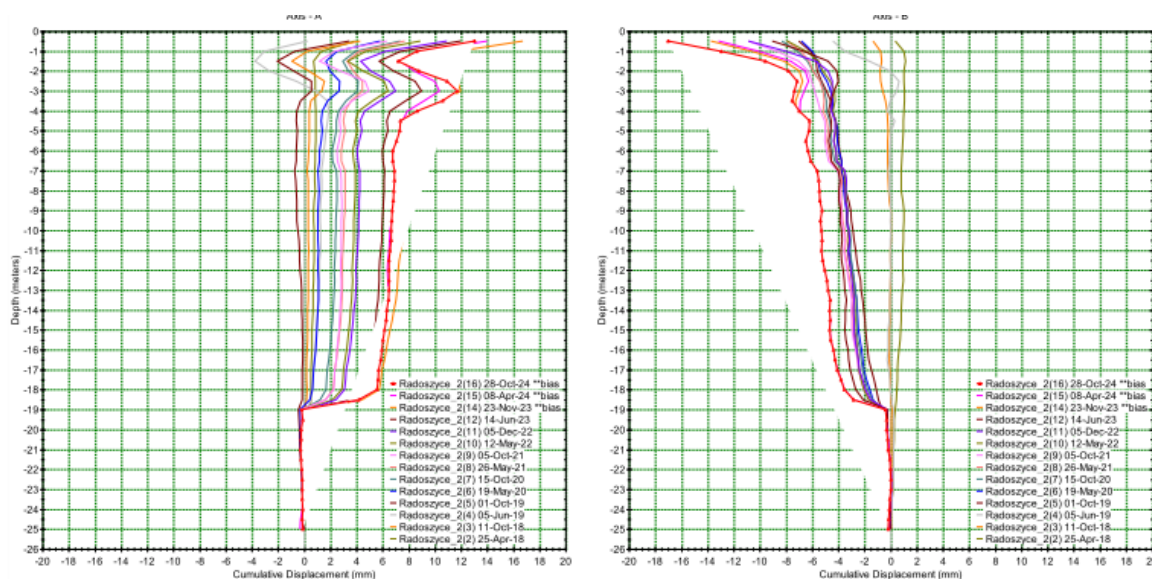


Rycina 9. Położenie inklinometrów w obrębie osuwiska zlokalizowanego w miejscowości Radoszyce (powiat sanocki); ID osuwiska w systemie SOPO 93071. Czerwone punkty oznaczają położenie inklinometrów.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Źródło: Dane pochodzą z zasobów witryny internetowej Projektu SOPO prowadzonej przez PIG-PIB.



Obrázok 10. Výsledky meraní z inklinometra nainštalovaného v rámci zosuvu v lokalite Radoszyce (okres Sanok; ID zosuvu v systéme SOPO 93071). Nasledujúce krivky zobrazujú pohyb zosuvu na rôznych hĺbkach.

Zdroj: Dáta pochádzajú zo zdrojov webovej stránky projektu SOPO spravovaného PIG-PIB.

4. Technické metódy stabilizácie zosuvov v Poľsku a na Slovensku

a) Popis metód technickej stabilizácie zosuvov spolu s teoretickými predpokladmi

Pre správny výber metódy stabilizácie zosuvu je potrebné predovšetkým čo najlepšie spoznať charakter zosuvovej formy. Je nutné rozpoznať geologické a hydrogeologické podmienky, ako aj reliéf terénu. Zohľadniť treba aj dostupnosť územia, mieru zalesnenia a kvalitu vegetačného pokryvu. Rozpoznanie by sa malo zakladať na analýze kartografických materiálov vrátane topografických, hydrologických, hydrogeologických a sozologických máp.

Kľúčovým faktorom pre stabilizáciu zosuvu je úprava vodných pomerov v jeho oblasti, čo znamená odvodnenie pôdy, ideálne v zóne sklzovej plochy. V praxi to znamená realizáciu odvodňovacieho systému, ktorý umožní vybudovanie technickej konštrukcie stabilizujúcej zosuv podľa zvoleného

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

technického riešenia. Odvodnenie by malo zabezpečiť rýchle zachytávanie a odvádzanie dažďových vôd a zároveň je potrebné vykonať hĺbkovú drenáž, ktorá odvádza podzemné vody infiltrujúce do územia. Niekedy až hĺbková drenáž umožní práce na zosuve, napríklad použitie ťažkej mechanizácie (Stryczek a kol., 2008).

Hlavné technické metódy stabilizácie zosuvov zahŕňajú:

Redukciu zaťaženia terénu vyrovnaním svahu.

Dociaženie svahu prostredníctvom oporných múrov, kamenných násypov na svahu, vrátane systémov geokomôr alebo geosyntetík.

Konstrukcie oporné ako múry, steny a oporné pilóty z armovanej pôdy alebo gabiónov.

Kotviace („spájajúce“) metódy aktívnej a neaktívnej časti zosuvu, ako sú: pilóty a palisády v rôznych konfiguráciách, mikropilóty a mikropilotové bariéry v samovítacej technológii, inštalácia stĺpcov, kotvenie pôdy, klinovanie pôdy. (Maca, 2020)

i) Stabilizácia zosuvu vyrovnaním svahu je v Poľsku veľmi populárna, najmä kvôli nízkym nákladom a relatívne malej pracovnej náročnosti. Metóda sa používa terasovaním svahu alebo odoberaním kolúvia, pričom je potrebné dbať, aby sa pri prácach v dolnej časti zosuvu nevyvolala destabilizácia svahu, ktorá by mohla aktivovať zosuv. Metóda je vhodná len pre malé zosuvy.

ii) Metódy dociaženia svahu fungujú ako povrchové zabezpečenie. Ide o spojenie tzv. násypu s prirodzeným podložím, pričom sa musí zabrániť vzniku novej sklzovej plochy v oblasti spoja. Pri týchto metódach je nevyhnutné navrhnuť odvodnenie podzemnej a povrchovej vody, pretože vytvorená hrádza môže zintenzívniť zosuv.

iii) Inžinierske oporné konštrukcie (múry, steny, oporné pilóty, gabióny) sa riadia podobnými princípmi ako dociaženie. Pred ich realizáciou je potrebné analyzovať vplyv dočasného výkopu na stabilitu svahu, čo je rizikový krok vyžadujúci často dodatočné opatrenia (napr. kotvenie), čo zvyšuje náklady. Gabióny si vyžadujú zvýšenú pozornosť, najmä v korytách riek, kde môžu byť poškodené eróziou.

iv) „Spájajúce“ techniky sú najúčinnnejšie a prepájajú aktívnu a pasívnu zónu zosuvu, čím zvyšujú odolnosť voči šmyku. Zahŕňajú:

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

- **Piloty a palisády** – optimálne pri geologických podmienkach umožňujúcich použitie strojov >40 t, priemer 400–600 mm. Veľké priemery sú zriedkavé, obzvlášť pri skalných flisových pôdach.
- **Mikropiloty a mikropilotové bariéry** v samovŕtacej technológii (napr. systém TITAN) – flexibilné a účinné bez ohľadu na typ pôdy, umožňujú injektáž a utesnenie sklzovej plochy bez ťažkej mechanizácie.
- **Stĺpce** – variabilná technológia prispôsobiteľná geotechnickým podmienkam, často s odvodňovacím účinkom; pozor na použitie jet grouting v skalných pôdach.
- **Kotvenie** – železobetónová sieť alebo variant, umožňuje veľké stabilizačné sily; vhodné pri problémových miestach.
- **Klinovanie pôdy (gwoździowanie)** – univerzálna, flexibilná metóda s ľahkou mechanizáciou, prispôsobuje sa tvaru zosuvu, minimalizuje zásahy do terénu, vhodné pre komunikácie; kombinovateľná s rôznymi povrchovými úpravami.

Metódy technickej stabilizácie zosuvov sú bežne používané aj na Slovensku.

d) Popis výhod a nevýhod technických metód stabilizácie svahu zosuvu

Výhody:

- Možnosť zvoliť vhodné riešenie podľa rozsahu pohybu pôdy a podmienok na zosuve: hĺbka sklzovej plochy, množstvo kolúvia, sklon svahu, vodné pomery, vegetačné pokrytie, dostupnosť terénu.

Nevýhody:

- Práce sú rizikové, môžu destabilizovať svah a zintenzívniť zosuv.
- Vhodné len pre relatívne malé zosuvy, často pri cestách.
- Pre veľké alebo hlboké zosuvy sú metódy nákladné alebo nevhodné.
- Často sú použité až po aktivácii zosuvu – nie sú preventívne.
- Technické zabezpečenie nemusí byť trvalé, zosuvy sa neustále vyvíjajú.
- Vyžadujú odborné znalosti a skúsenosti; nesprávna realizácia môže zhoršiť stabilitu a spustiť zosuv.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien



Obrázok 11. Príklad zosuvového svahu stabilizovaného kotvením.

Zdroj: <https://www.schnabel.com/services/landslide>



Obrázok 11. Príklad zosuvového svahu stabilizovaného kotvením.

Zdroj: <https://www.schnabel.com/services/landslide>

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Hodnotenie použiteľnosti metódy technickej stabilizácie zosuvov

Technické metódy stabilizácie zosuvov by určite mali byť používané miestnymi samosprávami nielen vtedy, keď zosuv už spôsobil škody na infraštruktúre, ale predovšetkým v prípade zosuvov, ktoré by mohli byť aktivované v budúcnosti. Ak monitoring zosuvov, napríklad inklinometre alebo geodetické metódy, jednoznačne ukazuje možnosť aktivácie zosuvu, je potrebné zvážiť použitie technických metód jeho stabilizácie. Veľmi rozšírená je taktika, ktorá spočíva v pozorovaní aktívneho zosuvu a v zásahu až po tom, čo spôsobil škody na infraštruktúre. Tento prístup je spôsobený tým, že za našich ekonomických a právnych podmienok je veľmi ťažké vyčleniť veľkú sumu na stabilizáciu zosuvu, ktorý ešte len ohrozuje infraštruktúru. Najčastejšie sa zasahuje až po vzniku škôd. Každý okres a obec zvyčajne vie, kde sa nachádzajú najnebezpečnejšie oblasti zosuvov, no činnosti samospráv často spočívajú len v monitorovaní zosuvov. Našťastie v poslednom čase čoraz častejšie zaznamenávame príklady dobrej praxe v podobe zabezpečenia zosuvových svahov pred ich náhlym aktivovaním.

i) Príklady použitia metód predchádzania zosuvom v okresoch/regionoch nachádzajúcich sa v oblasti podpory – technické metódy stabilizácie zosuvov

V okrese Limanovskom, v juhozápadnej časti obce Kostrza, sa rozhodli technicky zabezpečiť tri zosuvy. Oblasť zosuvu označeného ako č. 1 sa nachádza na pravom brehu potoka Ryjskiego. V tejto oblasti možno rozlíšiť dva typy zosuvov: neaktívne, s pohybom zeminy smerom na severozápad, a aktívne, ktoré sa posúvajú smerom na východ. Zosuv možno všeobecne charakterizovať ako svahovo-dolinový, rozvinutý na horskom svahu, ktorého dolná hranica dosahuje údolie potoka Ryjskiego. Zosuv sa rozvíja v skalách aj v zvetranej hornine.

Zosuv č. 2 sa nachádza na západnom brehu potoka Ryjskiego, ku ktorému zo západnej strany pritekajú malé prúdy v úzkych dolinách. Tento zosuv sa vyznačuje výrazným jazykom, ktorý siaha až k potoku Ryjskiego, s šírkou približne 150 m a hĺbkou až do 700 m; zosuv je čiastočne aktívny.

Oblasť č. 3 pokrýva zosuvovú plochu v južnej časti územia. Väčšina tejto oblasti vyzerá ako neaktívny zosuv. Zosuv má šírku približne 200 m a rozprestiera sa do dĺžky asi 300 m smerom nahor svahu. Môže byť charakterizovaný ako svahovo-dolinový zosuv, rozvíjajúci sa hlavne na horskom svahu, siaha až k údoliu potoka Ryjskiego a obsahuje zvetraný a skalný materiál.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Na začiatku boli v rámci skúmaného zosuvu vyčlenené geotechnické vrstvy:

ii) Prvá vrstva pozostáva z ílovitých, plastických a mäkkoplastických zemín, miestami s prítomnosťou ílovitých nánosov.

ii) Druhá vrstva obsahuje ílovité zeminy podobné prvej vrstve, ale s prítomnosťou piesčitých ílov, ílov so zrnami pieskovca a prevrstvených ílov s ílovitým pieskom.

iii) Tretia vrstva pozostáva z tvrdoplastických a polotuhej ílovej zeminy, charakterizovanej ílovitými pieskami, piesčitými ílmi a ílmi so zrnami bridlice a pieskovca.

iiii) Štvrtá vrstva obsahuje plastické a mäkkoplastické ílovité zeminy, prevažne vo forme sutiny a ílovitých zvetranín, obsahujúcich úlomky pieskovca a bridlice.

iiiiii) Piata vrstva obsahuje tvrdoplastické a polotuhej ílovité zeminy, tvorenú sutou a ílovitými zvetraninami z pieskovca a bridlice v pomere 50–90 %.

iiiiiii) Šiesta vrstva pozostáva z voľných, stredne zhutnených zemín, prevažne pieskovcových zvetranín so stredne piesčitým zrnivom, lokálne obsahujúcich úlomky pieskovca.

Práce mali za cieľ stabilizovať pohyby zosuvov prostredníctvom zlepšenia vodných podmienok. Na tento účel sa použijú hĺbkové drenáže a úseky drenážnych rýh pozdĺž častí obecnej komunikácie, čím sa súčasne odvodní príľahlé územie. Okrem toho bola zabezpečená oblasť vodnej nádrže, z ktorej vychádza hlavný vodovodný kanál.

Plán zabezpečenia zosuvov zahŕňa:

- realizáciu drenáží, štrbinových rýh a odvodňovacích žľabov,
- čiastočné zabezpečenie potoka Ryjskiego,
- zabezpečenie územia okolo vodnej nádrže, zahŕňajúce zjednotenie terénu, použitie „jet grouting“ pilót a vytvorenie systému odvodnenia. Zrážková a drenážna voda bude odvádzaná do potoka Ryjskiego.

Použitie „jet grouting“ pilót prebiehalo v dvoch fázach:

FAZA I: VRTANIE – injekčná tyč s priemerom 60–90 mm sa zavádza do plánovanej úrovne spodku pilóty. Jej spodná časť je zakončená špeciálnym vrtacím nástrojom prispôbeným podmienkam podložia. Pri vrtaní sa používa vzduchová alebo vodná suspenzia, ktorá odnáša vyvrtaný materiál na povrch.

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

FAZA II: TVORENIE PILÓTY – injekčná tyč sa postupne vytahuje, pričom sa vykonáva rotačný pohyb a súčasne sa cez injekčné trysky v dolnej časti tyče vtlačuje maltová zmes. Takto vzniká pravidelná „jet grouting“ kolóna. Vrtacie zariadenie je vybavené automatickým systémom, ktorý reguluje rýchlosť vytahovania tyče, čo zaisťuje kontinuitu procesu a dosiahnutie plánovaných parametrov injekčnej kolóny.

Literatura

Allil, R. C., Lima, L. A., Allil, A. S., & Werneck, M. M. (2021). FBG-based inclinometer for landslide monitoring in tailings dams. *IEEE Sensors Journal*, 21(15), 16670-16680.

Bednarczyk, Z. (2008). Metody instrumentacji i monitoringu powierzchniowych ruchów masowych na przykładzie wybranych osuwisk w Karpatach (Beskid Niski, Średni i Pogórze). *Geologia/Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*, 34(4), 721-732.

Ćwiąkała, P., Stanisiz, J., Wróbel, A., Kaczmarczyk, R., Drwal, P., Grabek, P., ... & Zierkiewicz, M. (2016). Wyznaczenie przemieszczeń powierzchniowych na osuwisku w Kłodnem (gmina Limanowa, południowa Polska). *Przegląd Geologiczny*, 64(2), 122-130.

Maca, N. (2020). Praktyczne zasady doboru metod stabilizacji osuwisk. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*.

Różycka, R. (2013). Zagrożenia osuwiskowe a proces planowania przestrzennego na przykładzie gminy Zakliczyn. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, (3/1).

Stryczek, S., Gonet, A., & Wiśniowski, R. (2008). Geoinżynieryjne metody stabilizacji skarp i zboczy. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 6(21), 78-81.

Szafarczyk, A. (2011). Geodezyjne metody monitoringu osuwisk. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, (02).

Tiwari, A., Narayan, A. B., Devara, M., Dwivedi, R., & Dikshit, O. (2018). Multi-sensor geodetic approach for landslide detection and monitoring. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, 287-292.

Interreg



Współfinansowany przez
UNIĘ EUROPEJSKĄ

Polska – Słowacja

Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien
