

Analýza 1.

ŠTANDARDNÉ METÓDY PROTI ÚČINKOM ZOSUVOV PÔDY V OBLASTI PODPORY

Obsah

ÚVOD	5
METODIKA SPRACOVANIA	7
ŠTANDARDNÉ METÓDY PREVENČIE NÁSLEDKOV ZOSUVOV	8
1. MAPOVANIE OBLASTÍ ZOSUVOV ZA ÚČELOM SPRÍSTUPNENIA INFORMÁCIÍ O POLOHE ZOSUVOV PRE OBYVATEĽOV A INVESTOROV	8
a) Technický opis metódy prevencie zosuvu spolu s teoretickými predpokladmi	8
b) Opis nevýhod a výhod metódy	9
c) Hodnotenie vhodnosti použitia metódy	10
d) Príklady použitia metódy mapovania	10
2. GEODETICKÝ MONITORING VYBRANÝCH ZOSUVOV	14
a) Technický opis metódy prevencie zosuvu spolu s teoretickými predpokladmi	14
b) Opis nevýhod a výhod metódy	16
Výhody:	16
Nevýhody:	16
c) Hodnotenie vhodnosti použitia metódy	16
d) Príklady použitia geodetickej metódy	17
3. MONITORING ZOSUVU S VYUŽITÍM INKLINOMETROV V POĽSKU A NA SLOVENSKU	20
a) Technický opis metódy prevencie zosuvu s využitím inklinometrov spolu s teoretickými predpokladmi	20
b) Opis nevýhod a výhod metódy	22
Výhody:	22
Nevýhody:	22
c) Hodnotenie vhodnosti použitia metódy	23
d) Príklady použitia inklinometrov v prevencii zosuvu	23
4. TECHNICKÉ METÓDY STABILIZÁCIE ZOSUVOV V POĽSKU A NA SLOVENSKU	26
a) Opis metód technickej stabilizácie zosuvov spolu s teoretickými predpokladmi	26
b) Opis nevýhod a výhod technických metód stabilizácie svahu	29

Výhody:	29
Nevýhody:	29
c) Hodnotenie vhodnosti použitia metódy technickej stabilizácie zosuvov	32
d) Príklady použitia metód prevencie zosuvu - technické metódy stabilizácie zosuvov	32
LITERATÚRA	35

ÚVOD

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

- **Zákon 569/2007 z 25. októbra 2007 - Zákon o geologických prácach**
 - upravuje vykonávanie geologických prác, evidenciu geologických informácií, ochranu výhradných ložísk a pôsobnosť štátnych orgánov v tejto oblasti.
- **Zákon 220/2004 z 10. marca 2004 o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov**
 - upravuje povinnosti vlastníkov a užívateľov pôdy zabráňovať vodnej a veternej erózii, napríklad vhodným obhospodarovaním, zachovaním trvalého vegetačného pokryvu, šetrným obrábaním a ďalšími opatreniami, ktoré chránia pôdu pred znehodnotením a stratou úrodnosti.
- **Zákon č. 543/2002 z 25. júna 2002 o ochrane prírody a krajiny**
 - stanovuje, že pri využívaní územia treba zachovávať ekologickú stabilitu krajiny a zabráňovať činnostiam, ktoré by mohli spôsobiť poškodenie prírodného prostredia, vrátane narušenia svahov a vzniku zosuvov. V praxi to znamená, že orgány ochrany prírody môžu obmedziť alebo zakázať zásahy (napr. výrub, stavebné práce, ťažbu), ktoré by zhoršili stabilitu pôdneho a geologického prostredia, najmä v náchylných alebo chránených územiach.
- **Zákon č. 17/1992 z 05. decembra 1991 o životnom prostredí**
 - Z hľadiska zosuvov a erózie tento zákon ukladá povinnosť predchádzať a odstraňovať škodlivé následky prírodných javov vrátane pôdnej erózie a zosuvov, ako aj zodpovednosť vlastníkov a užívateľov pozemkov za ochranu pôdy pred degradáciou a zabezpečenie protierózných opatrení.
- **Zákon č. 200 z 27. apríla 2022 o územnom plánovaní**
 - Z hľadiska zosuvov a erózie tento zákon upravuje ochranu prírodných prvkov krajiny vrátane geologických útvarov a geomorfologických javov, ako aj povinnosť zachovávať stabilitu svahov a predchádzať erózii pri zásahoch do krajiny.
- **Zákon č. 25/2025 z 05. februára 2025 – Stavebný zákon**
 - Pojednáva o stavebných výrobkoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov upravuje podmienky uvádzania stavebných výrobkov na trh, požiadavky na ich parametre vrátane mechanických vlastností a odolnosti, čo v kontexte zosuvov znamená že stanovuje požiadavky na materiály a výrobky používané pri stabilizačných konštrukciách, oporných múroch, gabiónoch a iných technických prvkoch určených na zabezpečenie svahov proti zosuvu.
- **Zákon č. 364/2004 z 13. mája 2004 – o vodách a o zmene zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon)**
 - Upravuje z hľadiska zosuvov a erózie ochranu pred povodňami a inými škodlivými účinkami vôd, vrátane opatrení na ochranu brehov a svahov pred podmielením a zosuvmi, ako aj povinnosti pri hospodárení s vodami tak, aby sa predchádzalo erózii a nestabilite brehov vodných tokov.

Faktorom limitujúcim použitie jednotlivých metód v oblasti podpory sú finančné zdroje určené na protizosuvovú ochranu. Ďalším limitujúcim faktorom je vedomosť o možnostiach a technikách použitia jednotlivých metód. Nie vo všetkých samosprávnych jednotkách má personál široké vedomosti o zosuvoch, ich vzniku a metódach prevencie ich následkov. Existuje potreba vzdelávania samosprávnych pracovníkov v tejto oblasti. Túto medzeru by malo do istej miery zaplniť spracovanie predloženej analýzy.

METODIKA SPRACOVANIA

Spracovanie vzniklo na základe materiálov dostupných na internetových stránkach a na základe priamych kontaktov s predstaviteľmi okresov. Boli identifikované rôzne štandardné metódy prevencie následkov zosuvov používané okresmi v tzv. oblasti podpory na území Poľska a na území Slovenska.

Okresy v Poľsku: v Sliezskeho vojvodstve: Pszczyński, Cieszyński, Bielski, mesto s právami okresu Bielsko-Biala, 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, , Sabinov, Bardejov, Svidník, Prešov, Vranov nad Topľou, Stropkov, Medzilaborce, Humenné, Snina, v Košickom samosprávnom kraji: Spišská Nová Ves.

Zámerom tohto spracovania podľa objednávky nebolo určenie, aké metódy sa používajú v jednotlivých okresoch, ale prehľad metód, ktoré sa používajú v samosprávach umiestnených v oblasti podpory spolu s ich podrobnou charakteristikou. Počas spracovania sa využívala aj dostupná literatúra, ktorej zoznam je umiestnený na konci spracovania.

Spracovanie bolo vykonané podľa nasledujúcej schémy vyplývajúcej z opisu predmetu objednávky:

- a) Technický opis metódy prevencie zosuvu spolu s teoretickými predpokladmi
- b) Opis nevýhod a výhod každej metódy
- c) Hodnotenie vhodnosti použitia metódy
- d) Príklady použitia metód prevencie zosuvu z okresov umiestnených v oblasti podpory, tak poľských ako aj slovenských

ŠTANDARDNÉ METÓDY PREVENIE NÁSLEDKOV ZOSUVOV

Medzi činnosťami okresných jednotiek umiestnených v oblasti podpory boli identifikované nasledujúce štandardné metódy prevencie následkov zosuvov v oblasti podpory:

1. MAPOVANIE OBLASTÍ ZOSUVOV ZA ÚČELOM SPRÍSTUPNENIA INFORMÁCIÍ O POLOHE ZOSUVOV PRE OBYVATEĽOV A INVESTOROV

a) Technický opis metódy prevencie zosuvu spolu s teoretickými predpokladmi

Metóda spočíva v zobrazení polohy a presnej plochy zosuvov. Na tento účel sa vytvárajú mapové systémy podmiennečne nazývané geoportály, často fungujúce pod názvom systém priestorových informácií. Sú zostavené z mnohých vrstiev prezentujúcich odlišné typy súborov objektov.

Na tvorbu geoportálov sa používajú nástroje GIS, ktoré umožňujú veľmi presné priradenie bodových, líniových a priestorových objektov na mapu. Každý z objektov umiestnených na mape má svoje geografické súradnice. Pri vlastní GPS prijímača možno jednoduchým spôsobom nájsť na mape aj najmenšie objekty umiestnené nielen v zastavanom území, ale aj v lesnej oblasti.

Objekty sú usporiadané vo forme vrstiev, najčastejšie sú to:

- Topografia spolu s bodovými a líniovými objektmi
- Administratívne hranice
- Ortofotomapa
- Utváranie povrchu
- Hydrografia

Často systém máp obsahuje rôzne dodatočné vrstvy napr. geodetickú sieť, miestne urbanistické plány, monitoring pôdných podmienok, monitoring pohyblivých objektov atď.

Zosuvy sa najčastejšie vyskytujú v geoportáli pod názvom vrstvy: Geológia, alebo tvoria oddelenú vrstvu jednoducho s názvom: Zosuvy. Zosuvové územia sú zvyčajne označené obrysami, pod nimi sú umiestnené ľubovoľne iné vrstvy v geoportáli.

b) Opis nevýhod a výhod metódy

Výhody:

K základným výhodám mapovania oblastí zosuvov patrí možnosť informovania obyvateľov a potenciálnych investorov o polohe zosuvov, čo znižuje riziko plánovania stavebných investícií v oblastiach postihnutých zosuvmi. Jednou zo základných úloh zosuvových máp je eliminovať situáciu, v ktorej investor podniká činnosti súvisiace napr. s vykupovaním pozemkov na zosuvových územiach.

Ďalšou výhodou navrhovaného riešenia je všeobecná dostupnosť (otvorený prístup) mapy s polohou zosuvov pre všetkých potenciálnych používateľov. Umiestnenie geoportálu v internetových zdrojoch okresu a informácie a linky na spustenie geoportálu v mnohých opisoch na stránke okresu spôsobujú, že informácia o polohe zosuvov je všeobecne dostupná.

Nevýhody:

K základným nedostatkom prijatého mapovania oblastí zosuvov patrí fakt, že zdrojom obrysov zosuvov sú údaje SOPO, ktoré podliehajú neustálym zmenám spolu so zmenami polohy a rozsahu zosuvov. V vlhkých rokoch sa rozsahy zosuvov menia výrazne, vznikajú aj nové, početné zosuvy, ktoré nie sú zaradené do geoportálu, ktorý tvorí často statický obraz. Údaje o zosuvoch začlenené do mnohých geoportálov sa neaktualizujú.

Z druhej strany medzi investormi vzniká mylný dojem, že ak budú investovať mimo zosuvovej oblasti označenej na mape, vtedy sa úplne vyhnú zosuvovému nebezpečenstvu. Toto nie je pravda, pretože územia umiestnené vo flyšových horách, ku ktorým patria Vonkajšie Karpaty, sú v menšej alebo väčšej miere vystavené zosuvu. Počas potenciálnej zosuvovej katastrofy vznikajú zosuvové oblasti, doteraz neznačené na mape.

Ďalším problémom je určovanie aktivity zosuvov. Práve aktivita zosuvu je prvkom, ktorý umožňuje odhadnúť, do akej miery je nebezpečný. Táto aktivita bola odhadovaná pri zostavovaní zosuvových máp SOPO. Avšak označovanie aktivity zosuvov spočívalo vo vizuálnom hodnotení, čo v skutočnosti neumožňuje určenie aktivity zosuvov. Preto odhady aktivity zosuvov v rámci SOPO treba považovať s veľkou rezervou. Výnimku tvoria oblasti pokryté hlbinným monitoringom, teda tie zosuvy, na ktorých boli založené inklinometre.

c) Hodnotenie vhodnosti použitia metódy

Metóda mapovania zosuvov je dôležitým prvkom prevencie zosuvového nebezpečenstva. Zosuvové mapy umiestnené v otvorenom prístupe umožňujú dostať sa všetkým potenciálnym investorom k informáciám o polohe zosuvov. Geoportál určite obmedzuje nebezpečenstvo lokalizácie investícií na zosuvových územiach.

Z druhej strany mapa je statickým obrazom, ktorý keď sa neaktualizuje, vtedy nedáva aktuálny obraz o polohe zosuvov. Okrem toho na mapách nie sú dôveryhodné informácie o aktívnych zosuvoch, teda tých, ktoré sú obzvlášť nebezpečné pre investorov.

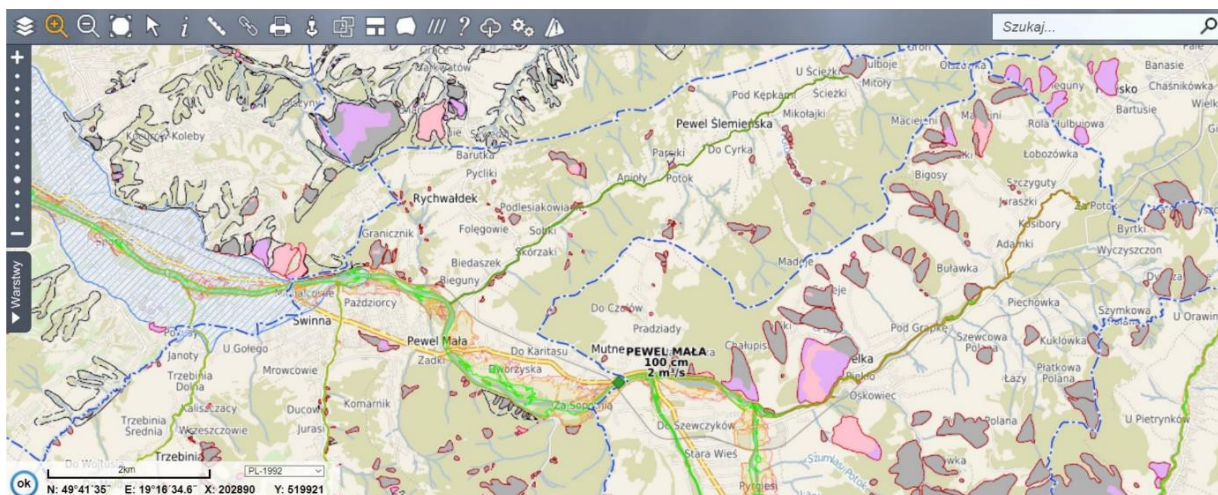
To znamená, že mapa zosuvov napriek svojim mnohým výhodám nestačí na označenie území bezpečných z hľadiska zosuvov, teda takých, na ktorých by nemalo dôjsť k vzniku zosuvov. Okrem mapy by sa mali využívať iné metódy analýzy zosuvov. Ide tu obzvlášť o tie metódy, ktoré umožňujú určenie aktivity zosuvov, teda zistenie, či daný zosuv je stabilný a nepremiestuje sa, alebo vykazuje prejavy aktivity.

d) Príklady použitia metódy mapovania

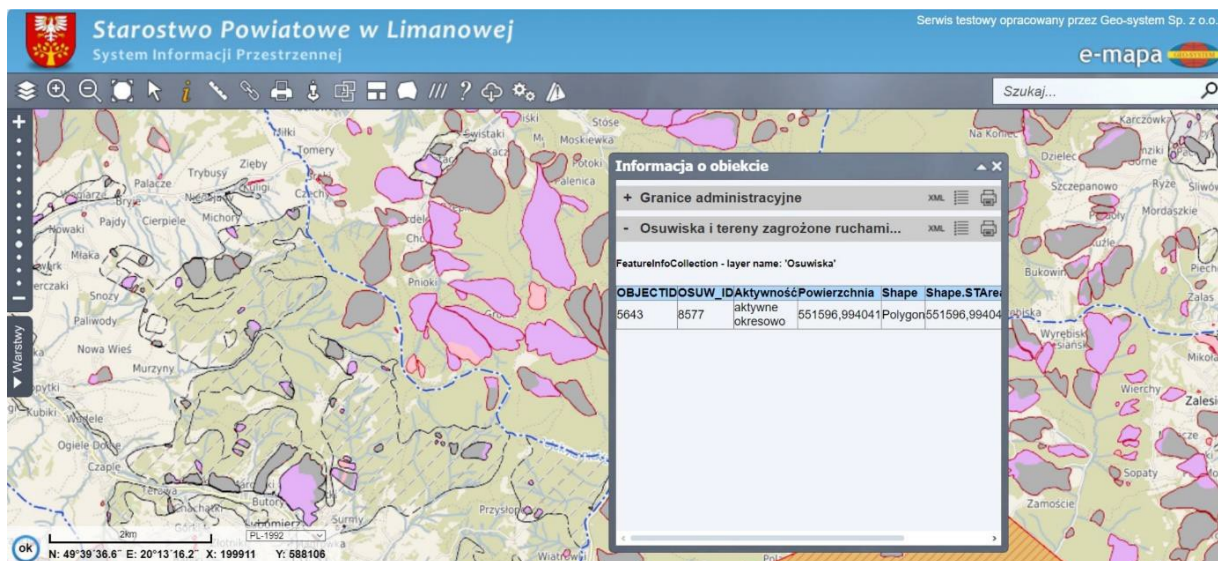
Systém priestorových informácií je používaný všetkými poľskými okresmi umiestnenými v oblasti podpory. Príkladom použitia mapovania oblastí zosuvov je systém priestorových informácií používaný okresným úradom v Żywci (<https://zywiecki.e-mapa.net>), v Limanowej (<https://limanowski.e-mapa.net>) alebo okresom Nowy Sącz.

Zosuvy možno prezrieť na pozadí vrstvy zloženej z topografických objektov. Zdrojom pre polohu zosuvov na okresných mapách je portál SOPO (Systém protizosuvovej ochrany). V okresných systémoch bola umiestnená vrstva (Geológia), v rámci ktorej boli označené obrysami hranice zosuvov, v závislosti od úrovne aktivity zosuvu boli označené pomocou farieb (Obrázok 1).

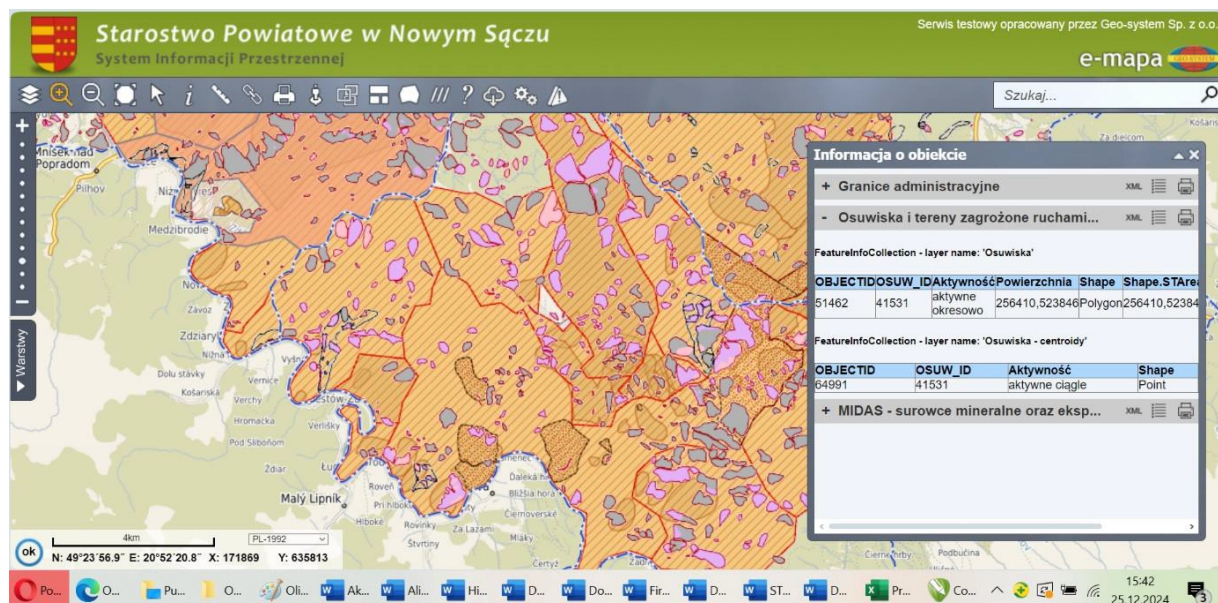
Po kliknutí na ohraničenú oblasť každého zosuvu sa zobrazí popis týkajúci sa jeho plochy a odhadu jeho aktivity (Obrázok 2). Obzvlášť dôležité z hľadiska plánovania zástavby sú zosuvy označené ako trvalo aktívne (Obrázok 3).



Obrázok 1. Mapa vytvorená z priestorového informačného systému pre oblasť okresu Żywiec, na ktorej sú zosuvy vyznačené červenou farbou a vyplnené sivou (neaktívne zosuvy), ružovou (periodicky aktívne) a jasne červenou (trvalo aktívne).

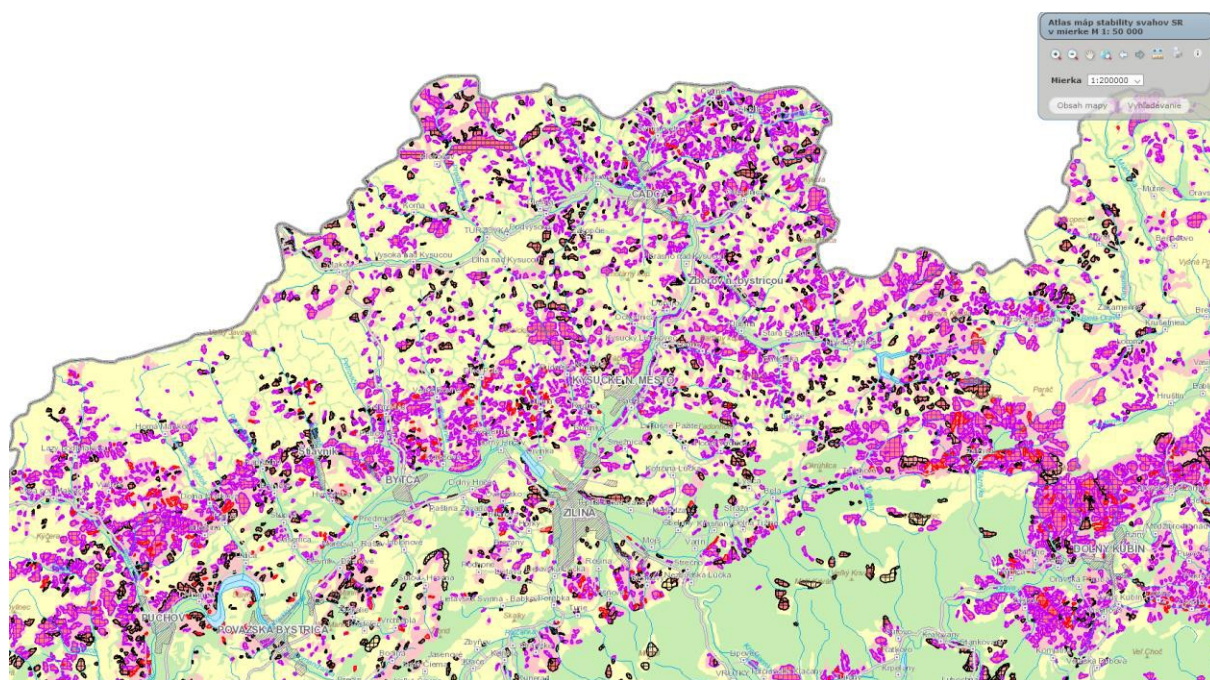


Obrázok 2. Mapa vygenerovaná z priestorového informačného systému pre oblasť okresu Limanowa zobrazujúca zosuvy a kartu zosuvu, ktorá sa otvorí po kliknutí na oblasť zosuvu, je zobrazený príklad periodicky aktívneho zosuvu (ružová farba).



Obr. 3. Mapa vygenerovaná z priestorového informačného systému pre oblasť okresu Nowy Sącz zobrazujúca zosuvy a kartu otvorenia zosuvu po kliknutí na oblasť zosuvu, na ktorej je uvedený príklad stále aktívneho zosuvu (svetločervená farba).

Mapy prezentujúce deformácie na svahoch a súčasne ohrozenie zosuvmi sú dostupné aj pre samosprávne jednotky umiestnené na Slovensku. V slovenskom mapovacom systéme sú takisto označené zóny, v ktorých sa vyskytujú posuny. Podobne ako v prípade máp z oblasti Poľska sú označené priestorovo a rozdelené na aktívne a neaktívne zóny (Obrázok 4).



Obrázok 4: Výrez z mapy zobrazujúcej zosuvné deformácie a zosuvné nebezpečenstvo zo slovenského geoportálu (zóny označené ružovou farbou sú zóny svahových deformácií, zóny označené oranžovou farbou sú aktívne zóny ohrožujúce infraštruktúru (Zdroj: www.geology.sk).

2. GEODETICKÝ MONITORING VYBRANÝCH ZOSUVOV

a) Technický opis metódy prevencie zosuvu spolu s teoretickými predpokladmi

Geodetický monitoring zosuvov je známy už dávno. Avšak časom, spolu s rozvojom geodetických techník, sa stáva čoraz presnejším. Spočíva najvšeobecnejšie v opakovateľnom meraní pozície bodov umiestnených v rámci zosuvu. Meraním pozície tých istých bodov na zosuve (napr. každé 3 mesiace) možno zistiť, či je zosuv aktívny, teda či jednotlivé body zosuvu menia svoju pozíciu v priestore.

Kedysi sa na geodetický monitoring zosuvov používali teodolity, v súčasnosti sa používajú presné GPS prijímače. Možno je aj inštalovanie GPS prijímačov na zosuve a nepretržité meranie pohybu zosuvu, vtedy je prípadná aktivita zosuvu najlepšie viditeľná.

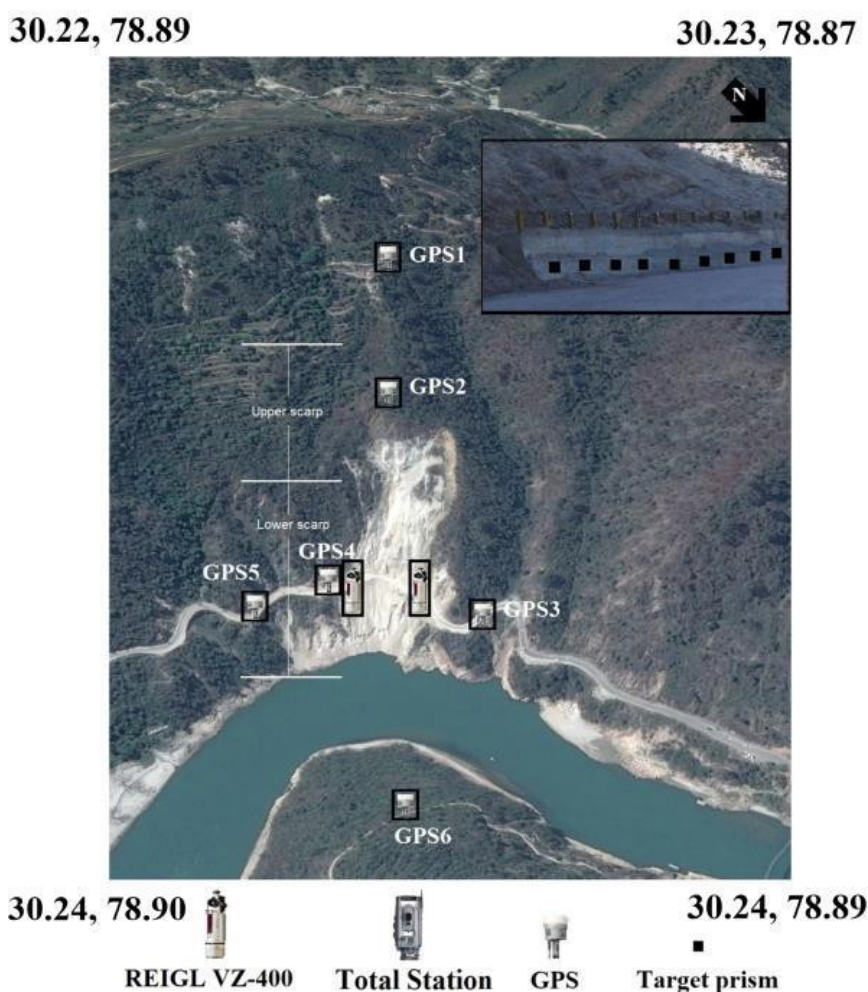
Geodetické meranie zosuvov má svoje základy a určité predpoklady vyplývajúce z predtým vypracovaných inštrukcií. Terénne práce zahŕňajúce geodetický monitoring zosuvov spočívajú v niekoľkých etapách:

Vyhotovenie situačno-výškovej mapy

Stabilizácia meracích bodov

Inštalácia prístrojov na pozorovanie zosuvu (Inštrukcia PIG 2008)

Povrchový monitoring zosuvov s využitím geodézie sa vykonáva na základe stabilizovanej siete meracích bodov v rámci zosuvu, pričom počet a lokalizáciu meracích bodov vstupujúcich do siete sa stanovuje individuálne pre každý monitorovaný zosuv (Szafarczyk, 2011); (Obrázok 5).



Obrázok 5: Príklad inštalovaných geodetických pozorovacích prístrojov pre zosuvy. Zdroj: Tiwari, A., Narayan, A. B., Devara, M., Dwivedi, R., & Dikshit, O. (2018). Multi-senzorový geodetický prístup na detekciu a monitorovanie zosuvov. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, 287-292.

Lokalizácia meracích bodov závisí hlavne od ich trvanlivosti osadenia, čo umožňuje viacnásobné geodetické meranie. Body by mali byť osadené tak, aby bolo možné meranie súradníc X, Y, Z. Zvyčajne sa dodatočne zakladajú tri referenčné body pre zosuvové meracie body. Sú to body merané mimo zosuvu, alebo sú to jednoducho body geodetickej siete, pre ktoré sa budú vykonávať pozorovania.

Používanie GPS prijímačov by malo byť vykonané statickou metódou s určením základných bodov. Pomocou statívov a spodárik s optickým olovnicou sa upevňujú antény prijímačov. Výsledky meraní sa vzťahujú na najmenej 3 body geodetickej siete. K týmto bodom sa stále nadväzuje pri ďalších meraniach seansiach.

Geodetické merania zosuvov umožňujú určiť tzv. ukazovatele deformácie, ku ktorým patria:
Zníženie

Naklonenie

Horizontálny posun

Deformácia

Krivosť

Posuny sa najčastejšie uvádzajú v tabuľkovej forme alebo vyznačením vektorov posunov na mape alebo na grafe (Obrázok 6).

b) Opis nevýhod a výhod metódy

Výhody:

Hlavnou výhodou geodetickej metódy je jej relatívne nízka cena v porovnaní s hlbinnými metódami, ako sú napr. inštalovanie inklinometrov. Môže byť tiež použitá na rôznych miestach nezávisle od polohy zosuvu. K výhodám metódy patrí tiež relatívne jednoduchý systém merania deformácií. Je to tiež veľmi presná metóda umožňujúca podrobný monitoring aktivity zosuvu.

Nevýhody:

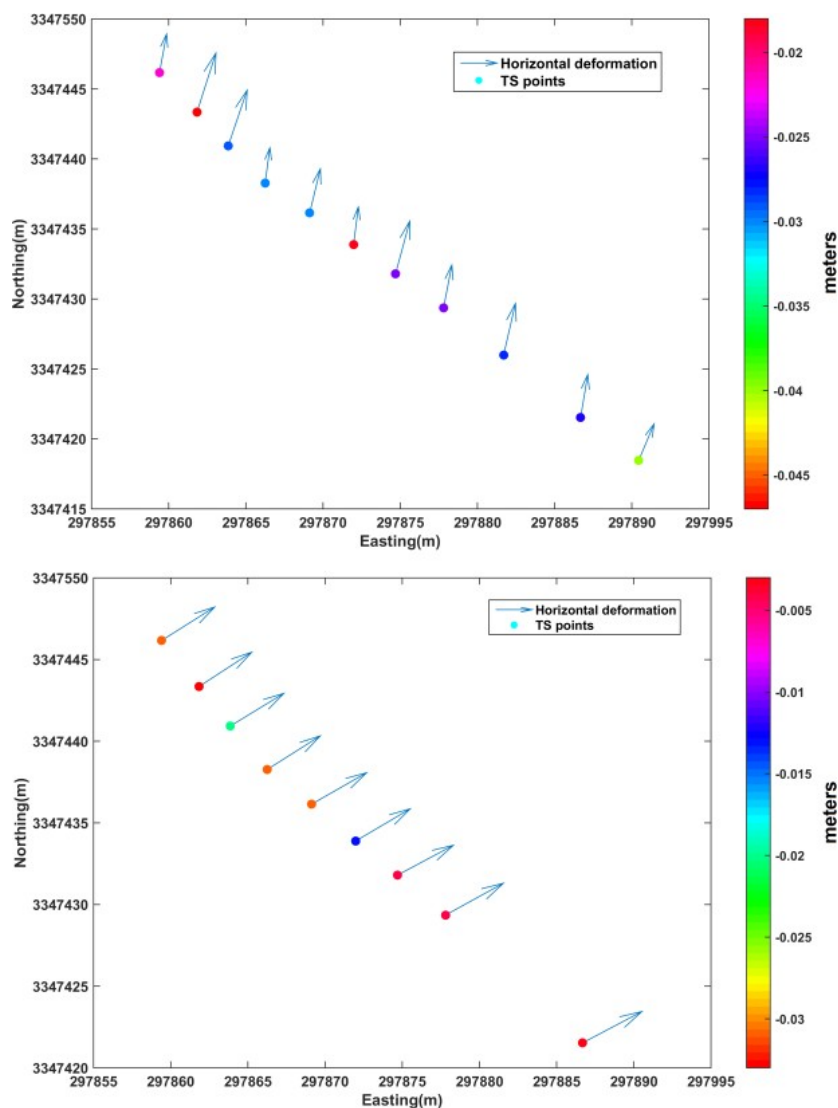
K nespochybniteľným nedostatkom metódy patrí jej povrchový charakter. Počas geodetických meraní sa nezískavajú informácie týkajúce sa napríklad polohy podzemnej šmykovej plochy, nie sú dostupné údaje týkajúce sa jej hĺbky, a teda nemožno odhadnúť kubatúru hmoty hornín, ktorá môže podliehať posunu počas zrýchlenia zosuvu, teda zvýšenia aktivity zosuvu. Preto rozsah zosuvu v budúcnosti je veľmi ťažké odhadnúť pri použití geodetického monitoringu zosuvov. K nedostatkom metódy patrí tiež nutnosť čakania na výsledky týkajúce sa aktivity zosuvu od momentu prvého merania. Zvyčajne o aktivite zosuvu možno usudzovať najmenej rok od prvých geodetických meraní. Čakanie na určenie aktivity zosuvu môže niekedy oneskoriť investície plánované na území, na ktorom sa vykonávajú geodetické merania.

c) Hodnotenie vhodnosti použitia metódy

Metódu treba uznať za vhodnú na analýzu aktivity zosuvov. Obzvlášť bude dobrá pre samosprávne jednotky, pretože môže meraniami pokrývať veľké oblasti a metóda umožňuje analýzu mnohých zosuvov.

Treba tiež upozorniť, že nezávisle od rozmiestnenia zosuvov možno geodeticky monitorovať oblasti, ktoré v budúcnosti by mali byť predmetom investícií. Treba mať na zreteli fakt, že zosuvy môžu vznikať v zónach, kde v súčasnosti nevyskytujú. Často takéto nové oblasti postihnuté zosuvmi sú prekvapením pre miestne úrady alebo pre investorov, preto sa odporúča pokryť geodetickým monitoringom oblasti budúcich investícií. Týka sa to obzvlášť horských a

podhorských zón umiestnených v oblastiach náchylných na zosuv z geologických dôvodov. Ako je známe, práve takéto oblasti sa vyskytujú v okresoch umiestnených v oblasti podpory projektu.



Obrázok 6: Príklad znázornenia smerov a rozsahu posunov hornín v zosuve identifikovaných počas geodetického monitorovania.

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

d) Príklady použitia geodetickej metódy

Príkladom použitia geodetickej metódy v prevencii zosuvu je monitoring zosuvu v oblasti nečinného kameňolomu "Kozy" realizovaný Okresným úradom v Bielsku-Bialej. Zvyčajne takýmto monitoringom sú pokryté zosuvy predstavujúce nebezpečenstvo pre zdravie a život ľudí a pre infraštruktúru.

Zosuv Kozy je geodeticky pozorovaný od roku 2020. Doteraz boli zostavené 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 natrvalo stabilizované na oblasti zosuvu. Body boli určené rovnomerne na miestach výskytu zosuvových javov na celej monitorovanej oblasti. Následne boli všetky body umiestnené na situačno-výškovú mapu. Prvotné meranie, ktoré bolo referenčným meraním pre neskoršie merania, bolo vykonané 20.10.2020 pomocou metódy GNSS RTK prijímačom GINTEC F90. Meranie bolo vykonávané tyčou stabilizovanou na bipode. Prvé kontrolné meranie sa uskutočnilo 22.09.2021. Týmto spôsobom boli získané súradnice xyz pre každý bod. Body boli zmerané s presnosťou xy: 0,01 m a h: 0,03 m.

Analýza meracích bodov ukázala, že na území zosuvu sa nevyskytli posuny hornín, ktoré by mohli poukazovať na aktiváciu zosuvu. Bolo zistené iba nepatrný pohyb hornín v hraniciach od dvoch do troch centimetrov nadol svahu.

Ďalšie kontrolné meranie bolo vykonané 01.08.2022. Po opätovnej analýze všetkých meraní bolo zistené, že na monitorovanom zosuve sa nevyskytli výrazné posuny. Bolo zistené opäť iba nepatrné posuny pôdy v hraniciach od dvoch do štyroch centimetrov nadol svahu.

Posledné z doterajších meraní sa uskutočnilo 08.11.2024. Ešte raz sa ukázalo, že v skúmanej oblasti sa nevyskytli výrazné posuny pôdy poukazujúce na prípadnú aktiváciu zosuvu. Nepatrné povrchové posuny dosiahli iba 5 cm.

Ďalším príkladom zosuvu, na ktorom bol vykonávaný geodetický monitoring, je zosuv v Kłodnom v okrese Limanowá. Tento zosuv bol spustený počas zosuvovej katastrofy v roku 2010, odvtedy je pokrytý monitoringom vrátane geodetického. Zosuv dosiahol rozmery 460 m šírky a 1050 m dĺžky.

Merania na zosuve sa vykonávali s využitím tradičných tachymetrických metód ako aj s využitím techniky GNSS (Global Navigation Satellite Systems); (Ćwiąkała a iní, 2016). Presnosť prijatého riešenia dosiahla niekoľko milimetrov, meracie body boli založené husto tak, aby obraz zosuvu pôdy bol úplnejší.

Bolo založených 68 meracích bodov, rozmiestnili ich pomerne rovnobežne tak, aby ich rozmiestnenie odrážalo zmeny morfológie terénu. Stabilizácia bodov bola vykonaná použitím oceľových rúrok dĺžky 1 m. Každá z rúrok bola zvárená zhora, vo zvaroch boli vyvrtané otvory, ktoré slúžili ako miesto pre meracie prístroje používané počas ďalších geodetických meraní (Ćwiąkała a iní, 2016).

Výstupné (referenčné) merania boli vykonané v máji 2013. Vlastné merania boli vykonané v apríli 2014 a v októbri 2014. Hodnoty posunov získané počas merania vykonaného v apríli 2014

boli veľmi nepatrné. Vektor horizontálneho posunu dosiahol od 1,0 do 8,1 mm a vertikálneho dosiahol od -9,8 do 13,5 mm.

Až ďalšie meranie vykonané v októbri 2014 ukázalo výrazné vertikálne a horizontálne posuny materiálu. Aktivovaná bola horná partia zosuvu, obzvlášť hlavný zráz. Horizontálne posuny meracích bodov dosiahli až 94 mm, boli pozorované aj nepatrné posuny, ktoré nastali nad zosuvom, avšak tieto posuny boli označené na hranici chyby ich určenia.

Boli identifikované aj vertikálne pohyby, vyskytli sa v tých istých meracích bodoch ako horizontálne pohyby, teda v oblasti hlavného zrázu zosuvu. Vertikálne pohyby dosiahli hodnotu od -63 mm do 16 mm (Ćwiąkała a iní, 2016). Týmto spôsobom vykonané skúmania umožnili určenie skutočnej aktivity zosuvu v Kłodnom počas 1 roka. Umožňujú zistiť, aké časti zosuvu sa aktivujú a predpovedať zóny obzvlášť ohrozené zosuvom.

3. MONITORING ZOSUVU S VYUŽITÍM INKLINOMETROV V POĽSKU A NA SLOVENSKU

a) Technický opis metódy prevencie zosuvu s využitím inklinometrov spolu s teoretickými predpokladmi

Inklinometer je snímač náklonu (ukazovateľ náklonu), toto zariadenie slúži na meranie uhlov náklonu, meria výšky alebo zníženia objektu vzhľadom na gravitačnú silu. Inklinometre merajú tak kladné, ako aj záporné náklony. Snímač náklonu môže merať náклон v dvoch alebo troch osiach roviny.

V prípade určovania aktivity zosuvov sa inklinometre montujú vo vrtných otvoroch. Do týchto otvorov sa vkladajú rúry rôzneho priemeru, najčastejšie vybavené kĺbmi zvyšujúcimi ich pevnosť, umožňujúce meranie posunov na veľkých hĺbkach, dokonca až do niekoľkých desiatok metrov pod zemou (Obrázok 7).

Na cementovanie otvoru sa využívajú rôzne hmoty, napr. cementovo-bentonitové prispôsobené druhu hornín vyskytujúcich sa v zóne, v ktorej bol otvor vykonaný. Cementovanie by sa malo vykonať takým spôsobom, aby sa zabezpečil dobrý prenos síl pôsobiacich v horninách na meracie rúry (Bednarczyk, 2008).

Prípadný náклон inklinometrických rúr sa meria pomocou inklinometrickej sondy, zvyčajne merajúcej odchýlky v dvoch rovinách s presnosťou 0,1 mm. Po spustení sondy do otvoru sa odčíta prvé meranie, potom sa sonda zdvihne o meraciu vzdialenosť a vykonajú sa ďalšie odčítania, najčastejšie každých 0,5 m.

Tento postup sa opakuje až do momentu, keď sa sonda nachádza na úrovni povrchu terénu. Meracie série sa vykonávajú v časových odstupoch napr. trojmesačných, čo dáva možnosť pozorovania posunov pôdy vyplývajúcich zo zosuvu spolu s uplývaním času.

Po meraniach sa vykonávajú profily posunov zobrazujúce veľkosť, smer a hĺbku, na ktorej dochádza k pohybu zosuvu (Obrázok 8). Namerané náklony inklinometrických rúr v stupňoch sú prepočítané na veľkosti horizontálnych posunov v milimetroch na základe trigonometrických funkcií. Pre posuny sa kalkuluje aj meracie chyby.

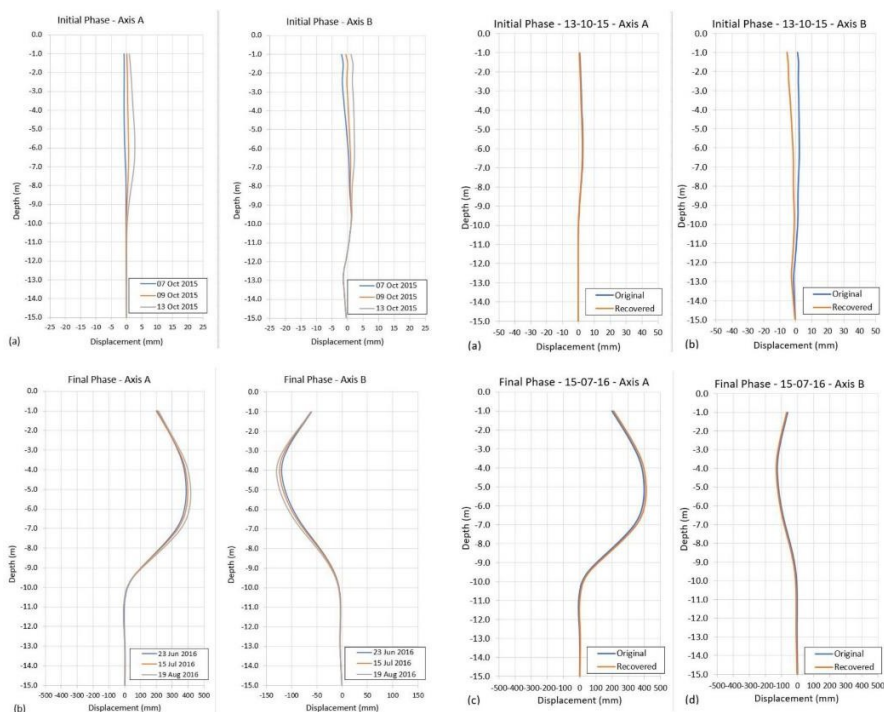
Vďaka inklinometrom je možné zistenie horizontálnych a vertikálnych posunov hornín podliehajúcich zosuvu na rôznych hĺbkach, v závislosti od hĺbky, na ktorej bol nainštalovaný inklinometer. Podobné práce sa vykonávajú aj na území Slovenska, využívanie inklinometrov na označovanie zosuvového nebezpečenstva je tam bežné. Na obrázku 9 sú uvedené výsledky monitoringu zosuvu s využitím inklinometra v obci Dolná Tižina.



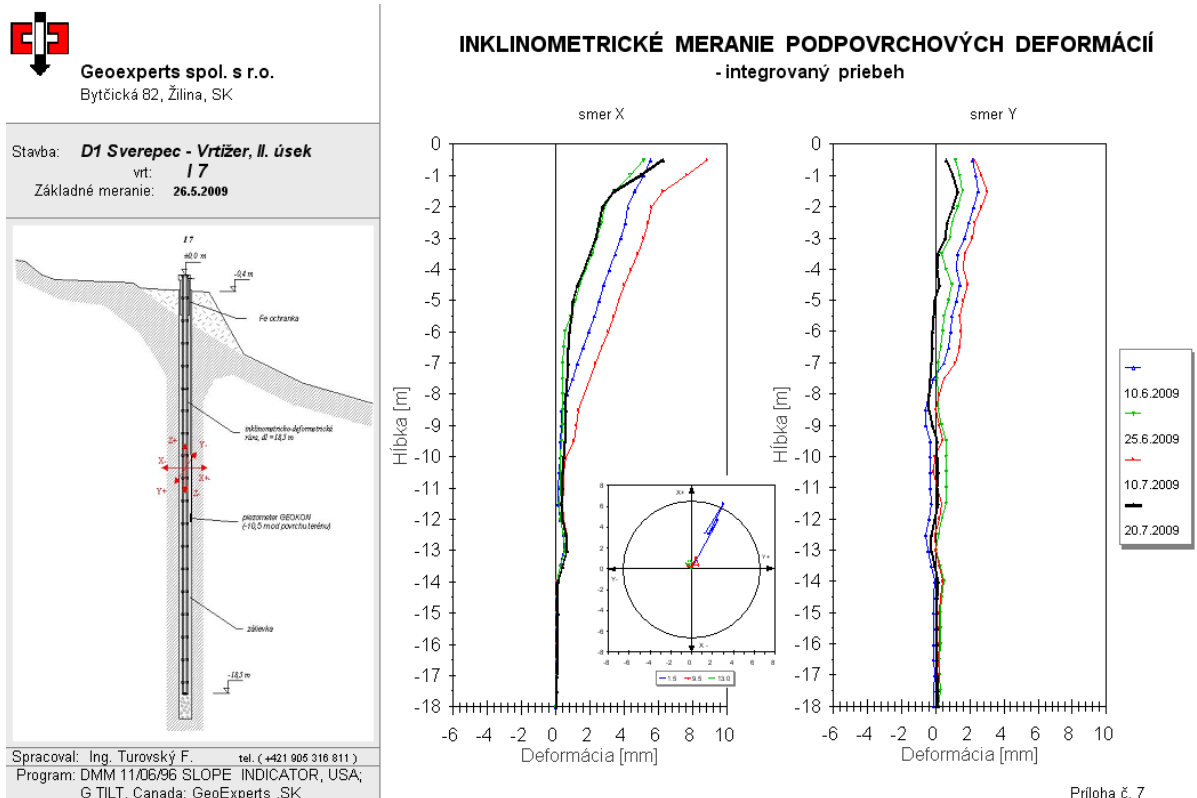
Obrázok 7: Sonda umiestnená v inklinometrickom stĺpci

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

Obrázok 8: Príklady deformácií vyplývajúcich z meraní inklinometrom



Zdroj: Allil, R. C., Lima, L. A., Allil, A. S., & Werneck, M. M. (2021). Inklinometer na báze FBG na monitorovanie zosuvov v odkaliskách. IEEE Sensors Journal, 21(15), 16670- 16680.



Obrázok 9. Výsledky meraní posunov v mieste zosuvu (Dolná Tižina - Slovensko). Zdroj: Zdroje poskytnuté Žilinskou univerzitou v Žiline (Stavebná fakulta).

b) Opis nevýhod a výhod metódy

Výhody:

K bezpochybným výhodám metódy patrí fakt, že inklinometer meria skutočné posuny pôdy vyskytujúce sa pod zemou na rôznych hĺbkach. V prípade povrchových metód výsledná informácia sa týka deformácií vyskytujúcich sa na povrchu hornín. Často takéto deformácie môžu súvisieť napr. s plazením zvetralinového pokryvu a nie sú spojené so zosuvom. Proces plazenia je samozrejme menej nebezpečný pre infraštruktúru v porovnaní so zosuvom. Vďaka inštalovaniu inklinometrov je možná aj identifikácia hĺbky, na ktorej sa vyskytuje tzv. šmyková plocha, teda povrch, po ktorom sa premiestňuje hmota zosuvu. To je dôležité, pretože umožňuje racionálne naplánovať prípadnú stabilizáciu zosuvu.

Nevýhody:

K rozhodným nedostatkom metódy patrí jej veľmi vysoká cena. Inštalácia inklinometrov je veľmi drahá a skôr nie je možnosť, aby bola vykonaná miestnymi samosprávami, zvyčajne sú inklinometre inštalované v rámci činností Štátneho geologického ústavu.

S veľkou cenou inštalácie inklinometrov sa spája tiež nedostatok možnosti odčítania pohybu zosuvu na veľkej oblasti. Zvyčajne sa na zosuve inštaluje jeden alebo dva inklinometre, čo môže byť príčinou nepozorovania pohybu zosuvu, ak tento pohyb prebieha mimo zóny, v ktorej bol inklinometer nainštalovaný.

Zosuvy sa veľmi často aktivujú iba v niektorých partiách, zatiaľ čo zostávajúca časť zosuvu je stabilná. Preto je dôležité inštalovanie meracích bodov v rámci celého zosuvu a dokonca mimo neho, čo pri použití inklinometrov je prakticky nemožné vzhľadom na veľké náklady metódy.

K nedostatkom metódy patrí tiež nutnosť čakania na výsledky týkajúce sa aktivity zosuvu od momentu prvého inklinometrického merania. Zvyčajne o aktivite zosuvu možno usudzovať najmenej po roku od nainštalovania inklinometra. Čakanie na určenie aktivity zosuvu môže oneskoriť investície a tiež oneskoriť určenie zosuvového nebezpečenstva.

c) Hodnotenie vhodnosti použitia metódy

Metóda analýzy aktivity zosuvu s použitím inklinometrov určite dáva najlepší obraz zosuvu spomedzi všetkých metód, ktoré sa používajú na identifikáciu zosuvovej aktivity. Avšak táto metóda vzhľadom na veľmi vysoké náklady inštalácie a odčítania z inklinometrov je ťažká na všeobecné použitie.

Zvyčajne sú inklinometre inštalované na zosuvoch, ktoré už boli predtým spustené a už spôsobili škody v infraštruktúre, napr. v zóne, v ktorej v dôsledku zosuvových pohybov praskajú steny budov. To výrazne obmedzuje účinnosť odhadu zosuvového nebezpečenstva, pretože veľmi zriedka sú inklinometre inštalované v zónach, v ktorých doteraz neboli identifikované pohyby zosuvov ničiace infraštruktúru.

d) Príklady použitia inklinometrov v prevencii zosuvu

Príkladom použitia inklinometrov je podzemný monitoring zosuvu lokalizovaného v okrese Sanok, v obci Komańcza, v lokalite Radoszyce. Monitoring bol založený v roku 2017.

Dôvodom inštalácie dvoch inklinometrov bola analýza zosuvovej morfológie, ktorá ukázala, že zosuv môže byť periodicky aktívny, a predovšetkým boli identifikované deformácie na krajskej ceste prebiehajúcej cez koluviálne (sedimenty) zosuvové usadeniny.

Inklinometre boli nainštalované do hĺbky 25 metrov, približne v strednej časti zosuvu (Obrázok 9). Prvé meranie v založených inklinometrických stĺpcoch bolo vykonané 25.4.2018, bolo to referenčné meranie, ku ktorému sa vzťahovali nasledujúce merania.

Prvé meranie deformácií bolo vykonané 11. októbra 2018. Meranie ukázalo nepatrné deformácie, ktoré boli zaregistrované v jednom inklinometrickom stĺpci, dosahujúce až 1,3 mm, tieto posuny sa vyskytli do hĺbky 4 m.

Ďalšie merania boli vykonané 05.06.2019 a 01.10.2019. V roku 2019, v prvom stĺpci boli zaznamenané nepatrné prírastky posunu nepresahujúce 0,8 mm v najnižšej časti meracieho profilu. Od začiatku skúmaní kumulovaný posun neprekročil hodnotu 3 mm. V druhom stĺpci boli odčítané nepatrné prírastky posunu do hĺbky 4 m o hodnotách približne 1,8 mm.

V nasledujúcom roku 2020 boli vykonané odčítania 19.05.2020 a 15.10.2020. Merania v prvom stĺpci ukázali nepatrné prírastky posunu nepresahujúce 0,6 mm v najnižšej časti profilu. V druhom stĺpci boli identifikované nepatrné prírastky posunu na hĺbke 4 m o hodnotách približne 0,8 mm, a na hĺbke 18,5 m posun dosiahol 1,3 mm.

V roku 2021 boli odčítania vykonané 26.05.2021 a 05.10.2021. V prvom stĺpci boli zaznamenané nepatrné prírastky posunu nepresahujúce 0,2 mm v najnižšej časti meracieho profilu. V druhom stĺpci boli namerané nepatrné prírastky posunu na hĺbke 4 m o hodnotách približne 1,8 mm, a na hĺbke 18,5 m posun dosiahol 1,7 mm.

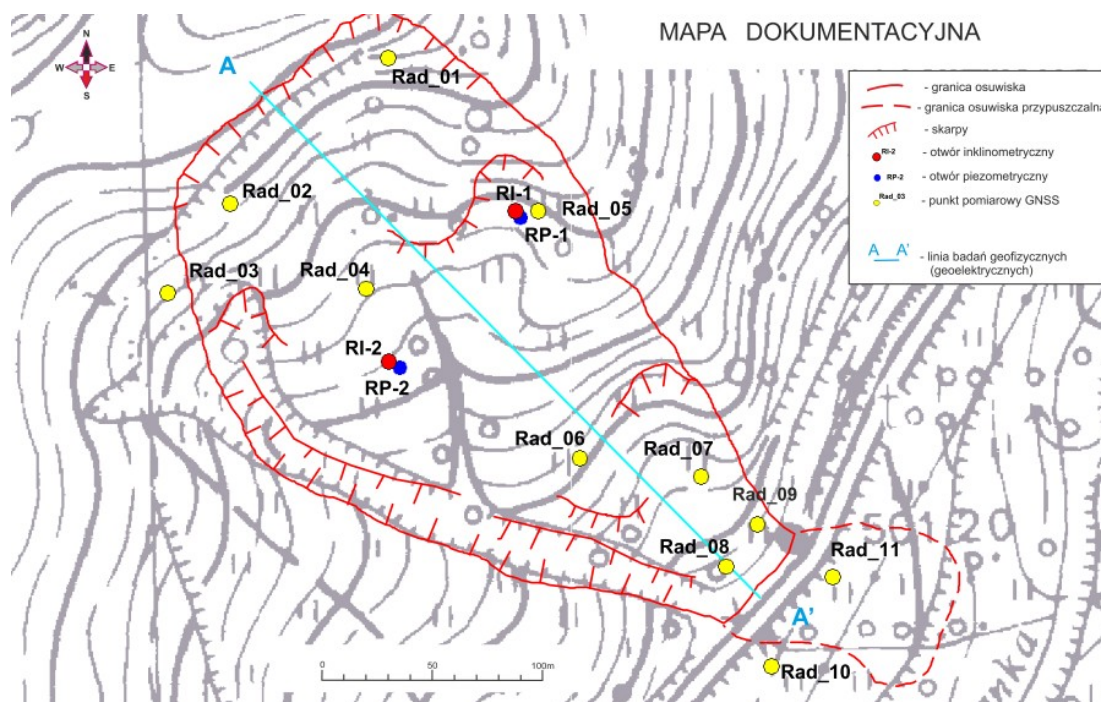
V roku 2022 sa odčítania uskutočnili 20.05.2022 a 05.15.2022. V prvom meracom stĺpci boli zaznamenané nepatrné prírastky posunu nepresahujúce 0,5 mm v najnižšej časti meracieho profilu, v druhom stĺpci boli namerané nepatrné prírastky posunu na hĺbke 4 m, a na hĺbke 18,5 m posun dosiahol 2,1 mm, čo ukazuje stály prírastok posunu na tejto hĺbke.

Posledné dostupné merania sa uskutočnili v roku 2023, 14.06.2023 a 23.11.2023. V prvom stĺpci boli zaznamenané nepatrné prírastky posunu nepresahujúce 0,6 mm v najnižšej časti meracieho profilu. Od začiatku skúmaní kumulovaný posun neprekročil hodnotu 8 mm pri chybe meracieho odčítania $\pm 2,99$ mm.

V druhom stĺpci boli namerané nepatrné prírastky posunu na hĺbke 4 m ($\pm 1,8$ mm), a na hĺbke 18,5 m posun dosiahol 4 mm. Ostatné zmeny sa vošli do hraníc meracej chyby $\pm 2,96$ mm.

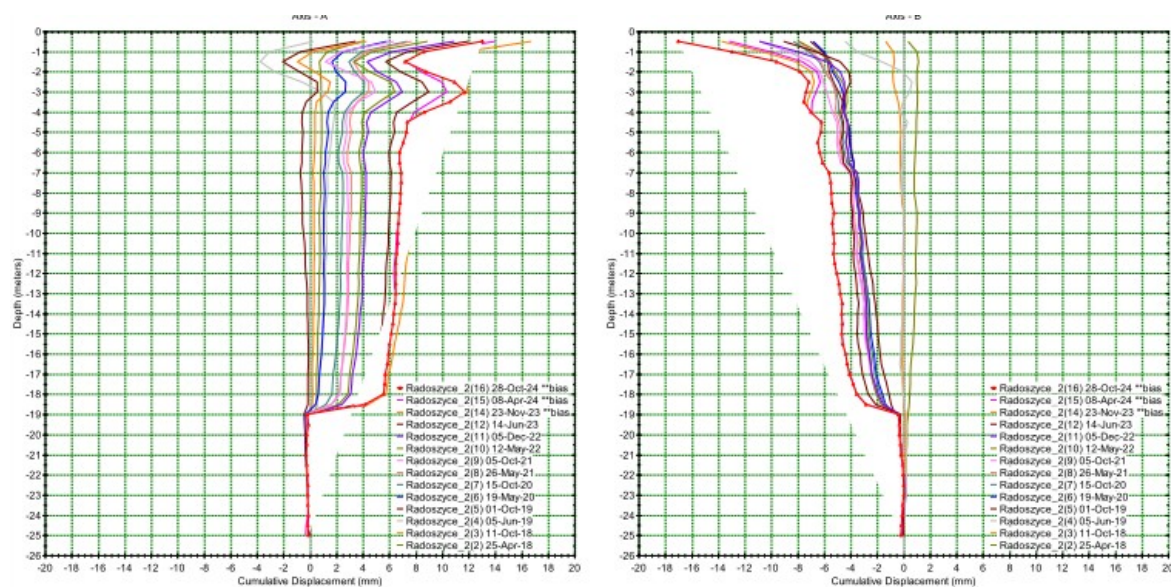
Výsledky meraní boli uvedené na obrázku 10.

Vykonané merania nepreukázali výrazné posuny hornín v rámci bodov, kde boli nainštalované inklinometre. Zvyčajne je inklinometrická analýza spojená s povrchovou analýzou aktivity zosuvu a až vtedy možno plnšie posúdiť zosuvové nebezpečenstvo (Údaje opísané v tomto odseku pochádzajú zo zdrojov internetovej stránky Projektu SOPO vedeného PIG-PIB).



Obr. 9. Umiestnenie inklinometrov v zosuve v Radošiciach (okres Sanocki); ID zosuvu v systéme SOPO 93071. Červené body označujú umiestnenie inklinometrov.

Zdroj: Údaje zo zdrojov webovej stránky projektu SOPO, ktorú spravuje PGI-PIB.



Obrázok 10. Výsledky meraní z inklinometra inštalovaného v zosuve nachádzajúcom sa v obci Radoszyce (okres Sanocki); ID zosuvu v systéme SOPO 93071). Následné krivky znázorňujú pohyb zosuvu v rôznych hĺbkach.

Zdroj: Údaje zo zdrojov webovej stránky projektu SOPO, ktorú spravuje PGI-PIB.

4. TECHNICKÉ METÓDY STABILIZÁCIE ZOSUVOV V POĽSKU A NA SLOVENSKU

a) Opis metód technickej stabilizácie zosuvov spolu s teoretickými predpokladmi

Aby sa správne vybrala metóda stabilizácie zosuvu, treba vopred v miere možností čo najlepšie rozpoznať charakteristiku zosuvovej formy. Je nutné rozpoznať geologické a hydrogeologické podmienky, ako aj utváranie terénu. Do úvahy treba tiež vziať dostupnosť, stupeň prípadného zalesnenia a kvalitu rastlinného pokryvu.

Rozpoznanie by malo byť podopretá analýzou kartografických materiálov vrátane topografickej, hydrologickej, hydrogeologickej, ako aj sozologickej mapy.

Najdôležitejším činiteľom pre stabilizáciu zosuvu je usporiadanie vodných pomerov v jeho rámci, čo sa spája s odvodnením pôdy, najlepšie v zóne šmykovej plochy. V praxi to znamená vykonanie systému odvodnenia, ktorý umožňuje vykonanie technickej konštrukcie stabilizujúcej zosuv podľa predchádzajúceho výberu technického riešenia.

Odvodňovanie by malo garantovať rýchle zachytávanie a odvádzanie zrážkových vôd. Mal by byť tiež vykonaný hlbinný drenáž, ktorého úlohou je odvádzanie vôd napájajúcich územie infiltračne. Niekedy až vykonanie hlbinného drenážu umožňuje vykonanie prác v rámci zosuvu, napríklad spočívajúcich vo využívaní na zosuve ťažkej techniky (Stryczek a iní, 2008).

K hlavným metódam technickej stabilizácie zosuvov patria:

- Redukcia zaťaženia odkopáním svahu v hornej časti (i)
- Zaťažovanie svahu podporami, kamennými násypmi na svahu, tiež s využitím geocelulárnych systémov alebo geosyntetík (ii)
- Použitie oporných konštrukcií v podobe múrov, stien a podpor zo stužené pôdy a gabióny (iii)
- Použitie kotviacich ("zošívajúcich") metód aktívnej a neaktívnej časti zosuvu ako sú: pilóty a palisády v rôznych usporiadaniach, mikropilóty a mikropalové bariéry v samovrtnej technológii, inštalácia stĺpov, kotviace pôdy, gvozd'ovanie pôdy (iv); (Maca, 2020)

i) Redukcia zaťaženia odkopaním svahu v hornej časti

Stabilizácia zosuvu odkopaním svahu v hornej časti je jednou z najpopulárnejších metód. Vyplýva to hlavne z jej nízkej ceny a malého vkladu práce potrebného na stabilizáciu zosuvu. Metóda sa používa terasovaním svahu alebo vybratím kolúvia, avšak treba veľmi dbať, aby sa počas prác v rámci dolnej časti zosuvu nedeštabilizoval svah, pretože to môže viesť k aktivácii zosuvových procesov. Okrem toho táto metóda môže byť použitá len v prípade veľmi malých zosuvov, čo obmedzuje jej použitie.

ii) Metódy zaťažujúce svah

Metódy zaťažujúce svah plnia úlohu povrchového zabezpečenia. Tieto metódy spočívajú v spojení tzv. násypu s prirodzeným podložím. To by malo byť vykonané takým spôsobom, aby sa zabránilo tvorbe dodatočnej šmykovej plochy v zóne spojenia násypu s prirodzeným podložím. Samozrejme pri použití zaťažujúcich metód by sa malo navrhnúť zachytenie podzemných vôd a povrchového odtoku, pretože vznikajúca zábrana uľahčuje infiltráciu zrážkových vôd a môže intenzifikovať zosuv.

iii) Inžinierske oporné konštrukcie

Inžinierske oporné konštrukcie, ako sú múry rôznych konštrukcií, steny a podpory zo stužené pôdy alebo gabióny, sa opierajú o podobné zásady ako zaťažujúce metódy. Avšak ich použitie musí byť predchádzané dôkladnou analýzou vplyvu dočasného výkopu, ktorý je nevyhnutný na ich realizáciu, na stabilitu horninového masívu.

Táto etapa je spojená s vysokým rizikom, čo často vyžaduje zavedenie dodatočných zabezpečení, ako je gvožďovanie, čo výrazne zvyšuje náklady projektu. Okrem toho používanie sieťovo-kamenných košov (gabióny) vzhľadom na ich obmedzenú trvanlivosť a odolnosť voči poškodeniu vyžaduje osobitnú pozornosť, obzvlášť v korytách riek. Počas povodní môžu viesť k ničeniu podložia v dôsledku dennej erózie.

iv) "Zošívajúce" techniky

Rozhodne najúčinnnejšou metódou stabilizácie zosuvov je použitie tzv. "zošívajúcich" techník, ktoré spájajú aktívnu zónu s pasívnou zónou zosuvu, a tým zvyšujú pevnosť v šmyku v zóne potenciálneho posunu. Medzi týmito metódami existuje niekoľko kľúčových vlastností rozhodujúcich o ich efektívnosti a použití.

PILÓTY A PALISÁDY v rôznych konfiguráciách - ak geologické podmienky umožňujú použitie techniky s hmotnosťou presahujúcou 40 ton, optimálnym riešením je navrhovanie

vŕtaných alebo vytlačacích pilót s priemerom v rozsahu od 400 do 600 mm. Vzhľadom na svoje rozmery je použitie veľkých priemerov pilót pri stabilizácii zosuvov menej časté. Osobitné ťažkosti sa vyskytujú v prípade skalných pôd, obzvlášť flyšových, kde správna inštalácia pilót pomocou bežných metód je prakticky nemožná. V takých situáciách sa odporúča používanie vŕtaných pilót s vhodným príslušenstvom alebo pilót určených pre flyš.

MIKROPILÓTY A MIKROPALOVÉ BARIÉRY používané v samovrtnej technológii, ako je systém TITAN, patria medzi jedny z najelastickejších metód zabezpečení. Ich výhodou je, že sú oslobodené od obmedzení spojených s vrtnou technikou, čo spôsobuje, že fungujú účinne nezávisle od druhu pôdy. Dodatočne vŕtanie spojené s injektážou umožňuje účinné utesnenie zón posunu a vyplnenie diskontinuit v horninách, a to všetko bez potreby použitia ťažkej techniky.

V prípade obmedzeného prístupu a ťažkého terénu, obzvlášť na rozsiahly zosuvoch, na svahoch s plochou plochou (kde sa väčšina zosuvov vyskytuje na svahoch s náklonom 12-18°), vynikajúcim riešením sa ukazujú mikropalové bariéry, ktoré môžu byť ľubovoľne konfigurované v pláne - v dvoj- alebo trojradovom systéme.

STĹPY, podobne ako pilóty, tvoria rozmanitú skupinu technológií, ktoré možno prispôbiť špecifickým geotechnickým podmienkam a dostupnosti zosuvu. Okrem toho ponúkajú dodatočný drenážny efekt. Treba však upozorniť na bežnú chybu spočívajúcu v použití stĺpov typu jet grouting v skalných pôdach. Aj v neskálnych pôdach treba byť opatrný, pretože proces ich inštalácie môže viesť k zhoršeniu podmienok stability, spôsobujúc m.in. strihanie a dočasné skvapalňovanie pôdy. V tomto poslednom prípade je nutné použitie technológie hydrofrézy, ktorá, bohužiaľ, je zriedka používaná v Poľsku.

KOTVENIE je efektívny spôsob stabilizácie konštrukcie, spočívajúci v použití železobetónového kotveného roštu alebo jeho variantu. Tento druh riešení je obzvlášť užitočný na miestach, kde sa vyskytujú výrazné problémy so stabilitou, pretože umožňujú zavedenie veľkých stabilizujúcich síl (Obrázok 10). V takých situáciách možno využiť tradičné lanové alebo prútové kotvy. Ich použitie však môže byť obmedzené možnosťami prístupu techniky, a v ťažkých podmienkach - keď je zosuv rozvinutý vo flyšových horninách, inštalácia sa stáva časovo náročná a nákladná.

KLINCOVANIE ZEMÍN je technológia charakterizujúca sa výnimočnou všestrannosťou. Vďaka samovrtným klincom možno efektívne a bezpečne vykonávať inštalácie v rôznych druhoch pôd, súčasne ich posilňujúc, aj v ťažko dostupných lokalitách pri použití ľahkej techniky. Táto technológia umožňuje prispôsobenie sa tvaru zosuvu, čo vo výraznej miere obmedzuje potrebu nadmernej ingerency do terénu, obzvlášť v prípade existujúcich komunikačných ťahov, kde minimalizácia zemných prác má kľúčový význam.

GVOŽĎOVANIE pôdy možno kombinovať s rôznymi povrchov úpravami, od prírodných zelených svahov po architektonický betón. Navyše podľa údajov CALTRANS (Ministerstvo dopravy Kalifornie) sú gvožďované konštrukcie jednými z najlacnejších riešení v kategórii oporných konštrukcií.

Stabilizovanie zosuvov s použitím technických metód je tiež bežne používané na Slovensku.

b) Opis nevýhod a výhod technických metód stabilizácie svahu

Výhody:

Technické metódy sú bežne používané miestnymi samosprávami na stabilizáciu zosuvov. K hlavným výhodám týchto metód patrí možnosť použitia vhodného riešenia v závislosti od rozsahu zosuvových pohybov a environmentálnych podmienok vyskytujúcich sa v oblasti zosuvu, ako sú hĺbka šmykovej plochy zosuvu, veľkosť koluviálnych hmôt, ktoré sa premiestnili alebo potenciálne môžu premiestniť, náklon zosuvového svahu, vodné podmienky, pokrytie rastlinným pokrovom, dostupnosť terénu.

Z druhej strany technické práce na území zosuvu sú veľmi rizikové, pretože často môžu viesť k destabilizácii svahu, a teda viesť k intenzifikácii zosuvu.

Nevýhody:

Nevýhodou použitia technických metód je možnosť intervencie len v prípade relatívne malých zosuvov, vyskytujúcich sa najčastejšie pri cestách. V prípade hlbokých zosuvov veľkých rozmerov je použitie technických metód nemožné, alebo sa spája s veľmi vysokými nákladmi.

Dodatočnou nevýhodou použitia technických metód je najčastejšie pôsobenie už po výskyte zosuvových pohybov. Často technické intervencie spočívajú v činnostiach podniknutých už po

výskyte zosuvových pohybov. Tieto metódy netvorí preventívne zabezpečenie, skôr spočívajú v použití intervenčných činností.

Dodatočne použitie technických metód nezaručuje dlhodobú stabilizáciu zosuvu. Zosuvy sa stále vyvíjajú a technické zabezpečenia treba považovať iba za provizórne riešenia. Často dochádza k ničeniu zabezpečených zosuvov, pretože vznikajú počas ďalších dažďových zrážok nové environmentálne podmienky, ktoré neboli predvídateľné v čase, keď bolo montované zabezpečenie.

Azda k najväčším výhodám metódy patrí možnosť rýchleho zabezpečenia škôd po epizóde zosuvu. Použitie technických metód umožňuje napríklad rýchlu možnosť používania cesty predtým neprejazdnej.

V poslednom čase sa čoraz častejšie používajú technické metódy ako ochrana pred budúcim zosuvom. Avšak veľmi ťažko je predpovedať budúci rozsah zosuvu v etape použitia technických metód.

Pre použitie technických metód je nevyhnutná špecializovaná vedomosť a skúsenosť v prácach pri zosuvoch. Často máme do činenia so situáciou, v ktorej neskúsené firmy podnikajú technické činnosti súvisiace so stabilizáciou zosuvov, vtedy môže vzniknúť situácia, v ktorej technické zásahy dovedú k zhoršeniu stabilizácie svahu a spusteniu zosuvu.



Obrázok 11. Príklad zosuvného svahu stabilizovaného kotvením.

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



Obrázok 11. Príklad ochrany svahu pred zosuvom pomocou kovových oporných konštrukcií

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

c) Hodnotenie vhodnosti použitia metódy technickej stabilizácie zosuvov

Technické metódy stabilizácie zosuvov by určite mali byť používané samosprávami nielen vtedy, keď zosuv už spôsobil straty v infraštruktúre, ale predovšetkým v prípade zosuvov, ktoré môžu byť spustené v budúcnosti. Ak monitoring zosuvov napr. inklinometre alebo geodetické metódy jednoznačne poukazujú na možnosť spustenia zosuvu, vtedy treba zvážiť použitie technických metód stabilizácie zosuvu.

Veľmi bežná je taktika spočívajúca v pozorovaní aktívneho zosuvu a podniknutí činností až keď spôsobil škody v infraštruktúre. Vyplýva to z faktu, že v našich ekonomických a právnych podmienkach je veľmi ťažké vydať veľkú sumu peňazí na stabilizáciu zosuvu, ktorý iba ohrozuje infraštruktúru. Najčastejšie sa zasahuje až po vzniknutých ničeníach.

Každý okres a obec najčastejšie vie, kde sa nachádzajú najnebezpečnejšie zosuvové oblasti, avšak činnosti samospráv sa často obmedzujú iba na monitorovanie zosuvov. V poslednom čase zaznamenávame našťastie čoraz častejšie príklady dobrých praktík v podobe zabezpečovania zosuvových svahov pred ich náhlým spustením.

d) Príklady použitia metód prevencie zosuvu - technické metódy stabilizácie zosuvov

V okrese Limanová, v juhozápadnej časti obce Kostrza sa rozhodlo technicky zabezpečiť 3 zosuvy. Región zosuvu označeného ako č. 1 sa nachádza na pravom brehu potoka Ryjski. V tejto oblasti možno rozlíšiť dva druhy zosuvov: neaktívne s smerom zostupu zemných hmôt na severozápad a aktívne, ktoré sa posúvajú smerom na východ.

Zosuv možno všeobecne charakterizovať ako svahovo-dolínny, rozvinutý na území horského svahu, ktorého dolná hranica dosahuje doliny potoka Ryjski. Je rozvinutý tak v horninách, ako aj v zvetraline.

Zosuv č. 2 sa nachádza na západnom brehu potoka Ryjski, do ktorého od západnej strany vteká niekoľko malých potokov, lokalizovaných v úzkych dolinách. Tento zosuv sa vyznačuje výrazným jazykom, ktorý dosahuje až k potoku Ryjski, a jeho šírka dosahuje približne 150 m s hĺbkou dosahujúcou 700 m, tento zosuv je čiastočne aktívny.

Región 3 zahŕňa zosuvovú oblasť nachádzajúcu sa v južnej časti územia. V prevažujúcej časti toto územie vyzerá na neaktívny zosuv. Zosuv má šírku približne 200 m a rozťahuje sa na dĺžku približne 300 m nahor svahom. Možno ho charakterizovať ako svahovo-dolínny zosuv, vyvíjajúci sa hlavne na území horského svahu, dosahujúci doliny potoka Ryjski. Dodatočne zahŕňa zvetrelinový a skalný materiál.

Na začiatku v rámci skúmaného zosuvu boli vymedzené geotechnické vrstvy:

- i) Prvá vrstva sa skladá zo spojitých pôd, plastických a mäkkoplastických, a miestami sa tu vyskytujú aj ílovité nánosy
- ii) Druhá vrstva zahŕňa spojitú pôdu ako v prvej vrstve, avšak vyznačujú sa výskytom piesčitých ílov, ílov s prímесou úlomkov pieskovca a ílov prevrstvených piesčitim ílom
- iii) Tretia vrstva sa skladá zo spojitých pôd, tvrdoplastických a polozviazaných, ktoré majú charakter piesčitých pieskov, piesčitých ílov a ílov s prímесou úlomkov bridlice a pieskovca
- iv) Štvrtá vrstva sú spojitú pôdy, plastické a mäkkoplastické, hlavne v podobe sutiny a ílovitých zvetrelin, v ktorých zložení sú úlomky pieskovca a bridlice
- v) Piata vrstva tiež obsahuje spojitú pôdy, tvrdoplastické a polozviazané, skladajúce sa zo sutiny a ílovitých zvetrelin zložených z úlomkov pieskovca a bridlice, vyskytujúcich sa v pomere 50-90%
- vi) Šiesta vrstva sa vyznačuje sypkými pôdami, stredne zhutnenými, ktoré nadobúdajú podobu zvetraliny pieskovca s prevahou stredného piesku, lokálne obsahujúceho úlomky pieskovca

Práce mali za cieľ vykonanie činností zameraných na stabilizáciu zosuvových pohybov zlepšením vodných podmienok. Na tento účel boli použité hlbinné drenáže a úseky drenážnych priekop pozdĺž fragmentov obecných ciest, čo umožnilo súčasné odvodňovanie území priľahlých k zosuvu. Dodatočne bol zabezpečený región vodnej nádrže, z ktorej začína vodovodný magistral.

Zosuvy boli naplánované na zabezpečenie nasledujúcim spôsobom:

- Vykonanie drenáží, štrbinových priekop, odvodňujúcich muliet
- Úsekové zabezpečenie potoka Ryjski
- Zabezpečenie územia okolo vodnej nádrže zahŕňa vykonanie sceľovania územia, použitie pilót typu "jet grouting" a vykonanie vhodného systému odvodnenia
- Zrážkové a drenážne vody budú odvádzané do potoka Ryjski

Použitie pilót typu "jet grouting" prebehlo v dvoch etapách:

ETAPA I: VRÁTANIE V tejto fáze sa iniekcyjna tyč priemeru 60-90 mm zahĺbi do plánovanej úrovne päty stĺpa. Jej dolná časť je zakončená špeciálnym vrtným nástrojom, vybratým vhodne k podmienkam panujúcim v podloží. Počas vrtania sa používa vzduchová alebo vodná výplach, ktorá transportuje výlom na povrch terénu.

ETAPA II: FORMOVANIE PILÓTY V tejto etape sa iniekcyjna tyč postupne vyťahuje, súčasne sa vykonáva rotačný pohyb a tlačenie cementovej suspenzie cez iniekčné trysky, nachádzajúce sa v dolnej časti tyče. Týmto spôsobom vzniká pravidelný stĺp "jet grouting".

Vrtné zariadenie je vybavené automatickým systémom, ktorý reguluje tempo vyťahovania tyče, čo zabezpečuje plynulosť procesu a dosiahnutie zamýšľaných parametrov iniekčného stĺpa.

LITERATÚRA

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 instrumentácie a monitoringu povrchových hromadných pohybov na príklade vybraných zosuvov v Karpatoch (Nízke Beskydy, Stredné Beskydy a Podhorie). *Geológia/Banicko-hutná akadémia im. Stanisława Staszica v Krakove*, 34(4), 721-732.

Ćwiąkała, P., Stanisławski, J., Wróbel, A., Kaczmarczyk, R., Drwal, P., Grabek, P., ... & Zierkiewicz, M. (2016). Určenie povrchových posunov na zosuve v Kłodnom (obec Limanová, južné Poľsko). *Geologický prehľad*, 64(2), 122-130.

Maca, N. (2020). Praktické zásady výberu metód stabilizácie zosuvov. Moderné inžinierske stavebníctvo.

Różycka, R. (2013). Zosuvové ohrozenia a proces priestorového plánovania na príklade obce Zakliczyn. *Infraštruktúra a ekológia vidieckych území*, (3/I).

Stryczek, S., Gonet, A., & Wiśniowski, R. (2008). Geoinžinierske metódy stabilizácie svahov a zrázov. Moderné inžinierske stavebníctvo, 6(21), 78-81.

Szafarczyk, A. (2011). Geodetické metódy monitoringu zosuvov. *Infraštruktúra a ekológia vidieckych území*, (02).

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

Tento dokument vznikol pre účely projektu „Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien“ z programu „Interreg V-A PL-SK“ číslo PLSK.01.01-IP.01-0007/23,

v rámci: Úlohy 3 „Analýza štandardných a moderných metód prevencie prírodných katastrof v oblasti podpory“.

Všetky práva vyhradené. Úpravy tohto dokumentu sú dovoľené po dohode s autorom.