

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

Správa o výskumnom teste týkajúcom sa rizika zosuvov pôdy s využitím radarovej interferometrie InSAR pre zosuvy pôdy severne od Čadca, na ceste číslo 12 (Čadca)

Odborný dohľad:

Dr Albert Ślęzak

1. Výskumný plán vrátane priebehu výskumu rozdeleného na terénnu a laboratórnu prácu spolu s uvedením ďalších krokov vo výskumnom procese

Terénna práca

- terénna obhliadka s predbežnou analýzou terénu,
- analýza terénu viditeľného na zosuvoch pôdy severne od Čadca, na ceste číslo 12 (Čadca)
- identifikácia oblastí potenciálne ohrozených zosuvmi pôdy,
- identifikácia oblastí, ktorú je potrebné analyzovať pomocou radarovej interferometrie,
- určenie hraníc, v rámci ktorých bude na základe radarovej interferometrie vypracovaný diferenciálny model terénu.

Laboratórna práca

- určenie obdobia, v ktorom sa bude vykonávať analýza zosuvov pôdy pomocou radarovej interferometrie,
- výber máp, na základe ktorých sa bude analýza vykonávať,
- výber snímok a bodov pre analýzu zosuvov pôdy pomocou radarovej interferometrie s cieľom identifikovať zmeny v reliéfe terénu,

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

- plánovanie typov grafov ilustrujúcich zmeny povrchu zeme pomocou radarovej interferometrie,
- určenie zón, v ktorých bola identifikovaná zosuvová aktivita,
- posúdenie zosuvovej aktivity v skúmanej oblasti.

2. Popis výskumného procesu, vrátane teoretických predpokladov, popisu metódy, možného odberu vzoriek v teréne a následných krokov laboratórnej práce.

Teoretické predpoklady (radarová interferometria)

Radarová interferometria (InSAR) predstavuje jeden z najdôležitejších nástrojov diaľkového prieskumu Zeme využívaných pri monitorovaní zosuvov pôdy. Táto metóda je založená na analýze fázových rozdielov radarového signálu zaznamenaného satelitmi počas opakovaných preletov nad tou istou oblasťou. Vďaka využitiu údajov z misií, ako je Sentinel-1, je možné vykonávať systematické pozorovania deformácií zemského povrchu. Interferogramy umožňujú detekciu vertikálnych a horizontálnych posunov s presnosťou na úrovni milimetrov. Pri výskume zosuvov pôdy táto technika umožňuje identifikovať náhle presuny, ako aj pomalé, dlhodobé svahové pohyby. Použitie viacčasových interferometrických analýz zvyšuje spoľahlivosť interpretácie výsledkov. Osobitne užitočná je metóda PS-InSAR (Persistent Scatterer InSAR), ktorá využíva stabilné objekty odrážajúce radarový signál. Umožňuje presné určenie rýchlosti deformácie svahov v dlhých časových radoch. Interferometria sa uplatňuje najmä v horských oblastiach, kde sú klasické geodetické merania sťažené. Umožňuje monitorovanie rozsiahlych území bez potreby inštalácie meracích prístrojov v teréne. V podmienkach hustého zalesnenia môže byť účinnosť metódy obmedzená dekoreláciou signálu. V takýchto prípadoch sa používajú techniky založené na trvalých rozptylovačoch alebo na analýze malých základní (SBAS).

Interferometrické údaje sú často integrované s geologickými a geomorfologickými informáciami. To umožňuje lepšie pochopenie mechanizmu a rozsahu zosuvu. Interferometria taktiež umožňuje hodnotenie vplyvu atmosférických zrážok na aktivitu svahových pohybov. V kombinácii s meteorologickými údajmi podporuje tvorbu systémov včasného varovania. Táto metóda sa využíva aj na hodnotenie stability infraštruktúry nachádzajúcej sa v ohrozených oblastiach. Mimoriadny význam má pri monitorovaní urbanizovaných území a dopravných koridorov. Radarová interferometria prispieva k znižovaniu nákladov na výskum prostredníctvom obmedzenia počtu terénnych meraní. V súčasnosti predstavuje kľúčový prvok integrovaných systémov monitorovania zosuvných rizík.



Polska – Słowacja

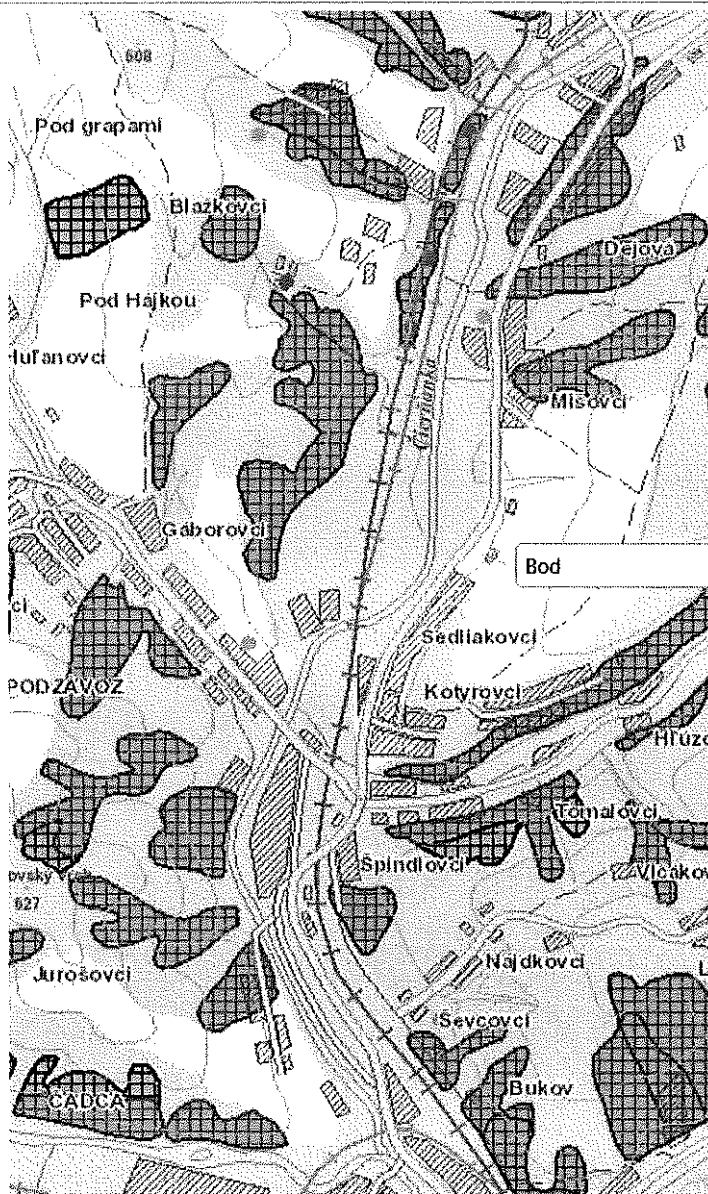
Testowanie i wdrażanie nowoczesnych metod zapobiegania i przeciwdziałania skutkom klęsk żywiołowych w dobie zmian klimatycznych / Testovanie a zavádzanie moderných metód prevencie a boja proti následkom prírodných katastrof v čase klimatických zmien

Poloha a hlavné charakteristiky skúmanej oblasti

Realizovaný výskumný test zahŕňa územie nachádzajúce sa v severne od Čadca, na ceste číslo 12 (Čadca) (obr. 1). V predmetnej oblasti sa nachádza množstvo zosuvov lokalizovaných v bezprostrednej blízkosti budov. Časť zosuvných území je na mape vyznačená červenými/oranžovými signatúrami a predstavuje Rajón nestabilných území (územia svahových deformácií so stredným až vysokým stupňom náchylnosti na aktivizáciu svahových deformácií; svahy s aktívnymi, potenciálnymi a stabilizovanými formami svahových deformácií, s výnimkou stabilizovaných podpovrchových plazivých deformácií a stabilizovaných skalných zrútení). Aktivizácia svahových deformácií je možná v dôsledku prírodných podmienok alebo negatívnych antropogénnych faktorov, resp. ich kombinácie. Územia vyznačené ružovou farbou taktiež predstavujú Rajón nestabilných území s rovnakou charakteristikou stupňa náchylnosti na aktivizáciu svahových deformácií. Ide o svahy s aktívnymi, potenciálnymi a stabilizovanými formami svahových deformácií (s výnimkou stabilizovaných podpovrchových plazivých deformácií a stabilizovaných skalných zrútení), pričom ich opätovná aktivácia môže nastať pôsobením prírodných alebo antropogénnych faktorov. Oblasti označené oranžovou farbou s čiernou šrafiúrou sú rovnako klasifikované ako Rajón nestabilných území, teda územia so stredným až vysokým stupňom náchylnosti na vznik alebo reaktiváciu svahových deformácií. Aktivizácia týchto území je podmienená kombináciou geologických, geomorfologických, klimatických a antropogénnych faktorov.

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. Poloha analyzovaných zosuvov pôdy.

Zdroj: <https://app.geology.sk/atlassd/>

Využitie údajov z radarovej interferometrie umožňuje analýzu pohybu jednotlivých bodov terénu, napr. okrajov striech budov, v období 2019–2023. S cieľom identifikovať zmeny v morfológii terénu v rámci študovanej oblasti bola vykonaná priestorová analýza pomocou radarovej interferometrie. Pre oblasť severne

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

od Čadca, na ceste číslo 12 boli posuny vizualizované pomocou pevných bodov, v ktorých boli v rokoch 2019–2023 vykonané interferometrické merania. Okrem toho bola do štúdie pridaná analýza zmien polohy troch vybraných bodov vo zvýšenom rozlíšení. Pre štúdiu boli použité body s najvyššou aktivitou zosuvov pôdy. Analýza bola vykonaná pre tri úrovne vertikálnych zmien bodov, a teda reliéfu terénu, pre 5 mm, 10 mm a 20 mm za rok.

3. Výsledky výskumu v číselnej podobe spolu s potrebnou dokumentáciou vo forme tabuliek, grafov a výkresov.

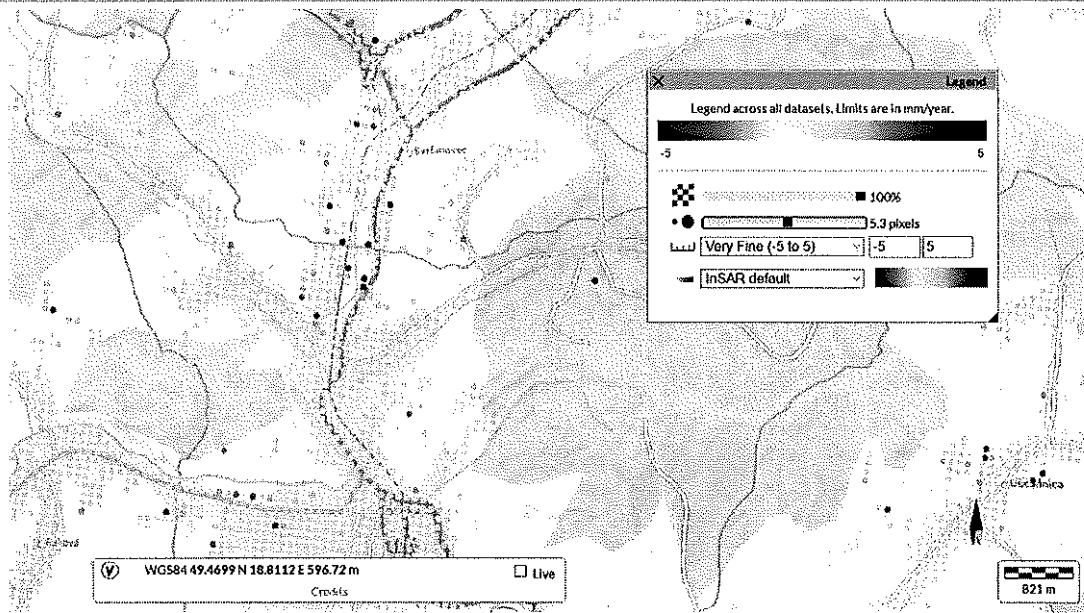
Pozdĺž cesty č. 12 vedúcej z Čadca severným smerom sa na približne 8 km dlhom úseku nachádzajú početné deformácie reliéfu na svahoch priľahlých k ceste. Územím zároveň prechádza železničná trať, ktorá taktiež vedie v blízkosti aktívnych zosuvov (obr. 1). V tejto zóne, v bezprostrednom susedstve cesty a železničnej trate, sa nachádza viacero bodov, v ktorých boli analyzované posuny pomocou radarovej interferometrie (obr. 2).

Najmenšie zmeny polohy bodov boli zaznamenané v južnej časti skúmaného územia. Došlo tu k miernemu poklesu terénu približne 2–3 mm/rok (obr. 3). Najväčšie deformácie boli identifikované v strednej časti sledovaného územia. V tejto oblasti sú viditeľné body, ktorých pokles dosiahol maximálnu hodnotu zobrazenú na mape posunov do 5 mm/rok (bordová farba – obr. 2). To naznačuje, že na niektorých miestach presahujú deformácie hodnotu 5 mm/rok. V strednej časti sa zároveň nachádza rozsiahla zóna situovaná západne od cesty, ktorá sa v rokoch 2019–2023 znižovala tempom približne 2–3 mm/rok (žltá farba – obr. 2). Pri analýze zmien reliéfu v tejto zóne na mape zobrazujúcej maximálne posuny do 10 mm boli opätovne identifikované viaceré body s maximálnou hodnotou 10 mm/rok, čo znamená, že dané územie sa znižuje tempom presahujúcim 10 mm/rok (obr. 3). Na ďalšej mape, ktorá zohľadňuje maximálne posuny do 20 mm/rok, sú v strednej časti skúmaného územia zreteľné už len tri body indikujúce pokles približne 25 mm/rok. Tieto body sa nachádzajú v bezprostrednom susedstve cesty (obr. 4). V severnej časti územia nedosahujú deformácie maximálne hodnoty už na mape zobrazujúcej posuny do 5 mm/rok (obr. 2). Znamená to, že pokles terénu je tu nevýrazný, približne 2–3 mm/rok, a je obmedzený len na niekoľko bodov. Na mapách znázorňujúcich posuny do 10 mm/rok a 20 mm/rok neboli v severnej zóne zaznamenané maximálne hodnoty deformácií (obr. 3 a 4).

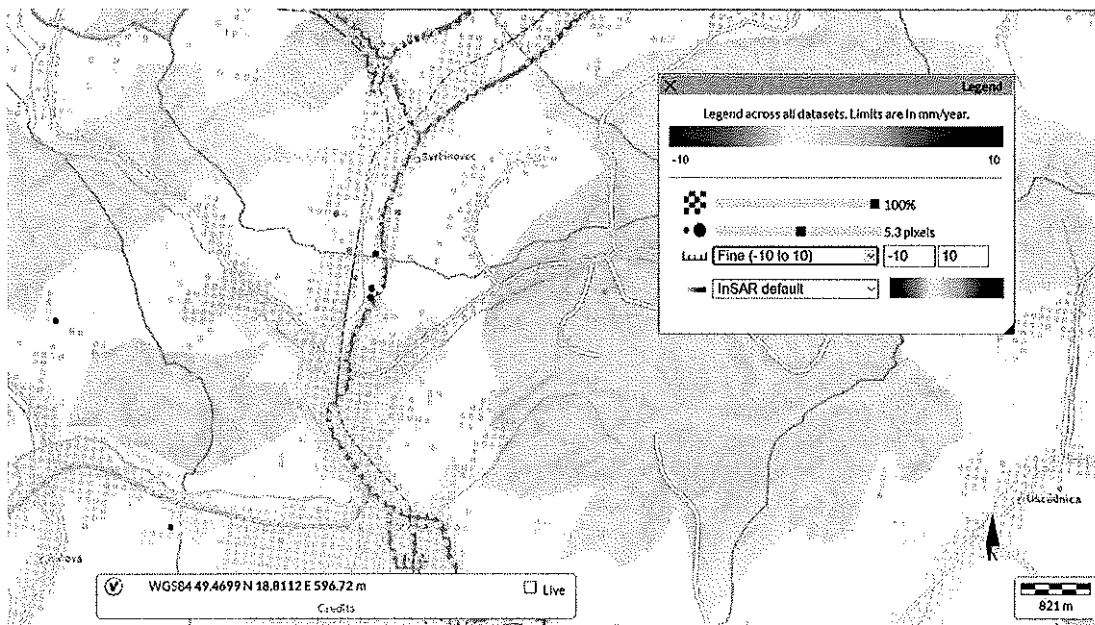
Analýzovaný bol aj časový priebeh poklesu povrchu v jednotlivých bodoch, pričom vybrané boli body zo strednej zóny vykazujúce najväčšie deformácie. V bode č. 1 dosiahol celkový pokles v období 2019–2023 hodnotu až 70 mm, v bode č. 2 bol zaznamenaný pokles 30 mm a v bode č. 3 pokles 60 mm (obr. 5, 6 a 7). Z výsledkov je zrejmé, že v rokoch 2019–2021 dochádzalo k relatívne rovnomernému poklesu, zatiaľ čo v nasledujúcom období sa prejavil skokový charakter deformácií, s výraznejším poklesom v rokoch 2022 a 2023 (obr. 5, 6 a 7).

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



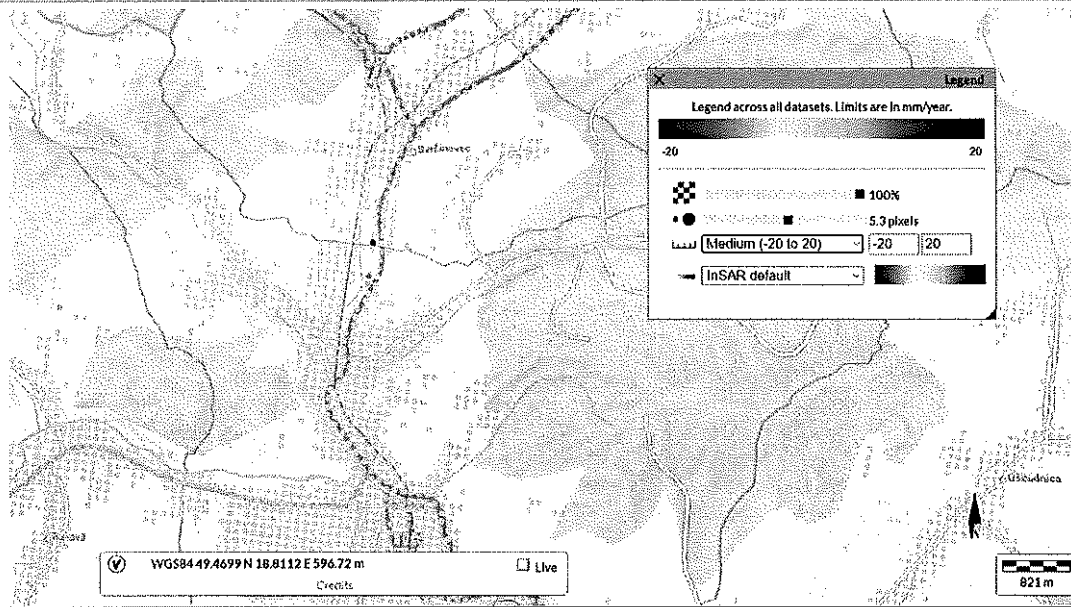
Obrázok 2. Posuny bodov v študovanej oblasti do výšky 5 mm identifikované pomocou radarovej interferometrie.



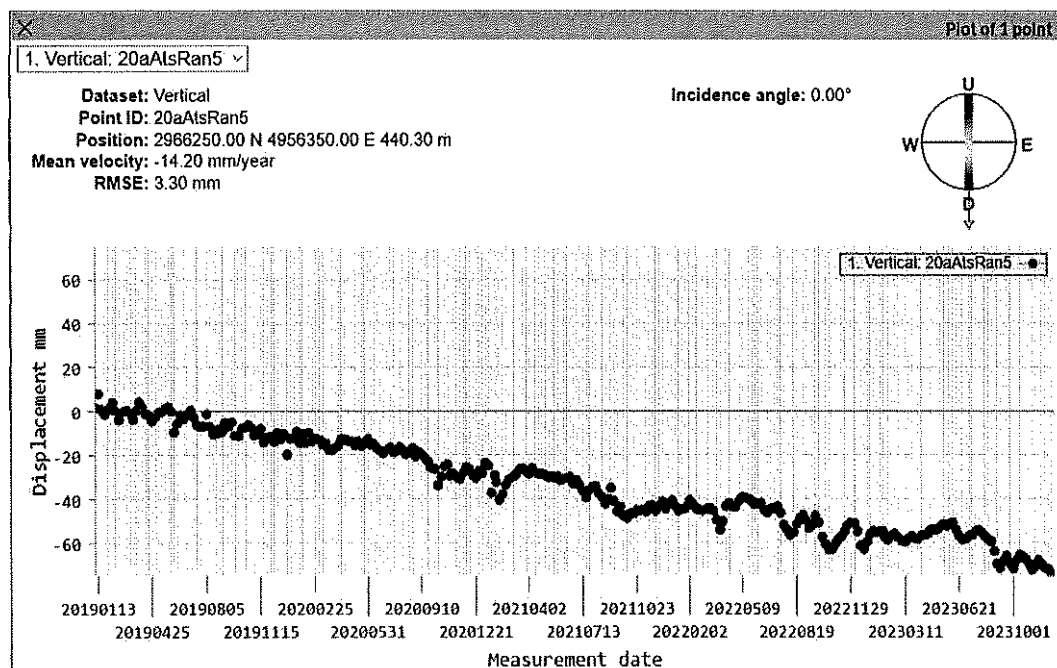
Obrázok 3. Posuny bodov v študovanej oblasti do výšky 10 mm identifikované pomocou radarovej interferometrie.

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



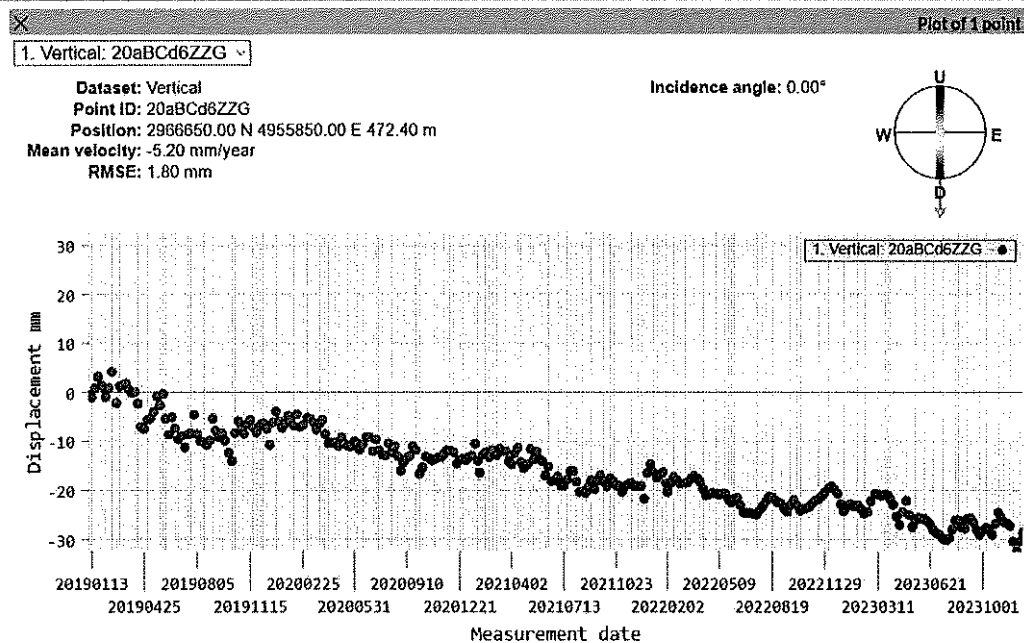
Obrázok 4. Posuny bodov v študovanej oblasti do výšky 20 mm identifikované pomocou radarovej interferometrie.



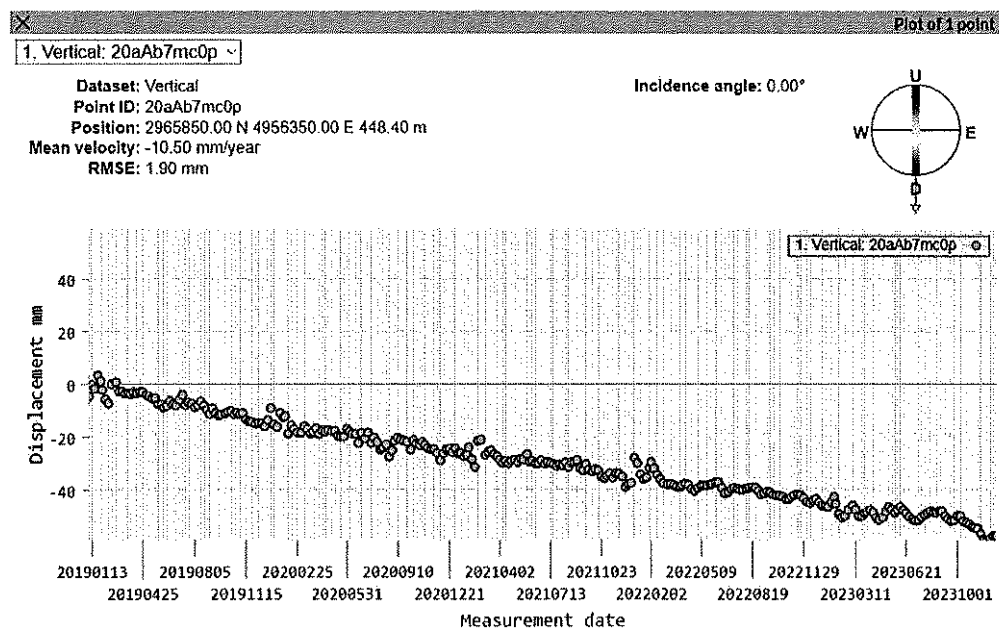
Obrázok 5. Pokles zaznamenaný pomocou radarovej interferometrie v bode I.

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 6. Pokles zaznamenaný pomocou radarovej interferometrie v bode 2.



Obrázok 7. Pokles zaznamenaný pomocou radarovej interferometrie v bode 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

4. Závěry z výskumu vykonaného vo forme štúdie obsahujúcej podrobné analýzy spolu s hodnotením rizika vyskytujúceho sa v testovanej oblasti (zosuvy pôdy, povodne, znečistenie ovzdušia, v závislosti od typu výskumného testu).

Aktívne zosuvové zóny boli identifikované pozdĺž 8 km úseku cesty č. 12 vedúcej severne od Cadcy. Úsek v blízkosti Cadca (južná časť analyzovanej oblasti) a severný úsek prechádzajú menšími zmenami, pričom deformácie dosahujú 2 – 3 mm za rok, čo znamená, že tieto zóny sú relatívne bezpečné pre železničnú a cestnú dopravu. Relatívne veľké zmeny v teréne boli identifikované v strednej časti analyzovanej oblasti. Posuny tu pokrývajú významné plochy a terén sa v niektorých miestach prepadá v priemere o 25 mm/rok, pričom niektoré body sa medzi rokmi 2019 a 2023 prepadli až o 60–70 mm. Malo by sa zväziť stabilizovanie svahov v strednej časti skúmanej oblasti. Na potvrdenie zmien zosuvov pôdy v skúmanej oblasti sa odporúča použiť iné moderné metódy, t. j. digitálne modely terénu založené na údajoch LiDAR a, ak je to možné, dendrochronológii.

PREZES ZARZADU
Oddział Górnośląski, Peiskie
Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi
Katowice, 26.02.2026
dr hab. 
Dr hab. Jerzy Cabała