



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 na okraji Kysuckého Nového Mesta

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 na okraji Kysuckého Nového Mesta,
- 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 na okraji Kysuckého Nového Mesta (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. Oblasť označené oranžovou farbou s čiernou šrafúrou 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.



Obrázok 1. Poloha analyzovaných zosuvov pôdy.

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

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

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 na okraji Kysuckého Nového Mesta 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.

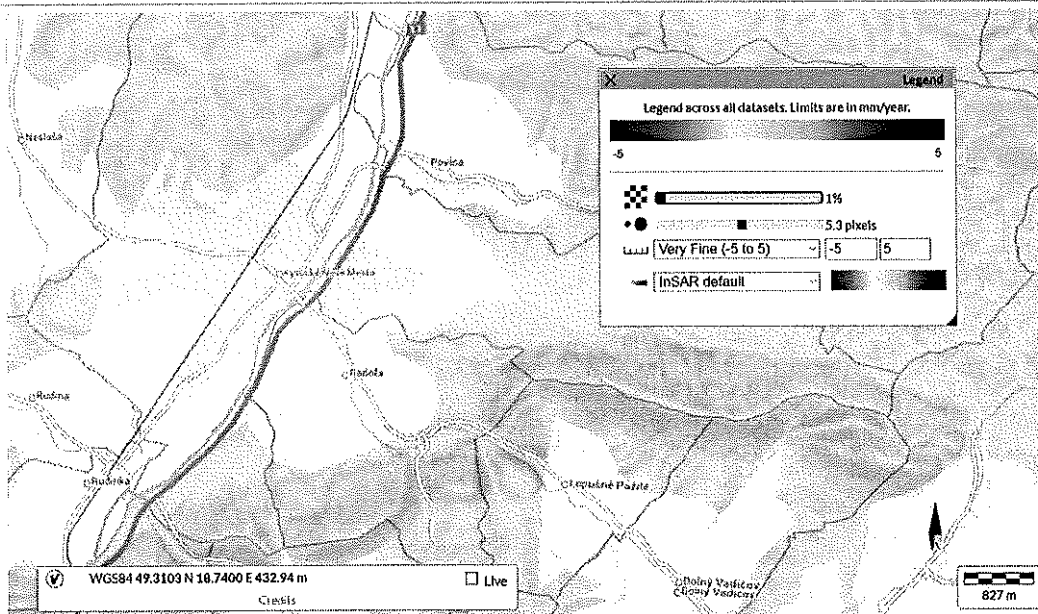
3. Výsledky výskumu v číselnej podobe spolu s potrebnou dokumentáciou vo forme tabuliek, grafov a výkresov

V okolí Kysucké Nové Mesto sa nachádza mnoho bodov, v ktorých boli vykonávané interferometrické merania. Zároveň sa tu vyskytuje veľké množstvo území postihnutých svahovými deformáciami, ktoré môžu byť potenciálne reaktivované. Tieto zóny sú situované najmä v juhovýchodnej časti mesta (obr. 1). Kysucké Nové Mesto je položené v dolinnej depresii, čo môže počas privalových povodní spôsobovať rýchly transport svahového materiálu smerom do mesta (obr. 2). Podstatne väčší počet bodov, v ktorých boli zaznamenávané zmeny povrchu terénu, sa nachádza na severozápadnej strane mesta (obr. 3, 4, 5, 6). Pri analýze interferometrických obrazov na mape znázorňujúcej zmeny povrchu terénu maximálne do 5 mm/rok bolo zistené, že zmeny reliéfu v skúmanej oblasti sú vo všeobecnosti veľmi malé. Mierny pokles povrchu bol zaznamenaný v severnej časti analyzovaného územia pri výjazdovej ceste z mesta č. 11. Tieto poklesy sú však nevýrazné a dosahujú hodnoty približne 2–3 mm/rok. Vyskytujú sa skôr v jednotlivých bodoch než vo väčších zónach a sú dobre viditeľné na podklade ortofotomapy. Menšie deformácie svahov boli identifikované aj v južnej časti mesta, taktiež v oblasti výjazdu cesty č. 11. Podobné deformácie boli zaznamenané aj na výjazdovej komunikácii smerom k obci Radol'a. Pri analýze posunov bodov interferometrickou metódou v rozsahu maximálne do 10 mm/rok neboli na celom skúmanom území identifikované body dosahujúce túto hodnotu (obr. 5, 6). Z analýzy posunov vyplýva, že deformácie povrchu v skúmanej oblasti sú veľmi malé.

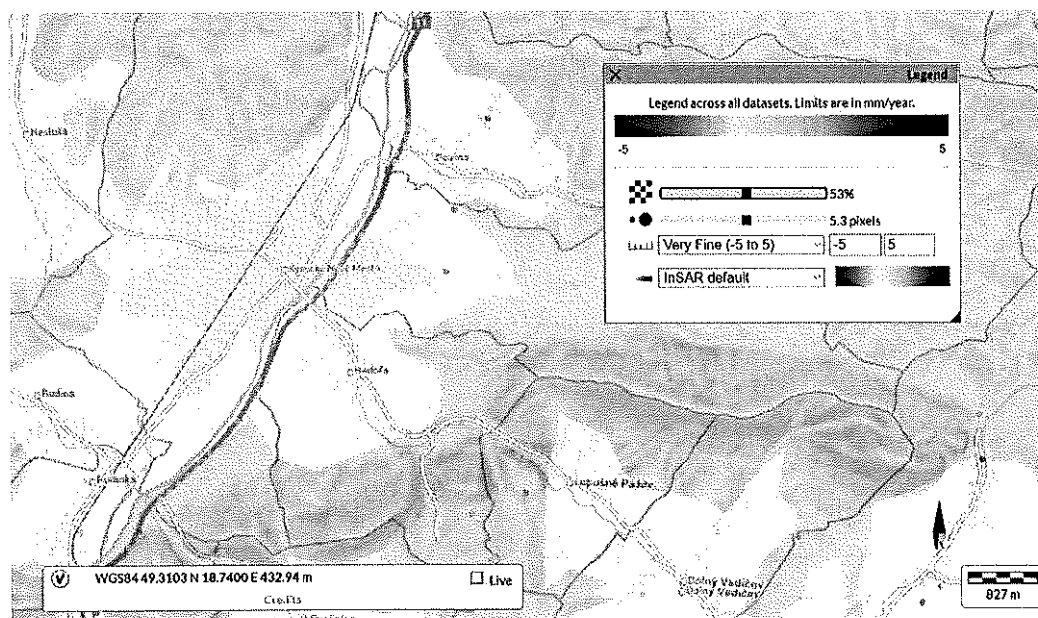
Malé zmeny povrchu terénu v skúmanom území potvrdzuje aj analýza zmien nadmorskej výšky vo vybraných bodoch. Na tento účel boli vybrané dva body nachádzajúce sa v severnej časti analyzovaného územia a dva body v jeho južnej časti (obr. 7, 8, 9, 10). Prvý bod v severnej časti analyzovaného územia zaznamenal v rokoch 2019–2023 pokles približne o 12 mm (obr. 7). Bod č. 2 bol najskôr mierne zdvihnutý a následne došlo k jeho poklesu, čo pravdepodobne súvisí skôr s hospodárskou činnosťou človeka než so svahovými pohybmi (obr. 8). Bod č. 3, nachádzajúci sa v južnej časti mesta, zaznamenal v období 2019–2023 pokles približne o 12 mm (obr. 9), zatiaľ čo bod č. 4 bol zdvihnutý približne o 8 mm (obr. 10).

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



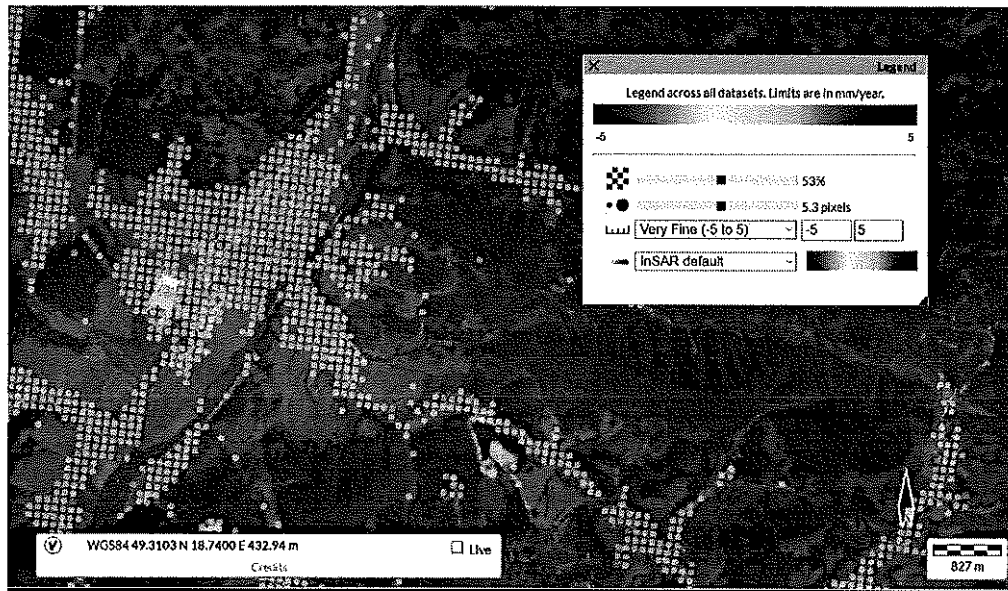
Obrázok 2. Poloha Kysuckého Nového Mesta v údolnej kotline.



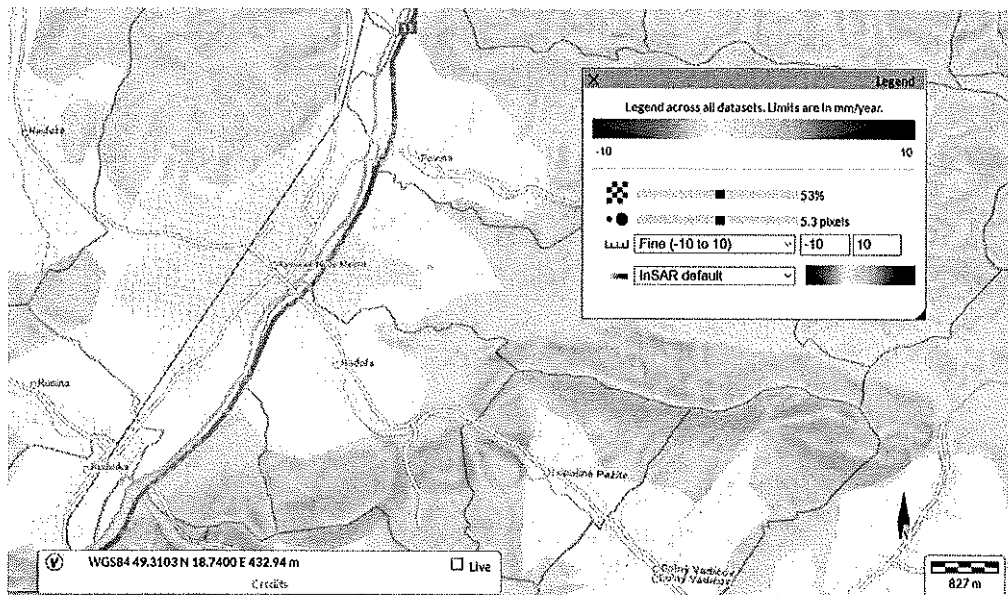
Obrázok 3. Posuny bodov v študovanej oblasti do výšky 5 mm identifikované pomocou radarovej interferometrie.

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



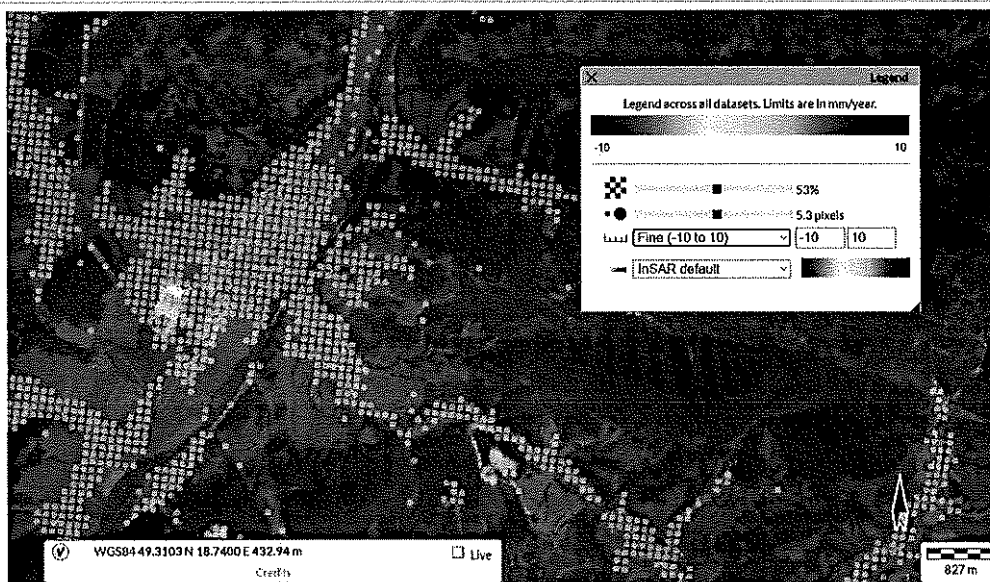
Obrázok 4. Posuny bodov v študovanej oblasti do výšky 5 mm identifikované pomocou radarovej interferometrie na pozadí ortofotomapy.



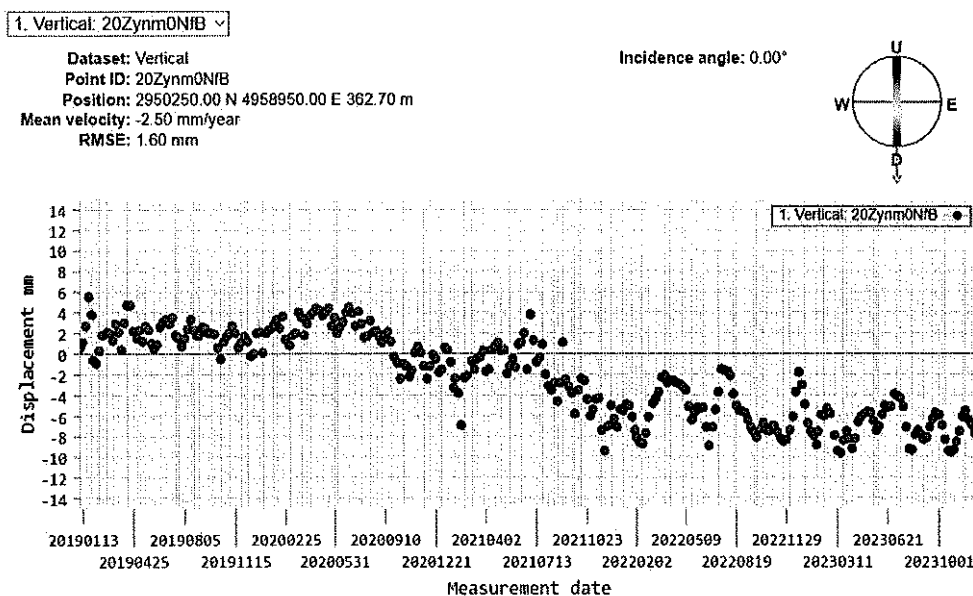
Obrázok 5. Posuny bodov v študovanej oblasti do výšky 10 mm identifikované pomocou radarovej interferometrie.

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



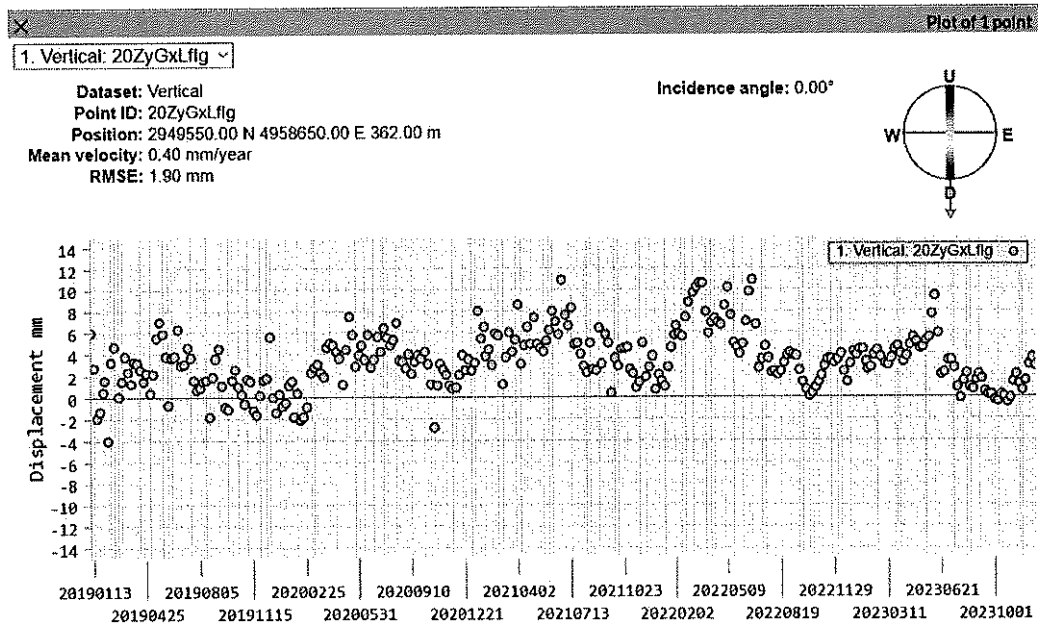
Obrázok 6. Posuny bodov v študovanej oblasti do výšky 10 mm identifikované pomocou radarovej interferometrie na pozadí ortofotomapy.



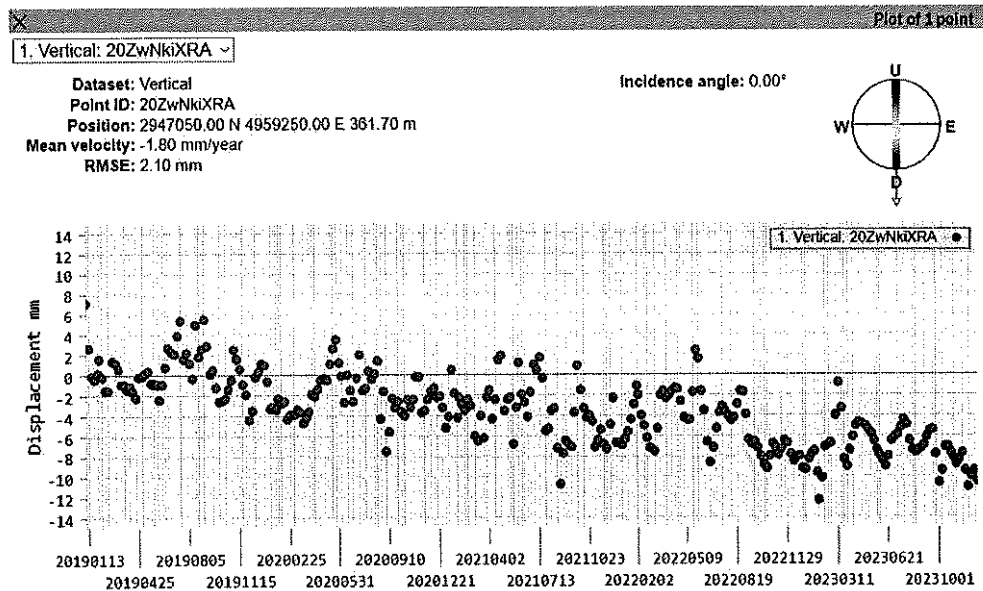
Obrázok 7. Pokles zaznamenaný pomocou radarovej interferometrie v bode 1.

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



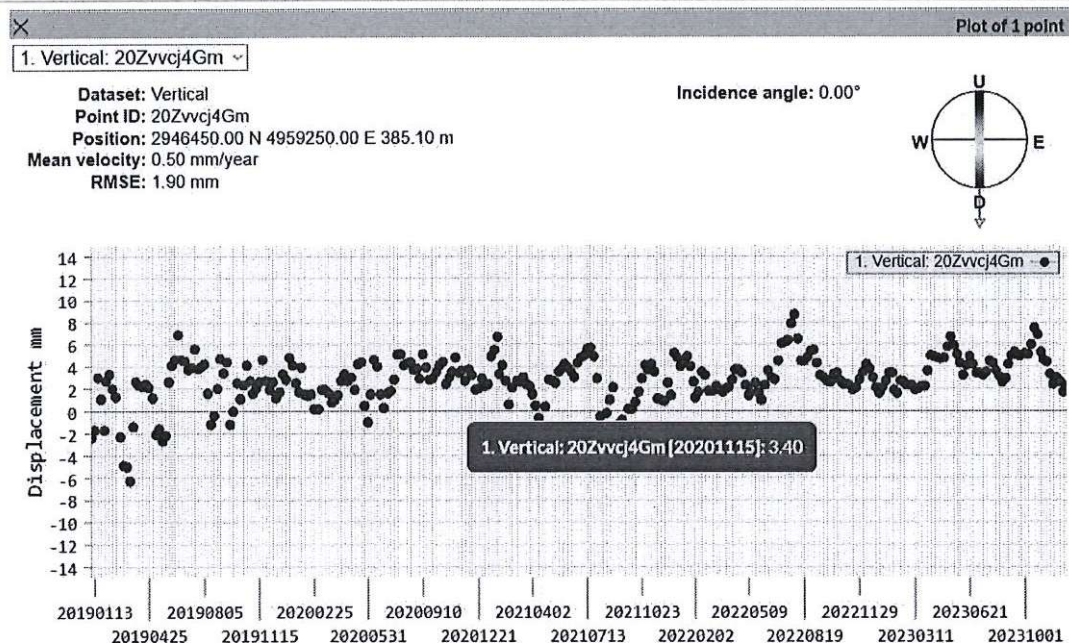
Obrázok 8. Pokles zaznamenaný pomocou radarovej interferometrie v bode 2.



Obrázok 9. 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



Obrázok 10. Pokles zaznamenaný pomocou radarovej interferometrie v bode 4.

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).

V analyzovanej oblasti neboli identifikované žiadne oblasti ohrozené masovými pohybmi. Zmeny povrchu zeme sú tu veľmi malé. Jedine oblasti nachádzajúce sa severne od mesta pozdĺž výjazdovej cesty č. 11 a oblasti nachádzajúce sa južne od urbanistickej zástavby sú zónami, kde boli identifikované zmeny povrchu zeme. Tieto zmeny sú však zvyčajne 2–3 mm/rok, s celkovým poklesom povrchu až do výšky približne 12 mm v jednotlivých bodoch. Takéto zmeny povrchu by nemali byť dôvodom na vykonanie stabilizačných prác svahu. Navrhuje sa, aby výsledky práce prezentované pomocou radarovej interferometrie boli overené aj inými metódami, napr. numerickými modelmi terénu generovanými z údajov LiDAR.

PREZES ZARZADU
Urząd Gminności, Polska
Katowice, 26.02.2026
Towarzystwo Przyjaciół Nauki o Ziemi

dr hab. Jerzy Cabala

Interreg



Współfinansowany przez
UNIJĘ 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
