

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 v južnej časti Žiliny (medzi Lietavskou Luckou Rosinou a Turie, Žilina)

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 medzi Lietavskou Luckou Rosinou a Turie, Žilina),
- identifikácia oblastí potenciálne ohrozených zosuvmi pôdy,
- identifikácia oblasti, 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,
- plánovanie typov grafov ilustrujúcich zmeny povrchu zeme pomocou radarovej interferometrie,
- určenie zón, v ktorých bola identifikovaná zosuvová aktivita,
- posúdenie zosuvovej aktivity v skúmanej oblasti.

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

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).

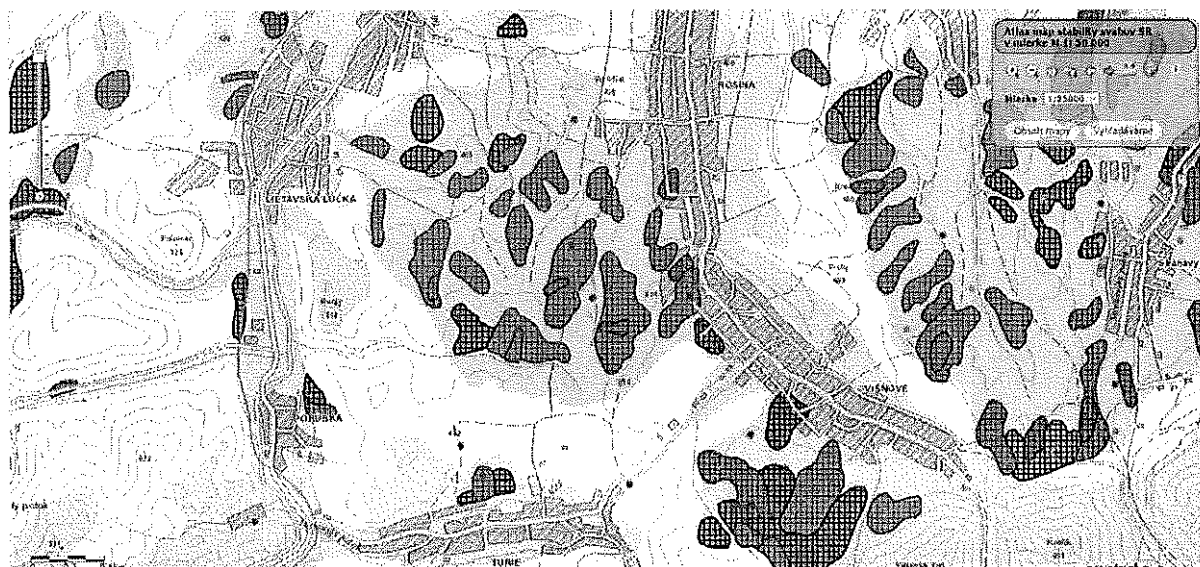
Interferometrické údaje sú často integrované s geologickými a geomorfologickými informáciami. To umožňuje lepšie pochopenie mechanizmu a rozsahu zosuvu. Interferometria taktiež umožňuje hodnotenie vplyvu atmosférických zrážok na aktivitu svahových pohybov. V kombinácii s meteorologickými údajmi podporuje 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 zníženiu 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 južnej časti Žilina, medzi obcami Lietavská Lúčka, Rosina a Turie, okres Žilina (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 pod povrchových 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 pod povrchových plazivých deformácií a stabilizovaných skalných zrútení), pričom ich opätovná aktivácia môže nastať pôsobením prírodných alebo antropogénnych faktorov. Oblasti označené oranžovou farbou s čiernou šrafovou 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/atlassd/>

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 medzi Lietavskou Luckou Rosinou a Turie 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.

Zóny zosuvov pôdy, ktoré boli predmetom skúmania, neboli v celom rozsahu pokryté interferometrickou analýzou, ale bolo možné identifikovať posun viac ako 100 bodov, ktoré sa nachádzali prevažne v zastavaných oblastiach, t. j. tam, kde bola možná analýza radarovou interferometriou. Analýza interferometrických snímkov študovanej oblasti ukázala, že v priebehu štyroch rokov (2019–2023) bol zaznamenaný pohyb niektorých bodov zahrnutých do interferometrickej analýzy, čo potvrdzuje aktívne zosuvy pôdy v študovanej oblasti.

Relatívne veľké zmeny reliéfu terénu boli identifikované analýzou posunov bodov do 5 mm/rok (obrázok 2). Viditeľné sú zmeny posunov v zóne nachádzajúcej sa v blízkosti Lietavskej Lúčky, kde sa vyskytuje niekoľko bodov, v ktorých pokles terénu dosahuje maximálnu hodnotu, teda najmenej 5 mm/rok (tmavočervená farba), ako aj niekoľko bodov, v ktorých hodnota poklesu nepresahuje 5 mm/rok. Identifikované boli aj zóny, v ktorých dochádza k miernemu zdvíhaniu terénu (obrázok 2). Takáto sekvencia foriem reliéfu s najväčšou pravdepodobnosťou naznačuje deformácie podložia. Na mape zobrazujúcej maximálne 10 mm zmien výšky polohy bodov žiaden z bodov nachádzajúcich sa v blízkosti Lietavskej Lúčky nedosahuje maximálnu hodnotu, čo znamená, že posuny v tejto zóne dosiahli maximálne približne 5–8 mm/rok (obrázok 3). Samozrejme, v tejto zóne neboli identifikované posuny dosahujúce 20 mm (obrázok 4).

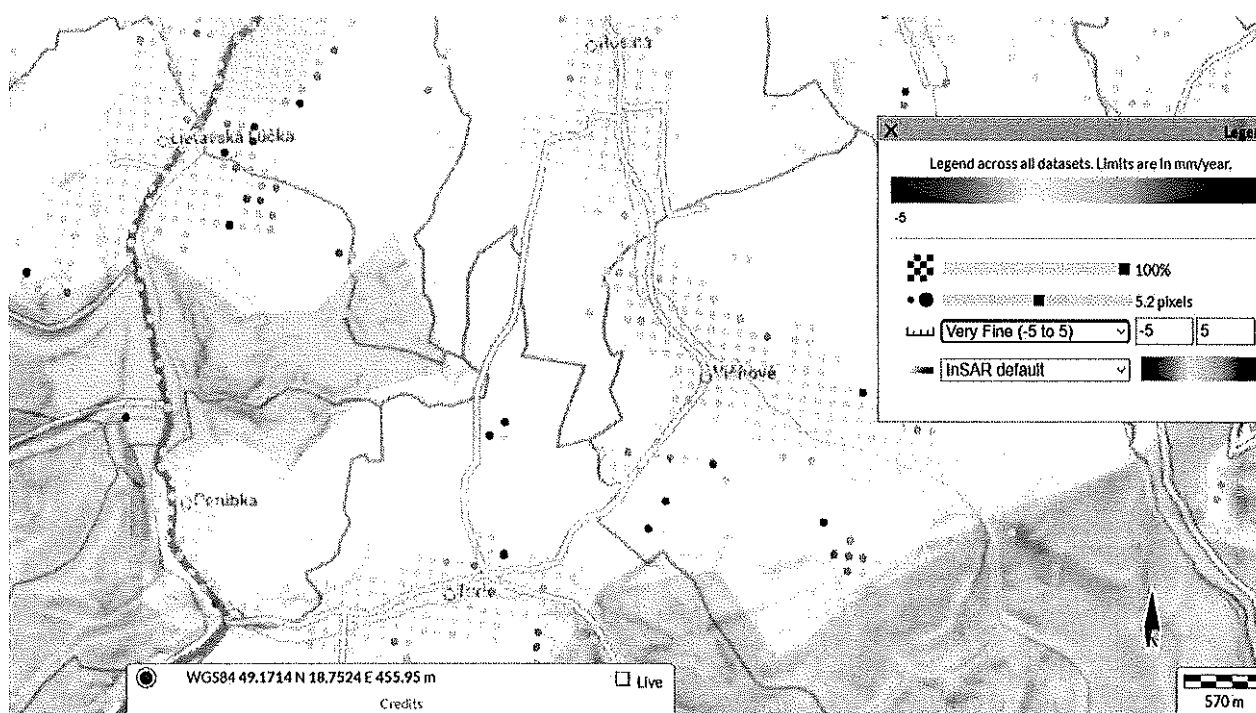
Druhou zónou, v ktorej boli identifikované mierne posuny terénu, je oblasť nachádzajúca sa v centrálnej časti analyzovaného územia približne 1 km severne od obce Turie. V tejto zóne boli namerané zmeny výšky v 4 bodoch, pričom dva z nich poklesli približne o 5–8 mm/rok (obrázky 2, 3, 4). To znamená, že zmeny povrchu sú podobné tým, ktoré boli identifikované v blízkosti Lietavskej Lúčky, avšak menší počet analyzovaných bodov neumožňuje jednoznačne potvrdiť, či bolo toto územie postihnuté svahovými pohybmi.

Tretia analyzovaná zóna sa nachádzala medzi obcami Turie a Višňové. V tejto zóne boli analyzované zmeny polohy približne 20 bodov, pričom väčšina z nich v sledovanom období poklesla; úroveň poklesu sa však medzi jednotlivými bodmi líšila. Dva z bodov poklesli približne o 10 mm/rok (obrázky 2 a 3), ostatné o 2–8 mm/rok. Nebol identifikovaný pokles presahujúci 20 mm/rok (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

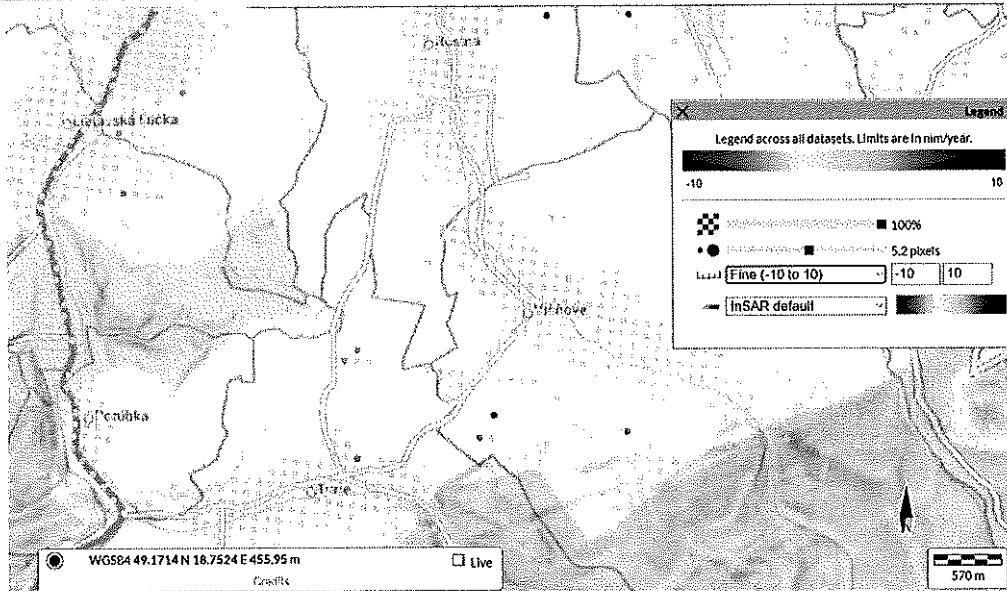
Analýza poklesu troch bodov s najvyššou priemernou mierou poklesu – približne 10 mm/rok – ukázala, že toto tempo je vo všetkých prípadoch v čase rovnomerné a maximálne posuny v skúmanej oblasti dosiahli 30 mm (obrázky 5, 6, 7). To znamená, že pokles terénu v skúmanej oblasti má skôr kontinuálny než pulzačný charakter; iba v prípade bodov 2 a 3 je v roku 2021 viditeľný skokový pokles. V skúmanej oblasti sa pravdepodobne stretávame s tzv. slow-moving landsliding, teda pomaly prebiehajúcim zosúvaním, ktoré spočíva v postupnom presune horninových más rovnomerným tempom.



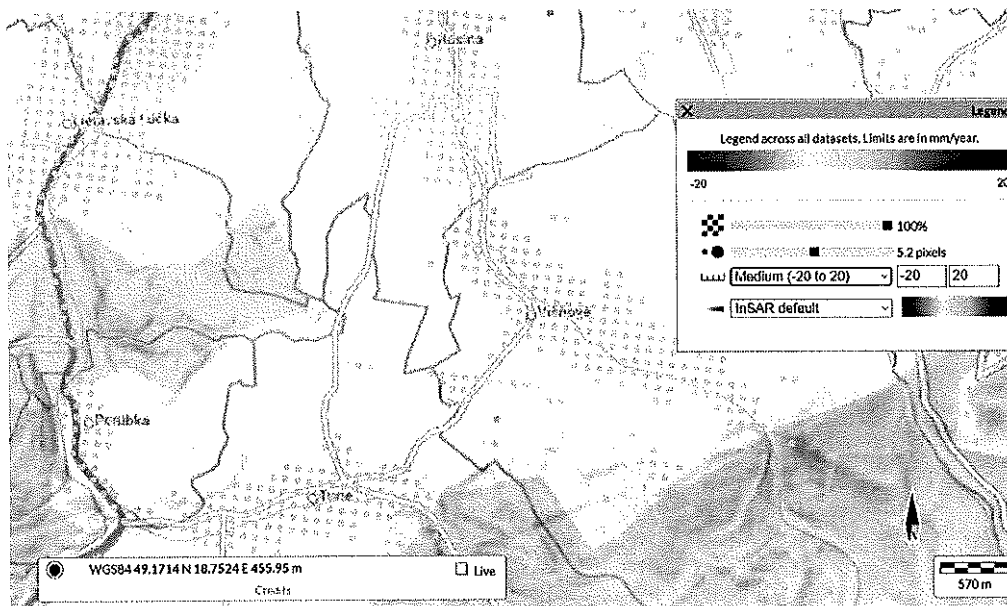
Obrázok 2. Posuny bodov v študovanej oblasti do výšky 5 mm identifikované pomocou radarovej interferometrie.

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



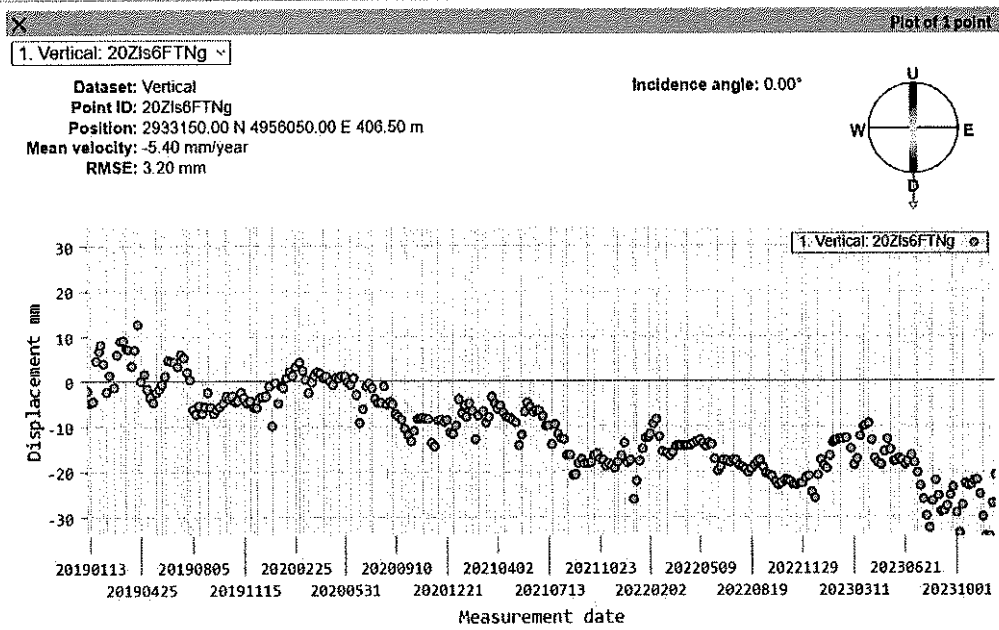
Obrázok 3. Posuny bodov v študovanej oblasti do výšky 10 mm identifikované pomocou radarovej interferometrie.



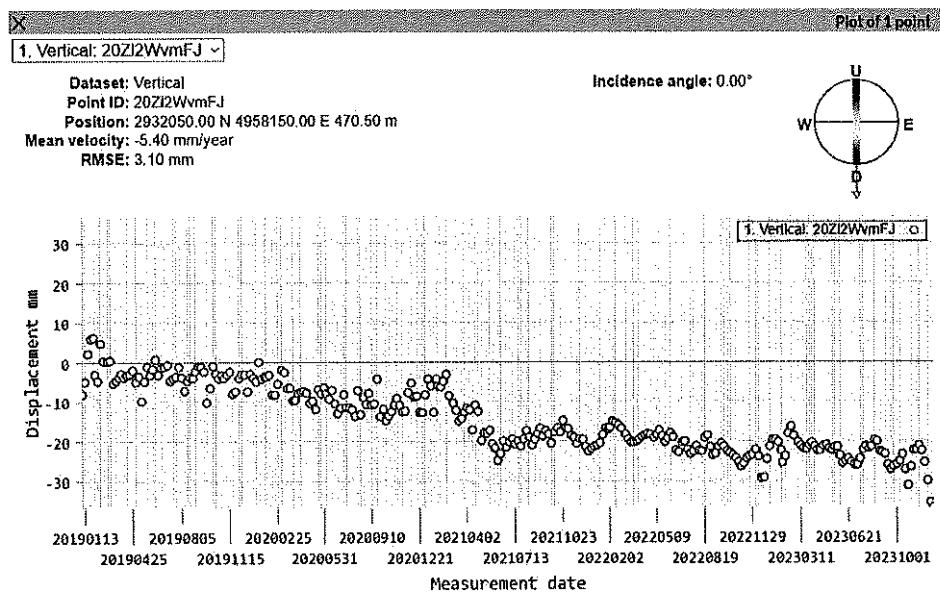
Obrázok 4. Posuny bodov v študovanej oblasti do výšky 20 mm identifikované pomocou radarovej interferometrie.

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



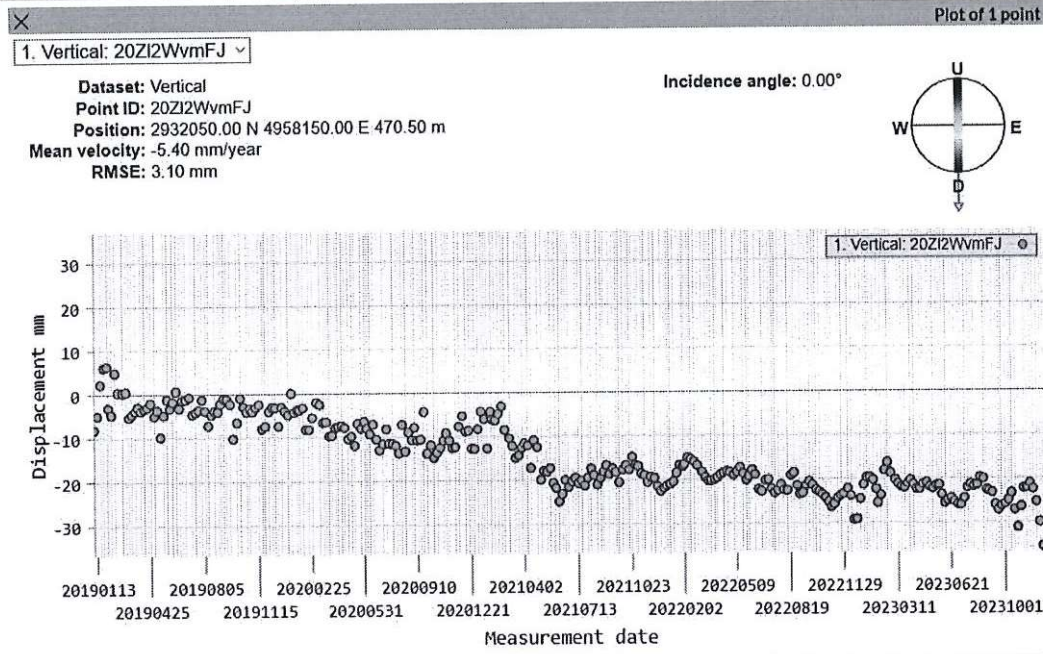
Obrázok 5. Pokles zaznamenaný pomocou radarovej interferometrie v bode 1.



Obrázok 6. Pokles zaznamenaný pomocou radarovej interferometrie v bode 2.

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 7. Pokles zaznamenaný pomocou radarovej interferometrie v bode 3.

4. Závery 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).

Na základe analýzy terénu pomocou radarovej interferometrie bolo zistené, že skúmaná oblasť je vystavená zosuvom pôdy. Zistené zníženie terénu spolu s miernym zvýšením, najmä v blízkosti Lietavské Lucké, naznačuje zosuv pôdy. V ostatných skúmaných oblastiach došlo tiež k miernemu zníženiu terénu. V priemere dosahovalo približne 10 mm za rok a za celé obdobie pozorovania (2019 – 2023) dosiahlo približne 30 mm. Získané výsledky naznačujú, že oblasť by mala byť monitorovaná z hľadiska zosuvov pôdy. Investície v skúmanej oblasti by mali byť predchádzané geologickými prieskumami, najmä pokiaľ ide o možnosť hromadných pohybov. Zosuvy pôdy sú tu skôr kontinuálneho charakteru, ale treba mať na pamäti, že závery platia len pre body pokryté interferometrickými štúdiami. Aby boli závery presnejšie, zvyšné oblasti v skúmanej oblasti by mali byť pokryté štúdiami s použitím iných metód, napr. LiDAR.

PREZES ZARZADU
Oddział Górnośląski, Polskie
Towarzystwo Ziemi
Katowice, 26.02.2026
dr hab. Jerzy Cabala