Współfinansowany przez UNIĘ EUROPEJSKĄ

Polska – Słowacja

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

Správa z výskumného testu týkajúceho sa zosuvného ohrozenia s využitím metódy LiDAR pre zosuvov nachádzajúci sa severovýchodne od Kysuckého Nového Mesta

Odborný dohľad

Dr Albert Ślęzak

Výskumný plán obsahujúci priebeh výskumu s rozdelením na terénne a laboratórne práce vrátane určenia jednotlivých krokov realizácie výskumných prác

Terénne práce

· terénna obhliadka spojená s predbežnou analýzou reliéfu,
· analýza reliéfu zosuvu nachádzajúceho sa v severovýchodne od Kysuckého Nového Mesta
· identifikácia území potenciálne ohrozených zosúvaním,
· identifikácia zóny, ktorá by mala byť predmetom analýz s využitím technológie LiDAR,
· určenie hraníc územia, pre ktoré bude na základe údajov LiDAR vypracovaný diferenčný model terénu.

Laboratórne práce

· určenie obdobia, v ktorom bude vykonaná analýza LiDAR,
· určenie časových intervalov, pre ktoré bude vykonaná analýza LiDAR,
· výber modelov terénu a ortofotomáp, na základe ktorých bude vykonaná analýza,

· vytvorenie diferenčného modelu na základe modelov terénu odvodených z údajov LiDAR, umožňujúceho identifikáciu zmien reliéfu spôsobených prípadnými zosuvnými procesmi,
· zosúladenie a prekrytie ortofotomáp a modelov reliéfu získaných z údajov LiDAR,
· návrh typov grafických výstupov zobrazujúcich zmeny povrchu terénu s využitím údajov LiDAR,
· vymedzenie zón, v ktorých bola zistená zosuvná aktivita,
· hodnotenie zosuvnej aktivity skúmaného územia.

1. Opis priebehu výskumných prác so zohľadnením teoretických východísk, opisu metódy, prípadného odberu vzoriek v teréne a následných krokov laboratórnych prác

Teoretické východiská (LiDAR)

Technológia LiDAR (Light Detection and Ranging) patrí medzi najpokročilejšie metódy diaľkového prieskumu Zeme využívané pri výskume prírodného prostredia a geomorfologických procesov. Je založená na vysielaní laserových impulzov smerom k zemskému povrchu a meraní času návratu odrazeného signálu k senzoru. Na základe získaných údajov možno veľmi presne určiť vzdialenosť medzi meracím zariadením a povrchom terénu, čo umožňuje tvorbu digitálnych modelov terénu s vysokým priestorovým rozlíšením. Vysoká presnosť tejto technológie predurčuje jej využitie pri analýze geodynamických javov, najmä zosuvov pôdy a svahových pohybov. Pri výskume zosuvov umožňuje LiDAR detailnú rekonštrukciu reliéfu aj v oblastiach s obmedzenou dostupnosťou alebo hustým lesným porastom. Významnou prednosťou je schopnosť vytvárať vysokorozlišovacie digitálne modely terénu, ktoré umožňujú identifikovať rozsiahle zosuvné formy aj drobné deformácie svahov. Technológia zároveň dokáže eliminovať vplyv vegetačného krytu prostredníctvom filtrovania bodov odrazených od stromov a kríkov, čím poskytuje presnejší obraz skutočného povrchu terénu. Analýza dát umožňuje identifikovať charakteristické morfologické prvky zosuvov, ako sú zosuvné niky, prahy, koluviálne jazyky, valy, trhliny a akumulačné zóny, ako aj detegovať počiatočné prejavy svahovej nestability.

Dôležitou výhodou LiDAR-u je možnosť viacčasových analýz založených na porovnávaní údajov získaných v rôznych obdobiach. Takýto prístup umožňuje sledovať dynamiku zmien na svahoch, hodnotiť aktivitu zosuvov a určovať rýchlosť premiestňovania materiálu. Výsledky týchto analýz poskytujú cenné informácie o stabilite územia a prispievajú k odhadu rizika vzniku nových svahových pohybov. Technológia LiDAR sa využíva nielen vo vedeckom výskume, ale aj pri

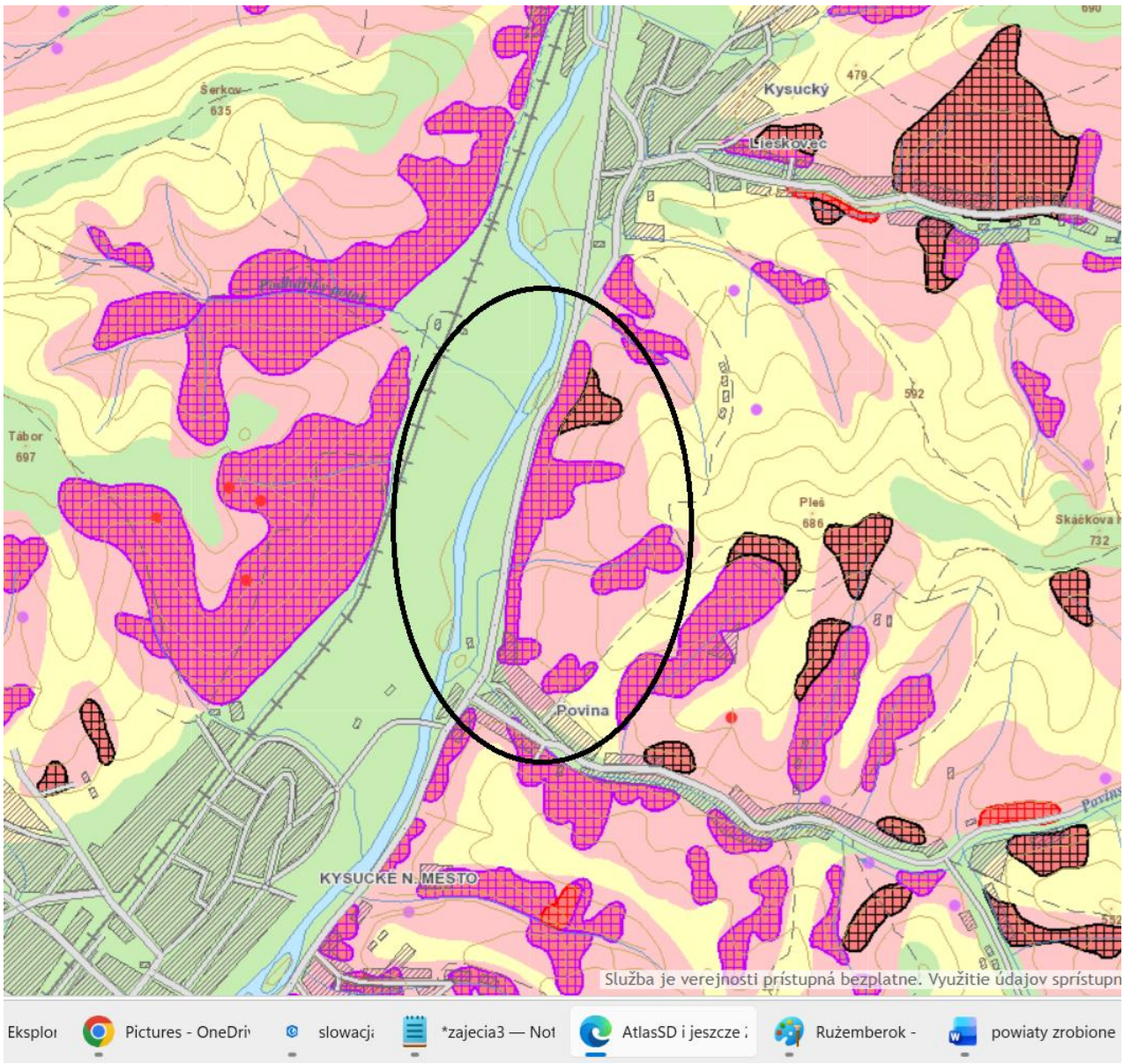
hodnotení geologických rizík a ochrane obyvateľstva. Údaje z digitálnych modelov terénu tvoria základ pre tvorbu máp zosuvného ohrozenia a máp náchylnosti území na svahové pohyby, ktoré sú významným podkladom pre územné plánovanie a návrh infraštruktúry. Mimoriadne prínosná je najmä v oblastiach s členitým reliéfom, kde tradičné metódy zberu údajov často nedosahujú požadovanú efektívnosť. Výhodou je aj možnosť integrácie LiDAR dát s leteckými snímkami, satelitnými údajmi, geodetickými meraniami a geologickými či hydrologickými informáciami, čo umožňuje komplexnejšie hodnotenie procesov prebiehajúcich v krajine. Rastúci význam má LiDAR aj v monitorovacích systémoch a systémoch včasného varovania pred zosuvnými hrozbami. Pravidelné merania umožňujú identifikovať zmeny terénu predchádzajúce aktivácii zosuvov a podporujú prijímanie preventívnych opatrení. Vďaka tomu predstavuje účinný nástroj na zvyšovanie bezpečnosti obyvateľstva a minimalizáciu materiálnych a infraštruktúrnych škôd spôsobených svahovými procesmi.

Poloha a hlavné charakteristiky skúmaného územia

Skúmané územie bolo vymedzené severovýchodne od Kysuckého Nového Mesta. Predmetom analýzy bola aktivita dvoch zosuvných území situovaných priamo na okraji doliny rieky Kysuca, ktorá je prítokom Váhu. Svahové deformácie sa nachádzajú severne od obce Povina a bezprostredne susedia s cestou vedúcou pozdĺž údolia rieky Kysuca. Poloha zosuvného územia spôsobuje, že predstavuje významný faktor ovplyvňujúci bezpečnosť dopravnej infraštruktúry nachádzajúcej sa v jeho bezprostrednom okolí. Analyzovaný zosuv je tvorený dvoma výrazne oddelenými časťami. Prvá z nich, predstavujúca väčšiu časť celého zosuvného územia, sa rozprestiera pozdĺž cesty a zároveň pozdĺž doliny rieky Kysuca. Táto časť je klasifikovaná ako potenciálne aktívna a na slovenskej mape zosuvných území je označená ružovou šrafou na oranžovom podklade (obr. 1). Bezprostredne prilieha k riečnej doline a v minulosti bola podmývaná tokom rieky. Nie je možné vylúčiť, že k podmývaniu dochádza aj v súčasnosti počas mimoriadne vysokých vodných stavov a výrazných povodňových udalostí na rieke Kysuca, čo môže viesť k ďalšej destabilizácii svahu. Druhá časť zosuvu sa nachádza v jeho severovýchodnej časti. Je podstatne menšia a podľa dostupných údajov predstavuje územie stabilné z hľadiska zosuvných procesov, avšak s možnosťou opätovnej aktivácie svahových pohybov. Na mape zosuvných území je táto časť označená čiernou šrafou na oranžovom podklade (obr. 1). Celý zosuvný komplex predstavuje potenciálne ohrozenie pre cestu prebiehajúcu pri jeho úpätí, ako aj čiastočne pre zástavbu obce Povina, ktorá s analyzovaným územím bezprostredne susedí. Na digitálnom modeli reliéfu sú zreteľne viditeľné početné svahové deformácie, ktoré sú výsledkom predchádzajúcej aktivity zosuvných procesov (obr. 2). Model zobrazuje menšie depresie terénu, ako aj lokálne

vyvýšeniny povrchu, ktoré odrážajú zložitú morfológiu skúmaného svahu. Pozorované formy svedčia o viacstupňovom vývoji zosuvu a o výskyte pohybov horninových a zemných más v minulosti.

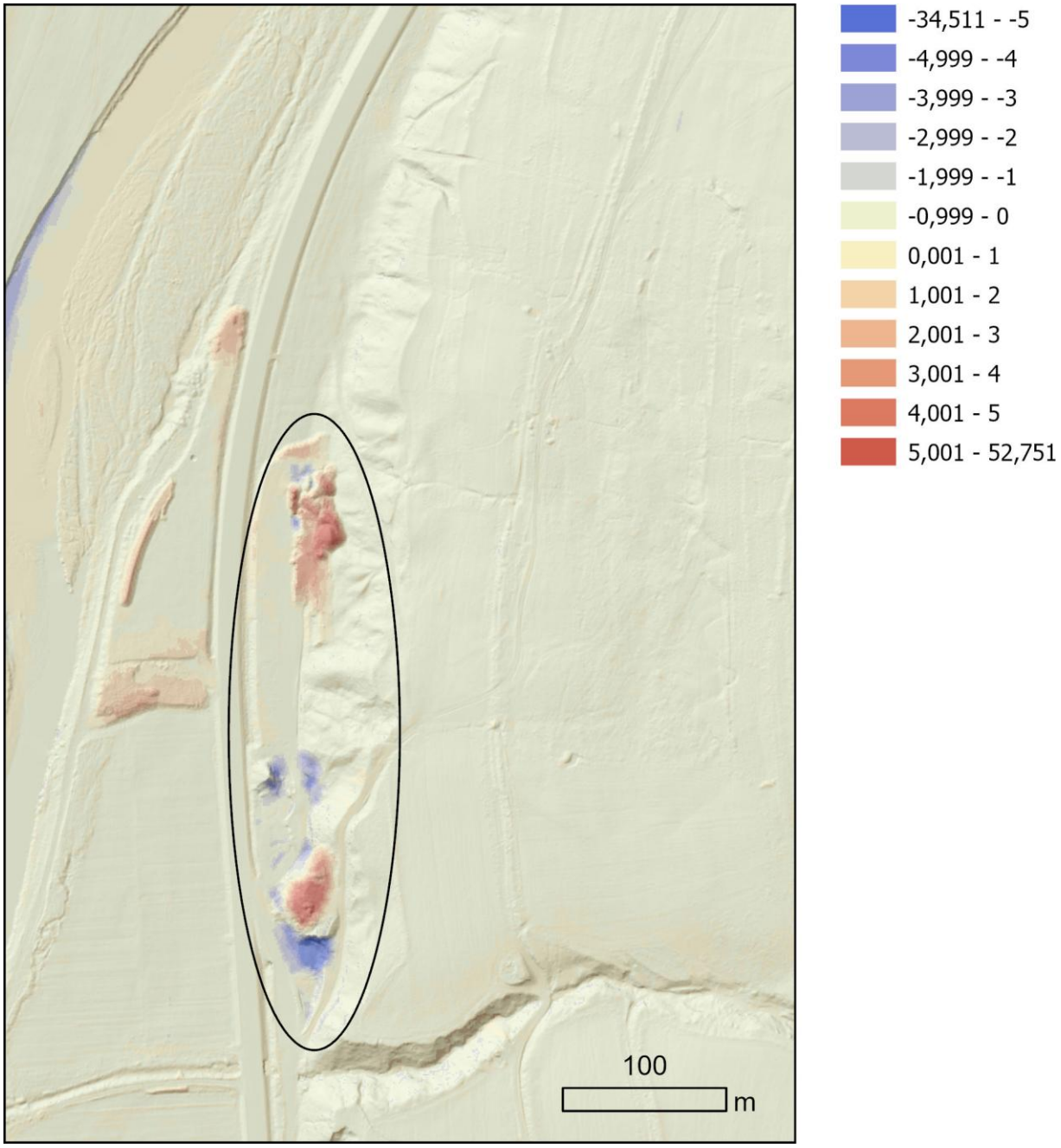
Na podrobné rozpoznanie zmien prebiehajúcich v morfológii skúmaného územia bola vykonaná porovnávacia analýza digitálnych modelov terénu (DMT) vytvorených na základe údajov získaných technológiou LiDAR (Light Detection and Ranging). V rámci výskumu boli použité dva súbory výškových údajov – najstarší dostupný model terénu a najnovší model zodpovedajúci stavu v roku 2024. Porovnanie oboch modelov umožnilo vytvoriť diferenčný model terénu, ktorý kvantitatívnym spôsobom vyjadruje zmeny reliéfu povrchu v analyzovanom období. Vysoká výšková presnosť a veľké priestorové rozlíšenie údajov LiDAR umožnili identifikovať aj veľmi malé lokálne deformácie povrchu terénu, ktoré môžu indikovať aktivitu zosuvných procesov. Výsledky získané počas analýzy boli následne porovnané s modelom reliéfu terénu vypracovaným pre rok 2024, taktiež založeným na údajoch LiDAR, čo významne uľahčilo interpretáciu priestorového rozloženia identifikovaných zmien a určenie ich vzťahu k morfológii svahu. Analýza priestorového rozloženia diferenčných hodnôt umožnila identifikovať oblasti charakterizované najvyššou intenzitou zmien povrchu terénu. Vykonané výpočty umožnili určiť aj rýchlosť prebiehajúcich posunov a smery pohybu zemných más v jednotlivých častiach skúmaného územia. Na základe získaných výsledkov bolo možné formulovať závery týkajúce sa dynamiky zosuvných procesov, charakteru svahových pohybov a priestorovej variability aktivity zosuvov v rámci skúmaného svahu.



Obr. 1. Lokalizácia zosuvu, pre ktorý bola vykonaná analýza. Zosuv sa nachádza severovýchodne od Kysuckého Nového Mesta.



Obr. 2. Digitálny model terénu vytvorený na základe údajov LiDAR zobrazujúci reliéf územia v rámci zosuvnej formy, pre ktorú bola vykonaná analýza.



Obr. 3. Digitálny model terénu vytvorený na základe údajov LiDAR a diferenčný model terénu.

2. Výsledky výskumu vo forme výpočtových výsledkov spolu s potrebnou dokumentáciou vo forme tabuliek, grafov a obrázkov

Analýza modelu terénu na základe údajov LiDAR

Zmeny reliéfu terénu v rámci zosuvu sú dobre viditeľné. Mimoriadne výrazné sú najmä v severnej a južnej časti skúmaného územia. Ide o rozsiahle zóny, v ktorých boli identifikované oblasti poklesu povrchu (vyznačené modrou farbou), ako aj oblasti zvýšenia povrchu (vyznačené červenou farbou), pričom prevažujú zóny charakterizované nárastom nadmorskej výšky (obr. 3). Zmeny povrchu terénu sa nachádzajú v blízkosti cesty prebiehajúcej rovnobežne s dolinou rieky Kysuca. V severnej časti skúmaného územia bolo zaznamenané zvýšenie povrchu terénu približne o 4 až 5 m, pričom súčasne boli identifikované relatívne malé zóny, v ktorých došlo k poklesu terénu o 2 až 3 m. V južnej časti skúmaného územia sa taktiež vyskytujú zóny zvýšenia povrchu do 4 až 5 m, ako aj pomerne rozsiahle oblasti poklesu, ktoré zaberajú približne rovnakú plochu ako oblasti akumulácie materiálu (obr. 3). Na modeli LiDAR sú viditeľné zóny, v ktorých bola ukladaná zemina pravdepodobne v súvislosti s prácami zameranými na zabezpečenie ciest prebiehajúcich nad aj pod svahom. Nie je vylúčené, že časť tohto materiálu bola využitá aj na stabilizáciu zosuvného svahu. Charakter priestorového rozmiestnenia akumulačných oblastí naznačuje realizáciu zemných prác zameraných na zvýšenie stability svahu a ochranu dopravnej infraštruktúry.

Charakteristickým znakom analyzovaného územia je skutočnosť, že zóny zvýšenia povrchu sa nachádzajú nad oblasťami poklesu. Takéto priestorové usporiadanie akumulačných a depresných zón vylučuje prítomnosť aktívnych zosuvných procesov v skúmanom území. V prípade aktívneho zosúvania sa zóny poklesu zvyčajne nachádzajú nad oblasťami akumulácie, čo dokumentuje presun horninových alebo zvetralinových más smerom nadol po svahu. V analyzovanom prípade je situácia opačná. To naznačuje, že v skúmanom zosuvnom území v súčasnosti neprebiehajú aktívne zosuvné procesy a zaznamenané zmeny povrchu terénu sú výsledkom hospodárskej činnosti realizovanej v zóne svahu. Je pravdepodobné, že tieto práce súviseli so spevňovaním a stabilizáciou zosuvného svahu. Za zmienku stojí aj skutočnosť, že okrem antropogénnych zásahov neboli v analyzovanom období identifikované ani malé zmeny reliéfu terénu, ktoré by mohli naznačovať pokračovanie alebo obnovu zosuvnej aktivity. Výsledky analýzy preto naznačujú, že skúmané zosuvné územie sa v súčasnosti vyznačuje vysokou mierou stability.

3. Závery z vykonaného výskumu vo forme spracovania obsahujúceho podrobné analýzy spolu s odhadom miery ohrozenia vyskytujúceho sa na skúmanom území (zosuvného, povodňového alebo súvisiaceho so znečistením ovzdušia v závislosti od typu realizovaného výskumu).

Vykonaná analýza nepotvrdila súčasnú aktivitu skúmaného zosuvu, ktorú by bolo možné očakávať na základe máp svahových deformácií vypracovaných pre celé územie Slovenska. Napriek výskytu početných morfologických foriem dokumentujúcich minulú aktivitu svahových pohybov nevykazujú identifikované deformácie charakteristické znaky aktívneho zosúvania. Vyplýva to predovšetkým z priestorového usporiadania zón poklesu a zvýšenia povrchu. V rámci analyzovaného územia sa zóny zvýšenia povrchu nachádzajú nad oblasťami poklesu, čo predstavuje opačné usporiadanie, než aké je typické pre aktívne zosuvy. Takéto rozmiestnenie reliéfnych foriem naznačuje, že pozorované zmeny súvisia predovšetkým s ľudskou činnosťou a nie s prirodzenými zosuvnými procesmi.

Identifikované akumulačné zóny dokumentujú realizáciu zemných prác spočívajúcich v hromadení horninového a zemného materiálu v blízkosti existujúcej a plánovanej dopravnej infraštruktúry. Je pravdepodobné, že nahromadený materiál bol využitý pri rekonštrukcii alebo modernizácii ciest vedúcich nad aj pod zosuvným územím. Nemožno vylúčiť ani to, že časť materiálu bola použitá na zabezpečenie a spevnenie svahu, čo mohlo prispieť k zvýšeniu jeho stability a obmedzeniu možnosti opätovnej aktivácie zosuvných procesov.

Na základe vykonanej analýzy možno konštatovať, že skúmaný zosuv zostával stabilný v období medzi vyhotovením dvoch digitálnych modelov terénu. Zmeny povrchu terénu identifikované na diferenčnom modeli terénu sú výsledkom hospodárskej činnosti realizovanej v blízkosti zosuvného svahu a ciest prebiehajúcich nad aj pod skúmaným územím. V analyzovanom období neboli zistené deformácie svedčiace o obnovení zosuvnej aktivity ani príznaky naznačujúce vznik nových svahových pohybov. Získané výsledky preto umožňujú hodnotiť mieru zosuvného ohrozenia v skúmanom území ako nízku, pričom vzhľadom na polohu svahu v bezprostrednej blízkosti dopravnej infraštruktúry a doliny rieky Kysuca je vhodné pokračovať v jeho ďalšom monitorovaní.

Katowice, 19.05.2026

PREZES ZARZĄDU
Oddział Górnośląski, Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi
Dr hab. Jerzy Cabała

dr hab. Jerzy Cabała