Správa z výskumného testu týkajúceho sa zosuvného ohrozenia s využitím metódy LiDAR pre zosuvov nachádzajúci sa 12 – 13 km severozápadne od Ružomberka

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 zosuvov nachádzajúci sa 12 – 13 km severozápadne od Ružomberka,
· 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) predstavuje jednu z najmodernejších metód diaľkového prieskumu Zeme, ktorá nachádza široké uplatnenie vo výskume prírodného prostredia, geomorfologických procesov a dynamiky krajiny. Jej princíp fungovania spočíva vo vysielaní laserových impulzov smerom k zemskému povrchu a následnom zaznamenávaní času potrebného na návrat odrazeného signálu k senzoru. Na základe týchto meraní je možné s vysokou presnosťou určiť vzdialenosť medzi meracím zariadením a povrchom terénu, čo umožňuje tvorbu detailných digitálnych modelov terénu s vysokým priestorovým rozlíšením. Vďaka presnosti a spoľahlivosti získavaných údajov sa LiDAR stal významným nástrojom pri štúdiu geodynamických procesov, predovšetkým zosuvov pôdy a ďalších foriem svahových pohybov. V oblasti výskumu zosuvov poskytuje LiDAR možnosť detailného mapovania reliéfu aj v lokalitách s komplikovanou dostupnosťou alebo v oblastiach pokrytých hustou vegetáciou. Významnou prednosťou tejto technológie je schopnosť vytvárať vysokokvalitné digitálne modely terénu, ktoré umožňujú identifikáciu rozsiahlych zosuvných štruktúr, ako aj veľmi jemných deformácií povrchu svahov. Takéto údaje umožňujú rozpoznávať morfologické zmeny, ktoré často unikajú pozornosti pri tradičných terénnych prieskumoch alebo pri interpretácii bežných topografických podkladov. Dôležitou vlastnosťou LiDAR-u je aj schopnosť eliminovať vplyv vegetačného krytu prostredníctvom filtrovania bodov odrazených od stromov, kríkov a ďalších foriem vegetácie. Výsledkom je presnejšie zobrazenie skutočného povrchu terénu, čo je obzvlášť významné v horských a podhorských oblastiach s rozsiahlym lesným pokryvom. Analýza získaných dát umožňuje identifikovať charakteristické prvky zosuvného reliéfu, ako sú zosuvné niky, prahy,

koluviálne jazyky, valy, trhliny alebo akumulačné zóny. Zároveň poskytuje možnosť detekovať počiatočné prejavy svahovej nestability, ktoré môžu signalizovať budúcu aktiváciu zosuvných procesov. Významnou výhodou technológie LiDAR je možnosť realizácie viacčasových analýz založených na porovnávaní údajov získaných v rôznych časových obdobiach. Tento prístup umožňuje sledovať dynamiku zmien na svahoch, vyhodnocovať aktivitu zosuvov a určovať smer i rýchlosť premiestňovania horninového alebo zemného materiálu. Výsledky takýchto analýz poskytujú cenné informácie o stabilite územia a významne prispievajú k hodnoteniu potenciálneho rizika vzniku nových svahových deformácií. Schopnosť zachytiť aj minimálne zmeny reliéfu predstavuje významný prínos pre monitorovanie procesov prebiehajúcich v krajine.

LiDAR sa v súčasnosti využíva nielen vo vedeckom výskume, ale aj v oblasti hodnotenia geologických rizík, prevencie prírodných hrozieb a ochrany obyvateľstva. Digitálne modely terénu vytvorené na základe LiDAR dát predstavujú základný podklad pri tvorbe máp zosuvného ohrozenia a máp náchylnosti územia na svahové pohyby. Tieto dokumenty zohrávajú významnú úlohu v územnom plánovaní, pri projektovaní dopravnej a technickej infraštruktúry, ako aj pri rozhodovacích procesoch súvisiacich s rozvojom územia. Mimoriadny prínos technológie sa prejavuje najmä v oblastiach s členitým reliéfom, kde sú tradičné metódy zberu údajov časovo náročné a menej efektívne. Ďalšou výhodou je možnosť kombinácie LiDAR dát s leteckými snímkami, satelitnými údajmi, geodetickými meraniami a geologickými alebo hydrologickými informáciami, čo umožňuje komplexnejšie a presnejšie hodnotenie procesov prebiehajúcich v krajine.

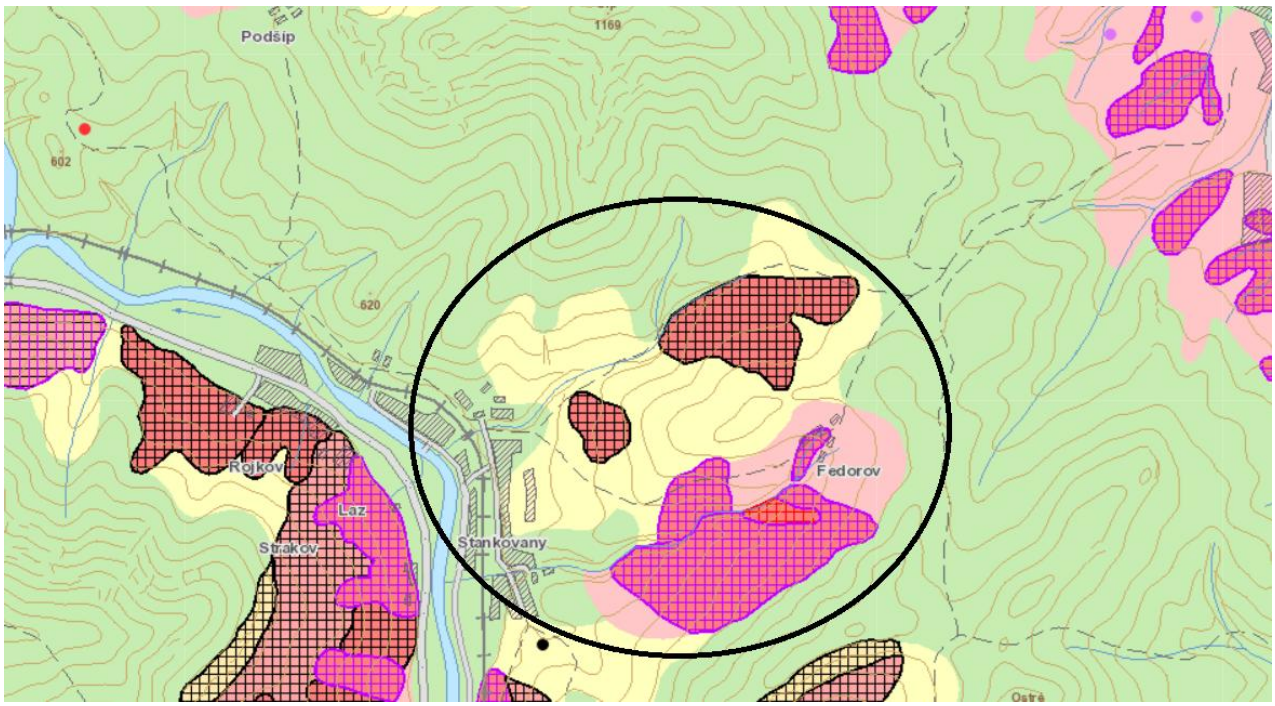
V posledných rokoch rastie význam využívania LiDAR-u aj v monitorovacích systémoch a systémoch včasného varovania pred zosuvnými hrozbami. Pravidelný zber a analýza údajov umožňujú identifikovať zmeny terénu predchádzajúce aktivácii zosuvov, čím sa vytvára priestor na včasné prijatie preventívnych a ochranných opatrení. Vďaka svojim vlastnostiam predstavuje LiDAR vysoko efektívny nástroj na identifikáciu prírodných rizík, podporu bezpečnosti obyvateľstva a znižovanie potenciálnych materiálnych, ekonomických a infraštruktúrnych škôd spôsobených svahovými procesmi.

Poloha a hlavné charakteristiky skúmaného územia

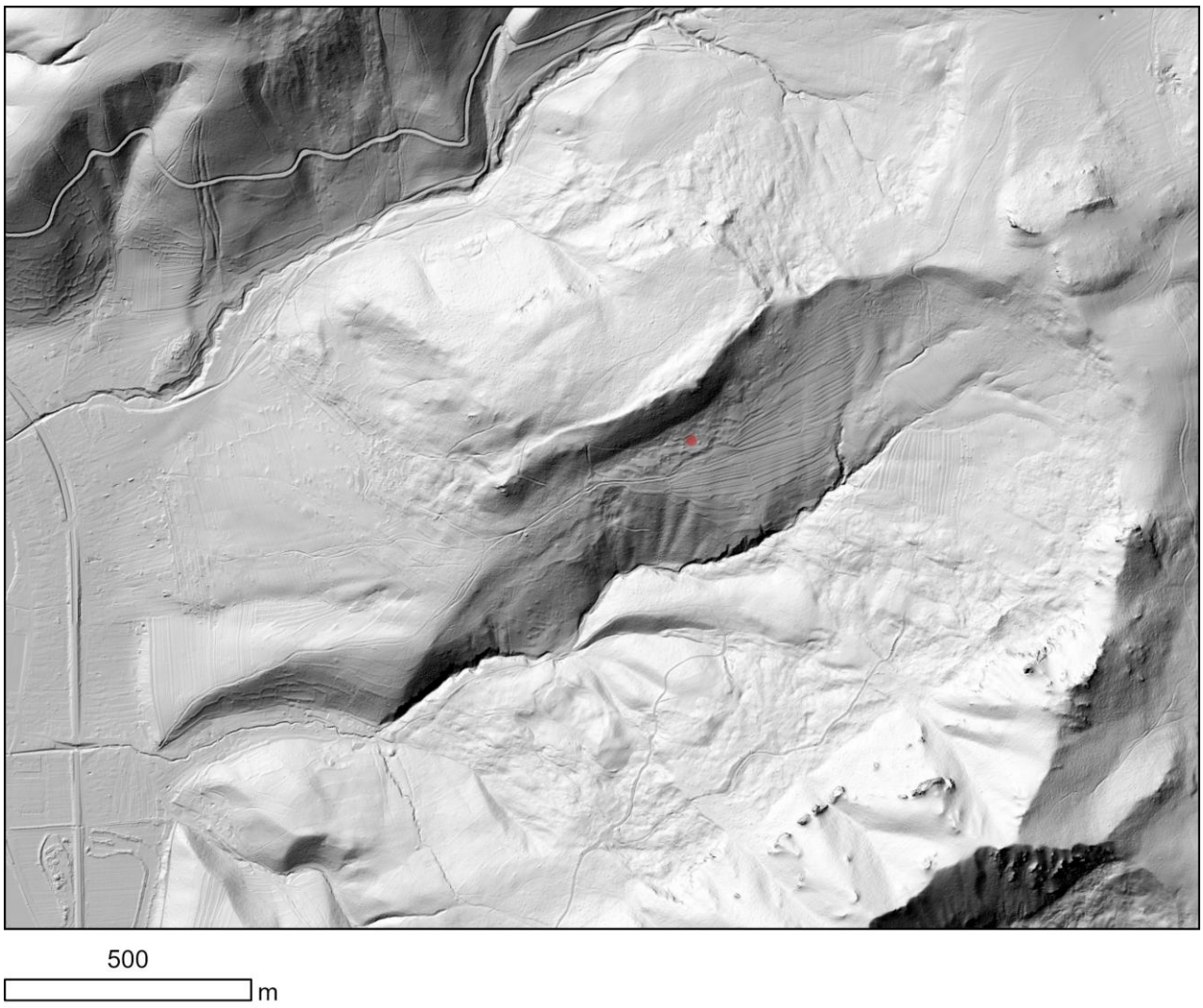
Výskumný test bol realizovaný pre zosuvné územia nachádzajúce sa približne 12 – 13 km severozápadne od Ružomberka. Analyzovaná bola aktivita troch zosuvných oblastí. Dve z nich sa nachádzajú severne od obcí Fedorov a Stankovany. Obe zosuvné zóny sú na slovenskej mape zosuvov označené ako stabilné, ale potenciálne aktívne územia (čierna šrafúra na oranžovom podklade) (Obr. 1). Južne od uvedených obcí sa nachádza tretia zosuvná zóna. Ide o zosuv, ktorý je

na slovenskej mape zosuvov klasifikovaný ako potenciálne aktívny (ružová šrafúra na oranžovom podklade) (Obr. 1). Všetky analyzované zosuvy sa nachádzajú v blízkosti doliny Revúcej, ktorá je prítokom Váhu, pričom od riečneho údolia sú vzdialené približne 1 km. Predstavujú potenciálne ohrozenie pre menšie sídla nachádzajúce sa v ich okolí, predovšetkým pre obce Stankovany a Fedorov. Na digitálnom modeli terénu sú zreteľne viditeľné svahové deformácie, ktoré potvrdzujú výskyt zosuvných procesov v skúmanom území (Obr. 2). Tieto deformácie sa prejavujú prítomnosťou menších vyvýšenín a depresií reliéfu.

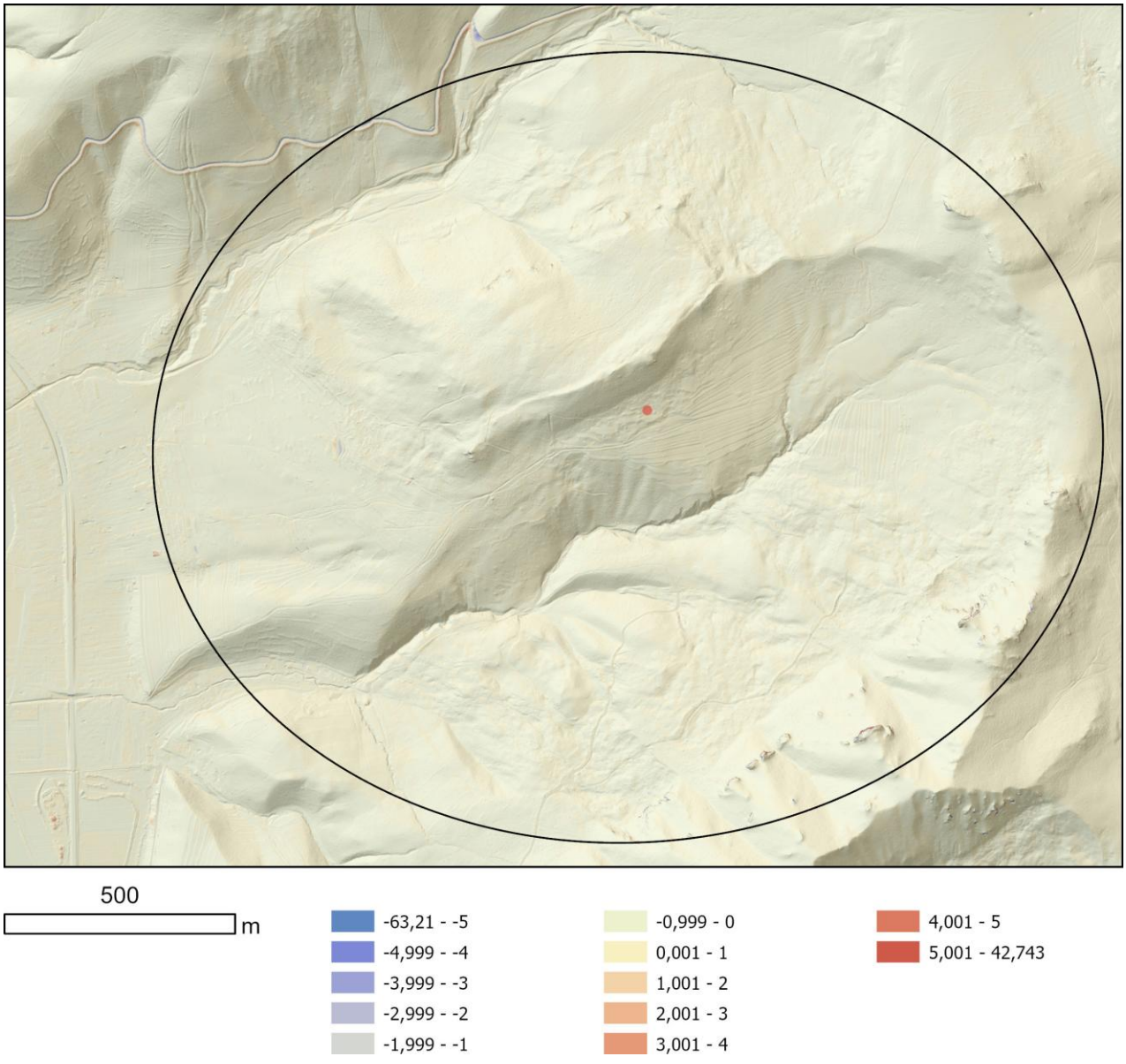
S cieľom podrobne identifikovať zmeny prebiehajúce v morfológii analyzovaného územia bola vykonaná porovnávacia analýza digitálnych modelov terénu (DMT) vytvorených na základe údajov získaných pomocou technológie LiDAR (Light Detection and Ranging). V rámci výskumu boli použité dva súbory výškových údajov – najstarší dostupný model terénu a najnovší model reprezentujúci stav územia v roku 2024. Porovnanie oboch modelov umožnilo vytvorenie diferenčného modelu terénu, ktorý kvantitatívne vyjadruje zmeny reliéfu povrchu. Vysoká výšková presnosť a jemné priestorové rozlíšenie údajov LiDAR umožnili identifikovať aj veľmi malé lokálne deformácie povrchu, ktoré by mohli indikovať aktivitu zosuvných procesov. Výsledky získané z diferenčného modelu boli následne porovnané s modelom reliéfu terénu pre rok 2024, taktiež vytvoreným na základe údajov LiDAR, čo významne uľahčilo interpretáciu priestorového rozloženia zistených zmien. Analýza priestorového rozmiestnenia rozdielových hodnôt umožnila identifikovať oblasti s najvyššou intenzitou zmien povrchu terénu. Vykonané výpočty zároveň poskytli informácie o tempe prebiehajúcich deformácií a smeroch pohybu zemných hmôt v jednotlivých častiach skúmaného územia. Na základe získaných výsledkov bolo možné formulovať závery týkajúce sa dynamiky zosuvných procesov a charakteru prebiehajúcich svahových pohybov.



Obr. 1. Lokalizácia zosuvov, pre ktoré bola vykonaná analýza. Zosuvy sa nachádzajú približne 12 – 13 km severozápadne od Ružomberka.



Obr. 2. Digitálny model terénu vytvorený na základe údajov LiDAR znázorňujúci reliéf územia v rámci zosuvnej formy, pre ktorú bol vykonaný výskumný test.



Obrázok 3. Digitálny model terénu a diferenčný model získaný na základe údajov LiDAR, znázorňujúci zmeny reliéfu v rámci zosuvu pôdy, na ktorom bol vykonaný výskumný test.

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

Analýza modelu terénu na základe údajov LiDAR

Analýza vykonaná na základe diferenčného modelu terénu nepreukázala známky súčasnej aktivity skúmaných zosuvných území. Na vytvorenom diferenčnom modeli neboli prakticky identifikované žiadne zóny, v ktorých by dochádzalo k významným morfologickým zmenám reliéfu naznačujúcim presuny horninových hmôt alebo reaktiváciu zosuvných procesov (Obr. 3). Získané výsledky poukazujú na vysokú stabilitu analyzovaných svahov v období zahrnutom do výskumu. Tieto výsledky sú však do určitej miery v rozpore s existujúcimi mapami zosuvov pre územie Slovenska, na ktorých je časť skúmaného územia klasifikovaná ako aktívna zóna. Týka sa to najmä oblasti nachádzajúcej sa južne od obce Fedorov (Obr. 1), ktorá je podľa dostupných podkladov považovaná za jednu z najaktívnejších častí skúmaného územia. Napriek tomu analýza diferenčného modelu terénu nepreukázala prítomnosť charakteristických zmien reliéfu, ktoré by potvrdzovali súčasnú zosuvnú aktivitu. Rovnako nebol identifikovaný typický systém susediacich depresií a vyvýšených častí terénu, ktorý by naznačoval premiestňovanie horninového a zvetraného materiálu. Získané výsledky umožňujú konštatovať, že analyzované územie sa v súčasnosti vyznačuje vysokou stabilitou z hľadiska zosuvných procesov. Možno preto predpokladať, že v súčasnosti neexistuje priame zosuvné ohrozenie spojené s možnou reaktiváciou skúmaných zosuvov. Absencia prejavov aktivity môže naznačovať skutočnú stabilizáciu svahov alebo dočasné utlmenie zosuvných procesov.

Rozdiely medzi výsledkami získanými z diferenčného modelu terénu a údajmi uvedenými v národných databázach zosuvov môžu byť spôsobené viacerými faktormi. Jedným z nich môžu byť chyby vznikajúce pri spracovaní mračna bodov LiDAR do podoby digitálneho modelu terénu. Nie je tiež možné vylúčiť, že modely terénu použité na zostavenie diferenčného modelu boli vytvorené s využitím odlišných parametrov spracovania alebo sa vyznačovali rozdielnou priestorovou a výškovou presnosťou. V takom prípade mohlo ich priame porovnanie viesť k obmedzeniu spoľahlivosti získaných výsledkov. Je potrebné zdôrazniť, že prípadné chyby vyplývajúce z kvality vstupných údajov alebo zo spôsobu ich predchádzajúceho spracovania nie sú závislé od spracovateľa tejto štúdie. Vykonané analýzy boli realizované v súlade so súčasným stavom poznania a s využitím dostupných priestorových údajov. Získané výsledky preto predstavujú odraz informácií obsiahnutých v sprístupnených podkladových materiáloch a môžu slúžiť ako východisko pre podrobnejšie monitorovacie a výskumné práce v budúcnosti.

3. Závery z vykonaných výskumov vo forme spracovanej správy obsahujúcej podrobné analýzy spolu s odhadom rizika vyskytujúceho sa na skúmanom území (zosuvného, povodňového alebo súvisiaceho so znečistením ovzdušia v závislosti od typu výskumného testu)

Analýza diferenčného modelu terénu nepreukázala známky súčasnej aktivity skúmaných zosuvov. Na vytvorenom modeli neboli identifikované významné morfologické zmeny, ktoré by naznačovali premiestňovanie zemných hmôt alebo reaktiváciu zosuvných procesov. Výsledky poukazujú na vysokú stabilitu analyzovaných svahov v sledovanom období. Zároveň sú však čiastočne v rozpore s existujúcimi mapami zosuvov Slovenska, na ktorých je časť skúmaného územia klasifikovaná ako aktívna. Týka sa to najmä oblasti nachádzajúcej sa južne od obce Fedorov, ktorá je považovaná za jednu z najaktívnejších častí skúmaného územia. Napriek tomu analýza nepreukázala zmeny reliéfu potvrdzujúce súčasnú zosuvnú aktivitu ani typické usporiadanie depresií a vyvýšených častí terénu.

Získané výsledky umožňujú konštatovať, že analyzované územie je v súčasnosti stabilné a neexistuje priame riziko reaktivácie zosuvov. Rozdiely medzi výsledkami analýz a existujúcimi databázami môžu súvisieť s chybami pri spracovaní mračna bodov LiDAR alebo s rozdielnou kvalitou použitých modelov terénu. Nemožno vylúčiť, že použité modely sa vyznačovali odlišnou priestorovou a výškovou presnosťou, čo mohlo ovplyvniť spoľahlivosť porovnania. Prípadné obmedzenia vyplývajúce z kvality vstupných údajov nie sú závislé od spracovateľa štúdie a získané výsledky môžu slúžiť ako podklad pre ďalšie monitorovacie výskumy.

Katowice, 19.05.2026

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

dr hab. Jerzy Cabała