

# MAPOVÁNÍ SESUVNÉHO ÚZEMÍ POMOCÍ METOD PROVÁDĚNÝCH Z DRONU

**Ing. Daniel Turanský; RNDr. Tomáš Štor, Ph.D.**  
Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra geotechniky

## Landslide mapping using drone-based methods

The article focuses on the possibilities of landslide mapping using photogrammetric and lidar measurements from a drone. The measurements are then evaluated and compared with conventional methods.

**Klíčová slova:** mapování území, sesuvy, fotogrammetrie, LiDAR, dron

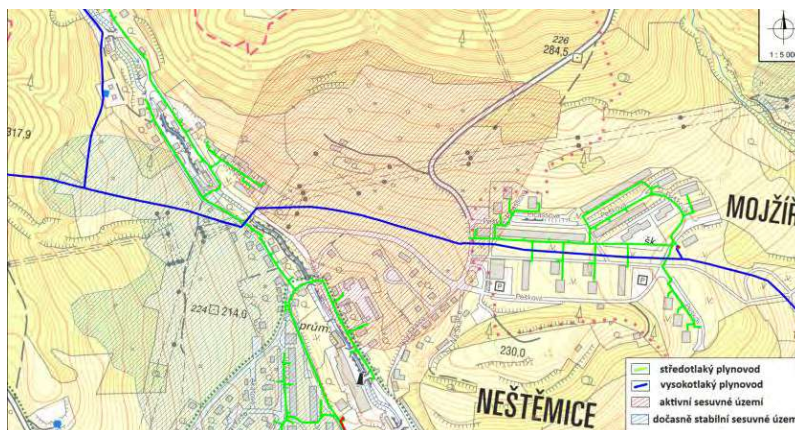
## 1. ÚVOD

V posledních letech došlo ke zlepšení dostupnosti nástrojů, které lze využít pro mapování území z výšky. Ať už se bavíme o dronech nebo o zařízeních, které se na ně připevňují a následně jsou využity pro samotné měření. V těchto případech máme na mysli nejčastěji speciální kamery, popř. laserové scannery (tzv. LiDARy). Zatímco ještě před několika lety byl mezi zařízeními, které byly schopné provádět kvalitní výškové mapování, relativně malý výběr a jejich cena dosahovala vysokých částek i v řádech milionů korun, v poslední době vidíme výrazné zlepšení – kvalitní dron s kamerou nebo LiDARem, kterým lze bez problému mapovat rozsáhlé území, lze sehnat i za desetitisíce korun. Kvalita současných levnějších zařízení se pak bez problémů vyrovná kvalitě výrazně dražších starších dronů. Současně také stoupá nabídka soukromých firem, které jsou schopné za relativně nízké náklady mapování území provést. Jedna z hlavních výhod výškového mapování je rychlé pokrytí rozsáhlého území. Jako pilotní projekt pro vyzkoušení nových možností moderních přístrojů byla vybrána lokalita v údolí řeky Labe na východním okraji Ústí nad Labem v obci Neštětice. Jedná se o aktivním sesuvné území podle registru sesuvů v ČGS – geofondu (dle ČGS [1]), s potenciálním rizikem ohrožení místní komunikace a plynovodního potrubí vedoucího přímo přes sesuvné území.

## 2. GEOMORFOLOGICKÝ A GEOLOGICKÝ POPIS ÚZEMÍ

Zájmové území se nachází na jihovýchodních svazích údolí řeky Labe, které zde vytvořilo během období pleistocénu hluboký a široký kaňon (např. Kalvoda a Zvelebil 1983). V důsledku říční eroze došlo k porušení stability jílovitých zvětralín, které vznikly zvětráváním převážně křídových sedimentů, terciérních vulkanitů a mladších kvartérních eolických sedimentů a vzniku rozlehlých sesuvných území. Jílovitý charakter výplně těchto sesuvů je náchylný ke vzniku dalších svahových pohybů. V přípovrchové vrstvě nyní skutečně dochází k častým svahovým deformacím, které ve studovaném území dokonce ohrožují místní komunikaci a také plynovodní potrubí vysokotlakého plynovodu, který vede přímo prostředkem sesuvného území. V širším okolí bylo v posledních desetiletích pozorováno mnoho dílčích svahových pohybů, a to rychlých náhlých sesuvů i případů pomalého ploužení. Takový pomalý pohyb již několik desítek let tlačí na místní komunikaci, která je hlavní spojnici mezi Neštěticemi a panelovým sídlištěm Skalka, postaveným v dalším sesuvném území. Ačkoli byla výplň čela povrchového sesuvu v minulosti již jednou odtěžena, stále zde způsobuje další problémy.

Dle ČGS má celková aktivní plocha sesuvného území plochu cca 221 tisíc m<sup>2</sup>.



Obr. 1: Zájmové území s vyznačením sesuvů a ohrožených plynovodů

### 3. VÝŠKOVÉ MAPOVÁNÍ TERÉNU

Zaměření území bylo provedeno dronem DJI Matrice 300 RTK vybaveného kamerou DJI Zenmuse P1 a lidarem DJI Zenmuse L1. Vybavení pochází z roku 2021 a pořizovací cena činila cca 500 tis Kč. Podobných výsledků lze v případě fotogrammetrie v současné době dosáhnout s vybavením za cca 80-100 tis Kč.



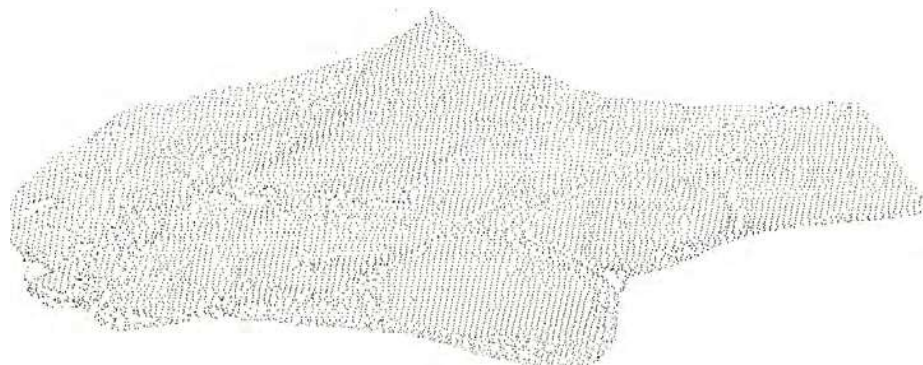
Obr. 2: Dron DJI M300 RTK s kamerou pro fotogrammetrické měření

Aby bylo možné vyhodnotit jednotlivá data, bylo potřeba provést s časovým odstupem více měření, ty zpracovat a následně porovnat. Celkově byla provedena čtyři měření, a to konkrétně v červenci 2021, prosinci 2021, dubnu 2022 a únoru 2023. Všechna měření byla provedena pomocí fotogrammetrie, měření v prosinci 2021 zároveň i pomocí laserového scanneru (LiDARu). Výsledkem zaměření jsou tzv. mračna bodů, která jsou velmi podrobná a obsahují desítky milionů bodů.



Obr. 3: Původní mračno bodů (cca 90 milionů bodů)

Takto podrobná data je třeba dále zpracovat. Nejprve je třeba eliminovat body, které nerepresentují samotný terén, ať už se jedná o budovy či vegetaci (stromy, keře). Dále je třeba redukovat celkový počet bodů, aby bylo vůbec možné vygenerovat digitální model terénu, na kterém lze provést jednotlivá porovnání. Zpracování mračen bodů bylo provedeno v programu „GEO5 Mračno bodů“ od společnosti FINE. Program obsahuje speciální algoritmy, které umožňují jednoduché odstranění vegetace, a zároveň je možné celé mračno libovolně zredukovat. Mračna byla zpracována tak, aby obsahovala cca 7000 bodů – tento počet již umožnil vytvoření digitálního modelu terénu včetně podloží.



Obr. 4: Redukované mračno bodů (cca 7000 bodů)

Na základě dat z každého měření byly sestaveny čtyři digitální modely terénu. Pro jejich vytvoření byl použit program „GEO5 Stratigrafie“, který umožňuje počítat objemové změny mezi jednotlivými modely a také detailně sledovat rozdíly zaměřených bodů. Abychom eliminovaly nepřesnosti na krajích mračna, rozhodli jsme se sledované území „oříznout“ na velikost přibližně 60 tis. m<sup>2</sup>, kde byl největší předpoklad potenciálních změn.



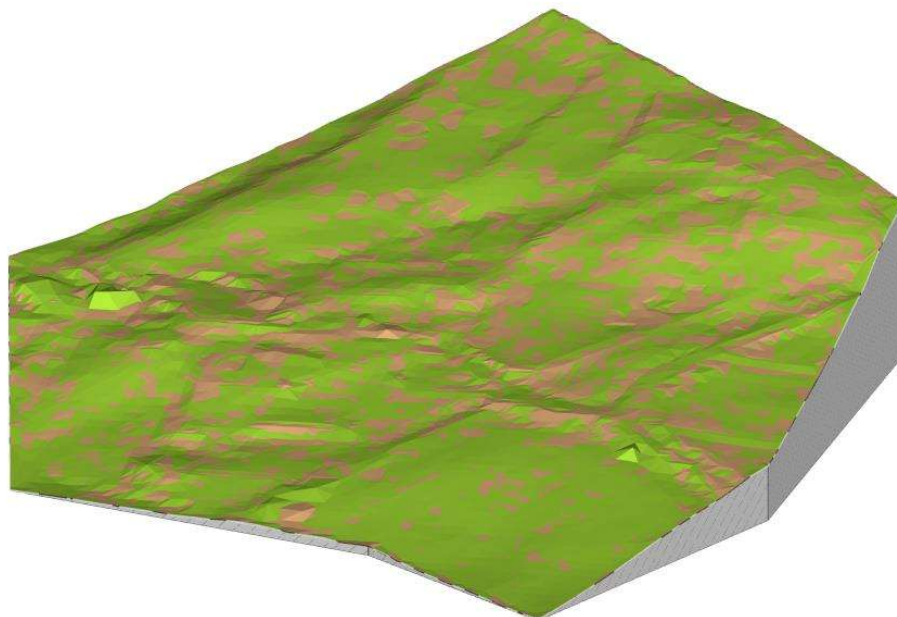
Obr. 5: Sledované území

#### 4. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Původní myšlenkou bylo sledování objemových změn na celém území – pokud by se objevila část modelu, kde došlo ve spodní části k nárůstu zemního objemu a v horní části k jeho ztrátě,



mohlo by se jednat o potenciální znak sesouvání. Mezi jednotlivými nálety byly tedy provedeny výpočty změn terénu (tzv. kubatury).



*Obr. 6: Porovnání terénu z 12/2021 a 4/2022 (původní terén hnědý, nový zelený)*

Po výpočtech změn kubatur mezi jednotlivými modely se ukázala hlavní nevýhoda této metody. Mezi jednotlivými měřeními docházelo ke změně vegetačního krytu. Pokud na takto rozsáhlém území povyroste tráva byt' jen o pár centimetrů, celková změna objemu je obrovská – v řádech tisíců kubíků.

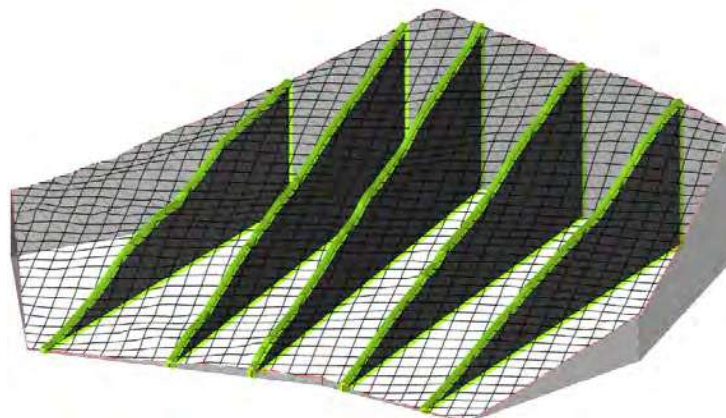


*Obr. 7: Změna vegetace mezi prvním a druhým měřením (červenec -> prosinec 2021)*

Tento vliv nelze jednoduše eliminovat. Částečně by mohlo pomoci přesné dodržení termínu náletu v ročních intervalech, ale výška vegetace by se stejně lišila v závislosti na klimatických výkyvech. Větší vegetaci jako stromy a keře lze většinou relativně efektivně odstranit při úpravách mračen bodů v různých programech. Pokud se však jedná o souvislý travní porost, jednoduchý způsob neexistuje. Obecně lze říci, že do určité míry si s tímto dokáže poradit laserový scanner, tzv. LiDAR – na rozdíl od fotogrammetrie dokáže paprsky proniknout i skrz řidší vegetaci. Ale v tomto případě hustého porostu má i tento přístup omezené výsledky.

Proto byla jako další možnost pro porovnání terénů využita metoda sledující tzv. výsledné řezy. V programu Stratigrafie je v modelu možné vytvořit libovolné množství těchto řezů, jejichž součástí

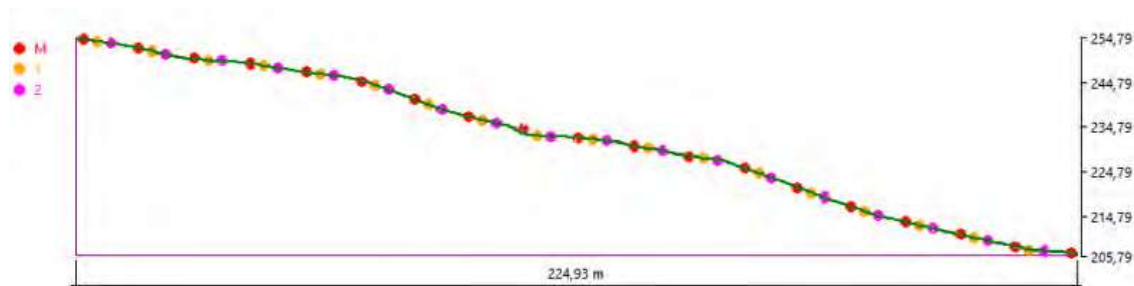
mohou být i terény ze všech měření současně. Tyto řezy lze následně detailně porovnat v CAD programech, popř. je přímo exportovat do ostatních výpočetních programů, např. pro výpočet stability svahu.



Obr. 8: Výsledné řezy v 3D modelu

Abychom mohli porovnávat jednotlivé řezy, museli jsme mít nejprve představu o možné přesnosti měření. Proto jsme se zaměřili na část modelu, kde jsme nepředpokládali žádné změny – v našem případě jsme vybrali střešní hřebeny jednotlivých budov. Výsledkem bylo, že přesnost bodů se mezi jednotlivými měřeními pohybovala přibližně do 5 centimetrů, což je přibližně stejná hodnota jako u standardního geodetického měření pomocí GPS.

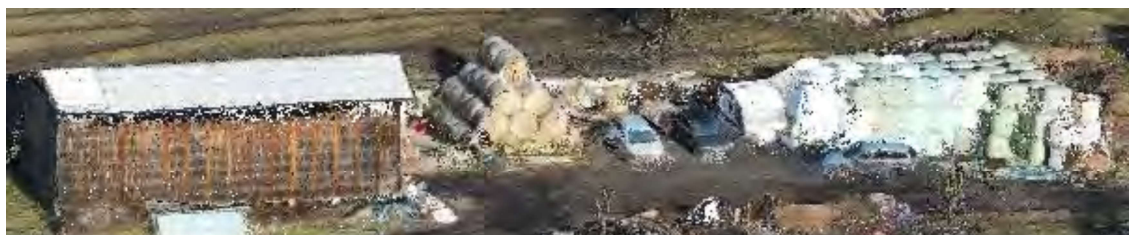
Následně jsme již mohli přistoupit k porovnávání jednotlivých řezů.



Obr. 9: Detail porovnání terénů pomocí výsledného řezu

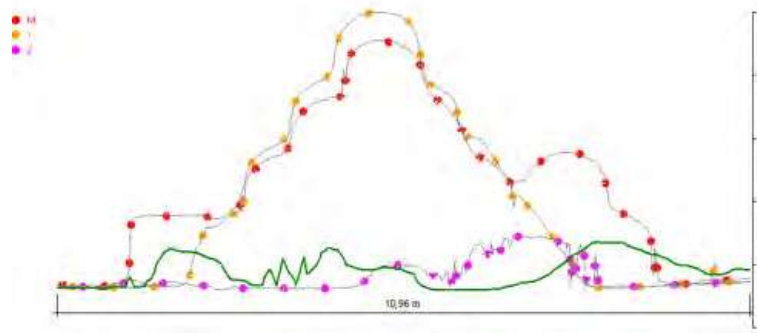
Celkově bylo vytvořeno a porovnáno 30 výsledných řezů, které byly modelem vedeny v různých směrech a délkách. Na žádném ze zkoumaných řezů se ve sledovaném období neprojevíly potenciální znaky sesouvání. Rozdíly mezi jednotlivými body byly maximálně v řádu nižších centimetrů, které mohly být způsobeny vegetačními změnami, případně samotnou přesností měření.

Abychom byli schopni ověřit možnosti porovnání, vybrali jsme na území místo, kde s jistotou došlo k přesunu materiálu – naše volba padla na sklad sena vedle zemědělské budovy.



Obr. 10: Sklad sena – místo se změnou objemu mezi jednotlivými měřeními

Jednoduchými kroky bylo možné spočítat změněné objemy mezi jednotlivými časovými obdobími a také porovnat změny terénu pomocí výsledných řezů.



Obr. 11: Sklad sena – výsledný řez

## 5. ZÁVĚR

Ačkoli během téměř dvouletého sledování nedošlo ke vzniku nového významného svahového pohybu na studované lokalitě a pomalé pohyby v řádu několika cm za rok byly pod rozlišovací schopnosti našich přístrojů, dokázali jsme si vyzkoušet a osvojit nové přístupy v používání metod fotogrammetrie a LidARu. Mapování dané lokality nevedlo k žádným výsledkům, které by naznačovaly potenciální sesuvná místa, což vede k jednoduchému závěru – během sledovaného roku a půl k žádným změnám nedošlo. Cílem článku je tedy přiblížit možnosti leteckého mapování potřebám dalších výzkumníků, kteří se zajímají o svahové pohyby, morfologii terénu a změnu povrchu terénu obecně. Jedná se o efektivní metodu, která umožňuje během krátkého času sledovat rozsáhlé území. Výše popsany přístup dokáže za velmi nízké náklady rozpoznat náhlé morfologické změny i malých sesuvů a změn objemu terénu v rádech desítek cm až prvních metrů. Přesnost měření je pak srovnatelná s geodetickým sledováním bodů pomocí GPS. Pro sledování pomalých změn terénu typu ploužení je pro krátkodobý monitoring však nevhodná.

## 6. PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří společnosti FINE, jmenovitě Ing. Jiřímu Laurinovi a Ing. Ondřeji Smržovi, za vylepšování programového vybavení pro zpracování mračen bodů na základě našich postřehů a požadavků. Dále bychom rádi poděkovali Ondřeji Laurinovi ze společnosti DRONMAP za provedení měření ve zkoumaném území a poskytnutí veškerého potřebného vybavení.

## 7. LITERATURA

[1] ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Svahové deformace* [online]. ČGS. [cit. 2023-09-20]. Dostupné z: [https://mapy.geology.cz/svahove\\_nestability/](https://mapy.geology.cz/svahove_nestability/)

[2] Kalvoda, J., Zvelebil, J. (1983): Dynamika a typy porušování svahů při vývoji údolí Labe v Děčínské vrchovině, *Acta montana*, 63, 5-74, Praha;

Titul, jméno, příjmení autora: Ing. Daniel Turanský

Pracoviště: Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra geotechniky, Thákurova 7, Praha 6, 166 29

E-mail adresa: [daniel.turansky@fsv.cvut.cz](mailto:daniel.turansky@fsv.cvut.cz)

Titul, jméno, příjmení autora: RNDr. Tomáš Štor, Ph.D.

Pracoviště: Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra geotechniky, Thákurova 7, Praha 6, 166 29

E-mail adresa: [tomas.stor@fsv.cvut.cz](mailto:tomas.stor@fsv.cvut.cz)