

# DESIGN EXPERIMENTU PRO DETEKCI SESUVU SVAHU S VYUŽITÍM ESRI PRODUKTŮ

Design of Experiment for the Landslide Observation with Use of ESRI Products

Lukáš MAREK<sup>\*,1</sup>, Pavel TUČEK<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Katedra geoinformatiky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci,  
Tř. Svobody 26, 771 46 Olomouc  
[lukas.mar@seznam.cz](mailto:lukas.mar@seznam.cz)

<sup>2</sup>Katedra matematické analýzy a aplikací matematiky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci,  
Tomkova 40, 779 00 Olomouc-Hejčín  
[pavel.tucek@upol.cz](mailto:pavel.tucek@upol.cz)

**Abstrakt.** Design experimentu neboli zkráceně DOE je účinným nástrojem k vyhledání optimální strategie nebo postupu za pomoci vhodně navržených a vyhodnocených experimentů. Hlavní oblastí využití designu experimentu bývaly tradičně průmyslové či inženýrské obory. DOE lze však účinně využít také v geovědních oborech jako je např. zeměměřičství nebo vyhodnocování krajinných procesů. Na krajinu stejně jako na průmyslové produkty působí řada faktorů, které nedokážeme ovlivnit a jejichž výstupem jsou měřitelné odezvy. Úkolem designu experimentu je najít takovou kombinaci faktorů, aby hodnota odezvy byla co nejpříznivější. Experimentální prostor je potřeba účelně osázet body tak, aby jejich vyhodnocování bylo co nejefektivnější, tzn. aby bylo vyhodnocováno vhodné množství experimentálních bodů a jejich parametrů. Příspěvek se pokouší naznačit možnosti využití designu experimentu v kombinaci se softwarem ArcGIS 9.x a vytvořit tak nástroj k řešení optimalizace experimentu v prostředí ESRI produktů. Zpracován je návrh metodiky měření svahových pohybů podle teorie designu experimentu jako návod ke zjištění možnosti detekce aktivního sesuvu na základě této statistické teorie. Analýza sesuvu půdy vyžaduje pečlivé zpracování získaných měření. Různé teoretické přístupy a rovněž měřicí techniky poskytují různorodé výstupy, které je nutno zpracovat a statisticky prokázat, zda se jedná při posuzování daného svahu o sesuv nebo nepřesnost měření. Právě zmiňovaná přesnost je pro toto posouzení nejtěžnější otázkou. Vytvořit design experimentu, na základě kterého bude dosaženo požadované přesnosti je tudíž podstatné pro kvalitní analýzu dat. Následný postprocessing dat pomocí ESRI produktů poskytuje signifikantní odpovědi na stabilitu posuzovaného svahu.

**Klíčová slova:** Sesuvy půdy, Digitální modely reliéfu (DEM), Design experimentu (DOE), ESRI

**Abstrakt.** Design of experiments (DOE) is an effective tool for searching optimal strategy or procedure. It is based on properly designed and interpreted experiments. Main field of using DOE traditionally used to be industry and engineering. But DOE can be also used in geoscience e.g. in surveying or evaluation of landscape. Landscape as well as industrial products are influenced by plenty of factors and some of which man can't affect. Measurable outputs of these factors are called responses. Main deal of DOE is to find combination of factors when response is most propitious. It is necessary to place measuring points fittingly with a view to effective evaluation. That means right number of points and points characteristics. The paper tries to show possibilities of using DOE in combination with ESRI ArcGIS 9.x software with help of programming language Python. Design of measuring procedure according to DOE is processed with context of landslides. Simultaneously is solved situation of real landslide, which is used as experimental field. There are placed experimental point that are regularly measured. Collected datasets are evaluated and significantly visualized and DRM of landslide was created.

**Keywords:** Landslide, DEM, Design of experiment (DOE), ESRI

## 1 Sesuvy

Sesuvy představují na územích tvořených flyšovými horninami závažné přírodní riziko a ani nezáleží zda zrovna ohrožují lidská obydlí nebo ne. Stejně tak jako mohou být poškozeny domy, mohou být narušeny i komunikace, infrastruktura a další objekty stojící v transportní cestě sesuvu. Narušena je vždy struktura krajiny a terénu. Sesouvání svahů je pouze jedním z druhů svahových pohybů, dalšími druhy mohou být v podmínkách naší země např. stékání, říčení a ploužení.

Ke svahovým pohybům dochází následkem porušení rovnováhy hmot na svahu, a to v okamžiku, kdy převažují účinky aktivních sil (gravitace, hydrodynamický tlak, ...) nad silami pasivními, které se snaží pohybu zabránit (pevnost hornin, tření). Výsledkem těchto sil jsou svahové deformace.

Jedním ze základních předpokladů svahových pohybů jsou kromě umělých zásahů do přirozeného vývoje svahu přírodní podmínky, dané geologickými, klimatickými, hydrogeologickými a geomorfologickými poměry. Tyto podmínky mohou pohyb hmot po svahu podporovat nebo znemožňovat, a proto je lze označit jako příznivé nebo nepříznivé. Mezi faktory podmiňující svahové pohyby a deformace řadí změna sklonu a výšky svahu, změna obsahu vody, působení podzemní vody, činnost mrazu, zvětvávání hornin, změny vegetačního pokryvu, přitížení násypy, haldami, otřesy a vibrace. Tyto faktory pak dále mohou být klasifikovány podle vzniku na přírodní a antropogenní.

Sesouváním se rozumí krátkodobý rychlý pohyb. Horninové hmoty se pohybují rychlostí řádově asi v metrech za den podél jedné nebo více smykových ploch. Podle tvaru smykové plochy lze sesuvy rozdělit na rotační s válcovou smykovou plochou, planární s předurčenou smykovou plochu rovinného tvaru danou rozhraním mezi podložím a pokryvnými útvary, tektonickými plochami nebo mezivrstevními plochami. Složenou smykovou plochou se vyznačují sesuvy rotačně – planární, translační sesuvy se rozvíjejí na horizontálně vytvořené smykové ploše.

Sesuvy lze dělit také podle plošného tvaru. Plošné sesuvy jsou typické tím, že jejich délka a šířka je přibližně stejná, rozměr ani hloubka nejsou příliš velké. Dochází k nim na plochých svazích. Délka proudových sesuvů několiknásobně přesahuje šířku. Naproti tomu u frontálních sesuvů šířka převyšuje délku. Objevují se u nárazových břehů řek vlivem boční eroze.

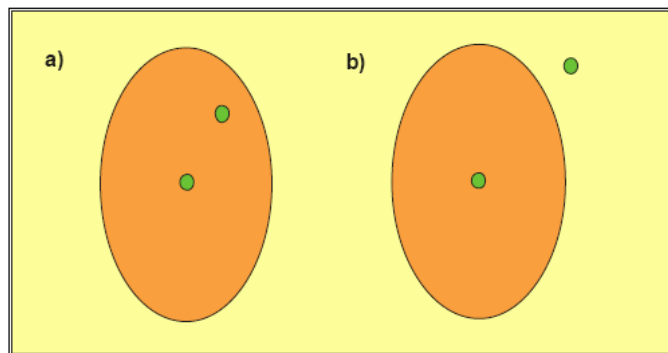
Dalším kritériem rozdělení sesuvů je aktivita. Pro aktivní sesuvy je charakteristický intenzivně rozčleněný povrch se stopami čerstvých pohybů. Potenciální uklidněné sesuvy mají nerovný povrch, čerstvé tvary chybí. K jejich reaktivaci může dojít například vlivem eroze, srážek nebo i antropogenním zásahem. Povrch stabilizovaných sesuvů je většinou zarovnaný. Jejich identifikace bývá složitá.



Obr. 1. Ukázka sesuvu

## 2 Detekce posunu

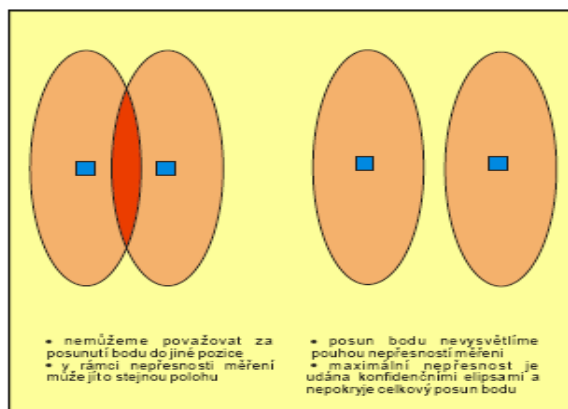
Existuje celá řada spolehlivých postupů, jak jednoznačně prokázat deformace svahu, ale každá taková metoda předpokládá přesná data při vstupu a jejich vyhodnocení, které je založeno na povolené normě posunu měřeného bodu. Navržený postup vychází z analýzy dat, která jsou naměřena a o jejichž přesnosti nelze nic tvrdit. Výstupem je pak tvrzení, které řekne, že daná data mohou vykazovat podezření na posun nebo, že daná data jsou v rámci tolerance obrazem stabilního bodu viz. obrázek 2.



Obr. 2. Případy měření bodu a) obraz stabilního bodu b) podezření na posun

V první fázi jde tudíž o přesné vyhodnocení dat, co do jejich přesnosti. První věc, kterou člověk může na daných datech ukázat jsou podezřelá měření, která leží mimo oblast pravděpodobných dat. Tímto se rozumí, že většina měření, pokud se opakují často budou konvergovat ke střední hodnotě a za předpokladu nulové hypotézy, tedy při faktu, že se svah nepohybuje, jsou všechna data ležící mimo tuto oblast považována buď za posun nebo chybná měření. V tomto případě jde tedy o to, aby bylo prošetřeno, kdy bylo provedeno podezřelé měření a jestli by mohlo z časového hlediska vykazovat o posunu svahu. V případě, že měření bylo provedeno mezi dvěma měřeními, která jinak právě odpovídají průměru, tak se nejspíš jedná o body chybně měřené.

Po prověření správnosti pořízených dat se dále bude ověřovat, zda-li již korektní data vykazují známky posunu, či nikoliv. Tato metoda je založena na sestrojení konfidenčních elipsoidů kolem skutečné hodnoty jako na obrázku 3.



Obr. 3 Případy posunutí bodu vinou chyby měření a posunutí terénu

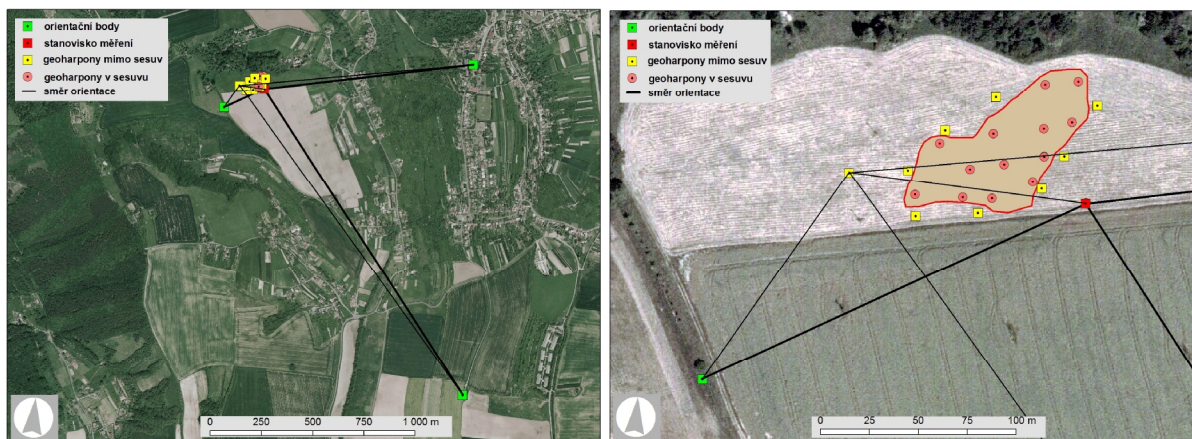
Samozřejmostí je, že ze statistického hlediska se nikdy nemůžeme pomocí měřících metod dostat ke skutečné hodnotě sledovaného bodu, ale na základě centrálních limitních vět je zřejmé, že vysoká četnost měření zajišťuje konvergenci průměru ke skutečné hodnotě. V případě, že se bod pohybuje, nedokážeme ani při častém opakování docílit zmiňované konvergence ke skutečné hodnotě. Tyto úvahy vedou tedy k sestrojení oblasti, která s určitou pravděpodobností bude pokrývat skutečnou hodnotu sledovaného parametru, tedy v našem případě polohy bodu. V trojrozměrném případě se jedná o sestrojení konfidenčních elipsoidů, ve dvojrozměrném případě o sestrojení konfidenčních elips a v jednorozměrném případě o sestrojení intervalů spolehlivosti.

Analýzu jednorozměrných parametrů provedeme na základě sledování průměru naměřených hodnot. V případě, že po vykreslení konfidenčních zón pro sledovaný bod v různých časových obdobích dojdeme k faktu, že parametry elipsy nejsou totožné a dokonce se ani nepřekrývají, pak došlo k posunu bodu.

### 3 Design Experimentu pro identifikaci sesuvu půdy

Pro identifikaci možného posunu svahu vedoucímu k jeho deformaci pomocí výše popsané metody je stěžejní přesné zaměření experimentálních bodů na sledovaném území. Pro účely konstrukce designu bylo na sledovaném svahu rozmístěno 23 geoharponů, které sloužily pro následné výpočty. Použití různých měřících

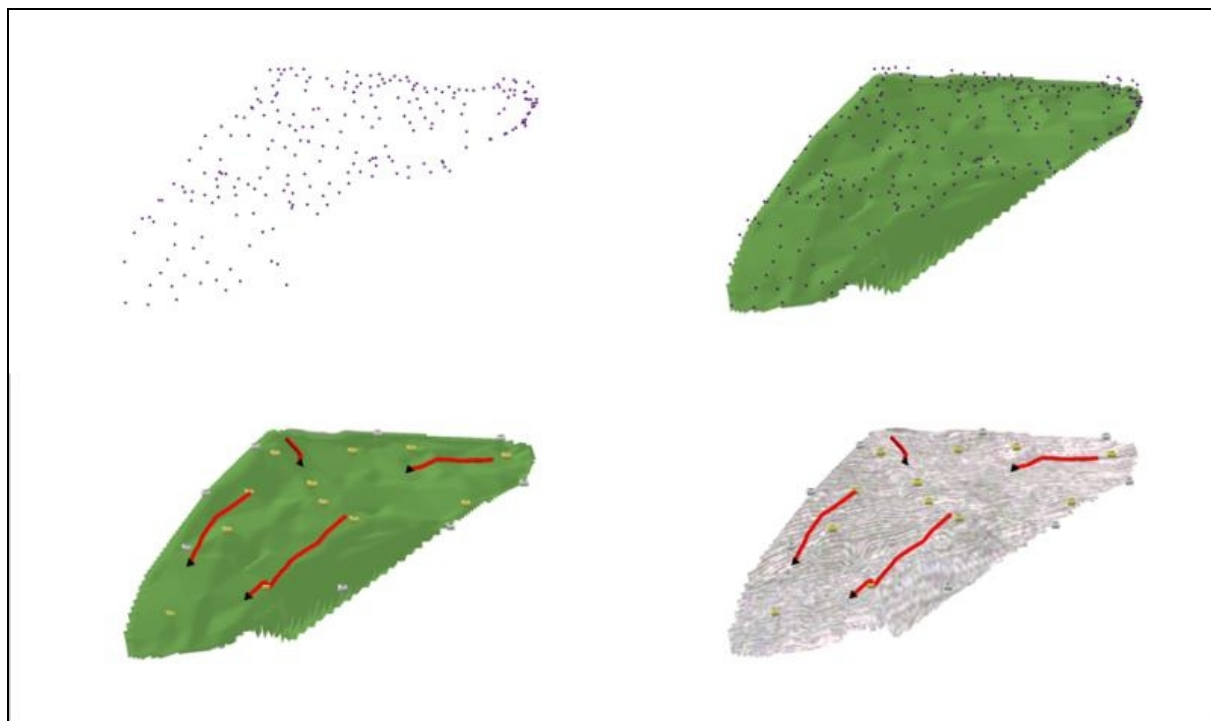
metod je v tomto případě pouze ilustrativní, neboť vždy obdržíme výsledky s větší či menší nejistotou. Úkolem takového designu experimentu je tedy vytvořit takový návrh, který bude při použití dané měřicí metody minimalizovat chybu měření. V našem případě jsme se zaměřili na tzv. D-optimální návrh experimentu, jehož předností je konstrukce návrhu experimentu s minimálním konfidenčním elipsoidem odhadovaných parametrů. Výsledkem takového designu je poté určení četnosti měření jednotlivých bodů za účelem eliminování možné nepřesnosti vedoucí k chybnému usuzování o potenciálních pohybech svahu. Naprogramování výpočtů proběhlo v jazyce Python a verzi 2.5.2.



Obr. 4 Rozmístění experimentálních bodů

## 4 Výsledky

Výsledkem zkoumaného postupu je popis měřicí metody za použití přístroje Trimble 5503 DR, která při dodržování zásad navržených pomocí D-optimálního designu experimentu dává výsledky s minimální chybou, které lze dále analyzovat pomocí elipsoidů získaných z naměřených dat v jednotlivých etapách měření.



Obr. 5 Digitální model reliéfu

## 5 Reference

- [1] Kubáček, L., Kubáčková, L.: *Statistika a metrologie*. Vydavatelství Univerzity Palackého, 2000, Olomouc.
- [2] Pázman, A.: *Základy optimalizácie experimentu*, Veda, 1980, Bratislava.
- [3] Záruba, Q., Mencl, V.: *Sesuvy a zabezpečování svahů*. Academia, 1987, Praha, .
- [4] Geologie - Výukové multimediální texty VŠB. Dostupný z WWW:  
<[http://geologie.vsb.cz/geologie/KAPITOLY/8\\_EXOGENN%C3%8D\\_PROCESY/8\\_exo\\_geod\\_procesy.htm](http://geologie.vsb.cz/geologie/KAPITOLY/8_EXOGENN%C3%8D_PROCESY/8_exo_geod_procesy.htm)>