

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

Karel MACKŮ

**GEOSTATISTICKÉ VYHODNOCENÍ
DESETILETÉHO POZOROVÁNÍ SESUVU
„HALENKOVICE“**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Pavel Tuček, PhD.

Olomouc 2013

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci bakalářského studia oboru Geoinformatika a geografie vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Pavla Tučka, PhD.

Všechny použité materiály a zdroje jsou citovány s ohledem na vědeckou etiku, autorská práva a zákony na ochranu duševního vlastnictví.

Všechna poskytnutá i vytvořená digitální data nebudu bez souhlasu školy poskytovat.

V Olomouci 22. dubna 2013

.....

podpis

Děkuji vedoucímu práce Mgr. Pavlu Tučkovi, PhD. za podněty a připomínky při vypracování práce. Dále děkuji Mgr. Lukáši Markovi za pomoc při řešení problémů a poskytnuté rady. Panu Petru Malinovi z Košíků děkuji za srážková data.

OBSAH

ÚVOD	6
1 CÍLE PRÁCE	7
2 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ	8
2.1 Postup práce	8
2.2 Použitá data	9
2.3 Použité programy	9
3 TEORETICKÁ ČÁST	10
3.1 Svahové pohyby	10
3.1.1 Sesuvy svahu	11
3.1.2 Faktory vlivu.....	12
3.1.3 Metody sledování sesuvů.....	13
3.2 Design experimentu a sesuvy svahu	14
4 LOKALITA HALENKOVICE	15
4.1 Základní charakteristika zájmového území.....	15
4.2 Geologická a geomorfologická charakteristika.....	16
4.3 Lokalita Halenkovice v diplomových pracích na KGI	17
5 SBĚR DAT	18
5.1 Dohledání geoharponů	18
5.2 Zaměření geoharponů.....	19
5.3 Zpracování naměřených hodnot	20
6 ZPRACOVÁNÍ DAT	22
6.1 Hodnocení přesnosti měření.....	22
6.1.1 Elipsy konfidenčních intervalů	22
6.1.2 Kružnice standardních vzdáleností	23
6.2 Posuny bodů	24
6.2.1 Vektor posunu.....	24
6.2.2 Změny v souřadnicích.....	26
6.3 Statistické testování souřadnic bodů	27
6.4 Meteodata	30
6.4.1 Statistická analýza srážkových dat	31
6.5 Digitální model reliéfu	32
7 VÝSLEDKY	34
7.1 Vyhodnocení souřadnic geoharponů.....	34
7.2 Komplexní hodnocení geoharponů	35
7.3 Vyhodnocení srážkových dat	36
8 DISKUZE	38

9 ZÁVĚR	41
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
SUMMARY	
PŘÍLOHY	

ÚVOD

Oblast kolem obce Halenkovice je pro výskyt přírodních jevů jako jsou například sesuvy svahu či sufoze již delší dobu sledována. Mnoho objektů nacházejících se v této krajině již bylo cílem experimentálních prací Přírodovědecké fakulty UPOL.

Vzhledem k tomu, že problematika svahových pohybů vyžaduje dlouhodobější zkoumání, je tato práce přirozeným navázáním na předchozí studium konkrétního sesuvu svahu, a má završit celé sledované období. Popisuje jeden z přístupů ke sběru dat a monitoringu sesuvu svahu, ale hlavně způsoby důkladné dlouhodobé analýzy a vyhodnocení získaných dat. Z důvodů vlivu různých veličin nelze pouze porovnat získané hodnoty souřadnic a určit, zda-li se liší, ale je nutný hlubší přístup a proniknutí do celé problematiky pomocí využití kombinace různých metod hodnocení.

Práce má za úkol ověřit tvrzení, zda-li je sesuv stále aktivní a dále prozkoumat dílčí časové úseky z hlediska aktivity na svahu. Pomocí vhodných vizualizačních metod a grafických vyjádření získaných dat podává v kombinaci s textovou zprávou komplexní informaci o vývoji na experimentálním svahu ve sledovaném období.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je statisticky zpracovat a vyhodnotit data pořízená během dlouhodobého sledování sesuvu svahu poblíž obce Halenkovice. Na svahu proběhnou dvě finální geodetické zaměření sesuvu, následovat bude zkompletování těchto dat s daty již dříve získanými a nakonec proběhne celkové statistické vyhodnocení všech těchto dat.

Součástí práce bude také vytvoření teoretické rešerše zabývající se obecnou problematikou svahových pohybů a popisem halenkovické lokality.

Kvantifikované hodnoty sesuvu ve vymezeném časovém období budou dávány do souvislosti s meteorologickými daty, konkrétně s denními srážkovými úhrny, a budou zkoumány závislosti mezi hodnotami srážek a sesuvem svahu. Srážková data budou také patřičně vizualizována.

Výsledkem práce bude sada geostatistických hodnocení datových sad pořízených v rámci dlouhodobého pozorování, dále návrh a vytvoření vhodné metody vizualizace zjištěného posunu a nakonec také grafické znázornění vývoje území ve sledovaných letech.

K bakalářské práci budou také vytvořeny internetové stránky.

2 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

2.1 Postup práce

Jako první proběhlo seznámení s lokalitou Halenkovice, která byla navštívena již v létě po zadání práce. Byl proveden předběžný průzkum svahu, jehož závěrem bylo zjištění, že z důvodu bujné vegetace, která zde narostla po tom, co svah přestal být udržován, nebude možné jednoduše vizuálně dohledat geoharpony (geodetické mezníky, pomocí kterých na svahu probíhá monitorování geodetickými metodami), a proto bude nutno využít pro hledání kombinaci GPS a detektoru kovu.

Dalším krokem bylo shromažďování všech dostupných informací a dat o lokalitě. Jednalo se především o získání souřadnic geoharponů z předešlých měření a také meteorologických srážkových dat naměřených dříve automatickými stanicemi v Halenkovicích. Jelikož veškerý monitoring v Halenkovicích skončil v roce 2010, bylo nutné nalézt alternativu pro roky 2011-2013. Jako nejvhodnější řešení se jevíly data z amatérské meteorologické stanice pana Petra Maliny z nedaleké obce Košíky.

V říjnu roku 2012 proběhla další návštěva svahu, tentokrát za účelem dohledání geoharponů pomocí detektoru kovu, a o týden později proběhlo jejich zaměření totální stanicí. Vše je detailněji popsáno v kapitole Sběr dat.

Zároveň byla během podzimu zpracovávána teoretická rešerše zabývající se obecnou problematikou svahových pohybů. Rešerše zahrnuje také detailnější studium a charakteristiku lokality Halenkovice a seznámení s diplomovými pracemi, které se s ní a se sledováním konkrétního sesuvu svahu pojí.

Následovalo zpracování získaných dat - to probíhalo ve dvou úrovních, a to jako zpracování meteorologických dat a zpracování dat týkajících se geoharponů.

Srážková data bylo nutno upravit do podoby logicky dělené časové řady, která pak mohla být vhodně vizualizována a použita pro hledání souvislostí mezi sesuvem svahu a množstvím srážek. Byly vytvořeny grafy porovnávající srážkové úhrny jednotlivých let s průměrem z let 2001-2005, tedy před vznikem sesuvu.

Souřadnice geoharponů byly zpracovány více způsoby. Základem byla vizualizace v podobě bodové vrstvy všech měřených bodů v ArcGIS, která sloužila jako základ pro hodnocení přesnosti měření metodou konfidenčních intervalů. Dále byly použity datasey průměrných hodnot z každého měření, ze kterých byly vytvořeny grafy velikosti posunu bodu a grafy změny souřadnic. V kombinaci s grafickým vyjádřením srážek v dané oblasti bylo možno sledovat vztahy mezi těmito dvěma jevy. Nad hodnotami souřadnic byly prováděny patřičné statistické testy pro potvrzení/zamítnutí trvajících sesuvu, a byly také vytvořeny dva digitální modely reliéfu a jejich rozdílový rastr.

2.2 Použitá data

Hlavní data použitá při práci byla dvojího zaměření. Jednalo se jednak o souřadnice geoharponů umístěných ve svahu a dále o srážková data z let 2001 až 2013.

Souřadnice geoharponů byly získány z diplomové práce Lukáše Marka z roku 2009. Ten zde provedl sérii 5 měření v intervalu let 2008 až 2009. Dalším zúčastněným na svahu byl Robert Zůvala – pro potřeby jeho bakalářské práce na téma *Analýza sesuvu svahu pomocí metody kriging* byly provedeny další dvě měření, první v březnu 2010 a druhé v dubnu 2011. Finální dvě zaměření svahu proběhly v rámci této práce, a to v říjnu 2012 a poslední v dubnu 2013. Výsledkem je datová sada souřadnic geoharponů z devíti měření v letech 2008 až 2013. Nutno podotknout, že tyto sady nezahrnují pokaždé stejné body, protože během let byly některé geoharpony zavaleny v sesuvu a nebyly již objeveny.

Kromě souřadnic geoharponů byla využita srážková data, a to z let 2001 až do dubna 2013. Pro období 2001 až 2010 byla dostupná data přímo z Halenkovic, která byla naměřena nedaleko svahu. Data z let 2001-2006 byla k dispozici z práce Jana Geletiče - *Charakteristika přírodního prostředí modelové lokality Halenkovice na základě časových řad* a data z let 2006 až 2010 byla převzata z diplomové práce Kláry Studené - *Projevy mimořádných synoptických situací v časových řadách měřených na stanici Halenkovice z let 2006-2010*. Pro zbývající časový úsek byla použita data z nedaleké amatérské meteostanice v obci Košíky (viz. kapitola 6.4).

2.3 Použité programy

Pro práci bylo použito několik software. Nejprve byla stažena data z totální stanice pomocí SW Data Transfer. Následovalo jejich převedení na zeměpisné souřadnice v programu Groma 6.0. Odtud byly vyexportovány jako textový soubor, který byl vložen do tabulky v Microsoft Office Excel, kde probíhaly další případné operace.

Meteorologická data byla upravována výhradně v Microsoft Office Excel. Vzhledem k tomu, že byla převzata již ve formátu .xls, nebylo nutno provádět žádné konverze či prvotní zpracování, jak tomu bylo u dat naměřených na svahu.

Vizualizace sesuvu probíhala v ArcGIS 10.0, pro statistickou analýzu dat byly použity programy Microsoft Office Excel nebo RStudio. Dílčí grafické práce byly prováděny v Adobe Illustrator.

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Svahové pohyby

Svahové pohyby jsou běžně se vyskytující negativní jevy v krajině, které narušují jak přírodní ráz krajiny, tak také její antropogenní složky. Mohou tak způsobovat rozsáhlé škody na hospodářské půdě, infrastruktuře nebo přímo ohrožovat životy lidí obývajících zasaženou oblast, a proto je řadíme mezi tzv. environmentální hazardy. Vzhledem k tomu, že s ukloněným terénem se setkáváme na velké části zemského povrchu, jsou svahové pohyby jedním z nejčastěji se vyskytujících přírodních hazardů. Naproti ostatním není však jejich dopad tak rozsáhlý, ale spíše regionální (www.sci.muni.cz).

Jak uvádí Záruba a Mencl (1987), svahovým pohybem rozumíme přemísťování hornin z vyšších poloh svahu do poloh nižších vlivem účinků zemské tíže. Z toho dále vyvozují, že žádný svah proto nemůžeme považovat za geologicky stabilní. Vznik a vývoj svahového pohybu je podmíněn přírodními poměry a lidskou činností v určité oblasti. Po porušení stability přírodním nebo lidským faktorem dochází ke svahovému pohybu. Výsledkem svahového pohybu je pak svahová deformace (Němčok a kol. 1974).

Vzhledem k velké rozmanitosti svahových pohybů se nabízí také vícero možností jejich klasifikace, a to např. podle způsobu a rychlosti pohybu, podle průběhu smykových ploch, podle stáří a stádia vývoje a nebo podle zasaženého druhu materiálu (Záruba a Mencl, 1987).

Hlavním kritériem klasifikace svahových pochodů bývá dělení podle mechanismu a rychlosti pohybu, navržené Němčokem a kol. (1974). Zde dělíme svahové pohyby na čtyři hlavní skupiny (www.geology.cz, 2007):

- **Ploužení** - má charakter pomalého tečení tuhé látky. Jedná se o nejpomalejší, dlouhodobý a většinou nezrychlující se svahový pohyb. Hranice mezi pohybuující se hmotou a jejím podložím bývá špatně zřetelná. Ploužením začíná většina svahových pohybů. Vlivem různých faktorů může tento pohyb zrychlit, a pak přechází do ostatních forem svahových pohybů (sesouvání, stékání, řícení).
- **Sesouvání** – protože konkrétní sesuv svahu je hlavní náplní této práce, bude tento typ svahových pohybů podrobněji rozepsán dále.
- **Stékání** - rychlý a krátkodobý pohyb hornin ve viskózním stavu. Velká část hmoty vytéká z odlučného prostoru a přemísťuje se po povrchu na velkou vzdálenost. Podloží je stékající hmotou neporušeno. Tento pohyb se pojí především se silnými srážkami. Výsledná forma se nazývá proud.
- **Řícení** - náhlý a krátkodobý pohyb materiálu, především na svazích s vysokým sklonem. Na počátku pohybu dochází k ploužení, které pak přechází v řícení. Při řícení dochází krátkodobě ke ztrátě kontaktu s podložím – výskyt volného pádu.

Každý z těchto svahových pohybů lze klasifikovat ještě dále, avšak pro potřeby této práce bude dále rozebíráno pouze sesouvání.

Svahové pohyby můžeme dále dělit podle (Záruba, Mencl, 1987):

- **Vývoje** – v počátečním, pokročilém a závěrečném stádiu vývoje
- **Stáří** – současné, staré, fosilní – za současných morfologických podmínek se nemohou opakovat, *pohřbené* – pohyb zakryly mladší horniny a půdy
- **Stupně stabilizace** – živé (aktivní) – povrchové tvary jsou dobře znatelné a čerstvé, *dočasně uklidněné (potenciální)* – stopy po pohybu bývají těžce znatelné, *trvale uklidněné (stabilizované)* – za současných podmínek se již nemohou opakovat
- **Púdorysného tvaru** – plošné, proudové, čelní

3.1.1 Sesuvy svahu

Sesouvání svahu definují Němčok a kol.(1974) jako relativně rychlý krátkodobý klouzavý pohyb horninových hmot po svahu podle jedné nebo více smykových ploch, kdy se část hmot nasouvá na původní terén. Výslednou formou je sesuv. Podle Záruby a Mencla (1987) u sesuvu dále zaznamenáváme oddělení hmoty od pevného podloží zřetelnou smykovou plochou nebo zónou.

Němčok a kol.(1974) dále klasifikují sesouvání, jak uvádí tabulka 1:

Tab. 1 Klasifikace svahových sesuvů (převzato z Němčok a kol., 1974)

Typ svahového pohybu	Příklady nejrozšířenějších typů a jejich charakteristika	Názvy výsledných svahových deformací
Podél rotační smykové plochy		Rotační sesuvy Sesuvy podél rotační smykové plochy
Podél rovinné smykové plochy	Sesouvání zemin podél rovinné smykové plochy	Planární sesuvy Sesuvy podle rovinné smykové plochy Sesuvy podle předurčené smykové plochy
	Sesouvání skalních hornin podél rovinné smykové plochy	Planární sesuvy ve skalních horninách Sjíždění po předurčené ploše Skalní sjíždění Sjíždění
Podél složené smykové plochy	Sesouvání podél složené, zakřivené a rovinné smykové plochy	Rotačně planární sesuvy Sesuvy podél složené smykové plochy
	Sesouvání po horizontální nebo mírně ukloněné smykové ploše	Laterální sesuvy

Vhodné je zmínit také dělení sesuvů podle půdorysného tvaru, kde jsou rozlišovány tyto typy: *plošné (areálové)*, *proudové* a *čelní (frontální)*.

Samotný sesuv můžeme rozdělit na 3 části (Záruba a Mencl, 1987):

- *odlučná oblast* nacházející se v nejvyšší části sesuvu
- *splaz* – střední část, která se skládá z transportní a akumulační zóny
- *čelo sesunutých hmot*.

3.1.2 Faktory vlivu

K sesuvu svahu dochází vlivem působení gravitace na svahovou hmotu. Dojde-li k narušení rovnováhy sil, které na tuto hmotu působí, je porušena stabilita svahu. Ta je ovlivněna vnějšími faktory, které mohou být jak přírodního, tak lidského charakteru. Pro studium sesuvů svahů je nutno tyto faktory znát, umět je sledovat, kvantifikovat a vyhodnotit pro určení teoretického nebezpečí sesuvu.

Faktory lze obecně podle jejich trvání dělit na (Šamalíková a kol., 1995):

- **Permanentní** – působí dlouhodobě (např. geologická stavba, zvětrávání)
- **Epizodické** – vyskytují se náhle a mají kratší trvání (např. srážky, antropogenní činnost)

Záruba a Mencl (1987) uvádí jako hlavní startéry svahových pochodů tyto faktory, případně jejich kombinace:

Geologická struktura: Lze ji považovat za nejdůležitější faktor, protože v závislosti na ní může oblast být více nebo méně náchylná k sesuvu. Náchylná jsou taková území, kde se střídají propustné a nepropustné vrstvy a nepropustná vrstva se pak stává smykovou plochou (Lovecká, 2011). Jako nejčastější horninou na našem území, která podporuje vznik sesuvů, uvádí Šamalíková a kol. (1995) flyš.

Změna sklonu svahu: Při zvětšujícím se sklonu svahu je porušena rovnováha působících sil. Svah se sklonem nad 10° lze považovat za náchylný k sesuvu.

Zvětšení výšky svahu: Nastává při prohlubování údolí erozí či výkopovými pracemi.

Přetížení svahu: Rychlé zatížení svahu způsobuje vzrůst smykového napětí.

Otřesy a vibrace: Můžou nastat při zemětřesení nebo lidské činnosti, narušují stabilitu.

Změny obsahu vody vlivem atmosférických srážek: Svahová hmota je narušována dešťovou vodou či vodou z tajícího sněhu, ta vtéká do puklin a zvyšuje hydrostatický tlak, čímž narušuje svah. Na druhou stranu v suchých obdobích půda vysychá, smršťuje se a vytváří další trhliny.

Působení podzemní vody: Rychlé změny hladiny podzemní vody způsobují změny vodního tlaku v pórech, což zhoršuje stabilitu svahu. Vlivem proudící podzemní vodou také vznikají destabilizační dutiny.

Činnost mrazu: Změnou objemu zmrzlé vody vznikají a rozšiřují se trhliny, což má za následek menší soudružnost hmoty.

Zvětrávání hornin: Postupné mechanické a chemické zvětrávání narušuje soudružnost půdy.

Změny ve vegetačním krytu: Kořeny rostlin mechanicky zvyšují stabilitu svahu a zároveň limitují množství podzemní vody jejím vysoušením. Vegetace také ovlivňuje stabilitu svahu mírou transpirace.

- zemní práce
- těžba nerostných surovin
- změna vodního režimu na svazích – odlesnění, zásahy do vegetačního krytu a zavodňování
- vibrace a otřesy způsobené stroji, výbuchy atd.

Demek (1984) uvádí mezinárodní statistiku, dle které je 80% sesuvů spojeno s lidskou činností.

Pomineme-li antropogenní vlivy, vyplývá z výčtu faktorů, že pro studium svahových sesuvů je vhodné znát pro danou oblast také meteorologická data, a to hlavně teplotu, úhrn srážek a hladinu podzemní vody.

3.1.3 Metody sledování sesuvů

Aby bylo možno sesuv svahu sledovat a následně zkoumat a vyhodnocovat, je nutné zavést určité metody pro sledování sesuvu. Tyto metody se liší přístupem, využitou metodou nebo finanční a technickou náročností (Záruba a Mencl, 1987).

Geodetické metody: Jsou to nejčastěji používané metody, vhodné však pouze pro sesuvy, kde jsou pohyby větší, než je tolerovaná chyba měření. Zaměřují se vhodné a signalizované body ve sledovaném území společně s referenčními pevnými body v nepohyblivém území. Opakovaným pravidelným měřením lze vysledovat pohyb svahu. Tyto metody jsou v současnosti zjednodušovány moderními zařízeními, jako je např. totální stanice nebo geodetický GPS přijímač.

Fotogrammetrie: Pořízením pozemních stereoskopických fotogrammetrických snímků ze stejného místa v daných časových intervalech lze získat prostorový materiál vhodný pro porovnání oblasti v průběhu času a sledování změn na svahu.

Metody DPZ, opakované mapování: Slouží podobně jako fotogrammetrické snímky k zjištění změn v průběhu času. Vhodné jsou pro obecný přehled o situaci (velikost a tvar zasažené plochy, hlavní viditelné trhliny), protože nedisponují takovou prostorovou přesností, jako např. geodetické metody.

Svahová čidla: Čidla jsou umístěna přímo ve vhodných bodech sesuvu, a podávají informace o pohybu hmoty. Ze starších zařízení je to např. *lankový extenzometr*, založený na principu zaznamenání prodloužení lanka spojující místo v pohybujícím se svahu a pevný bod mimo oblast pohybu. Extenzometr je však vhodný jen pro pozorování ve směru sesuvu. Dalším přístrojem je *dilatometr*, který měří relativní pohyb v trhlínách pomocí přenášení pohybu na čidlo přístroje a je vhodný pro pomalejší pohyby. Významným přístrojem pro monitoring svahu je také *inklinometr*, který se usadí do

svislého vrtu ve svahu. Při posunu hmoty dojde k vyosení inklinometru a tudíž zaznamenání změny.

3.2 Design experimentu a sesuvy svahu

Design experimentu je účinným nástrojem k vyhledávání optimální strategie nebo postupu za pomoci vhodně navržených a vyhodnocených experimentů (Marek a kol., 2010). Je to disciplína matematické statistiky, která zkoumá vliv jednotlivých faktorů na výslednou proměnnou a určuje, které faktory či jejich kombinace jsou statisticky významné (Axmanová, 2010). Hlavní oblastí využití bývají zpravidla průmyslové a inženýrské obory, lze jej však využít také v geovědách, například při řešení sesuvů svahu.

Data získaná v rámci této práce budou uspořádána do datasetů, které mohou být dále využívány pro tvorbu statistického prostorového designu experimentu, jehož návrh umožní stanovit metody pro dosažení určité žádané hodnoty přesnosti při sledování sesuvu svahů. Jednalo by se o aplikaci designu experimentu na regresní model popisující vektor posunu svahu.

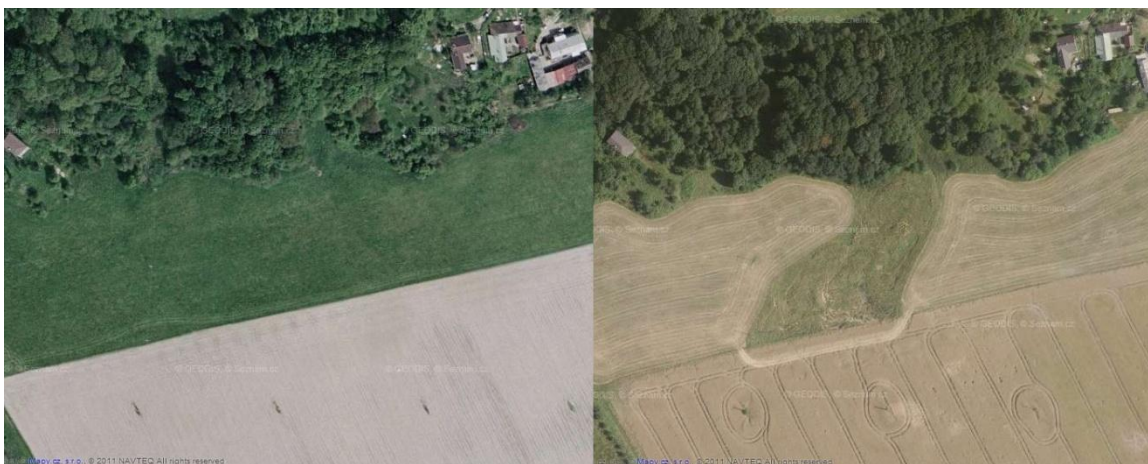
4 LOKALITA HELENKOVICE

4.1 Základní charakteristika zájmového území

Sesouvající se svah, který je předmětem zájmu této bakalářské práce, se nachází ve Zlínském kraji, v západní části obce Halenkovice, přibližně 20 kilometrů od Zlína. Celý svah se nachází v katastrálním území Halenkovice, a jak lze zjistit z internetového nahlížení do katastru nemovitostí, část svahu leží na parcele č 1649 v osobním vlastnictví p. Klapila a pí. Hejdové, část patří k velké parcele orné půdy č.1508/4, která však není evidována na žádném listu vlastnictví (informace byly zjištěny z aplikace nahlížení do katastru nemovitostí).

Jak uvádí obecní úřad Halenkovice, počátek sesuvu byl zaznamenán v březnu roku 2006, kdy se působením hojných srážek a táním sněhu objevili na svahu první trhliny. V následujících letech se vlivem dešťových srážek sesuv rozšiřoval a posouval. Vznikl tak mělký plošný sesuv svahu, který zatím nebyl žádným způsobem stabilizován. V katastru nemovitostí je plocha kategorizována jako orná půda, v současnosti je však pozemek z důvodu poškození svahu, a tudíž nepřístupnosti pro zemědělské stroje, nevyužíván. Louka byla do roku 2010 pravidelně vypásána, od té doby je však neobdělávaná, provádí se pouze sečení ve spodní části, která není narušená sesuvem. Pod svahem se nenachází žádný dům, tudíž nehrozí poškození majetku či újmy na zdraví. Vzhledem k tomu, že plocha není na územním plánu obce klasifikována jako zastavitelná, nepočítá se v blízké budoucnosti s žádnou možností stabilizace a ani s využitím plochy. Svah je zaznamenán u ČGS Brno.

Rozměry problematické části svahu jsou cca 155 metrů ve směru sesuvu a 60 metrů v nejširší části svahu. Plocha sesuvu je přibližně 6 300 čtverečných metrů (zjištěno pomocí ArcGIS, měření z ortofotomapy ČR). Od roku 2008, kdy započalo monitorování sesuvu, se plocha zasažené oblasti výrazně rozšířila.



Obr. 1 Oblast před a po vzniku sesuvu (zdroj: www.mapy.cz)

Již v minulosti byl tento svah postižen sesuvem. V 70. letech se zde vyskytovaly rozsáhlé sesuvy, které ohrožovaly budovy pod svahem. Ty musely být pak z důvodu ohrožení i mechanického poškození strženy.



Obr. 2 Poškozený dům pod svahem, č.p. 199 (zdroj: obecní úřad Halenkovice)

Jak uvádí obecní úřad Halenkovice, okolí obce je výrazně protkáno nestabilními úseky, kde dochází k sesuvu půdy. V místech, kde tyto sesuvy narušují zástavbu nebo infrastrukturu, se pokouší obec ve spolupráci s majiteli pozemků a Českou geologickou službou v Brně o stabilizaci. Významným pojmem v oblasti je tzv. sesuv u Jamborova statku, který se nachází nedaleko. Spuštěn byl v roce 1997 v důsledku silných přívalových dešťů a sledování zde probíhalo až do roku 2010 (účastnila se ho mimo jiné také katedra geoinformatiky UPOL). Také zde se jednalo o obnovení starého sesuvu, který byl zaznamenán v roce 1941, kdy musel být kvůli ohrožení přesunut původní statek. Z důvodu vysokého stupně ohrožení obytných budov u tohoto svahu bylo prováděno vyšetřování a sledování této oblasti, včetně základní stabilizace. Sledování bylo prováděno opakovanými geodetickými měřeními stabilizovaných bodů, inklinometrickými měřeními ve vytvořených vrtech a také měřeními hladiny podzemní vody, hodnot srážek a teploty (Rybář, 2002).

4.2 Geologická a geomorfologická charakteristika

Na základě informací z geologické mapy oblasti lze říct, že se svah nachází ve flyšovém pásmu Karpat, pro které je typický tzv. magurský flyš, tvořený převážně svrchněkřídovými a oligocenními sedimenty (www.geology.cz, 2007). Flyš je geologická struktura velmi příznivá pro vznik svahových pochodů. Geologická stavba flyše je typická střídáním pískovců až slepenců s jílovými břidlicemi až jílovců, tj. vrstev s proměnlivou propustností a rozdílným pevnostním charakterem. Podporuje vznik

nestability území a setkáváme se u něj s častými svahovými pohyby (Šamalíková, 1995). Nachází se zde také nezpevněné hliněné a písčité svahové sedimenty.

Na základně terénního měření lze určit, že svah se nachází v nadmořské výšce přibližně 240 – 280 m n.m. Je orientován na severozápad při průměrném sklonu cca 14°. Geomorfologické zařazení oblasti popisuje tabulka:

Tab. 2 Začlenění do geomorfologického systému (převzato z Marek, 2009)

Geomorfologická jednotka	
Provincie	Západní Karpaty
Subprovincie	Vnější Západní Karpaty
Oblast	Středomoravské Karpaty
Celek	Chříby
Podcelek	Halenkovická vrchovina
Okrsek	Kostelecká vrchovina

4.3 Lokalita Halenkovice v diplomových pracích na KGI

Lokalitou Halenkovice se již ve svých pracích na katedře geoinformatiky zabývalo několik studentů. Vzhledem k tomu, že se v oblasti nachází více sesouvajících svahů, byla lokalita často využívána jako modelová oblast pro diplomové práce, které ji zkoumaly z různých úhlů pohledu – např. sledování a sběr meteorologických dat nebo monitoring samotného sesuvu svahu.

Této práci nejbližší je diplomová práce Mgr. Lukáše Marka z roku 2009 na téma *Design experimentu pro posouzení stability svahu v prostředí ESRI produktů*. Hlavním cílem této práce bylo předvedení využití designu experimentu (optimální strategie postupu) v geovědních oborech a možnostech hodnocení přesnosti měření. Nad naměřenými daty byly provedeny statistické analýzy a testy hypotéz, které měly pomoci k vyhodnocení změn polohy bodů. Závěrem byl vytvořen model designu experimentu určující takový plán měření jednotlivých parametrů pozorovaných bodů, aby po výsledném vyhodnocení založeném na již dříve zmíněných metodách, bylo možno co nejlépe detekovat signifikantní posunutí bodu, které by ukazovalo na možnost sesuvu (Marek, 2009).

Za zmínku stojí také bakalářská práce Mgr. Jana Geletiče - *Charakteristika přírodního prostředí modelové lokality Halenkovice na základě časových řad*, a diplomová práce Mgr. Kláry Studené - *Projevy mimořádných synoptických situací v časových řadách měřených na stanici Halenkovice z let 2006-2010*. Tyto práce se sice nezabývají samotným sesuvem svahu, ale analyzují z různých hledisek meteorologická data získaná v lokalitě během několikaletého měření automatickými přístroji. Právě tyto data budou využívána pro posouzení vlivu přírodních podmínek na spouštění a rozšiřování sesuvu.

5 SBĚR DAT

5.1 Dohledání geoharponů

Aby bylo možno provést vyhodnocení posunu svahu za delší období, bylo nutno v prvé řadě získat další data a přidat je k datům již dříve naměřeným v rámci diplomové práce Mgr. Lukáše Marka a bakalářské práce Bc. Roberta Zůvaly.

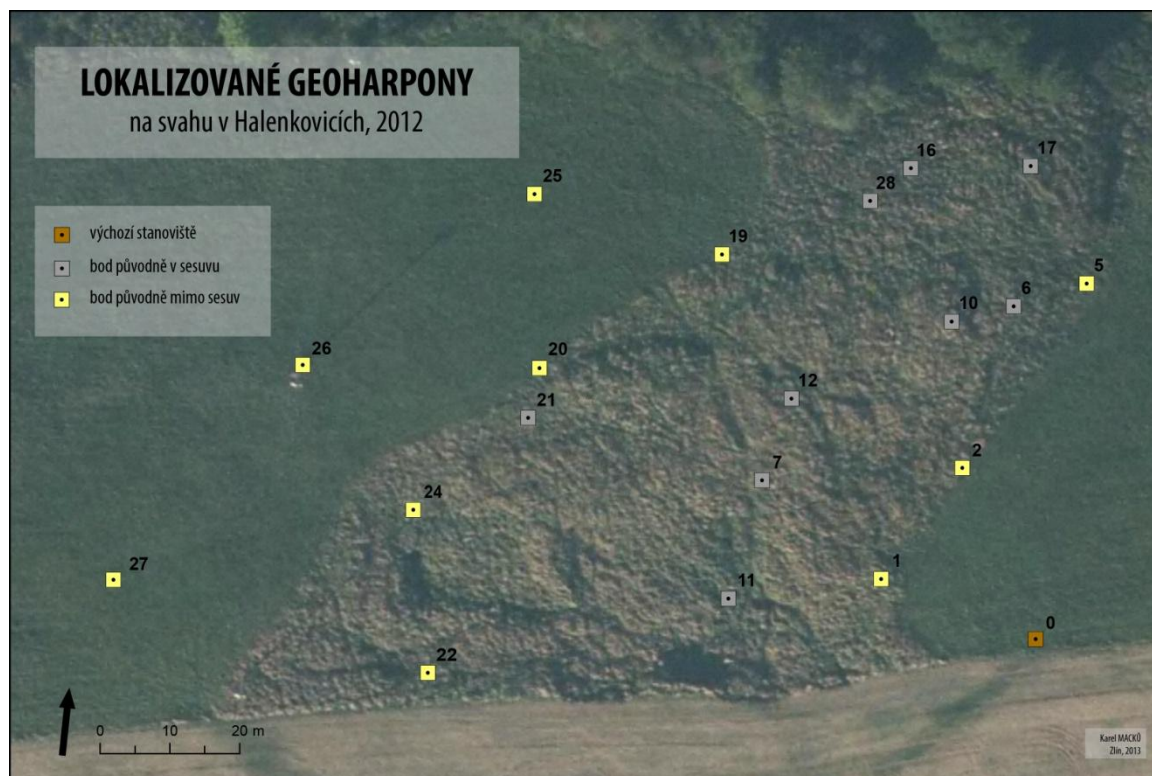
Prvním krokem bylo dohledání geoharponů umístěných v lokalitě Mgr. Lukášem Markem v roce 2008. Celkem se na svahu nachází 28 geoharponů – 1 označující výchozí stanoviště, 1 odrazný štítek připevněný na betonovém sloupu vysokého napětí nahrazující geoharpon, 2 geoharpony mimo oblast sesuvu a zbývajících 24 mezníků bylo umístěno v přímo v těle sesuvu pro určení hodnot jejich posunu nebo v těsné blízkosti aktivní oblasti pro případné zjištění rozšíření sesuvu mimo původní oblast vymezenou v roce 2008. Všechny tyto body bylo nutno dohledat a znovu zaměřit totální stanicí.

Prvotní návštěva lokality v červenci 2012 ukázala, že plocha je silně zarostlá vegetací a nijak neudržovaná, tudíž pouhé vizuální hledání harponů pravděpodobně nepřinese dostatečné výsledky. Tento předpoklad se potvrdil začátkem října, kdy proběhlo zběžné prohlédnutí a pokus dohledat některé geoharpony – bez úspěchu.

Byla zvolena tedy nová, vhodnější metoda hledání geoharponů. Na základně znalosti poslední polohy z dřívějších měření byla vytipovaná přibližná oblast, kde se by se geoharpon měl nacházet a následně byl dohledán pomocí detektoru kovu. Nejprve bylo nutno staré souřadnice zaznamenané v záporném kvadrantu souřadnicového systému S-JTSK převést do systému WGS-84, který podporuje družicový systém GPS. Takto transformované souřadnice byly importovány do GPS přijímače Garmin GPSMAP 60CSx. Vzhledem k tomu, že se jedná o outdoorový GPS přijímač, kde se přesnost pohybuje přibližně kolem 5 metrů v závislosti na podmínkách, byla plocha, na které se teoreticky geoharpon nacházel dost velká. Když uvážíme možný posun bodů od doby posledního zaměření, hledání se ještě dále komplikuje. Nicméně s využitím detektoru kovu Garrett AT Pro, který byl zapůjčen od firmy VKT Creative s.r.o., byla vytipovaná oblast dále prohledávána, dokud nebyl nalezen daný geoharpon. Náročný terén hledání komplikoval, protože v některých případech silné vrstvy trávy výrazně oslabovaly signál. Některé geoharpony mohly být při sesuvu zasypány tak, že je detektor neodhalil – udávaná citlivost je přibližně do 50 cm pod povrchem. Přítěží byl také tvar geoharponu – za předpokladu, že se nachází v poloze přibližně kolmé k povrchu, vytváří velmi malou plochu (vlastní průměr tyče), kterou může detektor zaznamenat, a proto je nutné pohybovat se s detektorem jen v jeho těsné blízkosti.

Celkově bylo nalezeno 20 z 28 původních geoharponů, z nichž bylo 9 původně klasifikováno jako nacházející se v sesuvu, a zbylých 11 mimo sesuv. Ostatní body byly pravděpodobně zavaleny během sesuvu. Pro další analýzu posunu je toto množství bodů dostačující a při zvážení podmínek, v jakých byly body hledány, je dané množství uspokojující. K nalezeným geoharponům byla zaražena dřevěná tyč, sloužící jako

signalizace pro nalezení harponů během následného měření. I přes toto opatření byl bod č. 27 mezi měřeními 2012 a 2013 ztracen.



Obr. 3 Přehled lokalizovaných geoharponů

5.2 Zaměření geoharponů

Po úspěšném lokalizování geoharponů následoval krok geodetického zaměření jejich polohy. K tomu byla použita totální stanice Trimble 5503 DR Standart, která byla zapůjčena z Katedry geografie UPOL. Tento přístroj slouží k přesnému geodetickému měření a to jak bez hranolu, tak s pomocí laseru na hranol. Součástí je odnímatelná alfanumerická klávesnice, která má paměť až 10 000 bodů. Celý projekt se ukládá ve formátu Geodimeter (.job), který lze dále zpracovávat v geodetických SW. Účinný dosah stanice je při použití jednoho standardního hranolu až 3 000 m, bez hranolu až 70 m. Hodnota směrodatné odchylky přesnosti délek je $\pm 2\text{mm} + 2\text{ppm}$ při použití hranolu, odchylka přesnosti měření úhlů je $3''$ (1.0 mgon). Měření lze provádět v několika módech (www.vtpup.cz, 2012).

Nejprve bylo nutno umístit stanici přesně na pozici výchozího geoharponu s číslem 0, který sloužil jako výchozí stanoviště během všech předchozích měření. Díky zaměření bodů ze stejné výchozí pozice je pak možno porovnávat souřadnice naměřených bodů, a také úhly a vzdálenosti od výchozího stanoviště k bodům. Umístění totální stanice přesně na střed geoharponu a zároveň její vyrovnaní do vodorovné polohy byla nejtěžší část měření.

Pro určení souřadnic základního stanoviště bylo třeba nejprve zaměřit referenční body, podle kterých se následně poloha vypočítá metodou protínání úhlů a vzdáleností.

Jako tyto body slouží trigonometrické body základního polohového bodového pole, které jsou přesně geodeticky zaměřeny a jejich souřadnice určené v systému S-JTSK jsou zaznamenány v databázi bodových polí, kterou poskytuje Český úřad zeměměřičský a katastrální. Tyto body a jejich náhled s informacemi lze dohledat v internetové aplikaci zobrazující body na podkladu triangulačních listů, dostupné na stránce http://bodovapole.cuzk.cz/_mapTop.aspx. Byly použity body č. 5 (signalizován žulovým mezníkem, nachází se na kopci jižně od Halenkovic) a bod č. 36 (střed makovice na věži kostela v Halenkovicích). Třetí bod není v databázi ZPBP uveden – nachází se jihozápadně od svahu, vedle příjezdové cesty. Jeho souřadnice byly však v minulosti určeny během měření prováděného Mgr. Lukášem Markem z trigonometrických bodů číslo 5, 36 a 211, a proto mohl být použit jako třetí bod pro určení polohy základního stanoviště.

Po inicializaci totální stanice zaměřením 3 referenčních bodů mohlo být zaměřeno polární metodou, která měří úhly a vzdálenosti, všech 20 geoharponů. Každý bod byl zaměřen vícekrát a v následném zpracování dat byly tyto hodnoty zprůměrovány za účelem navýšení přesnosti. Mimo geoharpony bylo zaměřeno také přibližně 150 bodů v těle sesuvu a na jeho okrajích za účelem vytvoření digitálního modelu reliéfu.

První měření proběhlo 26. 10. 2012 a bylo během něj zaměřeno 20 geoharponů a body sloužící pro digitální model reliéfu. Druhé a zároveň poslední měření proběhlo 5.4. 2013, sloužilo převážně ke zjištění pohybu svahu v důsledku jarního tání sněhu. Během měření byl každý bod zaměřen celkem třikrát.

5.3 Zpracování naměřených hodnot

Po zaměření dat v terénu proběhlo jejich prvotní zpracování – převedení do podoby tabulek souřadnic a vrstev shapefile.

Jako první byla data stažena z totální stanice do PC. K tomu posloužil software Data Transfer, který z odnímatelné alfanumerické klávesnice stáhne vytvořený projekt ve formátu Geodimeter se všemi naměřenými hodnotami. Ke každému bodu je zde uvedeno číslo bodu, horizontální úhel, vertikální úhel, vzdálenost (je-li dostupná) a výška hranolu (je-li dostupná). Jednotlivé položky jsou rozlišeny z hlediska typu na referenční body a měřené body. Tento soubor nadále sloužil jako zdroj dat pro práci v programu Groma 6.0, ve kterém probíhaly všechny další výpočty.

V programu Groma lze načíst celý soubor Geodimetr s měřením, se kterým se nadále pracuje. Nejprve je nutno zjistit přesné souřadnice výchozího stanoviště, od kterých se pak vypočtou souřadnice všech dalších měřených bodů. K tomu slouží nástroj Volné stanovisko. Do dialogového okna se zadají souřadnice referenčních bodů zjištěné na webu ČÚZK a hodnoty horizontálních a vertikálních úhlů naměřené v terénu. Výhodou je, že v tabulce měřených hodnot ve formátu Geodimetr jsou referenční body tučně odlišeny, což usnadňuje orientaci v datech. Hodnoty není třeba přepisovat ručně, stačí jen přetáhnout mezi jednotlivými okny, díky čemuž je práce snadnější.

Po výpočtu základního stanoviška metodou protínání úhlů a délek je již možno provést výpočet souřadnic ostatních naměřených bodů. K tomu Groma nabízí funkci Polární metoda, respektive Polární metoda dávkou, která zpracuje více údajů najednou. Vstupními hodnotami je soubor naměřených hodnot ve formátu Geodimetr a soubor souřadnic referenčních bodů (vytvoří se ručně na základě souřadnic zjištěných referenčních bodů). Přes vypočtené hodnoty základního stanoviště se pak takto hromadně dopočítají souřadnice X, Y, Z všech měřených bodů. Stejně jako referenční body, i nově vypočtené hodnoty jsou v souřadnicovém systému S-JTSK. Souřadnice lze vyexportovat ve formátu .txt, dále pak přepokopírovat do tabulky Excel a tu již v ArcGIS snadno zobrazit jako bodovou vrstvu pomocí funkce Display X,Y. Tato vrstva pak byla vyexportována do shapefile, a tím byla připravena pro další zpracování.

Závěrem byly všechny souřadnice opraveny o chybu, která vzniká nepřesným zaměřením výchozí polohy. Odchylka byla vypočtena jako souřadnice výchozího stanovitě minus souřadnice výchozího stanoviště při prvním měření. O tento rozdíl byly změněny všechny souřadnice každého měření pro směry X,Y i Z. Tím bylo dosaženo toho, že pro všechny souřadnice byla stejná výchozí poloha, a tak se zmenšila chyba vzniklá během měření.

6 ZPRACOVÁNÍ DAT

6.1 Hodnocení přesnosti měření

Po naměření dat v terénu následovalo jejich postupné zpracování. Je pochopitelné, že získaná data nemají absolutní přesnost. Zasahuje zde několik faktorů, mezi nimiž je nejvýznamnější přesnost přístroje (viz. kapitola 5.2) a vliv lidské chyby při měření - nestálost umístění optického hranolu, odchylka při zaměření hranolu či určení výchozího stanoviště. Chyby v důsledku nepřesnosti určení výchozího stanoviště byly odstraněny pomocí přepočtu všech souřadnic podle hodnot výchozího stanoviště při prvním měření.

Tab. 3 Přehled oprav výchozího stanoviště pro jednotlivá měření

Měření	Odchylka Y (m)	Odchylka X (m)	Odchylka Z (m)
říjen 2008	0,018	-0,065	0,08
prosinec 2008	0,003	-0,085	0,06
duben 2009	-0,067	-0,098	0,05
duben 2 2009	-0,003	-0,038	0,07
březen 2010	-0,014	-0,041	0,067
duben 2011	-0,086	-0,211	0,04
říjen 2012	0,076	-0,057	0,091
duben 2013	0,386	0,158	-0,121

Pro vyhodnocení přesnosti samotného měření jednotlivých bodů bylo však nutné využít jinou metodu - elipsy konfidenčních intervalů a kružnice standardních vzdáleností. Pomocí těchto metod je u měřených bodů analyzována variabilita bodu v čase, která je zastoupena hodnotou směrodatné odchylky v rámci jednoho měření bodu. Výstupem je pak interval hodnot znázorněn jako plocha, pomocí které lze rozhodnout, zda jsou měřené hodnoty obrazem bodu, nebo se jedná o podezření z posunu (Marek, 2009). Pokud se měření opakují, budou konvergovat ke střední hodnotě a za předpokladu, že se svah nepohybuje, jsou všechna data ležící mimo tuto oblast považována buď za posun nebo za chybná měření (Marek a kol., 2010). Zde je nutno uvažovat o měřeních jako o časové posloupnosti - pokud výsledek indikuje posun, avšak v následujícím měření se opět vrací ke střední hodnotě předchozích měření, je jasné, že se jedná o chybu, protože nelze uvažovat pohyb proti směru svahu. Pokud se body nevrací do původní polohy, lze uvažovat o posunu a pokračovat v časovém sledování vývoje.

6.1.1 Elipsy konfidenčních intervalů

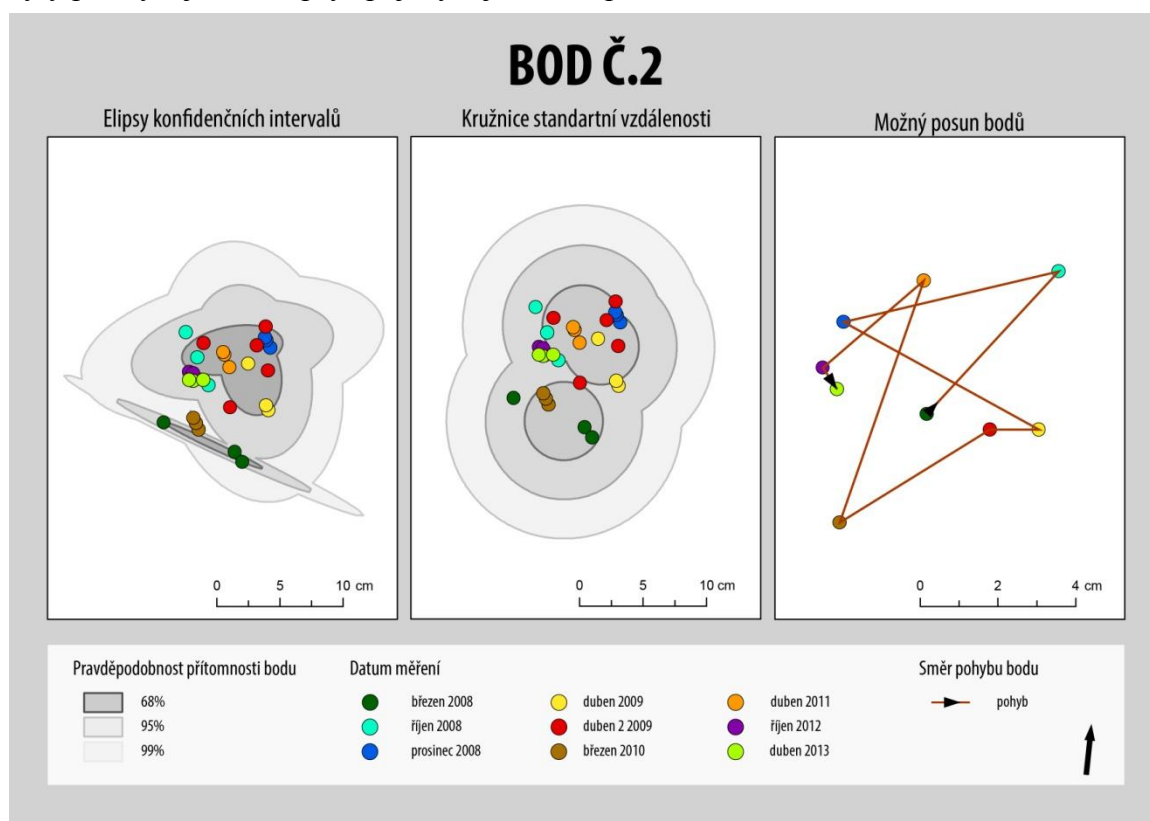
Elipsy konfidenčních intervalů graficky definují interval, ve kterém se skutečná hodnota měření nachází. Statisticky nelze tuto hodnotu přesně vypočítat, avšak tyto elipsy určují plochu, kde se bod s určitou pravděpodobností nachází.

Elipsy určují také trend skupiny bodů. Výpočet probíhá na základě určení směrodatné odchylky ve směru souřadnice X a Y, které pak slouží jako parametry elipsy. Pro normální rozdělení potom platí, že elipsa o parametrech velikosti jedné směrodatné

odchylky určuje polohu bodu s pravděpodobností 68%, dvou směrodatných odchylek z 95% a tří směrodatných odchylek z 99% (nápověda ArcGIS).

Pro tvorbu elips pro jednotlivé body byl použit ArcGIS, který nabízí nástroj Directional Distribution (Standart deviation ellipses). Ten se nachází v toolboxu (Spatial statistics tool / Measuring geographical distributions) a je dostupný pro všechny licence ArcGIS.

Jako vstup sloužila bodová vrstva výsledků všech měření, kde bylo však nutno atributově přidat skupiny podle data měření, na jejichž základě se body seskupují pro tvorbu elips. Jednalo se o období březen-červen 2008, říjen a prosinec 2008, duben 2009, březen 2010, duben 2011, říjen 2012 a březen 2013. Vzniklo tedy maximálně 7 elips podle toho, jaká data byla v daném bodě dostupná. Výsledné elipsy byly vytvořeny pro 1,2 a 3 velikosti směrodatné odchylky a výsledek sloučen nástrojem Dissolve tak, aby byly překrývající se elipsy spojeny v jeden shapefile.



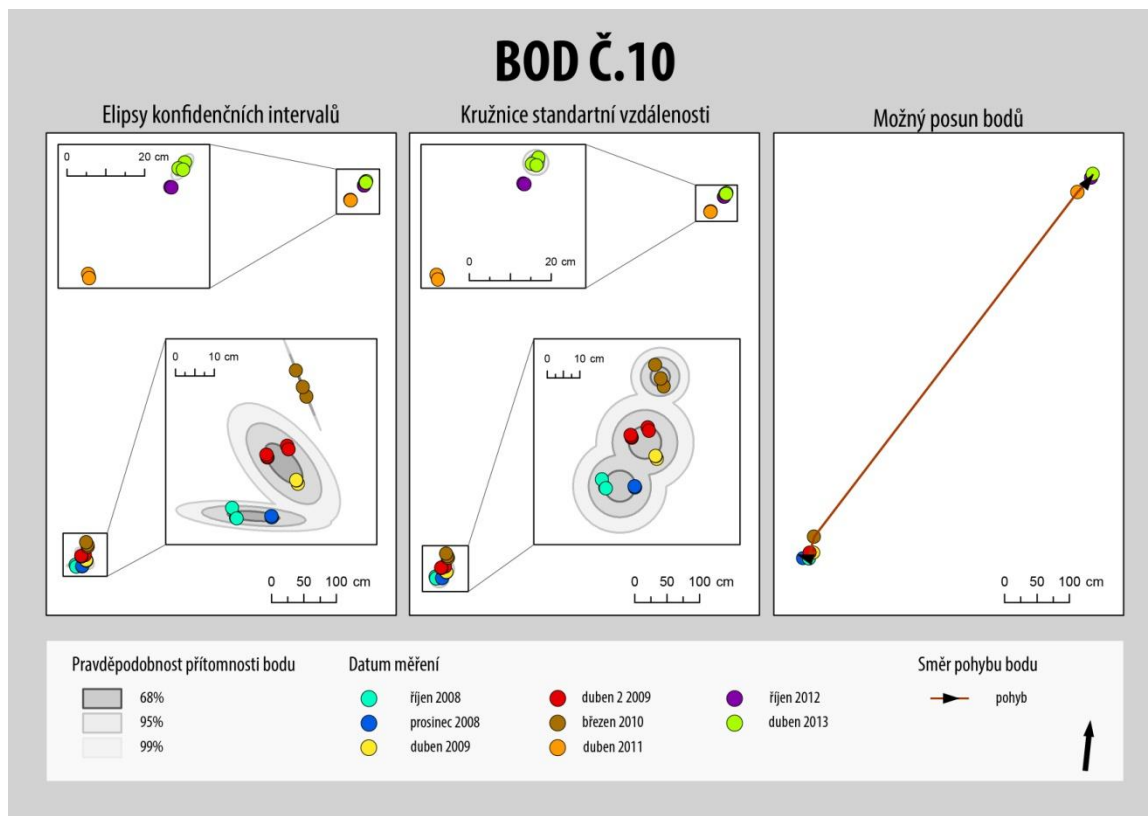
Obr. 4 Příklad stabilního bodu

6.1.2 Kružnice standardních vzdáleností

Pomocí kružnic standardních vzdáleností se dá hodnotit prostorová kompaktnost rozložení jevu - jak moc se jednotlivé body liší od geometrického průměru souřadnic. Čím větší kružnice vznikají, tím více jsou body rozptýlené od sebe a tudíž je menší přesnost měření. Stejně jako v případě konfidenčních elips jsou kružnice konstruovány na základě směrodatné odchylky, avšak ne pro dva směry X,Y, ale pouze pro jednu hodnotu poloměru kružnice, která je spočítána jakou součet odchylek ve směrech X,Y. Opět zde

vznikají pravděpodobnostní intervaly platné pro normální rozdělení, kde velikosti jedné směrodatné odchylky pokrývá polohu bodu s pravděpodobností 68%, dvou směrodatných odchylek z 95% a tří směrodatných odchylek z 99% (nápověda ArcGIS).

Pro tvorbu kružnic standardních vzdáleností pro jednotlivé body byl použit ArcGIS, který nabízí nástroj Standart Distance. Ten se nachází v toolboxu (Spatial statistics tool / Measuring geographical distributions), a je dostupný pro všechny licence ArcGIS.



Obr. 5 Příklad aktivního bodu

6.2 Posuny bodů

Aby bylo možno snadno sledovat vývoj sesuvu, byly provedeny další grafické vizualizace, a to v podobě grafu sledujícího velikost posunu v prostoru mezi jednotlivými měřeními a grafu vývoje změny souřadnic, taktéž mezi měřeními. Takto vytvořené grafy pro každý bod lze snadno mezi sebou porovnávat a detekovat oblasti největšího posunu bodů.

6.2.1 Vektor posunu

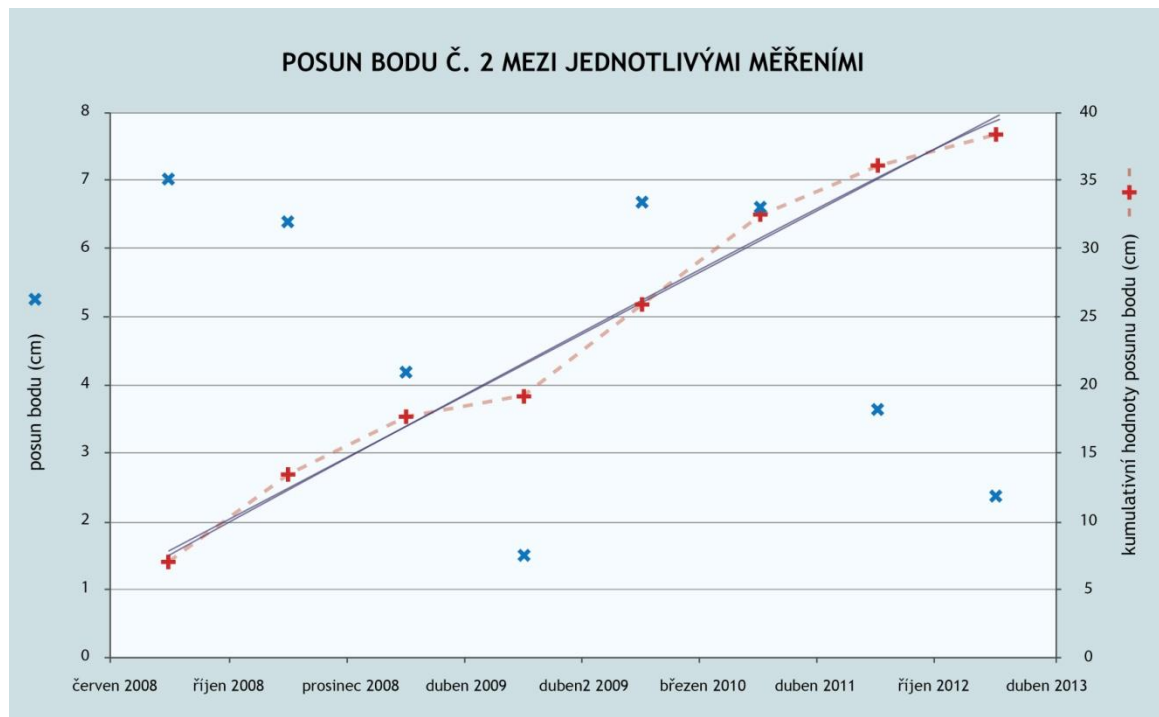
Výpočet vektoru posunu bodů v prostoru umožňuje sledovat absolutní velikost (ne směr) posunu bodu. Pro dosažení co největší přesnosti byly pro výpočet použity souřadnice, jejichž hodnoty z každého měření byly opraveny o odchylku souřadnic výchozího stanoviště oproti prvnímu měření (viz. kapitola 5.3).

Výpočet proběhl podle jednoduchého vzorce vycházejícího z teorie euklidovské vzdálenosti v prostoru:

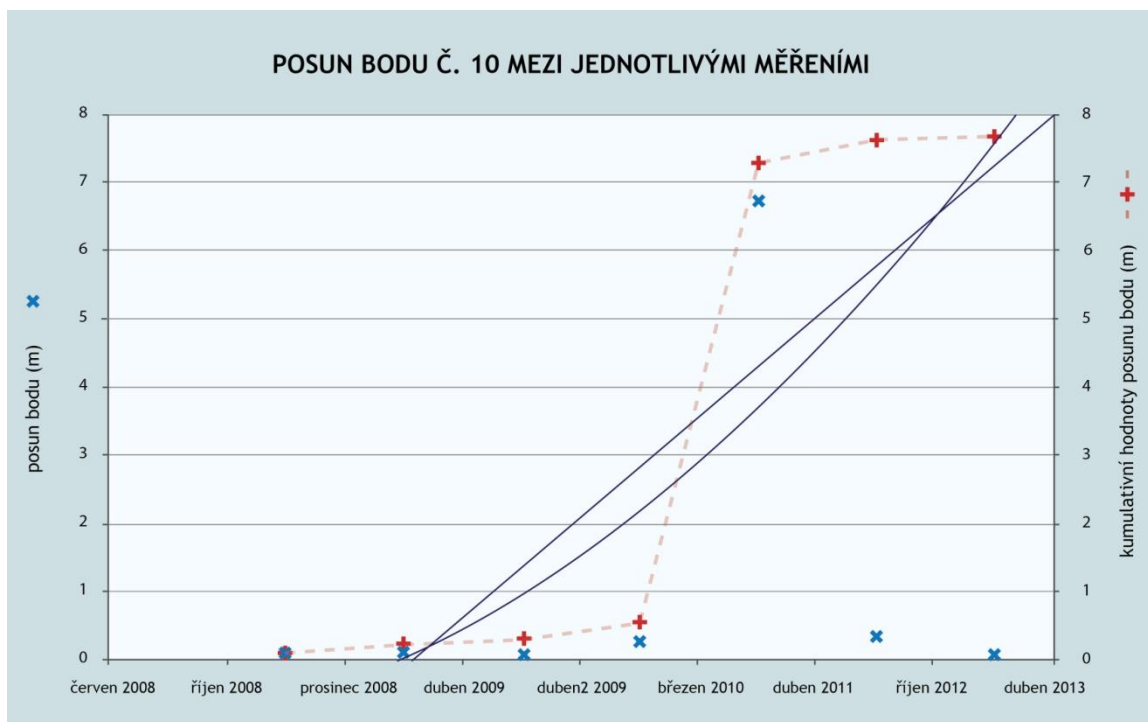
$$v = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Takto byly vypočítány velikosti posunu mezi jednotlivými měřeními. Výpočet byl prováděn pouze pro ty body, které byly naměřeny v letech 2012/2013, u dříve naměřených hodnot nemělo smysl pro menší rozsah dat hodnocení provádět. I tak ale nebyly bohužel pro všechny body dostupné data ze všech měření. V těchto případech byl chybějící údaj jednoduše vynechán, a výpočet byl proveden k posledním známým datům.

Do grafu byly vyneseny kromě absolutních posunů také kumulativní hodnoty. Tyto byly proloženy křivkou trendu - lineárního a exponenciálního - za účelem přibližného odhadu budoucího vývoje.



Obr. 6 Posun bodu - příklad stabilního bodu



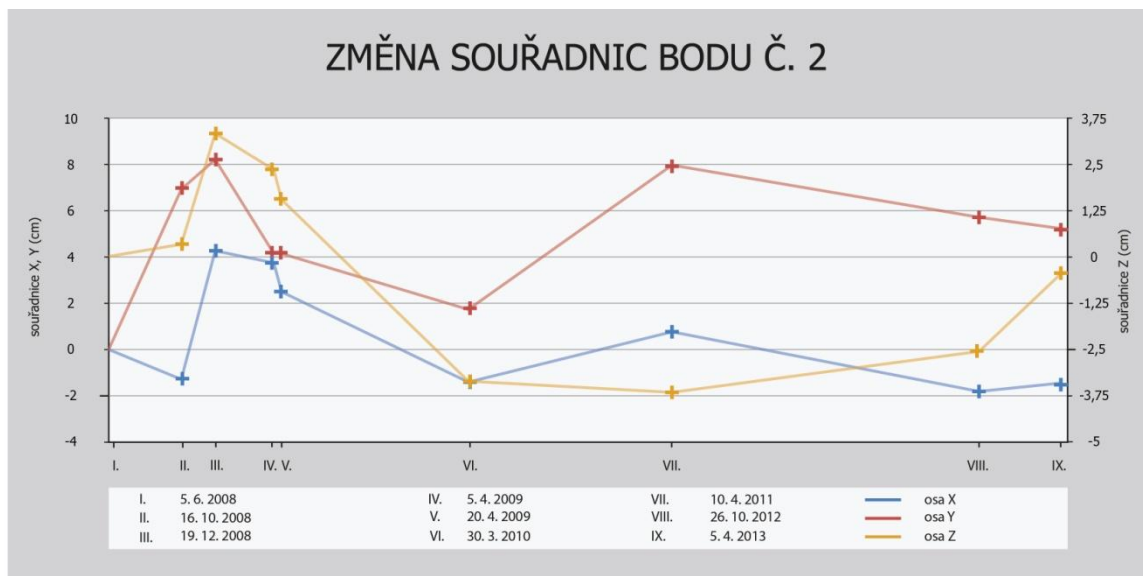
Obr. 7 Posun bodu - příklad aktivního bodu

Vytvořené grafy umožňují snadno porovnávat body mezi sebou a rozhodovat o pohybu bodu. V zásadě zde vznikají dva typy grafu - v případě posunu je v grafu typická jedna nebo více výrazně odlišných hodnot od ostatních, které indikují velký posun. Tato silná změna je dobře patrná také na křivce kumulativních hodnot, kde nastává prudký nárůst. V případě předpokladu stabilního bodu se všechny hodnoty posunu pohybují v přibližně stejném rozsahu v řádech jednotek centimetrů.

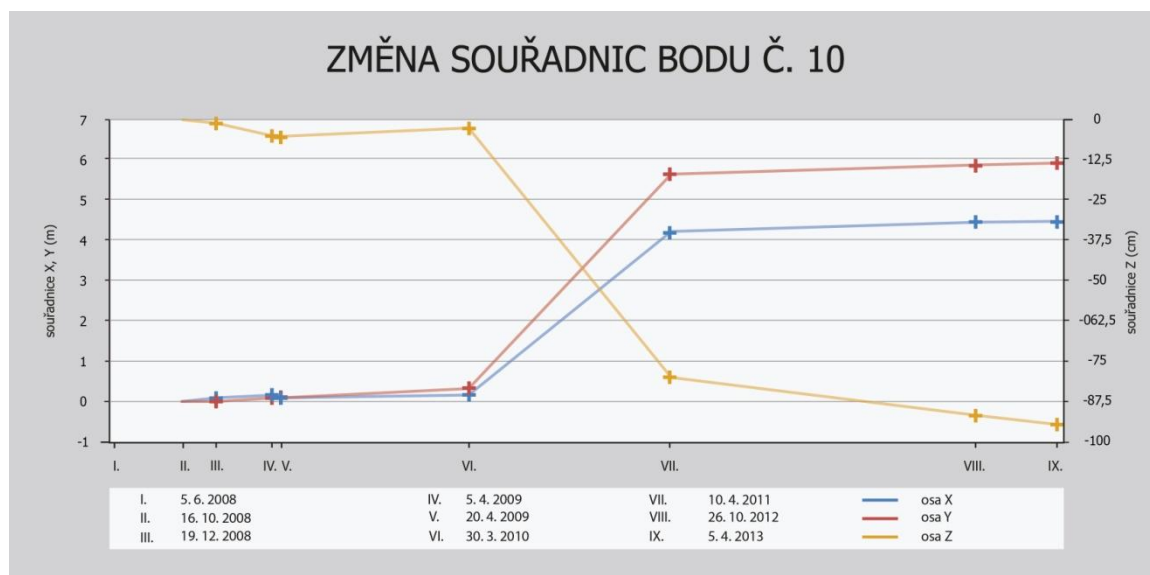
Problémem při výpočtu velikosti posunu je fakt, že do něj nevstupují pouze souřadnice X, Y, jak tomu bylo v případě konfidenčních elips, ale také souřadnice Z. Uvažujeme-li u každé souřadnice určitou chybu, která mohla při měření vzniknout, je potom jasné, že v případě výpočtu ze všech tří souřadnic je celková možná chyba větší.

6.2.2 Změny v souřadnicích

Dalším sledovaným jevem byla změna souřadnic ve všech osách X, Y a Z. Pro snadnější tvorbu a přehlednost grafu byly vynášeny relativní hodnoty změny a to vždy posun oproti prvnímu měření v kladném či záporném směru. Z důvodu výrazně odlišných hodnot musel být v některých případech použit dvojstupnicový graf, kde jedna stupnice reprezentuje hodnoty X, Y v metrech a druhá osu Z v centimetrech. Pomocí takto vizualizovaných souřadnic lze opět porovnávat jednotlivé body mezi sebou, nebo také detekovat chyby v měření. Tato metoda je vhodná zejména pro sledování souřadnice Z - změn ve výšce bodu. Ta se totiž v ostatních vizualizacích přímo nevyskytuje.



Obr. 8 Graf změny souřadnic - příklad stabilního bodu



Obr. 9 Graf změny souřadnic - příklad aktivního bodu

6.3 Statistické testování souřadnic bodů

Změny v souřadnicích nestačí jen vhodně vizualizovat, ale také kvantifikovat a zamítnout či potvrdit hypotézy o posunu bodů pomocí vhodných statistických nástrojů. V této práci byly využity metody založené na charakteristikách variability statistického souboru. Jak uvádí Marek (2009), základem pro tento postup je určení nejdůležitějších charakteristik variability, kterými jsou v tomto případě hodnoty rozptylu a směrodatné odchylky. Pokud jsou tyto hodnoty vysoké, mohou vyjadřovat buď nepřesnost měření, a nebo teoretický posun bodu.

Rozptyl z n hodnot znaku x_i popisuje Brázdil (1981) jako průměr čtverců odchylek jednotlivých hodnot znaku od jejich aritmetického průměru.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

nebo

$$s^2 = \overline{x^2} - \bar{x}^2$$

kde $\overline{x^2}$ je průměr čtverců hodnot znaku a \bar{x}^2 je čtverec průměru.

V praxi se ovšem více používá druhá odmocnina rozptylu - směrodatné odchytky, která je mírou proměnlivosti čili rozptylu hodnot x_i náhodné veličiny kolem průměru (Brázdil, 1981).

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Proto bylo nutné nejprve vypočítat tyto charakteristiky ze všech naměřených souřadnic pro všechny body. Na základě výsledků lze určit body, které lze považovat za stabilní a body, které by se mohly pohybovat. Tyto body s výrazně vysokými hodnotami směrodatné odchytky a rozptylu byly pak dále testovány v programu RStudio pomocí analýzy rozptylu (ANOVA).

Tabulka vypočtených statistických charakteristik dobře rozlišuje stabilní a aktivní body pomocí výrazných rozdílů směrodatné odchytky. Červeně je vyznačeno výchozí stanoviště, světle šedá znamená stabilní bod, a tmavší odstín šedi značí nejasný bod, o jehož stavu je třeba rozhodnout pomocí dalších metod. Ostatní body jsou aktivní.

Tab. 4 Základní statistické popisné charakteristiky

bod	Směrodatná odchylka (cm)			Rozptyl (cm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	9,44	14,27	1,66	89,03	203,58	2,77
2	2,23	2,59	2,82	4,97	6,69	7,96
5	23,25	43,97	18,33	540,60	1933,08	336,14
6	173,40	254,12	61,94	30067,88	64575,65	3836,74
9	140,86	157,56	33,41	19842,08	24825,78	1116,53
10	207,40	277,23	44,18	43014,10	76858,11	1951,54
11	195,74	191,96	56,64	38315,04	36848,63	3208,38
12	215,33	277,23	64,84	46367,97	76855,21	4203,93
16	138,14	269,07	58,37	19083,00	72400,25	3407,27
17	142,65	203,29	35,07	20347,86	41325,38	1229,80
19	3,60	3,12	1,63	12,95	9,73	2,67
20	2,07	3,12	1,07	4,30	9,70	1,14
21	104,92	85,43	19,65	11008,58	7298,26	385,98
22	3,47	1,69	2,82	12,01	2,84	7,98
24	60,92	10,28	28,87	3711,81	105,58	833,44
25	7,38	2,32	4,91	54,43	5,40	24,15
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	2,39	1,93	2,90	5,73	3,73	8,38
28	117,32	277,86	72,30	13764,77	77208,63	5226,98
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

ANOVA se používá jako technika umožňující posouzení významnosti zdrojů variability v datech. Její podstatou je rozklad souboru na složky objasněné, jež představují známé zdroje variability a složku neobjasněnou, náhodnou (Meloun, 2011).

V tomto případě byla použita jednofaktorová analýza rozptylu, kde faktor A je reprezentován měřením souřadnic bodu a K úrovně znamenají datum měření. Testovány byly všechny tři souřadnice ve všech měřeních. Testované hypotézy pak mají formu (Marek, 2009):

H_0 - v souřadnicích není rozdíl (stabilní bod)

H_a - v souřadnicích je rozdíl (pohybující se bod)

Prvotní analýza dat zkoumajících jejich normalitu pomocí Shapiro testu však přinesla zjištění, že data nemají normální rozdělení. Z tohoto důvodu nebylo možné použít anovu, nýbrž jinou vhodnou alternativu. Byl vybrán Kruskal-Wallisův test, který funguje stejným způsobem jako anova, pouze je využíván pro data s jiným než normálním rozdělením. Jak uvádí Anděl (2011), Kruskal-Wallisův test je neparametrická obdoba jednoduchého třídění analýzy rozptylu. Je přímým zobecněním Wilcoxonova dvouvýběrového testu pro případ k výběrů, kde $k \geq 3$.

Pokud výsledek Kruskal-Wallisova testu prokázal posun bodu, bylo nutné dále prozkoumat, ve kterých obdobích nastal posun a naopak kdy se bod jevil jako stabilní. K tomuto testování se nabízel například Wilcoxonův test pro postupné testování mezi jednotlivými měřeními, avšak taková práce by byla v případě 20 bodů po cca 8 měřeních

velice zdlouhavá a pomalá. Proto byla využita efektivnější metoda v podobě vícenásobného porovnávání. V RStudio k tomuto slouží např. příkaz *nparcomp* ze stejnojmenného balíčku, který porovná skupiny hodnot metodou "každá s každou". Použity byly výchozí hodnoty, pouze typ testu byl nastaven na "Tukey". Ve výsledné matici bylo potřeba vybrat vhodné kombinace tak, aby byly pokryty všechny po sobě jdoucí časové úseky. Rozhodující informací je p-value, jehož hodnota vyšší než 0,05 značí, že v souřadnicích není rozdíl.

Statistické testování přineslo jeden problém, který spočívá ve vysoké citlivosti testu. To v praxi znamená, že body, které byly na základě předchozích hodnocení nebo pozorování v terénu považovány za stabilní, vyšly v testování jako aktivní. Test totiž i nepatrné změny v rámci pár centimetrů hodnotí jako odchylku. Dalším důvodem je testování zvláště v souřadnicích X, Y, Z, což při malé změně v jedné ze souřadnic značí celkový posun bodů. Tento výsledek však nelze slepě sledovat, protože malá odchylka v jednom ze směrů ještě nemusí znamenat jistý pohyb.

6.4 Meteodata

Jak již bylo zmíněno v teoretické části, vliv přírodních jevů a faktorů na svahové pohyby je velmi významný. Z tohoto důvodu byla snaha některé tyto jevy v rámci bakalářské práce sledovat. Vzhledem k dostupnosti meteorologických dat byl jako sledovaný jev zvolen srážkový úhrn v oblasti. Srážky stály za spuštěním halenkovického sesuvu, a tak nelze pochybovat a vhodnosti jejich sledování.

V halenkovické lokalitě se již dříve nacházely automatické stanice měřící meteorologické jevy, mezi nimi také množství srážek. Tato data byla dříve použita v pracích Jana Geletiče - *Charakteristika přírodního prostředí modelové lokality Halenkovice na základě časových řad*, a Kláry Studené - *Projevy mimořádných synoptických situací v časových řadách měřených na stanici Halenkovice z let 2006-2010*. Srážky se měřily manuálně pomocí Hellmanova srážkoměru s plochou 200 cm², denně vždy v 7 hodin SEČ. Manuální měření je spolehlivé i v zimních měsících, kdy se provádí měření vodní hodnoty sněhové pokrývky (Studená, 2011).

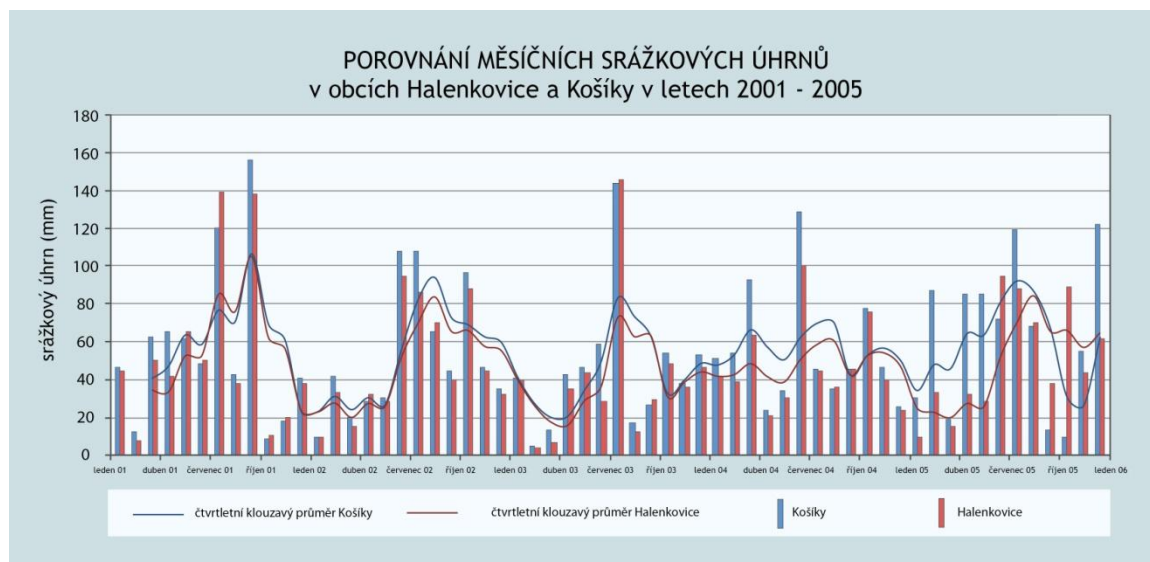
Data jsou však dostupná pouze pro období let 2001 - 2010. Bylo proto nutno najít alternativní zdroj, který by zahrnoval data až po současnost a bylo jím možné pokrýt chybějící časový úsek, tj. od října 2010 až do současnosti.

Jako nejvhodnější možnost se nabízela data z amatérské meteostanice pana Petra Maliny z obce Košíky. Srážky jsou zde zaznamenávány automaticky vyhřívaným srážkoměrem, což umožňuje zjišťovat vodní hodnotu sněhu v zimních měsících. Stanice se však nachází přibližně 3 km vzdušnou čarou od halenkovického svahu, takže neposkytují shodné informace. Z tohoto důvodu bylo nutno data otestovat pro jejich vhodnost.

6.4.1 Statistická analýza srážkových dat

Na základě dostupnosti dat z obou zdrojů bylo testované období stanoveno na časový úsek od ledna 2001 do září 2010. Porovnávány byly měsíční úhrny z obou stanic. Celé vyhodnocení mělo určit míru vhodnosti dat z Košíků pro použití v Halenkovicích.

Základním hodnotícím prvkem byla grafická vizualizace v podobě shlazených hodnot měsíčních úhrnů z obou stanic. Tímto způsobem by bylo možno vizuálně identifikovat hrubé odchylky v datech.



Obř. 10 Srovnání dat z Halenkovic a Košíků

Dalším krokem bylo numerické statistické testování dvou souborů pomocí odpovídajících testů, které proběhlo v programu R-Studio. Hodnocení proběhlo ve třech úrovních - měsíční, dvouměsíční a čtvrtletní úhrny srážek. Z dat byly na základě analýzy boxplotu odstraněny měsíce, kdy byly odchylky mezi stanicemi příliš velké - tyto chyby mohly být způsobeny buď lokálními bouřkami nebo také výpadkem v měření. Dále proběhlo testování normality dat pomocí vizualizace histogramu a Shapiro testu, na základě kterého byly vybrány další testy. U měsíčních a dvouměsíčních úhrnů se normalita neprokázala, u čtvrtletního ano.

Pro data s normálním rozdělením je vhodnou testovací metodou t-test. T-test je statistická metoda vhodná pro testování podobnosti středních hodnot dvou statistických souborů. V případě, který nastává zde, kdy testujeme dva soubory v podobě uspořádaných dvojic, je nejvhodnější párový t-test, kterým testujeme střední hodnoty naměřených souřadnic na jejich shodnost ve stejném pořadí (podle data). Použití t-testu je možno pouze v případě, že vybraná data mají normální rozdělení (Brázdil, 1981).

Pro data, která nemají normální rozdělení, byl použit Wilcoxonův párový test, který je neparametrickou obdobou t-testu.

Nezbytným krokem při testování dat je stanovení testovaných hypotéz. V tomto případě:

H_0 - data jsou shodná

H_a - data nejsou shodná

Po vyřešení testu v software je získána hodnota p-value, na jejímž základě je rozhodnuto o pravdivosti hypotéz: je-li p-value menší než 0,05, pak lze zamítnout H_0 ve prospěch H_a . Je-li p-value větší než 0,05, pak nelze zamítnout H_0 ve prospěch H_a .

Výsledky všech testů byly bohužel pro shodnost dat nepříznivé, nejbližší úspěchu bylo testování na čtvrtletní shody. Je však nutné si uvědomit, že zamítnutí nulové hypotézy ještě nemusí znamenat nevhodnost dat pro použití. Zmíněné párové testy testují nulový rozdíl středních hodnot obou sad, což vyžaduje velmi podobná data. V tomto případě rozdílnost v řádech jednotek až desítek (milimetrů srážek) způsobí neúspěch testu, avšak z hlediska skutečné významnosti srážek na svahové pohyby se nejedná o alarmující odchylky. Navíc se jedná o shlazené hodnoty, kde drobné odchylky zanikají. Pokud to bylo možné, byla používána data z Halenkovic, pouze od října 2010 do současnosti byla nahrazena daty z Košíků. V současném stavu se jedná o nejlepší možné řešení, každá další alternativní data by byla ještě méně přesná.

Data byla vizualizována v podobě spojnicového grafu, na který byly vynášeny shlazené hodnoty denních srážkových úhrnů pro daný rok, a pro pětiletý průměr 2001-2005. Na základě toho byly srážky vyhodnoceny pro nadměrné úhrny.

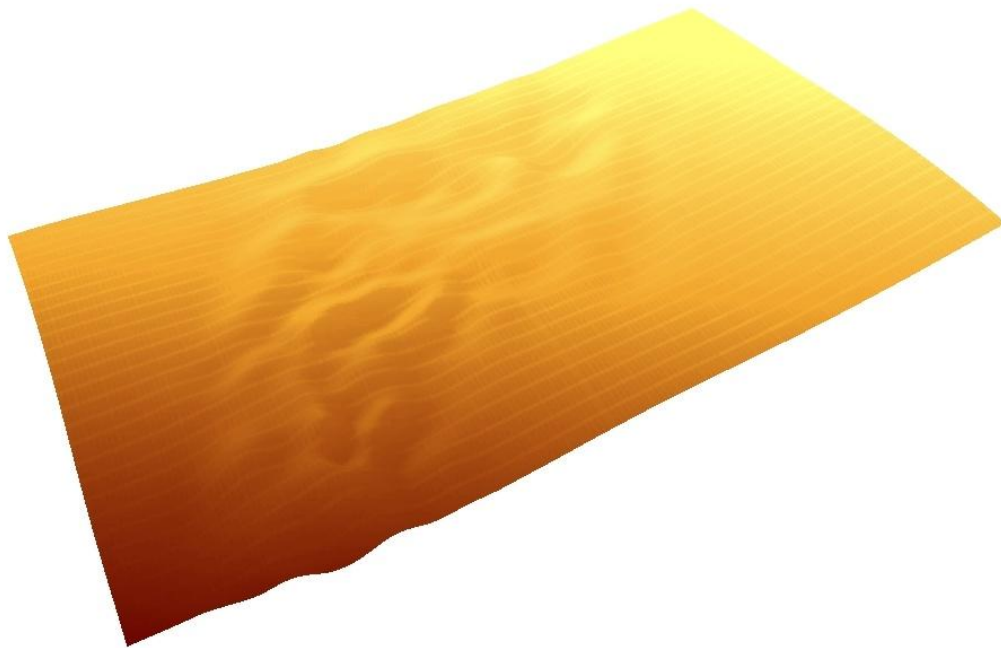
6.5 Digitální model reliéfu

Při studiu jevů a objektů v krajině je digitální model reliéfu vhodný nástroj nejen k vizualizaci zkoumaného prvku, ale také pro bližší získávání informací. V rámci bakalářské práce byly vytvořeny dva digitální modely reliéfu ve formě rastru. Základem byly body naměřené mimo rámeček geoharponů - jednalo se o dalších cca 150 bodů z oblasti sesuvu. První taková sada byla pořízena v roce 2009, druhá v říjnu 2012. Bohužel nebylo možné zařídit, aby byla zdrojová data shodného rozsahu a umístění, tudíž i při použití stejné interpolační metody nelze vzniklé modely využít k přesnému porovnávání. I tak byly však modely vhodným nástrojem pro vizualizaci a lepší představu o skutečném vzhledu sesuvu.

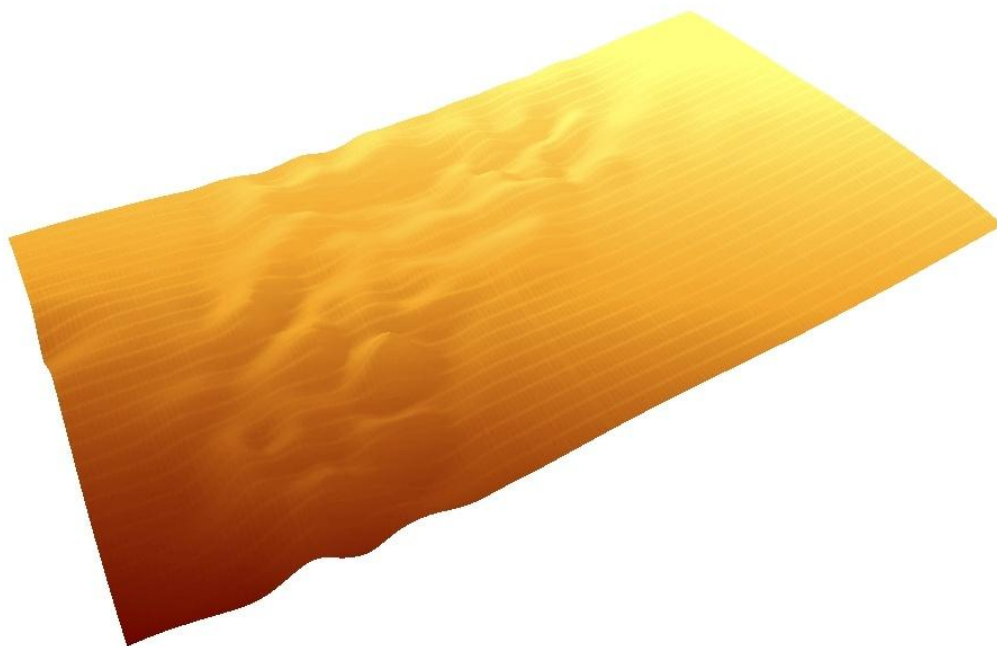
Pro tvorbu modelu byla použita interpolační metoda regularizovaný spline s hodnotou váhy 0,1 a počet bodů pro lokální aproximaci 12. Prostorové rozlišení modelu bylo zvoleno na 0,5 m/pixel. Byla vyzkoušena i hodnota 0,25, avšak výsledky nejevily žádný rozdíl.

Oba vytvořené rastry byly od sebe odečteny, čímž vznikl rozdílový rastr ukazující oblasti sesuvu, kde došlo mezi lety 2009-2012 k úbytku nebo naopak akumulaci materiálu. K této operaci posloužil nástroj *Minus*, nacházející se v toolboxu Spatial analyst tool/Math.

I přes rozdílná zdrojová data splnily oba modely svůj účel - jakožto prostředek vizualizace; pro další analýzy typu zjišťování hodnot v různých místech sesuvu však nejsou dostatečně přesné. Dobré výsledky přinesl také rozdílový rastr, který přibližně vystihuje reálný stav svahu.



Obr. 11 DMR v roce 2009



Obr. 12 DMR v roce 2012

7 VÝSLEDKY

Prvním dílčím výsledkem bakalářské práce bylo úspěšné lokalizování geoharponů na svahu. Jednalo se o nezbytnou podmínku pro další práci. Teoreticky by stačilo nalézt jeden bod v těle sesuvu, na kterém by se ověřila hypotéza o pohybu svahu, avšak při větším počtu bodů se rozšiřuje spolehlivost výsledného tvrzení. Podařilo se objevit celkově 20 z původních 28 bodů. Jeden bod byl bohužel během zimy ztracen, jednalo se však o geoharpon mimo aktivní část svahu, tudíž ho lze považovat za méně významný.

Dalšími popsánymi výsledky v této kapitole je vyhodnocení získaných souřadnic pomocí výše zmiňovaných metod (kapitola 6), a zkoumání možného vlivu srážek na pohyb svahu.

7.1 Vyhodnocení souřadnic geoharponů

Hlavním nástrojem pro hodnocení naměřených souřadnic a tudíž pro vytipování pohybujících se bodů byly elipsy konfidenčních intervalů. Pomocí nich bylo identifikováno 6 stabilních bodů, 12 aktivních bodů a 1 bod byl označen jako sporný z toho důvodu, že se jeho poloha se nachází mimo oblast sesuvu, avšak výsledky získané pomocí elips konfidenčních intervalů ukazují na posun opačným směrem, než je směr pohybu sesuvu. Z tohoto důvodu zde lze uvažovat o bodu s chybným zaměřením. Díky tomuto nástroji bylo možné snadno identifikovat aktivní body jako celek, ale také dílčí změny polohy bodu v jednotlivých časových obdobích. Tímto způsobem bylo možné odhalit další chyby, a to především chybu vytržení z časové posloupnosti, kdy se hodnota jednoho měření nachází mimo a potom se opět vrací do své původní polohy, což z logiky věci není možné. Stejně tak není možné, aby došlo k posunu proti směru pohybu svahu, a následně zase ve směru správném. Tento jev můžeme pozorovat například u bodu číslo 11 a 24, kde vystupují hodnoty měření z roku 2011. Proto byly tyto body v celkovém hodnocení označeny jako s chybným měřením.

Dále byla hodnocena přesnost jednotlivých měření pomocí kružnic standardních vzdáleností - nejmenší kružnice vznikaly z měření z let 2012 a 2013, proto je lze označit jako nejpřesnější. Na druhou stranu jako méně přesné se jeví hodnoty obou měření z dubna 2009, je to však způsobeno tím, že tyto hodnoty vstupovaly do nástroje kružnic jako jedna skupina z důvodu jejich časové blízkosti.

Důležitým výsledkem pro kvantifikaci posunu jednotlivých bodů jsou vytvořené grafy velikosti posunu. Pomocí nich si lze udělat dobrou představu, ve které části sesuvu a kdy docházelo na svahu k největší aktivitě. Na základě vypočtených hodnot lze snadno určit období s maximálními hodnotami posunu. To připadá na interval let 2010 - 2011, kde velikosti posunu dosahovaly u aktivních bodů hodnot cca od 1 do 7 metrů. Celkový přehled vypočtených výsledků podává tabulka 4:

Tab. 5 Velikost posunu jednotlivých bodů

bod	Období								celkem (m)
	červen-říjen 2008	prosinec 2008	duben 2009	duben2 2009	březen 2010	duben 2011	říjen 2012	březen 2013	
1	0,022	0,118	0,111	0,040	0,055	0,371	0,035	0,016	0,766
2	0,070	0,064	0,042	0,015	0,067	0,066	0,036	0,024	0,384
5	0,159	0,056	0,079	0,003	0,069	x	1,169	0,049	1,585
6	1,648	0,103	0,159	0,028	0,045	5,841	0,422	0,046	8,291
9	x	x	x	x	x	x	4,521	0,025	4,546
10	x	0,095	0,120	0,056	0,259	6,739	0,331	0,065	7,665
11	0,032	0,083	0,079	0,049	0,043	5,941	0,067	0,046	6,340
12	x	0,119	0,157	0,011	0,088	7,169	0,080	0,045	7,669
16	x	x	2,665	0,017	0,152	x	5,399	0,067	8,299
17	2,171	0,144	0,093	0,033	0,071	4,527	0,194	0,042	7,274
19	0,061	0,065	0,027	0,024	0,053	x	0,019	0,023	0,272
20	0,000	0,101	0,070	0,014	0,038	x	0,033	0,018	0,273
21	0,033	0,062	0,070	0,037	0,024	x	3,131	0,023	3,381
22	0,041	0,057	0,033	0,056	0,013	x	0,022	0,010	0,233
24	0,086	0,131	0,030	0,030	0,104	1,533	0,127	0,010	2,051
25	x	x	x	0,078	0,023	x	0,160	0,028	0,289
27	x	x	0,033	0,020	0,054	x	0,085	x	0,192
28	x	0,074	0,132	0,039	0,090	6,053	0,329	0,067	6,784

Pro detailnější představu o pohybu bodů byly vytvořeny grafy změn jednotlivých souřadnic. Na těch lze podobně jako u grafů posunu bodů dobře sledovat náhlé výrazné změny v poloze. Konkrétně na Z souřadnici jsou dobře patrné neočekávané změny - jako vhodný příklad slouží stabilní body, kde lze pozorovat nárůst výšky v říjnu, prosinci 2008 a dubnu 2009 oproti původním hodnotám. Jedná se sice o nepatrná čísla v řádech jednotek centimetrů, ale nelze je přehlédnout. Vzhledem k tomu, že se tyto změny vyskytují u všech bodů, lze je považovat za určitý typ systematické chyby, jako např. špatné nastavení výšky hranolu.

Posledním nástrojem pro vyhodnocování byl výpočet statistických charakteristik (směrodatné odchylky a rozptylu) a využití statistických testů pro detekci změn v souřadnicích. Hodnoty směrodatné odchylky a rozptylu velice dobře odlišují body s minimální změnou v souřadnicích (viz kapitola 6.3, tabulka 5), a proto je lze považovat za velmi vhodnou metodou vyhodnocování. Takto byly jasně určeny body 2, 19, 20, 22, 26 a 27 jako stabilní, body 1 a 25 jako sporné, které je nutno dále prověřit a ostatní body jako aktivní. Testování pomocí Kruskal-Wallisova testu bohužel nepřineslo tak kvalitní výsledky, protože se ukázalo jako příliš citlivé na změny v souřadnicích, a z toho důvodu označilo za aktivní body i ty, které se jevíly všemi dalšími metodami jako stabilní. Bohužel v této situaci nebyla k dispozici žádná jiná testovací alternativa, které by mohla přinést lepší výsledky.

7.2 Komplexní hodnocení geoharponů

Pomocí užitých metod je možno jako finální krok přinést výsledek celkového vyhodnocení všech bodů, rozhodnout o jejich pohybu či stabilitě a určit, ve které době

byly hodnoty pohybu největší. Byly využity všechny přístupy použité k hodnocení získaných souřadnic, a s jejich kombinací byla sestavena výsledná tabulka.

Šedá barva značí stabilitu bodu při měření oproti předchozímu měření, růžová posun, x - bod nebyl v daném období nalezen a zaměřen, a žluté rámování symbolizuje pravděpodobně významnou chybu v měření.

Tab. 4 Komplexní hodnocení aktivity bodů

bod	Období								
	červen 2008	říjen 2008	prosinec 2008	duben 2009	duben2 2009	březen 2010	duben 2011	říjen 2012	březen 2013
1	0								
2	0								
5	0						x		
6	0								
9	0	x	x	x	x	x	x		
10	x								
11	0								
12	0								
16	0	x	x				x		
17	0								
19	0						x		
20	0						x		
21	0						x		
22	0						x		
24	0								
25	x	x		x			x		
26	x								
27	x	x					x		x
28	x								

Výsledkem celého dlouhodobého sledování svahu je tedy tvrzení, že ze současných 20 nalezených bodů lze považovat 5 bodů jako stabilních, u 14 bodů byl v některém dílčím sledovaném úseku zaznamenán posun, a z toho 6 bodů je pravděpodobně stále aktivních. Zvláštní kategorie je výchozí stanoviště (bod 0 - není zahrnuto v tabulce), které je celou dobu považováno za stabilní.

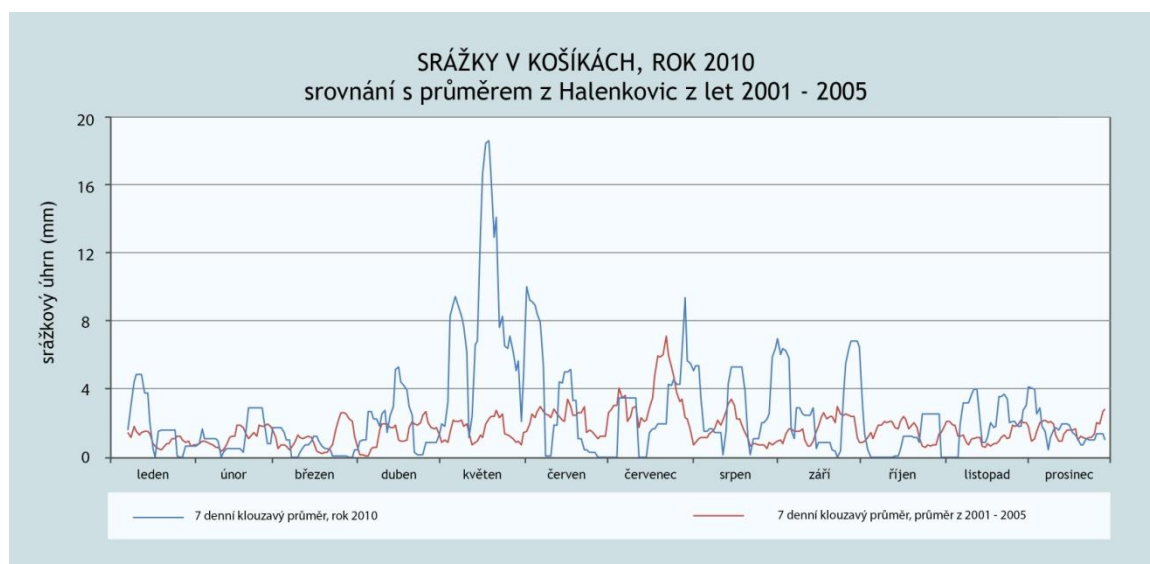
7.3 Vyhodnocení srážkových dat

Grafy ročních srážkových úhrnů byly zkoumány pouze vizuálně a porovnávány s ostatními výsledky, především s grafy velikosti posunu bodů. Tímto způsobem se měly identifikovat výrazné hodnoty srážek, které mohly mít vliv na pohyb svahu.

První zkoumaná data byla pro rok 2006, kdy započal sesuv. V tomto roce je patrných několik období s nadprůměrnými hodnotami, především v letních měsících. Hodnoty sice nedosahují tak výrazných rozdílů jako v jiných letech, avšak jasně ukazují, že rok 2006 byl velice deštivý, což mohlo mít vliv na spuštění sesuvu.

Dále byly procházeny jednotlivé roky. Velice výrazné hodnoty byly zaznamenány v červnu a na podzim roku 2007, což zajisté posílilo vznikající sesuv. Během roku 2008 nedocházelo k tak výrazným srážkám, nejvyšší hodnoty zde přesahují maximum průměru cca o 4 mm, což není silný rozdíl. Celkově se rok 2008 podobal průměru. V roce 2009

sice byly sledovány časté nadprůměrné hodnoty, ale stejně jako v roce 2008 nebyla tato čísla o tolik větší než průměr. Po nahlédnutí na změny polohy bodů nezle tvrdit, že srážky výrazně ovlivnily posun. Jiná situace nastává v roce 2010. Zde lze vidět vysoce nadprůměrné hodnoty, a to především v květnu a červnu. V tomto případě lze prokázat souvislost s pohybem svahu, neboť mezi březnem 2010 a dubnem 2011 jsou hodnoty posunu v některých případech až 7 metrů. V letech 2011 a 2012 se již opět setkáváme s méně výraznými rozdíly, za zmínku stojí pouze červen 2012, v jehož návaznosti můžeme opět pozorovat větší pohyb mezi lety 2011-2012 než v letech 2012 -2013.



Obr. 13 Srovnání roku 2010 s pětiletým průměrem

Po analýze srážkových dat lze tvrdit, že vysoce nadprůměrné hodnoty srážek se promítají do změny polohy bodů. Konkrétně souvislost mezi velkými dešti začátkem léta 2010 a v červnu 2012 jsou dobře viditelné na posunech bodů. Pro ostatní roky nebyly srážky tak výrazné, stejně tak jako se neseťkáváme se silně odlišujícím se pohybem na svahu.

8 DISKUZE

Během hodnocení polohy geoharponů byl zjištěn fakt, že by bylo lépe, kdyby v rámci jednoho měření byl každý bod zaměřen vícekrát. Tři měření jednoho bodu bylo základní minimum pro to, aby mohly být počítány některé charakteristiky a užity testy, ve větším počtu měření (např. 5-10) by se nejspíš zvýšila přesnost výsledků. Při častějším provádění měření by bylo také lépe zjistitelné, kdy se jedná o posun bodu a kdy pouze o chybu měření.

Pro hodnocení vlivu srážek na pohyb svahu by byla vhodnější data s kratším časovým intervalem mezi měřeními. Ideální by bylo měřit pohyb například každý měsíc, pak by porovnávání mohlo přinést přesnější výsledky. Je však jasné, že takové pořizování dat nebylo v tak dlouhém časovém úseku možné.

Největším problémem při hodnocení dat byla nepřesnost v rámci měření. I přes opravu všech dat na stejnou výchozí polohu stanoviště se v měřeních stále vyskytovaly odchylky v řádech pár centimetrů, které nebylo možno jasně identifikovat jako posun bodu nebo chybu měření. V takových případech se spoléhalo na výsledek elips konfidenčních intervalů, případně statistických testů. Stejně tak se vyskytovaly nepřesnosti v rámci měřených nadmořských výšek (viz. grafy změny souřadnic), kde lze toto kolísání vysvětlit buď chybným nastavením hranolu a výšky totální stanice, nebo je možné, že se jedná o zachycení skutečného stavu - v důsledku působení sil na svahu se harpon může lehce pohybovat i vertikálním směrem.

Pro optimalizaci práce a dosažení naprosto přesných výsledků by bylo nutné mít referenční bod o známých souřadnicích, po jehož zaměření by bylo možné celé měření zkorigovat. Tak by bylo zajištěno, že v získaných souřadnicích není žádná odchylka a všechny neodpovídající výsledky by bylo možno klasifikovat jako chybu.

Zajímavou alternativní možností by bylo využití pro měření místo totální stanice geodetické GPS s korekcemi, které dosahují centimetrové přesnosti. Tento přístup by za správného provedení mohl odstranit výše zmiňované nepřesnosti.

9 ZÁVĚR

Úkolem práce bylo provést finální krok v rámci sledování sesuvu svahu u obce Halenkovice v podobě závěrečného zaměření bodů a následného celkového vyhodnocení všech dostupných dat za sledované období.

Práce je tvořena dvěma hlavními částmi - teoretický úsek se zabývá obecnou problematikou svahových pohybů a zároveň se také detailněji dívá na zkoumanou oblast jak z hledisek geologických a geomorfologických, tak také z hlediska historického vývoje a současného stavu lokality.

Základ praktické části práce spočíval v dohledání geoharponů a jejich zaměření pomocí totální stanice. Tímto krokem bylo dokončeno terénní šetření celé problematiky a mohlo se přistoupit ke zpracování a vyhodnocování všech dat.

Ke zpracování výsledků bylo přistupováno několika způsoby - základ byl postaven na charakteristikách variability, které popisují proměnlivost statistického souboru a tudíž je lze použít pro popsání změn souřadnic bodů. Směrodatné odchylky využívají pro svou konstrukci elipsy konfidenčních intervalů a kružnice standardní vzdálenosti. Nezbytné bylo také statistické testování, které však ukázalo příliš vysokou citlivost na změny hodnot, proto indikovalo na posun i v případech, kdy nebyl pravděpodobný. Je třeba na všechny metody nahlížet kriticky a ne je slepě následovat, nýbrž kombinovat jednotlivé přístupy pro dosažení optimálních výsledků. Kromě číselných hodnocení byly využity také grafické vizualizace jednak v podobě již zmíněných elips konfidenčních intervalů, dále také grafy velikosti posunu bodů a změny jednotlivých souřadnic v průběhu času.

S jistotou lze prokázat pohyb u 12 bodů - konkrétně body 1, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 16, 17, 21, 24, 28. Jako stabilní byly vyhodnoceny body číslo 0, 2, 19, 20, 22, 26. U bodů číslo 25 a 27 byl zaznamenán nelogický, byť nepatrný pohyb proti sklonu svahu naměřený v roce 2012, proto jsou tato měření považována jako chybná a tudíž nelze rozhodnout o jejich stavu. Tyto body se nachází mimo oblast viditelně aktivního sesuvu a až do chybného měření byly považovány za stabilní. Nejvíce pohybující se body se nachází ve spodní, akumulární části sesuvu, kde hodnoty posunu dosahují až sedmi metrů. Po roce 2010 můžeme sledovat rozšíření pohybu ve vyšších částech svahu a na stranách, kde se začaly hýbat do té doby stabilní body 1, 5, 11, 21 a 24. Důležitým zjištěním je, že v případě bodů 6, 10, 12, 16, 17 a 28 pohyb stále trvá, avšak už jen v malé míře - nejvyšší naměřená hodnota proti podzimu 2012 byla 6,7 cm.

Zvláštní kapitolou bylo hodnocení vlivu srážek na sesuv, a to pomocí hodnot denních srážkových úhrnů ze stanic Halenkovice a Košíky. Souvislosti se podařilo prokázat hlavně ve dvou případech a to v roce 2010 a 2012. Pro podrobnější zkoumání těchto vlivů bylo nutné mít větší hustotu měření bodů, než je skutečný stav.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

Knižní zdroje

ANDĚL, Jiří. *Základy matematické statistiky*. Praha: Matematicko-fyzikální fakulta University Karlovy, 2011. ISBN 978-80-7378-162-0.

AXMANOVÁ, Kristýna. *Design experimentu*. Olomouc, 2010. Bakalářská práce. Univerzita Palackého.

BRÁZDIL, Rudolf. *Statistické metody v geografii*. Brno: Univerzita J.E.Purkyně, 1981.

DEMEK, Jaromír. *Obecná geomorfologie III*. Univerzita J.E.Purkyně v Brně. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1984.

LOVECKÁ, Jiřina. *Svahové pochody v přírodním parku Chřiby a biotopy sesuvných území*. Olomouc, 2011. Diplomová práce. Univerzita Palackého.

MAREK, Lukáš. *Design experimentu pro posouzení stability svahu v prostředí ESRI produktů*. Olomouc, 2009. Diplomová práce. Univerzita Palackého.

MAREK, Lukáš, Vít PÁZSTO, Pavel TUČEK a Jaroslav MAREK. *Stochastic approach for determining landslide activity*. In Ed. HORÁK, J., HALOUHOVÁ, L., HLÁSNÝ, T., KUSEDOVÁ, D., VOŽENÍLEK, V. *Advances in Geoinformation Technologies 2010*. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2357-7

MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Statistical data analysis*. India: Woodhead Publishing India, 2011. ISBN 978-0857091093.

NĚMČOK, Arnold, Jan PAŠEK a Jaroslav RYBÁŘ. *Dělení svahových pohybů*. 1974. Sborník geologických věd – řada HIG. 11: 77–97.

RYBÁŘ a kol. *Landslides*. Proceedings of the First European conference on landslides. Lisse, Holandsko, Balkema Publishers. 2002. 734 s. (v angličtině).

STUDENÁ, Klára. *Projevy mimořádných synoptických situací v časových řadách měřených na stanici Halenkovice z let 2006-2010*. Olomouc, 2011. Diplomová práce. Univerzita Palackého.

ZÁRUBA, Quido a Vojtěch MENCL. *Sesuvy a zabezpečování svahů*. 2. vyd. Praha : Academia, 1987. 340 s.

Elektronické zdroje

On-line geologická encyklopedie. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. [online]. 2007 [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl>

Svahové pohyby. Přírodní katastrofy a environmentální hazardy: multimediální výuková příručka [online]. [cit. 2012-11-03]. Dostupné z: <http://www.sci.muni.cz/~herber/slide.htm>

ŠAMALÍKOVÁ, Milena, Jiří LOCKER a Pavel POSPÍŠIL. Geologie: Učební texty pro studenty kombinovaného a denního studia [online]. Brno: Ústav geotechniky FAST. 1995 [cit. 2012-11-03]. Dostupné z: <http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/geologie/skripta/geologie.pdf>

Totální stanice Trimble 5503 DR standard. *Vědeckotechnický park* [online]. 2012. [cit. 2013-04-04]. Dostupné z: <http://vtpup.cz/vyzkum-mereni-analyzy/pristroje-na-up.html?action=detail&deviceId=121>

Základní pojmy a klasifikace. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Česká geologická služba - Nestabilita svahů: pojmy* [online]. 2007 [cit. 2012-12-06]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/svahovenestability/pojmy>

Zjednodušená geologická mapa 1:50 000. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *Česká geologická služba: Mapová aplikace, verze 1.1* [online]. [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50zj&y=535800&x=1169800&r=2500&s=1&legselect=0

SUMMARY

Landslides are long-lasting phenomena in landscape, which demands long-term monitoring for sufficient evaluation and processing. This thesis is a final part of 4 year monitoring of landslide in Halenkovice. Its aims are assemble all data got during the monitoring between year 2009 and 2013, and process, evaluate and visualize it appropriately.

The thesis consists of two main part, which are data collection and data evaluation. Data collection deals with problems in landscape - difficult terrain and vital vegetation were against quick and successful location of situated points. Another problem was accuracy of data. There were several - not always with a same quality - geodetic measurements, which influenced results. There was used only one method of measuring - by total station. It would be interesting compare this results with another method, for example measuring by GPS with real-time correction, which reaches to centimetre-accuracy. It might solve problem with deviations caused by human factor or instrument.

Data processing was divided into 2 groups - located points coordinates and rainfall data. Coordinates data evaluation was based on calculation on statistical characteristics of variability - standard deviation and variance. This results enable initially identify active and passive points. This characteristics were also used for creation of standard deviation ellipses and standard distance circles - this tools describes accuracy of measurement and also identifies movement of points. Another part was numerical approach using statistical tests to confirm or reject hypothesis about slope activity. Unfortunately, tests don't always fit to the real situation, because are too sensitive to differences in data. Data evaluation was done by way of graphs - for every point, graph of change in coordinate X, Y, Z, and graph describing value of shift was created.

Second group of data was rainfall data. This category was evaluated by graphs, which compare daily rainfall of one year with 5-year average. Based on this visualisation, strong deviation could be detected and found connection between rainfalls and landslide. That hypothesis was proved in years 2010 and 2012.

Final results says, that landslide is still active and there were huge shift in the past. This thesis can be used as a report describing particular landslide and approach to monitor and evaluate whole phenomenon.

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

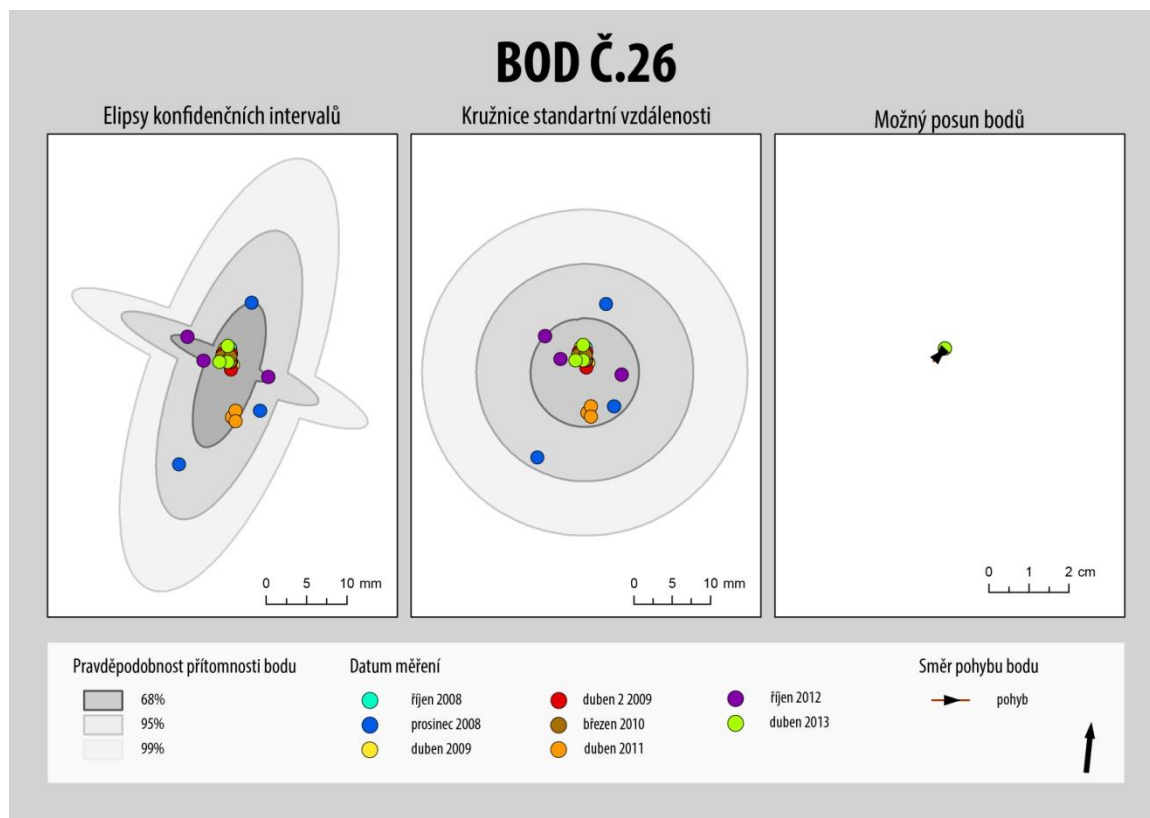
Vázané přílohy:

- Příloha 1 Kompletní hodnocení stabilního bodu - bod 26
- Příloha 2 Kompletní hodnocení aktivního bodu - bod 28
- Příloha 3 Přehled všech naměřených souřadnic - průměrné hodnoty

CD-ROM

- Příloha 4 Datasets zdrojových podkladových dat (souřadnice, srážky), digitální výstupy (hodnocení přesnosti, grafy posunu a změn souřadnic, statistické testování, vizualizace DMR, mapové výstupy)

Příloha 1 - Kompletní hodnocení stabilního bodu - bod 26



Obr. 1 Grafické hodnocení bodu 26

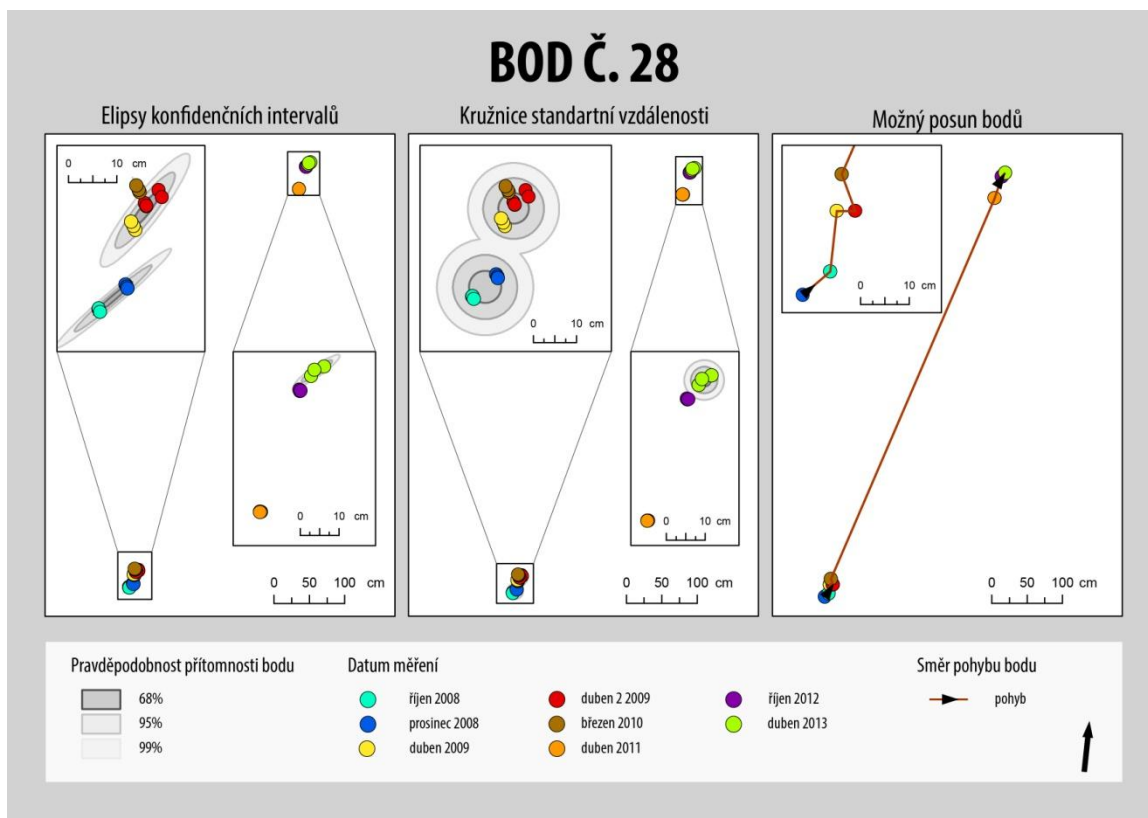
Tab. 1 Kruskal-Wallisův test pro bod 26

Kruskal-Wallisův test	
	p-value
X	0,5711
Y	0,3645
Z	NA

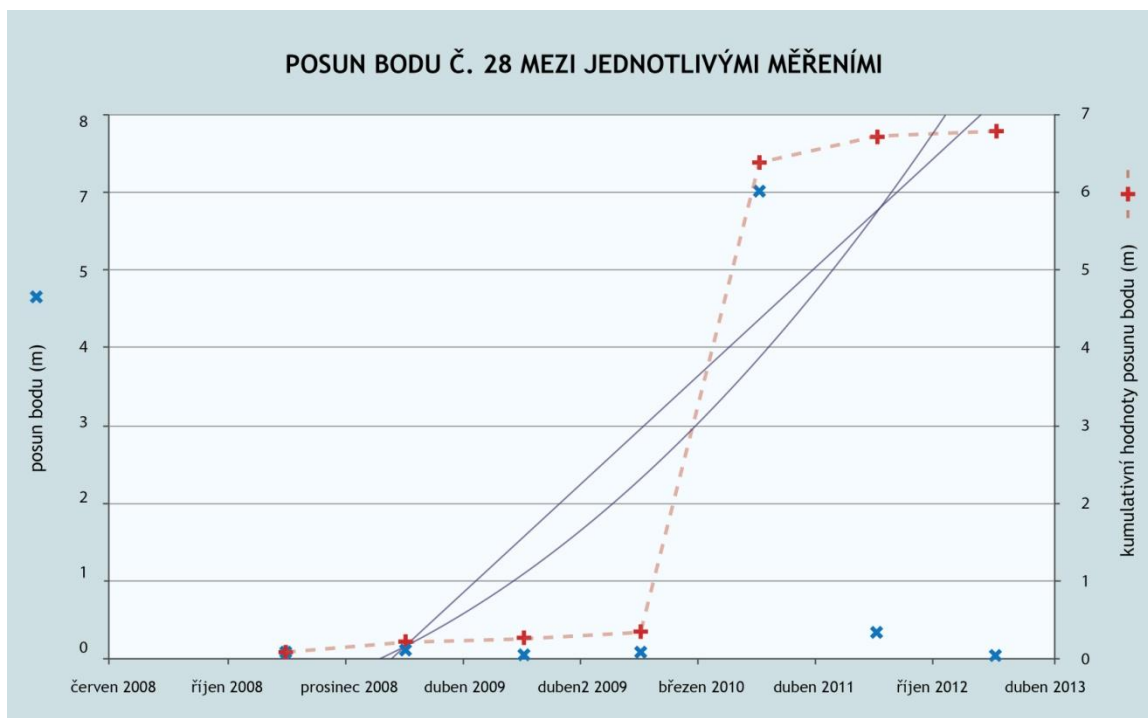
Tab. 2 Výsledky vícenásobného porovnávání

Vícenásobné porovnávání			
	X	Y	Z
červen/říjen	0,9999	0,9999	1
říjen/prosinec	0,9999	0,9999	1
prosinec/duben	0,9999	1	1
duben/duben2	0,9999	0,9999	1
duben2/2010	0,9999	0,9999	1
2010/2011	0,9999	0,9999	1
2011/2012	0,9999	0,9999	1
2012/2013	0,9999	0,9999	1

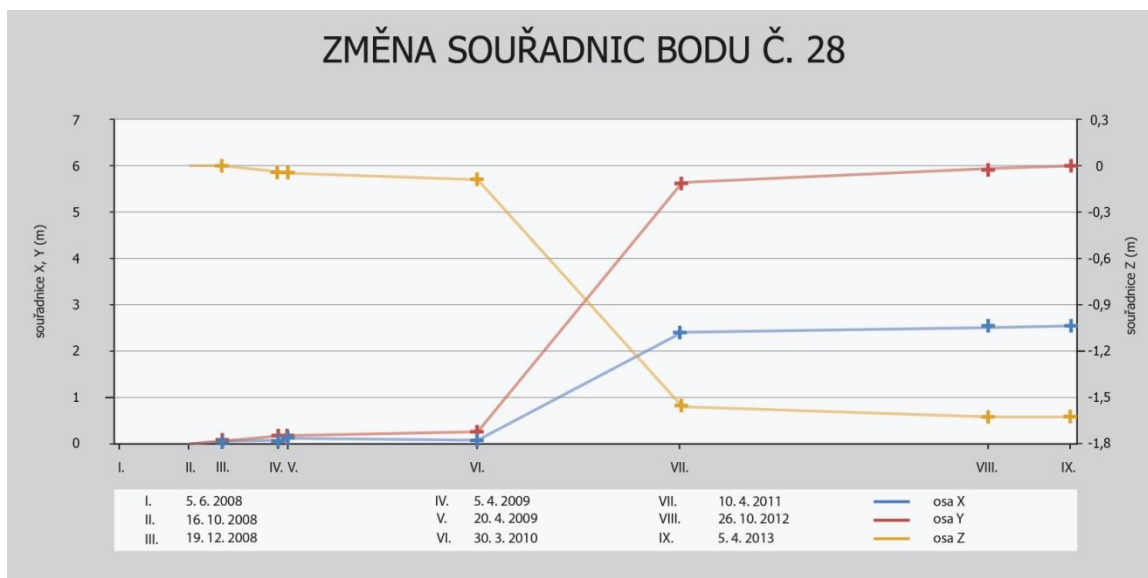
Příloha 2 - Kompletní hodnocení aktivního bodu - bod 28



Obr. 2 Grafické hodnocení bodu 28



Obr. 3 Graf posunu bodu 28 mezi měřeními



Obr. 4 Graf změny souřadnic bodu 28 mezi měřeními

Tab. 3 Kruskal-Wallisův test pro bod 26

Kruskal-Wallisův test	
	p-value
X	0,0008816
Y	0,0009446
Z	0,0008535

Tab. 4 Výsledky vícenásobného porovnávání

Vícenásobné porovnávání			
	X	Y	Z
říjen/prosinec	0	0	1
prosinec/duben	0	0	0
duben/duben2	0	0	0
duben2/2010	0	0,9076	0
2010/2011	0	0	0
2011/2012	0	0	1
2012/2013	0	0	0

Příloha 3 - přehled všech naměřených souřadnic - průměrné hodnoty

Tab. 5 Průměrné hodnoty souřadnic

bod	březen+červen 2008			říjen 2008			prosinec 2008			duben 2009		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-536877,706	-1169857,903	267,93	-536877,687	-1169857,895	267,92	-536877,657	-1169857,782	267,94	-536877,716	-1169857,873	267,96
2	-536865,840	-1169841,754	263,90	-536865,853	-1169841,685	263,90	-536865,797	-1169841,672	263,93	-536865,802	-1169841,713	263,92
3	-536882,764	-1169855,551	267,66	-536882,758	-1169855,523	267,68	-536882,730	-1169855,509	267,71	-536882,759	-1169855,549	267,71
4	-536877,016	-1169842,677	264,44	-536876,596	-1169842,100	264,19	-536876,540	-1169842,024	264,19	-536876,505	-1169842,043	264,16
5	-536848,610	-1169816,403	256,70	-536848,542	-1169816,260	256,71	-536848,534	-1169816,313	256,72	-536848,611	-1169816,333	256,71
6	-536863,022	-1169825,215	260,38	-536862,185	-1169823,826	260,09	-536862,108	-1169823,765	260,12	-536862,019	-1169823,649	260,06
7	NA	NA	NA	-536892,014	-1169844,908	266,81	-536892,085	-1169844,907	266,83	-536891,993	-1169844,831	266,82
8	-536877,488	-1169828,606	262,86	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
9	-536897,537	-1169846,810	267,50	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
10	NA	NA	NA	-536871,822	-1169826,612	262,80	-536871,728	-1169826,618	262,80	-536871,663	-1169826,526	262,75
11	-536903,569	-1169864,442	268,98	-536903,540	-1169864,447	268,99	-536903,551	-1169864,370	269,02	-536903,538	-1169864,448	269,02
12	NA	NA	NA	-536894,870	-1169837,605	266,11	-536894,906	-1169837,500	266,15	-536894,759	-1169837,466	266,11
13	-536910,411	-1169869,892	272,24	-536910,419	-1169869,894	272,26	-536910,424	-1169869,795	272,29	-536910,443	-1169869,876	272,28
14	-536903,085	-1169831,215	265,78	-536902,595	-1169830,845	265,69	-536902,562	-1169830,830	265,69	-536902,463	-1169830,744	265,68
15	-536914,789	-1169849,523	269,50	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
16	-536876,927	-1169805,992	258,10	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-536875,718	-1169803,669	257,60
17	-536860,034	-1169804,227	256,32	-536858,927	-1169802,378	256,06	-536858,784	-1169802,394	256,06	-536858,801	-1169802,308	256,03
18	-536918,447	-1169863,903	271,67	-536918,441	-1169863,869	271,69	-536918,392	-1169863,809	271,72	-536918,307	-1169863,900	271,69
19	-536900,212	-1169811,064	261,77	-536900,243	-1169811,115	261,76	-536900,213	-1169811,144	261,81	-536900,231	-1169811,143	261,79
20	-536926,414	-1169827,390	268,66	-536926,414	-1169827,390	268,66	-536926,394	-1169827,293	268,68	-536926,413	-1169827,361	268,69
21	-536930,552	-1169836,490	270,37	-536930,522	-1169836,489	270,38	-536930,461	-1169836,486	270,39	-536930,527	-1169836,506	270,40
22	-536942,392	-1169871,035	275,73	-536942,429	-1169871,042	275,75	-536942,386	-1169871,006	275,75	-536942,417	-1169871,009	275,76
23	-536942,843	-1169862,757	274,37	-536942,825	-1169862,792	274,40	-536942,774	-1169862,671	274,41	-536942,743	-1169862,767	274,37
24	-536945,828	-1169847,480	273,57	-536945,839	-1169847,564	273,59	-536945,782	-1169847,446	273,59	-536945,811	-1169847,441	273,58
25	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-536927,048	-1169802,429	264,99	NA	NA	NA
26	NA	NA	NA	-536960,412	-1169826,950	273,64	-536960,412	-1169826,950	273,64	-536960,412	-1169826,950	273,64
27	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-536987,524	-1169857,686	281,83	-536987,509	-1169857,714	281,82
28	NA	NA	NA	-536881,564	-1169809,417	259,39	-536881,508	-1169809,369	259,39	-536881,494	-1169809,244	259,35
0	-536855,395	-1169866,159	266,99	-536855,395	-1169866,159	266,99	-536855,395	-1169866,159	266,99	-536855,395	-1169866,159	266,99

bod	duben_2 2009			březen 2010			duben_2011			říjen_2012		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-536877,741	-1169857,873	267,93	-536877,694	-1169857,897	267,92	-536877,489	-1169857,588	267,92	-536877,518	-1169857,572	267,96
2	-536865,815	-1169841,713	263,91	-536865,854	-1169841,737	263,86	-536865,832	-1169841,674	263,86	-536865,858	-1169841,697	263,84
3	-536882,727	-1169855,549	267,70	-536882,699	-1169855,518	267,66	NA	NA	NA	NA	NA	NA
4	-536876,489	-1169842,043	264,12	-536876,505	-1169842,021	264,09	NA	NA	NA	NA	NA	NA
5	-536848,611	-1169816,333	256,72	-536848,594	-1169816,265	256,72	NA	NA	NA	-536848,053	-1169815,310	256,31
6	-536862,018	-1169823,649	260,03	-536862,024	-1169823,608	260,05	-536858,809	-1169818,873	258,88	-536858,523	-1169818,565	258,83
7	-536892,010	-1169844,831	266,81	-536892,061	-1169844,785	266,79	NA	NA	NA	NA	NA	NA
8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
9	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-536894,556	-1169843,475	266,81
10	-536871,719	-1169826,526	262,75	-536871,651	-1169826,277	262,78	-536867,587	-1169820,957	262,00	-536867,375	-1169820,733	261,85
11	-536903,490	-1169864,448	269,01	-536903,502	-1169864,421	268,98	-536899,348	-1169860,335	267,82	-536899,401	-1169860,376	267,81
12	-536894,747	-1169837,466	266,11	-536894,690	-1169837,414	266,07	-536890,403	-1169831,805	264,82	-536890,342	-1169831,754	264,78
13	-536910,469	-1169869,876	272,27	-536910,434	-1169869,896	272,26	NA	NA	NA	NA	NA	NA
14	-536902,486	-1169830,744	265,66	-536902,495	-1169830,709	265,64	NA	NA	NA	NA	NA	NA
15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
16	-536875,705	-1169803,669	257,61	-536875,709	-1169803,520	257,58	NA	NA	NA	-536873,253	-1169798,815	256,57
17	-536858,773	-1169802,308	256,05	-536858,816	-1169802,255	256,03	-536856,176	-1169798,633	255,39	-536856,079	-1169798,468	255,39
18	-536918,370	-1169863,900	271,68	-536918,378	-1169863,886	271,66	NA	NA	NA	NA	NA	NA
19	-536900,253	-1169811,143	261,78	-536900,300	-1169811,167	261,78	NA	NA	NA	-536900,306	-1169811,163	261,75
20	-536926,425	-1169827,361	268,68	-536926,434	-1169827,395	268,67	NA	NA	NA	-536926,463	-1169827,384	268,66
21	-536930,492	-1169836,506	270,39	-536930,502	-1169836,493	270,37	NA	NA	NA	-536928,099	-1169834,523	269,96
22	-536942,472	-1169871,009	275,75	-536942,459	-1169871,008	275,75	NA	NA	NA	-536942,475	-1169870,992	275,72
23	-536942,785	-1169862,767	274,40	-536942,825	-1169862,744	274,40	NA	NA	NA	NA	NA	NA
24	-536945,838	-1169847,441	273,57	-536945,868	-1169847,541	273,58	-536944,472	-1169847,680	272,96	-536944,574	-1169847,690	273,01
25	-536927,088	-1169802,493	264,97	-536927,071	-1169802,479	264,98	NA	NA	NA	-536927,225	-1169802,480	264,90
26	-536960,412	-1169826,950	273,64	-536960,412	-1169826,950	273,64	-536960,412	-1169826,950	273,64	-536960,412	-1169826,950	273,64
27	-536987,496	-1169857,714	281,84	-536987,481	-1169857,662	281,83	NA	NA	NA	-536987,551	-1169857,688	281,76
28	-536881,456	-1169809,244	259,34	-536881,484	-1169809,168	259,30	-536879,163	-1169803,774	257,83	-536879,060	-1169803,469	258,14
0	-536855,395	-1169866,159	266,99	-536855,395	-1169866,159	266,99	-536855,395	-1169866,159	266,99	-536855,395	-1169866,159	266,99

bod	duben_2013		
	X	Y	Z
1	-536877,510	-1169857,569	267,92
2	-536865,854	-1169841,702	263,89
3	NA	NA	NA
4	NA	NA	NA
5	-536848,048	-1169815,304	256,27
6	-536858,493	-1169818,529	258,76
7	NA	NA	NA
8	NA	NA	NA
9	-536894,542	-1169843,461	266,77
10	-536867,346	-1169820,681	261,76
11	-536899,390	-1169860,361	267,76
12	-536890,302	-1169831,736	264,71
13	NA	NA	NA
14	NA	NA	NA
15	NA	NA	NA
16	-536873,208	-1169798,766	256,52
17	-536856,051	-1169798,437	255,33
18	NA	NA	NA
19	-536900,293	-1169811,155	261,78
20	-536926,449	-1169827,380	268,67
21	-536928,075	-1169834,521	269,90
22	-536942,474	-1169870,992	275,67
23	NA	NA	NA
24	-536944,566	-1169847,687	272,94
25	-536927,210	-1169802,491	264,86
26	-536960,412	-1169826,950	273,64
27	NA	NA	NA
28	-536879,016	-1169803,419	257,67
0	-536855,395	-1169866,159	266,99