



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

MONITORING POHYBŮ SKALNÍCH BLOKŮ

MONITORING OF ROCK BLOCKS MOVEMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. KRISTÝNA NEZVALOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. VLASTIMIL HANZL, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646T003 Geodézie a kartografie
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. KRISTÝNA NEZVALOVÁ

Název Monitoring pohybů skalních bloků

Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.

**Datum zadání
diplomové práce** 30. 11. 2012

**Datum odevzdání
diplomové práce** 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

.....
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.

Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.

Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Adamíra, J.: Sledování pohybů skalních bloků v Moravském krasu, diplomová práce, VUT v Brně, 2010

Moštěk, V.: Monitoring pohybu skalních bloků v propadání Bílé vody, diplomová práce, VUT v Brně, 2011

Hegyová, A.: Stanovení pohybu skalních bloků, bakalářská práce, VUT v Brně, 2009

Zásady pro vypracování

Prostudujte diplomové práce (Adamíra 2010, Moštěk 2011) a bakalářskou práci (Hegyová 2009) týkající se zadané problematiky. Zaměřte body na skalních blocích ve dvou obdobích roku 2012. Analyzujte vámi dosažené výsledky. Prostorové změny v poloze bodů a bloků dokumentujte vhodným způsobem. Porovnejte výsledky s předchozími etapami a pokuste se definovat trend pohybu bloků.

Předepsané přílohy

.....

doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.

Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá sledováním posunů skalních bloků nad propadáním potoka Bílá voda v blízkosti obce Holštejn v oblasti Moravského krasu. Práce navazuje na výsledky získané v letech 2004-2011. Cílem práce je zaměření etapy č. 16 v létě 2012 a etapy č. 17 na podzim 2012, následné zpracování naměřených dat a vyhodnocení dosažených prostorových posunů. Dosažené výsledky jsou vzájemně porovnány a analyzovány vůči výsledkům získaných z dřívějších etap. Výsledky jsou dokumentovány číselně i graficky.

Klíčová slova

Posun, skalní blok, Moravský kras, etapové měření, pozorovaný bod, vyrovnání, analýza

Abstract

The thesis deals with monitoring of rock blocks movements near sinking stream Bílá voda situated near the village Holštejn in Moravian Karst. The thesis follows up results, which were gained in years 2004-2011. The aim of thesis is survey of the 16th stage in summer 2012 and 17th stage in autumn 2012, following processing of surveying data and evaluation of space movements. Achieved results are compared mutually and they are analysed towards results of previous periods. The final results are documented numerically and graphically.

Keywords

Movement, rock block, Moravian Karst, stage measurement, observed point, adjustment, analysis

Bibliografická citace VŠKP

NEZVALOVÁ, Kristýna. *Monitoring pohybů skalních bloků*. Brno, 2013. 60 s., 9 s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie.
Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. května 2013

.....
podpis autora
Kristýna Nezvalová

Poděkování:

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu práce doc. Ing. Vlastimilu Hanzlovi, CSc. za cenné připomínky a odborné rady při realizaci a zpracování této diplomové práce.

V Brně dne 24. května 2013

Obsah

1. ÚVOD	9
2. ZÁJMOVÁ LOKALITA	10
2.1. Moravský kras	10
2.2. Holštejnské údolí	11
2.2.1. Potok Bílá voda	13
2.2.2. Nová Rasovna	14
2.2.3. Povodňový stav	14
2.3. Svahové pohyby	17
3. MĚŘENÍ POSUNŮ A PŘETVOŘENÍ	19
3.1. Základní pojmy	19
3.2. Metody měření	20
3.2.1. Měření vertikálních posunů	20
3.2.2. Měření horizontálních posunů	21
3.2.3. Prostorové určení posunů	22
3.3. Vyhodnocení posunů	23
3.3.1. Součinitel konfidence	24
4. MĚŘICKÉ PRÁCE	25
4.1. Skalní bloky	25
4.2. Volba metody	28
4.3. Použité přístrojové vybavení	28
4.3.1. Určení součtové konstanty	28
4.4. Etapa č. 16	29
4.5. Etapa č. 17	31
4.5.1. Nově vylomené bloky	31
4.6. Kontrolní připojení do S-JTSK	33
5. ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT	35
5.1. Použitý výpočetní software	35
5.1.1. Metoda vyrovnaní	35
5.1.2. Matematický model	36
5.1.3. Dosažené výsledky	38
5.2. Střední chyby souřadnic	38

5.3. Střední elipsy chyb	39
6. POROVNÁNÍ ETAP A POSOUZENÍ POSUNŮ	42
6.1. Porovnání etapy č. 16 a etapy č. 17	42
6.2. Porovnání etapy č. 15 a etapy č. 16	44
6.3. Posouzení posunů vůči nulté etapě.....	46
6.3.1. Zobrazení posunů bodů v grafech.....	47
6.3.2. Grafické znázornění posunů	52
7. ZÁVĚR	55
8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	56
9. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	57
10. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	59
11. SEZNAM PŘÍLOH.....	60

1. ÚVOD

Krasové oblasti se od normálních krajín svérázně odlišují. Tento typ krajín se vyznačuje svým skalním podložím, které je obvykle tvořeno vápencem. Vápenec se ve vodě zvolna rozpouští, případně se za vhodných podmínek opět sráží, a tak dochází k rozrušování horniny vlivem chemické eroze. Díky tomuto procesu mohou vznikat krasové jevy. Mezi tyto krasové jevy řadíme i ponor, někdy nazýván propadáním, kdy dochází k odtoku povrchové vody do podzemí. Mezi dobře vyvinuté propadání řadíme i propadání potoka Bílá voda do jeskyně Nová Rasovna.

Právě tato oblast je zájmovou lokalitou pro tuto diplomovou práci. Lokalita se nachází v chráněné krajinné oblasti Moravský kras v blízkosti obce Holštejn. Nad ponorem vede silnice III/3783, která spojuje obec Holštejn s obcemi Ostrov u Macochy a Lipovec. Díky nadměrnému zatěžování komunikace dopravou docházelo k poškození vozovky a odlamování konstrukce vozovky směrem do propadání. V roce 1965 došlo k vylomení části skalní stěny, která se nachází nad propadáním. Zřícená stěna se rozlomila na několik skalních bloků, které jsou nyní usazeny před ústím ponoru. Na vylomené bloky má značný vliv činnost vodního toku Bílá voda, díky čemuž dochází k pohybu bloků a jejich sesouvání směrem k vtoku propadání.

Na jaře roku 1994 byl započat prvotní inženýrsko-geologický průzkum a celkové geotechnické zhodnocení dané lokality, jehož účelem bylo posouzení stability silničního úseku nad propadáním. Vlastní etapové měření posunů skalních bloků před ponorem bylo zahájeno v roce 2004. Na jednotlivých blocích byly stabilizovány pozorované body a byla změřena nultá etapa. Tato etapová měření doposud pokračují, kdy jsou během roku měřeny vždy dvě etapy, na jaře a na podzim. Cílem této práce je zaměření etapy č. 16 a etapy č. 17. Výsledkem je zjištění aktuální prostorové polohy bodů a následné vyhodnocení posunů skalních bloků vzhledem k hodnotám získaným z dřívějších etap.

2. ZÁJMOVÁ LOKALITA

Jak již bylo řečeno v úvodní kapitole, zájmovým územím je propadání potoka Bílá voda, někdy nazýváno jako Nová Rasovna podle jeskyně, do které se potok propadá. Území se nachází přibližně 30 km severovýchodně od Brna v Moravském krasu jižně od obce Holštejn. Lokalita spadá do Jihomoravského kraje, okres-Blansko a je součástí katastrálního území Holštejn s kódem 641367. Přibližné souřadnice této lokality v systému WGS-84 jsou $49^{\circ} 24' 0,3''$ N, $16^{\circ} 46' 0,9''$ E a nadmořská výška v údolí u propadání je přibližně 470 m (Bpv).



Obr. 2.1 Ortofotosnímek zájmové lokality [zdroj podkladu: www.google.maps.com]

2.1. Moravský kras

Zájmová oblast leží v severní části Moravského krasu. Název „kras“ vznikl podle názvu horské vápencové oblasti na Slovinsku. Pojem *kras* představuje území, které je charakteristické podzemním odvodňováním s chemickým rozpouštěním hornin

(převážně vápenců), za vzniku povrchových a podzemních krasových tvarů [1]. Jedním z nerozsáhlejších a nejvíce zkrasovělých území České republiky je Moravský kras, který byl roku 1956 prohlášen za chráněnou krajinnou oblast. Rozloha tohoto území je v současné době 92 km², z toho je 60% pokryto lesy [2].

Moravský kras je z geologického hlediska tvořen především vápenci středního devonu až spodního karbonu. Ráz zdejší krajiny je dán plošinami s množstvím závrťů, které oddělují hluboké kaňonovité žleby. Většina vod, která přitéká z nekrasové části Dražanské vrchoviny, mizí na hranicích vápenců v ponorech do podzemí, kde během dlouhého geologického vývoje vytvořila složité jeskynní labyrinty. Známe zde více než 1100 jeskyní, z toho je pět veřejnosti zpřístupněno a to jeskyně Balcarka, Kateřinská jeskyně, Punkevní jeskyně, Sloupsko-šošůvské jeskyně a jeskyně Výpustek. Největší je veřejnosti nepřístupný systém Amatérské jeskyně o délce více než 35 km, což tento systém řadí mezi nejrozsáhlejší ve střední Evropě.

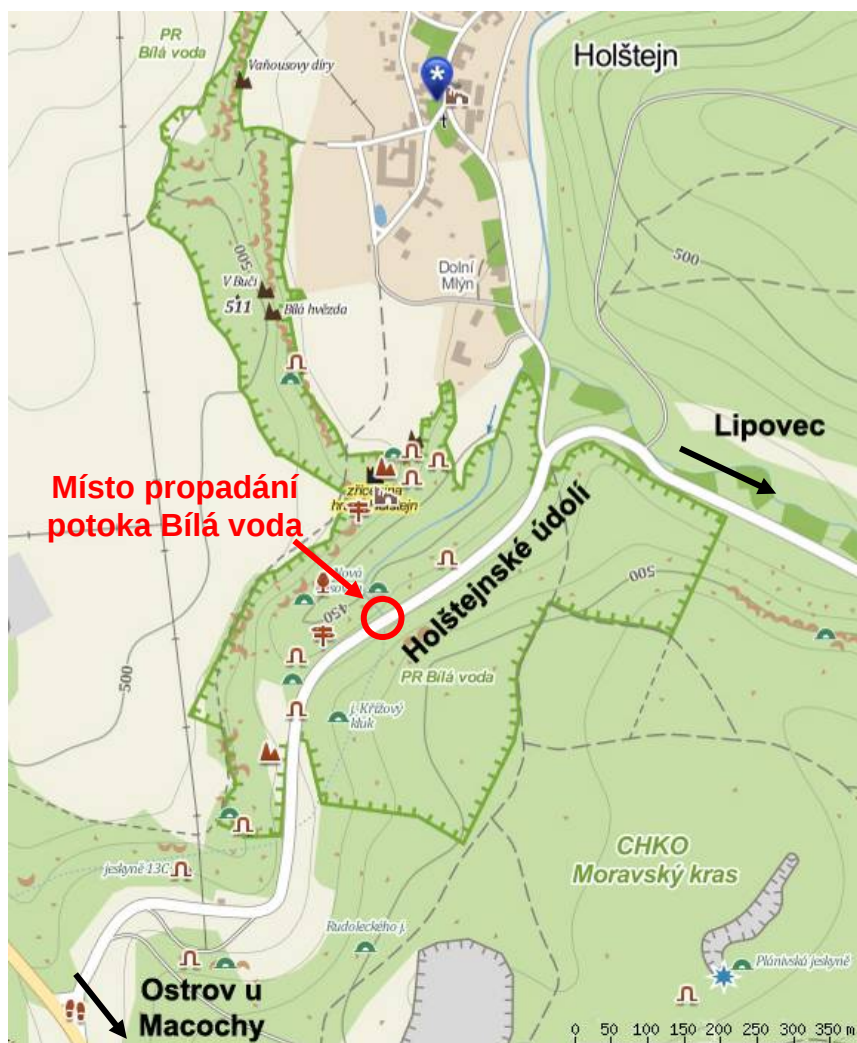
Klimatické podmínky v Moravském krasu jsou dány členitým reliéfem, díky kterému jsou zde specifické mikroklimatické poměry. V severní části krasu je průměrná roční teplota vzduchu 6,5 °C. Za nejchladnější měsíc v roce je pro tuto lokalitu považován leden, kdy se teplota pohybuje okolo -3,7 °C. Naopak za nejteplejší měsíc je považován červenec, jehož průměrná teplota v severní části dosahuje 16,2 °C. Podle dat získaných z webového portálu Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) byla pro rok 2012 průměrná teplota dané oblasti 8 až 9 °C. Moravský kras můžeme zařadit mezi relativně vlhčí místa České republiky, obzvláště střední a severní část krasu. Morfologie terénu způsobuje značné odchylky v množství spadlých srážek. V severní části krasu za rok spadne v průměru okolo 700 mm srážek, oproti jižní části, kde spadne srážek méně, okolo 550 mm. Pro rok 2012 průměrné srážky činili přibližně 500 až 600 mm (dle ČHMÚ). Dle desetiletých průměrných úhrnů maximální hodnoty srážek připadají na měsíce červen až srpen. Naopak minimum se dle tohoto úhrnu vyskytuje v únoru a v březnu [3].

2.2. Holštejnské údolí

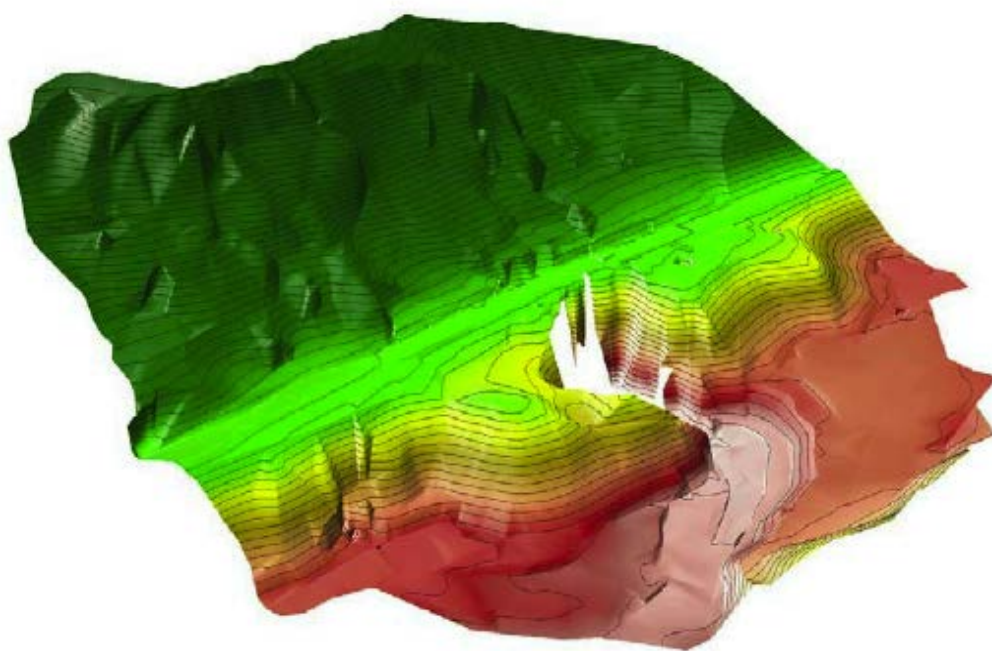
Vlastní zájmová lokalita se nachází v Holštejnském údolí, které nese název podle obce Holštejn, ve starších publikacích se můžeme setkat s názvem Holštýn. Původ jména je odvozen z německého „hohl“ – dutý a „stein“ – kámen. Holštejnské údolí řadíme

mezi poloslepá údolí. Ačkoliv již český geodet K. Kořistka nebo speleolog J. Wankel upozorňovali na uzavřenost holštýnské kotliny, první, který tento geologický poznatek rozpoznal, byl srbský geograf J. Cvijić a to roku 1892 [4]. Poloslepá údolí se vyskytují v místech ponorů a jsou uzavřena stěnou, u níž se vodní tok propadá do podzemí. Za uzávěrovou stěnou dále pokračuje původní údolí ve vyšší úrovni [1].

Holštejnské údolí spolu s Hradským a Ostrovským žlebem tvoří větší, přibližně 8 km dlouhé krasové údolí Suchý žleb. Holštejnské údolí se nachází v severní části Suchého žlebu. Údolí je na severu tvořeno dvěma přítokovými údolíčky ze Strážné a Bošćáku, ze severovýchodu navazuje na údolí Bílé vody a dále sem vstupuje od východu Lipovecký žlíbek. Tyto čtyři větve splývají v krátkou, pouhých 900 m dlouhou, avšak 380 m širokou kotlinu, jejíž hlavní osa vede přímo ze severu na jih [4].



Obr. 2.2 Holštejnské údolí – turistická mapa [zdroj podkladu: www.mapy.cz]



Obr. 2.3 3D model závěrečné části Holštejnského údolí [5]

2.2.1. Potok Bílá voda

Jak bylo zmíněno v předchozích kapitolách, Holštejnským údolím protéká potok Bílá voda, který pramení jižně od obce Protivanov v blízkosti vrcholu Brd (671 m. n. m.). Protéká obcemi Niva, Rozstání, Baldovec a do obce Holštejn přitéká ze severovýchodu. Bílý potok má 12 přítoků, mezi významnější řadíme levostranné přítoky Holštejnský potok nebo nejdelší přítok Bílé vody potok Bělíčka. Z pravostranných přítoků je třeba zmínit Lipovecký potok, který přitéká do Bílé vody až v podzemních prostorách Rasovny. Na kraji Holštejnského údolí se potok rozvětňuje na dvě ramena. Jižní rameno vtéká do údolí při nadmořské výšce 463 m a tvoří široké řečiště, jež v některých místech dosahuje šíře přes 100 m. Poté potok dorazí k propadání Nová Rasovna, kde se ztrácí v podzemí v nadmořské výšce 442 m. Šířka údolí a značný rozdíl v nadmořské výšce mezi počátkem Holštejnského údolí a místem propadání, kdy spád činí 21 m na 1 km délky, značí, že dříve tudy tekla dravá řeka. Propadáním ovšem potok nekončí. Tok dále pokračuje podzemím skrz jeskyně Piková dáma, Spirálka a jeskyně C13 do Amatérské jeskyně, kde spolu se Sloupským potokem tvoří zdrojnici Punkvy. Celá říční síť měří asi 46 km a odvodňuje plochu 60 km². Vlastní délka toku Bílé vody činí 20,9 km [4]. V roce 2000 byla oblast Bílého potoka vyhlášena za přírodní rezervaci PR Bílá voda [3].

2.2.2. Nová Rasovna

Jedná se o jednu z jeskyní Holštejnského údolí a zároveň se podle ní nazývá propadání již zmíněného potoka Bílá voda. Název „Rasovna“ získala díky tomu, že v minulosti byla využívána místními obyvateli k likvidaci uhynulých nebo nemocných zvířat. Jeskyně má tři vchody. První je propastovitý ponor, který však od roku 1959 není průchodný. Další vchod tvořila puklina vedoucí do středních pater, která však byla zavalena při zřícení skalní stěny. Horní vstup se nachází u silnice nad propadáním a je tvořen 50 m hlubokou propastí opatřenou ocelovými žebři. Tento vchod spojuje horní patra s krápníkovou výzdobou se středním patrem a dlouhými chodbami spodní úrovně, ze kterých vede odbočka do Macošské chodby, která končí hlubokým sifonem. V roce 1933 se K. Absolon pokusil tento sifon vyčerpát, avšak nebyl úspěšný. Sifon byl překonán až v roce 1985 potápěčem M. Hotou.

Důležitým činitelem, který má vliv na propadání a tím i na skalní bloky, je vodní tok Bílé vody. V letních obdobích tok vysychá, avšak v období jarních tání je činnost potoka největší a dochází zde k častým povodním. V těchto obdobích bývá v činnosti i propadání *Stará Rasovna*, někdy nazýváno jako Zbořisko. Jedná se o staré propadání, kudy se před vznikem Nové Rasovny potok Bílá voda propadal. V období povodní, kdy Nová Rasovna nestíhá pojmout veškerou vodu, se nad zahlceným ponorem vytváří jezero, jehož hladina se po zvednutí do výše asi 6 m přelévá do povodňového dílu údolí a vtéká do ponoru Staré Rasovny [6].

2.2.3. Povodňový stav

V dané lokalitě dochází k častému zatopení. Některé povodně jsou popsány v práci Karla Absolona Moravský kras (1970). Absolon v textu zmiňuje povodeň v roce 1900, která nastala náhlou oblevou a táním sněhové masy po celé délce toku Bílé vody. Zatopena byla oblast od Staré Rasovny až po okraj Holštejna. Voda stála 16,2 m nad ponorem do Rasovny, tedy 47,2 m nad sifonem v Rasovně. Z toho důvodu bylo rozpoznáno, že odvodňovací kapacita Nové Rasovny je malá díky příliš úzkému otvoru u sifonu [4].

Další z význačných povodní byla povodeň, která přišla roku 1970. Mimořádně vysoké a náhlé bouřkové srážky zasáhly především severní část Moravského krasu a to povodí Bílé vody i Sloupského potoka. Bouřkový příval se projevil jak v podzemí, tak na povrchu. V Pustém žlebu došlo k vytvoření četných prudkých svahových toků

a ke svahovým splachům následující silnou erozí, která na více místech poškodila silniční těleso. Mohutné vodní přívaly zasáhly i Holštejsko, kdy byla zasažena silnice z Holštejna do Šošůvky a silnice z Holštejna k rozcestí U Kaštanu (směr k Ostrovu u Macochy). Hladina vody před propadáním Nová Rasovna stoupla o více než 10 m. Zvýšení průtočného množství na podzemní Bílé vodě mělo za důsledek zatopení Amatérské jeskyně, které s sebou neslo tragické zahynutí dvou speleologů Milana Šlechty a Marka Zahradníčka [7].

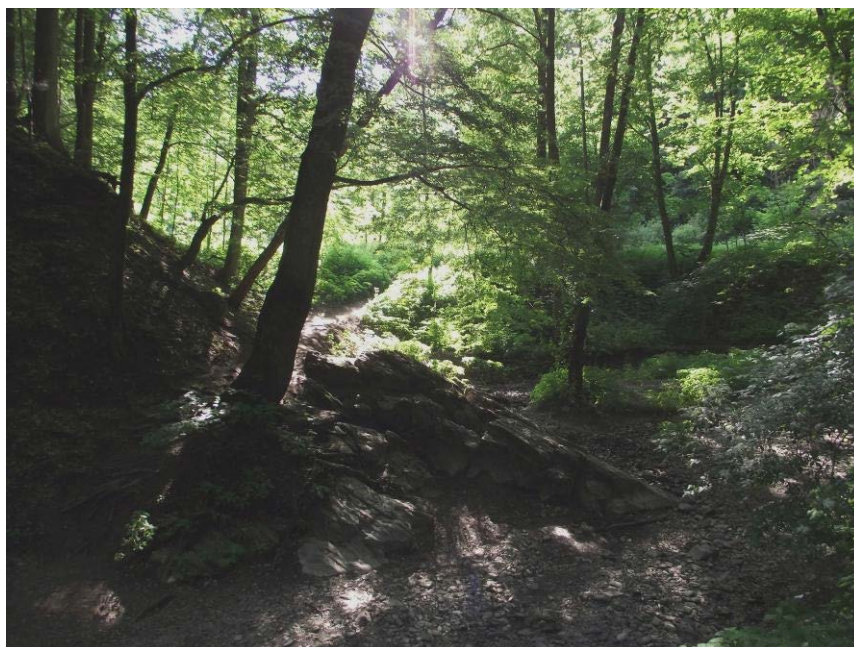
Ze současnější doby lze zmínit povodeň, která v březnu roku 2005 nastala z důvodu masivního tání sněhu. Dle článku uvedeného na stránkách obce Holštejn [8] Bílá voda v té době zaznamenala nejvyšší známou (dokumentovanou) hladinu. Podle dalších dostupných informací obdobná situace nastala o rok později koncem března, kdy došlo opět k rapidnímu tání sněhu, ke kterému přispěla silná bouře. Doposud poslední ze silnějších povodní v oblasti Moravského krasu byla zaznamenána v roce 2009, která přišla již začátkem března díky náhlému oteplení.

Zvýšené vodní stavy nejsou v Moravském krasu ojedinělou výjimkou a bývají v různé míře téměř každý rok. Tato činnost vodních mas ovlivňuje okolní reliéf. V našem případě se budeme soustředit na vliv Bílé vody na skalní bloky před propadáním Nová Rasovna. Na níže uvedených fotografiích můžeme vidět rozdíl vodního stavu Bílé vody mezi březnem a červnem roku 2012.

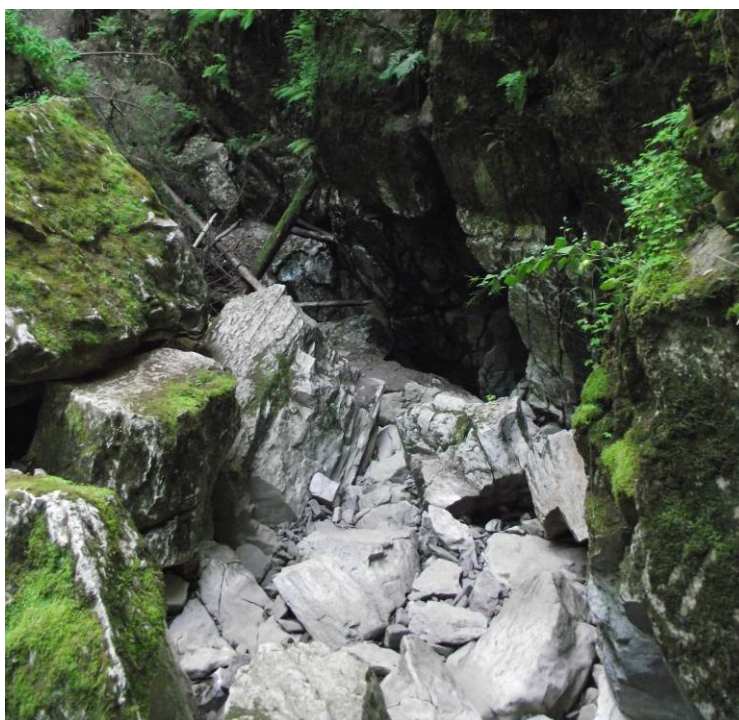


Obr. 2.4 Tok Bílé vody před Novou Rasovnou – březen 2012 [9]

Předchozí fotografie ukazuje pohled směrem na propadání, kdy došlo ke zvýšení hladiny vodního toku díky jarnímu tání sněhu. Na obrázku 2.4 je pohled směrem do údolí, kde můžeme vidět vyschlé červené řečiště potoka. Na další fotografii je vidět vlastní ponor Bílé vody.



Obr. 2.5 Vyschlé řečiště Bílé vody – červen 2012 [autor]



Obr. 2.6 Pohled na ponor Bílé vody – červen 2012 [autor]

2.3. Svahové pohyby

Jak bylo výše uvedeno, v roce 1965 došlo ke zřícení části skalní stěny nad ponorem Bílé vody. Toto zřícení mělo za důsledek nestabilitu silniční komunikace vedoucí nad propadáním a zároveň díky uvolněným skalním blokům došlo k částečnému zatarasení vodního toku Bílá voda v prostoru před ponorem. Jednalo se o svahový sesuv, který byl způsoben vnějšími vlivy.

Svahovými pohyby rozumíme přemísťování hornin z vyšších poloh svahů do nižších, což je podmíněno účinkem zemské tíže. Z geologického hlediska není žádný svah trvale stabilní. Svahy podléhají trvalému vývoji vlivem různých procesů, které formují jejich tvar. Za porušením stability svahu mohou stát přírodní faktory nebo činnost člověka. Mezi tyto faktory řadíme změnu sklonu svahu, přetížení násypy, otřesy, změnu obsahu vody (větší objem vody např. při tání nebo naopak vysychání), dalším faktorem je působení podzemní vody, činnost mrazu, zvětrávání hornin, případně to mohou být změny ve vegetačním porostu.

Svahové pohyby můžeme dělit podle mechanismu a rychlosti pohybu na čtyři hlavní skupiny [10]:

- *Ploužení* je pomalý dlouhodobý a zpravidla nezrychlující se pohyb horninových hmot, kterým začíná každý svahový pohyb.
- *Sesouvání* je rychlý krátkodobý klouzavý pohyb horninových hmot po svahu podle smykové plochy, jehož výslednou formou je sesuv.
- *Stékání* je katastroficky rychlý krátkodobý pohyb horninových hmot ve viskózním stavu, jehož výslednou formou je proud.
- *Řícení* je náhlý katastroficky rychlý krátkodobý pohyb horninových hmot na strmých svazích, kdy ztrácejí krátkodobě kontakt s podložím. Uplatňuje se volný pád současně s ostatními druhy pohybů.

Podle prvotního výzkumu dané lokality, který byl prováděn od roku 1994, byla zhodnocena stabilita blízkého okolí propadání Bílé Vody. Bylo zjištěno, že stabilita svahů nad i pod silnicí u propadání je snižována dešťovou a potoční erozí. Na stabilitu skalních stěn pod propadáním má velký vliv mrazové zvětrávání a odpadávání bloků, které vede

k náhlému řízení stěn. Další zásadní vliv na stabilitu území má ponorný tok a tektonická stavba dané lokality [5].

Komunikace III/3783 vedoucí nad propadáním byla z hlediska nestability okolí v trvalém ohrožení. Bylo předloženo několik návrhů, jak zajistit stabilitu silnice. Daný problém byl nakonec vyřešen tak, že na zájmový úsek silnice byl položen provizorní most typu Bailey Bridge. Jedná se o vojenský most, který je přenosný a prefabrikovaný. V září 2012 byla vyhlášena veřejná zakázka, jejímž předmětem je odstranění stávajícího mostního provizoria, novostavba ocelového mostu a rekonstrukce přibližně 1 km části silnice III/3783. Předpokládaný termín realizace stavebních prací je od března do listopadu roku 2013.



Obr. 2.7 Most nad propadáním Bílé vody [zdroj: www.foto.mapy.cz]

3. MĚŘENÍ POSUNŮ A PŘETVOŘENÍ

Nejen stavební objekty a konstrukce ale i přírodní objekty podléhají vnějším vlivům, díky kterým mohou vykazovat nestabilitu prostorové polohy. Mezi tyto vlivy řadíme vlivy přírodního nebo antropogenního původu. Mezi nejčastější vlivy patří vliv změny zatížení základové půdy, dynamické provozní účinky, kolísání hladiny spodní vody, dále tyto objekty mohou být ovlivněny klimatickými podmínkami, jako je např. vliv slunečního záření nebo vliv nárazů větru. Mimo vnějších vlivů mohou na objekty působit i vlivy vnitřní, jako jsou změny vnitřního napětí vlivem dotvarování materiálů [11, 12].

3.1. Základní pojmy

Posun představuje prostorovou změnu polohy objektu vzhledem k původní, tzv. nulové poloze, případně k poloze získané z předešlého měření. V případě, že dojde ke změně tvaru objektu, mluvíme o *přetvoření* (deformaci). Míra přetvoření se nezíská přímým měřením, ale usuzuje se z vyhodnocení měřených posunů. V některých případech může dojít ke kombinaci obou jevů, jak k posunu, tak k deformaci. Takové změny jsou u objektů nežádoucí, obzvláště u objektů stavebních, jelikož mohou narušit bezpečnou funkci stavby. Z tohoto důvodu je třeba tyto změny a jejich časový vývoj sledovat.

Velikost a směr posunů jednotlivých částí objektu se určuje pomocí měření vhodně osazených značek v charakteristických bodech objektu, tzv. *pozorovaných bodů*. Pro určování posunů se využívá *etapového měření*, tedy opakovaného měření sítě pozorovaných a vztažných bodů v určeném časovém intervalu. *Vztažný bod* je bod, který je součástí vztažné soustavy a je mimo sledovaný objekt a jeho vliv.

Měření posunů může být relativní nebo absolutní. *Relativní posuny* jsou posuny, které jsou detekované v soustavě pozorovaných bodů, tedy posuny jednotlivých částí objektu navzájem nebo k nejbližšímu okolí. *Posuny absolutní* jsou posuny objektu vzhledem k bodům vztažné soustavy [12].

Posuny se měří ve směru *vertikálním* a směru *horizontálním*. V případě, že jsou měřeny posuny ve vertikálním i horizontálním směru, mluvíme o posunech *prostorových*. Dle směru pohybu definujeme tyto posuny [11]:

- *sedání, zdvih* – svislý posun směrem dolů, resp. nahoru

- *průhyb* – přetvoření ve svislém směru
- *náklon* – odchýlení od svislice
- *pootočení* – otočení kolem osy v obecné poloze

3.2. Metody měření

3.2.1. Měření vertikálních posunů

Při měření vertikálních (svislých) posunů se řeší pouze výšková složka posunu, pomocí které se určují poklesy, případně zdvihy zkoumaného objektu. Nejčastěji využívanou metodou pro určení vertikálních posunů je geometrická nivelace, dále je možné využít trigonometrické výškové měření, případně metodu hydrostatické nivelace nebo blízkou fotogrammetrii.

▪ *Geometrická nivelace*

Jedná se o nejpoužívanější metodu měření svislých posunů. Pro měření posunů se využívá varianty velmi přesné nivelace (VPN) nebo přesné nivelace (PN), přičemž je důležité dodržovat technologický postup těchto metod a zavádět případné opravy, jako je oprava ze sklonu horizontu přístroje. Snaha je měřit nadbytečná převýšení, aby mohlo být provedeno vyrovnání a tím byla zajištěna vyšší spolehlivost výsledků.

▪ *Trigonometrické výškové měření*

Jedná se o metodu, která nedosahuje takové přesnosti jako předešlá metoda a využívá se v případě, že není vhodné použít metodu geometrické nivelace, například v případě členitého terénu. Je to metoda, která je založena na opakovaném měření vodorovných vzdáleností a svislých úhlů z pevných stanovisek, které jsou stabilizovány na pilíři. Mezi etapami se předpokládá, že nedošlo ke změně vzdálenosti a převýšení mezi stanovištěm a pozorovaným bodem, což platí při málo strmých záměrech. V případě strmých záměr je nutné zavádět příslušné korekce. Posun se vyhodnocuje na základě rozdílů mezi zenitovými úhly.

▪ *Hydrostatická nivelace*

Hydrostatická nivelace je metoda založená na principu spojených nádob. Při této metodě je možné měřit pouze malý výškový rozsah. Další nevýhodou metody je,

že je třeba speciálního jednoúčelového přístrojového vybavení a zároveň je tato metoda poměrně zdoluhavá. Naopak výhodou je dosahovaná vysoká přesnost, která je srovnatelná s metodou VPN. Tuto metodu lze aplikovat v těžko přístupných prostorách a díky automatizovaným soupravám se dá využít v místech, kde může být ohroženo zdraví pracovníka.

- *Blízká fotogrammetrie*

Tato metoda má za výhodu to, že dokáže zachytit stav měřených objektů v jediném časovém okamžiku a vyhodnocení může být provedeno v kanceláři. Ovšem je třeba speciálního vyhodnocovacího zařízení a zároveň nejsme schopni poskytnout výsledky v krátkém časovém okamžiku. Dosahovaná přesnost klesá se vzdáleností stanoviště a sledovaného objektu. [11]

3.2.2. Měření horizontálních posunů

Oproti vertikálním posunům dosahované hodnoty u posunů horizontálních nejsou tak výrazné. Tyto posuny vznikají z důvodu působení změn podzemní vody, vlivu tlaků vyvolaných sousedními objekty, tlaku vodních mas nebo například z důvodu působení větru či díky svahovým posunům.

- *Metoda záměrné přímky*

Jedná se o jednoduchou a poměrně přesnou metodu pro měření vodorovných posunů. Ovšem pomocí této metody jsme schopni určit pouze jednu složku horizontálního posunu a to ve směru kolmém na záměrnou přímku. Jsou určovány příčné odchylky pozorovaných bodů vůči dané přímce, která je stabilizovaná mimo sledovaný objekt. Posun je dán rozdílem těchto příčných odchylek mezi etapami měření. [11]

- *Polygonová metoda*

Tato metoda opět určuje pouze jednu složku horizontálního posunu a to ve směru kolmém na polygonový pořad. Pořady se volí pokud možno přímé, rovnostranné a kolmé na směr očekávaných posunů s koncovými body mimo sledovanou oblast. Pozorované body bývají totožné s body pořadu, případně jsou k nim vztaženy např. metodou záměrné přímky. Za předpokladu neměnicích se délek stran pořadu se posuny odvozují ze změn vrcholových úhlů. [12]

▪ *Trigonometrická metoda*

Principem této metody je metoda protínání ze směrů, kdy jsou přesně měřeny vodorovné směry, které jsou určeny vzhledem k účelové geodetické síti. Jedná se o metodu, která poskytuje plnou informaci o velikosti a směru posunu, tedy jsou určovány obě souřadnicové složky. Posuny se určují jako rozdíly vypočtených souřadnic mezi jednotlivými etapami. [11]

▪ *Metoda protínání z délek*

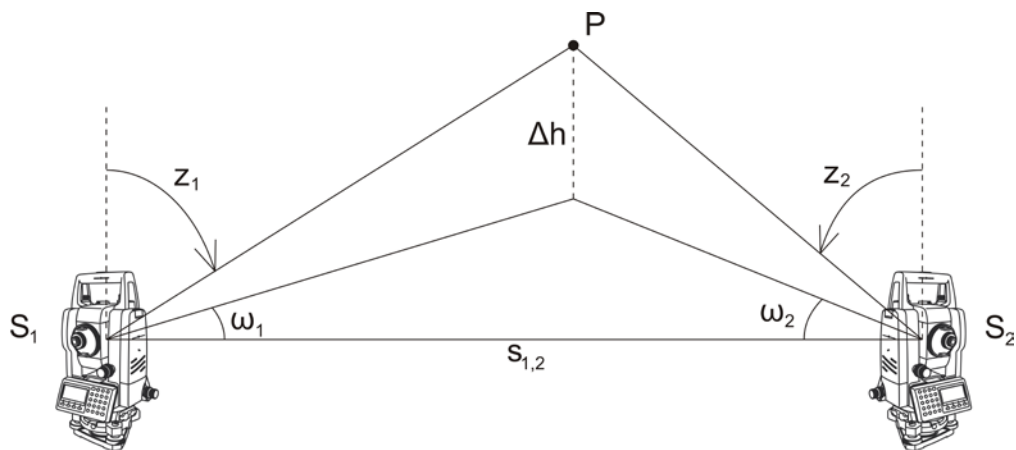
Přesnost této metody závisí na volbě přístrojového vybavení. Při použití přesnějších dálkoměrů můžeme dosáhnout přesnosti jako u metody trigonometrické. Komplikací u této metody je signalizace pozorovaných bodů pomocí odrazných hranolů, případně terčů, kterými ne vždy jde pozorovaný bod signalizovat. Proto se často využívá *kombinovaného protínání*, kdy jsou zároveň měřeny délky i směry. [12]

3.2.3. Prostorové určení posunů

V některých případech je třeba stanovit jak horizontální tak vertikální posuny. Lze využít kombinace některých z výše uvedených metod nebo metod, které umožňují určení prostorových souřadnic.

Jako obecně použitelnou metodu pro prostorové určování posunů objektů je možné použít *prostorovou polární metodu*, kdy jsou měřeny vodorovné úhly, zenitové úhly a šikmé délky. Výpočet svislého posunu probíhá na základě trigonometrického určení výšek. Podle přístupnosti sledovaného objektu je volena stabilizace a signalizace pozorovaných bodů pomocí odrazných hranolů či odrazných nalepovacích terčů nebo může být využito měření s pasivním odrazem dálkoměrného paprsku od povrchu cílové plochy.

Dále je možné využít *metodu protínání z úhlů*, která bude doplněna o měření zenitových úhlů, díky čemuž jsme schopni stanovit i posuny a deformace ve vertikálním směru. Tato metoda umožňuje získat absolutní hodnoty posunů pozorovaných bodů v obecném směru s vysokou přesností a to řádově v desetinách milimetrů [12]. Jednoduché schéma měření pro tuto metodu je znázorněno na obrázku 3.1.



Obr. 3.1 Prostorové protínání z úhlů [autor]

Progresivní metodou prostorového určování posunů a deformací je metoda *laserového skenování*. Princip této metody je založen na prostorové polární metodě a na využití bezhranového dálkoměru. Metoda umožňuje neselektivní měření velkého množství bodů na povrchu objektu, kdy výsledkem skenování je tzv. mračno bodů v 3D souřadnicovém systému. Přesnost měření se pohybuje řádově v milimetrech v závislosti na měřené vzdálenosti [12].

Díky neustálému vývoji metod využívající technologie GNSS pronikly tyto metody i do problematiky měření posunů. Právě měření posunů bylo jednou z prvních inženýrských aplikací GNSS. V případě vertikálních posunů tato metoda vzhledem k přesnosti není příliš vhodná. Naopak při měření posunů horizontálních má tato metoda své uplatnění. Může se využít při sledování stability přehradních hrází, mostních objektů, věží, ropných plošin apod. Jednou z jejich výhod je možnost instalace dlouhodobých měřících aparatur, které nepotřebují lidskou obsluhu. [11]

3.3. Vyhodnocení posunů

Při vyhodnocování zjištěných posunů je často problematické rozhodnout, zda daný posun nastal nebo rozdíly mezi měřeními jsou dány pouze měřickými chybami. Z těchto důvodů se pro posouzení posunů využívá statistické testování pomocí intervalů spolehlivosti. Vyhodnocení měřených dat se děje pomocí následujících vztahů [11]:

$\Delta x < m_{\Delta x}$	...k posunu pozorovaného bodu nedošlo ,
$m_{\Delta x} \leq \Delta x \leq \delta_{\Delta x}$	...k posunu mohlo dojít, ale nebyl jednoznačně prokázán ,
$\Delta x > \delta_{\Delta x}$	...k posunu došlo se zvolenou pravděpodobností.

Hodnota Δx představuje dosažený posun, tj. rozdíl souřadnic mezi etapami:

$$\Delta x = x_i - x_{i-1},$$

kde i představuje i -tou etapu měření. Hodnota $m_{\Delta x}$ je střední chyba rozdílu. Tato chyba se vypočte ze vztahu, který vychází ze zákona hromadění středních chyb:

$$m_{\Delta x} = \sqrt{m_{x(i)}^2 + m_{x(i-1)}^2},$$

Jedná se tedy o odmocninu ze součtu kvadrátů středních chyb jednotlivých měření v dané etapě. Hodnota $\delta_{\Delta x}$ představuje mezní hodnotu posunu a je dána vztahem:

$$\delta_{\Delta x} = t \cdot m_{\Delta x}.$$

V souvislosti s danou problematikou můžeme mluvit o tzv. *konfidenčním intervalu*, který představuje rozsah, jenž se zvolenou pravděpodobností obsahuje dané veličiny. Ve výše uvedeném vzorci se vyskytuje hodnota t . Tato hodnota zastupuje tzv. *součinitel konfidence*, který bude přiblížen v následujícím oddíle [13].

3.3.1. Součinitel konfidence

Součinitel konfidence představuje faktor, pomocí kterého je volena šířka konfidenčního intervalu, jenž je dán násobkem základní střední chyby a zvoleného součinitele konfidence t . Hodnota součinitele se volí v rozmezí 2 – 3 a dle této hodnoty je stanoveno riziko spolehlivosti měření, respektive s jakou pravděpodobností hodnota měřené veličiny leží v daném intervalu. Volba hodnoty součinitele konfidence závisí na podmínkách měření, zvolené metodě a případně na požadované spolehlivosti měření. Hodnoty součinitele konfidence a jejich použití [13]:

- **t = 2** Volí se u jednoduchých měření, kde lze snadno odstranit systematické chyby, např. úhlové měření. Riziko nespolehlivosti činí 5%.
- **t = 2,5** Volí se u složitějších měření, která jsou obtížně kontrolovatelná a kde nelze snadno vyloučit systematické chyby. Riziko nespolehlivosti činí 1%.
- **t = 3** Volí se při nepříznivých podmínkách pro měření, při špatné eliminaci systematických chyb a při požadované vysoké spolehlivosti na měření. Riziko nespolehlivosti činí 0,2%.

4. MĚŘICKÉ PRÁCE

Cílem této práce bylo navázání na předchozí dosažené výsledky a zaměřit další dvě etapy, etapu č. 16 v létě a etapu č. 17 na podzim roku 2012. Monitoring pohybu skalních bloků v dané lokalitě probíhá nepřetržitě od roku 2004, kdy byla vykonána základní (nultá) etapa. Na skalních blocích bylo osazeno 29 bodů, které byly stabilizovány měděnými nýty s vývrtem. Dále bylo využito již dříve stabilizovaných bodů, které sloužily pro speleologická měření v dané lokalitě. Jednalo se o body 33 a 39, které byly stabilizovány pomocí železných nýtů. Pro stanovení prostorových souřadnic pozorovaných bodů v nulté etapě bylo využito metody přesné nivelace a prostorového protínání, kdy byly měřeny horizontální úhly, zenitové úhly a šikmé délky [14]. V následující tabulce je přehled dříve měřených etap.

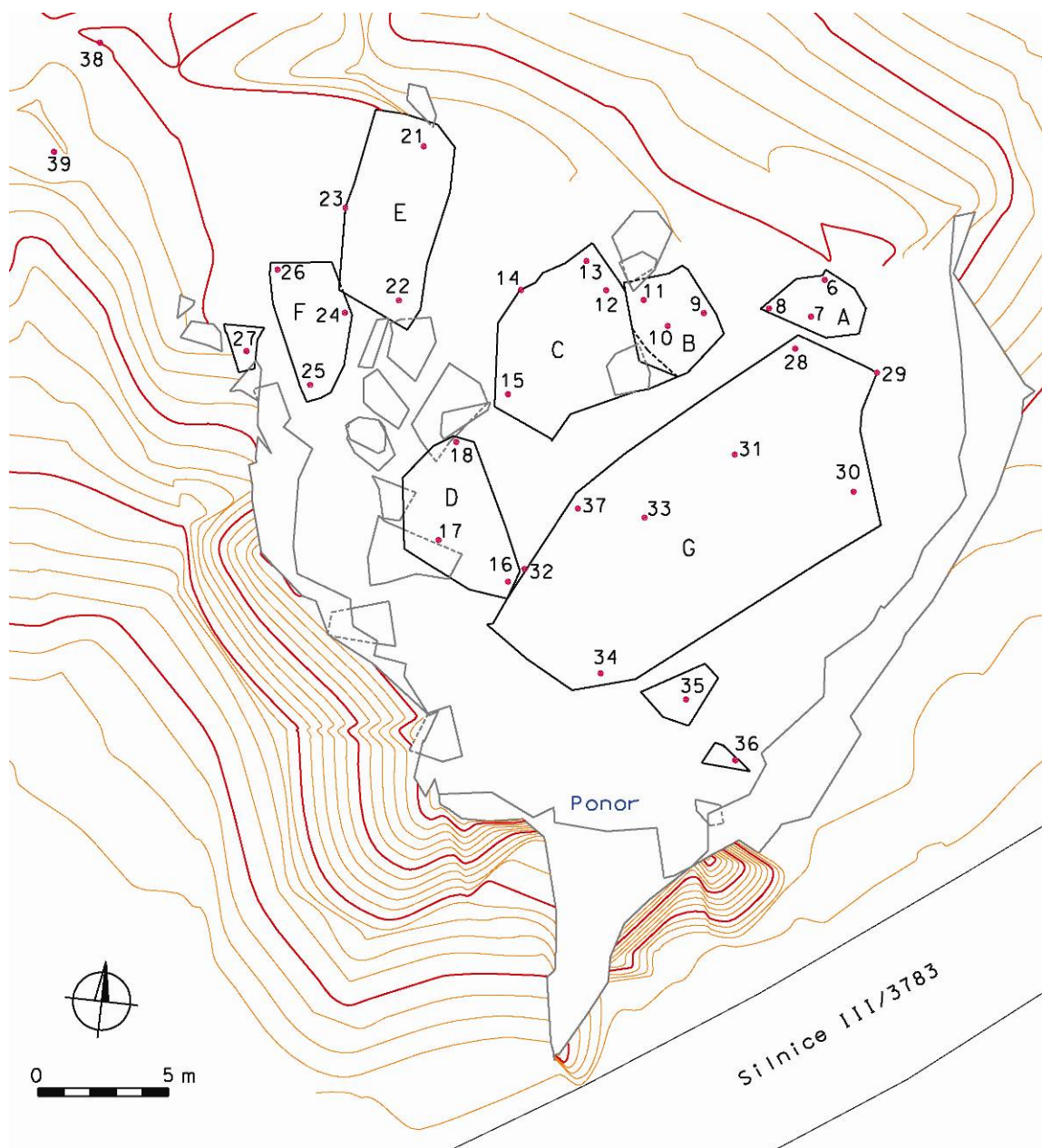
Tab. 4.1 Přehled etapových měření [15]

Etapa	Rok	Měřil
0.	Červen 2004	Hanzl, Suchá
	Srpen 2004	Hanzl, Suchá
	Září 2004	Chodurová, Konečná
1.	Duben 2005	Chodurová, Konečná
2.	Srpen 2005	Hanzl, Nogová
3.	Duben 2006	Nogová
4.	Červen 2006	Kučerová, Tomečková
5.	Říjen 2006	Kučerová, Tomečková
6.	Červen 2007	Tichá
7.	Říjen 2007	Tichá
8.	Květen 2008	Hanzl
9.	Listopad 2008	Hanzl
10.	Červen 2009	Konečný, Hegyiová
11.	Září 2009	Konečný, Hegyiová
12.	Červen 2010	Adamíra
13.	Říjen 2010	Adamíra
14.	Červen 2011	Moštěk
15.	Září 2011	Moštěk

4.1. Skalní bloky

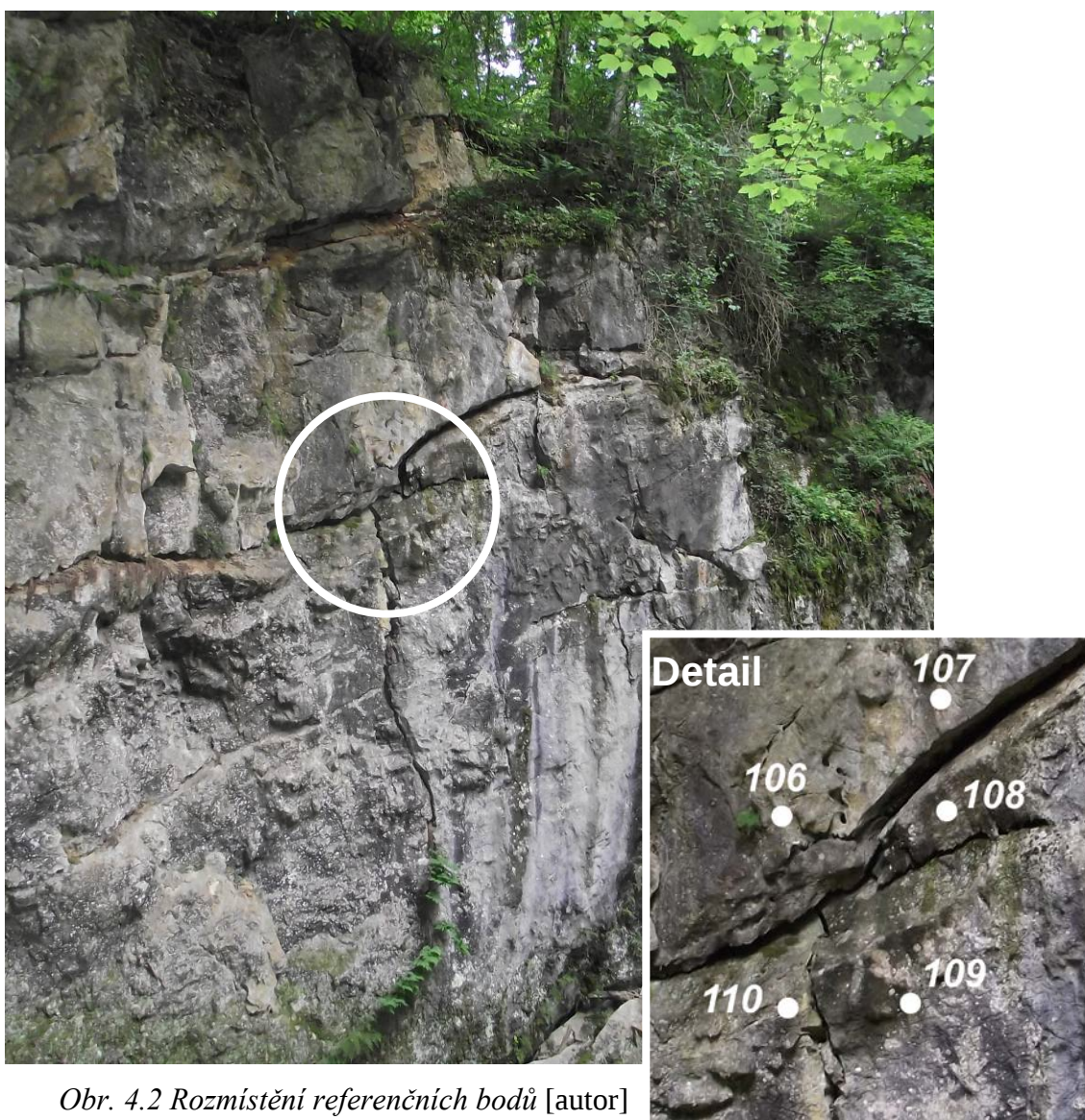
Vlastními zájmovými objekty jsou skalní bloky, které jsou usazeny v prostoru před ponorem potoka Bílá voda. Jak bylo řečeno, vybrané bloky byly osazeny pozorovanými body a tyto bloky a jejich trend posunů jsou dlouhodobě monitorovány.

Jedná se o sedm bloků, na kterých jsou stabilizovány v závislosti na velikosti bloku tři body, případně čtyři body nebo bodů osm, a další dva menší bloky, které jsou osazeny pouze bodem jedním. Jednotlivé bloky jsou označeny písmeny A - G. V současné době je v dané lokalitě celkově stabilizováno 30 pozorovaných bodů, jejichž rozmístění je patrné z obrázku č. 4.1, jehož podklad byl dodán vedoucím práce doc. Ing. Vlastimilem Hanzlem, CSc.. Na schématu je uveden bod 36, který ovšem při rekognoskaci nebyl nalezen. S největší pravděpodobností byl blok, na kterém je bod stabilizován, zavalen nově vylomeným skalním blokem, o kterém bude zmíněno v následujících kapitolách



Obr. 4.1 Rozmístění bodů na skalních blocích

Měření je navázáno na referenční body, které jsou stabilizovány mimo sledované bloky tak, aby byla zajištěna jejich stabilita. Celkově se jedná o 6 referenčních bodů. Z toho pět bodů je umístěno na skalní stěně nad propadáním (viz obr. 4.2). Pro zajištění lepší konfigurace bodů se dále jako referenční bod využívá bod 39, který byl stabilizován pro speleologická měření v dané lokalitě. Tento bod se nachází na pravém břehu potoka na stabilní skále. Bod je vyobrazen na obr. 4.1. Ve stejné lokalitě se nachází i bod 38, který nebyl určen při nulté etapě v roce 2004, ale byl stabilizován až v roce 2009 spolu s body 27, 32, 35, 36 a 37. Přestože na tomto bodě nebyly dosaženy v předchozích letech výrazné posuny, je zařazen mezi body pozorované a jeho stabilita se sleduje.



Obr. 4.2 Rozmístění referenčních bodů [autor]

4.2. Volba metody

Zájmové území, kde se bloky nacházejí, je poměrně malé. Jedná se o území o přibližné rozloze 600 m² a výškovém převýšení okolo 7,2 m. Lokalita je charakteristická členitým terénem, ve kterém se nachází značné množství přírodních překážek, jako jsou spadlé kmeny stromů či velké množství skalních bloků a úlomků. Mezi skalními bloky se nachází mnoho naplavenin ve formě rozkládajících se částí napadaného dřeva, šterku a bláta. V období, kdy není řečiště Bílé vody vyschlé, je lokalita vodním tokem rozdělena na dvě části. Vzhledem k relativně velké vlhkosti a díky zastínění lokality okolním vegetačním porostem je třeba brát ohled na kluzký povrch skalních bloků. Všechny tyto faktory je třeba zohlednit při měření a při volbě polohy stanovisek měřické sítě.

Vzhledem k charakteru oblasti byla pro určení prostorových souřadnic pozorovaných bodů zvolena metoda trigonometrická, tedy metoda protínání ze směrů. Tato metoda je obecně určena pro zjištění horizontálních posunů. Aby byla zajištěna i vertikální složka posunů, byla metoda doplněna o měření zenitových úhlů. Pomocí tohoto prostorového protínání jsme schopni získat absolutní hodnoty posunů pozorovaných bodů s vysokou přesností.

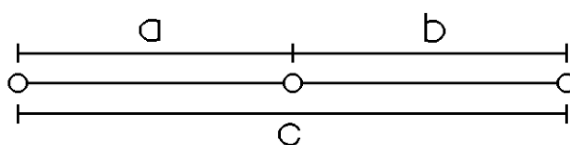
4.3. Použité přístrojové vybavení

Pro měření byl použit přístroj *Topcon GPT-3003N*. Jedná se o totální stanici s automatickým vertikálním a horizontálním kompenzátozem. Dalekohled přístroje má 30násobné zvětšení a rozlišovací schopnost 2,8''. Přesnost měření úhlů činí 1,0 *mgon*. Přesnost měření délek pro hranolový mód činí 3mm+2ppm, pro bezhranolový mód při měření vzdáleností 1,5-25 m činí přesnost ±10 mm, při měření vzdáleností více než 25 m činí přesnost ±5 mm. Citlivost krabicové libely tohoto přístroje je 10''/2 mm a citlivost libely alhidádové je 30''/2 mm. Informace o přístroji byly získány v příslušném manuálu.

4.3.1. Určení součtové konstanty

Před vlastním měřením bylo provedeno ověření součtové konstanty dálkoměru. Ověření proběhlo na vhodně zvolené základně o třech úsecích, kdy byly obousměrně měřeny délky a , b , c a hodnota součtové konstanty PSM byla určena ze vztahu:

$$PSM = c_i - (a_i + b_i)$$



Obr. 4.3 Základna pro stanovení součtové konstanty [autor]

Úseky byly realizovány pomocí tří stativů zařazených do přímky a pomocí trojpodstavcové soupravy. Tento postup byl opakován pro tři vhodně zvolené délky úseků, přičemž výsledná součtová konstanta byla určena jako aritmetický průměr z těchto měření. Po té byl proveden test významnosti změny PSM, zda je třeba hodnotu konstanty v přístroji přenastavit. Veškeré výpočty byly provedeny dle [11] a výpočetní protokol je součástí přílohy č. 1.

Ověření součtové konstanty bylo provedeno pro dva hranoly, které byly během zaměření jednotlivých etap použity. Výsledná součtová konstanta v obou případech nepřekročila mezní hodnoty, tedy hodnota konstanty nemusela být v přístroji přenastavena.

4.4. Etapa č. 16

Etapa č. 16 byla zaměřena dne 23. 6. 2012. Celková doba měření byla přibližně 10 hodin. Klimatické podmínky během dne byly relativně stabilní, počasí bylo slunečné, místy přibýlo oblačnosti, průměrná denní teplota byla přibližně 20 °C.

Před vlastním měřením byla provedena rekognoskace terénu, byly nalezeny a očištěny jednotlivé body, které pro rychlejší orientaci byly signalizovány pomocí křídý. Během rekognoskace nebyly nalezeny dva pozorované body a to bod 34 a bod 36. Bod 34 se nachází v části mezi skalní stěnou a blokem G, kde je poměrně nepřístupný terén a kde se nachází velké množství naplavenin. Jak je uvedeno v předchozí kapitole, bod 36 byl pravděpodobně zavalen nově vylomenými skalními bloky.

Pro zaměření pozorovaných bodů byla vytvořena měřická síť tvořená přechodnými stanovisky. Přechodná stanoviska byla zvolena z toho důvodu, aby do měření nevstupovala chyba z centrace. Při volbě stanovisek musel být brán ohled na viditelnost bodů a na členitost terénu, která je patrná z fotografie obr. 4.4. Síť byla úhlově proměřena za využití trojpodstavcové soupravy a byla připojena na referenční body. Pro zajištění stability sítě a pro zajištění nadbytečného počtu měření vstupujícího do vyrovnání byla mezi jednotlivými stanovisky obousměrně měřena také délka. Měřené veličiny byly vždy

zaměřeny ve dvou polohách dalekohledu. Celkový počet pomocných stanovisek v síti je 7. Stanovisko 4033 je zcentrováno na pozorovaném bodě 33. Tento bod se nachází na bloku G, kde je velké převýšení a je těžko dostupný, díky čemuž nejde tento bod zaměřit z ostatních stanovisek. Pro zjištění výšky tohoto bodu byla měřena výška přístroje pomocí dvoumetru. Přehledná situace měřické sítě pro tuto etapu je uvedena v příloze č. 4.



Obr. 4.4 Ukázka terénu spolu s označením skalních bloků [autor]

Jak již bylo řečeno dříve, pro měření pozorovaných bodů byla zvolena metoda prostorového protínání, kdy byly měřeny vodorovné a zenitové úhly na jednotlivé body. Jako signalizace bodů pro měření úhlů byla využita mikrotužka, kdy bylo cíleno na rozhraní stabilizačního nýtu a tužky. Pro to, aby byl možný výpočet prostorových souřadnic pozorovaných bodů, bylo třeba každý bod zaměřit minimálně ze dvou pomocných stanovisek. Tato podmínka byla vždy splněna a obvykle bylo provedeno zaměření bodů ze tří a více stanovisek. Výjimku tvoří body 8, 12, 14, 29, 30 a 35, které byly zaměřeny pouze ze stanovisek dvou díky nepřístupnosti bodu či přírodním překážkám. Na bod 29 byl měřen vodorovný směr, zenitový úhel a bylo provedeno kontrolní zaměření šikmé délky pomocí odrazného hranolu. Obdobně to bylo provedeno u bodu 16, který neměl příliš vhodnou konfiguraci protínacích úhlů. Celkem bylo během etapy zaměřeno 29 pozorovaných bodů z celkových 30 bodů.

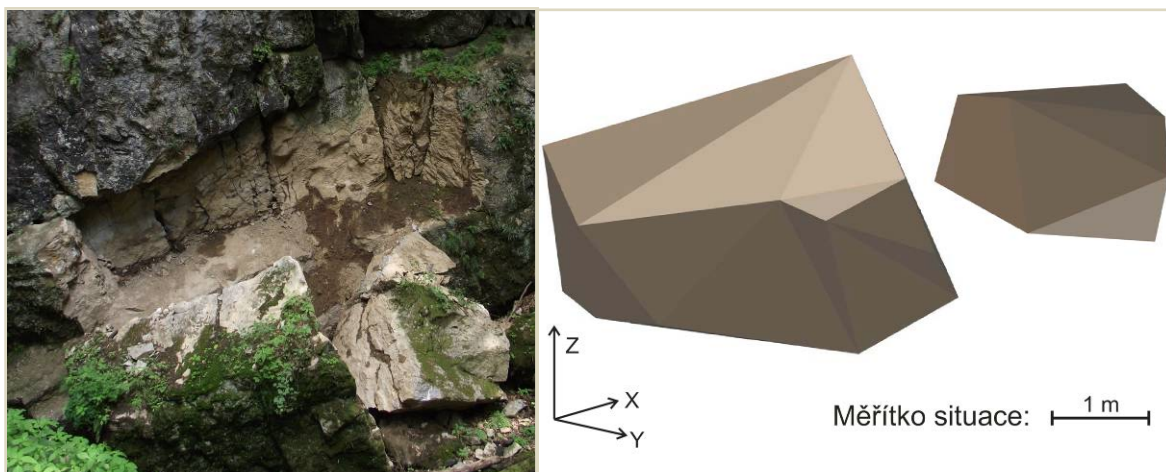
4.5. Etapa č. 17

Etapa č. 17 byla zaměřena dne 13. 10. 2012. Délka měřických prací byla opět okolo 10 hodin. Průměrná teplota dne byla přibližně 9 °C, během dne bylo oblačno. Oproti etapě č. 16 nebylo řečiště potoku Bílá voda vyschlé. Tento faktor částečně znepříjemnil měřické práce a muselo se dbát zvýšené opatrnosti na kluzkém skalním podkladu.

Při zaměření této etapy bylo využito stejné metody měření a stejných měřických pomůcek jako u etapy předchozí. Opět byla vytvořena měřická síť s přechodnými stanovisky (výjimka 5033), jež byla navázána na referenční body. Celkový počet stanovišek sítě v této etapě byl 8. Pozorovacích bodů bylo celkově změřeno 28. V této etapě nebyly zaměřeny pozorované body 30, 34 a 36 z důvodu jejich nenalezení. Body byly opět zaměřeny ze tří a více stanovišek. Výjimku tvořily body 16, 26, 29 a 31, které byly zaměřeny pouze 2x, ale byla u nich kontrolně zaměřena délka na odrazný hranol.

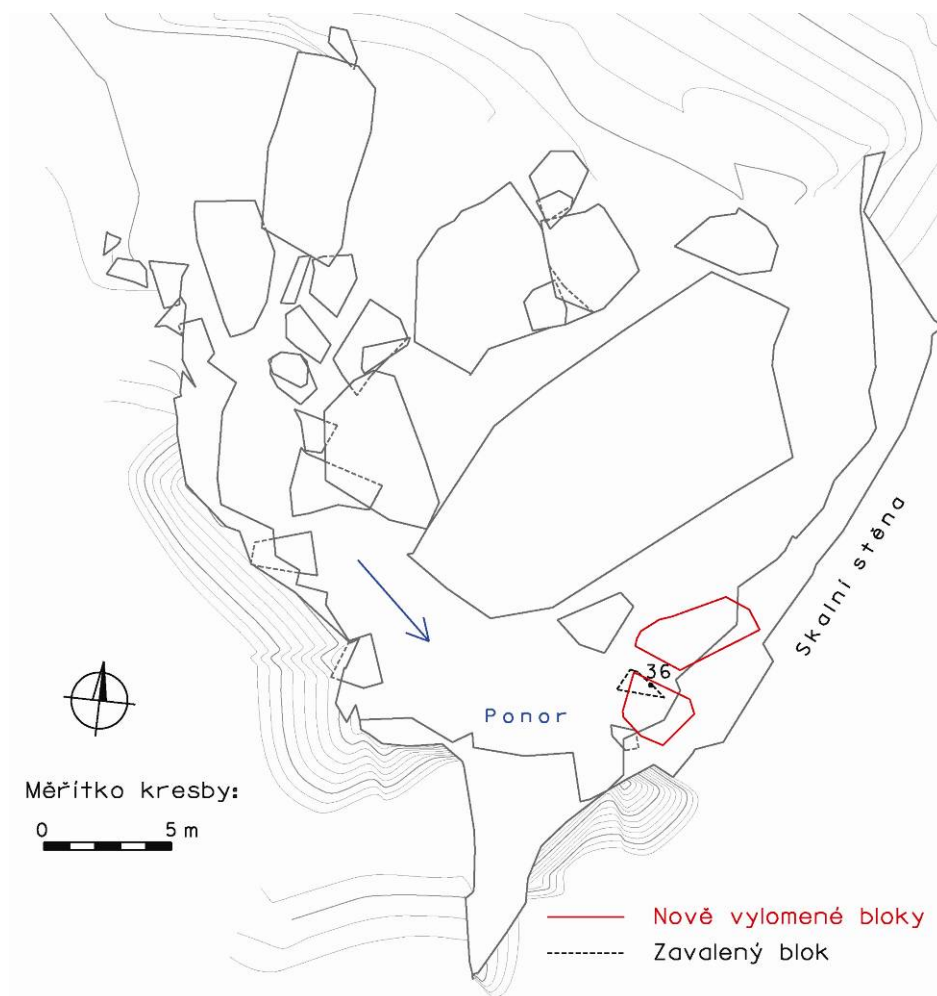
4.5.1. Nově vylomené bloky

Mezi etapou č. 15 a etapou č. 16, tedy během zimy 2012/2013, došlo opět k svahovým pohybům v zájmovém území, při kterém došlo k vylomení dalších bloků ze skalní stěny nad propadáním. Pod skalní stěnou zůstaly spadené dva skalní bloky, které jsou nyní usazeny mezi blokem G a skalní stěnou. Právě menší z nově vylomených bloků zavalil blok, na kterém byl stabilizovaný bod 36. Nové bloky byly během etapy č. 17 bezhranolově zaměřeny několika body ze stanoviska 5033 tak, aby bylo možné určit jejich polohu vůči ostatním blokům. Vzhledem k nepřístupnosti zadní částí těchto bloků, byla část u skalní stěny zaměřena s výškovým odsazením na odrazný hranol. U menšího bloku nebylo možné zaměřit část zadní strany, z tohoto důvodu byly určeny přibližné souřadnice jednoho z bodů. Z vypočtených souřadnic byl v programu AutoCAD vytvořen 3D model a pomocí výpočetního softwaru Groma byla stanovena kubatura a plocha těchto bloků. Přibližná šířka většího bloku je 3,5 m, jeho kubatura činí 744,0 m³ a jeho plocha je 10 m². Šířka menšího bloku je 2 m, přibližný objem je 470,4 m³ a plocha bloku činí 10 m².



Obr. 4.5 Fotografie a 3D model nově vylomených bloků [autor]

Na následujícím půdorysu (obr. 4.6) je znázorněna poloha vylomených bloků vůči ostatním blokům. V půdorysu je zřetelně vidět, že skalní blok, na kterém byl stabilizován bod 36, byl zavalen menším z nově vylomených bloků.



Obr. 4.6 Půdorys s nově vylomenými bloky

4.6. Kontrolní připojení do S-JTSK

Nad rozsah zadání diplomové práce bylo v rámci předmětu „HE13 Komplexní projekt z KN a KI“ provedeno kontrolní připojení referenčních bodů do S-JTSK. Měřické práce proběhly dne 19. 10. 2012, přičemž doba měření byla přibližně 8 hodin. Během dne bylo počasí jasno a průměrná teplota byla přibližně 10 °C.

Kontrolní připojení bylo provedeno pomocí oboustranně připojeného a jednostranně orientovaného polygonového pořadu. Přehledný náčrt pořadu je uveden v příloze č. 18. Díky nedostatečnému počtu bodů polohového bodového pole v dané lokalitě byl pomocný orientační bod a body připojovací zaměřeny technologií GNSS dle přílohy č. 9 vyhlášky č. 331/1995Sb. Pro měření byla využita GPS aparatura s přijímačem Wild CR 233 a s anténou Leica SR 399. Na každém bodu byla provedena dvě nezávislá měření s minimálním odstupem 1 hodiny mezi měřeními. Při měření byla kontrolována hodnota parametru DOP tak, aby alespoň jedno z měření nepřesáhlo hodnotu DOP 7,0 (dle odst. 9.6 bodu 9 přílohy k vyhlášce č. 31/1995 Sb.). Zápisníky měření a geodetické údaje jsou součástí příloh. Připojení do souřadnicového systému ETRS-89 bylo provedeno za využití permanentní stanice TUBO (Brno), která byla pro danou lokalitu nejbližší permanentní stanicí (vzdálenost cca 26 km). Transformace bodů ze souřadnicového systému ETRS-89 do S-JTSK byla provedena programem LEICA Geo Office 8.2, který patří mezi zpracovatelské programy schválené ČÚZK. Pro transformaci bodů byl využit globální klíč CZ_JT13. Výpočetní protokoly jsou součástí přílohy č. 14. Po výpočtu bodů určených pomocí GNSS proběhlo porovnání souřadnic mezi dvojím nezávislým určením (viz tab. 4.2).

Tab. 4.2 Porovnání souřadnic z dvojího nezávislého měření technologií GNSS

Č.B.	1. měření		2. měření		dY [m]	dX [m]	m _p [m]	m _{x,y} [m]
	Y	X	Y	X				
4001	583603,94	1139349,48	583603,91	1139349,43	0,03	0,05	0,06	0,04
4004	583305,28	1139193,35	583305,29	1139193,35	-0,01	0,00	0,01	0,01
4005	583303,64	1139123,49	583303,59	1139123,55	0,04	-0,06	0,08	0,05

Dále následoval výpočet bodů polygonového pořadu a podrobných bodů. Výpočet proběhl v programu Groma, výpočetní protokol je součástí příloh (č. 17). Porovnání souřadnic referenčních a vybraných pozorovaných bodů daných a nově vypočtených je uvedeno v tabulce 4.3.

Tab. 4.3 Porovnání souřadnic referenčních a vybraných pozorovaných bodů

Č.B.	Dané		Nově určené		dY [m]	dX [m]
	Y	X	Y	X		
106	583529,41	1139378,57	583529,69	1139378,55	-0,28	0,01
107	583530,06	1139379,34	583530,34	1139379,32	-0,28	0,02
108	583529,98	1139379,45	583530,26	1139379,43	-0,28	0,01
109	583529,77	1139379,17	583530,05	1139379,16	-0,28	0,01
110	583529,30	1139378,60	583529,57	1139378,59	-0,27	0,01
39	583562,97	1139362,75	583563,19	1139362,66	-0,22	0,09
15	583545,56	1139372,06	583545,81	1139372,01	-0,26	0,05
17	583548,23	1139377,65	583548,51	1139377,59	-0,27	0,06
18	583547,55	1139373,91	583547,81	1139373,85	-0,26	0,06
22	583549,81	1139368,48	583550,06	1139368,42	-0,25	0,06
24	583551,86	1139369,04	583552,10	1139368,97	-0,24	0,06
25	583553,15	1139371,80	583553,40	1139371,73	-0,25	0,06
26	583554,44	1139367,38	583554,68	1139367,31	-0,24	0,07
27	583555,57	1139370,38	583555,82	1139370,31	-0,25	0,07
38	583561,06	1139358,61	583561,29	1139358,51	-0,22	0,10
Průměr:					-0,26	0,05

V tabulce jsou uvedeny neredukované souřadnice v S-JTSK, kdy proběhlo srovnání mezi souřadnicemi určenými z dřívějšího speleologického měření a při kontrolním připojení z roku 2012. V souřadnici v ose X dosahuje průměrný rozdíl 0,05 m. Zásadnějších rozdílů je dosaženo v ose Y, kde průměrný rozdíl činí 0,26 m. Přestože byly zjištěny takovéto rozdíly, jedná se pouze o systematický rozdíl mezi dvojím měřením a pro výpočet vlastních posunů bude využito souřadnic referenčních bodů, které byly aplikovány již v předchozích etapách tak, aby nebyla porušena kontinuita mezi etapovým měřením.

5. ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Po měřických pracích následovalo zpracování naměřených dat. Stejně jako v předchozích etapách bylo vyrovnání měřické sítě provedeno v softwaru ORPHEUS (**ORIENT – Photogrammetric Engineering Utilities System**). Jako souřadnicový systém je pro výpočet použit S-JTSK s redukovanými souřadnicemi a výškový systém Bpv s redukovanými výškami, ve kterém jsou dané souřadnice a výšky referenčních bodů.

5.1. Použitý výpočetní software

ORPHEUS představuje softwarový program, který byl vyvinut v 70. letech 20. století na Institutu fotogrammetrie a dálkového průzkumu na Technické univerzitě ve Vídni. Jde o grafické prostředí programu Orient, ve kterém je možné pracovat s různými matematickými modely. Postupem času bylo toto grafické prostředí rozšířeno o další funkce. Přestože je software hlavně využíván pro vyrovnání fotogrammetrických dat, je možné tento program využít i při úlohách klasické geodézie. Jeho výhodou v tomto směru je, že umožňuje současně vyrovnávat odlišné veličiny.

Uživatelské prostředí (user interface) je od výpočetních programů odděleno a jejich vzájemná komunikace je zajištěna pomocí tzv. agentů. Program využívá databázi, ve které jsou uložena veškerá data, se kterými pracuje. Prvky v této databázi se dělí do skupin tzv. rooms. Každá skupina představuje 3D prostor, který je propojený s 3D kartézským souřadnicovým systémem. Software využívá dva typy skupin a to *skupinu měření*, která obsahuje měřené hodnoty a souřadnicový systém s nimi spojený, a dále *skupinu parametrů*, která zahrnuje neznámé veličiny a jejich souřadnicový systém [15].

5.1.1. Metoda vyrovnání

Mezi dominantní metody vyrovnání patří metoda nejmenších čtverců (MNČ). Předpokladem správného fungování této metody je normální rozdělení chyb. I malé odchylky od normálního rozdělení pravděpodobnosti mají značný vliv na kvalitu výsledku. Jen několik málo hrubých chyb tedy může znehodnotit jinak kvalitní měření. Další metodou vyrovnání je *metoda robustního vyrovnání*. Tato metoda vyrovnání oproti metodě MNČ neselže při „mírném“ nesplnění požadavku na normální rozdělení chyb, tedy v případě, že se v souboru měření vyskytují odlehlé hodnoty. Čím je metoda odolnější

proti vlivu chybných měření, tím je robustnější. Tuto metodu lze kombinovat s metodou MNČ, kdy pomocí robustního vyrovnaní jsou vyhledány a následně z výpočtu vyloučeny hrubé chyby, další postup vyrovnaní probíhá pomocí metody MNČ, kdy suma čtverců oprav musí být minimální [16].

Námi využitý software ORPHEUS pro výpočet používá právě robustní vyrovnaní, které je odolnější vůči odlehlým hodnotám. Při vlastním výpočtu je při každé iteraci upravována váha měření. K chybným měřením jsou přiřazovány větší opravy a tím pádem jim jsme schopni stanovit menší váhy. Takovýmto způsobem je zajištěno snížení vlivu odlehlých hodnot na výsledky vyrovnaní. Po odstranění odlehlých měření se vyrovnaní realizuje s původními váhami.

Před vlastním výpočtem lze v programu nastavit parametry vyrovnaní, kdy jsme schopni stanovit, která měření mají vstupovat do vyrovnaní, které parametry měření budou brány jako fixní a které jako neznámé, případně lze nastavit, aby do vyrovnaní vstupovala pouze jedna souřadnice určitého bodu. Po ukončení iterací je možné provést analýzu přesnosti získaných výsledků z vyrovnaní [15].

5.1.2. Matematický model

Pro každý zaměřený bod, který je určený vodorovným úhlem α , zenitovým úhlem z a šikmou délkou s , je možné vytvořit systém tří rovnic oprav, který je dán maticovým zápisem:

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_z \\ s + v_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \cdot \mathbf{R}^T \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}, (1)$$

kde v_α je oprava vodorovného úhlu, v_z je oprava zenitového úhlu a $s + v_s$ je oprava šikmé délky. Matice R je matice rotace, která popisuje vztah, resp. natočení lokálního systému přístroje (x, y, z) a systému geodetického (X, Y, Z) , a je rovna:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \kappa & -\cos \varphi \sin \kappa & \sin \varphi \\ \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa & \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \varphi \sin \kappa & -\sin \omega \cos \varphi \\ \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \varphi \cos \kappa & \sin \omega \cos \kappa - \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa & \cos \omega \cos \varphi \end{bmatrix}.$$

První člen ve vztahu (1) představuje výpočet lokálních souřadnic přístroje x, y, z a jeho maticový zápis je:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/s \cdot \sin \zeta & 0 & 0 \\ 0 & 1/s & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sin \alpha & -\cos \alpha & 0 \\ \cos \alpha \cos \zeta & \sin \alpha \cos \zeta & \sin \zeta \\ \cos \alpha \sin \zeta & \sin \alpha \sin \zeta & \cos \zeta \end{bmatrix}.$$

Poslední člen v systému rovnic oprav (1) popisuje posun počátku lokální souřadnicové soustavy. Předmětem vlastního vyrovnání jsou pak úhly stočení ω , φ , κ v matici R .

Díky horizontaci přístroje během měření je možné psát, že pro úhly stočení ω , φ platí $\omega = \varphi = 0$. Tyto úhly je možné považovat za měřené a jejich rovnice oprav jsou dány vztahy:

$$\varphi = v_{\varphi} + \varphi_{obs}$$

$$\omega = v_{\omega} + \omega_{obs}$$

Vzhledem k tomu, že souřadnice referenčních bodů (X , Y , Z) vstupují do vyrovnání jako měřené veličiny a jsou tím pádem také předmětem vyrovnání, je možné pro každý referenční bod vytvořit rovnice oprav:

$$v_X = X - X_{obs}$$

$$v_Y = Y - Y_{obs}$$

$$v_Z = Z - Z_{obs}$$

Pro vyrovnání byly nastaveny následující parametry ve formě středních chyb měřených dat:

- Střední chyba vodorovného a zenitového úhlu $\sigma_{\alpha,z} = 4 \text{ mgon}$
- Střední chyba úhlu stočení $\sigma_{\omega,\varphi} = 1 \text{ mgon}$
- Střední chyba délky $\sigma_s = 2 \text{ mm}$
- Střední souřadnicová chyba $\sigma_{xyz} = 0,5 \text{ mm}$

Výpočet probíhá metodou iterace, kdy jsou vyrovnány úhly stočení v matici rotace R , poté jsou tyto úhly dosazeny do výpočtu a jsou opraveny měřené veličiny, pro které jsou potom opět vypočteny rotační úhly. Postup se opakuje do doby, než je dosaženo požadované přesnosti. Aby se předešlo deformacím hodnot získaných z měření, do vyrovnání vstupují spolu s pozorovanými body i souřadnice bodů referenčních. Výsledkem jsou souřadnice všech sledovaných bodů a upřesněné souřadnice referenčních bodů spolu s charakteristikami přesnosti [15].

5.1.3. Dosažené výsledky

Výsledkem vyrovnaní jsou hodnoty souřadnic a výšek všech bodů vstupujících do vyrovnaní, tedy bodů referenčních, pozorovaných a pomocných stanovisek, a zároveň z vyrovnaní byly získány charakteristiky přesnosti ve formě středních chyb souřadnic a parametrů středních elips chyb. Výsledky vyrovnaní jsou uvedeny ve výpočetním protokolu, který je součástí příloh (č. 7, č. 8).

5.2. Střední chyby souřadnic

Jak již bylo výše uvedeno, součástí výsledného výpočetního protokolu jsou střední chyby pro jednotlivé souřadnice m_x , m_y , m_z . Jedná se o charakteristiky přesnosti určení polohy bodu ve směru dané souřadnicové osy, které jsou vypočtené z oprav. Z těchto středních chyb je možné spočítat *střední souřadnicovou chybu* $m_{x,y}$, která představuje charakteristiku přesnosti polohy, jež je vypočtená ze vztahu:

$$m_{x,y}^2 = \frac{m_x^2 + m_y^2}{2}.$$

Jedná se o charakteristiku přesnosti, která není závislá na změně volby souřadnicové soustavy [11]. V následující tabulce jsou uvedené jednotlivé střední chyby.

Tab. 5.1 Střední chyby pro měřené etapy

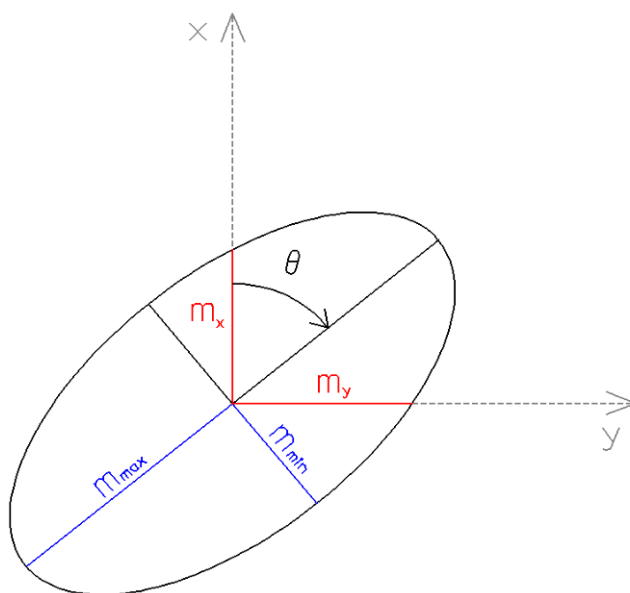
Střední chyby na pozorovaných bodech [mm]				
Etap	m_x	m_y	m_z	$m_{x,y}$
Etap č. 16	1,64	1,48	0,97	1,58
Etap č. 17	1,53	1,55	1,10	1,56
Střední chyby na pomocných měřických bodech [mm]				
Etap	m_x	m_y	m_z	$m_{x,y}$
Etap č. 16	1,19	0,93	0,70	1,07
Etap č. 17	1,21	1,04	0,83	1,13

Při porovnání jednotlivých středních chyb mezi etapami nebyly zjištěny příliš velké odchylky. Rozdíly u středních chyb jednotlivých souřadnic pozorovaných bodů dosahují hodnot v řádu desetin milimetrů. Rozdíl mezi etapami ve střední souřadnicové chybě činí 0,02 mm, můžeme tedy konstatovat, že souřadnice pozorovaných bodů mezi oběma etapami jsou stanoveny s relativně stejnou přesností. Při porovnání středních chyb, dosažených na pomocných bodech měřické sítě, byly zjištěny o něco větší rozdíly, ovšem opět se pohybují v řádech desetin milimetrů, kdy v etapě č. 16 bylo dosaženo lepších výsledků. Dané rozdíly jsou způsobeny díky různé konfiguraci a různému počtu

pomocných stanovisek měřické sítě v jednotlivých etapách, přesto tyto hodnoty dosahují požadované přesnosti.

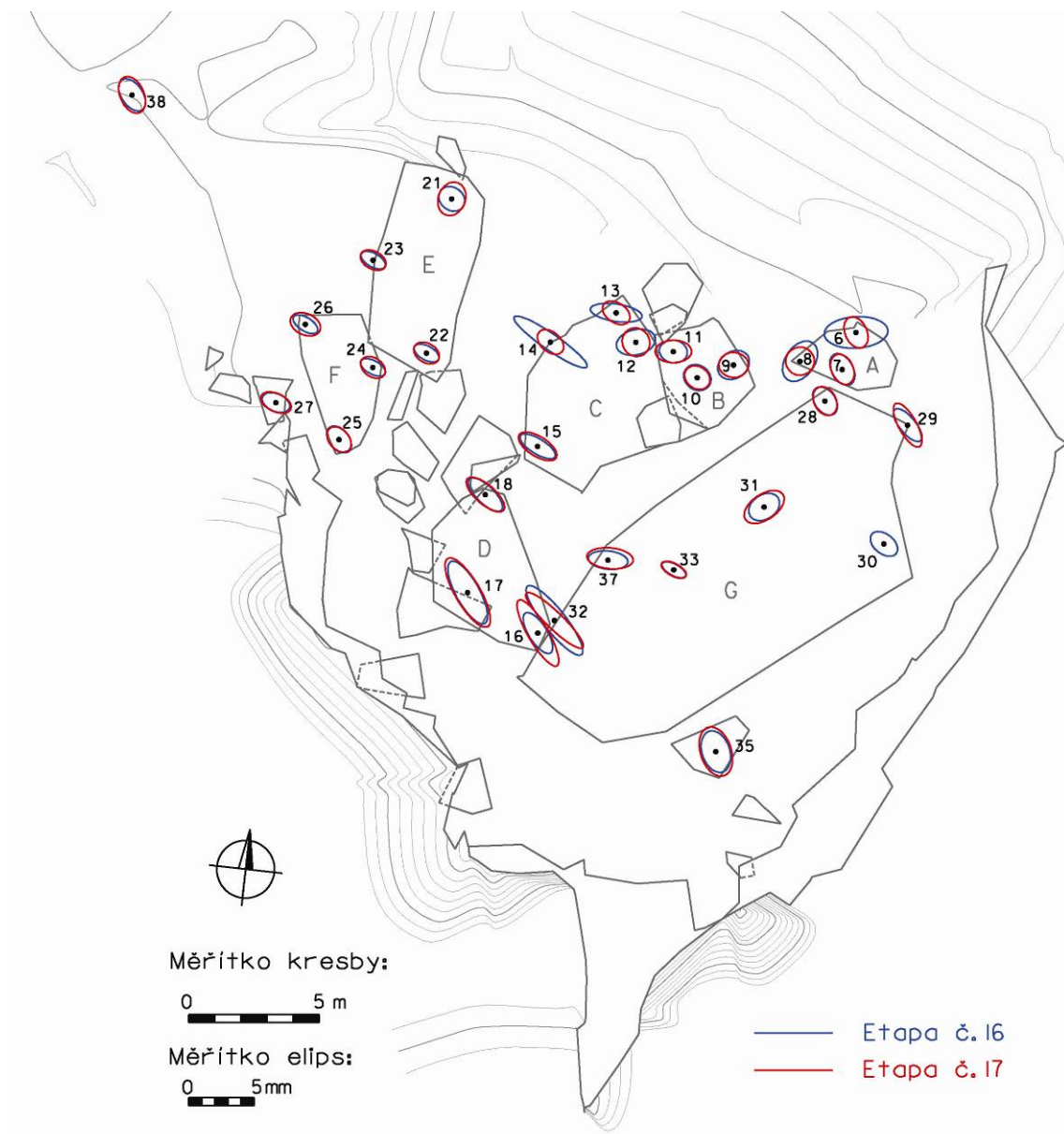
5.3. Střední elipsy chyb

Pro další zhodnocení dosažené přesnosti se využívá *střední elipsy chyb*, která nám poskytuje komplexní informaci o polohové přesnosti bodu. Díky střední elipse chyb jsme schopni určit dosaženou přesnost v libovolném směru. Jedná se o elipsu stejné hustoty pravděpodobnosti, mezi jejíž parametry patří úhel stočení a hlavní a vedlejší poloosa. Poloosy elipsy jsou dány *extremními chybami* m_{max} , m_{min} , které představují největší a nejmenší chybu v určení polohy. Úhel stočení φ představuje natočení hlavní poloosy vůči souřadnicové ose x (viz obr. 5.1) [11].



Obr. 5.1 Parametry střední elipsy chyb [autor]

Do výpočtu parametrů střední elipsy chyb vstupují hodnoty středních chyb jednotlivých souřadnic m_x , m_y a kovariance m_{xy} , která udává stupeň vzájemné závislosti mezi souřadnicemi x , y [11]. Výpočet parametrů středních elips chyb byl proveden pomocí využitého výpočetního softwaru a jejich hodnoty jsou uvedeny ve výpočetním protokolu. Tyto hodnoty byly graficky zpracovány v programu Microstation.



Obr. 5.2 Střední elipsy chyb pro pozorované body

Tvar a natočení jednotlivých elips chyb se mezi etapami na bodech příliš neliší. Výjimku tvoří body 8, 6, 12, 13 a 14, u kterých došlo ke zlepšení u etapy č. 17. Toto zlepšení přesnosti bylo dáno konfigurací měřické sítě a přidáním právě jednoho pomocného stanoviska do této lokality, která byla po zaměření červenové etapy shledána jako problémová.

Další výraznější změna nastala u bodu 16, který je stabilizován na bloku D. Střední elipsa chyb u tohoto bodu vychází lépe pro etapu č. 16. Bod je díky své poloze obtížně měřitelný. Je situován v blízkosti stěny bloku G, kde je jeho špatná viditelnost dána

převýšením skalního bloku a také díky přírodním překážkám v lokalitě. Při etapě č. 17 byl tento bod zaměřen pouze ze dvou stanovisek, přičemž protínací úhel byl poměrně ostrý. Tato nepříznivá konfigurace se promítla i do přesnosti určení bodu pro tuto etapu. Další zhodnocení bodu 16 bude uvedeno v následující kapitole.

6. POROVNÁNÍ ETAP A POSOUZENÍ POSUNŮ

Po zpracování naměřených dat následovalo porovnání dosažených výsledků mezi etapami a posouzení toho, zda na daném bodě došlo nebo nedošlo k posunu. Veškeré výpočty byly provedeny dle vzorců uvedených v kapitole 3.3 *Vyhodnocení posunů*. Nejprve byly zjištěny souřadnicové rozdíly ΔX , ΔY a ΔZ , dále byla ze středních chyb jednotlivých souřadnic stanovena střední chyba rozdílu $m_{\Delta X}$, $m_{\Delta Y}$ a $m_{\Delta Z}$, pomocí které byla určena mezní hodnota $\delta_{\Delta X}$, $\delta_{\Delta Y}$ a $\delta_{\Delta Z}$. Jak bylo řečeno v kapitole 3.3, mezní hodnota je dána součinem střední chyby rozdílu a součinitelem konfidence t . Pro náš případ byl zvolen součinitel konfidence $t = 2,5$, kdy riziko nespolehlivosti činí 1%. Tato hodnota byla stanovena na základě ne příliš dobrých podmínek pro měření díky členitosti terénu, kdy nemohla být vždy dodržena optimální konfigurace pro měření.

Nejprve bylo provedeno porovnání mezi mnou zaměřenými etapami, etapou č. 16 a etapou č. 17. Dále byly posouzeny rozdíly dosažené mezi etapou č. 15 z roku 2011 a etapou č. 16 z roku 2012. Mimo to bylo provedeno porovnání dosažených výsledků vůči nulté etapě. Jelikož je předpokládán lineární průběh posunů, hodnoty z měřené letní a podzimní etapy jsou interpolovány a porovnání je vztaženo ke dni 1. července. Hodnoty z předchozích let byly převzaty z diplomové práce Václava Moštěka z roku 2011 [15]. Zpracování a vyhodnocení proběhlo v aplikaci Microsoft Office Excel 2007, přičemž výsledný soubor je součástí příloh práce.

6.1. Porovnání etapy č. 16 a etapy č. 17

Nejprve bylo provedeno zhodnocení dosažených posunů mezi etapou č. 16 (červen 2012) a etapou č. 17 (říjen 2012), jejichž zaměření bylo cílem této práce. Výsledný soubor je součástí příloh (č. 19). Níže je uvedena tabulka 6.1 s dosaženými souřadnicovými rozdíly, středními chybami rozdílu a dále s hodnocením, zda na daném bodu došlo k posunu. Z tabulky je možné vyčíst, že výraznějších posunů bylo dosaženo ve výškové složce, tedy v ose Z . V této ose byl prokázán posun u 9 bodů, což tvoří 32 % z celkového počtu. Příklad, kdy posun nebyl prokázán jednoznačně, tvoří 50 % (14 bodů). U horizontální složky k jednoznačným posunům nedošlo. Výjimku tvoří bod 9, u kterého byl zjištěn posun v ose Y . V ostatních případech byl posun stanoven jako nejednoznačný,

případně k posunu nedošlo. U osy Y případ „možná“ představuje 46 % (13 bodů), u osy X je to 21% (6 bodů).

Tab. 6.1 Porovnání etapy č. 16 a etapy č. 17

Č.B.	Souřadnicové rozdíly [mm]			Střední chyba rozdílu [mm]			Posouzení posunu		
	ΔY	ΔX	ΔZ	$m_{\Delta Y}$	$m_{\Delta X}$	$m_{\Delta Z}$	Osa Y	Osa X	Osa Z
6	2,8	-0,6	-1,5	3,27	2,12	1,96	NE	NE	NE
7	2,5	-2,3	-1,7	1,66	2,11	1,25	MOŽNÁ	MOŽNÁ	MOŽNÁ
8	2,7	-1,2	-2,7	2,19	2,38	1,99	MOŽNÁ	NE	MOŽNÁ
9	5,3	0,0	-1,7	2,09	1,83	1,18	ANO	NE	MOŽNÁ
10	3,4	0,3	-3,7	1,81	1,69	1,44	MOŽNÁ	NE	ANO
11	-0,1	-3,8	-2,9	2,20	1,55	1,27	NE	MOŽNÁ	MOŽNÁ
12	3,4	-0,1	-2,6	2,30	1,85	1,62	MOŽNÁ	NE	MOŽNÁ
13	2,1	-1,8	-1,8	2,80	1,45	1,44	NE	MOŽNÁ	MOŽNÁ
14	-0,9	0,3	-1,5	3,72	2,75	1,60	NE	NE	NE
15	-0,3	-0,7	-1,9	2,52	1,82	1,24	NE	NE	MOŽNÁ
16	110,0	-195,4	149,6	2,46	3,73	2,78	ANO	ANO	ANO
17	0,1	-1,0	-4,0	2,88	4,47	1,59	NE	NE	ANO
18	0,5	0,5	-2,1	2,47	2,33	1,32	NE	NE	MOŽNÁ
21	2,6	-1,1	-2,4	1,84	2,00	1,41	MOŽNÁ	NE	MOŽNÁ
22	3,2	-1,0	-3,2	1,73	1,37	1,09	MOŽNÁ	NE	ANO
23	2,8	-1,7	-3,4	1,71	1,30	1,10	MOŽNÁ	MOŽNÁ	ANO
24	2,4	1,2	-3,8	1,70	1,34	1,10	MOŽNÁ	NE	ANO
25	1,9	0,3	-4,9	1,67	1,78	1,39	MOŽNÁ	NE	ANO
26	2,1	0,5	-3,2	1,87	1,44	1,25	MOŽNÁ	NE	ANO
27	1,6	-0,7	-1,6	1,96	1,40	1,18	NE	NE	MOŽNÁ
28	2,9	-1,0	-5,2	1,66	1,93	1,39	MOŽNÁ	NE	ANO
29	1,1	-1,2	-2,3	1,91	2,64	1,57	NE	NE	MOŽNÁ
31	2,8	-2,1	-0,8	2,43	2,06	1,15	MOŽNÁ	MOŽNÁ	NE
32	-2,5	4,3	-2,6	3,88	4,27	1,42	NE	MOŽNÁ	MOŽNÁ
33	3,3	0,8	-1,1	1,68	1,12	1,00	MOŽNÁ	NE	MOŽNÁ
35	1,7	1,2	-0,9	2,14	3,09	2,16	NE	NE	NE
37	0,5	-0,2	-2,8	2,91	1,35	1,31	NE	NE	MOŽNÁ
38	1,3	-2,2	0,1	1,85	2,34	1,74	NE	NE	NE

Rozmístění bodů na blocích	Blok A	Posouzení posunu		
	Blok B	$\Delta x < m_{\Delta x}$	NE	Posun nenastal.
	Blok C	$m_{\Delta x} \leq \Delta x \leq \delta_{\Delta x}$	MOŽNÁ	Posun nastat mohl, ale nebyl prokázán.
	Blok D	$\Delta x < \delta_{\Delta x}$	ANO	Posun nastal s pravděpodobností 99%.
	Blok E			
	Blok F			
	Blok G			
	Ostatní			

Body, u kterých nedošlo k posunu ani v jedné ose, jsou 6, 14, 35 a 38. Dále sem můžeme řadit body, u kterých nedošlo k posunu v horizontální složce a ve vertikální složce je posun nejednoznačný. Jedná se o body 15, 18, 27, 29 a 37. Tyto body se nacházejí v relativně odlehlejších částech od koryta potoka Bílá voda a jeho činnosti.

K nejvýraznějším posunům bodů došlo na skalních blocích E a F. Nacházejí se v přední části přímo v řečišti Bílé vody. Tyto bloky tedy nejvíce podléhají činnosti vodního toku. V případě vysoké vodní hladiny potoka mohou být tyto bloky zatopeny. Tendence posunu těchto bloků bude přiblížena při dalším vyhodnocení.

Dále je třeba zmínit, že na bodě 16, který leží na skalním bloku D, bylo mezi červnovou a říjnovou etapou dosaženo výrazných souřadnicových rozdílů. Z tohoto důvodu byla provedena analýza, na základě které bylo rozhodnuto, že bod 16 bude z etapy č. 17 vyřazen a v dalším vyhodnocování posunů budou zohledněny pouze souřadnice bodu získané z etapy č. 16.

Při porovnání etapy č. 16 a etapy č. 17, kdy časový rozestup činí přibližně 3,5 měsíce, lze konstatovat, že v lokalitě byl během relativně krátkého časového úseku zjištěn určitý pohyb bloků a to především ve vertikální složce. V následující tabulce jsou uvedeny průměrné hodnoty souřadnicových rozdílů (v absolutní hodnotě) pro jednotlivé skalní bloky. U bloku D nebyly do průměru uvažovány souřadnicové rozdíly zjištěné na bodu 16.

Tab. 6.2 Průměrné souřadnicové rozdíly pro jednotlivé skalní bloky

Blok	dY [mm]	dX [mm]	dZ [mm]
A	2,7	1,4	2,0
B	2,9	1,4	2,8
C	1,7	0,7	1,9
D	0,3	0,7	3,1
E	2,9	1,3	3,0
F	2,1	0,7	4,0
G	2,2	1,6	2,5

6.2. Porovnání etapy č. 15 a etapy č. 16

Mezi mnou zaměřenými etapami č. 16 a č. 17 je relativně krátké časové období. Z tohoto důvodu bylo provedeno porovnání hodnot dosažených mezi etapou č. 15 a etapou č. 16, mezi kterými časový rozestup činí přibližně 9 měsíců. Etapa č. 15 byla

zaměřena 28. září 2011. Měření a zpracování této etapy bylo součástí diplomové práce Václava Moštěka z roku 2011 [15]. V tomto časovém úseku je zahrnuto zimní období a období jarní, kdy dochází k tání sněhu, které má na pohyb skalních bloků značný vliv. Níže je opět uvedena tabulka dosažených posunů mezi těmito etapami.

Tab. 6.3 Porovnání etapy č. 15 a etapy č. 16

Č.B.	Souřadnicové rozdíly [mm]			Střední chyba rozdílu [mm]			Posouzení posunu		
	ΔY	ΔX	ΔZ	$m_{\Delta Y}$	$m_{\Delta X}$	$m_{\Delta Z}$	Osa Y	Osa X	Osa Z
6	1,5	4,9	-3,5	3,32	4,17	2,87	NE	MOŽNÁ	MOŽNÁ
7	1,6	6,4	-3,5	1,80	2,99	1,57	NE	MOŽNÁ	MOŽNÁ
8	1,7	5,1	-3,6	2,25	3,06	2,38	NE	MOŽNÁ	MOŽNÁ
9	1,2	2,3	-4,5	2,34	3,33	1,30	NE	NE	ANO
10	2,2	1,3	-4,7	2,14	2,93	1,35	MOŽNÁ	NE	ANO
11	-2,1	0,4	-5,6	2,23	1,76	1,27	NE	NE	ANO
12	-6,1	-4,6	-1,7	4,88	4,38	2,26	MOŽNÁ	MOŽNÁ	NE
13	15,8	5,9	-8,2	3,65	1,64	1,42	ANO	ANO	ANO
14	2,8	4,1	-2,3	3,97	2,77	1,70	NE	MOŽNÁ	MOŽNÁ
15	1,6	4,5	-2,6	2,31	1,79	1,25	NE	ANO	MOŽNÁ
16	-27,5	35,4	-25,8	2,36	2,84	2,66	ANO	ANO	ANO
17	0,3	4,6	-3,6	2,61	3,67	1,58	NE	MOŽNÁ	MOŽNÁ
18	2,4	-1,2	-1,7	2,24	2,23	1,31	MOŽNÁ	NE	MOŽNÁ
21	4,5	1,7	-4,9	3,50	2,80	2,73	MOŽNÁ	NE	MOŽNÁ
22	6,6	-0,1	-12,7	2,84	1,85	16,69	MOŽNÁ	NE	NE
23	1,0	6,1	-6,3	2,06	1,63	1,33	NE	ANO	ANO
24	4,6	10,5	-7,8	4,27	4,57	2,23	MOŽNÁ	MOŽNÁ	ANO
25	10,5	5,1	-19,5	3,26	2,26	1,87	ANO	MOŽNÁ	ANO
26	2,2	12,1	-4,9	2,23	1,51	1,30	NE	ANO	ANO
27	4,0	-4,9	-2,5	3,44	2,21	2,18	MOŽNÁ	MOŽNÁ	MOŽNÁ
28	5,2	5,2	-4,0	1,78	2,41	1,50	ANO	MOŽNÁ	ANO
29	5,9	5,2	-1,1	2,04	2,99	1,57	ANO	MOŽNÁ	NE
30	6,9	2,9	-3,4	2,78	2,06	1,54	MOŽNÁ	MOŽNÁ	MOŽNÁ
31	8,3	5,0	-5,2	2,27	1,80	1,24	ANO	ANO	ANO
32	4,2	2,2	-6,0	5,72	8,28	1,55	NE	NE	ANO
33	1,5	16,9	-15,5	4,93	16,12	16,69	NE	MOŽNÁ	NE
35	3,8	1,2	-8,8	2,17	2,45	1,75	MOŽNÁ	NE	ANO
37	3,5	5,5	-5,6	3,43	1,68	1,55	MOŽNÁ	ANO	ANO
38	3,2	-2,1	-0,4	3,85	3,14	3,04	NE	NE	NE

Díky většímu časovému rozestupu jsou v tomto případě posuny výraznější. K viditelné změně došlo především v horizontální složce. Obecně došlo k posunu v libovolné ose u 31% ze všech případů. Ve vertikální složce posuny opět převažují.

K posunu v ose Z došlo u 14 bodů, což je přibližně u 50 % bodů. Příklad „možná“ nastal u 10 bodů, tedy u 35 % bodů. V horizontální složce v obou osách (X, Y) k posunu nedošlo pouze u 4 bodů a to konkrétně u bodů 9, 11, 32 a 38. V ostatních případech byl posun prokázán (okolo 20 %), případně byl posun nejednoznačný (u 40 %). Jako nejstabilnější byl shledán skalní blok A, naopak jako nejméně stabilní se jeví blok F.

Na základě hodnot zjištěných při porovnání etapy č. 16 a etapy č. 17 a při porovnání etapy č. 15 a č. 16 a na základě daných časových úseků byl stanoven roční posun bloků v jednotlivých osách. Hodnoty ročních posunů jsou uvedeny v tabulce 6.5. V tabulce je uvedena průměrná rychlost posunů a rychlost posunů pro jednotlivé skalní bloky, kdy pro zjednodušení je předpokládán lineární pohyb. Z tabulky je možné vyčíst, že největšího ročního posunu je dosaženo na bloku F. U bloku D nebyl zahrnut bod 16.

Tab. 6.4 Roční posuny jednotlivých bloků

Blok	Rychlost posunů [mm/rok]		
	dY	dX	dZ
A	5,6	6,0	5,7
B	6,3	3,2	8,0
C	7,3	4,4	5,8
D	1,4	3,2	7,0
E	7,6	3,9	10,5
F	7,5	7,3	14,0
G	7,1	6,8	8,1

6.3.Posouzení posunů vůči nulté etapě

Po porovnání jednotlivých etap měření následovalo vyhodnocení vůči základní (nulté) etapě. Pro většinu bodů je nultá etapa stanovena na rok 2004, výjimku tvoří body 27, 32, 35, 37, a 38, které mají nultou etapu v roce 2009 a které v následujícím zhodnocení nejsou uvažovány. Pro porovnání byly vypočtené souřadnice bodů vyinterpolovány ke dni 1. července.

V tabulce 6.5 jsou uvedeny hodnoty posunů mezi rokem 2004 a rokem 2012. Jsou zde zvýrazněny hodnoty dosažených maximálních a minimálních souřadnicových rozdílů v jednotlivých osách. Největší posuny byly zjištěny u bodů na bloku F a bloku E, které v horizontální složce dosahovaly až okolo 10 cm, ve vertikální složce u bodu 25 bylo dokonce dosaženo posunu téměř 30 cm.

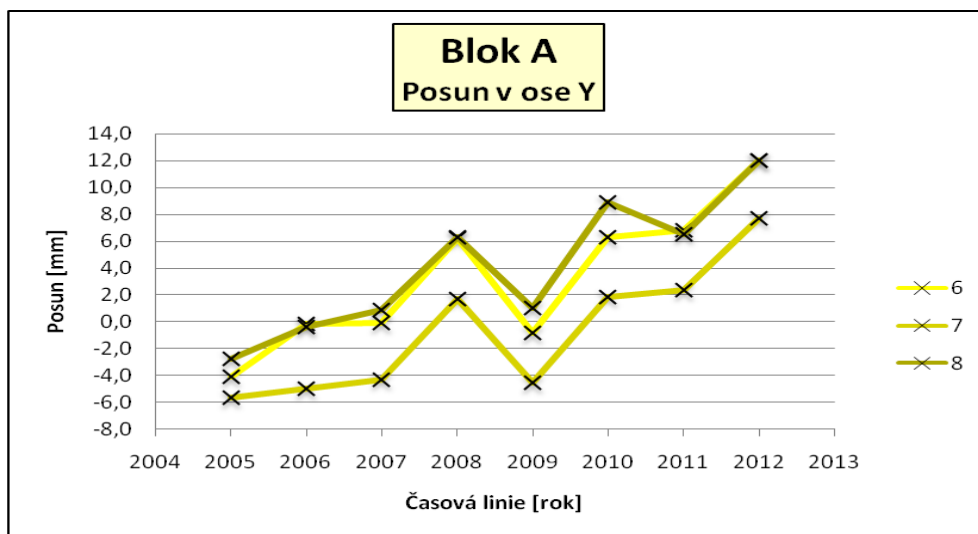
Tab. 6.5 Dosažené posuny mezi nultou etapou a rokem 2012

Č.B.	Souřadnicové rozdíly [mm]		
	$\Delta Y_{4,12}$	$\Delta X_{4,12}$	$\Delta Z_{4,12}$
6	12,0	47,8	-57,8
7	7,7	50,6	-53,6
8	12,0	56,8	-49,6
9	49,6	19,4	-43,0
10	52,7	14,9	-49,7
11	45,9	12,6	-58,5
12	33,0	16,6	-62,9
13	33,3	19,1	-64,3
14	36,6	24,0	-60,4
15	29,4	25,9	-59,8
16	-14,8	59,9	-116,4
17	29,0	44,6	-77,7
18	26,9	41,8	-64,8
21	76,9	48,6	-69,5
22	88,4	45,0	-132,3
23	62,4	33,0	-139,0
24	51,8	127,3	-158,0
25	23,2	121,3	-275,8
26	57,3	123,7	-140,5
28	57,1	36,8	-41,0
29	48,8	36,6	-26,2
30	48,5	35,9	-29,3
31	69,5	38,0	-52,1
33	59,7	36,8	-71,3

6.3.1. Zobrazení posunů bodů v grafech

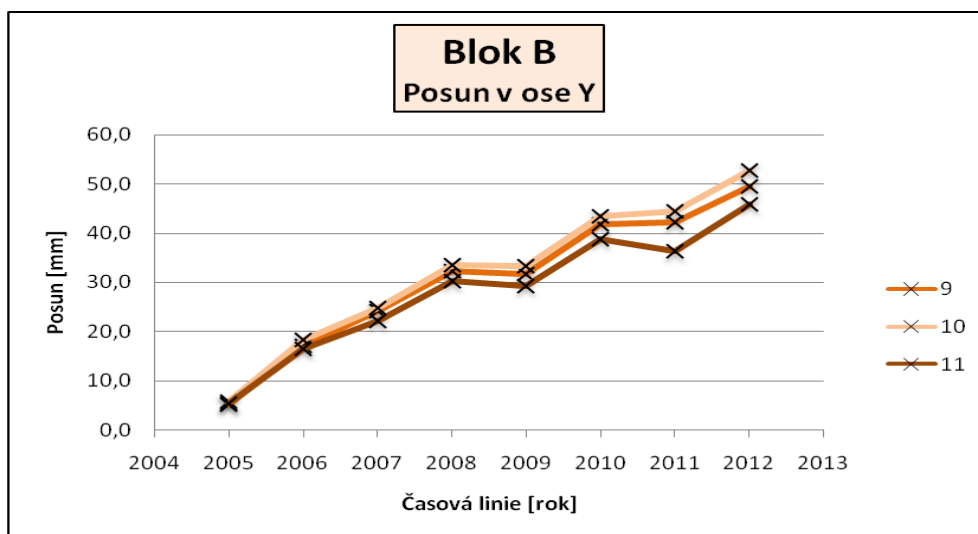
Jako interpretace dosažených posunů byly zvoleny grafy, které představují závislost posunů na časové linii. Jednotlivé bloky A, B, C, D, E, F a G byly vyhodnoceny zvlášť pro osu X, pro osu Y a pro osu Z. Grafy jsou součástí přílohy č. 20. Z grafů je možné vyčíst průběh pohybu jednotlivých bodů během devíti let, kdy jsou tyto body sledovány. Pro ukázkou jsou některé z grafů níže uvedeny.

Blok A můžeme považovat za jeden ze stabilnějších sledovaných bloků. Je to dáno jeho polohou, jelikož není přímo ovlivněn činností vodního toku Bílé vody a zároveň je v dostatečné vzdálenosti od skalní stěny. V ose X a v ose Z vykazuje relativně lineární průběh posunů, které dosahují ročně přibližně 6 mm. Naopak průběh posunů v ose Y je značně nestálý. Určité skoky v průběhu posunů ukazují na to, že blok se vyklá.

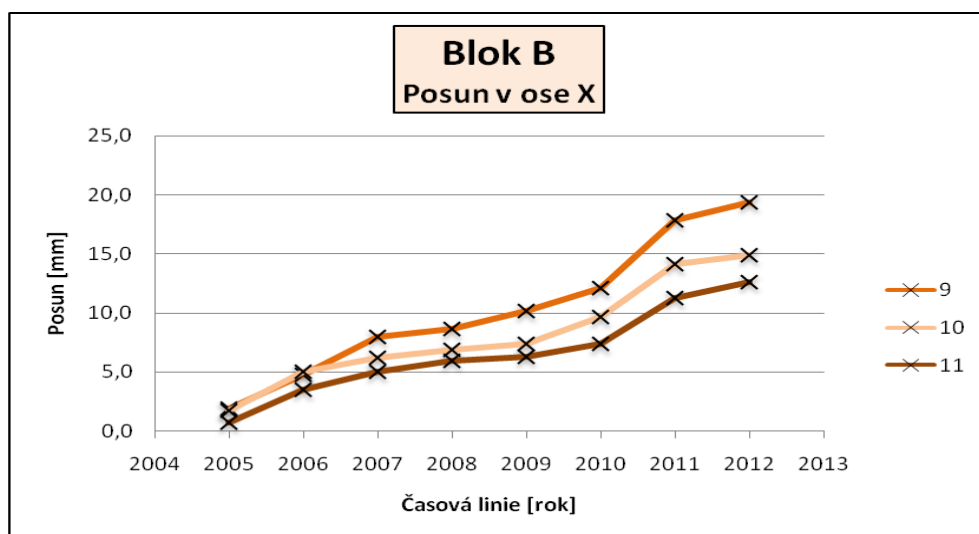


Graf 6.1 Posuny na bloku A

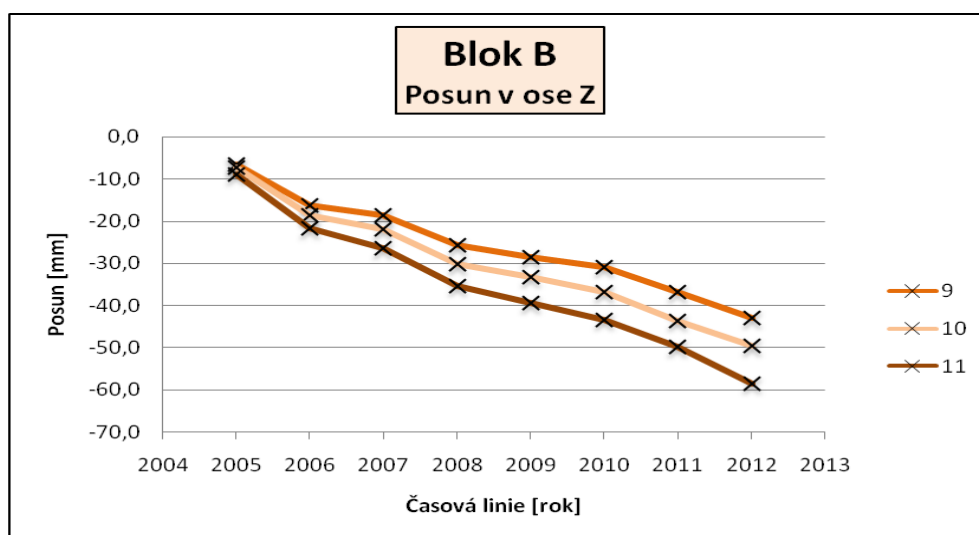
Blok B a blok C mají obdobný průběh posunů ve všech souřadnicových osách. Průběh posunů v ose Y u těchto bloků vykazuje lineárnější pohyb než blok A, přesto lze v grafu vyčíst určité výkyvy. U bloku B je souvislá tendence narušena v roce 2009, kdy nedošlo téměř k posunu a poté v roce 2011, kdy došlo spíše k mírnému poklesu. V ose X se u bloku B posun zmírnil oproti roku 2011, kdy došlo k patrnějšímu rozdílu vůči předešlým rokům. Obecně můžeme konstatovat, že mezi rokem 2011 a 2012 u bloku B a bloku C došlo v ose Y k poměrně patrnému posunu, naopak v ose X posuny u těchto bloků spíše ustrnuly. Pokles v ose Z si zachoval plynulý trend u obou skalních bloků a roční posun činil přibližně 7 mm. Výšková složka všech bodů na bloku C má téměř totožný průběh.



Graf 6.2 Posuny na bloku B (osa Y)

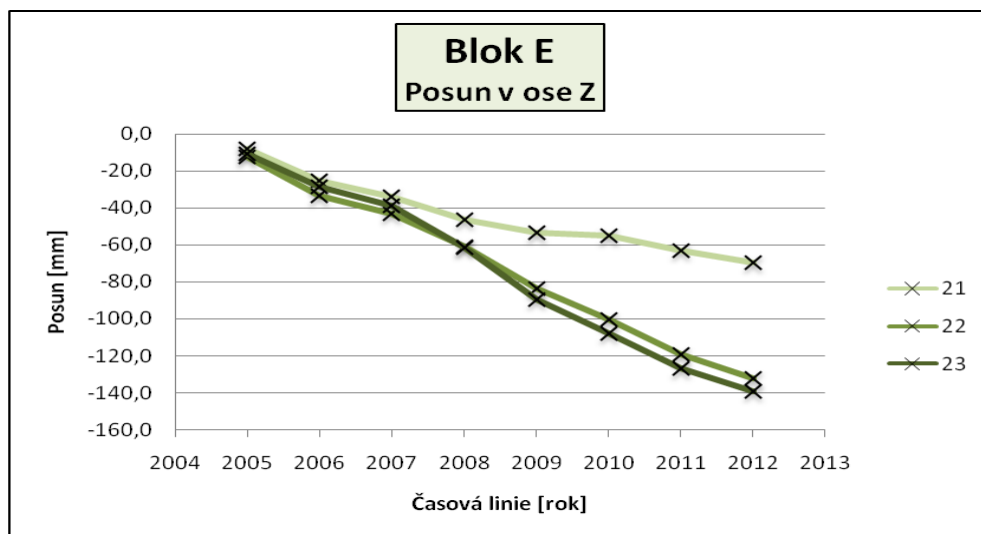


Graf 6.3 Posuny na bloku B (osa X)



Graf 6.4 Posuny na bloku B (osa Z)

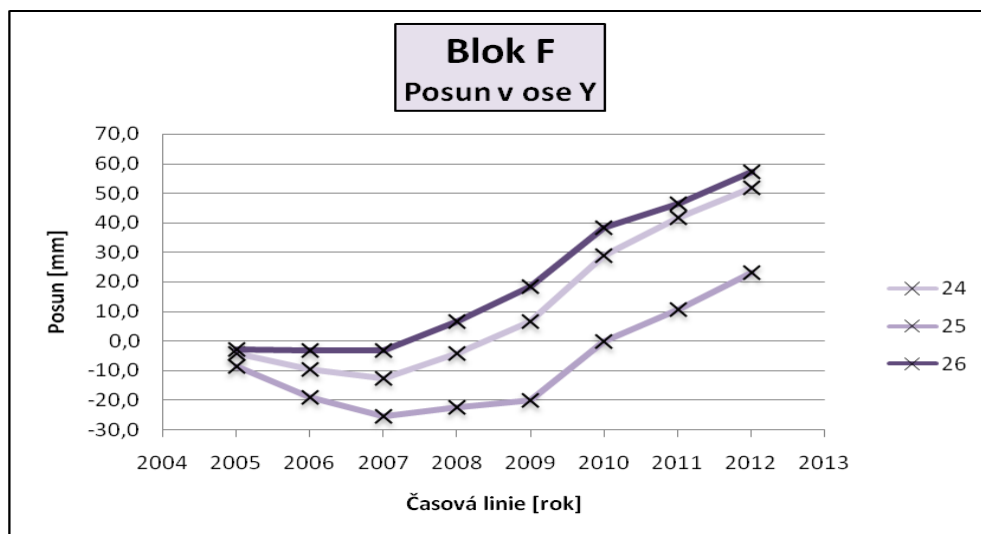
Posuny na bloku D u bodů 17 a 18 v ose Y mají opět mírně nestalý charakter, ale již to není tak výrazné jako u předchozích bloků. Dále se na bloku nachází bod 16, který především v horizontální složce vykazuje výrazné posuny oproti předchozím rokům a to především v horizontální složce. Tento bod je obtížně měřitelný, a přestože byl vzhledem k dosaženým vybočujícím rozdílům z etapy č. 17 vyřazen, hodnoty posunů jsou oproti předešlým rokům značně výrazné. Zda určitá změna v trendu posunu u tohoto bodu nastala, prokáže zaměření dalších etap v následujícím roce. V ose Z je klesání opět relativně rovnoměrné.



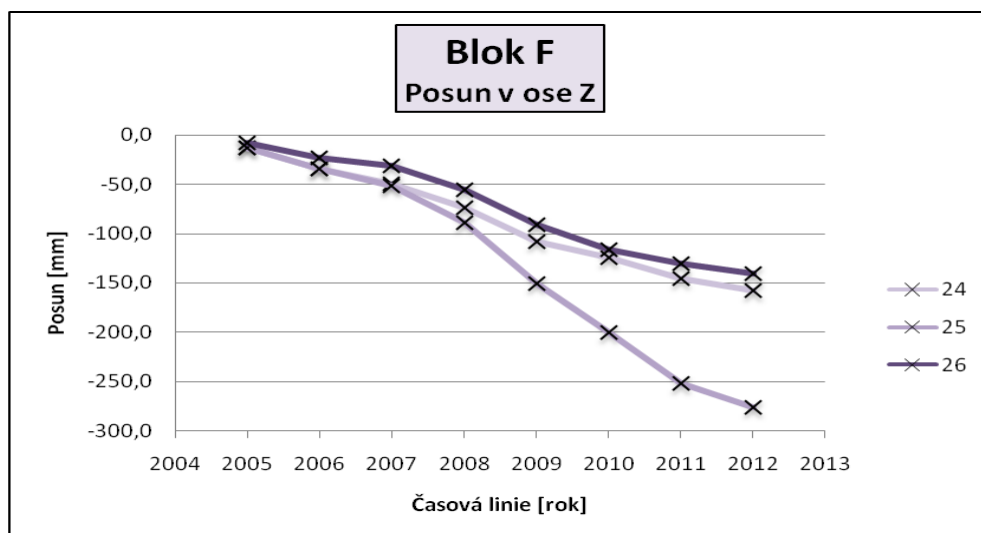
Graf 6.5 Posuny na bloku E

Blok E patří mezi bloky méně stabilní, jelikož se nachází v korytě Bílé vody. Blok v ose Y v letech 2007 – 2010 vykazoval výraznější posuny, což mohlo být způsobeno povodňovými stavy v lokalitě. Od roku 2010 jsou roční posuny mírnější. Posuny v ose X mezi roky 2011 a 2012 poměrně stagnovaly. Posun bloku v ose Z si udržuje plynulé klesání. Na bodě 21 je výrazně menší pokles oproti ostatním dvou bodům na bloku. Tato tendence má za následek určité naklánění bloku směrem k tekoucímu potoku.

Blok F je blok, na kterém je ročně dosahováno největších posunů. Nachází se v řečišti vodního toku v místě kudy potok směřuje k propadání. Velký vliv činnosti Bílé vody je patrný z průběhu posunů v jednotlivých osách, kde se roční posun pohybuje okolo 10 mm, ve vertikální složce. V ose Y je zajímavý zlom, který nastal v roce 2007. Do tohoto roku nabývaly posuny záporných hodnot, blok tedy směřoval směrem k sousednímu bloku E. Od roku 2008 je posun ve směru opačném, přičemž tato tendence pokračuje. V ose X v roce 2012 opět nastala určitá stagnace, kdy velikost posunu je téměř poloviční oproti předchozím etapám. Pokles bloku je opět poměrně rovnoměrný. Z grafu lze dobře rozeznat výrazné roční poklesy bodu 25 oproti bodu 24 a bodu 26. Na tomto bodě posuny dosahují až několika centimetrů ročně, ovšem posun mezi rokem 2011 a rokem 2012 je výrazně menší oproti předchozím rokům.



Graf 6.6 Posuny na bloku F (osa Y)



Graf 6.7 Posuny na bloku F (osa Z)

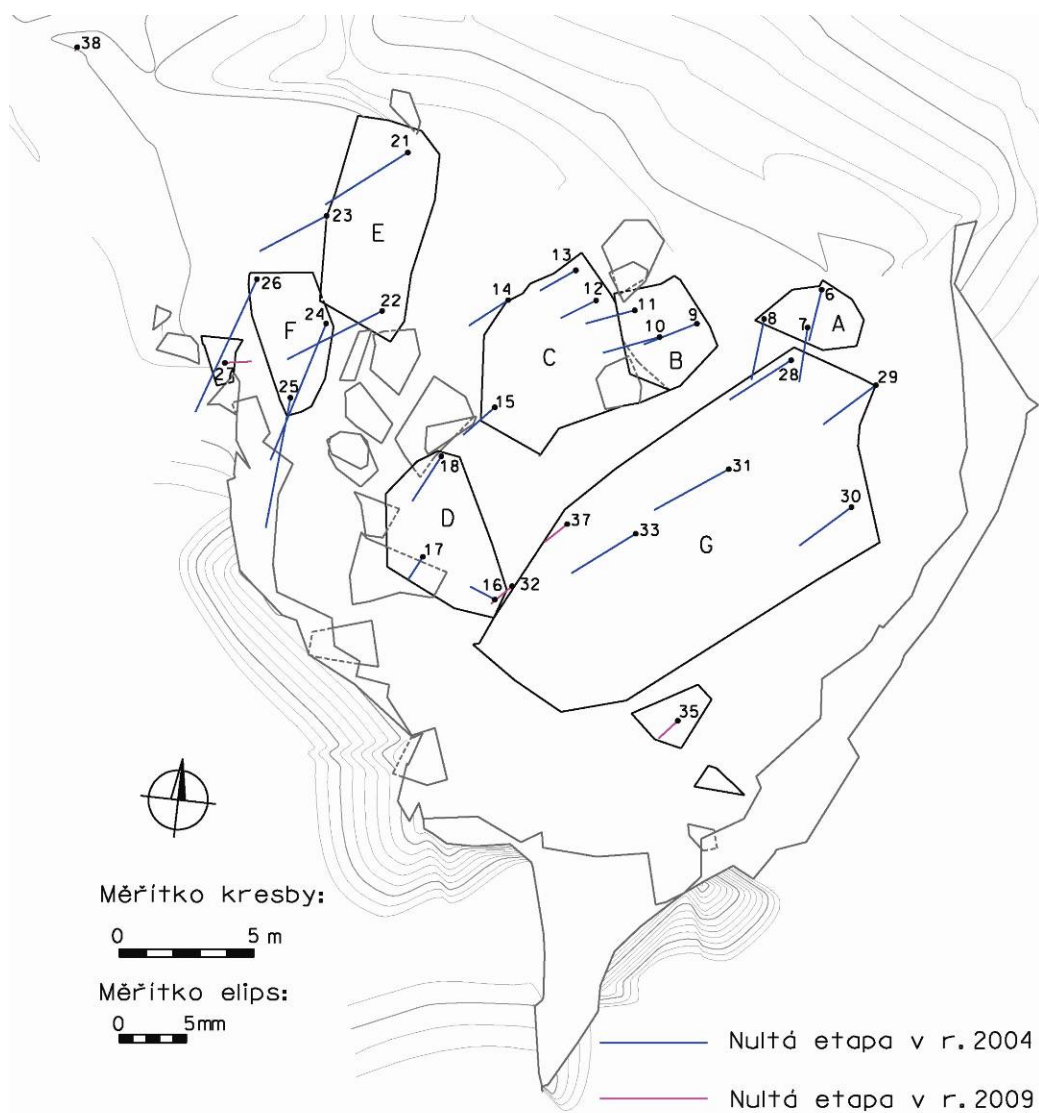
Blok G je největší ze zaměřovaných bloků. Vzhledem k jeho velikosti je na tomto bloku stabilizováno 8 bodů. Body 32 a 37 mají nultou etapu v roce 2009, přesto tyto body byly v grafu uvedeny. Jejich průběh posunů vykazuje obdobný trend jako u ostatních bodů na bloku. Posuny v jednotlivých osách mají relativně lineární průběh. Velikost posunů závisí na poloze bodu na bloku, kdy body blíže propadání vykazují posuny větší (bod 31, 33, 34). Výškové posuny nedosahují takových velkých hodnot jako u předešlých bloků, což je dáno velikostí a hmotností daného bloku.

Celkově lze zhodnotit dosažené posuny tak, že trend průběhu posunů je ve většině případů lineární. Výjimku tvoří bloky, které jsou ve větší vzdálenosti od propadání

a od koryta potoka (blok A, B, C). U těchto bloků posuny v ose Y vykazují určitý schodkový charakter. Horizontální posuny dosahují kladných hodnot, tedy je tam určitý pohyb směrem k propadání. Vertikální posuny nabývají záporných hodnot, tedy dochází k poklesu bloků. Dle očekávání vertikální posuny dosahují výraznějších hodnot a to skoro dvojnásobných oproti horizontální složce. Další zhodnocení trendu pohybu skalních bloků bude v další podkapitole.

6.3.2. Grafické znázornění posunů

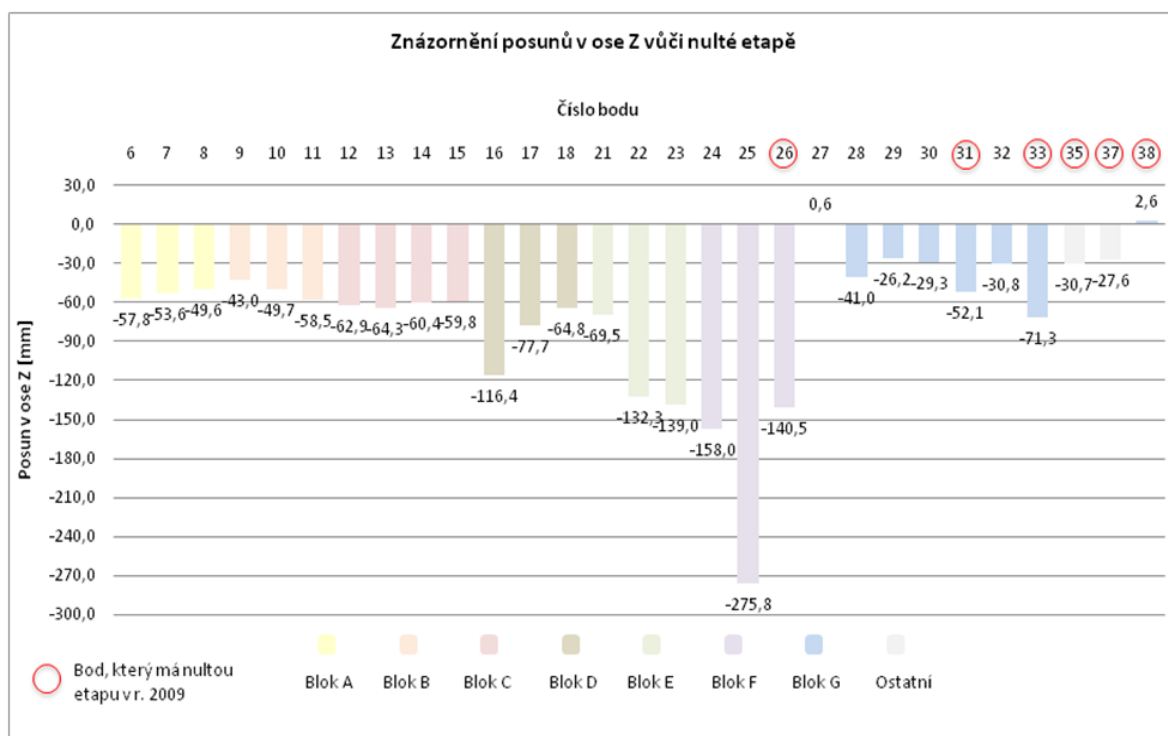
Pro lepší představu a stanovení trendu pohybu skalních bloků bylo vyhotoveno grafické znázornění vůči nulté etapě. Schéma pohybu bloků v horizontální rovině bylo vytvořeno pomocí softwaru Microstation 95.



Obr. 6.1 Grafické znázornění horizontálních posunů

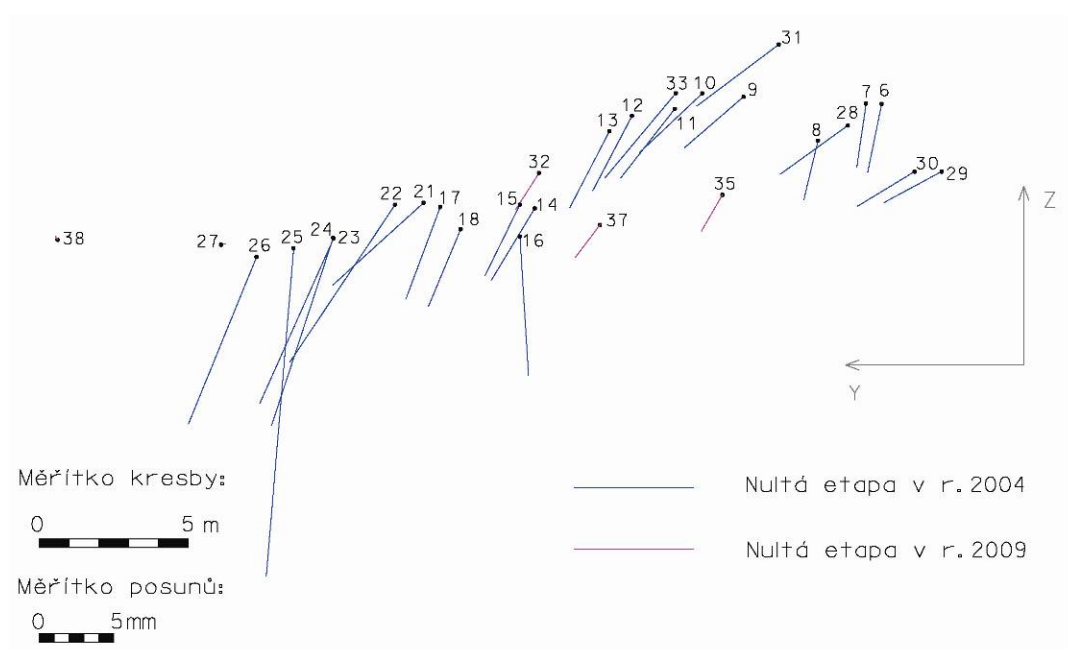
Dle dosažených posunů lze konstatovat, že pohyb bloků směřuje k jihozápadu. Výjimku tvoří blok A, jehož směr pohybu je spíše na jih. Tento blok je nejméně zatížen činností vodního toku a jeho pohyb je ovlivňován sesuvy svahu nad ním. Další difference vykazuje blok F, který je přímo ve středu koryta potoka a jeho směr pohybu je určován právě vodním tokem. Další bod, který vykazuje rozdílný směr pohybu než ostatní body, je bod 16. Zda u tohoto bodu nastala taková výrazná změna v jeho pohybu, bude potvrzeno či vyvráceno při měření další etapy.

Posuny dosažené ve vertikální složce byly vyobrazeny pomocí jednoduchého grafu (graf č. 6.8), na němž je možné vidět body, na kterých dochází k největším poklesům. Jak bylo řečeno, největších poklesů je dosaženo na bloku F, kde pokles bodu 25 je dvojnásobný než u všech pozorovaných bodů. Dále nastal výraznější pokles u bloku E. Ostatní bloky vykazují poměrně stejnou rychlost poklesu. Výrazné sedání je opět vidět u již několikrát komentovaného bodu 16.



Graf 6.8 Vertikální posuny

Dále byly posuny dosažené ve vertikální složce graficky znázorněny v softwaru Microstation, které je vyobrazeno na *obrázku 6.2*. Ze schématu je možné vidět, že pohyb všech bodů směřuje ke korytu vodního toku. Výjimku tvoří opět body na bloku A (6, 7, 8), u kterých posun nastává spíše v kolmém směru.



Obr. 6.2 Grafické znázornění vertikálních posunů

7. ZÁVĚR

Tématem diplomové práce byla analýza pohybu skalních bloků nacházejících se před propadáním potoka Bílá voda, jež je situováno v severní části Moravského krasu nedaleko obce Holštejn. Jedná se o projekt, který byl zahájen již v roce 2004. Od tohoto roku v dané lokalitě probíhají etapová měření.

Součástí práce bylo zaměření dvou etap, etapy č. 16 (červen 2012) a etapy č. 17 (říjen 2012). Během těchto geodetických měření bylo zaměřeno 28 pozorovaných bodů. Vzhledem k náročnému terénu a požadované přesnosti byla zvolena metoda prostorového protínání ze směrů. Pro zpracování naměřených dat byl využit program ORPHEUS, který aplikuje metodu robustního vyrovnání. Pomocí souřadnicových rozdílů proběhla analýza dosažených posunů, kdy bylo navázáno na výsledky získané z předešlých let.

Ze získaných hodnot můžeme konstatovat, že námi pozorované bloky vykazují pohyb dosahující až centimetrových posunů za rok. Dle očekávání vertikální posuny dosahují výraznějších hodnot a to téměř dvojnásobných oproti horizontální složce. Ve vertikální složce dochází ve většině případů k lineárnímu sedání. Pohyb bloků v horizontální složce je dán jihozápadním směrem, můžeme tedy říct, že se bloky pohybují směrem k řečišti potoka Bílá voda. Největší posuny byly zjištěny u bloku F, který leží v korytě vodního toku.

Trend pohybu skalních bloků je dán především činností vodního toku Bílá voda, který má přímý vliv na některé bloky a zároveň danou lokalitu podmílá. Největší činnost vodního toku probíhá především v jarních měsících, kdy dochází k tání sněhu a k případným záplavám v lokalitě. V listopadu roku 2013 začnou v dané lokalitě probíhat stavební práce na komunikaci nacházející se nad propadáním. Tyto práce mohou mít vliv také sledovanou lokalitu. Z těchto důvodů je vhodné v etapovém měření pokračovat i v následujícím roce.

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Geomorfologie pro technické obory. *Institut geologického inženýrství* [online]. [cit. 2013-01-21]. Dostupné z: www.geologie.vsb.cz/geomorfologie
- [2] *Moravský kras* [online]. © 2005 - 2013 [cit. 2013-01-20]. Dostupné z: www.moravskykras.net
- [3] *Moravský kras. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR* [online]. [cit. 2013-01-20]. Dostupné z: www.moravskykras.ochranaprirody.cz
- [4] ABSOLON Karel. *Moravský kras 1*. Praha: Academia, 1970. ISBN 509-21-885
- [5] ŠVÁB, Tomáš a Ladislav BÁRTA. *Geodetický a geologický průzkum v prostoru nové rasovny nad propadáním potoka bílá voda*. Brno, 2004. Vědecká práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. [online]. [cit. 2013-01-21]. Dostupné z: www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/06_Geodezie%20a%20kartografie/6_01_Prakticke%20aspekty%20geodezie%20a%20kartografie/Svab_Tomas2.pdf
- [6] *Moravský kras a okolí* [online]. [cit. 2013-01-21]. Dostupné z: www.kras.unas.cz
- [7] BURKHARDT, Rudolf a Přemysl RYŠAVÝ. *Tragédie v amatérské jeskyni. Československý kras 1971, roč. 23*. [online]. [cit. 2013-01-23]. Dostupné z: www.speleo.cz
- [8] *Holštejn* [online]. © 2009 [cit. 2013-01-23]. Dostupné z: www.holstejn.eu
- [9] *Toulky* [online]. [cit. 2013-01-23]. Dostupné z: www.alena.ilcik.cz
- [10] ZÁRUBA, Quido a Vojtěch MENCL. *Inženýrská geologie*. 3. vyd. Praha: Academia, 1974. ISBN 104-21-852.
- [11] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Alexej VITULA a Jiří BUREŠ. *Inženýrská geodézie II: Geodézie ve stavebních oborech*. Brno: Studijní opory VUT Brno, 2007. 80s.
- [12] HÁNEK, Pavel a kolektiv. *Stavební geodézie*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. 133s. ISBN 978-80-01-030707-2.
- [13] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Alexej VITULA a Jiří BUREŠ. *Základy inženýrské geodézie*. Brno: Studijní opory VUT Brno, 2006. 102s.
- [14] HANZL, Vlastimil. *Posuny skalních bloků v propadání Bílé vody*. In: *Speleofórum 2006, 25. roč.: 1. ročník konference Kras*. Moravský kras, 2006. ISSN 1211-8397. Dostupné z: www.mzp.cz
- [15] MOŠTĚK, Václav. *Monitoring pohybu skalních bloků v propadání Bílé vody*. Brno, 2012. 47 s., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc..
- [16] *IngGeo: Portál inženýrské geodézie* [online]. 2012, 28. 7. 2012 [cit. 2013-03-10]. Dostupné z: www.inggeo.fsv.cvut.cz

9. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Ortofotosnímek zájmové lokality	10
Obr. 2.2 Holštejnské údolí – turistická mapa	12
Obr. 2.3 3D model závěrečné části Holštejnského údolí	13
Obr. 2.4 Tok Bílé vody před Novou Rasovnou – březen 2012.....	15
Obr. 2.5 Vyschlé řečiště Bílé vody – červen 2012.....	16
Obr. 2.6 Pohled na ponor Bílé vody – červen 2012	16
Obr. 2.7 Most nad propadáním Bílé vody.....	18
Obr. 3.1 Prostorové protínání z úhlů.....	23
Obr. 4.1 Rozmístění bodů na skalních blocích	26
Obr. 4.2 Rozmístění referenčních bodů	27
Obr. 4.3 Základna pro stanovení součtové konstanty	29
Obr. 4.4 Ukázka terénu spolu s označením skalních bloků	30
Obr. 4.5 Fotografie a 3D model nově vylomených bloků	32
Obr. 4.6 Půdorys s nově vylomenými bloky.....	32
Obr. 5.1 Parametry střední elipsy chyb.....	39
Obr. 5.2 Střední elipsy chyb pro pozorované body.....	40
Obr. 6.1 Grafické znázornění horizontálních posunů	52
Obr. 6.2 Grafické znázornění vertikálních posunů	54

Seznam tabulek

Tab. 4.1 Přehled etapových měření.....	25
Tab. 4.2 Porovnání souřadnic z dvojího nezávislého měření technologií GNSS	33
Tab. 4.3 Porovnání souřadnic referenčních a vybraných pozorovaných bodů	34
Tab. 5.1 Střední chyby pro měřené etapy	38
Tab. 6.1 Porovnání etapy č. 16 a etapy č. 17	43
Tab. 6.2 Průměrné souřadnicové rozdíly pro jednotlivé skalní bloky	44
Tab. 6.3 Porovnání etapy č. 15 a etapy č. 16	45
Tab. 6.4 Roční posuny jednotlivých bloků	46
Tab. 6.5 Dosažené posuny mezi nultou etapou a rokem 2012.....	47

Seznam grafů

Graf 6.1 Posuny na bloku A.....	48
Graf 6.2 Posuny na bloku B (osa Y)	48
Graf 6.3 Posuny na bloku B (osa X)	49
Graf 6.4 Posuny na bloku B (osa Z).....	49
Graf 6.5 Posuny na bloku E	50
Graf 6.6 Posuny na bloku F (osa Y).....	51
Graf 6.7 Posuny na bloku F (osa Z)	51
Graf 6.8 Vertikální posuny.....	53

10. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Bpv.....	Výškový systém baltský - po vyrovnání
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČÚZK.....	Český úřad zeměměřický a katastrální
DOP	Dilution of Precision
GNSS	Global Navigation Satellite System (globální navigační družicový systém)
GPS	Global Positioning System (globální systém určování polohy)
CHKO	Chráněná krajinná oblast
MNČ	Metoda nejmenších čtverců
ORPHEUS	<u>O</u> RIENT – <u>P</u> hotogrammetric <u>E</u> nginneering <u>U</u> tilities <u>S</u> ystem
PN	Přesná nivelace
PR.....	Přírodní rezervace
S-JTSK.....	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
VPN	Velmi přesná nivelace
WGS-84	World Geodetic System 1984 (světový geodetický referenční systém 1984)

11. SEZNAM PŘÍLOH

1. Zápisník pro zjištění součtové konstanty hranolu (*.pdf)
2. Zápisník etapového měření – etapa č. 16 (*.zap)
3. Zápisník etapového měření – etapa č. 17 (*.zap)
4. Přehledný náčrt měřické situace – etapa č. 16 (*.pdf + analogová podoba)
5. Přehledný náčrt měřické situace – etapa č. 17 (*.pdf + analogová podoba)
6. Seznam souřadnic a výšek referenčních bodů (*.txt)
7. Výpočetní protokol o vyrovnání – etapa č. 16 (*.txt)
8. Výpočetní protokol o vyrovnání – etapa č. 17 (*.txt)
9. Střední elipsy chyb pozorovaných bodů (*.pdf)
10. Náčrt nově vylomených skalních bloků (*.pdf)
11. 3D model nově vylomených skalních bloků (*.dwg, *.dxf)
12. Zápisník měření GNSS (*.pdf)
13. Protokol určení bodů pomocné měřické sítě technologií GNSS (*.pdf)
14. Výpočetní protokoly GNSS 3.3, 4 (*.pdf)
15. Geodetické údaje o pomocných měřických bodech (*.pdf)
16. Zápisník měření kontrolního připojení (*.zap)
17. Výpočetní protokol kontrolního připojení (*.pro)
18. Přehledný náčrt polygonového pořadu (*.pdf)
19. Analýza posunů (*.xls)
20. Grafy průběhu posunů (*.pdf + analogová podoba)
21. Grafické znázornění horizontálních posunů (*.pdf)
22. Grafické znázornění vertikálních posunů (*.pdf)