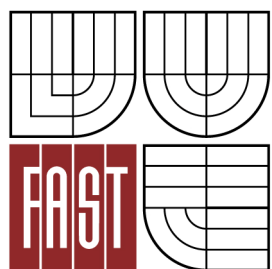




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

MONITORING POHYBU SKALNÍCH BLOKŮ V PROPADÁNÍ BÍLÉ VODY

MONITORING OF THE ROCK BLOCKS MOVEMENTS IN THE BILA VODA SINK

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. VÁCLAV MOŠTĚK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. VLASTIMIL HANZL, CSc.

BRNO 2012



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. Václav Moštěk
Název	Monitoring pohybu skalních bloků v propadání Bílé vody
Vedoucí diplomové práce	doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
Datum zadání diplomové práce	30. 11. 2011
Datum odevzdání diplomové práce	25. 5. 2012
V Brně dne 30. 11. 2011	

.....
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Tomečková Z.: Měření posunů skalních bloků v Moravském krasu, diplomová práce, VUT v Brně, 2007

Tichá, Z: Stanovení pohybů skalních bloků v Moravském krasu diplomová práce, VUT v Brně, 2008

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

Zásady pro vypracování

Prostudujte diplomové práce (Tomečková 2007 , Tichá 2008) a bakalářskou práci (Hegyová 2009) týkající se zadané problematiky. Zaměřte body na skalních blocích ve dvou obdobích roku 2011. Analyzujte vámi dosažené výsledky. Prostorové změny v poloze bodů a bloků dokumentujte vhodným způsobem. Porovnejte výsledky s předchozími etapami a pokuste se stanovit trend pohybu bloků.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

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

Abstrakt

Tato práce přibližuje zaměření, zpracování a vyhodnocení 14. a 15. etapy (v roce 2011) sledování posunů skalních bloků v propadání Nová Rasovna nedaleko obce Holštejn. Tyto dvě etapy jsou mezi sebou porovnány a následně jsou souřadnice z roku 2011 porovnány se všemi předcházejícími etapami, zejména s etapou nultou.

Klíčová slova

Propadání Nová Rasovna, skalní blok, posun, porovnání

Abstract

This thesis describes the alignment, processing and data evaluation of the 14th and 15th period (in the year 2011) of the monitoring of moving rock blocks in the sagging Nová Rasovna situated near the village Holštejn, Czech Republic. These two periods are compared with each other and afterwards the coordinates from 2011 are compared with coordinates from all previous periods, mainly with the zero period.

Keywords

Sagging Nová Rasovna, rock block, moving, comparison

Bibliografická citace VŠKP

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..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

Ve Vlčnově dne 24. května 2012

.....
podpis autora

Poděkování:

Děkuji panu doc. Ing. Vlastimilu Hanzlovi, CSc., vedoucímu mé diplomové práce, za cenné rady a připomínky při realizaci a následném zpracování zadaného tématu.

Ve Vlčnově dne 24. května 2012

OBSAH:

1. ÚVOD	- 10 -
2. OBEC HOLŠTEJN A OKOLÍ	- 11 -
2.1. <i>Historie a současnost obce Holštejn</i>	- 11 -
2.2. <i>Hrad Holštejn</i>	- 12 -
2.3. <i>Moravský kras</i>	- 12 -
2.3.1. <i>Základní krasové pojmy</i>	- 12 -
2.3.2. <i>Nová Rasovna</i>	- 14 -
2.3.3. <i>Stará Rasovna</i>	- 14 -
3. MĚŘENÍ POSUNŮ A DEFORMACÍ	- 15 -
3.1. <i>Základní pojmy</i>	- 15 -
3.2. <i>Metody měření svislých posunů</i>	- 16 -
3.2.1. <i>Metoda geometrické nivelace</i>	- 16 -
3.2.2. <i>Trigonometrické určování výšky</i>	- 16 -
3.2.3. <i>Hydrostatická nivelace</i>	- 16 -
3.2.4. <i>Fotogrammetrie</i>	- 17 -
3.3. <i>Metody měření vodorovných posunů</i>	- 17 -
3.3.1. <i>Metoda záměrné přímký</i>	- 17 -
3.3.2. <i>Metoda polygonová</i>	- 18 -
3.3.3. <i>Trigonometrická metoda</i>	- 18 -
3.3.4. <i>Měření posunů pomocí GNSS</i>	- 18 -
3.4. <i>Vyhodnocení a znázornění výsledků měření posunů</i>	- 18 -
4. ROZBORY PŘESNOSTI MĚŘENÍ	- 19 -
4.1. <i>Součinitel konfidence</i>	- 19 -
4.2. <i>Střední elipsa chyb</i>	- 19 -
5. VLASTNÍ MĚŘENÍ	- 21 -
5.1. <i>Použité metody měření</i>	- 21 -
5.1.1. <i>Měřické pomůcky a jejich charakteristika</i>	- 22 -
5.2. <i>Označení a rozmístění osazených bodů</i>	- 22 -
5.3. <i>Měření etapy č. 14</i>	- 23 -
5.4. <i>Etapa č. 15</i>	- 25 -
6. ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT	- 26 -
6.1. <i>Použitý souřadnicový a výškový systém</i>	- 26 -
6.2. <i>Výpočet souřadnic bodů a jejich charakteristik přesnosti</i>	- 26 -

6.3. Programové prostředí ORPHEUS	- 26 -
6.3.1. Matematický model výpočtu.....	- 27 -
6.4. Charakteristiky přesnosti měření	- 29 -
6.4.1. Střední chyby souřadnic.....	- 29 -
6.4.2. Střední elipsy chyb.....	- 29 -
6.5. Porovnání souřadnic bodů ze 14. a 15. etapy	- 30 -
6.6. Porovnání souřadnic z roku 2010 s předchozími etapami	- 32 -
6.6.1. Zobrazení posunů jednotlivých bloků do grafů	- 32 -
6.6.2. Grafy posunů vybraných bodů.....	- 41 -
6.6.3. Horizontální a vertikální posuny bodů	- 43 -
7. STAV NA JAŘE 2012	- 45 -
8. ZÁVĚR	- 46 -
9. SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	- 47 -
10. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	- 48 -

1. Úvod

Krasové oblasti jsou tvořené převážně vápencem a ten poměrně významně podléhá působení vody. Díky této skutečnosti se dlouhodobým působením této, pro život nepostradatelné tekutiny, vytváří krasové jevy. Jedním z nich je také propadání potoka Bílá voda u obce Holštejn. Místo propadání se nazývá Nová Rasovna. Propadání ve skutečnosti znamená, že vodní tok mizí z povrchu někde pod povrch, v tomto případě do jeskyně Nová Rasovna. V jeskyních se vlévá do Sloupského potoka a společně vytvářejí říčku Punkvu. Ta dosahuje povrch na konci Punkevních jeskyní, tedy severozápadně od obce Vilémovice.

Právě do místa propadání se v roce 1965 zřítla část skalní stěny, která se nachází nad ním a rozpadla se na větší či menší bloky. Tyto kameny jsou osazeny hřeby a geodetickým měřením se sleduje jejich pohyb. Tak se děje nepřetržitě od roku 2004, kdy byla zaměřena 0. etapa. Úkolem této diplomové práce je přiblížit současný stav. V červnu a září 2011 byla zaměřena již 14. a 15. etapa.

2. Obec Holštejn a okolí

2.1. Historie a současnost obce Holštejn

Obec Holštejn se nachází v Jihomoravském kraji, v okrese Blansko, asi 40 km severovýchodně od Brna. První zmínka o existenci jisté osady pod hradem sahá do roku 1349. V polovině 16. století středověké městečko zaniklo a přežívalo v podobě dolního mlýna. Během 17. století byl založen horní mlýn. V té době také noví osadníci začali obhospodařovat poměrně rozsáhlé panské pozemky. Místní se v té době živilí lesní prací a pravděpodobně také pálením vápna. Vydání robotního patentu v roce 1775 a následné zrušení nevolnictví v roce 1781 vedlo k lepšímu postavení poddaných. Díky těmto skutečnostem se také v Holštýnu začal život rozvíjet. V roce 1746 zde žilo 185 obyvatel a v roce 1854 již 250.

V novodobé historii patří k významnému datu rok 1895, kdy byla založena škola společně s bytem pro řídícího učitele. V roce 1926 se mění název z původního Holštýna na nynější Holštejn. Za II. světové války v obci přibylo 12 rodin vystěhovaných z prostoru vyškovské vojenské střelnice. K další neméně významné události patří dokončení kulturního domu v roce 1964. V porevolučním období byla provedena plynofikace obce a realizován rozvod telefonu.

V současnosti má obec katastrální výměru 647 ha, 68 čísel popisných a 150 obyvatel.

Z důvodu nestability skalní stěny nad propadáním Nová Rasovna byl v tomto místě namontován jako provizorium ocelový most. [1]



Obr. 2.1. - pohled na obec Holštejn z jihu [1]

2.2. Hrad Holštejn

Hrad Holštejn stával na vápencové skále nedaleko stejnojmenné vesnice. Jeho název byl odvozen z německého „hohl stein“ = dutá skála, jelikož se pod hradem nachází jeskyně Hladomorna. Ta sloužila jako hradní vězení. Byl to mohutný hrad s půdorysem nepravidelného čtyřúhelníka a rozměry 85 x 52 metrů. Jedinou nevýhodou však bylo zásobování vodou. Ta musela být dopravována asi 1 km dlouhým podzemním potrubím.

Hrad byl vybudován Hartmanem z Jedovnic roku 1270, který sem po jeho dostavbě také přesunul své sídlo. Po smrti Hartmana hrad držel Čeněk z Lipé a ten ho roku 1349 prodal Vokovi I. z Holštejna. Smrtí Voka V. v roce 1466 se také definitivně rozpadlo Holštejnské panství a hrad od té doby chátral.

Do nynějška se dochovaly zbytky hradních zdí na obvodu skaliska. Celá skála je porostlá stromy. [1]

2.3. Moravský kras

Chráněná krajinná oblast Moravský kras byla vyhlášena již v roce 1956 a patří mezi nejvýznamnější krasové oblasti ve střední Evropě. Nachází se severovýchodním směrem od Brna a rozkládá se na ploše 94 km². Na jeho území je známo více než 1 100 jeskyní. Avšak pouze 5 z nich je přístupných veřejnosti. Jedná se o Punkevní jeskyně s plavbou po říčce Punkvě, Kateřinskou jeskyni s unikátními hůlkovými stalagmity, jeskyni Balcarku s bohatou a barevnou krápníkovou výzdobou a Sloupsko-šošůvské jeskyně s mohutnými chodbami a podzemními propastmi.

Zajímavé jsou krasové kaňony Pustý a Suchý žleb, propadání Bílé vody a hlavně Amatérská jeskyně, ale ta není přístupná veřejnosti. Odvážnější návštěvníci mohou z Horního či Dolního můstku nahlédnout na dno propasti Macocha. Rudické propadání je dominantou centrální části Moravského krasu. Mizí v něm vody Jedovnického potoka, které od tohoto místa putují 12 km pod zemí. [2]

2.3.1. Základní krasové pojmy

- Kras – slovo odvozeno z názvu slovinského horstva. Je to území tvořené krasovými horninami. Při jejich rozpouštění (korozi) vznikají buď povrchové (exokras) nebo podpovrchové (endokras) krasové jevy. Voda je v takových oblastech většinou soustředěna pod povrchem, proto tato místa vypadají suchá.
- Jeskyně – podzemní dutiny převážně protáhlého tvaru. Mohou tvořit velmi krátké chodby či velké členité často patrové systémy.

- Jeskynní dóm – rozsáhlá jeskynní dutina. Obvykle vzniká rozpouštěním vápence v místě křížení dvou puklin.
- Komín – vertikální nebo velmi příkrá chodba, jež vystupuje ze stropu jeskyně.
- Propast – jeskyně, u níž převažuje vertikální rozměr nad rozměrem horizontálním.
- Závrt – okrouhlé dolíky trychtýřovitého tvaru o průměru max. 1 km. Vznikají rozpouštěním směrem dolů, je možné je nalézt po řadách či skupinách.
- Stalagmit – krápník, který roste ze dna nebo stěny jeskyně nahoru v místech skapu krasové vody.
- Stalaktit – krápník, jež roste ze stropu nebo šikmé stěny dolů. Nachází se v místech výstupu vodních roztoků.
- Stalagnát – sloup vznikající srůstem stalagmitu a stalaktitu.
- Sintr – vysrážené roztoky z mineralizované vody v krystalické podobě. V krasových oblastech mohou vytvářet různé záclonky, náteky, krápníky a další typy jeskynní výzdoby. [2]



Obr. 2.3. - turistická mapa CHKO Moravský kras [5]

2.3.2. Nová Rasovna

Nová Rasovna je současným místem propadání potoka Bílá voda do podzemí. Najdeme ji pod zříceninou hradu Holštejn. Jelikož se potok propadá postupně, bývá v letních měsících u skalní stěny vyschlý. Po zmizení pod povrch voda protéká Amatérskou jeskyní, kde vytváří říčku Punkvu.

Jeskyně Nová Rasovna disponuje třemi vchody. Vlastní propastovitý ponor je od roku 1959 neprůchodný. Další vchod, který byl zavalen v roce 1965 utrženou skalní stěnou, tvořila puklina směřující do středních pater jeskyně. Od propadání přes cestu vidíme horní vstup, který začíná 50 m hlubokou propastí s ocelovými žebří. Ve spodní části přechází propast ve vodorovnou chodbu s odbočkou Macošské chodby končící Macošským sifonem. Ten se pokoušel vyčerpát už v roce 1933 Karel Absolon, avšak neúspěšně. Pokořen byl potápěči v roce 1985. Hlavní chodba pokračuje chodbou Lipoveckou, která je dlouhá 450 m a odbočuje z ní Mariánovská chodba. Vlevo pod vstupní propastí začíná spleť chodeb, která tvoří střední patra. Do horních etáží odbočuje z druhého stupně komínovitá chodba. [3]



Obr. 2.3.2. a) - provizorní most nad propadáním



Obr. 2.3.2. b) - propadání Nová Rasovna

Na obr. 2.3.2. b) lze v jeho horní části vidět zábradlí provizorního ocelového mostu.

2.3.3. Stará Rasovna

Před vznikem propadání Nová Rasovna se zde propadaly vody potoka Bílá voda. Nyní svou funkci plní pouze v povodňových obdobích, kdy Nová Rasovna nezvládá pojmát přitékající vodu. Ta se proto přelévá do Staré Rasovny.

Starou Rasovnu tvoří půlkruh skal, který uzavírá údolí. Vstup do jediné ledové jeskyně v Moravském krasu způsobuje abnormální chladno v údolí. Teplota při vstupu se pohybuje kolem bodu mrazu. Ledová jeskyně má délku 50 metrů. Dále se zde nachází vchody do jeskyní Diaklasová, Trativodná a Keprtova. [3]

3. Měření posunů a deformací

Při působení vnějších sil mohou stavební nebo např. přírodní objekty měnit svou prostorovou polohu. V takových případech může docházet k přemístování objektu jako celku (posun), změně jeho tvaru (přetvoření) či ke kombinaci obou jevů. Vždycky jsou takové změny staveb nežádoucí, protože mohou narušit jejich bezpečné fungování. Opakovaným měřením je tedy nutné zjišťovat velikosti těchto změn a jejich časový vývoj.

O měření posunů stavebních objektů pojednává norma ČSN 73 0405. [4]

3.1. Základní pojmy

- Pozorovaný bod – bod osazený na sledovaném objektu,
- vztažný bod – bod vztažné soustavy mimo sledovaný objekt a jeho vliv,
- relativní posun – změna detekovaná v soustavě pozorovaných bodů,
- absolutní posun – změna vzhledem k soustavě vztažných bodů,
- sedání – svislý posun směrem dolů,
- zdvih – svislý posun směrem vzhůru,
- průhyb – přetvoření ve svislém směru,
- náklon – odchýlení od svislice,
- pootočení – otočení kolem obecně položené osy,
- etapová měření – opakovaná zaměření sítě vztažných a pozorovaných bodů v určeném časovém intervalu,
- základní (nultá) etapa – počáteční (výchozí) etapa měření, vzhledem k níž jsou počítány posuny; obvykle je zaměřena s vyšší přesností.

Časový odstup mezi jednotlivými etapami měření posunů je volen tak, aby byl uspokojivě zachycen jejich vývoj. U staveb je obvykle měřeno alespoň při nulovém, čtvrtinovém, polovičním, tříčtvrtinovém a plném zatížení základové spáry. Po dokončení stavby se měření uskutečňuje v intervalech závislých na charakteru a druhu objektu a také na geologických podmínkách. Stavby typu metra či přehradních hrází se měří neustále v pravidelných intervalech (většinou půlročních nebo ročních).

Jelikož se od výchozí etapy počítají výsledné posuny, je na místě její realizaci vykonat s dvojnásobným počtem měřených veličin v porovnání s ostatními etapami. Ideální je obě měření vykonat za odlišných podmínek.

Během měření posunů a přetvoření je také nutné zapisovat hodnoty fyzikálních veličin, jež mohou ovlivnit výsledek měření. [4]

3.2. Metody měření svislých posunů

3.2.1. Metoda geometrické nivelace

Jedná se o nejhojněji používanou metodu měření svislých posunů objektů. Z této oblasti se obvykle používá velmi přesná nivelace (VPN) nebo přesná nivelace (PN). Přístroj musí být vždy uprostřed sestavy. Pokud tohoto nelze dosáhnout, je nutné zavádět korekce z nestejně dlouhých záměr. Jako u většiny geodetických úloh i zde je na místě získání nadbytečných veličin pro následné vyrovnání sítě metodou nejmenších čtverců. [4]

3.2.2. Trigonometrické určování výšky

Podstatou této úlohy je měření vodorovných vzdáleností a zenitových úhlů ze stanoviska na cílové body.

Předpokládá se konstantní vzdálenost a převýšení stanoviska a určovaných bodů mezi etapami. Aby byla tato podmínka splněna, je nutné co nejvíce měřit s dalekohledem ve vodorovné poloze a točnou osu dalekohledu mít pokud možno ve stejné výšce. Za takové situace totiž není trigonometrické převýšení moc citlivé na změnu vzdálenosti. V opačném případě a při vyšších nárocích na přesnost posunů, je třeba k svislému posunu získanému měřením přičíst příslušné korekce.

Pro kvalitní měření musí být pozorované body osazeny odpovídajícími měřickými značkami. Ideální jsou terčíky se střídajícími se černobílými mezikružími. Jelikož trigonometrické měření dosahuje nižší přesnosti než nivelace, používá se pouze pro určování posunů v místech, kde je realizace nivelace obtížná. Posuny do vzdáleností 150 m lze určit s přesností cca 0,5 mm. [4]

3.2.3. Hydrostatická nivelace

U této metody jsou základem spojené nádoby naplněné kapalinou.

Její nevýhodou je nutnost speciálních pomůcek, které se v geodézii jinak nepoužívají a také skutečnost, že oba konce hadice musí být v téměř stejných výškách a tudíž lze takto měřit pouze malá převýšení.

Mezi nesporné výhody však patří přesnost a místa použití.

Přesností se vyrovná velmi přesné geometrické nivelaci. Díky vynalezení automatizovaných souprav pro hydrostatickou nivelaci s elektronickým odečítáním, je možné tímto způsobem získávat data z míst, kde by člověk nemohl být fyzicky přítomen (např. reaktorové sály jaderných elektráren). [4]

3.2.4. Fotogrammetrie

Velkou výhodou této metody je možnost získání stavu pozorovaných objektů v jediném okamžiku. Má však nižší přesnost, jež klesá se vzdáleností od objektů. Vyhodnocení je nutné provádět v kanceláři, proto také fotogrammetrie není schopná podat výsledky v krátké době.

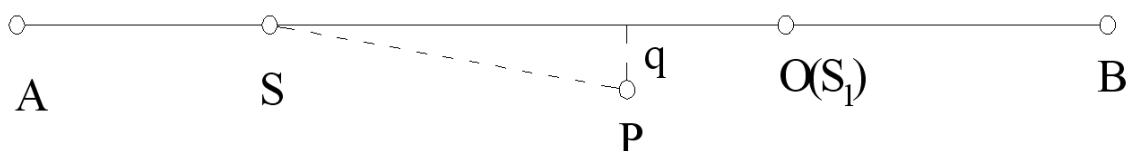
Metody měření posunů fotogrammetricky:

- Jednosnímková metoda s časovou základnou – posuny a deformace lze určovat pouze v rovině snímku. Snímky se pořídí z téhož stanoviska ve dvou odlišných okamžicích.
- Pozemní stereofotogrammetrie s reálnou základnou – touto metodou je možné zjistit posuny a deformace ve všech třech rozměrech. Snímkování se provede současně v jednom okamžiku z obou koncových bodů fotogrammetrické základny. [4]

3.3. Metody měření vodorovných posunů

3.3.1. Metoda záměrné přímky

V angličtině se nazývá alignment. Jedná se o jednoduchou a celkem přesnou metodu. Tímto způsobem je však možné zjistit pouze jednu složku vodorovných posunů. Jedná se o složku kolmou k záměrné přímce. Příčné odchylky jsou buď přímo měřeny nebo se získávají přepočtem z měřeného úhlu a délky. [4]



Obr. 3.3.1. - Metoda záměrné přímky [6]

3.3.2. Metoda polygonová

Stejně jako metoda záměrné přímkou i tento způsob měření horizontálních posunů určuje pouze jednu složku posunů. Polygonový pořad by měl být pokud možno rovnostranný a přímý. Aby bylo možné vypočítat hodnoty posunů a deformací zájmového objektu, předpokládá se neměnnost délek polygonových stran mezi jednotlivými etapami. [4]

3.3.3. Trigonometrická metoda

Podstatou předposlední uvedené metody je poměrně známé protínání ze směrů, kdy se změny měřených směrů projeví v odlišných souřadnicích totožných bodů. Posuny se tedy jednoduše zjistí odečtením vypočtených souřadnic. Takto lze získat posuny v obou horizontálních rozměrech. [4]

3.3.4. Měření posunů pomocí GNSS

Boom ve využívání metody globálních navigačních satelitních systémů nastal, dá se říci, v posledním desetiletí, takže je měření posunů touto metodou poměrně mladé. Nesporným kladem GNSS aparatur je, že mohou automaticky zaznamenávat měřená data bez nutnosti lidského dozoru. Podle délky měření je možné ve vodorovné rovině statickou metodou dosahovat přesnosti 1 - 3 mm. V reálném čase lze vodorovné posuny určovat s přesností 10 – 15 mm. [4]

3.4. Vyhodnocení a znázornění výsledků měření posunů

Při zjišťování, zda posun nastal či nikoliv se používá uvedené statistické testování pomocí intervalů spolehlivosti:

$\Delta x < m_{\Delta x}$... posun nenastal,
$m_{\Delta x} \leq \Delta x \leq 2,5 * m_{\Delta x}$... posun mohl nastat, ale nebyl prokázán,
$\Delta x > 2,5 * m_{\Delta x}$... posun nastal s pravděpodobností 99 %.

Výsledky se po vyhodnocení seřadí do přehledných tabulek a k nim se také připojí vyjádření posunů pomocí grafů. [4]

4. Rozbory přesnosti měření

Dělí se na tři části a to rozbor přesnosti před měřením, rozbor přesnosti při měření a rozbor přesnosti po měření.

Před měřením se pomocí rozboru přesnosti vypočítají požadované hodnoty středních a mezních chyb. Podle těchto hodnot se následně vyberou přístroje a metody, kterými lze dodržet požadované chyby. Taktéž se výpočtem zjistí maximální chyby kontrolního měření a zvolí se pomůcky a technologie, která přesnost dodrží.

Během měření se rozbohem přesnosti kontroluje, zda skutečně měřím (vytyčuji) s požadovanou přesností (zjištěnou v rozboru přesnosti před měřením).

A konečně v rozboru přesnosti po měření zjišťuji, zda bylo dosaženo toho, čeho mělo být, tzn. cílové přesnosti i přesnosti přístroje. [7]

4.1. Součinitel konfidence

Pro výpočet střední chyby z mezní chyby je nutné mezní chybu dělit součinitelem konfidence.

„Je to faktor, jímž se volí šířka konfidenčního intervalu (v násobku základní střední chyby) vzhledem ke zvolenému riziku. Označuje se t a volí se obvykle v rozmezí 2 - 3.“

Volba hodnoty součinitele konfidence:

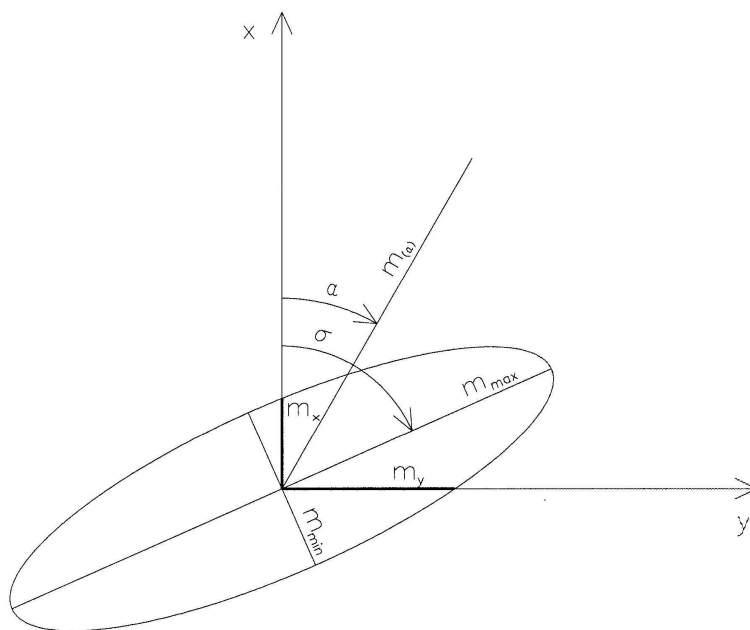
- $t = 2$...volí se u jednoduchých snadno kontrolovatelných vytyčení, kdy lze předpokládat zanedbatelné systematické chyby (riziko nesplnění 5 %),
- $t = 2,5$...u složitějších vytyčení, délkových a jiných s obtížnou kontrolou (riziko 1 %),
- $t = 3$...při nepříznivých podmínkách a složitém vyloučení systematických chyb; používá se zcela výjimečně u důležitých a ekonomicky náročných vytyčení (riziko 0,2 %). [7]

4.2. Střední elipsa chyb

V některých případech nám nestačí přesnost ve směru souřadnicových os, ale potřebujeme vědět přesnost v libovolném směru (směrech) α . Vypočteme ji podle následujícího vzorce:

$$m_{\alpha}^2 = m_x^2 \cos^2 \alpha + m_y^2 \sin^2 \alpha + 2m_{xy} \sin \alpha \cos \alpha, \text{ kde } m_x \text{ je střední chyba v ose x, } m_y \text{ je střední chyby v ose y a } m_{xy} \text{ je kovariance.}$$

„Střední elipsa chyb je elipsa stejné hustoty pravděpodobnosti o poloosách m_{max} , m_{min} , která poskytuje komplexní informaci o polohové přesnosti bodu.“ [7]



Obr. 4.2. - Střední elipsa chyb

5. Vlastní měření

Z důvodu lepšího vystižení pohybu skalních bloků byly zvoleny dvě etapy měření posunů a to v červnu a v září.

Přehled měřených etap od počátku nepřetržitého sledování v roce 2004:

Etapa	Datum	Zaměřil	Poznámka
0.	29. 6. 2004	doc. Hanzl, Suchá	přesná nivelace
	17. 8. 2004	doc. Hanzl, Suchá	
	11. 9. 2004	Chodurová, Konečná	DP Chodurová
1.	18. 4. 2005	Chodurová, Konečná	DP Chodurová
2.	8. 8. 2005, 11. 8. 2005	doc. Hanzl, Nogová	DP Nogová
3.	27. 4. 2006	Nogová	DP Nogová
4.	29. 6. - 1. 7. 2006	Kučerová, Tomečková	DP Kučerová, DP Tomečková
5.	13. - 15. 10. 2006	Kučerová, Tomečková	DP Kučerová, DP Tomečková
6.	červen 2007	Tichá	DP Tichá
7.	říjen 2007	Tichá	DP Tichá
8.	15. 5. 2008	Hanzl	
9.	21. 11. 2008	Hanzl	
10.	3. - 4. 6. 2009	Konečný, Hegyiová	
11.	4. - 6. 9. 2009	Konečný, Hegyiová	BP Hegyiová
12.	9. 6. 2010	Adamíra	DP Adamíra
13.	6. 10. 2010	Adamíra	DP Adamíra

Tab. 5. - Přehled etap měřených od roku 2004 [9]

5.1. Použité metody měření

Aby bylo možné započít měření, bylo nutné nejdříve navrhnout vhodnou měřickou síť. Ačkoliv je zájmové území co do rozlohy celkem malé, byla použita poměrně hustá síť měřických stanovisek. Toto bylo voleno zejména z důvodu náročného terénu a překážek v záměrách. Kromě bodu 33 byla stanoviska volná (bez stabilizace). Pro vyztužení sítě byly mezi stanovisky měřeny délky. Síť byla z několika stanovisek připojena na pevné body 106, 107, 108, 109 a 110 na skalní stěně.

Pro určení horizontálních souřadnic byla vybrána jako nejvhodnější metoda protínání ze směrů. Aby bylo možné vypočítat souřadnice, bylo nutné zaměřit každý bod z minimálně dvou odlišných stanovisek. Pokud byl bod zaměřen ze tří stanovisek, bylo možné souřadnice vyrovnat.

Pro zjištění výškové složky bylo použito trigonometrické výškové měření. Dostačující bylo měření zenitového úhlu z jednoho stanoviska. Ne vždy totiž byla vidět hlavička

stabilizačního hřebu, pro správné určení výšky. V takových případech byl zaměřen alespoň horizontální směr.

Body byly signalizovány mikrotužkou, kterou držel figurant.

5.1.1. Měřické pomůcky a jejich charakteristika

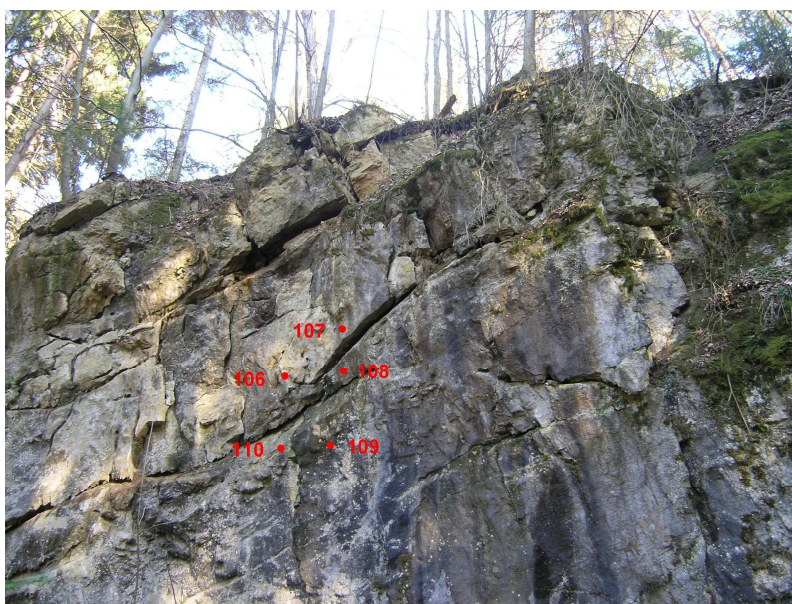
K měření byla použita totální stanice Topcon GPT 3003N, 2 – 3 stativy a sada odrazných hranolů Topcon. Totální stanice měří s úhlovou přesností 1 mgon a délkovou přesností 3 mm + 2 ppm. Do vzdálenosti 250 m s ní lze měřit také bezhranolově a její součástí je vnitřní paměť na 24 000 měřených nebo souřadnicových bodů.

5.2. Označení a rozmístění osazených bodů

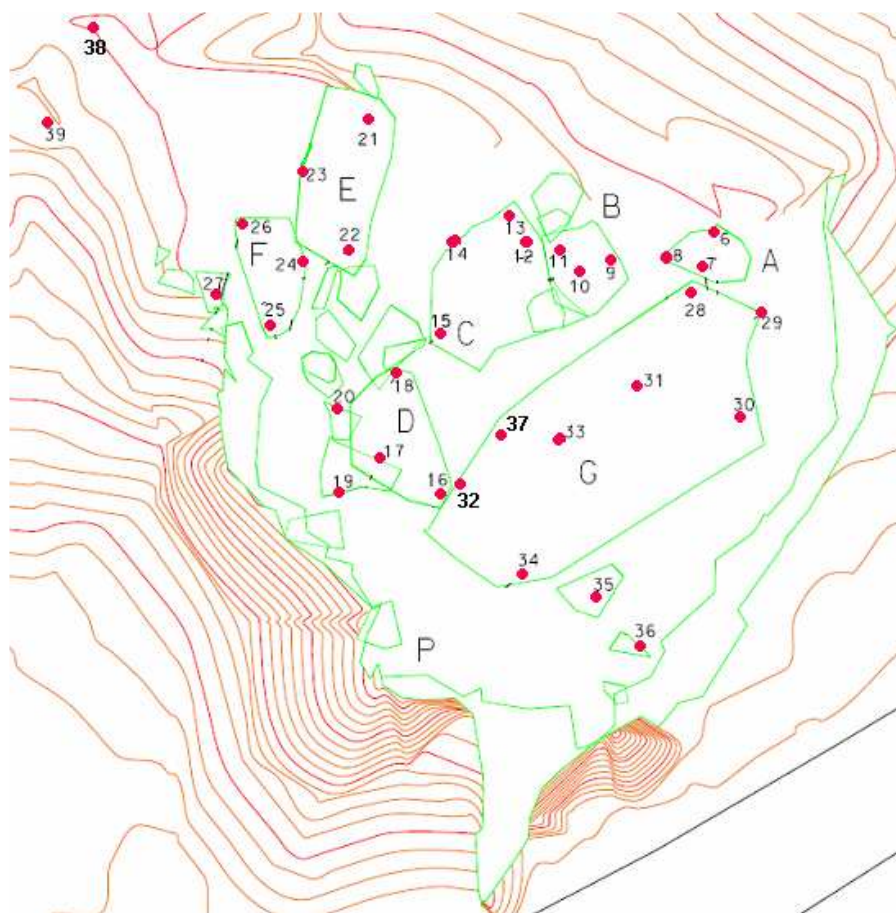
Sledované body jsou stabilizovány kovovými hřeby s důlkem a označeny arabskými čísly od 6 do 39. Body 33 a 39 jsou body jeskyňářské, tzn. jsou stabilizovány kovovou kulatinou vyčnívající asi 2 cm nad povrch kamene.

Body použité k připojení (vztažné body) při měření 14. a 15. etapy jsou umístěny na skalní stěně a označeny čísly 106, 107, 108, 109 a 110 (viz. obr. 5.1.).

Bloky jsou označeny velkými tiskacími písmeny latinské abecedy A, B, C, D, E, F a největší blok G. Zpravidla jsou na každém kameni 3 body, což je minimum pro komplexní posouzení pohybu bloku. Výjimku tvoří blok C se 4 body a blok G s 8 body (viz. obr. 5.2.). Ještě se v propadání nachází 7 bloků bez označení písmenem, na kterých je pouze jeden bod (19, 20, 27, 35, 36, 38 a 39).



Obr. 5.1. - Vztažné body na skalní stěně



Obr. 5.2. - Rozmístění bodů na blocích [8]

5.3. Měření etapy č. 14

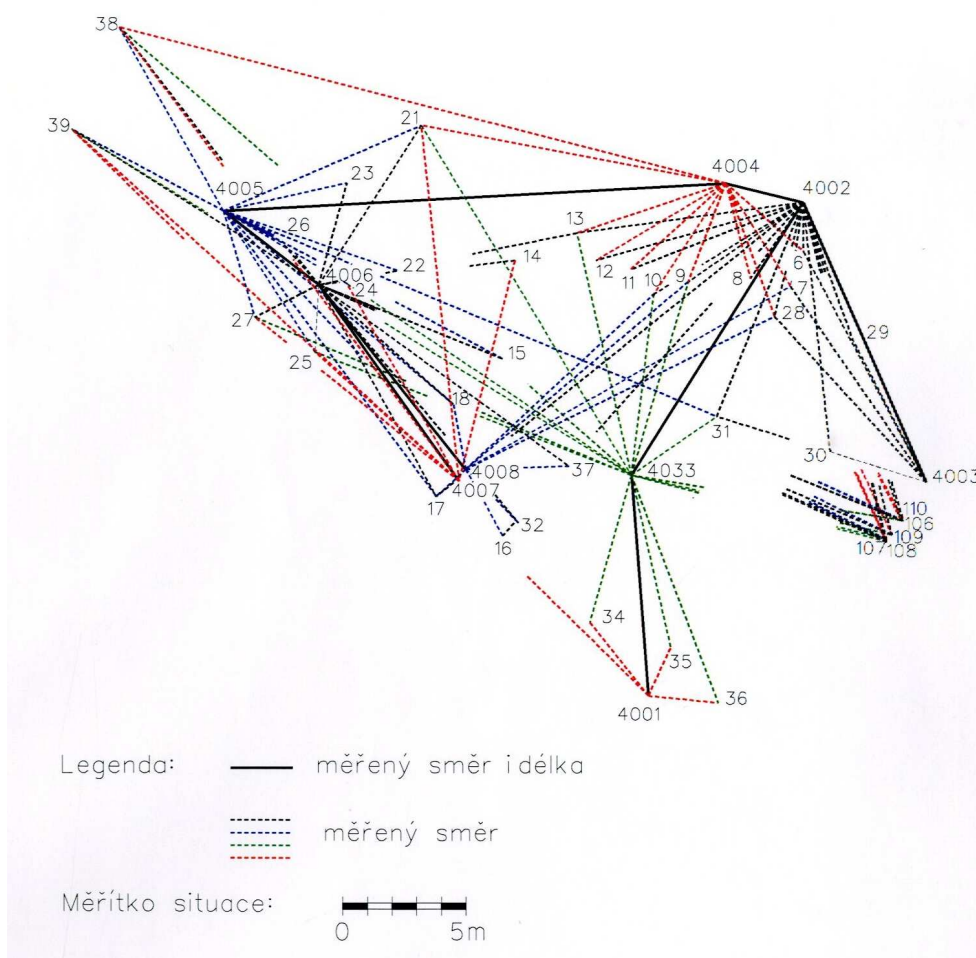
Realizace 14. etapy proběhla za oblačného počasí dne 15. června 2011. Měřická síť čítala 9 stanovišek a bylo zaměřeno 33 bodů (bod 19 nebyl nalezen). Jediný bod 33 sloužil jako pozorovaný bod i jako stanoviško. Celé měření bylo z několika stanovišek (33, 4002, 4004, 4005 a 4006) připojeno na body na skalní stěně (106, 107, 108, 109 a 110), které jsou považovány za pevné.

V odpoledních hodinách byl pohyb ztížen dešťovou přeháňkou, která způsobila kluzkost povrchu vápencových bloků. Měření také komplikoval statný smrk, který v období mezi etapami 13 a 14 spadl na největší z bloků (viz. obr. 5.3. a)). Kvůli němu nebylo možné některé pozorované body ze stanoviška 33 zaměřit.



Obr. 5.3. a) - Měření na bodě 33

Přehledka měřické sítě ze dne 15.6.2011:



Obr. 5.3. b) - Měřická síť ze dne 15. června 2011

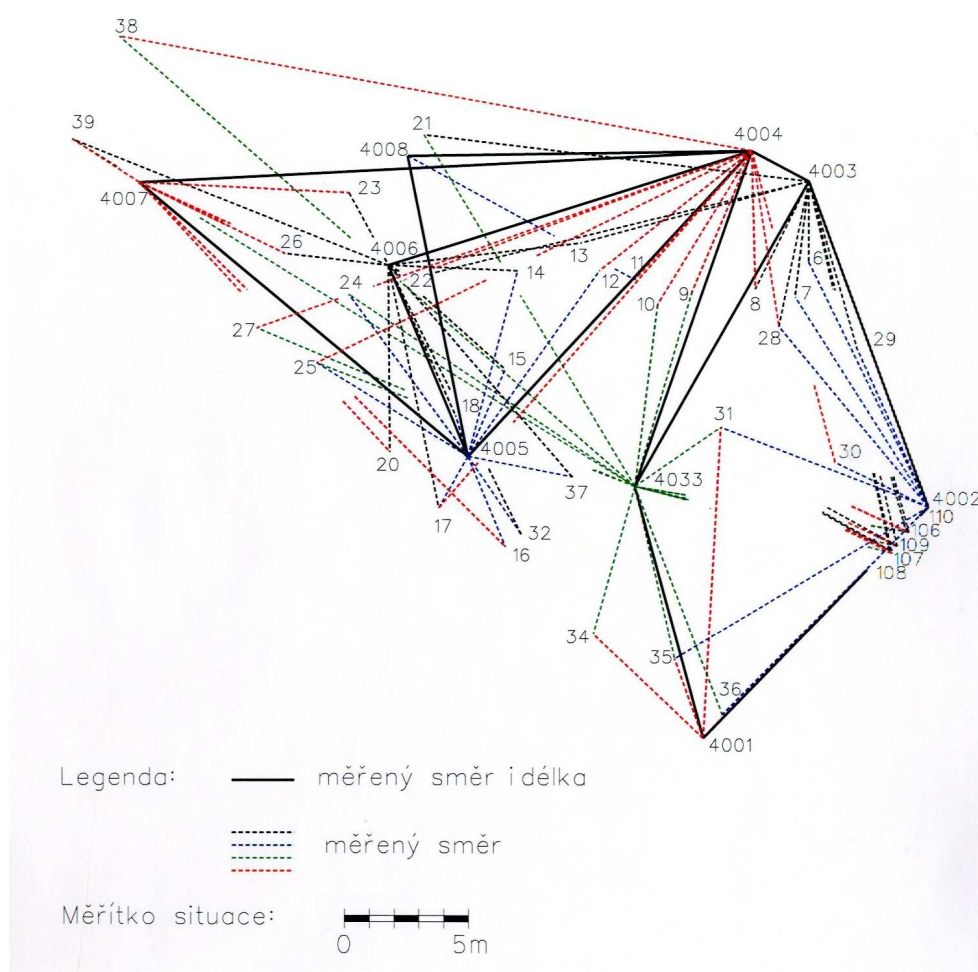
5.4. Etapa č. 15

Zatím poslední etapa byla měřena 28. září 2011. V ten den bylo krásně jasno, ale jelikož měření proběhlo v období po podzimní rovnodennosti a tudíž bylo slunce níž, bylo v propadání mnohem méně světla než v červnu, kdy byla měřena 14. etapa.

Stejně jako v červnové etapě i tentokrát bylo zaměřeno směrovým protínáním celkem 33 bodů (přes snahu nebyl bod 19 opět nalezen) a síť tvořilo 9 měřických stanovisek včetně jeskyňářského bodu 33. Opět bylo celé měření z vícero stanovisek (33, 4003, 4006 a 4007) připojeno na body na skalní stěně (106, 107, 108, 109 a 110).

Během měření se málem stala nehoda, kdy jsem se opřel o vysoký útlý smrk a ten z důvodu uhnílych kořenů začal padat a jen zásahem vyšší moci nespadol na mého kolegu – figuranta, který v tu chvíli stál v prostoru pod skalní stěnou, a tak neměl kam utéci. Padající strom zůstal zaklíněný ve větvích okolních stromů.

Přehledka měřické sítě ze dne 28.9.2011:



Obr. 5.4. - Měřická síť ze dne 28. září 2011

6. Zpracování naměřených dat

6.1. Použitý souřadnicový a výškový systém

Pro výpočet byl použit systém S-JTSK s redukovanými souřadnicemi a výškový systém Bpv. s redukovanými výškami.

6.2. Výpočet souřadnic bodů a jejich charakteristik přesnosti

Výše uvedené bylo realizováno pomocí programu Orpheus. Byly vypočteny nejen souřadnice sledovaných bodů a měřických stanovisek, ale i charakteristik přesnosti těchto bodů a parametry jim příslušejících elips chyb.

Některé body však musely být dopočteny v programu Groma. U těchto bodů byly převzaty charakteristiky přesnosti z loňského měření a nebyly vykresleny elipsy chyb. O které body se jedná je uvedeno v sešitu Vyhodnocení_etapy_14_15 programu Microsoft Office Excel.

6.3. Programové prostředí ORPHEUS

Tento program byl vyvinut v polovině 70. let 20. století na Institutu fotogrammetrie a dálkového průzkumu na Technické univerzitě ve Vídni. Jedná se o grafické prostředí, ve kterém může uživatel pracovat s různými matematickými modely. V prvotní vizi měl poskytovat pouze grafické prostředí programu Orient, avšak postupem času přibýly další funkce, které je schopen Orpheus provádět.

Můžeme říci, že program Orpheus je rámec, který zahrnuje více aplikací. Jedním z cílů již při jeho tvorbě bylo, aby v něm fungovaly i starší aplikace, které domovský Institut fotogrammetrie a dálkového průzkumu používá. Je v něm odděleno uživatelské prostředí (user interface) od výpočetních programů. Dorozumívání těchto dvou „světů“ zajišťují tzv. agenti.

Hlavní aplikací softwaru je vyrovnání fotogrammetrických dat. Lze je však použít i v dalších úlohách klasické geodézie. Jeho výhodou je, že umožňuje současně vyrovnávat odlišné veličiny.

V databázi má program uložena všechna data, s nimiž pracuje. Prvky se v databázi dělí do skupin (rooms). Každou skupinu lze chápat jako 3D prostor propojený s 3D kartézským souřadnicovým systémem. Program Orpheus pracuje se dvěma typy skupin - skupina měření

(obsahuje měřené hodnoty a s nimi spojený souřadnicový systém) a skupina parametrů (obsahuje veličiny neznámé a jejich souřadnicový systém).

Při odhadu hledaných parametrů předpokládáme, že soubor měření obsahuje nějakou hrubou chybu. V případě vyrovnání metodou nejmenších čtverců není chybné měření eliminováno, a tak tato nesprávná hodnota ovlivní výsledky vyrovnání a tedy také výsledné určované parametry. Program Orpheus však je schopný realizovat robustní vyrovnání. Je to metoda odolnější vůči odlehlým hodnotám. Podstatou metody je, že při každé iteraci je upravována váha měření. K chybným měřením jsou postupně přiřazovány větší opravy a tím pádem menší váhy. Takovým způsobem se sníží ovlivnění výsledků odlehlými hodnotami. Po odstranění rozpoznaných chybných měření se vyrovnání realizuje s původními váhami.

Při přípravě vyrovnání si může uživatel sám zvolit, která měření mají nebo nemají být součástí vyrovnání a dále které parametry určitého měření budou brány jako fixní a které budou považovány za neznámé. Dokonce lze zvolit, aby byla součástí vyrovnání pouze jedna souřadnice bodu, atd.

Jakmile skončí iterace, je možné provést analýzu přesnosti. [11]

6.3.1. Matematický model výpočtu

Samotné vyrovnání měřených hodnot a výpočet hledaných veličin se odehrává v programu ORIENT. Pro každý sledovaný bod určený vodorovným úhlem α , zenitovým úhlem ζ a šikmou délkou s sestavíme systém tří rovnic oprav:

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\zeta \\ s + v_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/s \cdot \sin \zeta & 0 & 0 \\ 0 & 1/s & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin \alpha & -\cos \alpha & 0 \\ \cos \alpha \cos \zeta & \sin \alpha \cos \zeta & \sin \zeta \\ \cos \alpha \sin \zeta & \sin \alpha \sin \zeta & \cos \zeta \end{bmatrix} \mathbf{R}^T \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix},$$

kde v_α je oprava měřeného vodorovného směru, v_ζ je oprava měřeného zenitového úhlu a $s + v_s$ je oprava měřené šikmé délky.

Matice R je složena z následujících prvků:

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

Popisuje natočení lokálního souřadnicového systému přístroje (souřadnice x , y , z) a geodetického souřadnicového systému (X , Y , Z).

Součinem dvou matic, které předcházejí matici R , vypočítáme lokální souřadnice x , y , z přístroje:

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

Poslední člen rovnice oprav vyjadřuje posunutí počátku lokální souřadnicové soustavy. Úhly v matici R vstupují do vyrovnání. Výpočet probíhá iterací.

Kvůli horizontaci přístroje platí pro dva úhly stočení rovnice $\omega = \varphi = 0$ a tyto úhly se považují za měřené. Pro jejich rovnice oprav následně platí:

$$\varphi = v_\varphi + \varphi_{obs} \quad \omega = v_\omega + \omega_{obs}$$

Stejný přístup byl aplikován pro souřadnice Z určené nivelací:

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

Pokud souřadnice vlíčovacích bodů považujeme za měřené, jsou také součástí vyrovnání. Za takového předpokladu se rovnice oprav pro každý bod doplní rovnicemi:

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

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

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

Za pomoci úhlů ω , φ , κ určuje matice R vztah mezi osami lokální geodetické prostorové sítě (X, Y, Z) a osami totální stanice (x, y, z) :

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

Vyrovnáním v podstatě získáme úhly ω , φ , κ .

Když shrnu výše uvedené, tak poslední matice ve výpočtu oprav vyjadřuje posun počátku lokální souřadnicové soustavy, matice rotace R její natočení a dvě matice, které jsou umístěny před rotační maticí, definují výpočet souřadnic bodu v síti. Souřadnice bodu v síti se vypočtou přímo z měřených hodnot a ne z určených souřadnic bodů.

Výsledné veličiny získáme iterací. Úhly v matici rotace R jsou vyrovnány, dosazeny do výpočtu a měřené veličiny jsou opraveny. Pro takto opravené měřené veličiny jsou znovu vypočteny rotační úhly. Tento postup se opakuje až do dosažení požadované přesnosti.

Z naměřených dat, která prošla vyrovnáním, jsou metodou trigonometrické sítě získány souřadnice všech sledovaných bodů (i upřesněné souřadnice referenčních bodů).

Během výpočtu jsou naměřené veličiny považovány za volnou síť, aby se předešlo deformacím hodnot získaných měření. Takovým postupem jsou určeny souřadnicové opravy i na vztažných bodech tak, aby byla na všech pozorovaných i referenčních bodech splněna podmínka metody nejmenších čtverců, tzn. součet čtverců oprav musí být minimální.
[11]

6.4. Charakteristiky přesnosti měření

6.4.1. Střední chyby souřadnic

Díky softwaru použitému pro výpočet souřadnic stanovisek a sledovaných bodů z naměřených dat jsou součástí protokolu o výpočtu také střední chyby jednotlivých bodů ve směrech všech souřadných os. Z takto získaných charakteristik přesnosti byly vypočteny aritmetické průměry:

Průměrné střední chyby stanovisek:

	m_Y [mm]	m_X [mm]	m_Z [mm]
červen 2011	1,99	1,56	1,03
září 2011	1,48	1,04	0,86

Tab. 6.4.1. a) - Průměrné střední chyby stanovisek

Průměrné střední chyby sledovaných bodů:

	m_Y [mm]	m_X [mm]	m_Z [mm]
červen 2011	2,98	3,02	1,41
září 2011	2,35	2,82	2,50

Tab. 6.4.1. b) - Průměrné střední chyby sledovaných bodů

Z tabulek 6.4.1. a) a b) je možné zjistit, že měření provedené na konci září vykazuje vyšší přesnost ve všech souřadnicích kromě výškové složky sledovaných bodů. Zkvalitnění může být zapříčiněno větším množstvím měřených délek mezi stanovisky oproti měření, které bylo provedeno v červnu.

6.4.2. Střední elipsy chyb

Součástí protokolu o výpočtu jsou mimo středních chyb bodů ve všech souřadnicových osách také parametry středních elips chyb, které graficky zobrazují přesnost

toho kterého bodu v libovolném směru. Pomocí známých hodnot hlavní poloosy a , vedlejší poloosy b a úhlu stočení φ byly elipsy vykresleny v programovém prostředí Microstation.

Aby bylo možné lépe porovnat přesnost sledovaných bodů mezi oběma etapami, byly elipsy chyb totožných bodů soustředně zobrazeny v jednom výkresu.

Většina elips si tvarově i velikostně mezi oběma etapami v roce 2011 odpovídá, popř. jsou v 15. etapě menší, což poukazuje na vyšší přesnost zářijového měření. Některé elipsy chyb jsou však poměrně hodně protaženy ve směru ke stanovisku, což je způsobeno buď špatnou konfigurací stanovisek a tudíž malými protínáními úhly (bod č. 15 ve 14. etapě), způsobem umístění bodu (bod č. 32 na stěně bloku G) nebo kombinací obou popsaných příčin. Výkres s elipsami chyb je k nahlédnutí v elektronické podobě v přílohách.

6.5. Porovnání souřadnic bodů ze 14. a 15. etapy

Po výpočtu souřadnic sledovaných bodů v obou etapách měřených v roce 2011 byly tyto souřadnice mezi sebou porovnány a pomocí tabulkového procesoru Microsoft Office Excel vypočteny posuny v souřadnici Y:

$$\Delta Y = Y_z - Y_\varepsilon. \quad (6.1.)$$

Obdobným způsobem byly vypočteny posuny v souřadnic X a Z.

Následně byla pomocí středních chyb příslušných bodů z jednotlivých etap vypočtena střední chyba rozdílu ΔY dvou etap:

$$m_{\Delta Y} = \sqrt{m_{Y_\varepsilon}^2 + m_{Y_z}^2}. \quad (6.2.)$$

Podobně byly vypočteny střední chyby rozdílu pro souřadnice X a Z.

Aby bylo možné posoudit, zda nastal, nenastal nebo nebyl prokázán posun, bylo nutné pomocí součinitele konfidence t vypočítat mezní chybu rozdílu $\Delta_{\Delta Y}$:

$$\Delta_{\Delta Y} = m_{\Delta Y} * t, \quad (6.3.)$$

kde bylo voleno $t = 2,5$. Opět obdobně byly vypočteny mezní chyby rozdílu pro ostatní souřadnice. Metodika při posuzování posunů je popsána v kapitole 3.4.

Č. bodu	ΔY [mm]	$m_{\Delta Y}$ [mm]	Posouzení posunu	ΔX [mm]	$m_{\Delta X}$ [mm]	Posouzení posunu	ΔZ [mm]	$m_{\Delta Z}$ [mm]	Posouzení posunu
6	4,1	2,2	MOŽNÝ	-4,2	4,3	NENASTAL	-2,1	2,6	NENASTAL
7	4,2	2,2	MOŽNÝ	-3,8	3,2	MOŽNÝ	-1,7	1,6	MOŽNÝ
8	4,2	2,3	MOŽNÝ	-3,3	3,0	MOŽNÝ	-2,2	2,1	MOŽNÝ
9	6,8	2,6	NASTAL	-0,9	3,6	NENASTAL	-1,8	1,4	MOŽNÝ
10	6,9	2,6	NASTAL	-0,6	3,3	NENASTAL	-1,3	1,4	NENASTAL
11	13,8	4,0	NASTAL	1,5	3,0	NENASTAL	-3,3	1,8	MOŽNÝ
12	18,4	7,3	NASTAL	6,9	5,1	MOŽNÝ	-6,8	2,8	MOŽNÝ
13	-3,5	4,4	NENASTAL	-4,7	2,0	MOŽNÝ	-0,8	1,7	NENASTAL
14	8,7	3,1	NASTAL	-4,7	2,3	MOŽNÝ	-3,7	1,9	MOŽNÝ
15	5,8	11,9	NENASTAL	-3,3	5,5	NENASTAL	-3,1	1,8	MOŽNÝ
16	13,1	2,8	NASTAL	-13,7	3,5	NASTAL	3,7	3,2	MOŽNÝ
17	8,3	2,8	NASTAL	2,2	2,7	NENASTAL	-4,3	1,8	MOŽNÝ
18	5,7	2,6	MOŽNÝ	4,7	2,4	MOŽNÝ	-5,3	1,5	NASTAL
21	6,8	4,0	MOŽNÝ	0,3	3,4	NENASTAL	-1,8	2,9	NENASTAL
22	6,4	4,0	MOŽNÝ	2,1	2,3	NENASTAL	0,0	16,7	NENASTAL
23	9,3	2,6	NASTAL	-7,6	2,3	NASTAL	-6,4	1,6	NASTAL
24	6,4	4,9	MOŽNÝ	2,3	5,0	NENASTAL	-4,7	2,4	MOŽNÝ
25	2,1	3,6	NENASTAL	5,2	2,6	MOŽNÝ	-4,2	1,9	MOŽNÝ
26	9,9	2,7	NASTAL	-3,2	2,1	MOŽNÝ	-5,4	1,5	NASTAL
27	0,1	3,7	NENASTAL	2,9	2,6	MOŽNÝ	0,8	2,3	NENASTAL
28	4,3	2,1	MOŽNÝ	-2,3	2,8	NENASTAL	-1,4	1,6	NENASTAL
29	3,8	2,4	MOŽNÝ	-2,5	3,8	NENASTAL	-1,0	1,8	NENASTAL
30	1,6	3,2	NENASTAL	0,4	2,6	NENASTAL	-1,7	2,2	NENASTAL
31	2,6	2,8	NENASTAL	-2,2	2,4	NENASTAL	-1,4	1,3	MOŽNÝ
32	6,0	11,6	NENASTAL	1,2	13,4	NENASTAL	-3,3	2,1	MOŽNÝ
33	7,5	5,5	MOŽNÝ	2,0	24,8	NENASTAL	0,0	17,4	NENASTAL
34	5,0	2,7	MOŽNÝ	2,0	2,1	NENASTAL	-3,8	1,8	MOŽNÝ
35	3,7	2,7	MOŽNÝ	2,5	2,2	MOŽNÝ	-3,2	1,6	MOŽNÝ
36	3,0	3,2	NENASTAL	2,2	1,9	MOŽNÝ	-2,7	1,7	MOŽNÝ
37	6,4	4,6	MOŽNÝ	-0,7	2,1	NENASTAL	-3,9	2,0	MOŽNÝ
38	1,7	6,2	NENASTAL	0,7	6,3	NENASTAL	-2,0	3,5	NENASTAL
39	-0,1	1,3	NENASTAL	-0,2	1,3	NENASTAL	0,0	0,8	NENASTAL

Tab. 6.5. a) - Vyhodnocení posunů bodů

Poměrně velké střední chyby posunů pravděpodobně byly způsobeny horší konfigurací stanovisek a s tím souvisejícími malými protínacími úhly.

Pouze u bodu 23 proběhl posun ve všech třech osách a naopak u bodů 30, 38 a 39 nenastal posun v žádném ze směrů souřadnicových os. U bodů 9, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 18, a 26 nastal posun alespoň v jedné ose a u všech ostatních bodů je mezi 14. a 15. etapou alespoň v jedné ose posun možný.

Ze středních chyb posunů uvedených v tabulce 6.5. byly pro úplnost vypočteny aritmetické průměry:

Průměrné střední chyby posunů bodů:		
$m_{\Delta Y}$ [mm]	$m_{\Delta X}$ [mm]	$m_{\Delta Z}$ [mm]
3,9	4,1	2,9

Tab. 6.5. b) - Průměrné střední chyby posunů bodů

Celkem velké průměrné střední chyby posunů jsou s největší pravděpodobností způsobeny náročným terénem, ve kterém bylo měření uskutečněno. S touto skutečností souvisí nepřístupnost bodů a ne úplně vhodná konfigurace stanovisek a tudíž malé protínací úhly.

6.6. Porovnání souřadnic z roku 2010 s předchozími etapami

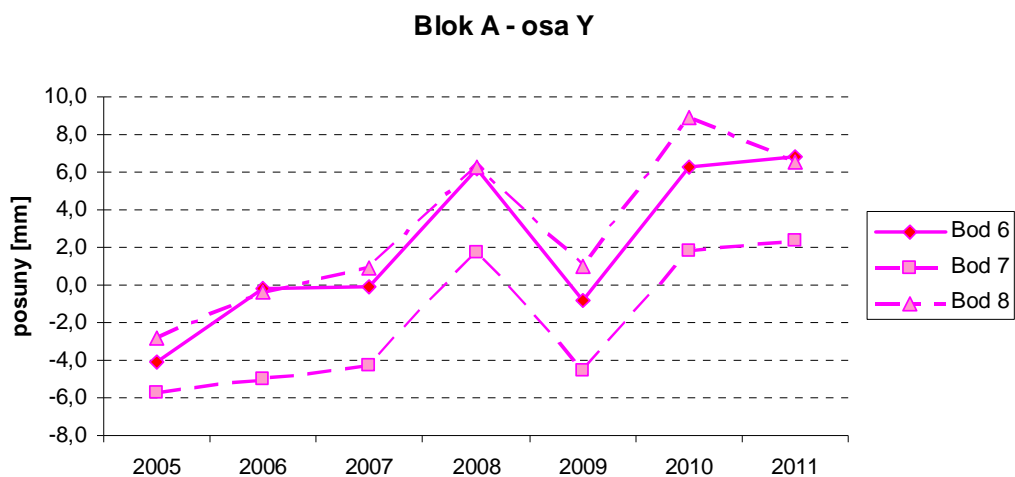
V závěrečné fázi práce byly dosažené souřadnice porovnány se souřadnicemi získanými při předchozích měřeních a hlavně s nultou etapou.

Aby bylo možné takové porovnání realizovat, byly souřadnice z června a září 2011 lineárně vyinterpolovány k datu 1. července 2011. V dalších krocích byly souřadnice porovnány a vypočteny posuny od nulté etapy v roce 2004. Hodnoty posunů byly pro přehlednost pomocí programu Microsoft Office Excel zobrazeny do grafů.

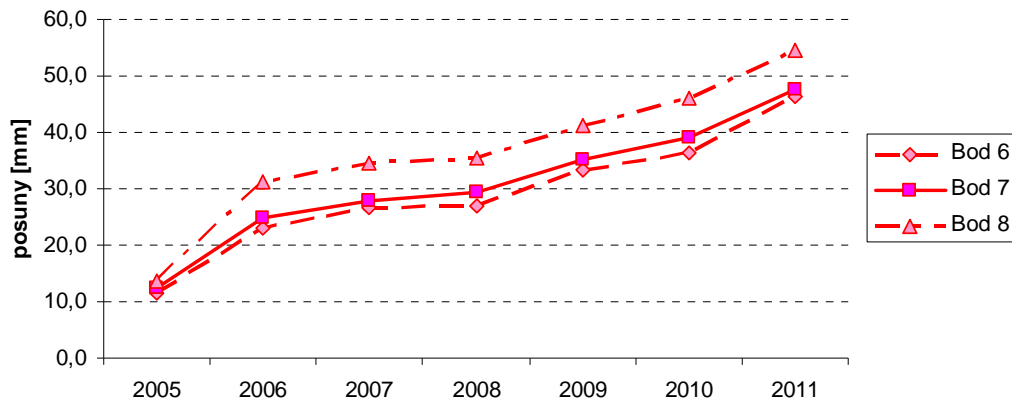
6.6.1. Zobrazení posunů jednotlivých bloků do grafů

Jak je napsáno v poslední větě předcházející kapitoly, zde lze vidět posuny bodů v jednotlivých osách souřadného systému vynesené do grafů.

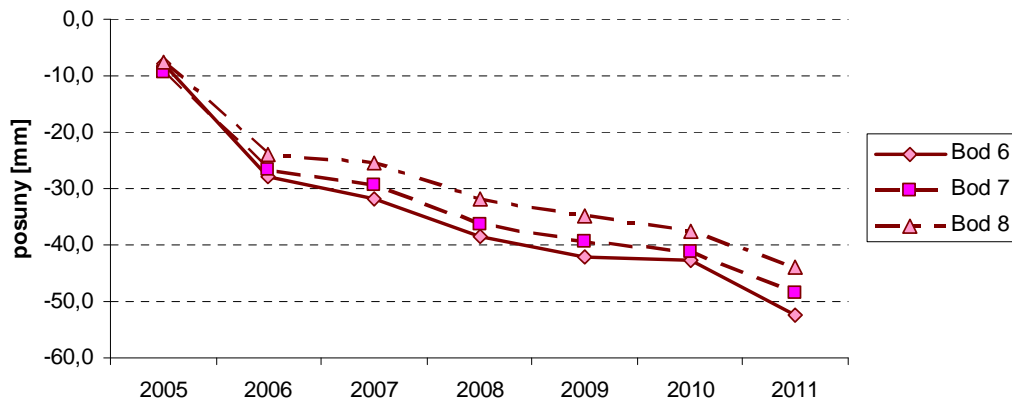
Do této části práce jsou zpracovávány jenom bloky, které jsou osazeny minimálně třemi body. U bloků s menším počtem bodů totiž nelze komplexně popsat způsob pohybu. Každý graf popisuje pohyb jednoho z bloků v jedné souřadnicové ose.



Blok A - osa X

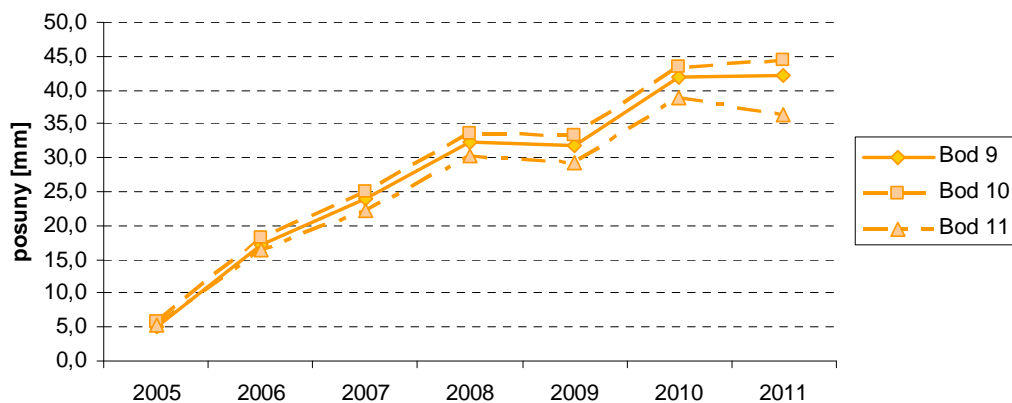


Blok A - osa Z

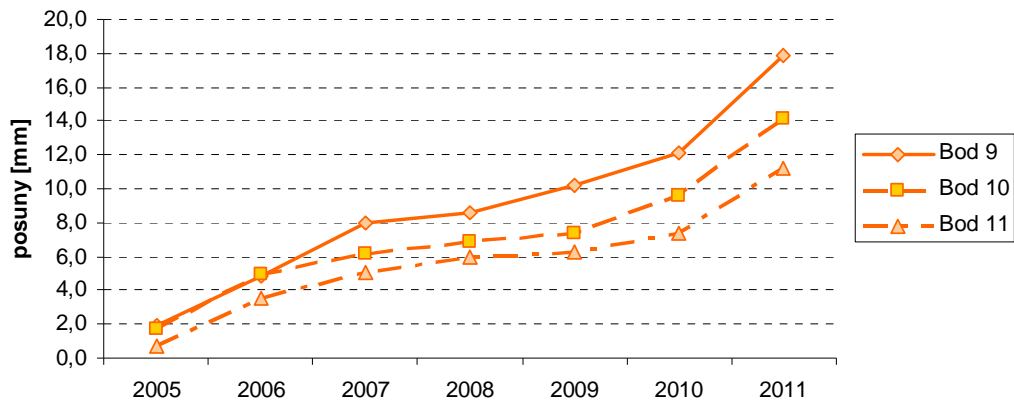


Zdá se, že předchozí výkyvy v pohybu bloku A v ose Y jsou až na bod 8 zažehnány. Z pohybu v ose Z je možné vyčíst, že skokový pohyb mezi roky 2005 a 2006 se ustálil. Podobné ustálení skoku jako v ose Z ukazuje i osa X.

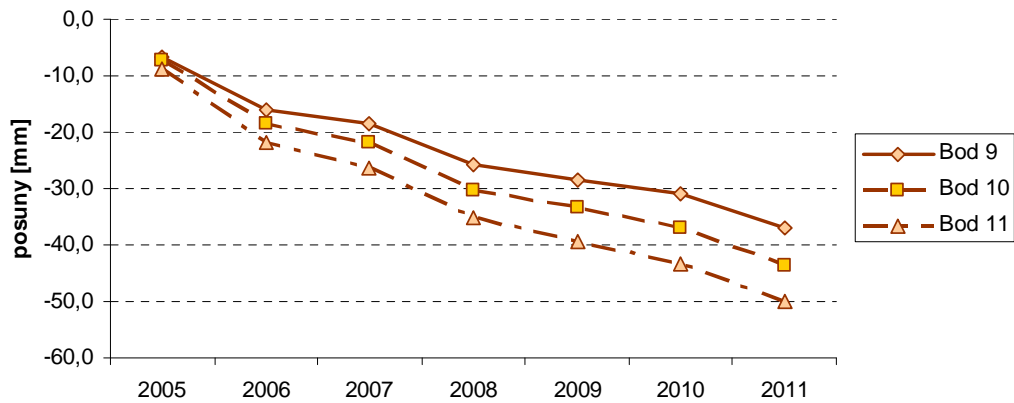
Blok B - osa Y



Blok B - osa X

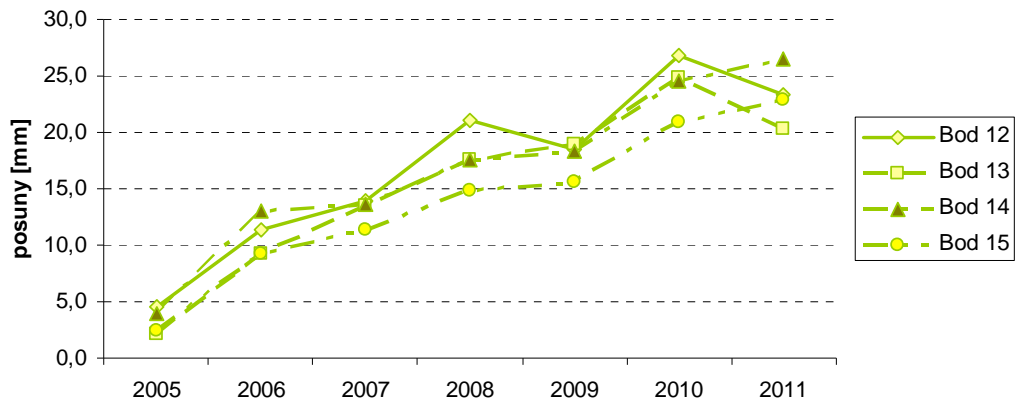


Blok B - osa Z

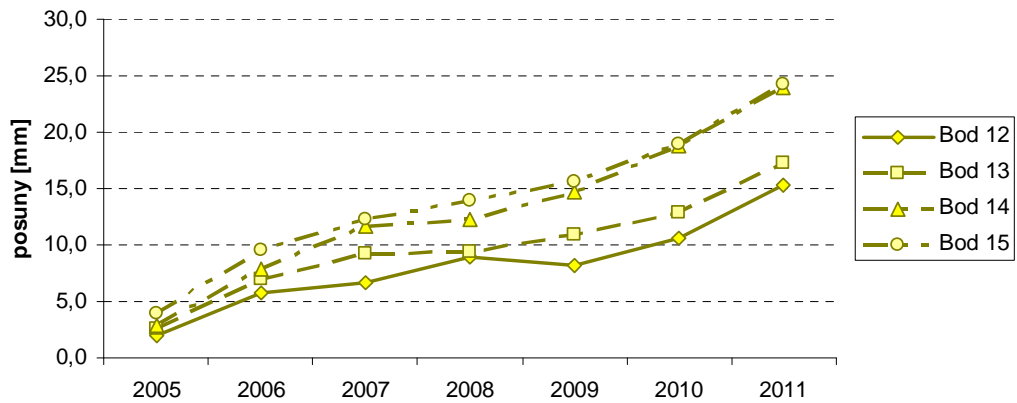


Z pohybu bloku B v ose Y je v posledních letech patrný schodovitý charakter. V ose X blok B pravděpodobně navazuje na rychlost pohybu z počátečních let sledování lokality, v posledním roce zvýšil rychlost pohybu dvakrát v porovnání s předcházejícími léty. Celý blok sedá plynule.

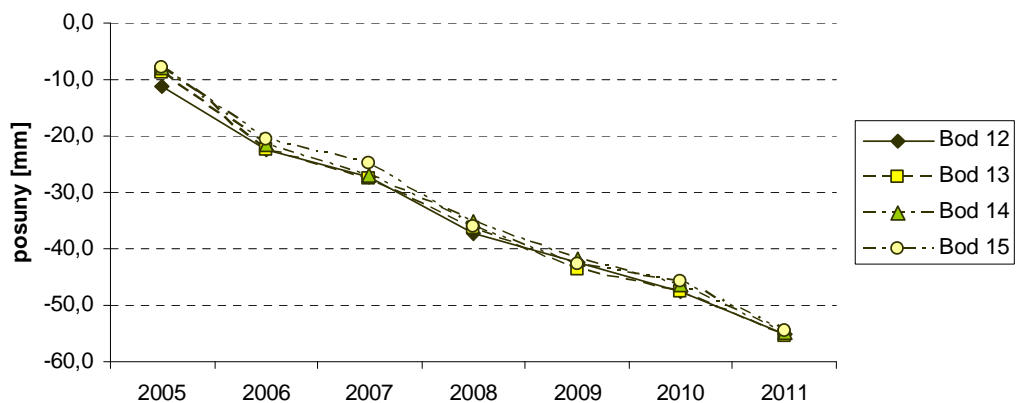
Blok C - osa Y



Blok C - osa X

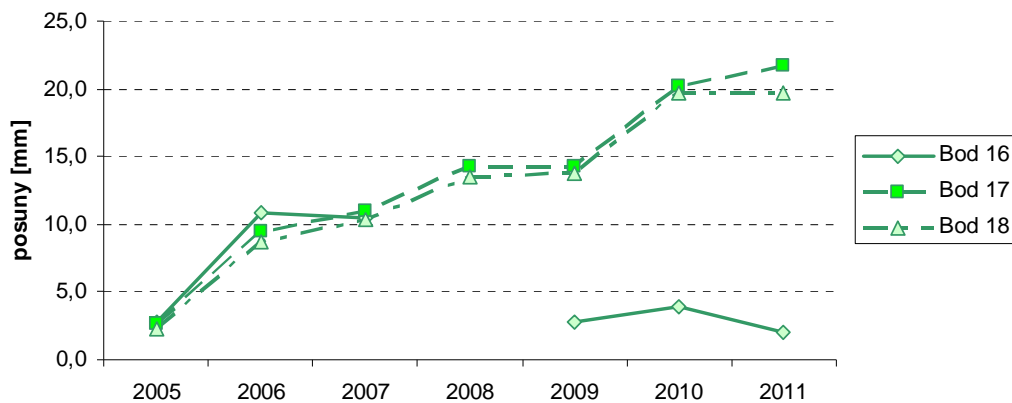
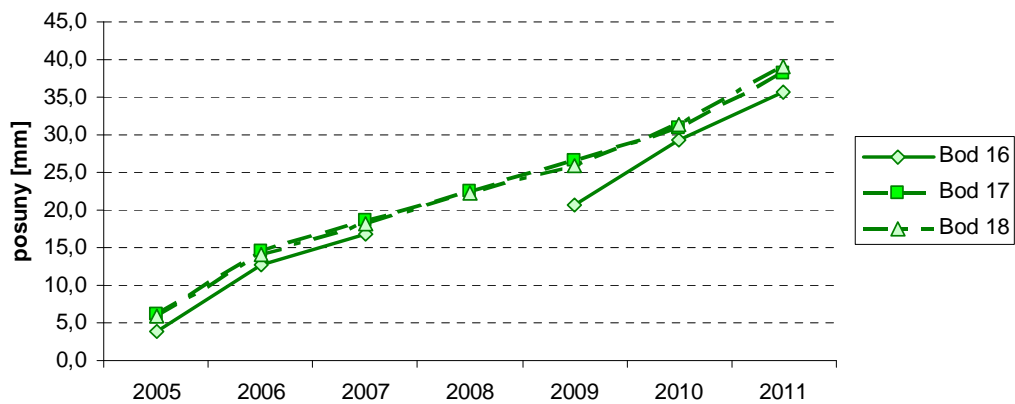


Blok C - osa Z

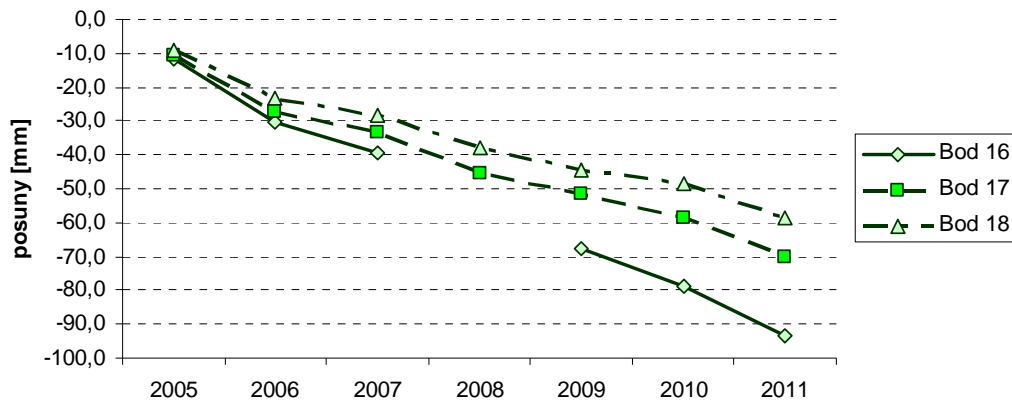


Podobně jako blok A v předcházejících letech, tak i bod 12 a v posledním roce i 13 se v ose Y pohybují skokovým způsobem. Zbylé body se pohybují také skokově, ale mnohem mírnějším způsobem než dva uvedené. U pohybu v ose X je možné si všimnout jakoby

pomyslného rozdělení bloku na dvě části, kdy na jedné jsou body 12, 13 a na druhé body 14, 15, protože se pohybují podobným stylem. V klesání vykazují body 12, 13, 14 a 15 umístěné na bloku C až na malé odchylky identický charakter. Za celou dobu nepřetržitého sledování je velikost sedání tohoto bloku srovnatelná s předchozími bloky A a B.

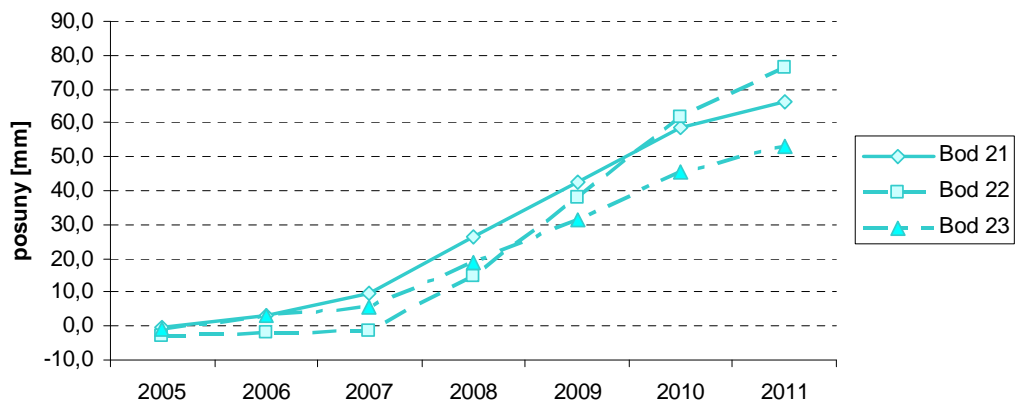
Blok D - osa Y**Blok D - osa X**

Blok D - osa Z

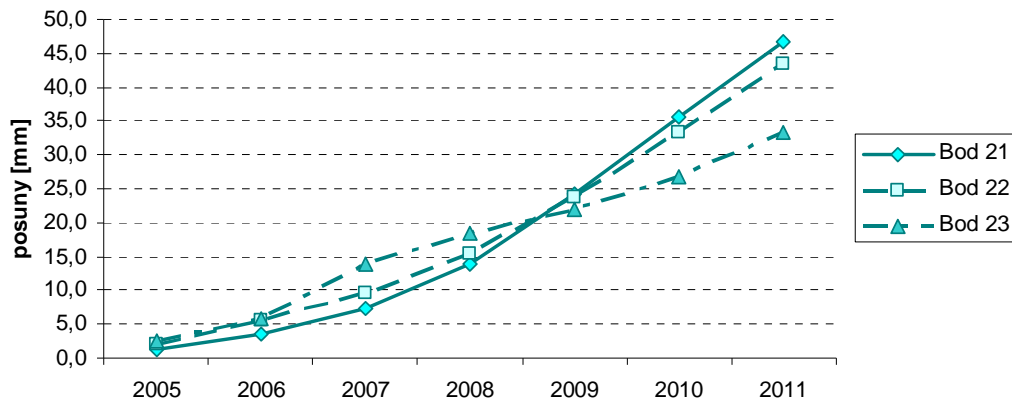


Zvláštností pohybu bloku D v ose Y je změna směru pohybu bodu 16 mezi léty 2007 a 2009. Měření v roce 2011 tuto změnu potvrdilo. Body 17 a 18 vykazují v ose Y jakýsi schodovitý charakter pohybu. V ose X se všechny body na tomto bloku pohybují podobnou rychlostí. Pohyb v ose Z ukázkově odráží umístění bodů na bloku. Bod 16 je nejbližší propadání, tudíž sedá nejrychleji a bod 18 nejpomaleji, protože se nachází na odlehlejší místě bloku od propadání.

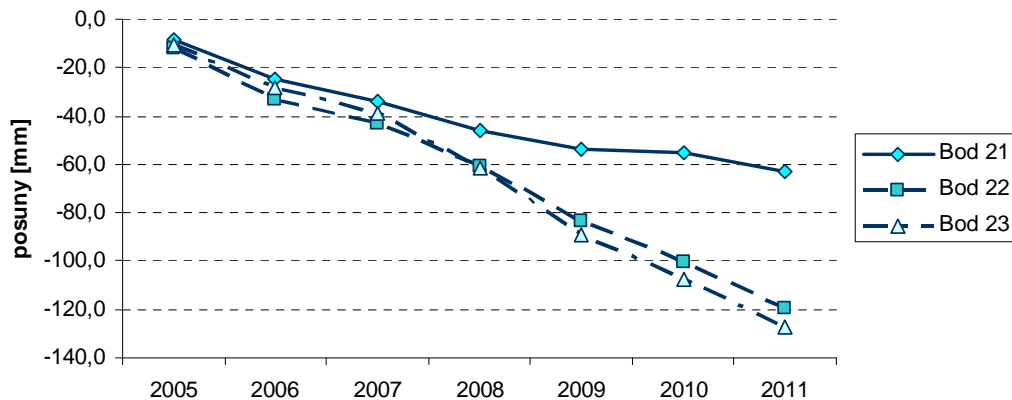
Blok E - osa Y



Blok E - osa X

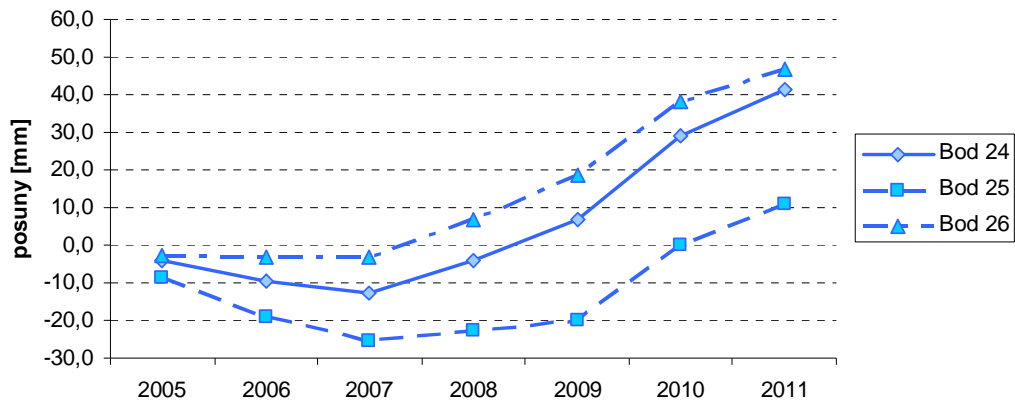


Blok E - osa Z

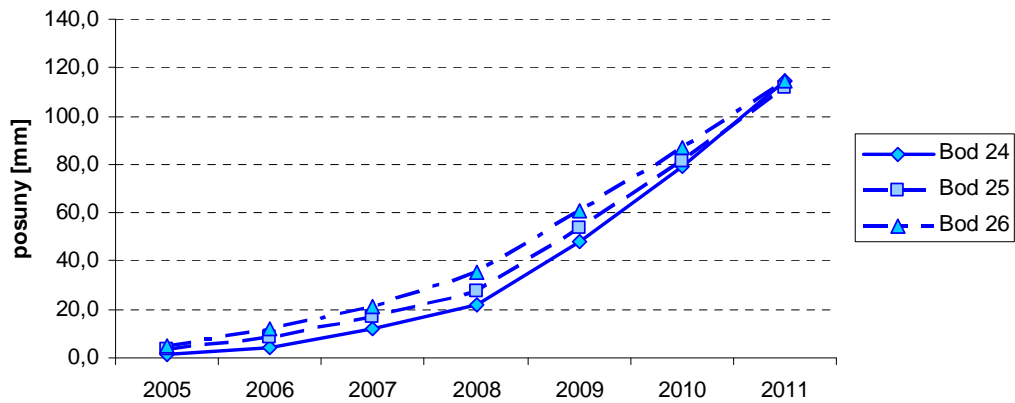


U bloku E stojí určitě za zmínku, jak se během osmi let sledování měnila rychlost pohybu jednotlivých bodů v osách X a Y. V ose Y je zajímavý počáteční opačný směr pohybu všech bodů. Body 21 a 23 tento směr mění hned mezi druhým a třetím rokem sledování, bod 22 až po čtvrtém. V témže roce, tedy 2007, je vidět zlom v pohybu, kdy se od tohoto roku začaly všechny body pohybovat výrazně rychleji než v počátečních letech měření. V ose X je u bodů 21, 22 viditelná od počátku narůstající tendence pohybu. Naopak u bodu 23 nastal rychlý pohyb mezi léty 2006, 2007, avšak měření následující etapy bylo prokázáno zpomalení. Od roku 2009 se sice rychlost jeho pohybu zvyšuje, ale ne tak rychle jako u zbývajících bodů na bloku E. Obdobně jako u bloku D i zde je u sedání vidět, které body se nacházejí blíže k propadání. Jedná se o body 22 a 23.

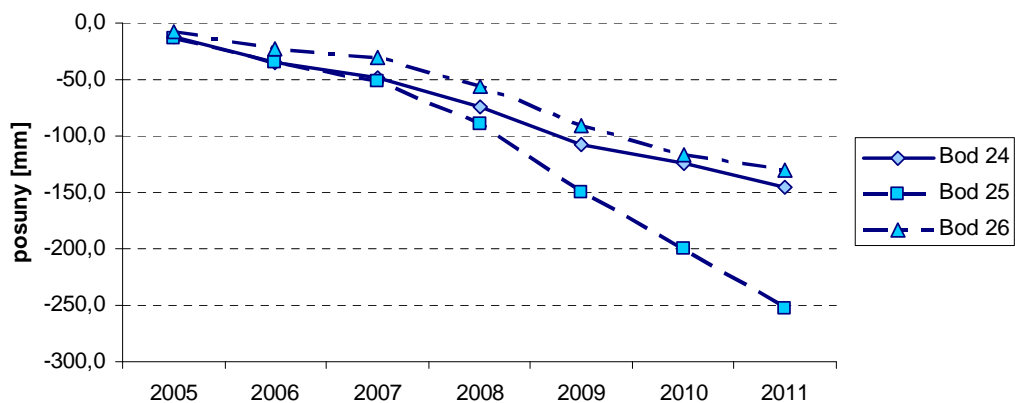
Blok F - osa Y



Blok F - osa X



Blok F - osa Z

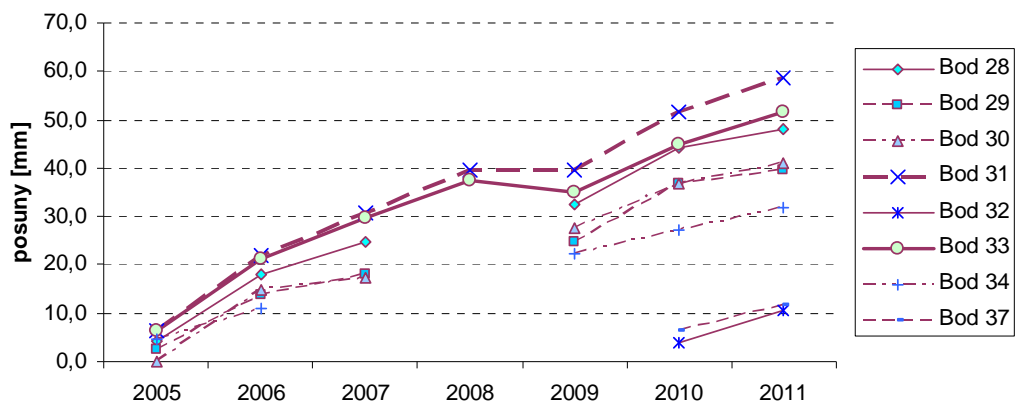


Mezi bloky E a F lze v jejich pohybu v ose Y najít paralelu, protože stejně jako blok E i tento blok prodělal změnu ve směru pohybu mezi léty 2007 a 2008. Nejříve se tedy pohyboval pomaleji směrem k bloku E a v posledních pěti letech se pohybuje rychleji od něj.

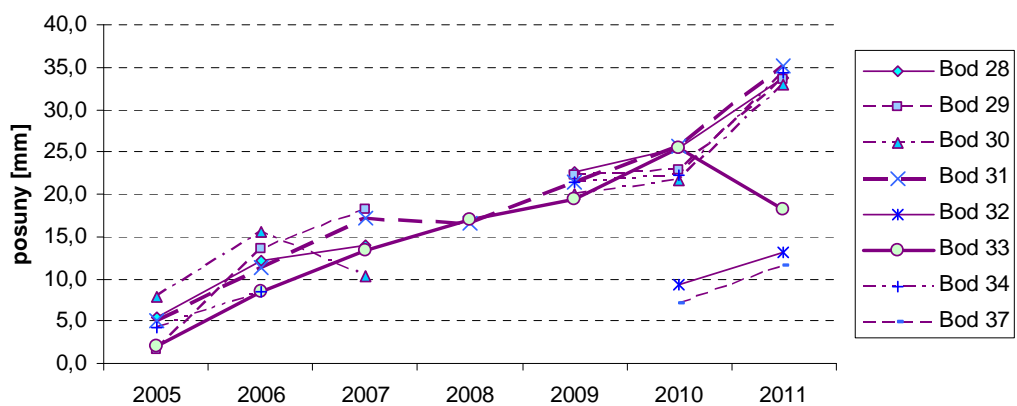
V ose X se pohyb všech bodů na bloku F neustále zrychluje v kladném směru, znamená to, že se pohybuje směrem k propadání. V pohybu v ose Z dosahuje blok F stabilně největších poklesů ze všech monitorovaných bloků. Pravděpodobnou příčinou takového procesu je jeho umístění. Podléhá totiž působení veškeré vody, která potokem Bílá voda v průběhu roku protéká.

Z pohybu ve všech osách lze usuzovat, že celý blok klesá na straně bodu 25 a posunuje se vpravo (z pohledu tekoucí vody potoka), pravděpodobně do většího proudu vody.

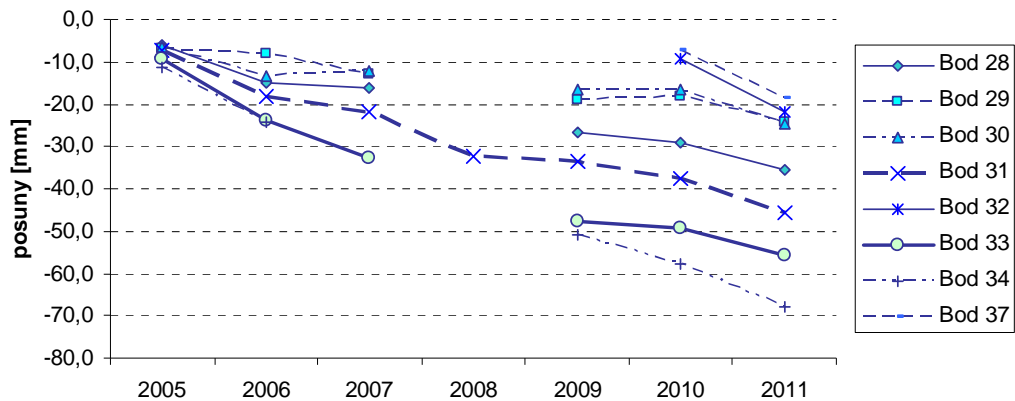
Blok G - osa Y



Blok G - osa X



Blok G - osa Z

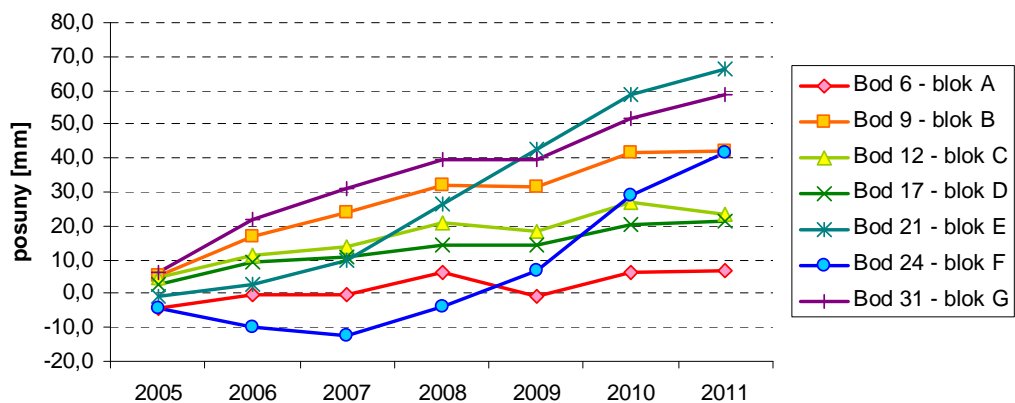


V ose Y mají všechny body umístěné na bloku G neustále narůstající charakter pohybu s jakousi přestávkou v roce 2009. V ose X vzbuzuje blok G zájem pohybem bodu 33 v poslední etapě v porovnání s ostatními body. Podobný výkyv z průběžného pohybu vykázal bod 30 mezi léty 2006 a 2007. Tuto odchylku potvrdí nebo naopak vyvrátí měření další etapy. Ačkoliv má blok G největší rozměry a tudíž největší hmotnost ze všech bloků nacházejících se v propadání, dosahuje v průměru nejmenších hodnot sedání. Možná je tato skutečnost způsobena právě jeho rozměry.

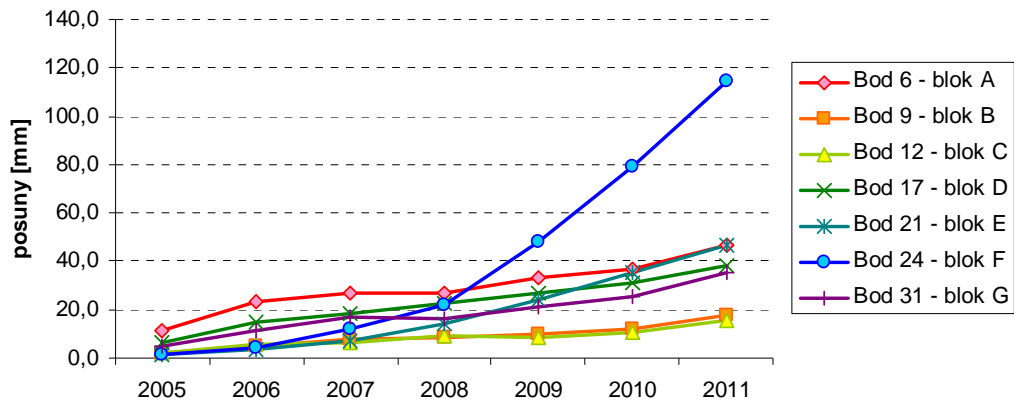
6.6.2. Grafy posunů vybraných bodů

Pro porovnání pohybu určitého bloku v kontextu s ostatními přikládám grafy s pohyby 7-mi bodů, kde každý je z jiného bloku a všechny jsou měřeny nepřetržitě od roku 2004.

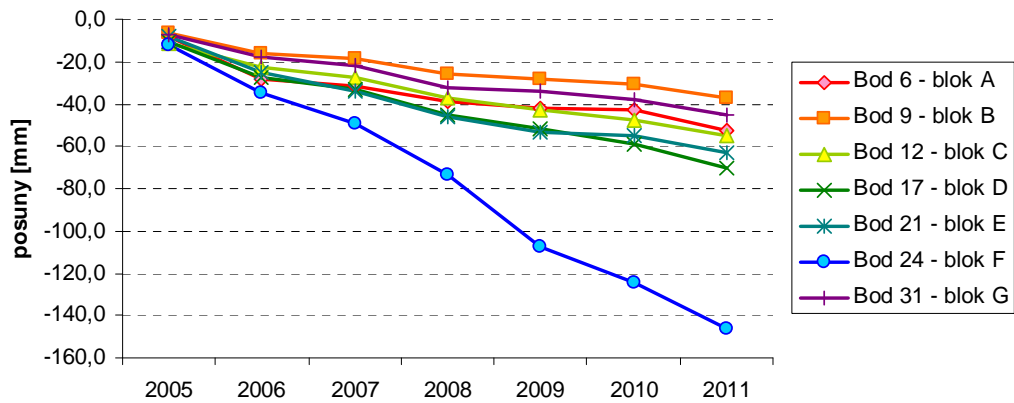
Porovnání pohybu bloků v souřadnici Y



Porovnání pohybu bloků v souřadnici X



Porovnání pohybu bloků v souřadnici Z



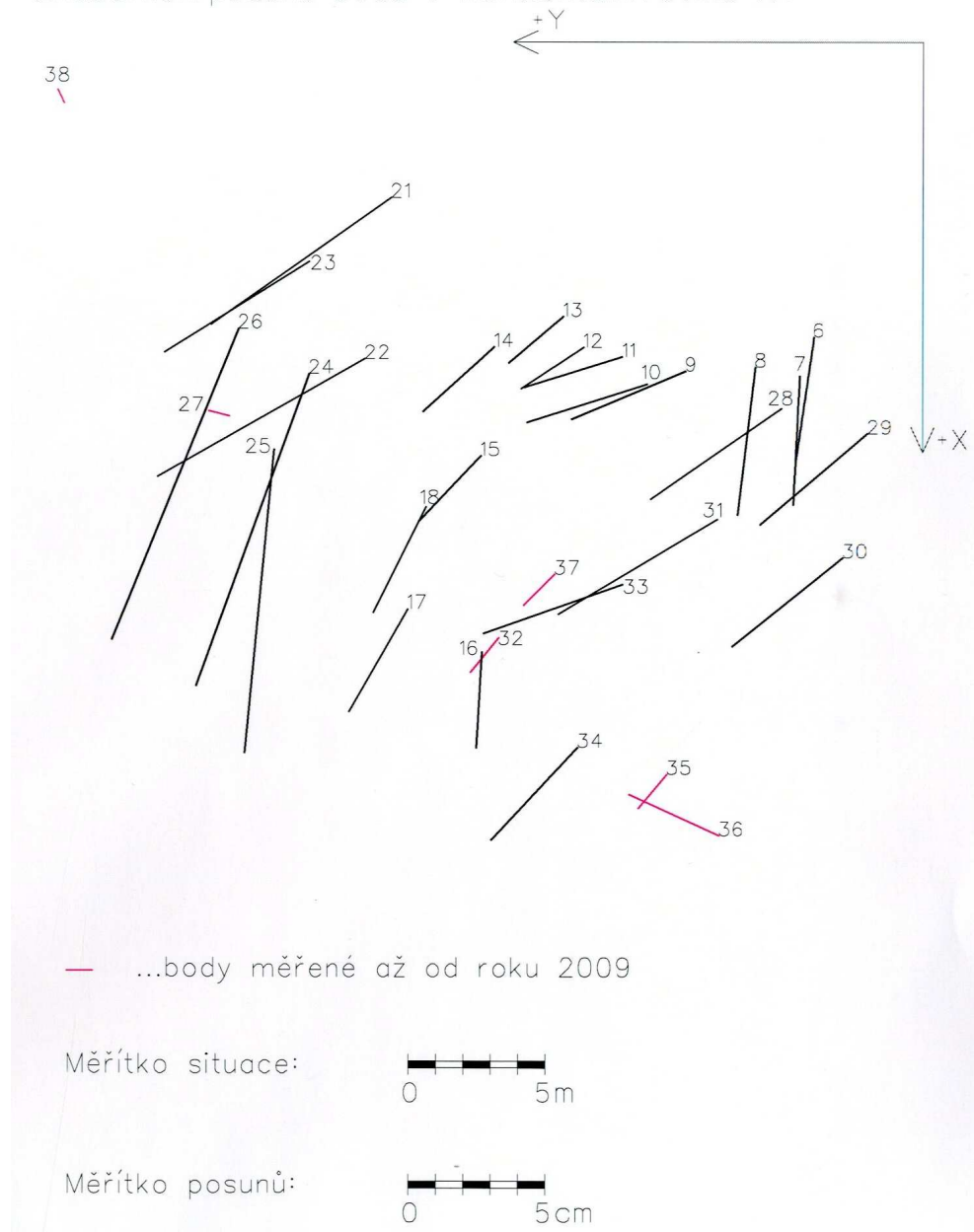
V ose Y realizoval největší posun od počátku bod 21 na bloku E. V osách X a Z je vidět, že nejrychlejších pohybů dosahuje bod 24 z bloku F.

6.6.3. Horizontální a vertikální posuny bodů

Na obrázcích níže jsou znázorněny posuny jednotlivých bodů ve vodorovné rovině a jejich sedání, popř. zdvih.

U horizontálních posunů je směr a velikost posunu naznačena úsečkou ve směru od čísla bodu. Úsečka vyjadřuje velikost posunu, kterou ten který bod od roku 2004 uskutečnil. U bodů, které jsou měřeny od roku 2009 je samozřejmě znázorněn pouze posun, který takový bod uskutečnil za odpovídající období (znázorněn růžově).

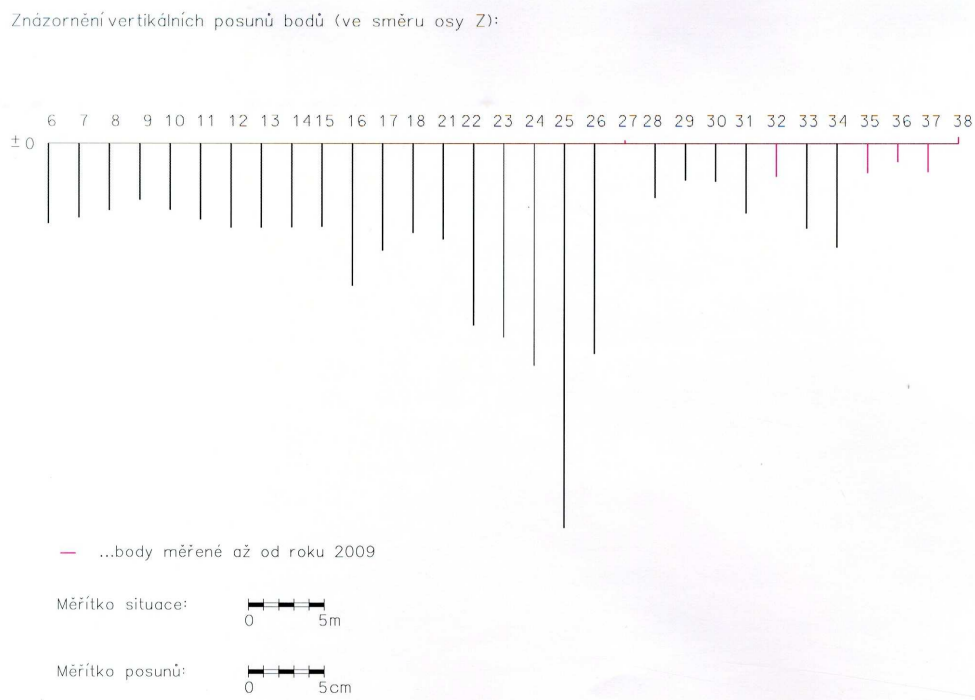
Znázornění posunů bodů v horizontální rovině XY:



Obr. 6.6.3. a) - Horizontální posuny bodů na blocích

Z uvedeného je zřejmé, že se všechny bloky pohybují směrem k řečišti potoka, některé bloky bloku se pohybují směrem do propadání (A, D a F).

Sedání, popř. zdvih, je v obrázku níže znázorněn svislými úsečkami ve směru pohybu. Podobně jako u vodorovných posunů je vyobrazen pohyb od počátku sledování bloků (2004). Pouze u bodů měřených až od roku 2009 je pochopitelně znázorněn posun pouze od tohoto roku (jak je uvedeno ve vysvětlivce, posuny těchto bodů jsou znázorněny růžovou barvou).



Obr. 6.6.3. b) - Vertikální posuny bodů na blocích

7. Stav na jaře 2012

Podle výsledků této práce je zřejmé, že skalní bloky ležící v řečišti potoka Bílá voda jsou v neustálém pohybu. Jarní návštěva v propadání Nová Rasovna potvrzuje, že v určitém pohybu je i skalní stěna nebo alespoň její dílčí části. Tuto skutečnost nejlépe dokládá vylomený kus kamene ze spodní části stěny viditelný na následující fotografii. Odlomený blok s největší pravděpodobností také způsobil posun kamene, na kterém leží bod č. 36. Tuto domněnku pomůže potvrdit či vyvrátit měření, které bude následovat v průběhu roku 2012.



Obr. 7. - Skalní stěna v březnu 2012

8. Závěr

Měřením a následným zpracováním posunů, jímž se tato práce zabývala, bylo prokázáno, že všechny body kromě bodu 18 v ose Y mezi léty 2010 a 2011 realizovaly pohyb.

Pro porovnání přikládám jednoduchou tabulku:

	Posun v ose Y [mm]	Posun v ose X [mm]	Posun v ose Z [mm]
Průměrný posun bodů	+3,6	+5,6	-9,3
Blok B	-0,4	+4,7	-6,4
Blok F	+10,7	+31,2	-29,4

Tab. 8. - Porovnání posunů bloků

V prvním řádku tabulky je znázorněn průměrný posun všech bodů mezi léty 2010 a 2011. Ve druhém a třetím řádku jsou uvedeny průměrné posuny bodů na blocích B a F, kde blok B se nachází mimo koryto potoka Bílá voda a blok F leží přímo v korytě, tudíž dosahuje největších posunů ve všech osách. Z tabulky je vidět, že blok F klesá téměř 5-krát rychleji než blok B, v ostatních osách je v poměru k bloku B pohyb ještě rychlejší.

Jelikož byl zatím v každé etapě zjištěn pohyb bloků, bude vhodné v jejich sledování i nadále pokračovat.

9. Seznam použitých informačních zdrojů

- [1] Oficiální internetové stránky obce Holštejn (online) dostupné na holstejn.eu
- [2] Turistický průvodce po CHKO Moravský kras (online) dostupné na www.moravskykras.net/index.html
- [3] Internetové stránky s informacemi o jeskyních v Moravském krasu (online) dostupné na kras.unas.cz/mksever/such.htm
- [4] Otakar ŠVÁBENSKÝ, Alexej VITULA, Jiří BUREŠ: *Inženýrská geodézie II* – modul 03, Brno, 2007, 80 s.
- [5] GEODIS: Mapy.cz (online) dostupné na mapy.cz
- [6] Fakulta stavební ČVUT v Praze (online) dostupné na k154.fsv.cvut.cz/~stroner/IGH/IGH_pred_E.ppt
- [7] Otakar ŠVÁBENSKÝ, Alexej VITULA, Jiří BUREŠ: *Inženýrská geodézie I* – modul 03, Brno, 2006, 161 s.
- [8] Jan ADAMÍRA, *Sledování pohybů skalních bloků v Moravském krasu*, diplomová práce, Brno, 2011, 54 s.
- [9] Petra KOČMANOVÁ, *Predikce pohybů skalních bloků v Moravském krasu*, diplomová práce, Brno, 2011, 56 s.
- [10] Alena HEGYIOVÁ, *Stanovení pohybu skalních bloků*, bakalářská práce, Brno, 2010, 36 s
- [11] Zdeňka TICHÁ, *Stanovení pohybů skalních bloků v Moravském krasu*, diplomová práce, Brno, 2008, 48 s
- [12] Zuzana TOMEČKOVÁ, *Měření pohybů skalních bloků v Moravském krasu*, diplomová práce, Brno, 2007, 57 s

10. Seznam použitých zkratek a symbolů

- CHKO Chráněná krajinná oblast
- BP bakalářská práce
- DP diplomová práce
- S-JTSK Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
- Bpv. Výškový systém Baltský po vyrovnání