



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

STANOVENÍ POHYBŮ SKALNÍCH BLOKŮ

DETERMINATION OF ROCK BLOCKS MOVEMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Smolinka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. VLASTIMIL HANZL, CSc.

BRNO 2018



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	3646R003 Geodézie a kartografie (N)
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Martin Smolinka
Název	Stanovení pohybů skalních bloků
Vedoucí práce	doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Slováček J.: Určení pohybu skalních bloků, bakalářská práce, VUT v Brně, 2016

Nezvalová, K.: Monitoring pohybů skalních bloků v propadání Bílé vody, diplomová práce, VUT v Brně, 2012

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Prostudujte práce (Nezvalová 2012, Slováček 2016) týkající se zadané problematiky. Zaměřte body na skalních blocích v propadání Bílé vody u Holštejna ve dvou obdobích roku 2017. 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.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

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

ABSTRAKT

Předmětem diplomové práce je sledování posunů skalních bloků a balvanů nad propadáním potoka Bílá voda v blízkosti obce Holštejn v oblasti Moravského krasu. Cílem práce je zaměření etapy č. 21 a etapy č. 22 v roce 2017. Práce navazuje na výsledky získané v letech 2004-2015. Dosažené výsledky jsou vzájemně porovnávány a analyzovány vůči výsledkům získaných z dřívějších etap. Výsledky jsou vyjádřeny číselně i graficky

KLÍČOVÁ SLOVA

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

ABSTRACT

The subject of the diploma thesis is monitoring of rocks blocks movements near sinking stream Bílá voda situated near the village Holštejn in Moravian Karst. The aim of thesis is to measure of the 21th stage and 22th stage in year 2017. The thesis follows on the results obtained in years 2004-2015. Achieved results are mutually compared and analysed towards the results of previous stages. The final results are shown numerically and graphically

KEYWORDS

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

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Martin Smolinka *Stanovení pohybů skalních bloků*. Brno, 2018. 56 s., 13 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 zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 5. 2018

Bc. Martin Smolinka
autor práce

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Vlastimilu Hanzlovi, CSc. Za cenné připomínky, trpělivost a odborné rady při zpracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Tereze Suchánkové za účast na všech měřických pracích a panu Ing. Radkovi Dohnalovi za vypůjčení všech měřických pomůcek.

OBSAH

1	Úvod.....	9
2	Zájmová lokalita	10
2.1	Chráněná krajinná oblast Moravský Kras.....	10
2.2	Přírodní rezervace Bílá voda.....	12
2.2.1	Holštejnské údolí	13
2.2.2	Potok Bílá voda.....	13
2.3	Nová a stará Rasovna.....	13
2.3	Skalní bloky	14
2.4	Svahové pohyby.....	16
3	Měření posunů a přetvoření	18
3.1	Metody měření posunů.....	19
3.1.1	Metody měření svislých posunů	19
3.1.2	Měření vodorovných posunů	20
3.1.3	Měření prostorových posunů	21
3.2	Vyhodnocení posunů	21
3.2.1	Interval spolehlivosti.....	22
4	Měřické práce	23
4.1	Volba metody.....	24
4.2	Použité přístroje a pomůcky	25
4.3	Etapa č.21.....	26
4.4	Etapa č. 22.....	29
5	Zpracování naměřených dat.....	30
5.1	Výpočetní software G-NET	30
5.2	Dosažené výsledky	32
5.2.1	Střední chyby souřadnic.....	32
5.2.2	Elipsy středních chyb.....	33
6	Porovnání etap a posouzení posunů.....	35
6.1	Posouzení posunů	35
6.2	Porovnání etap č. 21 a 22.....	36
6.3	Porovnání etap č. 20 a 21	37
6.3	Posouzení posunů vůči nulté etapě	38
6.4	Porovnání všech etap s nultou etapou.....	41
7	Závěr	49
	Bibliografie	50

Seznam použitých zkratk	52
Seznam obrázků	53
Seznam tabulek	53
Seznam Grafů	54
Seznam příloh	55
Vázané přílohy	55
Elektronické přílohy	55

1 ÚVOD

Zájmová lokalita diplomové práce se nachází v Chráněné krajinné oblasti Moravský kras, která je dlouhodobě postižena sesuvy a řícením skalních bloků. V roce 1965 došlo ke zřícení skalního bloku nad ponorem potoka Bílá voda. Během měření studenty ústavu geodézie vykonaných v roce 2002 a 2004 vyšlo najevo, že skalní bloky v okolí propadání Nová rasovna vykazují změnu polohy. Největší blok, na kterém je umístěn bod č. 33, se pohybuje vůči bodu č. 39, který je umístěn nejdále od místa ponoru potoku Bílá voda. Toto zjištění dalo podnět ke sledování pohybů skalních bloků v dané lokalitě. V roce 2004 bylo vytvořeno bodové pole, které bylo doplněno novými body v roce 2009.

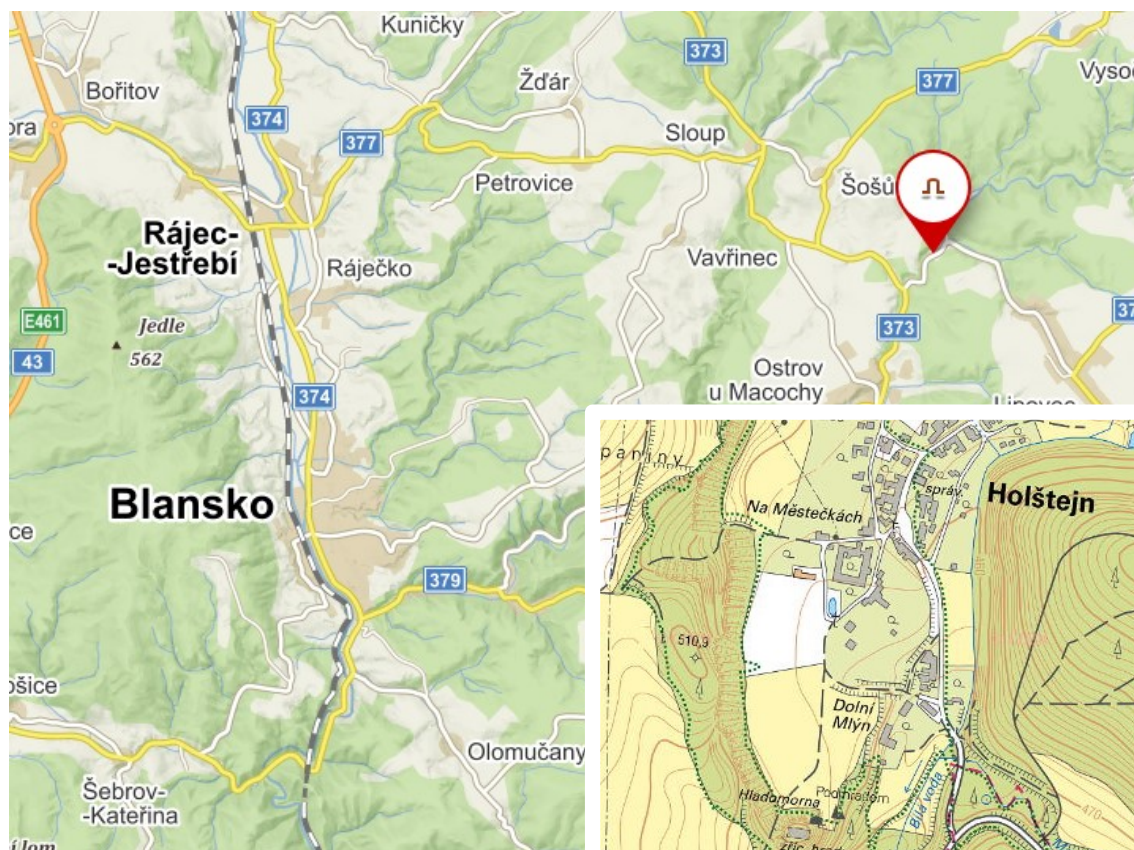
Diplomová práce se zabývá měřením etap číslo 21 a 22 a porovnáním s předešlou etapou a nultou etapou. Nultá etapa byla změřena v roce 2004 doc. Hanzlem. Cílem práce je vyhodnocení a porovnání rozdílů souřadnic pozorovaných bodů s předešlou etapou a nultou etapou.

Výpočet byl proveden v programu G-net. Analýza porovnání rozdílů souřadnic na pozorovaných bodech byla provedena v softwaru Microsoft Excel, kde byly také vygenerovány grafy posunů. Grafické znázornění příloh bylo provedeno v softwaru Microstation.

K vypracování této diplomové práce byly prostudovány předchozí diplomové a bakalářské práce od studentů: Slováček, Pončíková a Nezvalová.

2 ZÁJMOVÁ LOKALITA

Zájmová lokalita se nachází přibližně 25 km severo-východně od Brna v Chráněné krajinné oblasti Moravský kras, přibližně 0,5km jižně od obce Holštejn. Předmětem této diplomové práce je měření balvanů a skalních bloků před propadáním potoku Bílá voda. Místo je také označováno jako Nová Rasovna, podle jeskyně, do které se potok propadá. Lokalita náleží katastrálnímu území Holštejn.



Obrázek 1 mapa zájmové lokality
[zdroj: www.mapy.cz]

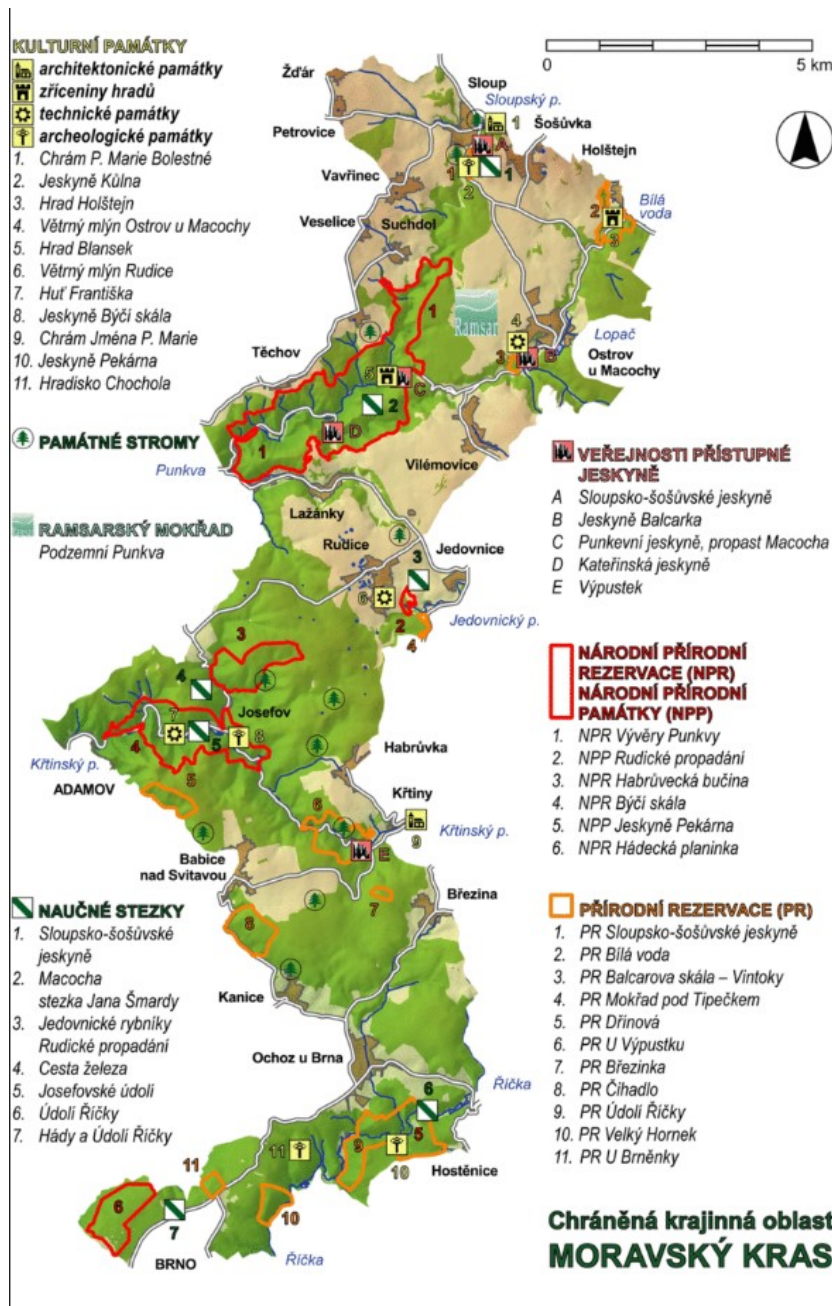
Obrázek 2 ortofotosnímek lokality
[Zdroj: www.cuzk.cz]

2.1 Chráněná krajinná oblast Moravský Kras

Moravský kras je nejrozsáhlejším a nejvíce zkrasovělým územím České republiky. Ráz zdejší krajiny je dán plošinami s množstvím závrťů, které oddělují hluboké kaňonovité žleby. Většina vod, které přitékají z nekrasové části Dražanské vrchoviny,

mizí na hranicích vápenců v ponorech do podzemí, kde se během dlouhého geologického vývoje vytvořily složité jeskynní labyrinty. Severní část Moravského krasu je odvodňována říčkou Punkvou a jejími zdrojnicemi. Nachází se zde jeskynní systém

Amatérské jeskyně, který s navazujícími jeskyněmi měří téměř 35 km, což jej řadí k nejrozsáhlejším jeskynním systémům ve střední Evropě. Na území Moravského krasu je dnes evidováno přes 1 100 jeskyní. Unikátní příroda i výjimečné kulturní a historické památky byly důvodem, proč byl Moravský kras již v roce 1956 vyhlášen chráněnou krajinnou oblastí (je to druhá nejstarší CHKO v České republice). Rozloha chráněného území je 92 km². Cennost území se projevila ve vysokém



Obrázek 3 CHKO moravský kras [3]

zastoupení nejpřísněji chráněných lokalit. I. zóna ochrany zaujímá 17 % rozlohy chráněné oblasti a zahrnuje 17 přírodních rezervací a památek. Hodnotu území zdůraznilo zařazení podzemního systému Punkvy v roce 2004 mezi mezinárodně významné lokality Ramsarské úmluvy. Téměř polovina území chráněné oblasti byla začleněna do soustavy Natura 2000. [1] [2]

2.2 Přírodní rezervace Bílá voda

Přírodní rezervace chrání geomorfologicky cenné krasové území se starými nebo aktivními ponory potoka Bílá voda. Bílá voda zde po vtoku do podzemí jeskyně Nová Rasovna začíná svoji trasu jednou ze dvou větví rozsáhlého jeskynního systému Amatérské jeskyně (celkem 40 km chodeb), aby se někde pod Ostrovskou plošinou už mimo rezervaci po spojení s druhou větví systému protékala Sloupským potokem od Sloupu zrodila jediná jeskynní chodba vytvořená řekou Punkvou mířící k Macošce.

Do systému Amatérské jeskyně řadíme postupně po podzemním proudu Bílé vody dílčí jeskyně Nová Rasovna, Stará Rasovna, Piková Dáma, Spirálka a 13C. Jeskyně Holštejnská a Lidomorna představují paleoponory (staré, nyní neaktivní ponory Bílé vody, většinou i zcela ucpané sedimenty). Velmi zajímavá situace nastává za jarních povodních při dešti a rychlém tání sněhu. Ponory Nové a Staré Rasovny nestačí odvádět vodu potoka do podzemí a v údolí se tvoří povodňové jezero se dvěma stěnami, které přehrazují údolí Bílé vody. První stěna před Novou Rasovnou je vysoká asi 4 m a po jejím přetečení zabráni povrchovému odtoku Bílé vody stěna druhá ve Staré Rasovně. Ta je výrazně vyšší a povodňové jezero se raději rozlije do luk u Holštejna, než aby překonalo stěnu u Staré Rasovny. Zde však údolí Bílé vody pokračuje ve výšce dál jako mělké údolí k Ostrovu a údolí u Staré Rasovny nazýváme poloslepé údolí. Typické, zcela slepé uzavřené dál nepokračující údolí je údolí Rudického propadání.

Ve vyšším pokračování údolí Bílé vody najdeme několik velkých závrťů, které lze charakterizovat jako říčené závrty. Zejména Wankelův závrť a u jeskyně Spirálka Bárkův závrť.

Údolní zářez Nové Rasovny do levého údolního svahu Bílé vody představuje velmi krátké slepé údolí, kde Bílá voda tzv. říčním pirátstvím přebrala minimálně část, ne-li celou jeskyni Nová Rasovna Lipoveckému potoku. Lipovecký potok vytvořil svoje chodby Nové Rasovny příliš blízko údolnímu svahu Bílé vody, a ta si do jeho chodeb vyhlodala odtokové cesty zřejmě při zaplavení údolí povodňovým jezerem a postupně Novou Rasovnu převzala jako svoji dnes hlavní odtokovou jeskyni.

Přírodní rezervace chrání také paleontologická naleziště a jeskynní, skalní a lesní společenstva vázaná na specifické prostředí devonských vápenců. [4]

2.2.1 Holštejnské údolí

Holštejnské údolí je údolí u Holštejna, kde Bílá voda vstupuje na vápence. Údolí se zde značně rozšiřuje a je uzavřeno slepou stěnou. K vytvoření tohoto slepého údolí došlo ke konci mladších třetihor. Bílá voda si v údolí vytvořila postupně dvě propadání, a to Starou Rasovnu a Novou Rasovnu. Svou funkci zřejmě mělo i tzv. Podhradní propadání, někdy nazývané Malá Rasovna. Před Holštejnem je údolí Bílé vody poměrně široké a vyplněné loukami.

Z pohledu krasového zkoumání je Holštejnské údolí zajímavé místo, které bylo osídleno již za středověku, kdy zde byl na skále vybudován hrad Holštejn, pod nímž se rozprostíralo středověké městečko. Po zániku hradu i městečka fungoval v těchto místech mlýn a roku 1791 zde byla založena obec Holštejn.

V Holštejnském údolí se nachází několik jeskyní: Holštejnská jeskyně, Jeskyně Hladomorna, Stará Rasovna, Nová Rasovna, Spirálka, Piková dáma, Třináctka, Michálka a další. Je zde také několik závrťů, z nichž je nejznámější Wankelův závrť. [5]

2.2.2 Potok Bílá voda

Pramení na jihozápad od Protivanova v nadmořské výšce 638 m, protéká přes vesnice Nivu, Otinoves, Rozstání, Baldovec a Holštejn k propadání Nová Rasovna, kde se po 20 km ztrácí pod zem. Vody potoka dále protékají skrze jeskyně Pikovou dámu, Spirálku a Třináctku do Amatérské jeskyně, kde se stékají se Sloupským potokem a společně vytvářejí říčku Punkvu. [6]

2.3 Nová a stará Rasovna

Nová a Stará Rasovna jsou místa, v nichž potok Bílá voda mizí v hlubinách země a jsou součástí tajemného světa podzemí CHKO Moravský kras.

Původní ponor potoka Bílá voda Stará rasovna je dnes již suchý a potok se do tohoto systému vlévá jen při povodních, kdy ponor Nová rasovna nestačí pobrat všechnu vodu. Zajímavostí je, že se ponor nachází při vstupu do nepřístupné ledové jeskyně v Moravském krasu a teplota se zde může pohybovat až okolo bodu mrazu.

V letních měsících může být i tento propad vyschlý, protože voda stačí proniknout do hlubin ještě před tímto propadem štěrbinami ve skále. [7]

2.3 Skalní bloky

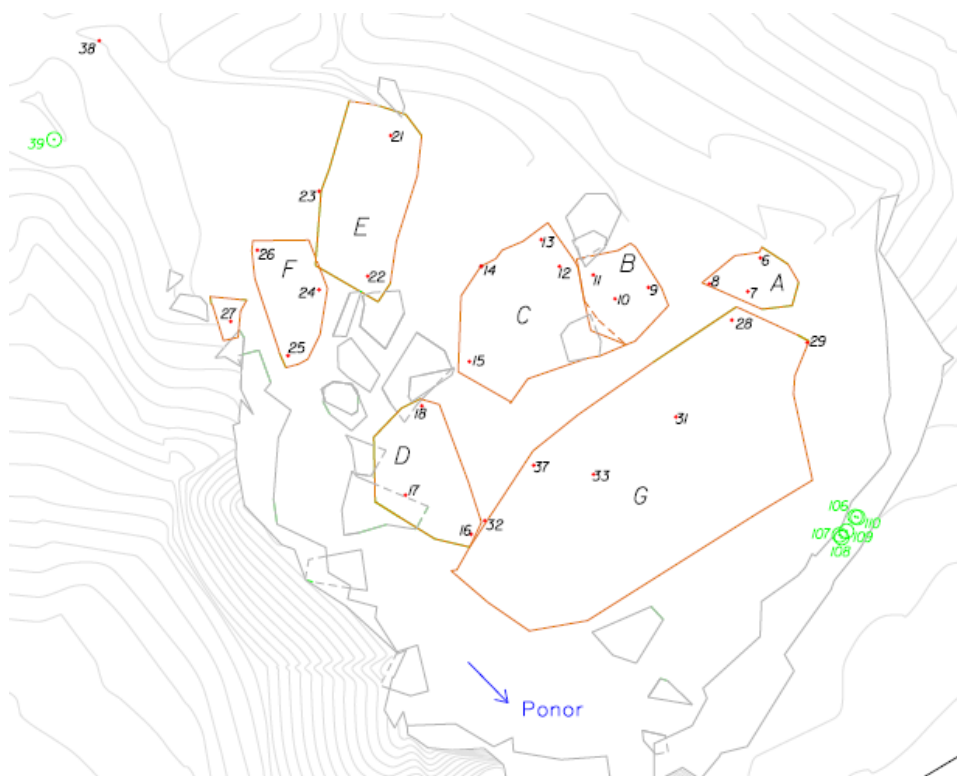
Silnice III/3783 vedoucí z Ostrova u Macochy do Holštejna a Lipovce byla v předchozích letech namáhána dopravou nadměrných nákladů z přilehlého lomu. V roce 1965 došlo k náhlému zřícení části stěny nad ponorem vodního toku Bílá voda. Posuny zřízených skalních bloků a balvanů jsou předmětem této práce. [8]

Pro lepší orientaci mají skalní bloky a balvany specifická označení. Jsou označeny písmeny A, B, C, D, E, F. Na těchto blocích jsou osazeny železné nebo mosazné čepy s vývrtem a jsou očíslovány. Výjimku tvoří bod č. 33, který je stabilizován železným nýtem.

Od roku 2004, kdy byla provedena doc. Hanzlem nultá etapa, se každý rok měří geodetickými metodami posuny bodů. Měření je prováděno ve dvou etapách a to na přelomu jara a léta a léta a podzimu. Vlivem neustálého pracování terénu i skalních bloků došlo v minulosti k zamezení přístupu na některé pozorované body a tím bylo jejich sledování ukončeno. Jedná se o body č.: 19, 20, 30, 34, 35, 36. V etapě číslo 20, na kterou jsem navazoval, byly změřeny body č.: 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 37, 38. Všechny body jsem našel a byly zaměřeny v etapě č. 21 i v etapě č. 22. Navíc byl změřen bod 14, který předchází měřič nenalezl.

Měření je navázáno na referenční body, které jsou umístěny ve skalní stěně nad propadáním, mimo sledované skalní bloky a balvany. Jedná se o body s označením 106, 107, 108, 109 a 110. Dále je využíván referenční bod č. 39, který je umístěn na pravém břehu potoka na stabilní skále a byl zde stabilizován pro speleologická měření.

Rozmístění skalních bloků a balvanů, pozorovaných a referenčních bodů je patrné z přílohy č. 1 *Rozmístění skalních bloků a balvanů*.



Obrázek 4 Rozmístění skalních bloků a balvanů [autor]



Obrázek 5 Referenční body na skalní stěně [9]

2.4 Svahové pohyby

Svahové pohyby vznikají v důsledku účinků gravitace, která působí na svahový materiál. Tento materiál můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin, a to skalní podloží a zvětralinový plášť (*regolit*). Skalní podloží představuje podložní horninu, která může být sice narušená přítomností různých trhlin a puklin, ale jinak se chová jako kompaktní masa, jejíž pevnost není ovlivněna např. obsahem vody. Regolit je vrstvou všech zvětralin, které spočívají na horninovém podkladu, zahrnuje tedy půdu a ostatní materiál v různém stádiu zvětrávání. Oproti skalnímu podloží chybí u regolitu kompaktnost. Zvětralininy mohou být rovněž velice oslabeny při saturaci vodou. Většina svahů se samozřejmě skládá s obou typů materiálů a právě jejich poměr pak určuje důležité charakteristiky svahových procesů.

Velká rozrůzněnost sesuvných jevů poskytuje mnoho kritérií pro jejich klasifikaci. Mohou být tříděny podle způsobu a rychlosti pohybu, podle tvaru smykové plochy, podle druhu sesouvajícího se materiálu atp. Zažitou klasifikací v našich podmínkách je dělení svahových pohybů podle mechanismu a rychlosti pohybu. Vymezují se základní čtyři typy [10]:

Ploužení - zahrnuje širokou škálu pomalých pohybů od slézání svahových sutí až k dlouhodobým gravitačním deformacím horských svahů. Projevuje se řádově v cm za rok. Ploužení je vyvoláno řadou jevů ve zvětralinách: střídavé zamokřování a vysušování, růst jehlového ledu, zahřívání a ochlazování, působení živočichů nebo zemětřesené pohyby. Všechny tyto jevy způsobují tzv. vzdouvání.

Tečení - představuje svahový pohyb, při které dochází ke stékání materiálu po svahu, nejvíce v podobě proudu, a to v důsledku nasycení svahovin vodou; při tečení dochází k turbulentnímu proudění částic; zpravidla se jedná o rychlý pohyb. Tečení se podle druhu materiálu rozděluje na laviny, blokovo-bahenní proudy, zemní proudy a bahnotoky.

Sesouvání - představuje pohyb svahových hmot podél smykové plochy, částice se pohybují v bloku jako jeden celek. Sesuvy se dělí podle tvaru smykové plochy na laterální (rovná smyková plocha) a rotační (konkávně prohnutá smyková plocha). Sesuvy se morfologicky dělí na smykovou plochu, odlučnou hranu, sesuvnou akumulaci

a čelo. Mělké sesuvy postihují pouze svahoviny (hloubka 2–3 m), hluboké sesuvy postihují i skalní podloží.

Řícení - představuje svahový pohyb, při kterém dochází k volnému pádu úlomku horniny bez kontaktu s terénem. Nejvíce se odehrává na skalních stěnách vysokých horských svahů (tzv. skalní řícení). Suťová lavina se podobá blokovo-bahennímu proudu, ale není saturovaná vodou. [11]

V roce 1994 byl proveden prvotní inženýrsko-geologický průzkum a geotechnické zhodnocení v okolí silnice III/3783 nad propadáním Nová Rasovna pracovníky ÚG VUT v Brně. Průzkum měl za úkol zhodnotit území z hlediska stability. Bylo zjištěno, že stabilita [8]:

- Svahů nad i pod silnicí je trvale snižována dešťovou a potoční erozí
- Skalních stěn pod propadáním je snižována mrazovým zvětráváním a odpadáváním bloků, které vede k náhlým katastrofálním zřícením stěn
- Území nad i pod silnicí je ohrožováno krasovými jevy, a to ponorným tokem a jeho účinky

Z naměřených dat jednotlivých etap byl vypočítán větší pokles bodů v místě silnice nad propadáním Nová Rasovna. Proto byl v tomto místě z bezpečnostních důvodů umístěn provizorní most, který byl položen na stávající komunikaci.



Obrázek 6 Provizorní most nad propadáním [12]



Obrázek 7 Nový most nad propadáním [13]

V roce 2014 byl provizorní most svržen a nahrazen novým, který je ukotven ve skalním masivu mimo řícení skalních bloků. Z toho důvodu bylo etapové měření v roce 2014 přerušeno a pokračovalo v roce 2015, na které tato práce navazuje.

3 MĚŘENÍ POSUNŮ A PŘETVOŘENÍ

Stavební nebo např. přírodní objekty mohou v důsledku působení vnějších vlivů vykazovat nestabilitu prostorové polohy. Mezi vnější vlivy můžeme řadit: zatížení základové půdy, kolísání hladiny spodní vody, seismickou činnost, poddolování, dynamické provozní účinky a jiné. Pokud se objekt pohybuje jako celek, mluvíme o posunu, pokud se mění jeho tvar, jedná se o přetvoření, nebo dochází ke kombinaci obou jevů. Takové změny jsou pro nás nežádoucí a je třeba změny a jejich časový vývoj určovat opakovaným měřením. Účelem měření posunů je získat informace o velikosti změn a rychlosti jejich vývoje.

V této práci se jedná o pohyb skalního bloku nebo balvanu jako celku, jedná se tedy o posun. Posun se určuje vzhledem k nulové poloze, což je poloha objektu v době jejího prvního měření, popř. k předešlému etapovému měření.

Velikost a směr posunů jednotlivých částí objektu se určuje pomocí měření vhodně osazených značek charakteristických bodů-pozorovaných bodů. Měření je připojeno na vztažné body, které jsou umístěny mimo sledované objekty. Při určování posunů se využívá etapové měření, tj. měření v takových intervalech, aby byl plynule zachycen průběh změn objektu včetně okolností, které je způsobily. U staveb je obvykle měřeno alespoň při nulovém, čtvrtinovém, polovičním, tříčtvrtinovém a plném zatížení základové spáry. V mém případě je měření prováděno každý rok. Z vyhodnocených měřených posunů získáme i míru přetvoření, kterou nejsme schopni určit přímým měřením. U etapového měření je třeba velmi pečlivě vykonat základní měření (nultou etapu), vzhledem k němuž se počítají hodnoty posunů a přetvoření v jednotlivých etapách. Zpravidla se toto měření vykonává s dvojnásobným počtem měřených veličin oproti běžné etapě. [14]

Posuny mohou být ve směru vertikálním nebo horizontálním. Pokud jsou změny v obou směrech, pak určujeme posuny prostorové, což je předmětem této práce.

Dle směru pohybu definujeme tyto posuny:

- Sedání, zdvih-svislý posun směrem dolů, nahoru
- Průhyb-přetvoření ve svislém směru
- Náklon-odchýlení od svislice

- Pootočení-otáčení kolem osy v obecné poloze

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. [14]

3.1 Metody měření posunů

Metody měření posunů a přetvoření můžeme rozdělit na geodetické a fyzikální. Geodetické metody představují jedny z nejnáročnějších aplikací klasických a moderních měřických postupů s ohledem na požadovanou vysokou přesnost a spolehlivost výsledků. [14]

3.1.1 Metody měření svislých posunů

Měřením vertikálního posunu zjišťujeme svislou složku posunu a je možné ji uskutečnit metodou geometrické nivelace, hydrostatické nivelace, trigonometrickým měřením výšek nebo fotogrammetricky. Méně vhodné je použití GNSS metod pro jejich nižší vertikální přesnost. [14]

- Geometrická nivelace - nejčastěji používaná metoda měření svislých posunů ve variantně velmi přesné nebo přesné nivelace. Je třeba striktně dodržovat technologický postup měření. Pro zvýšení přesnosti je nejlepší měřit nadbytečná měření, aby mohlo dojít k vyrovnání.
- Hydrostatická nivelace - je založena na principu spojených nádob. Nevýhodou metody je malý rozsah měřených převýšení. Metoda je zdlouhavá a vyžaduje zvláštní jednoúčelové přístrojové vybavení. Její výhodou je poměrně vysoká přesnost a použití v těžko přístupných prostorách. Využívá se například v reaktorových sálech v jaderných elektrárnách.
- Trigonometrické měření výšek - je založeno na opakovaném měření vodorovných vzdáleností a svislých úhlů z pevných stanovisek. Při tomto způsobu se předpokládá, že se nezměnily vzdálenosti ani převýšení stanoviště

a pozorovaného bodu mezi oběma etapami. Tento stav platí pouze tehdy, nejsou-li záměry příliš strmé.

- Fotogrammetrická metoda - má nespornou výhodu zachytit stav měřených objektů v jediném časovém okamžiku. Její nevýhodou je nižší dosahovaná přesnost, která klesá se vzdáleností objektu od místa fotografování a nutnost laboratorního zpracování snímků, tzn. Nemožnost poskytování výsledků v krátkém časovém odstupu.

3.1.2 Měření vodorovných posunů

Vodorovné posuny nejsou oproti svislým tak výrazné. Jejich příčiny bývají různé, často se jedná o působení změn hladiny podzemní vody, o vliv horizontálních tlaků vyvolaných sousedními objekty, působení větru, porušení stability podzemních vrstev apod. Měření vodorovných posunů můžeme uskutečnit metodou záměrné přímky, polygonovou metodou, přesnou trigonometrickou metodou nebo s využitím moderních GNSS metod. [14]

- Metoda záměrné přímky - je jednoduchá a poměrně přesná metoda měření horizontálních posunů, ale pouze ve směru kolmém k záměrné přímce. Principem je přímé nebo nepřímé určování příčných odchylek pozorovaných bodů vůči dané přímce stabilizované mimo sledovaný objekt. Určuje tedy pouze jednu složku horizontálního posunu.
- Polygonová metoda - určuje rovněž pouze jednu složku horizontálního posunu a to ve směru kolmém k danému oboustranně připojenému polygonovému pořadu. Polygonový pořad se volí kolmo na směr očekávaného posunu bodů a měl by být přímý a rovnostranný.
- Metoda trigonometrická - principem je protínání ze směrů, které jsou orientovány vzhledem k místní účelové geodetické síti. Tato metoda poskytuje plnou informaci o velikosti směru a posunu. Posuny se určují jako rozdíly z vypočtených souřadnic mezi jednotlivými etapami.
- GNSS metody - tyto metody mají výhodu v možnosti instalovat dlouhodobě měřicí aparatury, které nepotřebují lidskou obsluhu. V současnosti se

maximální horizontální přesnost u statické metody pohybuje v rozmezí 1-3 mm.

3.1.3 Měření prostorových posunů

V některých případech je třeba stanovit jak vodorovné, tak svislé posuny. Lze využít kombinace některých z výše uvedených metod nebo metod, které umožňují prostorové určení souřadnic. Můžeme použít prostorovou polární metodu, metodu protínání z úhlů, laserové skenování, trigonometrickou metodu, GNSS metodu apod. [15]

- Metoda protínání z úhlů a trigonometrická metoda je u prostorového určení souřadnic doplněna o měření zenitových úhlů.
- Laserové skenování - metoda je založena na prostorové polární metodě a na využití měření bezhranolového dálkoměru. Výsledkem skenování je mračno bodů v prostorovém souřadnicovém systému. Přesnost závisí na přesnosti skeneru a na vlastnostech skenovaného objektu.
- Prostorová polární metoda - princip metody je měření šikmé vzdálenosti, horizontálního a vertikálního úhlu.
- GNSS metoda - metoda umožňuje prostorové určení bodu, ale jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1.2, její vertikální přesnost není pro tato měření příliš vhodná.

3.2 Vyhodnocení posunů

Posun je výsledkem rozdílů dvou etap. Při malých hodnotách zjištěných posunů je někdy problematické rozhodnout, zda nastal posun nebo jestli jsou naměřené hodnoty pouze produktem měřických chyb. Zde se často uplatňuje statistické testování pomocí intervalů spolehlivosti podle následujících vztahů: [14]

$$\Delta X < m_{\Delta X} \quad \dots \text{posun nenastal} \quad (3.1)$$

$$m_{\Delta X} \leq \Delta X \leq \delta_{\Delta X} \quad \dots \text{posun mohl nastat, ale nebyl prokázán} \quad (3.2)$$

$$\Delta X > \delta_{\Delta X} \quad \dots \text{posun nastal se zvolenou pravděpodobností} \quad (3.3)$$

Kde: ΔX je naměřený posun

$m_{\Delta X}$ je úplná střední chyba naměřeného posunu a její vztah vychází ze zákona

$$\text{hromadění středních chyb: } m_{\Delta X} = \sqrt{m_{X(i)}^2 + m_{X(i-1)}^2} \quad (3.4)$$

$\delta_{\Delta X}$ je mezní hodnota odchylky, pokud je překročena, mluvíme o posunu a je dána

$$\text{vztahem: } \delta_{\Delta X} = t * m_{\Delta X} \quad (3.5)$$

kde t je součinitel konfidence a bude popsán v následující kapitole.

3.2.1 Interval spolehlivosti

Je okolí naměřené hodnoty (popřípadě okolí vypočtené hodnoty), které se zvolenou pravděpodobností (rizikem) obsahuje hodnotu dané veličiny. Vyjadřuje se v násobcích součinitele konfidence a základní střední chyby.

Součinitel konfidence je faktor, jímž se volí šířka konfidenčního intervalu vzhledem ke zvolenému riziku. Označuje se t a volí se obvykle v rozmezích 2-3. Volba hodnoty závisí na: možnosti vyloučení systematických chyb, uvažované metody měření, možnosti kontroly.

$t=2$... U jednoduchých a snadno kontrolovatelných vytyčení, kdy lze předpokládat zanedbatelné systematické chyby. Riziko nesplnění je 5%.

$t=2,5$... U složitějších vytyčení, délkových a jiných měření obtížněji kontrolovatelných. Riziko nesplnění je 1%.

$t=3$... Při nepříznivých podmínkách a obtížném vyloučení systematických chyb. Riziko nesplnění je 0,2%.

Základní střední chyba je dána předem volbou přístroje, volbou metody, okolnostmi měření. Prakticky je určena jako střední chyba z rozsáhlého souboru měření [16].

4 MĚŘICKÉ PRÁCE

Cílem této práce bylo navázání na předchozí dosažené výsledky a zaměřit další dvě etapy č.21 a 22. Sledování pohybu skalních bloků a balvanů v této lokalitě probíhá od roku 2004, kdy byla změřena nultá etapa. Bylo zaměřeno 26 pozorovaných bodů, které jsou stabilizovány měděnými nýty s vývrtem a dále byly změřeny body č.33 a č.39, které slouží pro speleologická měření a jsou stabilizovány železnými nýty. Bod 39 je využíván jako referenční bod spolu s body 106, 107, 108, 109 a 110, které jsou stabilizovány ve skalní stěně nad propadáním.

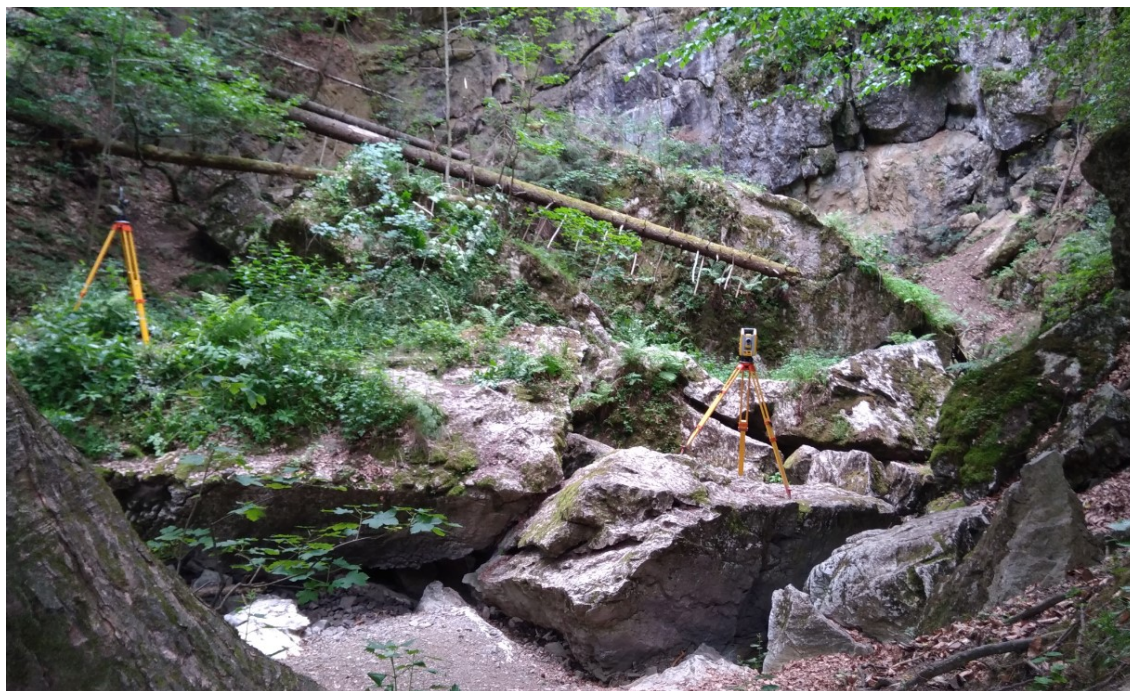
V níže uvedené tabulce je přehled dříve měřených etap.

Tabulka 1: Přehled etapových měření [9], [17]

Etap	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	doc. Hanzl	
9.	21.11.2008	doc. 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
14.	15.11.2011	Moštek	DP Moštek
15.	28.9.2011	Moštek	DP Moštek
16.	23.6.2012	Nezvalová	DP Nezvalová
17.	13.10.2012	Nezvalová	DP Nezvalová
18.	2.7.2013	Pončíková	DP Pončíková
19.	13.10.2013	Pončíková	DP Pončíková
20.	5.7.2015	Slováček	BP Slováček

4.1 Volba metody

Zájmové území, kde se bloky nacházejí, je poměrně malé. Jedná se o území o přibližné rozloze 600m² a výškovém převýšení okolo 8m. Lokalita je charakteristická členitým terénem, ve kterém se nachází značné množství přírodních překážek, jako jsou spadlé kmeny stromů nebo velké množství skalních bloků a úlomků, které značně snižují viditelnost mezi jednotlivými stanovisky i pozorovanými body. Vzhledem k relativně velké vlhkosti a kvůli zastínění lokality okolním vegetačním porostem je povrch skalních bloků a balvanů velmi kluzký, proto je třeba dbát zvýšené opatrnosti po jejich povrchu. Pohyb v terénu byl také komplikován značnými naplaveninami dřeva, štěrku a blátem mezi balvany. Všechny tyto faktory je třeba zohlednit při měření a při volbě polohy stanovišek měřické sítě.



Obrázek 8 Pohled na skalní bloky z bodu č. 39 [autor]

V prostoru před ponorem bylo tedy velmi obtížné se pohybovat. Pro určení prostorových souřadnic pozorovaných bodů stabilizovaných horizontálně byla zvolena metoda prostorové polární metody. U pozorovaných bodů stabilizovaných ve svislé poloze byla zvolena metoda prostorového protínání ze směrů.

4.2 Použité přístroje a pomůcky

K měření obou etap byla použita robotická totální stanice Trimble S5 a minihranol Leica. Ve 21. etapě byly použity další 2 stativy a 2 odrazné hranoly Trimble, digitální nivelační přístroj Trimble DiNi 0.3 a třímetrová invarová kódová lať Trimble. Ve 22. etapě byly použity 3 stativy a 3 odrazné hranoly Trimble. Další parametry vybavení jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tabulka 2: Technické parametry totální stanice [manuál]

Trimble S5	
dalekohled	
zvětšení	30x
minimální délka zaostření	1,5m
dosah měření délek	
hranolový mód	0,2-5500m
bezhranolový mód	1-600m
přesnost délkového měření	
hranolový mód	2+2ppm
bezhranolový mód	4+2ppm
úhlová přesnost	
přesnost směru ve 2 polohách dalekohledu	20 ^{cc}
výrobní číslo:	37010865

Tabulka 3: Technické parametry nivelačního přístroje [manuál]

Trimble Dini 0.3	
zvětšení dalekohledu	32x
střední kilometrová chyba	0,3mm
výrobní číslo DiNi	742066
výrobní číslo kódové invarové latě	68864

Před vlastním měřením bylo provedeno ověření přesnosti pomůcek. Byla provedena zkouška nivelačního přístroje (příloha č. 3), na odrazných hranolech byla provedena kontrola součtové konstanty (příloha č. 2), součtová konstanta minihranolu byla ověřena pásmem, u trojpodstavcových sestav byla zkontrolována výška hranolu.



Obrázek 9 Totální stanice
Trimble S5 [autor]



Obrázek 10
Minihranol Leica
[autor]



Obrázek 12 Nivelační přístroj Dini
0.3 [autor]



Obrázek 11
Nivelační lať
Trimble 3m
[18]

4.3 Etapa č.21

Etapa č. 21 byla změřena dne 25. 6. 2017. Celková doba měření byla přibližně 6 hodin. Klimatické podmínky během dne byly relativně stabilní, bylo polojasno, průměrná teplota kolem 20°C.

Před vlastním měřením byla provedena rekognoskace terénu, byly nalezeny a očištěny body od mechu a nánosů bláta. Během rekognoskace nebyly nalezeny body

č. 34, 35, 36. Tyto body nejsou měřeny už několik let, nachází se pod velkým množstvím naplavenin a jsou zavaleny nově vylomenými bloky. Navíc byl nalezen bod č. 14, který nebyl v minulé etapě dohledán.

Pro zaměření bodů byla zvolena měřická síť tvořena 6 přechodnými stanovisky. Přechodná stanoviska byla zvolena z toho důvodu, aby do měření nevstupovala chyba z centrace. Síť byla úhlově a délkově proměřena za využití trojpodstavcové soupravy a byla připojena na referenční body. Referenční bod č. 39 je stabilizován ve vodorovné poloze železným nýtem, byl měřen polární metodou. Body 106, 107, 108, 109 a 110 jsou stabilizovány ve svislé poloze ve stěně skalního masivu a byly měřeny pouze úhlově. Referenční body 106-110 už není možné pouhým okem dohledat. Byly signalizovány červeným sprejem, ale ten už není skoro vůbec patrný. K jejich dohledání jsem využil funkci robotické totální stanice. Do totální



Obrázek 13 Etapové měření č. 21 [autor]

stanice byly nahrány souřadnice bodů z předešlé etapy, aby měření mohlo být prováděno v souřadnicích. Vždy jsem se zorientoval na dva body a totální stanice vypočetla souřadnice volného stanoviska. Pomocí funkce otoč při měření mi totální stanice sama zacílila do blízkosti požadovaného bodu. Tím jsem mohl zaměřit referenční body ve stěně skalního masivu a výrazně mi to pomohlo při identifikaci všech pozorovaných bodů. Po ukončení měření byl exportován formát zápisníku měření, aby mohlo dojít k vyrovnání.

Jak již bylo řečeno dříve, pro měření pozorovaných bodů byla využita metoda prostorové polární metody. Pouze na body č. 32 a 37, které jsou stabilizovány vertikálně, je použita metoda prostorového protínání z úhlů. Pro měření prostorové polární metody byl využit minihranol Leica, který je výškově nastavitelný v rozmezí 5 až 50 cm. To mi usnadnilo práci, protože v blízkém okolí většiny pozorovaných bodů se nachází travní porost, nánosy dřevin apod. Kromě bodu č. 33 jsou všechny pozorované body měřeny minimálně ze dvou stanovisek, ten je zaměřen pouze ze stanoviska 4006.

Dne 6.7.2017 byly změřeny pozorované body metodou přesné nivelace za obdobných klimatických podmínek. Niveláčnická síť je tvořena dvěma pořady, oba začínají a končí na bodu č. 39. Prvním pořadem byly změřeny pozorované body na blocích ozn. D, E, F. Druhým niveláčnickým pořadem byly zaměřeny pozorované body na blocích ozn. A, C, G. U druhého pořadu musel být použit přestavový bod označený v zápisníku číslem 1000 resp. 1001. Většina bodů v obou pořadech je zaměřena bokem a to vždy dvakrát. Metoda přesné nivelace sloužila pouze k ověření měření totální stanicí. A to z důvodu náročného terénu, kde není možno dodržovat podmínky pro přesnou nivelaci, zejména stejné délky záměr. Porovnání obou metod je v příloze č. 12 Analýza posunů v záložce Porovnání etapy č. 21 s nivelací. Maximální odchylka je na pozorovaném bodu č. 18 a její velikost je 2,16 mm. Pozorované body jsou stabilizované měděnými nýty s vývrtem, značná část bodů je poškozena kladivem a v jejich blízkosti jsou malé skalní výstupky, které komplikují přiložení niveláčnické latě. Z těchto důvodů jsou odchylky na pozorovaných bodech označeny za dostačující. Přesnou nivelací nejsou změřeny body č. 32 a 37 a to z důvodu stabilizace ve svislé poloze a bod č. 29 kvůli příliš nebezpečnému pohybu s latí v jeho blízkosti.



*Obrázek 14 etapové měření č. 21 nivelace
[autor]*

Celkem v etapě č. 21 bylo změřeno totální stanicí 27 pozorovaných bodů a metodou přesné nivelace bylo změřeno 24 bodů. Zápisníky z měření jsou v příloze č. 4 *zápisníky měření z etapy č.21.*

4.4 Etapa č. 22

Etapa č. 22 byla zaměřena dne 8. 10. 2017. Celková délka měření byla přibližně 7 hodin. Průměrná teplota byla přibližně 10 °C, bylo zataženo. Oproti etapě č. 21 se výrazně změnili podmínky pro pohyb na skalních blocích. Řečiště potoka Bílá voda nebylo vyschlé, skalní bloky byly velmi kluzké, což pohyb po nich činilo nebezpečným. Měření proběhlo obdobně jako u etapy č. 21 s výjimkou toho, že bod č. 33 je zaměřen z více stanovisek, díky náhodně lepší volbě polohy pomocných bodů. Etapa č. 22 již nebyla kontrolně nivelována.

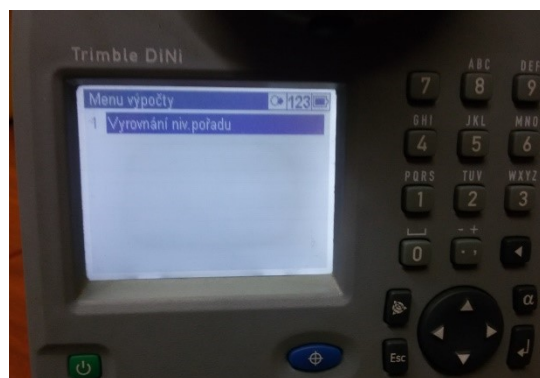


Obrázek 15 Etapové měření č. 22 [autor]

5 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Po měřických pracích následovalo zpracování naměřených dat. K výpočtu je možné použít výpočetní softwary jako např. Groma, Orpheus, DLL MNČ apod. Já jsem si pro výpočet a vyrovnaní zvolil výpočetní software G-NET.

Vyrovnaní nivelačního zápisníku proběhlo přímo v nivelačním přístroji a je uvedeno v příloze č. 7 *výpočetní protokoly z etapy č.21*.



Obrázek 16 uživatelské prostředí nivelačního přístroje [autor]

5.1 Výpočetní software G-NET

Software G-NET je výpočetní software, který umožňuje výpočet předběžných souřadnic bodů a jejich následné vyrovnaní metodou nejmenších čtverců. Program umožňuje upravování modelu vyrovnaní a podrobnější nastavení vah měřených veličin, což je na místě vzhledem k různě dlouhým záměrům. [19]

Před samotným vyrovnaním měřické sítě byl proveden předběžný výpočet všech měřických bodů. Vypočtené polohové odchylky byly posouzeny s mezní souřadnicovou chybou, která je dána jako dvojnásobek požadované střední souřadnicové chyby měření v síti. Takto bylo zjištěno, že v síti není obsažena žádná chyba, která by mohla mít negativní vliv na výsledek vyrovnaní nebo celého měření uvnitř sítě.

Referenční body byly zvoleny jako pevné a jejich souřadnice byly převzaty od absolventky Pončíkové [17]. Z referenčních bodů pak byly vypočteny přibližné souřadnice pozorovaných bodů za pomoci měřických veličin. Jako apriorní střední chyba délkového měření byla zvolena hodnota $3+2\text{ppm}$, která je od apriorní chyby dálkoměru po dohodě s vedoucím pohoršena a to na základě měření krátkých záměr, zhoršených světelných podmínek a na cíleném snížení vah ve vyrovnaní. Jako apriorní chyba směru

byla zvolena hodnota 46° , která byla určena z apriorní chyby přístroje, nejistoty centrace a cílení na průměrnou vzdálenost ze vzorce:

$$m_{směr}^2 = m_r^{II^2} + \left(\frac{m_e * \sqrt{2}}{s}\right)^2 \quad (5.2)$$

Kde: $m_{směr}$ - výsledná střední chyba směru

m_r^{II} - střední chyba směru ve 2 polohách dalekohledu

m_e - střední chyba centrace stanoviska a cíle

s - průměrná vzdálenost stanoviska a cíle

Apriorní střední chyba převýšení trigonometrickou metodou byla určena pomocí vzorce:

$$m_h^2 = m_{DZ3}^2 + \left(\frac{s * m_{zenit}}{\sin^2 z}\right)^2 \quad (5.3)$$

Kde: m_h - střední chyba převýšení

m_{zenit} - střední chyba měřeného zenitového úhlu

m_{DZ3} - střední chyba určení výšky stanoviska a cíle

s - délka záměry

z - zenitový úhel

Na základě vyhodnocení statistických testů bylo polohové i výškové vyrovnaní na hladině významnosti $\alpha=5\%$ považováno za vyhovující a jeho výsledky jsou obsaženy v přílohách 7 *výpočetní protokoly z etapy č. 21* a 8 *výpočetní protokoly z etapy č. 22*. [16]

DOS FOR DOSBox 0.74, Cpu speed: max 100% cycles, Frameskip 0, Program: GNETS1 - □ ×

G-NET/COMPLEX/U02.09 VÝPOČTY GEODETICKÝCH SÍTÍ (C) SHINE, C.S. Brno

Měřené veličiny [NIU1 1 : 1]

Veličina	ČB1	ČB2	ČB3	Hodnota	Chyba	Vzorec
Délka	4001	39		4.8432	0.00301	[1,11]
Směr	4001	39	ST0001	67.97235	0.004600	[1,11]
DZ	4001	39		0.5141	0.00117	[1,11];Delka=
Směr	4001	106	ST0001	335.38294	0.004600	[1,3]
DZ	4001	106		9.3459	0.00180	[1,3];Delka=3
Směr	4001	107	ST0001	337.15275	0.004600	[1,5]
DZ	4001	107		10.0708	0.00184	[1,5];Delka=3
Směr	4001	108	ST0001	337.24055	0.004600	[1,7]
DZ	4001	108		9.3941	0.00181	[1,7];Delka=3
Směr	4001	109	ST0001	336.60515	0.004600	[1,9]
DZ	4001	109		8.3131	0.00175	[1,9];Delka=3
Délka	4001	38		2.9638	0.00301	[1,13]
Směr	4001	38	ST0001	141.82180	0.004600	[1,13]
DZ	4001	38		-0.9527	0.00140	[1,13];Delka=
Délka	4001	21		10.0973	0.00302	[1,15]

Řádek:1 Sloupec:1 Počet řádků:325 Editovat-F5 F9-Kontrola [Uhlý: Grad]

F10-Menu F8-Tvorba protokolu F6-Třídění vět F4-Hromadný výp apr.stř.chyby
 Klávesou <Mezera>, "+", "-", nebo počátečním písmenem volte typ veličiny.
 Vložit <Shift-Insert>, Zrušit <Shift-Del>, Konec <Ctrl-Enter>, <PgDn>, <PgUp>

Obrázek 17 Uživatelské prostředí programu G-NET [autor]

5.2 Dosažené výsledky

Výsledkem vyrovnání jsou vyrovnané souřadnice a výšky všech bodů vstupujících do vyrovnání. Zároveň byly získány charakteristiky přesnosti ve formě středních chyb souřadnic a parametrů středních elips chyb. Výsledky jsou uvedeny ve výpočetních protokolech, které jsou součástí příloh č. 7 a 8.

5.2.1 Střední chyby souřadnic

Jak již bylo výše uvedeno, součástí výsledných výpočetních protokolů jsou střední chyby jednotlivých souřadnic m_x , m_y , m_z . Jedná se o charakteristiky přesnosti určení polohy body ve směru souřadnicových os. Z těchto středních chyb je možné spočítat střední souřadnicovou chybu $m_{x,y}$, která představuje charakteristiku přesnosti polohy daného bodu a je vypočítána ze vztahu:

$$m_{x,y}^2 = \frac{m_x^2 + m_y^2}{2} \quad (5.4)$$

V následující tabulce jsou uvedeny průměry středních chyb souřadnic na pozorovaných a pomocných měřických bodech z etap č. 21 a 22.

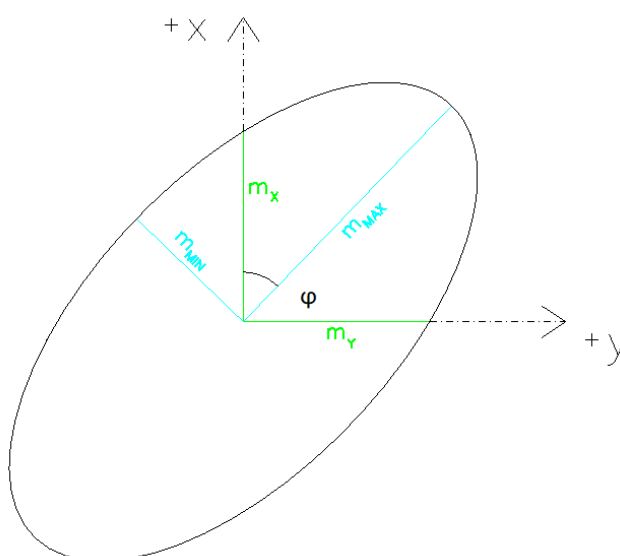
Tabulka 4: Střední chyby souřadnic pro měřené etapy

průměrné střední chyby na pozorovaných bodech [mm]				
etapa	m_y	m_x	m_z	$m_{x,y}$
č. 21	1,23	1,11	1,03	1,20
č. 22	0,91	0,60	0,46	0,77
průměrné střední chyby na pomocných měřických bodech [mm]				
etapa	m_y	m_x	m_z	$m_{x,y}$
č. 21	1,20	0,96	1,00	1,11
č. 22	0,96	0,59	0,47	0,80

Z tabulky je patrné, že hodnoty při porovnání jednotlivých středních chyb mezi etapami na pozorovaných i pomocných měřických bodech nevykazují příliš velké odchylky. Můžeme tedy konstatovat, že souřadnice obou etap jsou určeny s relativně stejnou přesností.

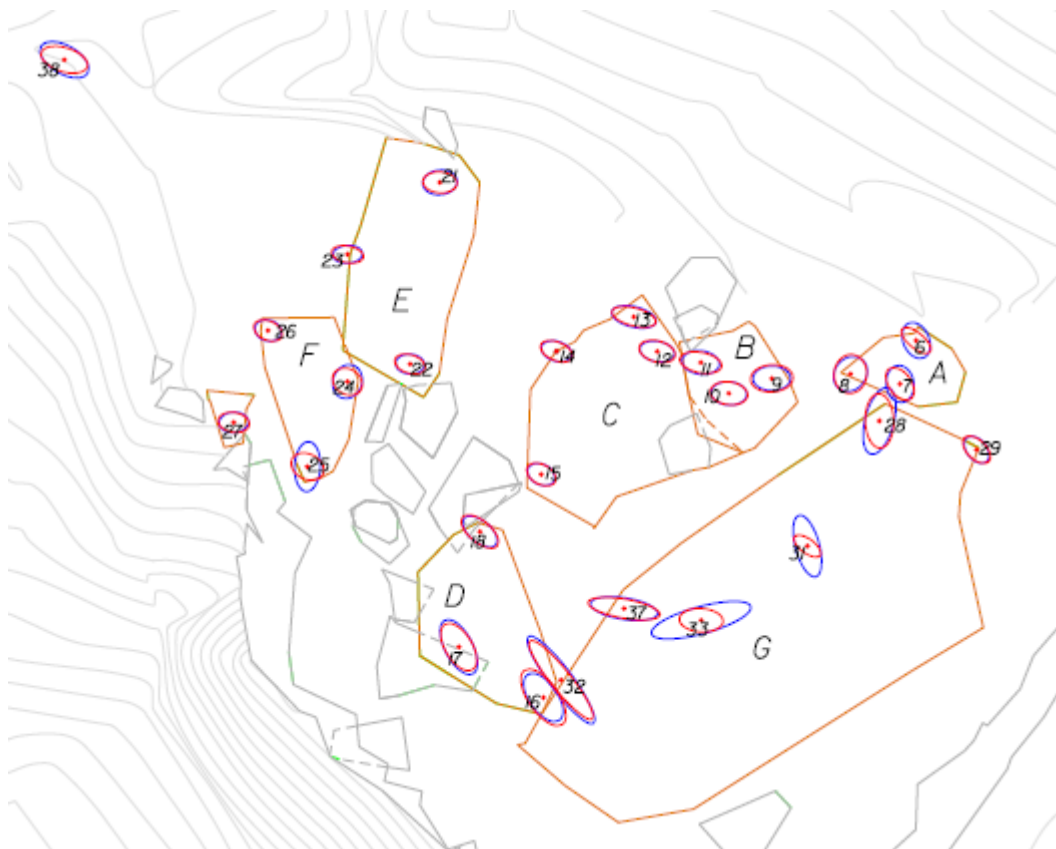
5.2.2 Elipsy středních chyb

Další charakteristikou přesnosti, kterou získáme z vyrovnání, jsou parametry elipsy středních chyb. Elipsa středních chyb nám poskytuje komplexní informace o polohové přesnosti bodu, zajišťuje nám dosaženou přesnost v určitém (kritickém) směru. Je dána velikostí poloos $m_{\max}$ a $m_{\min}$ a úhlem stočení směru hlavní polosy φ . Parametry elipsy středních chyb se vypočítají pomocí středních chyb jednotlivých souřadnic a kovariance m_{xy} , která charakterizuje stupeň vzájemné závislosti (korelace)



Obrázek 18 Elipsa středních chyb [autor]

mezi souřadnicemi x a y [16]. Výpočet parametrů elips středních chyb byl proveden pomocí využitého výpočetního softwaru a jejich hodnoty jsou uvedeny ve výpočetním protokolu. Tyto hodnoty jsou graficky znázorněny v příloze č. 11 *Střední elipsy chyb pozorovaných bodů*.



Obrázek 19 Střední elipsy chyb pro pozorované body [autor]

Na obrázku jsou znázorněny elipsy středních chyb pro obě měřené etapy. Etapa č. 21 je modrou barvou, etapa č. 22 je červenou barvou. Tvarem a velikostí se elipsy příliš neliší, výjimku tvoří body 31, 33 a 25. U přesnosti těchto bodů se projevila lepší konfigurace určení bodu z etapy č. 22.

6 POROVNÁNÍ ETAP A POSOUZENÍ POSUNŮ

6.1 Posouzení posunů

Výsledné souřadnice z etapového měření se porovnávají se základní (nultou) etapou a předešlou etapou. Nejprve bylo provedeno porovnání mezi mnou zaměřenými etapami, etapou č. 21 a 22. Dále následovalo posouzení etapy č. 20 (zaměřenou v roce 2015) s mou etapou č. 21. Nakonec bylo provedeno porovnání dosažených výsledků s nultou etapou. Hodnoty z předchozích let byly převzaty z bakalářské práce Jaroslava Slováčka z roku 2015 [9].

Nejprve jsem vypočítal výsledné posuny, což jsou souřadnicové rozdíly mezi dvěma etapami na pozorovaných bodech. Někdy je ale problém určit, zda se o posun jedná nebo zda jsou zjištěné posuny pouze produktem měřických chyb. Byla tedy určena střední chyba ze vztahu vycházejícího ze zákona hromadění chyb:

$$m_{\Delta x} = \sqrt{m_{x(i)}^2 + m_{x(i-1)}^2} \quad (6.1)$$

Dále jsem musel stanovit hodnotu mezního posunu. Hodnota mezního posunu je dána násobkem střední chyby rozdílu a součinitelem konfidence, který jsem zvolil 2,5. Tato hodnota byla stanovena z důvodu nepříliš vhodných podmínek při měření. Riziko nesplnění je 1%.

Zhodnocení je provedeno pro každý souřadnicový rozdíl pozorovaného bodu v porovnávaných etapách. Jestliže posun nastal, byla překročena mezní odchylka, je označen „ANO“, pokud nelze jednoznačně posun prokázat, jeho hodnota se nachází v intervalu mezi střední chybou rozdílu a mezní chybou posunu, je označen „MOŽNÁ“ a pokud mezní odchylka překročena nebyla, posun nenastal a je označen „NE“.

Tabulka 5: Posouzení posunů

$\Delta x < m_{\Delta x}$	NE	Posun nenastal
$m_{\Delta x} \leq \Delta x \leq \delta_{\Delta x}$	MOŽNÁ	posun nebyl jednoznačně prokázán
$\Delta x > \delta_{\Delta x}$	ANO	posun nastal s 99% pravděpodobností

6.2 Porovnání etap č. 21 a 22

Nejprve bylo provedeno zhodnocení dosažených výsledků mezi mnou zaměřenými etapami, etapou č. 21 (červen 2017) a etapou č. 22 (říjen 2017), jejichž zaměření bylo cílem této práce. Výsledný soubor je součástí přílohy č. 12 *Analýza posunů*. Níže je uvedena tabulka s dosaženými souřadnicovými rozdíly, středními chybami rozdílů a s hodnocením, zda došlo k posunu.

Tabulka 6: Porovnání etap č. 21 a 22

číslo bodu	blok	souřadnicové rozdíly			střední chyba rozdílů			posouzení posunu		
		ΔY [mm]	ΔX [mm]	ΔZ [mm]	$m\Delta y$ [mm]	$m\Delta x$ [mm]	$m\Delta z$ [mm]	posun v ose Y	posun v ose X	posun v ose Z
6	blok A	-2,00	2,20	-1,80	1,32	1,49	1,35	MOŽNÁ	MOŽNÁ	MOŽNÁ
7		-1,20	0,00	-1,70	1,29	1,51	1,43	NE	NE	MOŽNÁ
8		-2,90	-2,20	-4,40	1,53	1,55	1,61	MOŽNÁ	MOŽNÁ	ANO
9	blok B	-1,50	1,00	0,30	1,83	1,58	1,32	NE	NE	NE
10		1,20	-0,10	-0,90	1,68	1,43	1,14	NE	NE	NE
11		1,50	-1,90	-2,20	1,81	1,55	1,20	NE	MOŽNÁ	MOŽNÁ
12	blok C	-3,40	1,40	-7,30	1,62	1,35	1,20	MOŽNÁ	MOŽNÁ	ANO
13		-1,90	1,00	-3,30	2,02	1,58	1,17	NE	NE	ANO
14		-2,70	2,80	-2,20	1,44	1,24	1,17	MOŽNÁ	MOŽNÁ	MOŽNÁ
15		2,70	-0,30	-0,80	1,30	1,18	1,03	MOŽNÁ	NE	NE
16	blok D	0,40	2,00	0,10	1,94	2,14	1,34	NE	NE	NE
17		-0,40	-1,20	-1,60	1,67	2,12	1,27	NE	NE	MOŽNÁ
18		0,80	-1,10	-1,50	1,65	1,58	1,32	NE	NE	MOŽNÁ
21	blok E	-0,70	-3,70	-0,20	1,55	1,35	1,21	NE	ANO	NE
22		0,70	-4,00	-0,50	1,36	1,18	1,18	NE	ANO	NE
23		-1,00	-3,40	0,60	1,40	1,17	1,39	NE	ANO	NE
24	blok F	-0,90	4,40	2,50	1,36	1,46	1,44	NE	ANO	MOŽNÁ
25		1,10	-3,00	3,50	1,36	1,93	1,75	NE	MOŽNÁ	MOŽNÁ
26		2,90	-6,60	4,30	1,26	1,16	1,53	MOŽNÁ	ANO	ANO
27		-2,00	-2,10	-0,50	1,39	1,20	1,26	MOŽNÁ	MOŽNÁ	NE
28	blok G	-3,10	4,70	-4,80	1,41	2,34	2,22	MOŽNÁ	MOŽNÁ	MOŽNÁ
29		-1,30	0,20	1,10	1,20	1,26	2,54	MOŽNÁ	NE	NE
31		-0,20	0,20	-3,60	1,27	2,18	1,56	NE	NE	MOŽNÁ
32		2,40	1,90	1,20	3,02	3,54	1,05	NE	NE	MOŽNÁ
33		-3,60	-0,10	-1,20	3,52	1,85	2,55	MOŽNÁ	NE	NE
37		-1,30	1,30	0,00	3,18	2,45	1,51	NE	NE	NE
38		1,00	-2,00	1,10	2,18	1,90	1,16	NE	MOŽNÁ	NE

Posun v ose Y nenastal ani v jenom případě, posun v ose X nastal v 5 případech a posun v ose Z nastal ve 4 případech. Posun tedy nastal u 11% měřených souřadnic pozorovaných bodů a u 37% souřadnic nemůžeme posun vyloučit.

Mezi těmito etapami je velmi krátký časový posun a to zhruba 4 měsíce. Nejvýraznější pohyb byl zaznamenán na blocích E, F. Jsou to bloky, které se nacházejí přímo v řečišti Bílá voda.

6.3 Porovnání etap č. 20 a 21

Mezi mnou zaměřenými etapami je relativně krátké časové období. Z toho důvodu bylo provedeno porovnání s etapou č. 20, která byla zaměřena v červenci 2015. Mezi těmito etapami je časový rozestup přibližně 23 měsíců. Měření a zpracování etapy č. 20 bylo součástí bakalářské práce Jaroslava Slováčka z roku 2015 [9]. Výsledné rozdíly obou etap jsou uvedeny v tabulce na následující straně.

Body č. 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14 a 28 byly převzaty z etapy č. 19, viz kapitola 6.4 *Porovnání všech etap s nultou etapou*.

Díky většímu časovému rozestupu jsou rozdíly na pozorovaných souřadnicích výrazně větší. Z 81 porovnávaných souřadnic nastal posun u 45 souřadnic, tedy u 56%. U dalších 23% porovnávaných souřadnic nemůžeme posun vyloučit. V tomto časovém intervalu jsou zahrnuty dvě zimní a jarní období, kdy dochází k tání sněhu, které má na pohyb skalních bloků značný vliv.

Jako nejstabilnější se jeví bod č. 27, který se nachází na balvanu ležícím na pravém břehu vodního toku.

Tabulka 7: Porovnání etap č. 20 a 21

číslo bodu	souřadnicové rozdíly			střední chyba rozdílu			posouzení posunu		
	ΔY [mm]	ΔX [mm]	ΔZ [mm]	$m\Delta y$ [mm]	$m\Delta x$ [mm]	$m\Delta z$ [mm]	posun v ose Y	posun v ose X	posun v ose Z
6	-12,80	-10,50	11,60	1,48	1,28	1,24	ANO	ANO	ANO
7	-11,10	-3,10	11,70	1,46	1,37	1,20	ANO	MOŽNÁ	ANO
8	-7,40	-0,60	10,70	1,62	1,34	1,31	ANO	NE	ANO
9	-15,40	-3,90	12,60	1,74	1,50	1,05	ANO	ANO	ANO
10	-23,40	-1,20	13,90	1,75	1,39	1,10	ANO	NE	ANO
11	-25,40	-0,80	16,80	1,86	1,45	1,27	ANO	NE	ANO
12	-17,80	2,00	16,80	3,04	2,59	1,99	ANO	NE	ANO
13	-6,70	-0,70	10,80	4,85	2,46	2,02	MOŽNÁ	NE	ANO
14	-15,00	-2,00	19,30	1,56	1,29	1,09	ANO	MOŽNÁ	ANO
15	-5,00	-1,50	6,00	2,82	2,25	1,61	MOŽNÁ	NE	ANO
16	15,70	-2,40	32,10	3,50	5,56	3,19	ANO	NE	ANO
17	-6,30	5,40	8,90	2,99	2,72	2,29	MOŽNÁ	MOŽNÁ	ANO
18	-5,00	-1,70	8,70	2,67	2,35	1,61	MOŽNÁ	NE	ANO
21	-12,60	-3,30	7,10	2,52	2,78	1,88	ANO	MOŽNÁ	ANO
22	-7,90	3,40	7,20	2,30	2,25	1,50	ANO	MOŽNÁ	ANO
23	-5,70	1,50	12,20	2,24	2,51	1,70	ANO	NE	ANO
24	0,70	-4,80	6,50	3,01	3,99	3,03	NE	MOŽNÁ	MOŽNÁ
25	-0,80	0,30	6,90	2,22	2,78	3,04	NE	NE	MOŽNÁ
26	-2,60	-1,10	7,40	3,53	3,22	2,76	NE	NE	ANO
27	6,30	3,50	-0,60	3,06	2,28	1,86	MOŽNÁ	MOŽNÁ	NE
28	-20,10	-3,80	16,50	1,58	1,52	2,28	ANO	MOŽNÁ	ANO
29	-4,80	-11,40	-2,20	1,63	1,13	2,05	ANO	ANO	MOŽNÁ
31	-27,60	8,10	15,70	2,53	2,84	1,96	ANO	ANO	ANO
32	-9,30	0,90	10,60	2,75	2,62	2,04	ANO	NE	ANO
33	-27,90	5,40	16,90	3,98	3,60	2,75	ANO	MOŽNÁ	ANO
37	-11,60	0,90	9,10	2,65	2,41	4,44	ANO	NE	MOŽNÁ
38	-6,10	8,90	6,30	2,34	2,41	3,70	ANO	ANO	MOŽNÁ

6.3 Posouzení posunů vůči nulté etapě

Pro porovnání jednotlivých etap měření následovalo vyhodnocení vůči základní (nulté) etapě. Pro většinu bodů je nultá etapa stanovena na rok 2004, výjimku tvoří body č. 27, 32, 35, 37 a 38, které se začaly sledovat až v roce 2009. V následující tabulce jsou uvedeny rozdíly souřadnic pozorovaných bodů, které jsem získal porovnáním 21. etapy s nultou etapou. Průměrně dosahují rozdíly souřadnic nejvyšších hodnot v ose Z. Největšího posunu je dosaženo na bodě 25 (-320,7mm), naopak nejmenšího rozdílu v ose

Z je dosaženo na bodě 38 (-4,1mm). V horizontální složce pozorujeme největší posuny na bodech 22 (v ose Y 117,1 mm) a 24 (v ose X 143,5 mm). Nejmenší posuny v osách X a Y pozorujeme na bodech 27 (v ose Y -2,7 mm) a 38 (v ose X -4,1 mm).

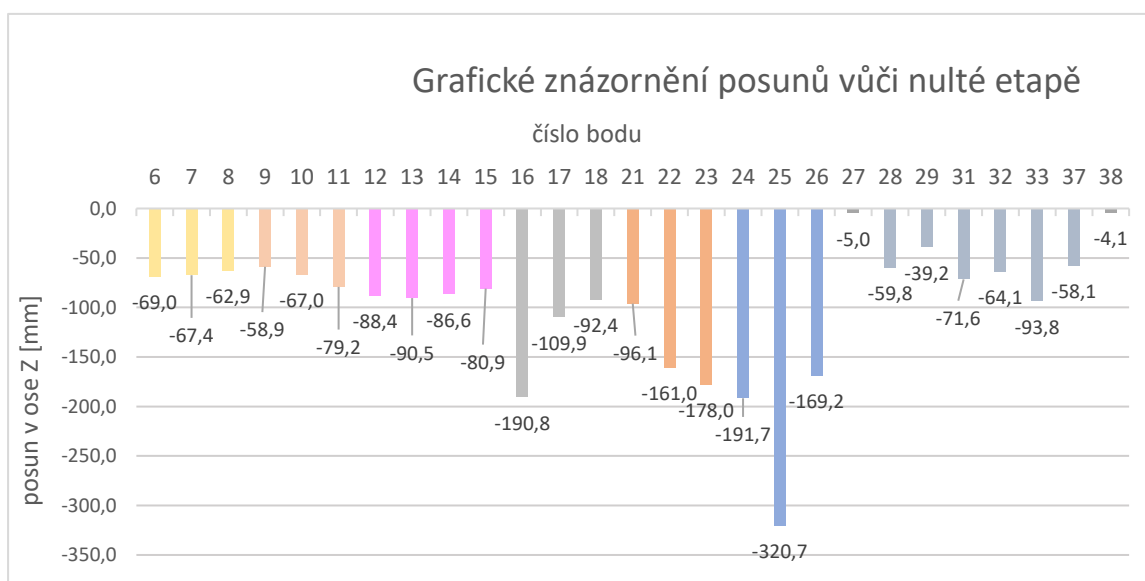
Tabulka 8: Porovnání etap z roku 2017 s nultou etapou

ČÍSLO BODU	blok	ΔY_{2017} [mm]	ΔX_{2017} [mm]	ΔZ_{2017} [mm]
6	blok A	20,1	64,0	-69,0
7		15,5	59,2	-67,4
8		16,0	63,5	-62,9
9	blok B	66,7	26,6	-58,9
10		77,5	18,4	-67,0
11		70,5	15,6	-79,2
12	blok C	45,1	21,3	-88,4
13		44,7	22,6	-90,5
14		45,7	29,9	-86,6
15	blok D	43,1	32,7	-80,9
16		-28,5	100,6	-190,8
17		47,2	57,7	-109,9
18	blok E	42,5	54,4	-92,4
21		101,0	45,3	-96,1
22		117,1	40,7	-161,0
23	blok F	83,3	25,4	-178,0
24		64,8	143,5	-191,7
25		38,8	133,2	-320,7
26	blok G	75,3	133,4	-169,2
27		-2,8	-8,2	-5,0
28		77,6	43,8	-59,8
29	blok H	68,9	48,8	-39,2
31		101,8	46,7	-71,6
32		40,8	31,4	-64,1
33	blok I	88,5	46,5	-93,8
37		42,5	25,6	-58,1
38		5,7	-4,1	-4,1

Poloha a hustota pozorovaných bodů je zvolena tak, aby na základě změn polohy pozorovaného bodu bylo možné určit posuny a přetvoření pozorovaného objektu jako celku. Aby bylo možné určit pohyb objektu jako celku, je nutné, aby na něm byly stabilizovány alespoň 3 body. V našem případě tuto minimální podmínku splňují bloky

A, B, D, E, F. Hrozí zde, že pokud dojde k zániku jednoho ze 3 bodů, nebude možné dále posuzovat blok jako celek.

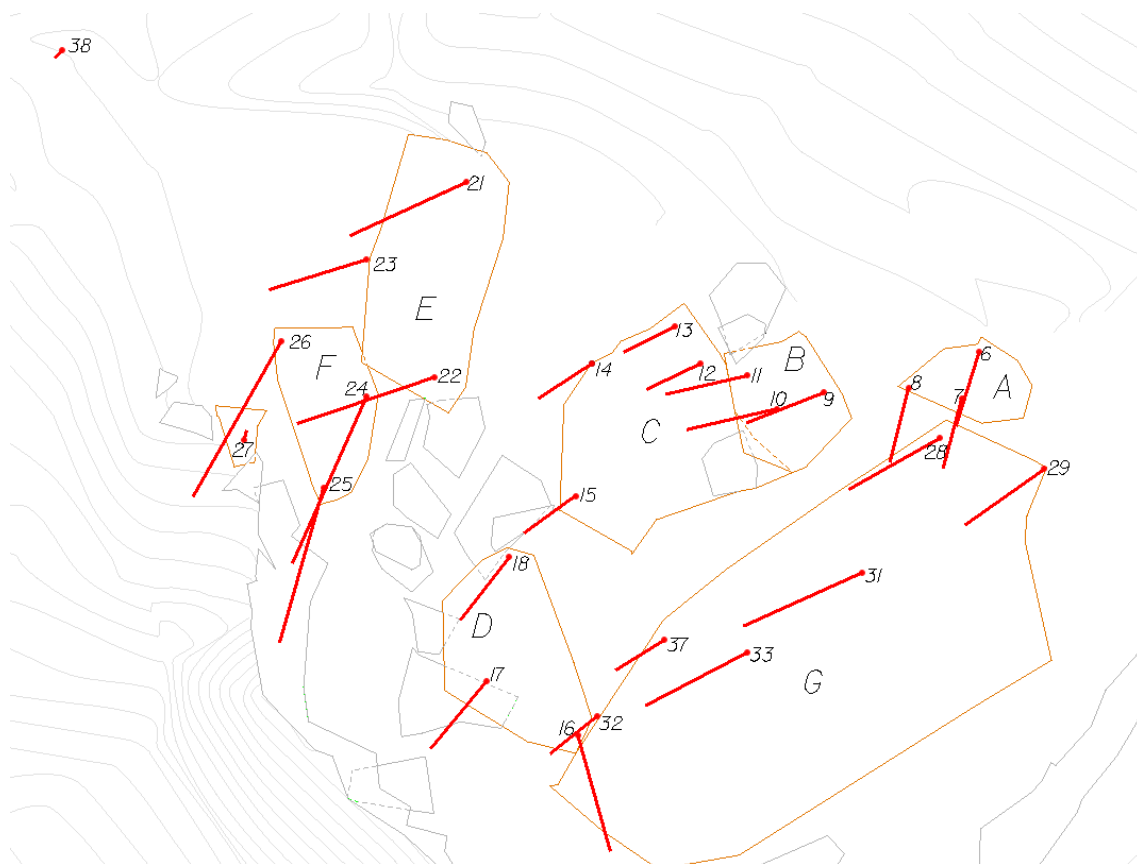
Jak již bylo zmíněno, z tabulek je patrné, že k největšímu posunu pozorovaných bodů dochází v ose Z. Znaménko „-“ znamená pokles a znaménko „+“ znamená zdvih. Z naměřených dat vyplývá, že u pozorovaných bodů dochází pouze k poklesu. Velikost rozdílů souřadnic pozorovaných bodů v ose Z je vyjádřena i graficky v příloze č.12 *Analýza posunů v záložce posun v ose Z.*



Graf 1 Znázornění posunů v ose Z vůči nulté etapě

Horizontální posuny nedosahují takových hodnot jako posuny vertikální. Většina pozorovaných bodů vykazuje kladné posuny a ubírá se směrem k jihozápadu. Výjimku tvoří body č. 16, 27 a 38. Bod č. 16 je, společně s body č. 17 a 18, stabilizován na bloku D. Ve složce Y vykazuje bod záporný posun (-28,5 mm) a ve složce X vykazuje kladný posun (100,6 mm). Body č. 17 a 18 vykazují v obou osách kladné posuny. Z horizontálních posunů na tomto bloku vyplývá, že dochází k jeho rotaci. To je pravděpodobně způsobeno tím, že je blok umístěn přímo v řečišti potoka. Body č. 27 a 38 jsou stabilizovány na menších samostatných balvanech v blízkosti řečiště, tudíž jejich poloha silně závisí na stavu vodního toku.

Grafické znázornění posunů v horizontální rovině je znázorněno v příloze č. 13 *Posuny v horizontální rovině.*



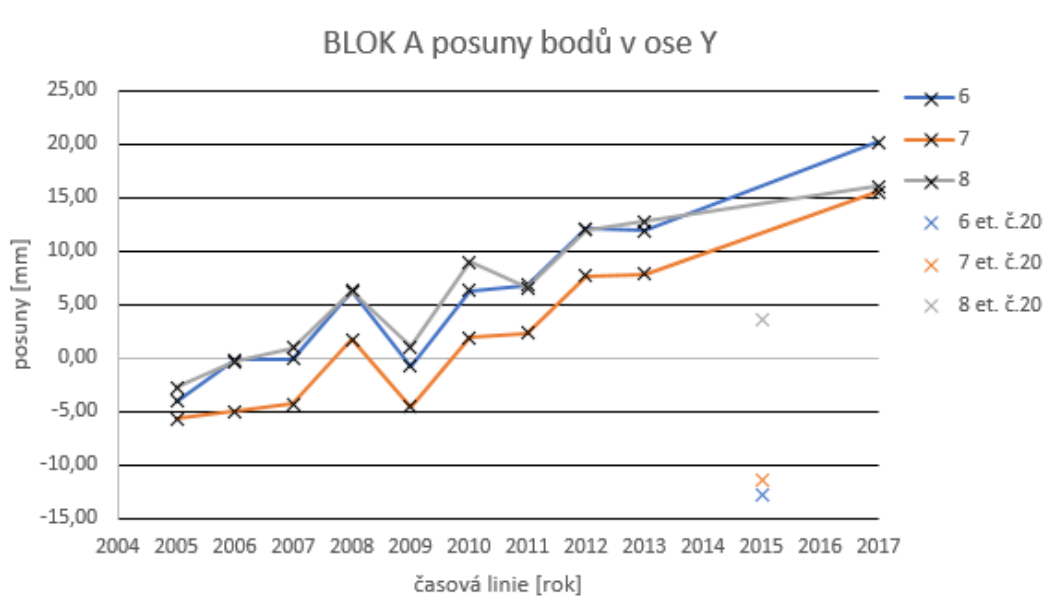
Obrázek 20 Posuny v horizontální rovině [autor]

6.4 Porovnání všech etap s nultou etapou

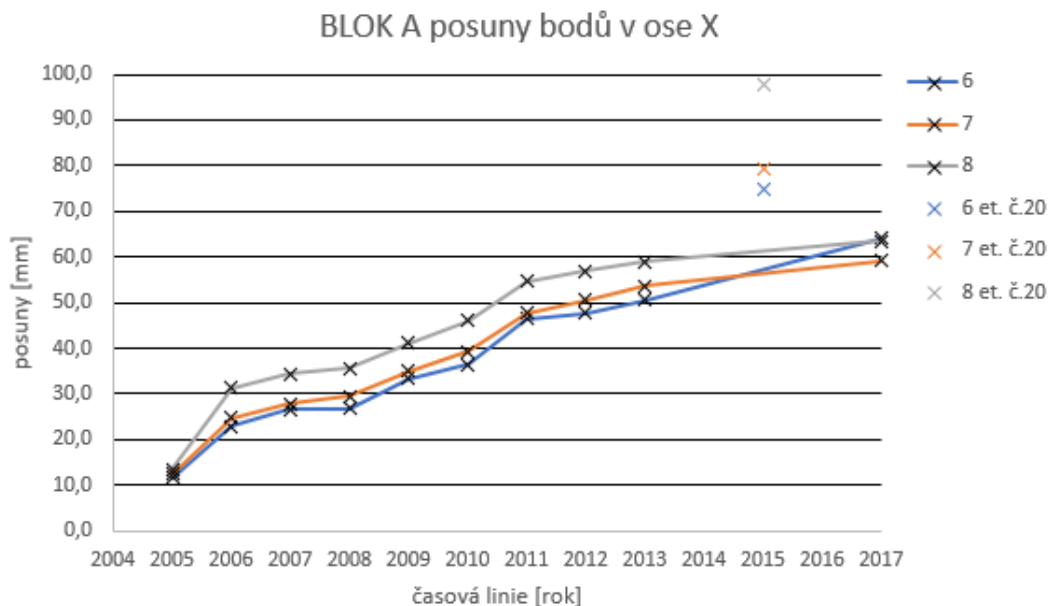
Všechny dříve zaměřené etapy jsou porovnávány s nultou etapou, tím získáme průběh posunů pozorovaných bodů. Jako interpretace dosažených výsledků byly, po dohodě s vedoucím práce doc. Hanzlem, zvoleny grafy, které představují závislost posunů na časové linii. Jednotlivé bloky jsou vyhodnoceny zvlášť pro všechny 3 osy (X, Y, Z). Pozorované body, které jsou stabilizovány samostatně, byly vyneseny do společného grafu, jedná se o body 27 a 38. Z grafů je možné vyčíst průběh pohybu jednotlivých bodů během všech měřených etap. Výpočet i grafy se nachází v příloze č. 12 *analýza posunů*.

Blok A je jeden z nejstabilnějších bloků. Je to dáno jeho polohou-nachází se na levém břehu potoka a je také nejdále od řečiště. Není tedy ovlivněn jeho činností a zároveň je v dostatečné vzdálenosti od skalní stěny. Při posuzování tohoto bloku byla vynechána etapa č. 20. U této etapy dochází k velkému skoku porovnávaných hodnot v osách X a Y a je patrné, že došlo ke špatnému prostorovému určení souřadnic v této

etapě. Ve vertikální složce blok pokračuje ve svém trendu a pozvolna klesá, což je způsobeno umístěním bloku v prudkém svahu. V horizontální složce se o lineárním pohybu bavit nemůžeme, v obou osách vykazují body nepravidelné kolísání již od roku 2007.



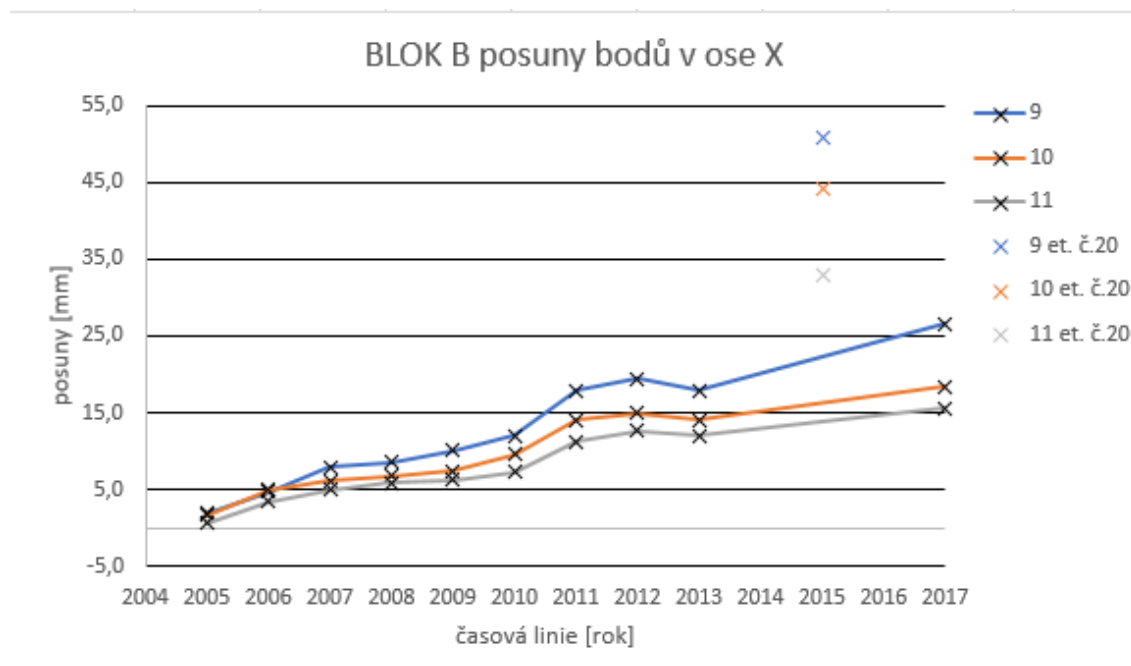
Graf 2 Znáznornění posunů v ose Y na bloku A



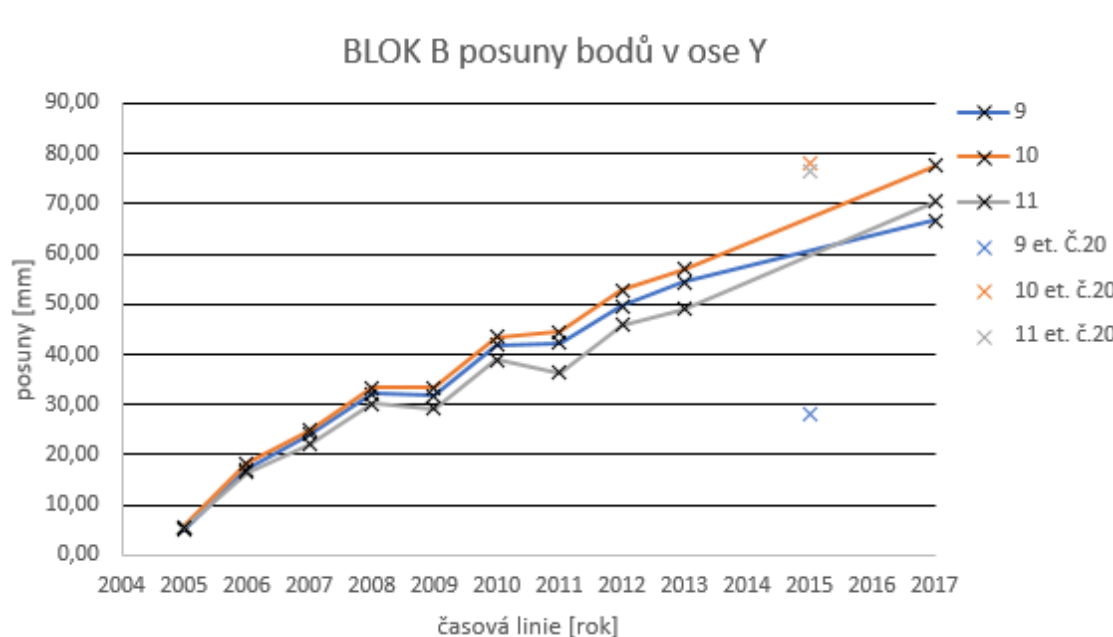
Graf 3 Znáznornění posunů v ose X na bloku A

Blok B se nachází v bezprostřední blízkosti bloku C a i on je dále od řečiště potoka. Podobně jako u bloku A byla pro posouzení pohybu bloku vynechána etapa č. 20. I zde se setkáváme s velkými skoky pozorovaných hodnot v osách X a Y a měření

navazuje na etapu č. 19. Blok B se pohybuje podobně jako blok A, v ose Z se setkáváme s mírným poklesem a osy X a Y vykazují nepravidelné kolísání.



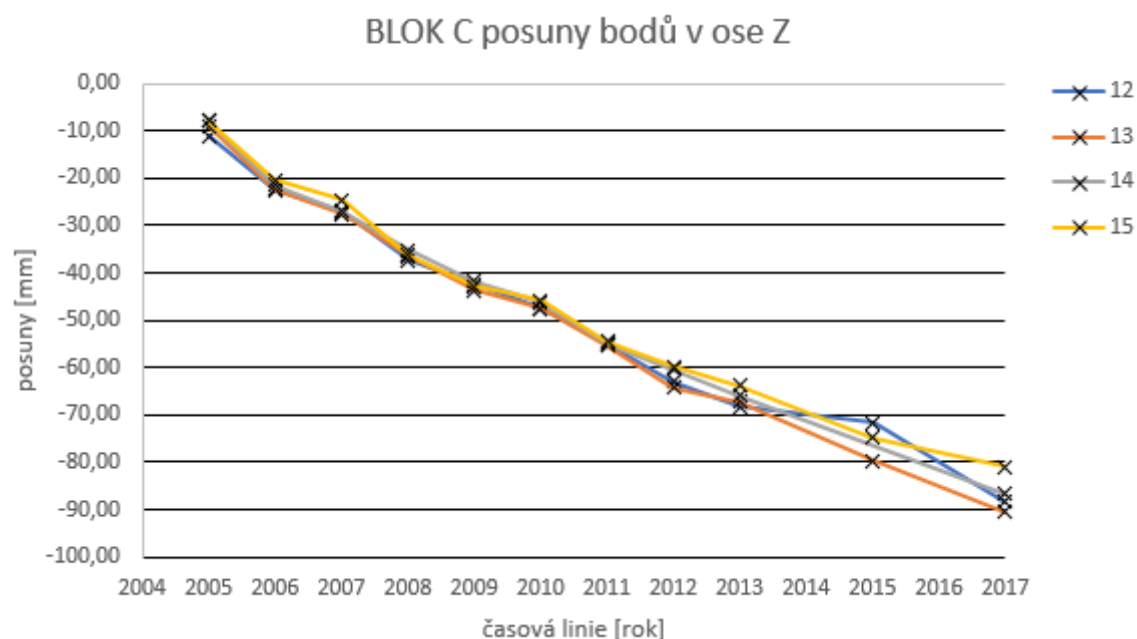
Graf 4 Znázornění posunů v ose X na bloku B



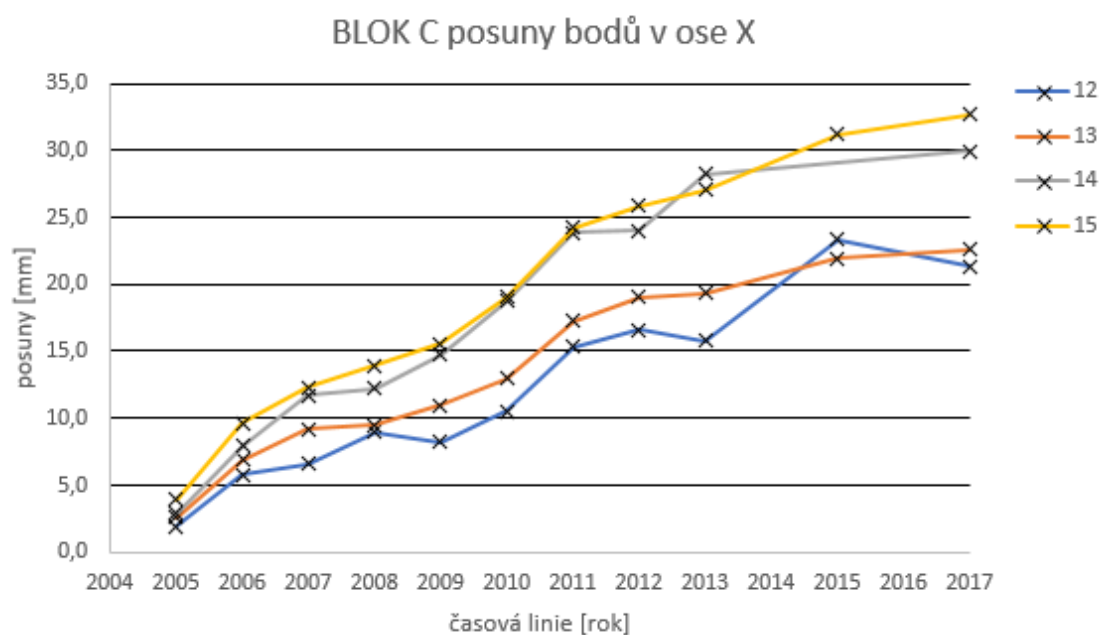
Graf 5 Znázornění posunů v ose Y na bloku B

Blok C se nachází napravo od skalního bloku B ve směru přítoku potoka do propadání. V ose Z vykazují body téměř lineární trend, až na bod 12, který v etapě č. 20 vykazoval mírný pokles a nyní vykazuje pokles větší. V osách X a Y dochází ke skokům

a hodnoty posunu se od nulté etapy nepravidelně zvětšují. Jelikož bod č. 14 nebyl v etapě č. 20 zaměřen, hodnoty jeho posunů navazují na etapu č. 19.



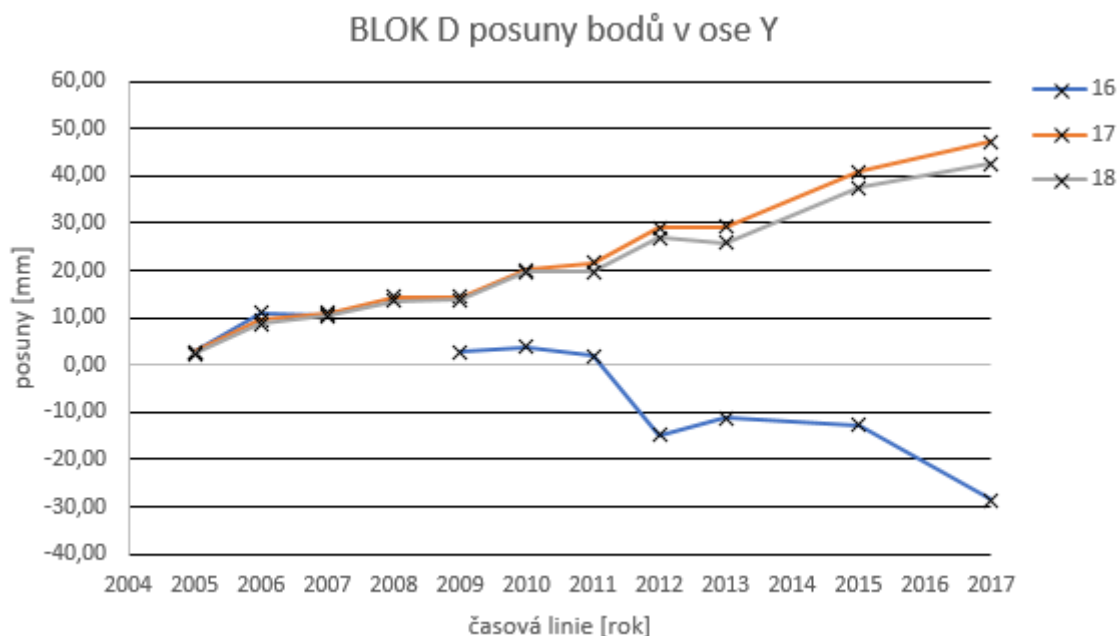
Graf 6 Znáznornění posunů v ose Z na bloku C



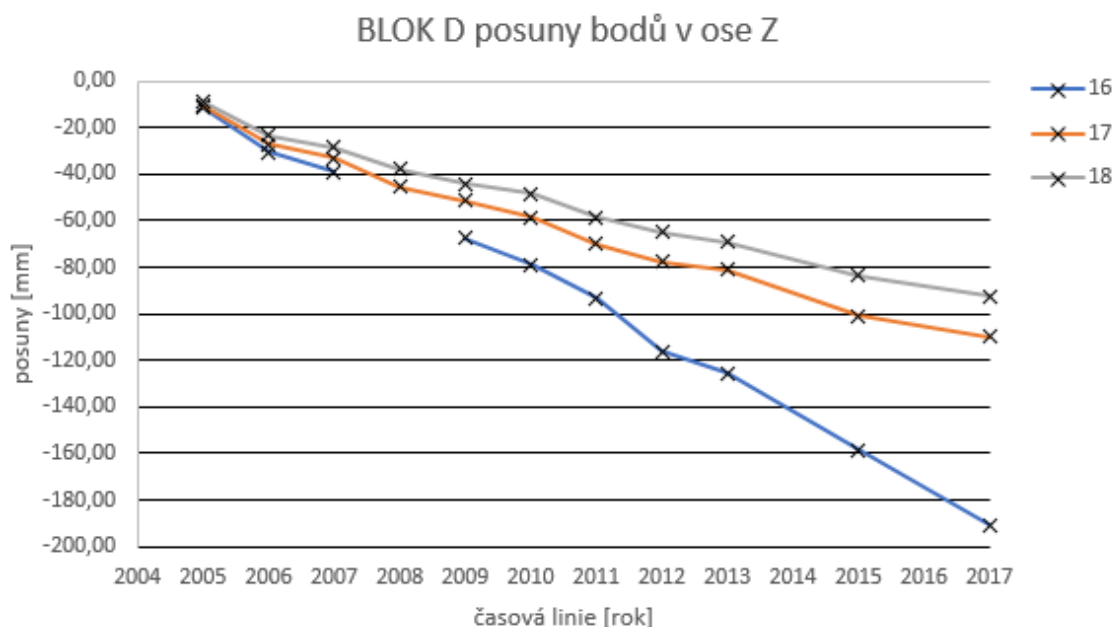
Graf 7 Znáznornění posunů v ose X na bloku C

Blok D se nachází přímo v řečišti potoka a jeho posuny stále ovlivňuje stav vodního toku. Body č. 17 a 18 ve všech 3 osách vykazují přibližně lineární trend. Na bloku D se nachází i bod č. 16, jehož trend se výrazně liší. Ve vertikální složce dochází

k většímu poklesu než u bodů č. 17 a 18. V ose X jeví bod v letech 2009 až 2011 podobný trend jako další dva body na bloku, ale později se jeho posun začal výrazně zvětšovat. V ose Y bod jeví nepravidelný, opačný trend než body 17 a 18.



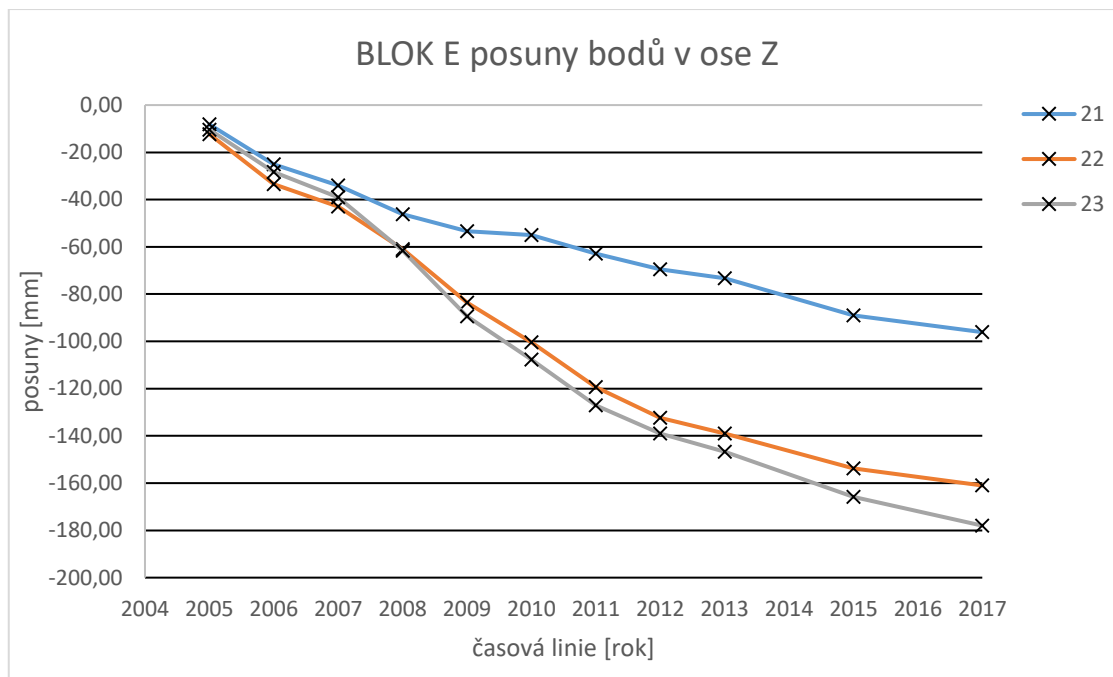
Graf 8 Znáznornění posunů v ose Y na bloku D



Graf 9 Znáznornění posunů v ose Z na bloku D

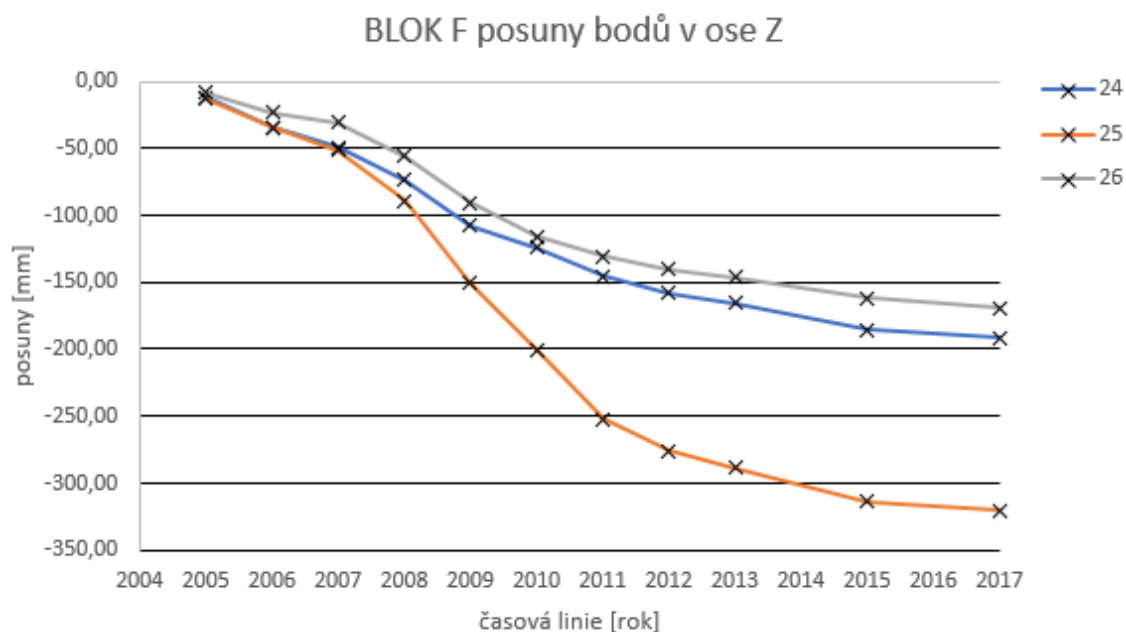
Blok E patří mezi méně stabilní bloky, jelikož se nachází přímo v korytě potoka Bílá voda. Ve vertikální složce si blok udržuje postupné klesání. Bod č. 21 začal v roce

2007 klesat pomaleji než body č. 22 a 23. V horizontální složce pozorujeme největší skok v letech 2007- 2011, který může být následkem povodňového stavu. Od roku 2013 zaznamenáváme v ose Y pomalý nárůst posunů, v ose X mírný pokles.



Graf 10 Znáznornění posunů v ose Z na bloku E

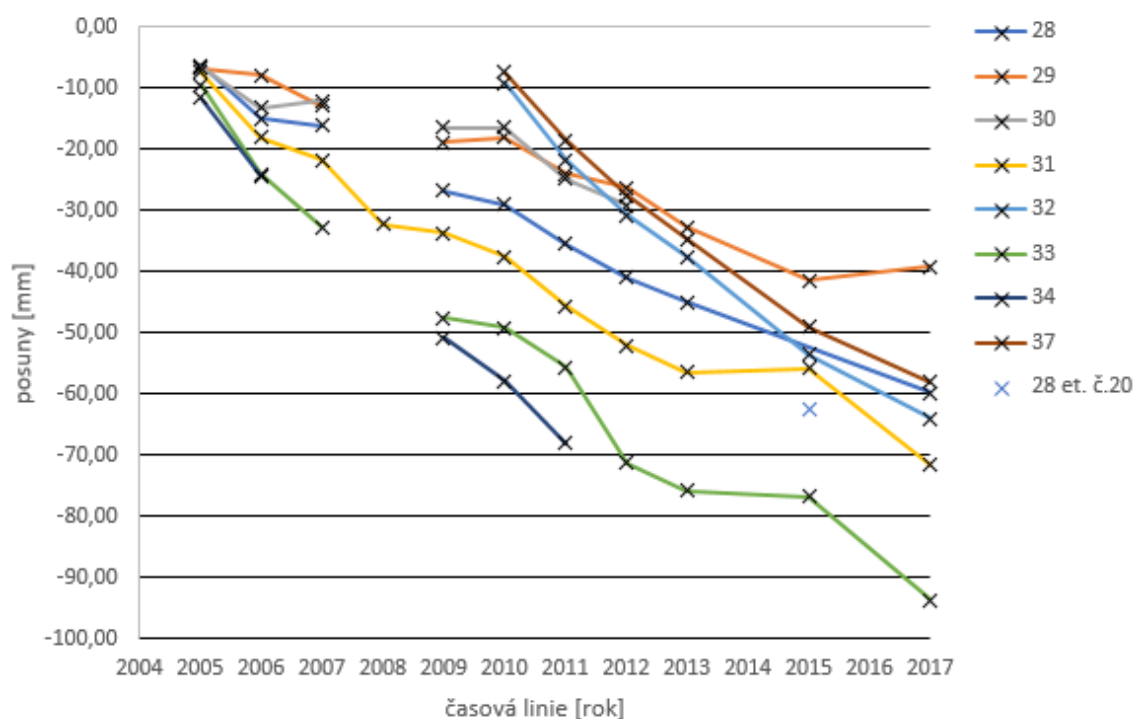
Blok F je blok, na kterém dochází ročně k největším posunům. Nachází se v řečišti potoka, v místě, kudy potok směřuje do propadání. Stejně jako u bloku E pozorujeme v horizontální i vertikální složce v letech 2007- 2011 prudký nárůst hodnot. Od roku 2011 sledujeme v horizontální složce postupný nárůst posunů. Nejvýraznější posuny pozorujeme v ose Z. Body č. 24 a 26 vykazují téměř lineární trend, ale na bodu č. 25 pozorujeme výrazně vyšší hodnoty.



Graf 11 Znázornění posunů v ose Z na bloku F

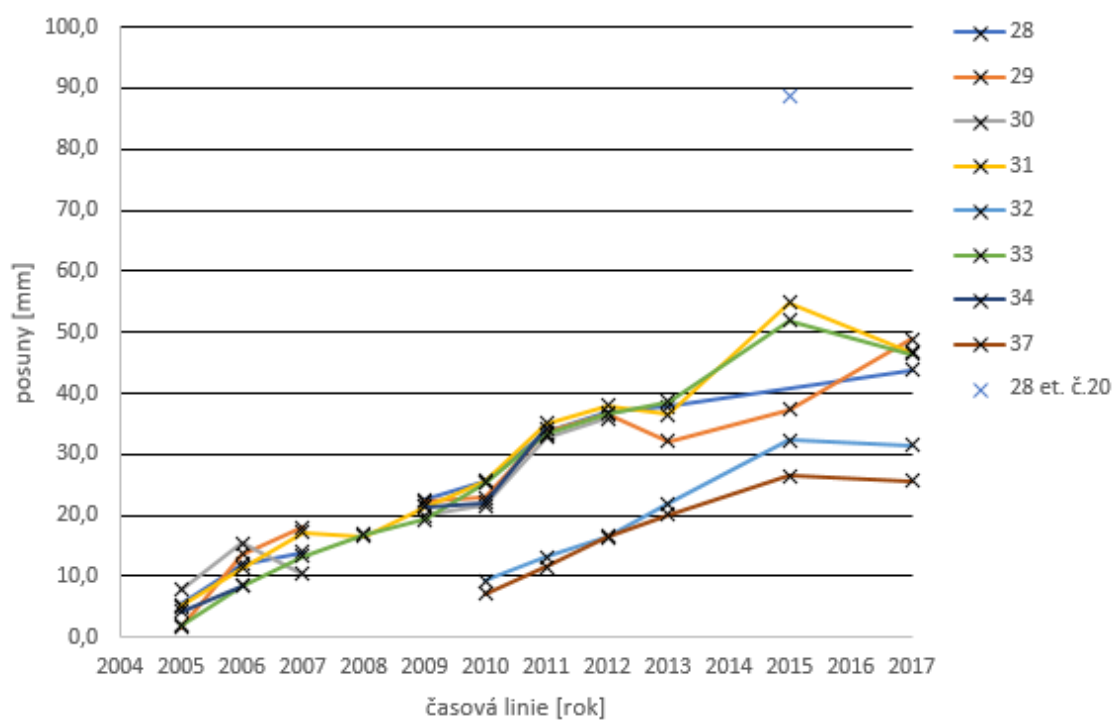
Skalní blok G se nachází nejblíže skalní stěně i propadání. Je největší ze skalních bloků a je na něm osazeno nejvíce bodů. Body mají zaměřenou nultou etapu v roce 2004, výjimku tvoří body č. 32 a 37, ty mají měřenou nultou etapu v roce 2009. Tento blok se chová celkem stabilně. Posuny v osách mají relativně lineární průběh, jejich velikost závisí na poloze bodu na bloku. Body blíže propadání vykazují větší posuny. Z posouzení posunů byl vynechán bod č. 28 z etapy č. 20. Pravděpodobně došlo k chybnému prostorovému určení tohoto bodu, protože v ose X zaznamenal bod velký skok, který nebyl v následující etapě potvrzen.

BLOK G posuny bodů v ose Z



Graf 12 Znáznornění posunů v ose Z na bloku G

BLOK G posuny bodů v ose X



Graf 13 Znáznornění posunů v ose X na bloku G

7 ZÁVĚR

Tématem této diplomové práce byla analýza pohybu skalních bloků nacházejících se před propadáním potoka Bílá voda v Moravském krasu nedaleko obce Holštejn. Etapová měření probíhají v této lokalitě od roku 2004.

Součástí práce bylo zaměření, zpracování a vyhodnocení dvou etap, a to etapy č. 21 a 22. Během těchto geodetických měření bylo zaměřeno 27 pozorovaných bodů metodou prostorové polární metody a prostorového protínání ze směrů.

Pro zpracování naměřených dat byl využit výpočetní program G-NET, k posouzení a znázornění posunů byl využit software Microsoft Excel. Ke grafickému zpracování jsem použil software Microstation.

Z dosažených výsledků lze konstatovat, že pozorované body vykazují pohyb, který dosahuje až centimetrových hodnot za rok. Nejvýraznější jsou pohyby vertikální, a to až dvojnásobně větší než pohyby horizontální. Horizontální posuny jsou ovlivněny zejména svou polohou vůči potoku Bílá voda, který danou lokalitu podmílá. Skalní bloky B, C, D, E, G dosahují kladných hodnot v horizontálních posunech a směřují směrem k jihozápadu. Můžeme tedy říct, že se bloky pohybují směrem k řečišti. Největší posuny byly zjištěny na bloku F, který leží přímo v korytě potoka.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Správa CHKO Moravský kras. *Charakteristika oblasti* [online]. © 2018 [cit. 10.5.2018]. Dostupné z: <http://moravskykras.ochranaprirody.cz>
- [2] *Chráněná krajinná oblast Moravský kras*. [online]. [citace 10.5.2018]. Dostupné z: http://www.cittadella.cz/europarc/index.php?p=index&site=CHKO_moravsky_kras_cz
- [3] Wikipedie. *Moravský kras* [online]. Poslední změna 2.12.2017. [cit. 10.05.2018]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Moravský_kras
- [4] AOPK ČR. *Přírodní rezervace Bílá voda* [online]. © 2018 [cit. 10.05.2018]. Dostupné z: <http://www.ochranaprirody.cz/lokality/?idlokality=1186>
- [5] *Holštejnské údolí* [online]. [cit. 10.05.2018]. Dostupné z: <http://oko.yin.cz/55/holstejske-udoli/>
- [6] Wikipedie. *Bílá voda* [online]. Poslední změna 2.3.2017 [cit. 10.05.2018]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/B%C3%ADl%C3%A1_voda_\(zdrojnice_Punkvy\)#cite_note-hynek-1](https://cs.wikipedia.org/wiki/B%C3%ADl%C3%A1_voda_(zdrojnice_Punkvy)#cite_note-hynek-1)
- [7] Hrady.cz. *Nová a Stará Rasovna* [online]. © 1995-2018 [cit. 10.05.2018]. Dostupné z: <http://www.hrady.cz/index.php?OID=4650&PARAM=11&tid=12611&pos=800>
- [8] ŠVÁB, Tomáš a BÁRTA, Ladislav. *Geodetický a geologický průzkum v prostoru Nové Rasovny nad propadáním potoka Bílá voda*. Brno, 2004. Vědecká práce. Fakulta stavební, Vysokého učení technického v Brně. [online]. [cit. 10.5.2018]. Dostupné z: www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/06_Geodezie%20a%20kartografie/6_01_Prakticke%20aspekty%20geodezie%20a%20kartografie/Svab_Tomas2.pdf
- [9] SLOVÁČEK, Jaroslav. *Určení pohybů skalních bloků*. Brno, 2016. 46 s. Bakalářská práce. Ústav geodézie, Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
- [10] *Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita. Svahové pohyby* [online]. [cit. 10.05.2018]. Dostupné z: <http://www.sci.muni.cz/~herber/slide.htm>

- [11] Moravské-Karpaty.cz *Svahové pohyby* [online]. [citace: 10.05.2018] Dostupné z: <http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/geomorfologie/svahove-pohyby/>
- [12] Česká rozhlas Brno, *Silničáři příští rok postavý nový most u Holštejna v Moravském Krasu* [online]. © 1997 [cit. 10.05.2018]. Dostupné z: <https://brno.rozhlas.cz/silnicari-pristi-rok-postavi-novy-most-u-holstejna-v-moravskem-krasu-6475428>
- [13] Forpsi.com *Most Holštejn* [online]. © 2018. [cit. 10.05.2018]. Dostupné z: <https://www.linkprojekt.cz/holstejn/>
- [14] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, VITULA, Alexej a BUREŠ, Jiří. *Inženýrská geodézie II: Geodézie ve stavebních oborech*. Brno: Studijní opory VUT Brno, 2007. 80 s
- [15] HÁNEK, Pavel a kolektiv. *Stavební geodézie*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. 133 s. ISBN 978-80-01-030707-2.
- [16] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, VITULA, Alexej a BUREŠ Jiří: *Inženýrská geodézie I: Návodý ke cvičením*, Brno: Studijní opory VUT Brno, 2006, 161 s.
- [17] PONČÍKOVÁ, Monika. *Určení pohybů skalních bloků*. Brno, 2014. 60 s. Diplomová práce. Ústav geodézie, Fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
- [18] GEFOS a.s. *Nivelační lat' Trimble 3m* [online]. [cit. 10.05.2018]. Dostupné z: <http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty/geodeticke-pristroje/prislusenstvi/late/gpcl2.jpg>
- [19] SVATOPLUK, Sedláček. *Software G-VIEW a VKM* [online]. [cit. 10.5.2018]. Dostupné z: <http://www.gview.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

č.	číslo
CHKO	Chráněná krajinná oblast
ÚG	Ústav geodézie
VUT	Vysoké učení technické
GNSS	Globální navigační satelitní systém
ORPHEUS	ORIENT- Photogrammetric Engineering Utilities Systém
ppm	par per milion

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 mapa zájmové lokality [zdroj: www.mapy.cz]	10
Obrázek 2 ortofotosnímek lokality [Zdroj: www.cuzk.cz]	10
Obrázek 3 CHKO moravský kras [3]	11
Obrázek 4 Rozmístění skalních bloků a balvanů [autor]	15
Obrázek 5 Referenční body na skalní stěně [9]	15
Obrázek 6 Provizorní most nad propadáním [12]	17
Obrázek 7 Nový most nad propadáním [13]	17
Obrázek 8 Pohled na skalní bloky z bodu č. 39 [autor]	24
Obrázek 9 Totální stanice Trimble S5 [autor]	26
Obrázek 10 Minihranol Leica [autor]	26
Obrázek 11 Nivelační lať Trimble 3m [18]	26
Obrázek 12 Nivelační přístroj Dini 0.3 [autor]	26
Obrázek 13 Etapové měření č. 21 [autor]	27
Obrázek 14 etapové měření č. 21 nivelace [autor]	28
Obrázek 15 Etapové měření č. 22 [autor]	29
Obrázek 16 uživatelské prostředí nivelačního přístroje [autor]	30
Obrázek 17 Uživatelské prostředí programu G-NET [autor]	32
Obrázek 18 Elipsa středních chyb [autor]	33
Obrázek 19 Střední elipsy chyb pro pozorované body [autor]	34
Obrázek 20 Posuny v horizontální rovině [autor]	41

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Přehled etapových měření [9], [17]	23
Tabulka 2: Technické parametry totální stanice [manuál]	25
Tabulka 3 Technické parametry nivelačního přístroje [manuál]	25
Tabulka 4: Střední chyby souřadnic pro měřené etapy	33
Tabulka 5: Posouzení posunů	35
Tabulka 6: Porovnání etap č. 21 a 22	36
Tabulka 7: Porovnání etap č. 20 a 21	38
Tabulka 8: Porovnání etap z roku 2017 s nultou etapou	39

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Znázornění posunů v ose Z vůči nulté etapě	40
Graf 2 Znázornění posunů v ose Y na bloku A	42
Graf 3 Znázornění posunů v ose X na bloku A	42
Graf 4 Znázornění posunů v ose X na bloku B.....	43
Graf 5 Znázornění posunů v ose Y na bloku B.....	43
Graf 6 Znázornění posunů v ose Z na bloku C	44
Graf 7 Znázornění posunů v ose X na bloku C.....	44
Graf 8 Znázornění posunů v ose Y na bloku D	45
Graf 9 Znázornění posunů v ose Z na bloku D.....	45
Graf 10 Znázornění posunů v ose Z na bloku E	46
Graf 11 Znázornění posunů v ose Z na bloku F	47
Graf 12 Znázornění posunů v ose Z na bloku G.....	48
Graf 13 Znázornění posunů v ose X na bloku G	48

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy

- Příloha č. 1 Přehledný náčrt měřické situace z etapy č. 21
- Příloha č. 2 Přehledný náčrt měřické situace z etapy č. 22
- Příloha č. 3 Elipsy střední chyb pozorovaných bodů
- Příloha č. 4 Posuny v horizontální rovině
- Příloha č. 5 Grafy (posuny v závislosti na časové linii)

Elektronické přílohy

- Příloha č. 1 _rozmístění skalních bloků a balvanů.pdf
- Příloha č. 2 _zápisník pro stanovení součtové konstanty hranolů
- Příloha č. 3 _zkouška nivelačního přístroje.txt
- Příloha č. 4 Zápisníky měření z etapy č. 21
 - 3.1 _zápisník měření TS z etapy č. 21.ZAP
 - 3.2 _nivelační zápisník z etapy č. 21.DAT
- Příloha č. 5 Zápisník měření z etapy č. 22.txt
- Příloha č. 6 _Seznam souřadnic a výšek referenčních bodů.txt
- Příloha č. 7 Výpočetní protokoly z etapy č. 21
 - 7.1 _výpočet zápisníku.txt
 - 7.2 _polohové vyrovnání.txt
 - 7.3 _výškové vyrovnání.txt
 - 7.4 _vyrovnaný nivelační zápisník.DAT
- Příloha č. 8 Výpočetní protokoly z etapy č. 22

- 8.1_výpočet zápisníku.txt
- 8.2_polohové vyrovnání.txt
- 8.3_výškové vyrovnání.txt
- Příloha č. 9_Přehledný náčrt měřické situace z etapy č. 21.pdf
- Příloha č. 10_Přehledný náčrt měřické situace z etapy č. 22.pdf
- Příloha č. 11_Střední elipsy chyb pozorovaných bodů.pdf
- Příloha č. 12_Analýza posunů.xls
- Příloha č. 13_Posuny v horizontální rovině.pdf
- Příloha č. 14_Grafy (posuny v závislosti na časové linii).pdf