

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA SPECIÁLNÍ GEODÉZIE

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie a kartografie



DIPLOMOVÁ PRÁCE

DLOUHODOBÉ SLEDOVÁNÍ DEFORMACÍ TUNELU

LONG-TERM MONITORING OF TUNNEL DEFORMATIONS

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Rudolf Urban, Ph.D.

PRAHA, 2020

Bc. Zdeněk Veselý

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Veselý Jméno: Zdeněk Osobní číslo: 459328

Zadávací katedra: K154

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie a kartografie

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Dlouhodobé sledování deformací tunelu

Název diplomové práce anglicky: Long-term monitoring of tunnel deformations

Pokyny pro vypracování:

Vlastní zaměření několika etap. Zpracování všech provedených etap. Rozbory přesnosti použité technologie měření. Zhodnocení dosažených svislých a příčných posunů. Grafické znázornění vývoje posunů.

Seznam doporučené literatury:

Urban, R.: Geodetické práce při měření posunů a deformací stavebních objektů. 1. vyd. Praha: CTU. 2015.
ČSN 73 0405 - Měření posunů stavebních objektů

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Ing. Rudolf Urban, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 19.2.2020

Termín odevzdání diplomové práce: 18. 5. 2020

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

20. 2. 2020

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci s názvem „Dlouhodobé sledování deformací v tunelu“ vypracoval samostatně, pouze za odborného dohledu a vedení vedoucího diplomové práce doc. Ing. Rudolfa Urbana, Ph.D. Veškeré podklady, které jsem v této diplomové práci použil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne:

.....

Bc. Zdeněk Veselý

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Rudolfu Urbanovi, Ph.D. za jeho rady, připomínky a konzultace při této práci. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za nepřetržitou podporu a trpělivost po celou dobu mého studia, firmě GEOPROGRES za poskytnutá data a za pomoc s měřením Ing. Janu Šafářovi a Ing. Pavlu Kaválkovi.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá posouzením horizontálních a vertikálních posunů sledované části tunelů pražského metra linky A v mezistaničním úseku Muzeum – Můstek. Hlavní náplní práce bylo určení polohy pozorovaných bodů signalizovaných měřicími štítky a hřeby a vyhodnocení prostorových rozdílů mezi jednotlivými etapami měření. Poloha byla určována prostorovou polární metodou ve vlastním souřadnicovém systému a bylo měřeno 8 etap. Polohové určení bodů je doplněno o ověření přesnosti totální stanice, rozborů přesnosti před měřením, při a po měření.

Klíčová slova

Pražské metro, tunel, horizontální posun, vertikální posun, prostorová polární metoda, totální stanice, mezní rozdíl.

Abstract

The master thesis deals with the assessment of horizontal and vertical shifts of monitored part of the Prague underground tunnels of line A in interstation section of Muzeum – Můstek. The main task was to determine the position of observed points indicated by measuring labels and spikes and to evaluate the spatial differences between the stages of measurement. The position was determined by spatial polar method in own coordinate system and eight stages were measured. The positional determination of points is supplemented by the verification of the accuracy of the total station and also by analysis of the accuracy before, during and after the measurement.

Key words

Prague metro, tunnel, horizontal shift, vertical shift, spatial polar method, total station, permitted difference.

Obsah

1	ÚVOD	10
2	POPIS SLEDOVANÉ LOKALITY	11
2.1	Lokace objektu.....	11
2.2	Pražské metro.....	11
2.3	Důvody sledování posunů.....	13
3	METODIKA URČENÍ POSUNŮ	15
3.1	Měřické práce.....	17
3.1.1	Rekognoskace.....	17
3.1.2	Měřický postup pozorovaných bodů.....	18
3.2	Kancelářské práce.....	21
3.3	Obecný výpočet vyrovnání MNC.....	21
4	MĚŘICKÉ A SOFTWAREVÉ VYBAVENÍ	24
4.1	Měřické pomůcky.....	24
4.1.1	Totální stanice.....	24
4.1.2	Teleskopický stativ.....	24
4.1.3	Odrazný hranol.....	24
4.1.4	Výtyčka.....	25
4.1.5	Měřický štítek.....	25
4.1.6	Měřický hřeb.....	25
4.1.7	Svítilna.....	25
4.2	Softwarové vybavení.....	26
4.2.1	PrecisPlanner 3D.....	26
4.2.2	EasyNet.....	26
5	OVĚŘENÍ PŘESNOSTI TOTÁLNÍ STANICE	27
5.1	Měřický postup ověření přesnosti.....	27
5.1.1	Charakteristická vzdálenost.....	28
5.1.2	Atypická vzdálenost.....	30
5.2	Počtení postup ověření přesnosti.....	31

5.2.1	Obecný postup výpočtu přesnosti	31
5.2.2	Charakteristická vzdálenost	33
5.2.3	Atypická vzdálenost.....	33
5.3	Zhodnocení přesnosti přístroje.....	34
6	ROZBORY PŘESNOSTI PŘED MĚŘENÍM.....	35
6.1	Rozbory přesnosti před měřením v programu PrecisPlanner 3D.....	35
6.2	Numerické zpracování rozborů přesnosti před měřením	39
6.2.1	Metoda redukováných měřených dat	39
6.2.2	Metoda neredukovaných měřených dat.....	40
6.3	Zhodnocení rozborů přesnosti před měřením.....	42
7	URČENÍ POSUNŮ.....	43
7.1	Měřičské práce	43
7.2	Kancelářské práce	44
7.2.1	Vyrovnaní měření v programu EasyNet.....	44
7.2.2	Numerické zpracování vyrovnaní měření	49
7.2.2.1	Metoda redukováných měřených dat	49
7.2.2.2	Metoda neredukovaných měřených dat.....	50
7.2.3	Určení posunů	51
8	ROZBORY PŘESNOSTI PO MĚŘENÍ.....	52
8.1	Numerické vyhodnocení rozborů přesnosti po měření	52
8.1.1	Metoda redukováných měřených dat	52
8.1.2	Metoda neredukovaných měřených dat.....	57
8.2	Zhodnocení výsledků a přesností	60
9	VYHODNOCENÍ POSUNŮ	61
9.1	Výstupní hodnoty	61
9.1.1	Metoda redukováných měřených dat – horizontální posuny.....	62
9.1.2	Metoda neredukovaných měřených dat – vertikální rozdíly	63
9.1.3	Metoda neredukovaných měřených dat – horizontální posuny.....	64
9.1.4	Metoda neredukovaných měřených dat – vertikální rozdíly	65

9.2	Zhodnocení výsledků a grafické znázornění.....	66
9.2.1	Metoda redukováných měřených dat – horizontální posuny.....	66
9.2.2	Metoda redukováných měřených dat – vertikální rozdíly.....	68
9.2.3	Metoda neredukovaných měřených dat – horizontální posuny.....	72
9.2.4	Metoda neredukovaných měřených dat – vertikální rozdíly.....	74
9.3	Zhodnocení dlouhodobého trendu vlivu výstavby na posuny.....	78
10	ZÁVĚR.....	79
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	81
	SEZNAM OBRÁZKŮ	83
	SEZNAM TABULEK	85
	SEZNAM PŘÍLOH.....	86

1 ÚVOD

Monitoring posunů a přetvoření stavebních objektů nebo jejich částí je jedna ze základních ale zároveň nejnáročnějších a nejsložitějších oblastí inženýrské geodézie. Je to kombinace geodetovy schopnosti citu pro detail a perfektního ovládní měření, znalostí a zkušeností při vytváření nových měřických postupů pro splnění požadované přesnosti a práce s velmi přesným vybavením, které je na trhu k dostání.

K posunům a deformacím dochází z mnoha různých důvodů. Na stavební objekty mají vliv vnitřní a vnější síly, které způsobují prozatímní nebo i trvalé změny. Příčinou sledování mohou být již existující stavby, u nichž v průběhu používání došlo k poruchám konstrukcí. Tudíž je zde možnost zhoršení funkčnosti nebo dokonce riziko zřícení budovy. Dalším důvodem monitoringu jsou stavební objekty, u kterých byly aplikovány nové nebo atypické konstrukce, a proto je velice náročné předem odhadnout jejich chování po uvedení do běžného provozu. V neposlední řadě jsou podnětem ke sledování objekty, které se nacházejí v blízkosti demolice starého nebo výstavby nového díla. Zde je důvodem bezpečnost, protože díky proměně sil působících na daný objekt může docházet ke změně polohy, tvaru a porušení konstrukce.

Předpokládané příčiny posunů a přetvoření jsou obvykle předem odhadovány a zaznamenány v projektu. Je však důležité zjistit skutečné hodnoty, které jsou vyhodnocovány z výsledků provedeného geodetického nebo jiného zaměření. V současné době se pro určení nejčastěji využívají standardní geodetické metody s použitím robotické totální stanice, metoda GNSS, velmi přesná nivelace, laserové skenování a digitální fotogrammetrie. Chování stavebních konstrukcí je ovlivňováno kromě působení vnějších a vnitřních sil i klimatickými podmínkami (např.: osvětlení, teplota a vlhkost). Tyto vlivy mohou mít krátkodobou (hodiny – týdny) ale i dlouhodobou (měsíce – roky) periodu. Proto je pro etapové sledování podstatné pokaždé měřit za stejných podmínek (což není v praxi vždy možné) nebo rozvrhnout etapové měření tak, aby bylo možné zachytit i tyto vlivy. [1] [2]

Tato diplomová práce se zabývá problematikou měření posunů u stávající stavby, v jejímž okolí je prováděna výstavba. Konkrétně se jedná o tunely pražského metra, nad kterými docházelo k demolici staré a stavbě nové budovy. Hlavní cíle práce jsou tedy posouzení velikosti posunů určené dvěma různými metodami (jednou stávající a jednou nově navrženou) a porovnání těchto postupů. Dílčí cíle jsou pak ověření přesnosti totální stanice a rozbor přesnosti před, při a po měření.

2 POPIS SLEDOVANÉ LOKALITY

Zájmovou oblastí monitoringu této diplomové práce byla část tunelů pražského metra linky A v mezistaničním úseku Muzeum – Můstek, kde bylo předpokládáno, že by mohlo docházet k posunům a přetvořením.

2.1 Lokace objektu

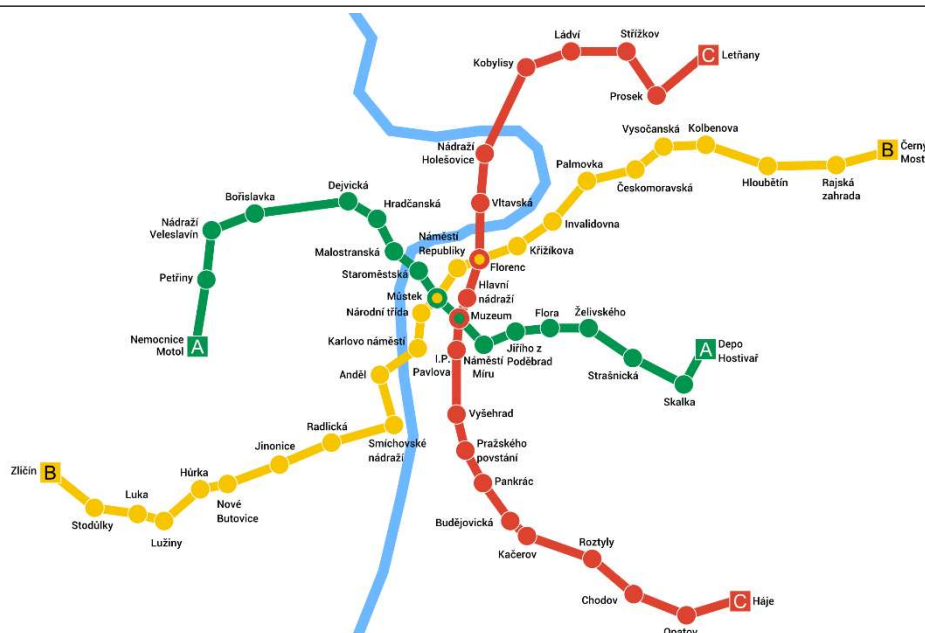
Sledovaná část tunelů pražského metra linky A v mezistaničním úseku Muzeum – Můstek leží v Praze 1 v Novém Městě (Obr. 1). Adresa nově stavěné budovy v zájmové oblasti nad tunely metra je Opletalova 1601/3, Praha 1 – Nové Město, 110 00. Je umístěna na rohu ulice Opletalova a Václavské náměstí. V její blízkosti se nachází divadlo Palace, Muzeum studené války, hotel Jalta a divadlo Radka Brzobohatého.



Obr. 1: Lokace sledované části tunelů pražského metra [3]

2.2 Pražské metro

První zmínky a návrhy na výstavbu podzemní dráhy v Praze se objevily již na přelomu 19. a 20. století. V této době bylo navrženo, aby se při budování kanalizace zahájila i výstavba prvního tunelu podzemní dráhy. Tento návrh však u pražské radnice neuspěl. Další návrhy na výstavbu se objevily v předválečném Československu. Byl vyhotoven nový plán pro metro, ale také pro podpovrchovou tramvaj. V návrzích se objevovaly až čtyři linky a do velké míry se shodovaly s trasami linek tak, jak je známe dnes (Obr. 2). Před začátkem druhé světové války se už schylovalo k zahájení výstavby první linky, ale v roce 1941 byly nakonec práce ukončeny díky válečnému stavu. Po válce byl projekt ukončen s odůvodněním, že republika nebyla po válce hospodářsky dostatečně silná.



Obr. 2: Linky pražského metra [4]

V šedesátých letech byla vypsána nová zakázka na výstavbu podpovrchové tramvaje. Poté, co byl vybrán nový návrh, začaly v roce 1966 první stavební práce. Jenže již před začátkem výstavby byl návrh na podpovrchovou tramvaj silně kritizován s poukázáním na některé její nevýhody. To byl jeden z důvodů, proč byl návrh těsně před invazí vojsk Varšavské smlouvy roku 1968 opět změněn na systém metra. Proto bylo nutné narychlo přepracovat veškerou projektovou dokumentaci. Podmínkou dokumentace bylo, aby se mohlo pokračovat ve stávající výstavbě. První část metra linky C mezi stanicemi Florenc a Kačerov byla z větší části hloubena a v oblasti Pankráce byly tunely raženy. Výstavba byla dokončena 9. května 1974. Rok předtím byla započata ražba linky A z Dejvic na Náměstí Míru a otevřena v srpnu 1978. Problémovým úsekem této linky byla ta část, která vede pod Vltavou. Zde bylo zapotřebí zpevnit říční dno injektáží. V roce 1977 byla spuštěna stavba prvního úseku linky B mezi zastávkami Smíchovské nádraží a Florenc. Tato část tratě B vede hluboko pod povrchem blízko toku Vltavy a bylo zapotřebí vybudovat dvě přestupní stanice. Z toho důvodu byla zatím tou nejnáročnější částí výstavby.

Roku 1980 byly rozšířeny dvě doposud fungující linky. Trasa C do stanice Háje a trasa A do zastávky Želivského. Po čtyřech letech byla linka C doplněna o stanice Vltavská a Nádraží Holešovice. V roce 1985 byly ukončeny stavební práce a v listopadu do provozu uvedeny první části trasy B. Ihned byla zahájena stavba druhé a třetí části. Po sametové revoluci byla ekonomika na ústupu, a proto bylo zapotřebí změnit časový plán výstavby. Postupně pak byly jednotlivé trasy metra doplňovány o další úseky. Do roku 2002 byla trasa A rozšířena ze stanice Dejvická na Skalku, linka B měla konečné stanice Zličín a Černý most, trasa C začínala v Nádraží Holešovice a končila na Hájích. Jednotlivé stanice byly také rekonstruovány.

Povodně v srpnu 2002 zatopily velkou část tunelů metra. Nejvíce zasažena pak byla trasa B. Systém protipovodňových vrat na některých místech selhal, a tak se voda dostala do velké části tunelů. Provoz metra se plně obnovil až v březnu 2003.

V následujících čtyřech letech bylo vybudováno dalších šest stanic. Na lince A to bylo Depo Hostivař a na lince C zbylé zastávky až do konečné stanice Letňany. Zatím poslední vybudované stanice metra byly dokončeny v roce 2015. Jedná se o část linky A z Dejvic do konečné stanice Nemocnice Motol. V současnosti je již vyprojektována nová linka D, která by měla vést z Depa Písnice na Náměstí Míru a už byly zahájeny první stavební práce. [5]



Obr. 3: Vlaková souprava [6]

V dnešní době přepraví vlakové soupravy pražského metra (Obr. 3) kolem 1,6 milionu cestujících denně. Nejvíce cestujících je přepravováno na trase C a největší množství pasažerů nastupuje a vystupuje ve stanicích I. P. Pavlova, Dejvická a Anděl. V dopravní špičce mají vlakové soupravy interval 1,5-3 minuty a mimo ni 4-10 minut. Linky jsou navrženy tak, aby na ně plynule navazovala síť povrchové dopravy. [4]

2.3 Důvody sledování posunů

U rozměrných a složitých stavebních objektů je kladen velký důraz na stabilitu. Díky jejich komplikovanému tvaru může docházet k posunům nebo přetvoření, a proto se u nich obvykle provádí etapové sledování. Při budování a krátce po dokončení stavby se měřická pozorování provádějí poměrně často. S odstupem času se rozestup mezi jednotlivými etapami prodlužuje. Když dojde k většímu zásahu do konstrukce stavby, jejího podloží nebo okolí, je velmi pravděpodobné, že dojde k posunům a deformacím. Je důležité, aby při těchto plánovaných změnách docházelo znovu k častějšímu sledování zasažené části nebo celé stavby.



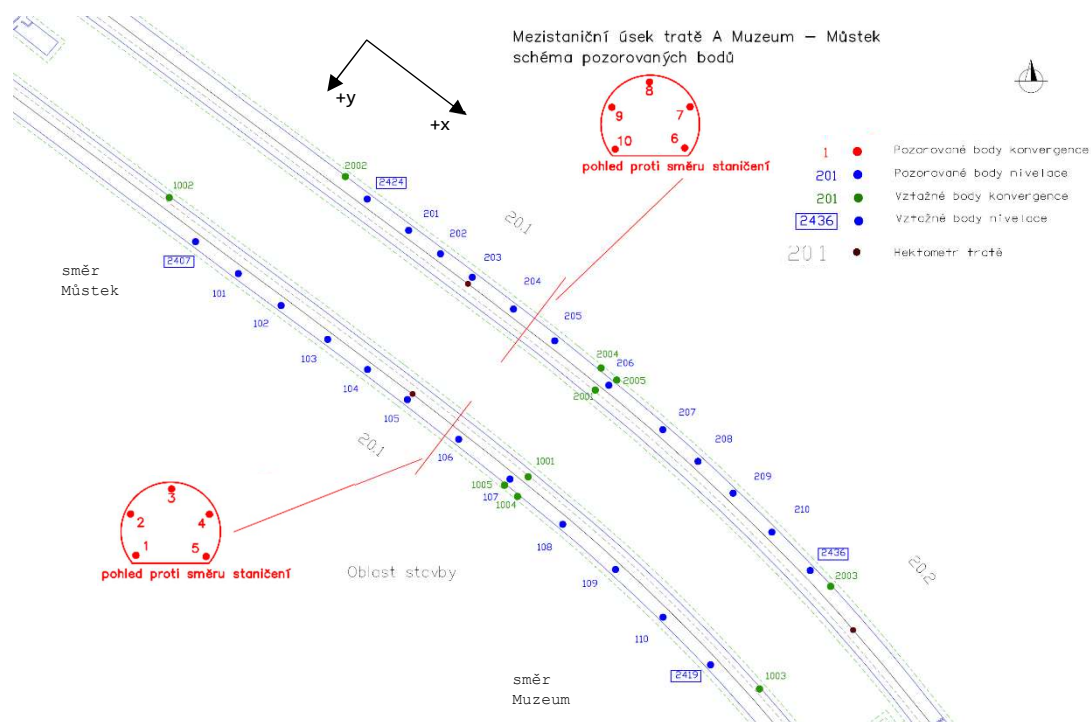
Obr. 4: Tunel metra ve sledované oblasti (vlastní zdroj)

V tomto případě byly důvodem monitoringu demolice staré a následná výstavba nové budovy nad tunely metra linky A mezi stanicemi Muzeum – Můstek (Obr. 1). Během přípravy stavby byl formulován předpoklad, že by v dotčené části tunelů (Obr. 4) mohlo docházet k deformacím, při kterých by se mohla měnit nadmořská výška tunelů, tvar tunelů a nivelety kolejí. Proto byla v roce 2017 oslovena firma GEOPROGRES, aby sledovala polohové změny na pozorovaných bodech a posoudila, zda k posunům dochází a určila jejich velikost. Autor této diplomové práce se monitoringu účastnil osobně ve dvou etapách.

3 METODIKA URČENÍ POSUNŮ

METROPROJEKT Praha předpokládá, že by v zájmové oblasti tunelů mohlo docházet ke změnám nadmořské výšky tunelů, tvaru tunelů a nivelety kolejí. Následně byl však vzat v úvahu závěr, že posuny mohou nastat pouze ve dvou směrech. První možný posun byl definován v příčném směru osy tunelů (později označovaný jako horizontální posun). Druhý pravděpodobný posun byl určen ve vertikálním směru (dále nazýván vertikální posun). Podélný posun v ose tunelů byl vzhledem ke konstrukci tunelu zamítnut.

Díky hypotéze, kde by mohlo u tunelů docházet k horizontálním a vertikálním posunům, byla v dané lokalitě (Obr. 5) stabilizována měřická stanoviska (body 1001 a 2001), identické body (body 1002-1005 a 2002-2005) a pozorované body (body 1-10, 101-110, 201-210, 2407, 2419, 2424 a 2436). Při volbě umístění identických bodů bylo důležité dbát na to, aby byly po celou dobu stavebních prací na povrchu fixní. Proto byly body 1002, 1003, 2002 a 2003 stabilizovány mimo dotčenou oblast. Body 1004, 1005, 2004 a 2005 byly sice umístěny v zájmovém území, ale ty sloužily pouze k dourčení polohy volného stanoviska (díky změřeným délkám byla přesně definována y-ová souřadnice). V každém tunelu byly tedy měřickými štítky (Obr. 11b) signalizovány 4 identické body. Pozorované body byly rozděleny do dvou částí. Jedna část podrobných bodů (body 1-10) byla stabilizována pomocí měřických štítků v prstencích tunelů a druhá část bodů (body 101-110, 201-210, 2407, 2419, 2424 a 2436) byla stabilizována pomocí měřických hřebů (Obr. 11c) v počvách tunelů. Fotodokumentace všech bodů je uvedena v příloze (Příloha 21.44).



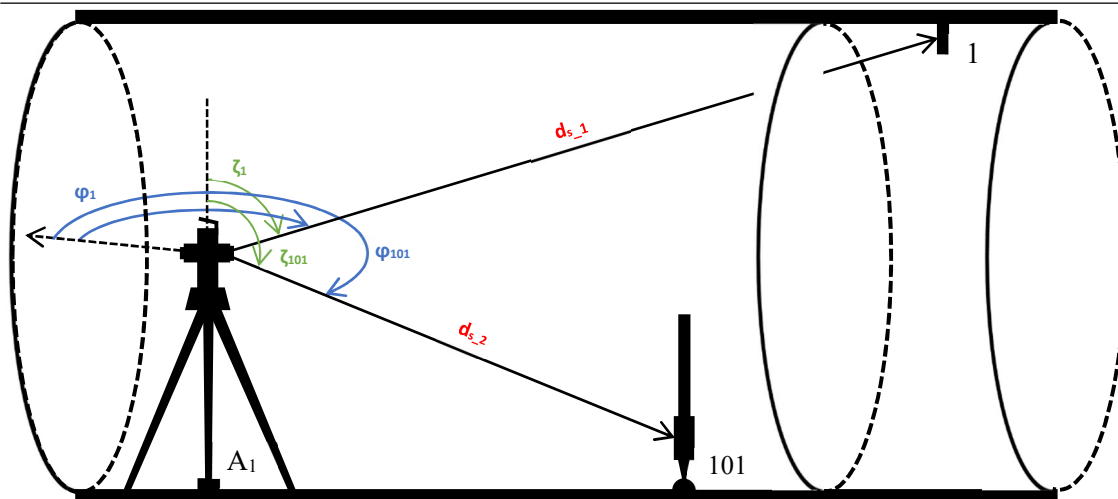
Obr. 5: Schéma identických a pozorovaných bodů v mezistaničním úseku (vlastní zdroj)



Pozorované body v prstencích tunelů (konvergenční body) byly zvoleny pro určení změny tvaru a nadmořské výšky tunelů. Proto byl u těchto bodů určován horizontální a vertikální posun. Důvodem stabilizace bodů v počvách (nivelační body) bylo určení změny výšky kolejnic. V tomto případě byl posuzován pouze vertikální posun.

Pro zakázku byl zvolen vlastní souřadnicový systém. Soustava byla definována tak, aby rovnoběžka s osou X procházela osou tunelu, a tedy osa Y byla rovnoběžná s pozorovanými body konvergenčních profilů (Obr. 5). Rovnoběžnosti bylo dosaženo záměrně, aby bylo možné z rozdílů y-nových souřadnic snadno určit horizontální posuny. Souřadnice identických bodů byly určeny z měření v 0. etapě. Podrobný postup měření je popsán v kapitole 3.1.2. Pro výpočty v této diplomové práci byly souřadnice převzaty od firmy GEOPROGRES. Protože se v seznamu souřadnic objevovaly i záporné hodnoty, byly k jednotlivým souřadnicím přičteny konstanty. K y-nové souřadnici byla přičtena hodnota 1000, k x-ové 5000 a z-ová byla ponechána beze změny. Takto upravený seznam souřadnic byl brán pro výpočty jako výchozí.

Při volbě co nejefektivnější měřické metody pro detekování polohových posunů pozorovaných bodů bylo důležité vzít v potaz několik faktorů. Důležitými kritérii pro hodnocení byly požadovaná přesnost určení pozorovaných bodů, přístrojové vybavení, prostor, ve kterém se mělo měření odehrávat, tvar měřické sítě a časový limit, za jaký bylo nutné měření dokončit. Zadavatelem definovaná přesnost určení polohy bodu byla stanovena na hodnotu 1 mm. Pro určování posunů byla dostupná totální stanice Trimble S9. Měření probíhalo v tunelech pražského metra v mezistaničním úseku tratě A Muzeum – Můstek. Tvar měřické sítě byl protáhlý a ovlivněn prostorovými možnostmi (viz. Obr. 5). Měření bylo možné vždy provádět v časovém rozmezí od 1:15 do 3:40. Tyto časy jsou striktně dané ve stanovách metra kvůli bezpečnosti a plynulosti celkového chodu zařízení. Po zvážení všech těchto faktorů byla za měřickou metodu vybrána prostorová polární metoda (Obr. 6), při které je měřen vodorovný směr φ , zenitový úhel ζ a šikmá vzdálenost d_s .



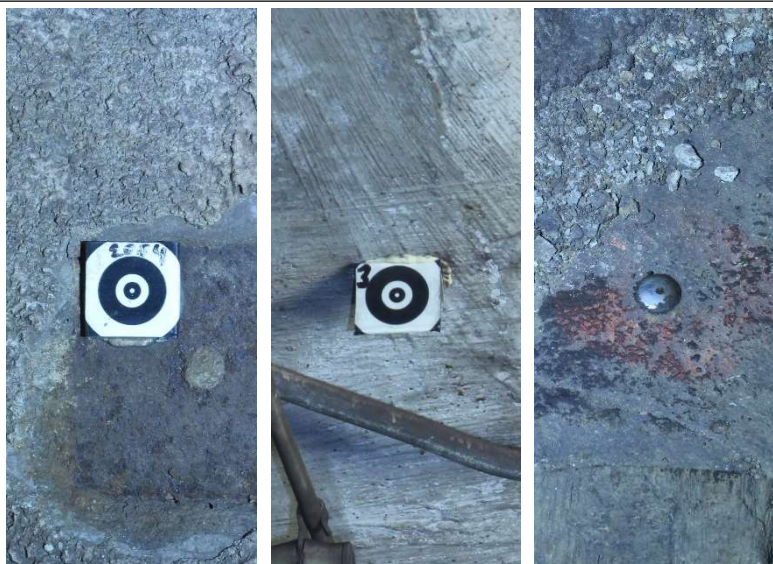
Obr. 6: Prostorová polární metoda (vlastní zdroj)

3.1 Měřické práce

Po příjezdu na místo byla měřická četa pracovníkem dopravního podniku vpuštěna do útrobu metra. Měření bylo prováděno ve dvou osobách. Jeden člověk měřil a druhý osvětloval měřený bod. Aby bylo možné vstoupit do kolejiště, bylo nutné splnit několik podmínek. Každý člen čety musel být poučen o BOZP v metru, mít na sobě po celou dobu pohybu v kolejišti reflexní vestu se jmenovkou a fotkou, svítilnu a píšťalku.

3.1.1 Rekognoskace

Po vstupu do kolejiště a příchodu na místo měření, byla nejprve provedena rekognoskace stanoviště, identických a pozorovaných bodů (Obr. 7). Body byly nejprve zkontrolovány, zda nějaký z nich nebyl v průběhu mezi jednotlivými etapami zničen nebo poškozen. Do prostor tunelu se denně dostává spolu s vodou i spousta usazenin. V kombinaci s prachem, šmírem, výfukovými zplodinami a olejem vytékajícím z vlakových souprav dochází k tomu, že se body zanášejí. Proto bylo vždy nutné před měřením identické a sledované body obejít a zbavit nečistot tak, aby byly zaručeny co nejpřesnější výsledky. Totožný postup byl proveden i v druhém tunelu.



Obr. 7: Identický bod (vlevo) a pozorovaný body (uprostřed a vpravo) (vlastní zdroj)

3.1.2 Měřický postup pozorovaných bodů

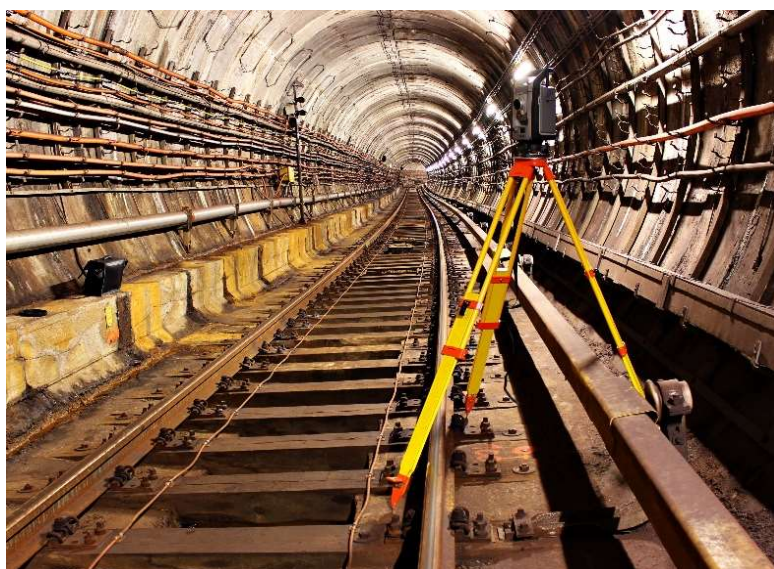
Když nebyl při rekognoskaci odhalen žádný problém, bylo zahájeno samotné měření. V prvním kroku bylo zapotřebí určit polohou stanoviska. Protože podmínky v tunelu neumožňovaly pilířovou nebo boční stabilizaci, při které je zaručena pokaždé stejná poloha stanoviště pozorování, byla použita metoda volného stanoviska. I přesto byl v počtvě měřickým hřebem (Obr. 8) stabilizován bod 1001, na který se stroj pečlivě zcentroval a zhorizontoval. Při centraci a horizontaci bylo ještě důležité, aby výsledná výška stroje byla 1,6 m (s přesností ± 2 cm). Výška stroje byla měřena svinovacím metrem. Když byla poloha totální stanice takto definována, docházelo k podobným vlastnostem jako při boční stabilizaci, což je při určování posunů důležité. Podobná prostorová poloha přístroje v každé etapě měla za cíl minimalizovat systematické chyby působící na určení polohy sledovaných bodů.



Obr. 8: Stabilizace stanoviska (vlastní zdroj)

Po dokončení centrace a horizontace bylo zahájeno určování stanoviska. Pro definici stanoviska byly využity čtyři identické body (1002, 1003, 1004 a 1005), u kterých byly již známé souřadnice a byly uloženy ve stroji. Nejdříve bylo v první poloze dalekohledu zacíleno na bod 1002 a změřen vodorovný směr, zenitový úhel a šikmá vzdálenost. Totální stanice pomocí servomotorků automaticky protočila dalekohled do druhé polohy. Jemnými ustanovkami bylo přesně docíleno a opět byly určeny všechny tři veličiny. Protože bylo prováděno také ruční cílení, bylo důležité, aby druhý člen čtyř vždy svítil na měřený bod baterkou. Díky zorientování na tento bod a známým souřadnicím všech identických bodů byl stroj po zadání měřeného bodu samovolně natáčen a hrubě na tento bod zacílen. Pokaždé bylo ale nutné ručně docílit. Jen v nulté etapě bylo zapotřebí hrubého cílení kolimátorem, jelikož nebyly souřadnice ještě známy. Byly určovány stejně jako pozorované body, v kanceláři vypočteny a následně určeny za vztažné. Takto byly postupně změřeny i zbylé tři identické body v pořadí 1004, 1005 a 1003. Když byly zaměřeny všechny čtyři body, bylo dokončeno určení volného stanoviska.

Poté bylo přikročeno k měření pozorovaných konvergenčních bodů (Obr. 9). Vzhledem k tomu, že v tomto případě se jednalo již o určované body a nebyly u nich známy souřadnice, tak se postup částečně lišil. V první poloze dalekohledu bylo kolimátorem hrubě zacíleno na bod 1 a manuálně docíleno jemnými ustanovkami. Byl změřen vodorovný směr, zenitový úhel a šikmá vzdálenost. Totální stanice protočila dalekohled do druhé polohy. Znovu bylo jemnými ustanovkami ručně docíleno a provedeno zaměření. Díky optickému docílení bylo zapotřebí i při určování bodů prstence pokaždé měřený bod osvětlit. Tímto způsobem byly postupně určeny i body 2, 3, 4 a 5.



Obr. 9: Měření v tunelu metra (vlastní zdroj)

Následně byla ještě jednou změřena v obou polohách dalekohledu orientace na bod 1002, aby bylo možné při měření provést kontrolu, jestli se stativ s totální stanicí nepohnul. V paměti



stroje byl otevřen zápisník. Byly porovnány hodnoty z prvního a druhého zaměření. Pokud tyto hodnoty odpovídaly, pokračovalo se v měření.

V dalším kroku byly měřeny nivelační body. I přesto, že se stále jednalo o pozorované body, byl postup měření v několika věcech značně odlišný. Na rozdíl od předchozích měření, která byla prováděna pasivně na měřické štítky, tak tentokrát byl využit odrazný hranol s výtyčkou postavený na měřický hřeb. Proto bylo možné nastavit měření na metodu „robotic“, kdy je se strojem manipulováno na dálku a není zapotřebí, aby měřič stál u totální stanice. Když byla metoda nastavena v přístroji, byl z něj odejmut displej a vložen do takzvaného kontroleru (jeho pomocí je možné stanici ovládat dálkově). Měření bylo přenastaveno na aktivní cíl. Díky aplikaci přenášející živý obraz dalekohledu na displej bylo zacíleno na hranol. Ve stroji byla zapnuta funkce „autolock“. Ta umožňovala kontinuální sledování odrazného hranolu s výtyčkou i jeho přesné zacílení. Metoda má však jednu nevýhodu. V případě, že by se v zorném poli dalekohledu objevil i jiný silně odrazný materiál, mohlo by dojít k změně zacílení. Tento problém nastává například u reflexivních proužků vesty (proto bylo důležité kontrolovat zacílení totální stanice na odrazný hranol). Po nastavení výše vyjmenovaných funkcí bylo zahájeno samotné měření. Hranol s výtyčkou byl postaven na bod 2407 a na kontroleru bylo zahájeno měření. Opět byl měřen vodorovný směr, zenitový úhel a šikmá vzdálenost. Stroj byl automaticky protočen do druhé polohy a znovu proběhlo zaměření. Dále bylo s hranolem přejito na další bod a měření se opakovalo. Při přechodu na následující bod bylo důležité, aby mezi dalekohledem a odrazným hranolem nevznikla žádná překážka a cíl nebyl ztracen. V opačném případě bylo nutné ho opět vyhledat. Tímto postupem byly změřeny všechny nivelační body (body 2407, 101-110 a 2419).

Když bylo dokončeno měření v prvním tunelu, bylo měřické vybavení sbaleno a četa se přesunula do druhého tunelu. V něm byl celý postup opakován. Byla provedena rekognoskace a očištění bodů. Stroj byl postaven na bod 2001 do výšky 1,6 m, zcentrován a zhorizontován. Dále bylo pomocí identických bodů (body 2002, 2005, 2004 a 2003) určeno volné stanovisko. Byly změřeny pozorované body konvergenčního profilu (body 6, 7, 8, 9 a 10). Znovu byl změřen bod 2002 a byla provedena kontrola stability totální stanice. V posledním kroku pak byly určeny nivelační body (body 2424, 201-210 a 2436).

Jak bylo již zmíněno, ve všech etapách se veškeré body měřily v jedné měřické skupině (postup stanovený firmou pro odstranění osových chyb a splnění požadované přesnosti). Výjimkou byla pouze nultá etapa, ve které byly měřeny skupiny dvě, jinak byl postup naprosto totožný. Důvodem měření ve dvou skupinách bylo, že byly v této etapě definovány souřadnice identických bodů a určené hodnoty u pozorovaných bodů byly brány za vztažné pro vyhodnocování následných posunů. Veškerá měřená data byla ukládána do paměti totální stanice.

3.2 Kancelářské práce

Po příchodu do kanceláře byla z paměti přístroje získána surová data ve formátu *.SDR. Když to bylo jen trochu možné, bylo měření zpracováno ještě ten samý den. Důvodem tohoto postupu bylo, že pokud byly při měření provedeny nějaké chyby nebo opravy (např.: bod byl určen zjevně nepřesně a bylo nutné ho změřit znovu nebo byl omylem změřen dvakrát), bylo snadné měření upravit a byla zachována jen správná data.

Zpracování naměřených dat bylo v této diplomové práci provedeno dvěma způsoby. Při prvním způsobu výpočtu bylo postupováno zjednodušeným způsobem (zjednodušená redukce šikmých vzdáleností) odvozeným od výpočtů prováděných firmou GEOPROGRES. Tento postup byl označen jako metoda redukováných měřených dat (MI). Druhý postup výpočtu byl nově navržený, odlišný a byl pojmenován metoda neredukovaných měřených dat (MII).

V první metodě bylo volné stanovisko počítáno pouze z vodorovných směrů a zenitových úhlů. Vstupními hodnotami pro určení souřadnic konvergenčních bodů byly vodorovné směry, zenitové úhly a šikmé délky převzaté z nulté etapy redukováné o centrační změnu v ose X. Pouze pro výpočet nivelačních bodů byla použita přímo naměřená data. GEOPROGRES prováděl vyrovnání v programu Kokeš. V této práci byl ale pro totožný postup použit software EasyNET. V druhém případě byla pro výpočty použita všechna naměřená data. K určení volného stanoviska, konvergenčních i nivelačních bodů byly vždy využity vodorovné směry, zenitové úhly a šikmé vzdálenosti. Žádné hodnoty nebyly redukovány a pro vyrovnání byl opět použit program EasyNET. Podrobný postup těchto metod je popsán v kapitolách 7.2.2.1 a 7.2.2.2.

Určování a vyhodnocování horizontálních a vertikálních posunů už bylo opět u obou metod shodné. Horizontální posuny byly definovány rozdíly z y-ových souřadnic a vertikální posuny z difference z-ových souřadnic. Detailní popis metody je uveden v kapitole 7.2.3.

3.3 Obecný výpočet vyrovnání MNČ

Do výpočtu vyrovnání prostorové vázané geodetické sítě vstupují souřadnice identických bodů, přibližné souřadnice pozorovaných bodů a naměřená data (vodorovné směry, zenitové úhly, šikmé délky atd.). Výstupními hodnotami (neznámými veličinami) jsou vyrovnané souřadnice pozorovaných bodů. K tomu, aby bylo možné vázanou síť vůbec vyrovnat, je zapotřebí znát minimálně dva body, které se neurčují (identické body).

Obecný model geodetické sítě je dán normální rovnicí. Do této rovnice vstupuje váhová matice P , matice plánu A , transponovaná matice plánu A^T , vektor redukováných měření l' a vektor přírůstků neznámých dx .

$$A^T \cdot P \cdot A \cdot dx + A^T \cdot P \cdot l' = 0 \quad (1)$$



Určení váhy jednotlivých veličin p_i je dáno poměrem kvadrátů apriorní směrodatné odchylky jednotkové σ_0 (nejčastěji volena konstanta 1) a směrodatné odchylky měření σ_i . Tu je vhodné znát co nejlépe, jelikož určuje výslednou váhu.

$$p_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2} \quad (2)$$

Matice vah P je sestavena z jednotlivých vah měření.

$$P = \begin{pmatrix} p_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_n \end{pmatrix} \quad (3)$$

Z parciálních derivací funkce f_m (funkce vyjadřující vztah mezi měřením l_i a určovanými souřadnicemi X) podle X_n (neznámé veličiny) vznikne matice plánu A .

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial X_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial X_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial X_1} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial X_n} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Dále je spočítán vektor redukováných měření l' .

$$l' = f(X_0) - l \quad (5)$$

Pomocí matice plánu, vah a vektoru redukováných měření se vypočítají přírůstky neznámých dx .

$$dx = -(A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot P \cdot l' \quad (6)$$

Vyrovnané neznámé X se určí z přibližně určených neznámých X_0 , které jsou opraveny o přírůstky neznámých dx .

$$X = X_0 + dx \quad (7)$$

Následně je vypočten vektor oprav v .

$$v = A \cdot dx + l' \quad (8)$$

Pro možnost zhodnocení výsledných hodnot je zjištěna aposteriorní směrodatná odchylka jednotková.

$$\sigma_P = \sqrt{\frac{v^t \cdot P \cdot v}{n - k}} \quad (9)$$



V posledním kroku je pak určena kovarianční matice vyrovnaných neznámých, kde je popsána přesnost výsledků vyrovnání.

$$M = \sigma_p^2 \cdot (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \quad (10)$$

Takto pospaný postup je v dnešní době ve valné většině případů řešen softwarově. Výpočet je prováděn iterativně, dokud není dosaženo požadovaného souladu prvních a druhých oprav. [7] [8] [9]

4 MĚŘICKÉ A SOFTWAREVÉ VYBAVENÍ

Pro určení polohy pozorovaných bodů bylo zapotřebí jak měřického, tak softwarového vybavení. Níže popsané měřické vybavení bylo využito k naměření surových dat v prostorech tunelů. Softwarovým vybavením pak byla změřená data zpracována a byly v něm určeny výsledné hodnoty.

4.1 Měřické pomůcky

Měření v tunelu bylo provedeno pomocí totální stanice Trimble S9 upnuté do teleskopického stativu. Body byly stabilizovány měřickými štitky nebo měřickými hřeby. Při určení bodu stabilizovaného měřickým hřebem byl využit odrazný hranol s výtyčkou. Ke zlepšení světelných podmínek byla použita svítilna.

4.1.1 Totální stanice

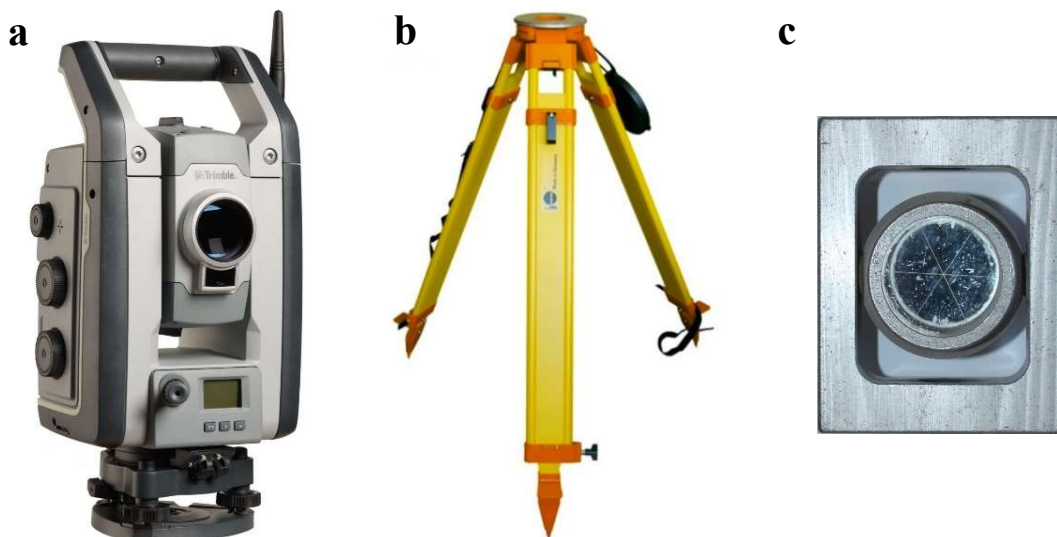
Trimble S9 (Obr. 10a) s výrobním číslem 38410043 je totální stanice one-man s přesností měřeného vodorovného směru a zenitového úhlu 1". Přesnost měřené délky na odrazný hranol je 1 mm + 1 ppm a přesnost měřené délky bezhranolovým měřením 3 mm + 2 ppm. Stanice je vybavena magnetickými servomotorky MagDrive, technologií SurePoint (odstranění nežádoucího pohybu přístroje), dálkoměrem DR Plus (prodloužený dosah dálkoměru při měření pasivně nebo na odrazný hranol), systémem automatického cílení Finelock (možnost použít funkci autolock v jakémkoliv prostředí) a technologií Trimble VISION (přenášení živého obrazu dalekohledu na displej totální stanice). [10]

4.1.2 Teleskopický stativ

Stativ (Obr. 10b) je z tvrdého dřeva, robustní a těžký. Nejčastěji je používán společně s totální stanicí nebo laserovým skenerem pro určování posunů a deformací. Vysoká stability stativu je zajištěna díky dvojímu upínání teleskopických nohou pomocí rychlosvorek a šroubů. Hlava je rovná a kruhová. [11]

4.1.3 Odrazný hranol

Odrazný hranol (Obr. 10c) od firmy Trimble, je hranol určený k velmi přesnému měření. Robustní rám je vyroben z kovové slitiny o rozměrech 98 x 78 x 25 mm. Na jeho horní a dolní straně je zabudována libela a vyhlouben závit. Konstanta hranolu je -35 mm a průměr odrazné plochy je 42 mm. [12]



Obr. 10: Hlavní měřické pomůcky [10] [11] [12]

4.1.4 Výtyčka

Hrot výtyčky (Obr. 11a) je zhotoven z kovové slitiny a je dlouhý 5 cm. Nástavec (Obr. 11a) je vyhotoven z hliníku a jeho délka je 50 cm. Závit obou částí je 5/8". Celá výtyčka je vyrobena velmi precizně a je vhodná k přesnému měření. [13] [14]

4.1.5 Měřický štítek

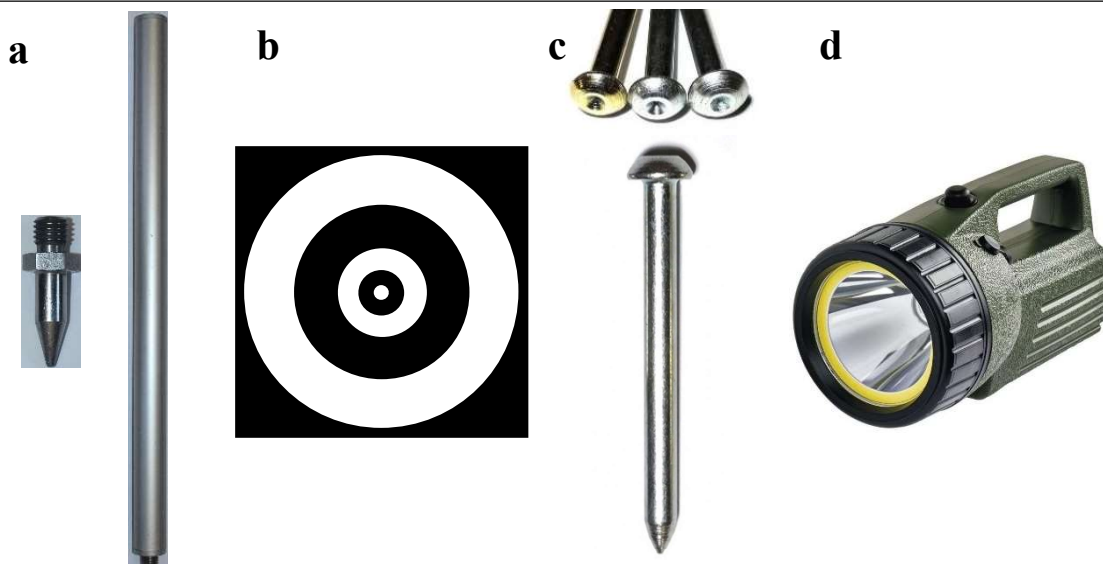
Štítek (Obr. 11b) se skládá z černého čtvercového podkladu a z tří bílých a dvou černých soustředných kruhů. Je vyroben z hliníku a kombinace barev kruhů je zvolena tak, aby bylo dosaženo co nejpřesnějšího cílení. Rozměr štítku je 3 cm x 3 cm.

4.1.6 Měřický hřeb

Měřický hřeb (Obr. 11c) je vyhotoven z nerezové oceli. Kulová hlava má průměr 12 mm s vyhloubeným centrovacím důlkem ve středu. Celková délka hřebu je 60 mm. [15]

4.1.7 Svítilna

Svítilna (Obr. 11d) má technologii svícení LED a COB LED s dosvitem až 400 m. Doba svícení v módu LED je 2,5 h a v COB LED 25 h. Zdroj má objemem 10 W a olověný akumulátor 6 V. [16]



Obr. 11: Doplnkové měřické pomůcky [13] [14] [15] [17]

4.2 Softwarové vybavení

Pro urychlení plánování a zpracování měření bylo použito softwarového vybavení. K provedení rozborů přesnosti před měřením byl použit program *PrecisPlanner 3D*. Zpracování měřených dat a určení výsledných hodnot proběhlo v softwaru *EasyNet*.

4.2.1 *PrecisPlanner 3D*

PrecisPlanner 3D je program sloužící k optimálnímu plánování postupu a přesnosti měření inženýrsko-geodetických sítí dle zadání zakázky. Software dokáže při přibližné konfiguraci identických a pozorovaných bodů, určení měřených veličin a jejich přesnosti definovat přesnost výsledných souřadnic a vytvořit kovarianční matici. Před samotným výpočtem je možné v mapě souřadnic přidat nebo odebrat a stanovit fixní/vyrovnané body a v mapě měření definovat vodorovné směry, zenitové úhly, vodorovné/šikmé délky a jejich směrodatné odchylky. Výpočet je prováděn v programu *GNU Gama*, který využívá vyrovnání metodou nejmenších čtverců. Výsledky je možné uložit ve formě tabulky, protokolu a kovarianční matice. [8]

4.2.2 *EasyNet*

EasyNet je software, který slouží k výpočtům přesných a složitých geodetických měření. Program využívá pokročilých výpočetních metod, které zaručují přesnost dosažených výsledků. *EASYNET* je schopen automaticky detekovat a vylučovat odlehlá měření. Detekční metoda je založena na principu robustního vyrovnání geodetických měření. Aplikace ukládá veškeré programové nastavení a měřická data do projektu, který dává schopnost uživateli se k výpočtům vracet. Numerické výsledky lze ze softwaru exportovat v tabulkách a protokolech. Kresba geodetické sítě a grafické znázornění středních elips chyb se ukládají ve formátu DXF nebo jako obrázek JPG. [17]



5 OVĚŘENÍ PŘESNOSTI TOTÁLNÍ STANICE

Hlavní důvod, proč se ve většině případů přístroj testuje je ten, aby se zjistilo, zda odpovídá skutečná přesnost přístroje při dané metodě a konfiguraci měření, uváděné přesnosti výrobcem. V některých případech může nastat situace, že za normálních měřických podmínek se uváděná a skutečná přesnost přístroje shoduje, ale změní-li se podmínky pro měření (např.: zhoršená viditelnost, špatné světelné podmínky, krátké vzdálenosti měření nebo velká refrakce), může se změnit i skutečná přesnost přístroje. Dalším důvodem je, že ve většině případů je v zadání zakázky dán požadavek na přesnost zaměření a je tedy nutné vědět, zda přístroj splňuje danou přesnost a je pro zakázku vhodný.

Nejčastěji je měřický postup testování přístroje prováděn za pomoci normy (ČSN ISO 17123 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů), kde je zadán přesný měřický postup, stejně jako postup výpočtu a mezní odchylky. Důvodem je, že při různých postupech testovacího měření i výpočtu může docházet k odlišné výsledné přesnosti, a to je nepřijatelné. Druhou možností testování stroje je simulace podmínek měření, které se co nejvíce podobají podmínkám budoucího zaměření objednávky. Tím je možné zaručit předpoklad, že při měření bude přístroj schopen dosáhnout požadované přesnosti.

V tomto případě bylo provedeno testování dle druhého výše popsaného postupu. Podmínky pro měření byly vybrány tak, aby se co nejvíc shodovaly s plánovaným měřením v tunelu. Ověření přesnosti přístroje bylo provedeno na totální stanici Trimble S9 s výrobním číslem 38410043. Přístroj má výrobcem uváděnou přesnost jednoho měřeného vodorovného směru a zenitového úhlu 1" a jedné měřené délky 3 mm + 2 ppm (bezhranolové měření). Tato přesnost byla ověřena a potvrzena firmou GEOTRONICS Praha. [18]

5.1 Měřický postup ověření přesnosti

Ověření přesnosti totální stanice bylo rozděleno na dvě části s označením charakteristická a atypická vzdálenost. Důvodem dvojího testování přístroje bylo, že při měření na vzdálené a blízké body dochází k odlišným přesnostem měřených veličin. V případě etapového měření v tunelu bylo rozmezí délek od 4 do 88 metrů. Za atypickou vzdálenost byla považována délka do 5 metrů.

Při testu v charakteristické vzdálenosti byla délka definována na 40 metrů. Hodnota byla zvolena s ohledem na průměrnou délku měřenou na pozorované a identické body. U atypické vzdálenosti byla délka 4 metry, protože nejbližší body byly od přístroje v průměru právě takto vzdálené.

Před započítáním měření bylo důležité stanovit počet měřených skupin n , ze kterých byly posléze stanoveny skutečné výběrové směrodatné odchylky měřených veličin. Výchozím vzorcem pro určení množství skupin byl vzorec pro určení směrodatné odchylky výběrové směrodatné odchylky σ_σ . Poměr mezi touto odchylkou a výběrovou směrodatnou odchylkou σ byl stanoven na 1:10. Z takto daného vzorce byl vypočten počet nadbytečných měření n' .

$$\sigma_\sigma = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot n'}} \cdot \sigma \quad (11)$$

$$\frac{\sigma_\sigma}{\sigma} = 0,10 = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot n'}} = \Rightarrow n' = 50$$

Počet měřených skupin n byl tedy vypočten jako součet počtu nadbytečných měření a nutných měření.

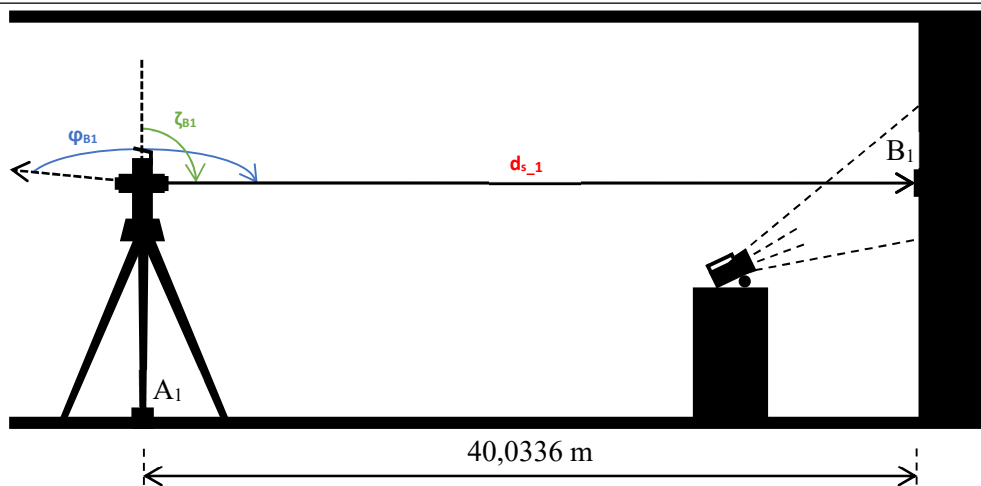
$$n = n' + 1 \Rightarrow n = 51 \quad (12)$$

Množství skupin bylo určeno na hodnotu 51. V našem případě bylo měřeno 56 skupin. Záměrně bylo měřeno o 5 skupin víc. Kdyby se v měření objevily hrubé chyby, bylo možné skupinu odstranit a nebylo nutné provádět celé měření znovu. Bližší odvození a zdůvodnění vzorců lze nalézt v [7].

5.1.1 Charakteristická vzdálenost

Test přesnosti přístroje Trimble S9 se sledovaným bodem v charakteristické vzdálenosti byl provedeno 22. 4. 2020. Prostorem pro ověření byla zvolena sklepní chodba panelového domu s betonovou podlahou na adrese Kukelská 926/16, Praha 14 – Hloubětín. Sklepní chodba byla pro testování zvolena záměrně, protože zde byly zhoršené světelné podmínky, stejně jako při měření v tunelu pražského metra.

V prvním kroku byla definována měřická základna (Obr. 12) s koncovými body A_1 a B_1 . Při určení základny byl jako první stabilizován proměřovaný bod B_1 . Bod B_1 byl signalizován měřickým štítkem se středem definovaným bílými a černými soustřednými kruhy. Místo, kde měl být štítek stabilizován na stěnu chodby, bylo nutné zbavit veškerých nečistot, aby byl po jeho stabilizaci fixní. Štítek byl nalepen ve výšce zhruba 1,7 m nad zemí. Poté byl na betonovou podlahu sklepa stabilizován bod A_1 . Signalizace byla realizována křížkem nakresleným lihovou fixou. Délka základny mezi body A_1 a B_1 , která byla navržena na 40 m, byla rozměřena pásmem.



Obr. 12: Ověření přesnosti totální stanice – charakteristická vzdálenost (vlastní zdroj)

V dalším kroku byl přístroj upnut k robustnímu teleskopickému stativu s dvojitým zajištěním nohou. Totální stanice byla postavena na bod A_1 přibližně do výšky 1,7 m a byla uskutečněna její temperace. Aby bylo možné díky sníženým světelným podmínkám cílit na pozorovaný bod, bylo nutné po celou dobu měření na bod B_1 svítit. Osvětlení bylo nastaveno tak, aby se štítek neleskl v objektivu dalekohledu, ale zároveň byl dobře viditelný.

Následně na to byl přístroj zapnut. Totální stanice byla zhruba zcentrována a pomocí digitální libely přesně zhorizontována. Byla založena zakázka a nastaveny atmosférické podmínky. Po nastavení teploty a tlaku vzduchu byla v přístroji pro měření zvolena metoda Měření bodů, při které je měřen vodorovný směr, zenitový úhel a šikmá vzdálenost. Aby bylo možné měřit délky na měřický štítek, bylo vybráno takzvané bezhranové měření.

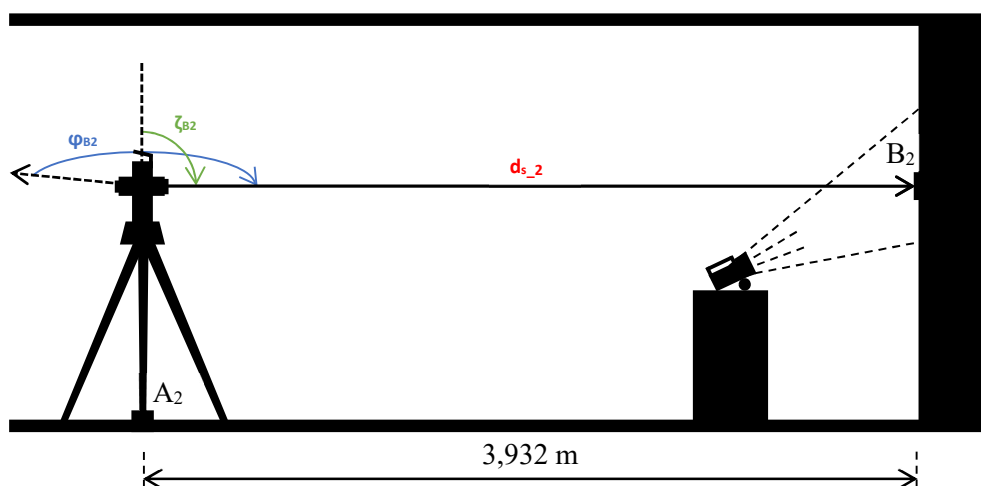
Po nastavení přístroje bylo započato samotné měření. Totální stanice byla nastavena do první polohy dalekohledu a bylo zacíleno na bod B_1 . Hrubé zacílení na měřický štítek bylo provedeno kolimátorem a díky jemným ustanovkám pak bylo přesně docíleno do jeho středu. Byl změřen vodorovný směr φ , zenitový úhel ζ a šikmá vzdálenost d_s a měřené hodnoty byly uloženy do paměti totální stanice. Poté byl dalekohled pomocí servomotorků automaticky protočen do druhé polohy a hrubě zacílen. Před přesným docílením bylo zapotřebí, aby měřič jemnými ustanovkami lehce rozhodil zacílení, vyklepal obě ruce a teprve poté znovu ustanovkami stroj docílil. To bylo prováděno z důvodu, aby měření byla pokud možno nezávislá. Z rukou byla odstraněna pohybová paměť a nebyly do měření zaváděny systematické chyby. Následně na to byla opět změřena záměra a data uložena. Tím byla ukončena jedna měřická skupina. Měření bylo záměrně prováděno ve skupině, aby byly z měření odstraněny osově chyby přístroje. Popsaný měřický postup byl u každé skupiny stejný a veškerá naměřená data byla ukládána do paměti přístroje.

Od začátku až do konce měření byl kladen důraz na to, aby bylo měření provedeno co nejpřesněji, ale zároveň bylo důležité zvládnout měření za co nejkratší časový úsek. Důvodem snahy o co nejkratší možnou dobu měření bylo, že čím by měření trvalo déle, tím by byl pravděpodobnější výskyt chyb (např.: změna polohy stroje, únava měřiče atd.). Když bylo měření dokončeno, byla data z totální stanice vyexportována na paměťový disk.

5.1.2 Atypická vzdálenost

Test přesnosti totální stanice se sledovaným bodem v atypické vzdálenosti byl proveden 1. 11. 2019. Pro testování přístroje byl zvolen sklep v útrokách budovy firmy GEOPROGRES na adrese Stoliňská 819/6, Praha 20 – Horní Počernice. Znovu byl vybrán sklepní prostor s pevným betonovým podkladem, stejně jako při měření v charakteristické vzdálenosti, pro své podobné podmínky při měření jako v tunelu pražského metra.

Při určení měřické základny (Obr. 13) s koncovými body A_2 a B_2 bylo postupováno podobně jako u charakteristické vzdálenosti. Bod B_2 byl stabilizován měřickým štítkem, délka základny byla rozměřena pásmem a bod A_2 byl signalizován křížkem. Jediný rozdíl byl v rozměru základny, který byl v tomto případě 4 m.



Obr. 13: Ověření přesnosti totální stanice – atypická vzdálenost (vlastní zdroj)

Příprava před měřením i samotný měřický postup se shodoval s metodikou testování v charakteristické vzdálenosti. Nejdříve se nechal přístroj temperovat na okolní teplotu a byla zapnuta svítilna nastavená pro osvětlení bodu B_2 . Zapnutý přístroj byl zhruba zcentrován a přesně zhorizontován, byla založena zakázka, zadány atmosférické podmínky, zvolena měřická metoda měření bodů a bezhranový typ dálkoměru. Opět bylo na bod B_2 změřeno 56 skupin, mezi jednotlivými polohami dalekohledu rozhozeno cílení, vyklepávány ruče, znovu zacíleno a po ukončení měření byl proveden export dat.

5.2 Početní postup ověření přesnosti

Po příchodu do kanceláře byly soubory z externího uložení naimportovány do počítače jako surová měřená data ve formátu *.SDR. Obě metody byly zpracovány stejným způsobem, ale data byla vyhodnocována zvlášť. V programu Excel byla data rozdělena na vodorovné směry φ , zenitové úhly ζ a šikmé délky d_s , uspořádána po jednotlivých měřických skupinách a upravena do přehledných tabulek, ve kterých byly provedeny i veškeré výpočty. S ohledem na budoucí výpočty při rozbořích přesnosti před měřením byly pokaždé skutečné výběrové směrodatné odchylky měřených veličin určeny pro jednu skupinu.

5.2.1 Obecný postup výpočtu přesnosti

Výpočetní postup určení skutečných výběrových směrodatných odchylek byl u všech tří veličin takřka totožný. Jedinými dvěma rozdíly byly nutnost převodu jednotek u některých výrobcem uváděných směrodatných odchylek a určení měřené veličiny v jedné skupině. Z toho důvodu bylo možné popsat postup výpočtu obecně s neznámou α a lze za ni dosadit jakoukoliv ze tří veličin φ , ζ a d_s . Pouze u dvou již dříve zmiňovaných případů to nebylo možné a tehdy byly ve vzorci uvedeny konkrétní veličiny.

Základními jednotkami výrobcem udávané přesnosti totální stanice jsou stupně (stupňové vteřiny) a metry, ale v našem případě bylo měření prováděno v gonech a metrech. Proto bylo nutné převést udávanou směrodatnou odchylku horizontálního směru $\sigma_{\alpha, I}$ a zenitového úhlu $\sigma_{\zeta, I}$ ze stupňové míry na gonovou. U směrodatné odchylky šikmé délky $\sigma_{d_s, I}$ byly jednotky stejné.

$$\sigma_{\alpha, I}^{[gon]} = \frac{\sigma_{\alpha, I}^{[^\circ]}}{3600} \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \frac{200}{\pi} \quad (13)$$

Výrobcem udávané směrodatné odchylky přístrojem jsou definovány pro přesnost měření dané veličiny v jedné poloze dalekohledu. Aby je bylo možné porovnat se skutečnými výběrovými směrodatnými odchylkami určenými při měřickém testu, bylo nutné určit jejich hodnotu v jedné skupině. Proto byly spočítány výrobcem uváděné směrodatné odchylky pro jednu skupinu σ_{φ_0} , σ_{ζ_0} a $\sigma_{d_{s_0}}$.

$$\sigma_{\alpha_0} = \frac{\sigma_{\alpha, I}^{[gon]}}{\sqrt{2}} \quad (14)$$

Pro možnost posouzení rozdílu mezi výrobcem uváděnými směrodatnými odchylkami a empiricky určenými skutečnými výběrovými směrodatnými odchylkami byly určeny mezní výběrové směrodatné odchylky s_{M_φ} , s_{M_ζ} a $s_{M_{d_s}}$ na hladině významnosti 95 %, kde n je počet měření.

$$s_{M_\alpha} = \sigma_{\alpha_0} \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{2}{n-1}} \right) \quad (15)$$

V prvním kroku výpočtu naměřených dat byly určeny hodnoty měřených veličin v jedné skupině φ_j , ζ_j a $d_{s,j}$. Výpočet byl prováděn pro všech 56 skupin. U každé veličiny byl postup výpočtu jiný, a proto byly vzorce uvedeny s konkrétním značením.

$$\varphi_j = \frac{\varphi_{I,j} + \varphi_{II,j} \pm 200}{2}; \quad j=1,\dots,56 \quad (16)$$

$$\zeta_j = \zeta_{I,j} + \left(\frac{400 - (\zeta_{I,j} + \zeta_{II,j})}{2} \right); \quad j=1,\dots,56 \quad (17)$$

$$d_{s,j} = \frac{d_{sI,j} + d_{sII,j}}{2}; \quad j=1,\dots,56 \quad (18)$$

V druhém kroku se určily aritmetické průměry $\bar{\varphi}$, $\bar{\zeta}$ a \bar{d}_s . Tyto průměry byly vždy vypočteny ze všech 56 hodnot měřických skupin.

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} (\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n=56} \alpha_j \quad (19)$$

Dále byly určeny opravy v_j , což jsou rozdíly mezi vypočtenými průměry a jednotlivými veličinami.

$$v_{\alpha,j} = \bar{\alpha} - \alpha_j; \quad j=1,\dots,56 \quad (20)$$

V dalším kroku byly tyto opravy umocněny na druhou a vznikly takzvané kvadráty oprav.

$$v_{\alpha,j}^2 = v_j \cdot v_j \quad (21)$$

Následně na to byly vypočteny sumy kvadrátů oprav.

$$\sum_{j=1}^{n=56} v_{\alpha,j}^2 = (v_{\alpha,1}^2 + v_{\alpha,2}^2 + \dots + v_{\alpha,n}^2) \quad (22)$$

Ze sum kvadrátů oprav a nadbytečných počtů měření se určily skutečné výběrové směrodatné odchylky σ_φ , σ_ζ a σ_{d_s} pro vzdálenost 40 a 4 metrů. Počet nadbytečných měření n' byl určen jako rozdíl mezi počtem měřených skupin n a nutným počtem měření, který byl v tomto případě jedna.

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{56} v_{\alpha,j}^2}{n'}} \quad (23)$$

V posledním kroku byla definována podmínka, podle které byly hodnoceny výsledné hodnoty. Pokud byla mezní výběrová směrodatná odchylka rovna nebo větší nežli skutečná výběrová směrodatná odchylka, byla podmínka splněna. Jestliže byla skutečná výběrová směrodatná odchylka větší, byl předpoklad nesplněn.

$$s_{M_{\alpha}} \geq \sigma_{\alpha} \quad (24)$$

5.2.2 Charakteristická vzdálenost

Při výpočtech skutečné výběrové směrodatné odchylky vodorovného směru, zenitového úhlu a šikmé délky s bodem v charakteristické vzdálenosti 40 m bylo vycházeno z dat pod označením „Surová měřená data pro směrodatnou odchylku vodorovného směru (v. s.), zenitového úhlu (z. ú.) a šikmé délky (š. d.) (Char. vzd.)“. Při výpočtu bylo postupováno dle kroků uvedených v předchozí kapitole 5.2.1. Zpracování surových měřených dat a numerické výpočty jsou uvedeny v přílohách (vodorovný směr – Příloha 21.1, zenitový úhel – Příloha 21.2 a šikmá délka – Příloha 21.3). Výsledné směrodatné odchylky a jejich porovnání dle vzorce (15) se nachází v tabulce Tab. 1.

Tab. 1: Porovnání směrodatných odchylek v 1 skupině (Charakteristická vzdálenost)

POROVNÁNÍ SMĚRODATNÝCH ODCHYLEK V 1 SKUPINĚ (CHARAKTERISTICKÁ VZDÁLENOST)					
Vodorovný směr		Zenitový úhel		Šikmá vzdálenost	
Veličina	Hodnota [mgon]	Veličina	Hodnota [mgon]	Veličina	Hodnota [mm]
$\sigma_{\varphi 0}$	0,21	$\sigma_{\zeta 0}$	0,21	σ_{ds0}	2,12
σ_{φ}	0,47	σ_{ζ}	0,22	σ_{ds}	0,53
$s_{M_{\varphi}}$	0,24	$s_{M_{\zeta}}$	0,24	$s_{M_{ds}}$	3,57
Podmínka	NESPLNĚNA	Podmínka	SPLNĚNA	Podmínka	SPLNĚNA

5.2.3 Atypická vzdálenost

Pro určení výsledných skutečných výběrových směrodatných odchylek měřených veličin v atypické vzdálenosti 4 metry bylo pracováno se vstupními daty s označením „Surová měřená data pro směrodatnou odchylku vodorovného směru (v. s.), zenitového úhlu (z. ú.) a šikmé délky (š. d.) (Atyp. vzd.)“. Průběh určení byl stejný jako u výpočtů při charakteristické vzdálenosti, který byl popsán v kapitole 5.2.1. Naměřená data a jejich vyhodnocení jsou znovu uvedeno v přílohách (vodorovný směr – Příloha 21.4, zenitový úhel – Příloha 21.5 a šikmá délka – Příloha 21.6). Určené směrodatné odchylky a jejich vyhodnocení dle vzorce (15) je znázorněno v tabulce Tab. 2.

Tab. 2: Porovnání směrodatných odchylek v 1 skupině (Atypická vzdálenost)

POROVNÁNÍ SMĚRODATNÝCH ODCHYLEK V 1 SKUPINĚ (ATYPICKÁ VZDÁLENOST)					
Vodorovný směr		Zenitový úhel		Šikmá vzdálenost	
Veličina	Hodnota [mgon]	Veličina	Hodnota [mgon]	Veličina	Hodnota [mm]
$\sigma_{\varphi 0}$	0,21	σ_{z0}	0,21	σ_{z0}	2,12
σ_{φ}	0,70	σ_z	0,23	σ_z	0,33
$S_{M\varphi}$	0,24	S_{Mz}	0,24	S_{Mds}	3,57
Podmínka	NESPLNĚNA	Podmínka	SPLNĚNA	Podmínka	SPLNĚNA

5.3 Zhodnocení přesnosti přístroje

Po určení směrodatných odchylek a jejich porovnání bylo patrné, že výrobcem udávané přesnosti odpovídají skutečným výběrovým směrodatným odchylkám pouze z části. Při ověření přesnosti vodorovného směru nebyla podmínka splněna ani v jedné testované vzdálenosti. Naopak v případě zenitového úhlu a šikmé vzdálenosti byly předpoklady splněny vždy. I přes snahu nasimulovat podmínky při testu tak, aby byly co nejvíce podobné podmínkám v metru, bylo měření v tunelech ještě trochu náročnější. Proto byla přesnost měření totální stanice pro body v 1 skupině v charakteristické u vodorovného směru i zenitového úhlu definována na hodnotu 0,5 mgon a u šikmé vzdálenosti na hodnotu 1 mm + 1 ppm (použita udávaná přesnost výrobcem pro měření délky na hranol). V případě, že se bod nacházel v atypické vzdálenosti, byla hodnota u úhlů zhoršena na 0,7 mgon, ale přesnost délky zůstala stále 1 mm + 1 ppm. To stále odpovídá požadované přesnosti určení pozorovaných bodů, a proto bylo zkonstatováno, že je přístroj pro určování posunů vhodný.

6 ROZBORY PŘESNOSTI PŘED MĚŘENÍM

Většina zeměměřických prací prováděných v inženýrské geodézii má zadaná požadovaná kritéria přesnosti. Ty jsou nejčastěji definovány smluvními podmínkami nebo normou určenými předpisy. Pro zhotovitele je tedy důležité, aby měl jistotu, že zvolená metoda splňuje požadované přesnosti. Z tohoto důvodu jsou prováděny rozbor přesnosti před měřením. Využívají se pro výběr vhodného postupu měření, k určení nutného počtu opakování měřených veličin a zhodnocení výhodnosti z ekonomické stránky.

Běžně je postupováno tak, že se podle možného měřického vybavení, požadavků zadavatele a zadané přesnosti vybere měřická metoda. Poté se zvolí a vypočítají požadované přesnosti přímo měřených hodnot. V posledním kroku se pak definuje nutný počet opakování měřených veličin. [19]

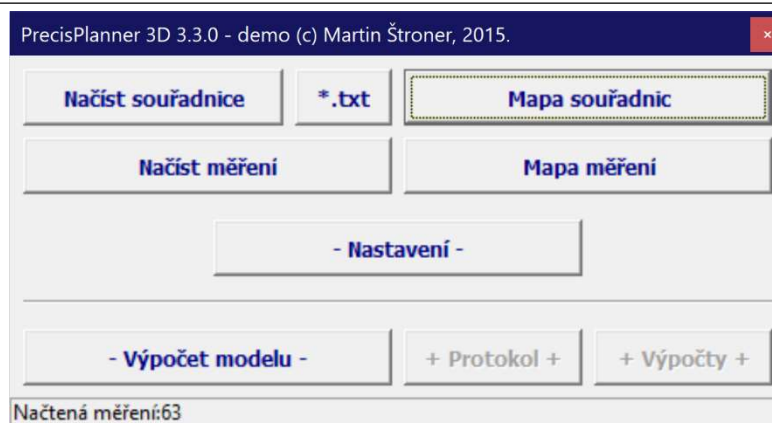
V této diplomové práci nebyla hledána nejvhodnější metoda, ale bylo zde pouze posuzováno, zda byl použit vhodný měřický postup. Požadovaná přesnost určení polohy pozorovaného bodu byla stanovena na 1 mm. Pro měření byla vybrána prostorová polární metoda s měřením bodů v jedné skupině. Přístrojovým vybavením byla totální stanice Trimble S9.

Rozbory přesnosti byly prováděny v programu PrecisPlanner 3D a to hned dvěma různými způsoby (metoda redukováných měřených dat, která pro výpočtu neuvažuje některé vzdálenosti a metoda neredukovaných měřených dat, kde jsou k výpočtu využity veškeré měřené veličiny). Jelikož však byly postupy odlišné pouze v jednom kroku, bylo možné postup v kapitole 6.1 popsat obecně. V části, kde bylo postupováno jinak, byl postup popsán konkrétně. Každý tunel byl ještě pro přehlednost vyhodnocován zvlášť.

6.1 Rozbory přesnosti před měřením v programu PrecisPlanner 3D

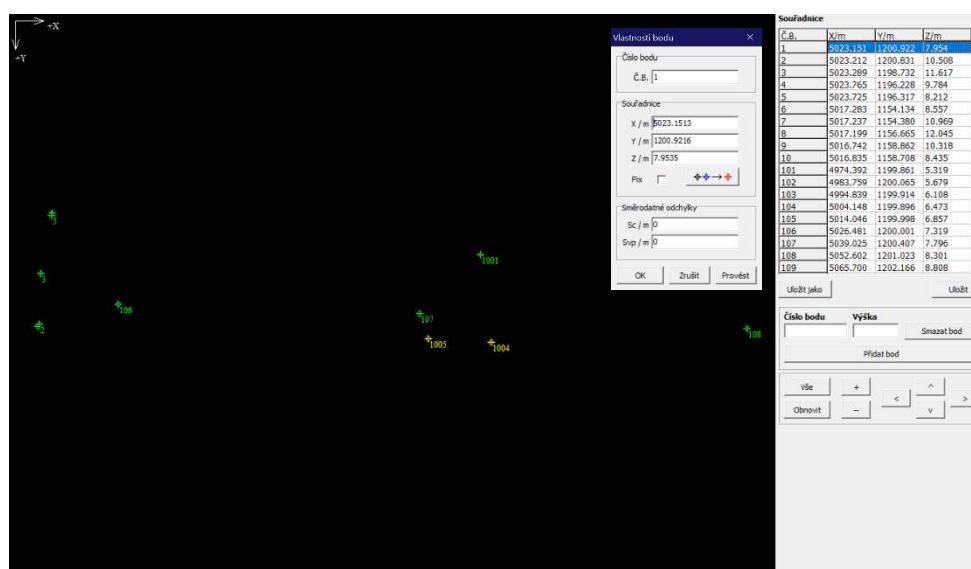
Ještě před samotným spuštěním programu byl v textovém formátu vytvořen seznam souřadnic (číslo bodu, X, Y a Z). Seznam obsahoval stanoviska, identické body, konvergenční body a nivelační body obou tunelů. Přesnost metody byla pouze ověřována, a tak byly souřadnice bodů převzaty z určení v nulté etapě.

Když byl software PrecisPlanner 3D zapnut, objevilo se hlavní okno (Obr. 14). Odtud bylo možné načíst souřadnice a měření, zobrazit mapu souřadnic nebo měření, provést nastavení programu a zahájit samotný výpočet modelu. Jako první byl do aplikace načten předem vytvořený seznam souřadnice ve formátu *.TXT. Nahrání bylo provedeno pomocí ikony „*.txt“.



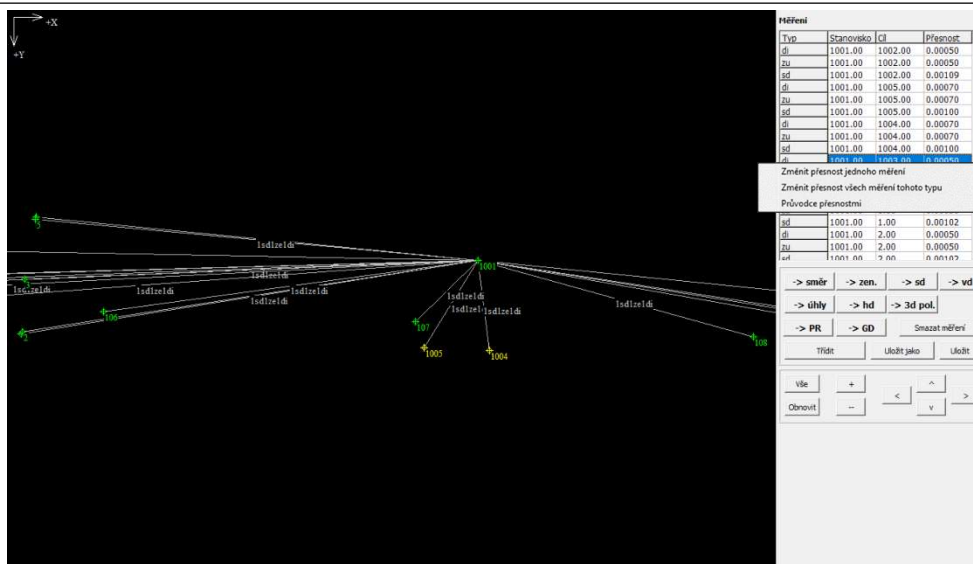
Obr. 14: Hlavní okno programu PrecisPlanner 3D (vlastní zdroj)

V druhém kroku bylo otevřeno dialogové okno mapa měření (Obr. 15). Pohledově bylo zkontrolováno, jestli měřická síť odpovídá skutečnosti. Pokud nebyla odhalena žádná hrubá chyba, byly definovány fixní body. Po označení daného bodu bylo otevřeno okno vlastnosti bodu (Obr. 15 vpravo nahoře). V novém okně pak byla zaškrtnuta kolonka fixní. Jako fixní byly označeny všechny identické body. Po dokončení bylo okno zavřeno a hodnoty automaticky uloženy.



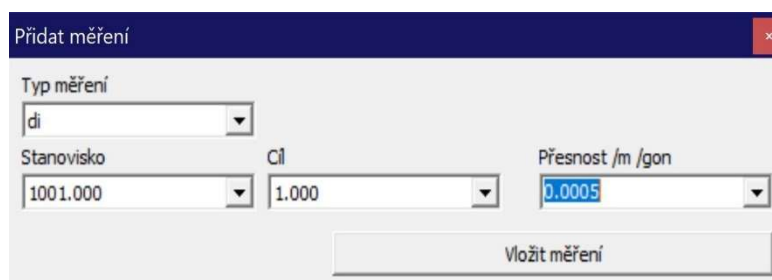
Obr. 15: Program PrecisPlanner 3D – mapa souřadnic (vlastní zdroj)

Následně byla otevřena mapa měření (Obr. 16), kde byly zobrazeny jednotlivé definované měřené veličiny. Seznam zaznamenaných hodnot byl zobrazen v pravé části v panelu měření. Zde bylo znázorněno číslo stanoviska, cíle a přesnost měření. Jednotkami pro úhly byly gony a pro délky metry.



Obr. 16: Program PrecisPlanner 3D – mapa měření (vlastní zdroj)

K vložení měřených veličin sloužila tlačítka pod tabulkou měření. Po jeho potvrzení se objevilo dialogové okno pro zadávání měření a jeho přesnosti (Obr. 17). Námi využívané ikony byly prostorová polární metoda (3d pol.), vodorovný směr (di), zenitový úhel (zu) a šikmá délka (sd). Tímto způsobem zde byly vloženy veškeré měřené hodnoty vstupující do následného vyrovnání a určení pozorovaných bodů. Z toho důvodu byla tato část pro každou z metod poněkud odlišná. V metodě redukovaných měřených dat byla u identických bodů nastavena pouze měření *di* a *zu*. U zbylých bodů (pozorované body) byly zadány parametry *di*, *zu* a *sd*. V metodě neredukovaných měřených dat byly u všech bodů definovány měřené veličiny *di*, *zu* a *sd*. Bližší zdůvodnění těchto postupů je uvedeno v kapitole 7.2.2.1 a 7.2.2.2.



Obr. 17: Dialogové okno pro zadávání měření a jeho přesnosti (vlastní zdroj)

Po nadefinování veškerých potřebných měření byla uskutečněna hromadná úprava přesnosti měřených veličin. To bylo provedeno v dialogu průvodce přesnosti (Obr. 18) po označení libovolného měření v tabulce a stisknutí pravého tlačítka. Hodnotami použitými při nastavení byly skutečné výběrové směrodatné odchylky určené pro charakteristickou vzdálenost při ověření přesnosti totální stanice. Pro vodorovný směr a zenitový úhel byla aplikována přesnost 0,5 mgon a pro šikmou vzdálenost 1 mm + 1 ppm. Úhlové přesnosti byly nastaveny hromadně (u bodů v atypické vzdálenosti pouze prozatímní řešení), ale přesnost šikmé délky byla

u každého bodu nastavena zvlášť pomocí ikony „Jednotlivě*“. Důvodem jednotlivého nastavení bylo, že se každý bod nacházel v jiné vzdálenosti. Přesnost dálkoměru se mění právě v závislosti na délce záměry, a proto mají všechny vzdálenosti jinou přesnost.

Obr. 18: Dialogové okno pro hromadnou změnu přesnosti měření (vlastní zdroj)

Protože se v měřické síti nacházely i body v takzvané atypické vzdálenosti, které mají jiné úhlové přesnosti, bylo zapotřebí u těchto bodů prozatímní přesnost opravit. V tabulce bylo vybráno měření a po stisku pravého tlačítka zvoleno dialogové okno změnit přesnost jednoho měření (Obr. 19). Zde byla zadána hodnota skutečné výběrové směrodatné odchylky určená pro atypickou vzdálenost. Takto byly upraveny všechny přesnosti vodorovných směrů a zenitových úhlů u bodů v této vzdálenosti. Po dokončení nastavení všech měřených veličin byl dialog mapa měření zavřen a hodnoty byly znovu automaticky uloženy.

Obr. 19: Dialogové okno pro změnu přesnosti jednoho měření (vlastní zdroj)

Když byly v programu nastaveny veškeré konfigurační parametry (souřadnice, měřené veličiny a jejich přesnost), byl v hlavním okně programu zahájen výpočet pomocí ikony „-Výpočet modelu-“. Poté, co byl výpočet dokončen, bylo použitím tlačítka „-Výpočet+“

otevřeno rozhraní výsledky a výpočty (Obr. 20). Zde byly znázorněny čísla bodů, souřadnice, směrodatné odchylky a parametry elipsoidů chyb z vytvořeného modelu měření.

Č.B.	X/m	Y/m	Z/m	s(x)/mm	s(y)/mm	s(z)/mm
1	5023.151320	1200.921620	7.953510	1.004	0.253	0.175
1001	5041.536900	1197.956610	9.614000	0.041	0.088	0.032
101	4974.392060	1199.860780	5.319050	1.069	0.650	0.533
102	4983.759290	1200.065290	5.679370	1.058	0.561	0.461
103	4994.839030	1199.914450	6.108090	1.047	0.457	0.377

a/mm	b/mm	c/mm	w(a)/gon	w(b)/gon	w(c)/gon	z(a)/gon	z(b)/gon	z(c)/gon
1.021	0.194	0.150	189.5544	89.3500	165.0447	105.6748	102.2864	6.1203
0.090	0.039	0.030	110.7052	10.7605	113.5664	108.8697	99.6063	8.8785
1.071	0.530	0.649	197.3629	195.8440	-102.6433	104.0758	4.0769	99.9030
1.061	0.456	0.560	197.0206	194.3818	-102.9917	104.3363	4.3400	99.8207
1.051	0.455	0.370	196.8317	96.8063	192.3217	104.7763	100.3377	4.7883

Obr. 20: Výpočty z kovarianční matice a určená přesnost souřadnic (vlastní zdroj)

Po dokončení celého výpočtu byly z programu pomocí všech dostupných výstupů vyexportovány výsledné hodnoty. Jako první byly hodnoty uloženy ve tvaru tabulky pomocí ikony „Uložit tabulku“. V druhém případě byly výsledky uloženy ve tvaru kovarianční matice díky tlačítku „Uložit kovar. matici“. Posledním možným výstupem byl výpočetní protokol, který byl uložen z hlavního okna programu při vybrání ikony „+Protokol+“. [8]

6.2 Numerické zpracování rozborů přesnosti před měřením

Při numerickém zpracování hodnot rozborů přesnosti před měřením určených v programu PreciPlanner 3D bylo vycházeno z výsledků uložených do tabulek, zpracovaných do kovariančních matic a výpočetních protokolů. Výstupními hodnotami byly směrodatné odchylky dílčích souřadnic a poloosy elipsoidu chyb jednotlivých pozorovaných bodů. Přestože byl každý tunel vyhodnocován zvlášť, bylo zpracování u obou metod provedeno jako jeden celek.

6.2.1 Metoda redukováných měřených dat

Pro zpracování apriorní přesnosti určených bodů metodou redukováných měřených dat byly použity tabulky výsledků (Příloha 21.15 a Příloha 21.16) a výpočetní protokoly. Postup, kterým bylo dosaženo níže uvedených výsledků v Tab. 3, byl popsán právě v těchto protokolech. Z apriorních rozborů je zřejmé, že k nejpřesnějšímu polohovému zaměření dojde u bodu 4 (přesnost 1,0 mm) a k nejhoršímu u bodu 2407 (přesnost 1,5 mm). Průměrná polohová přesnost bodu byla učena na hodnotu 1,1 mm.



Tab. 3: Apriorní přesnosti souřadnic a chybové modely pozorovaných bodů (MI)

Číslo bodu	Směrodatná odchylka souřadnice			Elipsoid chyb		
	Y (σ_y)	X (σ_x)	Z (σ_z)	a	b	c
–	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	0,3	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
2	0,3	1,0	0,2	1,0	0,2	0,1
3	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
4	0,2	1,0	0,1	1,0	0,2	0,1
5	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,1
6	0,3	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
7	0,3	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
8	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
9	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
10	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
101	0,7	1,1	0,5	1,1	0,5	0,6
102	0,6	1,1	0,5	1,1	0,5	0,6
103	0,5	1,0	0,4	1,1	0,5	0,4
104	0,4	1,0	0,3	1,0	0,3	0,4
105	0,3	1,0	0,2	1,0	0,2	0,3
106	0,2	1,0	0,2	1,0	0,1	0,2
107	0,6	0,6	0,5	1,0	0,1	0,1
108	0,3	1,0	0,2	1,0	0,1	0,1
109	0,3	1,0	0,2	1,0	0,3	0,2
110	0,4	1,0	0,3	1,0	0,4	0,3
201	0,5	1,0	0,4	1,1	0,5	0,4
202	0,4	1,0	0,3	1,0	0,4	0,3
203	0,3	1,0	0,3	1,0	0,3	0,3
204	0,3	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
205	0,3	1,0	0,2	1,0	0,1	0,1
206	0,8	0,2	0,5	1,0	0,1	0,1
207	0,2	1,0	0,1	1,0	0,2	0,1
208	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
209	0,3	1,0	0,3	1,0	0,3	0,3
210	0,4	1,0	0,3	1,0	0,4	0,3
2407	0,8	1,1	0,6	1,1	0,6	0,8
2419	0,5	1,0	0,4	1,1	0,5	0,4
2424	0,6	1,1	0,5	1,1	0,5	0,6
2436	0,5	1,1	0,4	1,1	0,5	0,4

6.2.2 Metoda neredukovaných měřených dat

Stejně jako u předchozí metody byly při zpracování apriorní přesnosti pozorovaných bodů metodou neredukovaných měřených dat využity výpočetní protokoly a tabulky výsledků (Příloha 21.17 a Příloha 21.18). Postup výpočtů byl zaznamenán ve výpočetních protokolech.



Výsledné přesnosti určení polohy bodů jsou uvedeny v Tab. 4. Z níže uvedených výsledků bylo patrné, že nejpřesněji určenou polohu bodu by měl mít bod 4 (přesnost 1,0 mm), nejhůře bod 2407 (přesnosti 1,5 mm). Průměrná polohová přesnost bodu byla určena na hodnotu 1,1 mm.

Tab. 4: Apriorní přesnosti souřadnic a chybové modely pozorovaných bodů (MII)

APRIORNÍ PŘESNOTI SOUŘADNIC A CHYBOVÉ MODEL Y POZOROVANÝCH BODŮ - MII

Číslo bodu	Směrodatná odchylka souřadnice			Elipsoid chyb		
	Y (σ_Y)	X (σ_X)	Z (σ_Z)	a	b	c
–	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	0,3	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
2	0,3	1,0	0,2	1,0	0,2	0,1
3	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
4	0,2	1,0	0,1	1,0	0,2	0,1
5	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,1
6	0,3	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
7	0,3	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
8	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
9	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
10	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
101	0,6	1,1	0,5	1,1	0,5	0,6
102	0,6	1,1	0,5	1,1	0,5	0,6
103	0,5	1,0	0,4	1,1	0,5	0,4
104	0,4	1,0	0,3	1,0	0,3	0,4
105	0,3	1,0	0,2	1,0	0,2	0,3
106	0,2	1,0	0,2	1,0	0,1	0,2
107	0,6	0,6	0,5	1,0	0,1	0,1
108	0,3	1,0	0,2	1,0	0,1	0,1
109	0,3	1,0	0,2	1,0	0,3	0,2
110	0,4	1,0	0,3	1,0	0,4	0,3
201	0,5	1,0	0,4	1,1	0,5	0,4
202	0,4	1,0	0,3	1,0	0,4	0,3
203	0,3	1,0	0,3	1,0	0,3	0,3
204	0,3	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
205	0,3	1,0	0,2	1,0	0,1	0,1
206	0,8	0,2	0,5	1,0	0,1	0,1
207	0,2	1,0	0,1	1,0	0,2	0,1
208	0,2	1,0	0,2	1,0	0,2	0,2
209	0,3	1,0	0,3	1,0	0,3	0,3
210	0,4	1,0	0,3	1,0	0,4	0,3
2407	0,8	1,1	0,6	1,1	0,6	0,8
2419	0,5	1,0	0,4	1,1	0,5	0,4
2424	0,6	1,1	0,5	1,1	0,4	0,4
2436	0,5	1,1	0,4	1,1	0,5	0,4



6.3 Zhodnocení rozborů přesnosti před měřením

Po dokončení rozborů přesnosti před měřením byly vypočtené hodnoty určené v metodě redukováných i neredukovaných měřených dat mezi sebou porovnány. Vzhledem k tomu, že bylo v obou metodách dosaženo stejných apriorních výsledků, bylo možné prohlásit, že při zpracování kteroukoliv z těchto metod bude dosaženo shodných výsledků. V druhém zhodnocení byla porovnávána požadovaná a přepokládaná přesnost polohového zaměření. Při porovnání těchto hodnot jako celků (požadované a průměrné přepokládané přesnosti), bylo na první pohled zřejmé, že žádná metoda požadované přesnosti neodpovídá. Po podrobnějším prozkoumání výsledků, byl však stanoven opačný závěr. U všech bodů konvergenčních profilů byla apriorní polohová přesnost určena na hodnotu 1,0 mm, což kritérium přesnosti splňuje. U nivelačních bodů byly určovány jen vertikální rozdíly, a proto byla posuzována pouze přesnost z-ové souřadnice. Zde rovněž nebyla ani u jednoho z těchto bodů požadovaná přesnost překročena. Díky tomu byl vyřčen závěr, že použitá měřická metoda s uvedeným přístrojovým vybavením odpovídá definované přesnosti požadované zadavatelem.

7 URČENÍ POSUNŮ

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.3, důvodem monitoringu tunelů linky A v mezistaničním úseku Muzeum – Můstek byla v blízkosti pražského metra probíhající demolice staré a výstavba nové budovy. Statický posudek definoval potřebu provádět měření k určení případných deformací, a proto byla oslovena zeměměřická firma GEOPROGRES. Požadovaná přesnost polohového určení pozorovaných bodů, ze kterých byly následně určovány posuny, byla definována na hodnotu 1 mm. Po vyřešení smluvních podmínek v roce 2017 bylo na začátku roku 2018 zahájeno sledování dotčené části tunelů.

7.1 Měřičské práce

Pro určení polohy pozorovaných bodů v zájmové oblasti tunelů pražského metra byl zvolen vlastní souřadnicový systém (viz kapitola 3). K měření byla použita prostorová polární metoda s využitím volného stanoviska. Měření bylo prováděno totální stanicí Trimble S9 upnuté do dřevěného teleskopického stativu. Pozorované body byly stabilizovány měřickými hřeby a měřickými štítky.

Měřické práce v tunelech byly prováděny vždy stejným způsobem. Nejprve byla provedena rekognoskace a očištění bodů. Poté byl stroj postavený na stanovisko urovnán do výšky 1,6 m, zhorizontován a zcentrován. Z identických bodů byla určena poloha volného stanoviska. Byly zaměřeny body konvergenčního profilu. Dále byl kontrolně zaměřen bod dlouhé orientace, v paměti stroje porovnáno první a druhé zaměření a zhodnoceno, zda byl stroj stabilní. V posledním kroku pak byly zaměřeny nivelační body. Podrobný měřický postup je popsán v kapitole 3.1.

Měření jednotlivých etap nebylo prováděno v pravidelných intervalech (např.: na začátku každého kvartálního období). Časový rozestup mezi jednotlivými etapami byl dán tím, kdy zadavatel požádal o další kontrolní zaměření. Proto je mezi dvěma po sobě jdoucími etapami až šestiměsíční rozestup. Celkem bylo do dnešního dne změřeno osm etap. Konkrétní data měření jsou uvedena v Tab. 5. Má osoba se podílela na měření páté a šesté etapy.

Tab. 5: Datum měření etap a pojmenování surových dat

DATUM MĚŘENÍ ETAP A POJMENOVÁNÍ SUROVÝCH DAT		
Datum měření	Označení etapy	Pojmenování surových měřených dat
23. 1. 2018	0. etapa	0. etapa - Surová měřená data (2018-01-23).sdr
25. 7. 2018	1. etapa	1. etapa - Surová měřená data (2018-07-25).sdr
26. 10. 2018	2. etapa	2. etapa - Surová měřená data (2018-10-26).sdr
13. 12. 2018	3. etapa	3. etapa - Surová měřená data (2018-12-13).sdr
12. 2. 2019	4. etapa	4. etapa - Surová měřená data (2019-02-12).sdr
12. 4. 2019	5. etapa	5. etapa - Surová měřená data (2019-04-12).sdr
11. 7. 2019	6. etapa	6. etapa - Surová měřená data (2019-07-11).sdr
8. 1. 2020	7. etapa	7. etapa - Surová měřená data (2020-01-08).sdr

7.2 Kancelářské práce

Poté, co bylo dokončeno měření, byla v kanceláři z totální stanice vyexportována naměřená surová data ve formátu *.SDR. Bylo zapotřebí, aby pro určení výsledků byla použita pouze správná data. Proto se ve většině případů data upravovala ještě téhož dne. Důvodem bylo, že když měřič v průběhu měření udělal nějakou opravu (např. dvojí zaměření při prvním nesprávném určení bodu), pamatoval si, o jakou chybu šlo a bylo snadné ji nalézt a odstranit. Takto upravená naměřená data byla pro přehlednost a snadnou kontrolu zpracována do zápisníků vodorovných směrů, zenitových úhlů a šikmých délek (Příloha 21.7 – Příloha 21.14).

Při definování výstupních souřadnic, ze kterých byly určovány horizontální a vertikální posuny, bylo v této diplomové práci postupováno dvěma různými způsoby. V prvním výpočtu byl simulován postup, jakým prováděla zpracování firma GEOPROGRES (metoda redukováných měřených dat – MI). V druhém postupu výpočtu zpracování dat bylo navrženo nové řešení, které bylo oproti první metodě částečně odlišné (metoda neredukovaných měřených dat – MII).

V obou případech byly souřadnice určeny pomocí vyrovnání. GEOPROGRES prováděl vyrovnání v programu Kokeš. Přesto zde byly oba postupy řešeny pomocí programu EasyNET. Při řešení první metody bylo však postupováno tak, aby vyrovnání proběhlo stejně jako v Kokeši. I když bylo vyrovnání každé etapy vyhodnocováno zvlášť a dvěma různými způsoby, byl postup v programu odlišný pouze v jednom kroku. Z toho důvodu bylo možné v kapitole 7.2.1 popsat kroky výpočtu obecně. Pouze tam, kdy se postup lišil, byl charakterizován konkrétně.

7.2.1 Vyrovnání měření v programu EasyNet

Před spuštěním programu bylo zapotřebí upravit seznam souřadnic identických bodů a měřená surová data tak, aby je byl program schopen správně načíst. Seznam souřadnic (číslo bodu, Y, X a Z) byl vytvořen v textovém formátu. Naměřená data byla rovněž zpracována v textovém formátu *.TXT, ale aby bylo možné data naimportovat do softwaru, bylo nutné jejich příponu posléze přepsat na formát *.ASC. Soubor obsahoval přesně v tomto pořadí číslo

Nastavení - Vyrovnání sítě

Vyloučení odlehých hodnot		Směrodatná odchylka měřené veličiny	
Hladina významnosti:	<input type="text" value="0.05"/>	Vodorovný směr [mgon]:	<input type="text" value="0.500"/>
Metoda robustního odhadu:	<input type="text" value="Huber"/>	Zenitový úhel [mgon]:	<input type="text" value="0.500"/>
Analyzované veličiny		Šikmá délka [mm]:	<input type="text" value="1.00"/>
<input type="checkbox"/> Vodorovný směr	<input checked="" type="checkbox"/> Šikmá délka (doplňěk)	Směrodatná odchylka doplňkové veličiny	
<input type="checkbox"/> Zenitový úhel	<input checked="" type="checkbox"/> Směrník	Šikmá délka [mm]:	<input type="text" value="2.00"/>
<input type="checkbox"/> Šikmá délka	<input checked="" type="checkbox"/> Převýšení	Směrník [mgon]:	<input type="text" value="0.500"/>
	<input checked="" type="checkbox"/> Svislé provažování	Převýšení [mm]:	<input type="text" value="1.00"/>
		Svislé provažování [mm]:	<input type="text" value="1.00"/>
Ukončení iteračního vyrovnání		Apriori jednotková směrodatná odchylka	<input type="text" value="1"/>
Maximální počet iterací:	<input type="text" value="50"/>		
Maximální změna robustní váhy:	<input type="text" value="0.001"/>		
Maximální změna souřadnice bodu [mm]:	<input type="text" value="0.010"/>		
		<input type="button" value="Vložit [Ent]"/>	<input type="button" value="Ukončit [Esc]"/>

Obr. 22: Dialogové okno nastavení vyrovnání sítě (vlastní zdroj)

Druhým kontrolovaným nastavením byl výpočetní protokol (Obr. 23). Tento dialog byl znovu otevřen přes záložku hlavní, nastavení a poté protokol. Aby bylo možné v následném zpracování využít co nejvíce dat, byly v tomto okně zvoleny všechny možné ikony. Tím pádem výpočetní protokol obsahoval veškerá získatelná data. Po dokončení bylo nastavení uloženo ikonou „Vložit [Ent]“.

Nastavení - Protokol

A. Zpracování surových měření	C. Vyrovnání sítě	<input checked="" type="checkbox"/> 05. Vyrovnané identické body
<input checked="" type="checkbox"/> 01. Surová měření	<input checked="" type="checkbox"/> 01. Základní informace	<input type="text" value="Aposteriorní přesnost"/>
<input checked="" type="checkbox"/> 02. Rozdíl poloh dalekohledu [II-I]	<input checked="" type="checkbox"/> 02. Vyrovnané souřadnice	<input checked="" type="checkbox"/> 06. Transformované souřadnice
<input checked="" type="checkbox"/> 03. Průměr poloh dalekohledu [I,II]	<input type="text" value="Aposteriorní přesnost"/>	<input type="text" value="Aposteriorní přesnost"/>
<input checked="" type="checkbox"/> 04. Průměr měřických skupin	<input checked="" type="checkbox"/> 03. Elipsoidy chyb	<input checked="" type="checkbox"/> 07. Transformované elipsoidy chyb
B. Analýza měření	<input type="text" value="Aposteriorní přesnost"/>	<input type="text" value="Aposteriorní přesnost"/>
<input checked="" type="checkbox"/> 01. Hodnoty přímé spojnice značek bodů	<input checked="" type="checkbox"/> 04. Odlehlé hodnoty	E. Transformace na bod a směrník
<input checked="" type="checkbox"/> 02. Fixní body	<input checked="" type="checkbox"/> 05. Vyrovnaná měření	<input checked="" type="checkbox"/> 01. Identické body
<input type="text" value="bez měřítkových koeficientů"/>	<input type="text" value="Aposteriorní přesnost"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 02. Informace - transformace
<input checked="" type="checkbox"/> 03. Souřadnice před vyrovnáním	D. Transformace s vyrovnáním	<input checked="" type="checkbox"/> 03. Transformované souřadnice
<input type="text" value="bez měřítkových koeficientů"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 01. Identické body	<input type="text" value="Aposteriorní přesnost"/>
<input checked="" type="checkbox"/> 04. Měření před vyrovnáním	<input type="text" value="se směrodatnými odchylkami"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 04. Transformované elipsoidy chyb
<input type="text" value="se směrodatnými odchylkami"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 02. Informace - identické body	<input type="text" value="Aposteriorní přesnost"/>
<input checked="" type="checkbox"/> 05. Vnitřní přesnost sítě	<input checked="" type="checkbox"/> 03. Informace - transformace	
<input checked="" type="checkbox"/> 06. Vnější přesnost sítě	<input checked="" type="checkbox"/> 04. Odlehlé hodnoty	
		<input type="button" value="Vložit [Ent]"/>
		<input type="button" value="Ukončit [Esc]"/>

Obr. 23: Dialogové okno nastavení protokolu (vlastní zdroj)

Po dokončení nastavení byl v hlavním okně aplikace (Obr. 24) načten předem připravený soubor měření ve formátu *.ASC. Po úspěšném načtení dat provedl program automatickou detekci měřických skupin. Software předpokládá, že bylo měření vždy prováděno nejdříve v první poloze dalekohledu ve směru chodu hodinových ručiček, poté byl stroj protočen do druhé polohy a měření proběhlo v protisměru. Měření v předem připraveném souboru bylo uspořádáno právě tímto způsobem, a proto proběhla detekce bez problémů.

Stanovisko			Cíl		Měřené veličiny		
Pořadí	Číslo	Výška [m]	Číslo	Výška [m]	Vodorovný směr [gon]	Zenitový úhel [gon]	Šmáh délka [m]
1	1001	0.0000	1002	0.0000	158.04640	103.00573	87.5855
			1005	0.0000	92.29727	108.66504	4.1563
			1004	0.0000	49.21087	108.13421	3.6833
			1003	0.0000	363.20993	98.09145	60.4344
			1	0.0000	146.68131	105.66204	18.6972
			2	0.0000	146.95468	96.93651	18.5701
			3	0.0000	154.15796	93.05043	18.3744
			4	0.0000	163.03473	99.39698	17.8570
			5	0.0000	162.70668	104.98342	17.9429
			2407	0.1000	155.12930	103.71977	78.4904
			101	0.1000	155.05536	103.97031	67.3020
			102	0.1000	154.53777	104.21547	57.9426
			103	0.1000	154.19258	104.63022	46.8635
			104	0.1000	153.56085	105.15870	37.5628
			105	0.1000	152.13376	106.11897	27.6921
			106	0.1000	148.26918	109.13732	15.3525
			107	0.1000	107.68023	129.02351	3.9045
			108	0.1000	374.06867	106.70277	11.5467
			109	0.1000	367.84228	101.83318	24.5383
			110	0.1000	366.52256	100.39498	37.2722
			2419	0.1000	366.92192	99.55573	50.4472
			2419	0.1000	166.92001	300.44385	50.4464
			110	0.1000	166.51978	299.60560	37.2724
			109	0.1000	167.84007	298.16806	24.5382

Obr. 24: Dialogové okno detekce měřických skupin (vlastní zdroj)

V dalším kroku byly do programu nahrány souřadnice identických bodů (Obr. 25). Import proběhl v záložce vyrovnání, fixní body, hlavní a přidat. Zde byl vybrán dříve vytvořený soubor. Bylo důležité nastavit pořadí souřadnic YXZ a ikonou „Přidat“ byly souřadnice vloženy.

Bod	Souřadnice			
	Číslo	X [m]	Y [m]	Z [m]
1002	F	4954.0642	1196.3249	5.4789
1003	F	5101.6437	1203.9723	11.4253
1004	F	5041.9748	1201.5841	9.1446
1005	F	5039.3610	1201.4531	9.0499

Obr. 25: Dialogové okno fixní body (vlastní zdroj)

Poté byla v hlavním okně v nabídce vyrovnání provedena analýza sítě. Při spuštění této funkce software provádí kontrolu zápisníku měření (kontrola rozdílů jednotlivých měřených veličin mezi první a druhou polohou dalekohledu). Když byla analýza úspěšně dokončena, proběhla u bodů v atypické vzdálenosti úprava směrodatných odchylek. V záložce vyrovnání bylo otevřeno dialogové okno apriorní směrodatné odchylky (Obr. 26) a u těchto bodů byla přesnost vodorovného směru a zenitového úhlu nastavena na hodnotu určenou při ověření přesnosti přístroje.

Stanovisko		Cíl	Měřené veličiny		
Pořadí	Číslo		Vodorovný směr [mgon]	Zenitový úhel [mgon]	Šikmá délka [mm]
1	1001	1002	-	-	-
1	1001	1005	0.700	0.700	-
1	1001	1004	0.700	0.700	-
		1003	-	-	-
		1	-	-	-
		2	-	-	-
		3	-	-	-
		4	-	-	-
		5	-	-	-
		2407	-	-	-
		101	-	-	-
		102	-	-	-
2 / 42			0.500	0.500	2.00

Obr. 26: Dialogové okno apriorní směrodatné odchytky (vlastní zdroj)

Když byla v programu provedena veškerá potřebná nastavení (zápisník měření, fixní body, apriorní přesnosti a analýza sítě) bylo v hlavním okně v záložce vyrovnání provedeno vyrovnání sítě. Poté, co byl výpočet dokončen, otevřelo se automaticky dialogové okno vyrovnané souřadnice bodů (Obr. 27). Zde byla zobrazena čísla bodů a jejich souřadnice.

Bod	Souřadnice		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
1	5023.1508	1200.9216	7.9544
2	5023.2123	1200.8312	10.5086
3	5023.2884	1198.7318	11.6182
4	5023.7664	1196.2283	9.7855
5	5023.7236	1196.3166	8.2130
101	4974.3920	1199.8612	5.3191
102	4983.7590	1200.0642	5.6795
103	4994.8408	1199.9151	6.1088
104	5004.1476	1199.8967	6.4738
105	5014.0474	1200.0012	6.8571
106	5026.4808	1200.0012	7.3196
22 (18, 4)			

Obr. 27: Dialogové okno vyrovnání sítě (vlastní zdroj)

Aby bylo možné zhodnotit, jak vyrovnání vyšlo, byl v okně vyrovnání sítě pomocí záložky sít a informace otevřen dialog s informacemi o vyrovnání (Obr. 28). Zde byl zobrazen základní report o vyrovnání (např.: apriorní a aposteriorní směrodatná odchytky, počet fixních a vyrovnaných bodů, atd.).

Základní informace o vyrovnání sítě

Vyloučení odlehých hodnot		Vyrovnání sítě	
Metoda robustního odhadu:	Huber	Apriorní jednotková směrodatná odchylka:	1.000
Hladina významnosti:	0.05	Aposteriorní jednotková směrodatná odchylka:	0.591
Počet vyloučených odlehých hodnot:	2/63 [0.032]	Počet fixních bodů:	4
Vodorovný směr:	0/21 [0.000]	Počet vyrovnaných bodů:	18
Zenitový úhel:	2/21 [0.095]	Počet vyrovnaných orientačních posunů:	1
Šikmá délka:	0/21 [0.000]	Počet vyrovnaných měření:	61
Šikmá délka (doplňk):	-	Vodorovný směr:	21
Směrník:	-	Zenitový úhel:	19
Převýšení:	-	Šikmá délka:	21
Svislé provažování:	-	Šikmá délka (doplňk):	0
		Směrník:	0
		Převýšení:	0
		Svislé provažování (X + Y):	0 (0)
		Počet nadbytečných měření:	6

Obr. 28: Dialogové okno základní informace o vyrovnání sítě (vlastní zdroj)

V posledním kroku vyrovnání byl postup odlišný. Při vyrovnání měření metodou redukovaných měřených dat byly po dokončení výpočtu zhodnoceny výsledky. Výpočet byl uložen do výpočetního protokolu a tím bylo vyrovnání ukončeno. Takto stanovený postup práce byl použit proto, aby metodika vyrovnání odpovídala zpracování v programu Kokeš. Oproti tomu v metodě nerdukovaných měřených dat byla v základních informacích o vyrovnání sítě porovnána apriorní a aposteriorní směrodatná odchylka jednotková. Když se jejich poměr blížil jedné, byl výpočetní protokol uložen a vyrovnání ukončeno. V opačném případě byly ve výpočetním protokolu u identických bodů zhodnoceny velikosti oprav jednotlivých měřených veličin. U veličiny, kde byla oprava větší nežli předpokládaná odchylka, byly v dialogovém okně apriorní směrodatné odchylky nastaveny hodnoty zhruba odpovídající velikosti opravy. Ve většině případů byla měněna přesnost zenitového úhlu u bodů v atypické vzdálenosti. Poté bylo znovu provedeno vyrovnání a porovnána apriorní a aposteriorní směrodatná odchylka jednotková. Když se blížil poměr jedné, byl výpočetní protokol uložen a vyrovnání ukončeno. [20]

7.2.2 Numerické zpracování vyrovnání měření

V numerickém zpracování vyrovnaných dat v programu EasyNET byly použity hodnoty uvedené ve výpočetních protokolech. Výstupními hodnotami byly vyrovnané souřadnice pozorovaných bodů. I když bylo měření z jednotlivých tunelů v obou metodách vyhodnocováno zvlášť, byl výsledný seznam souřadnic společný.

7.2.2.1 Metoda redukovaných měřených dat

Metoda redukovaných měřených dat popisuje zjednodušený postup výpočtu, jakým byla data vyhodnocována firmou GEOPROGRES. Tato použitá metoda vychází z doby, kdy totální stanice neobsahovaly tak přesné dálkoměry jako dnes. Proto byl navržen tento postup.

Z toho důvodu, přestože byla v tomto případě použita již totální stanice Trimble S9, byly pro definici polohy volného stanoviště použity pouze vodorovné směry a zenitové úhly. Při



určování bodů konvergenčního profilu, byly využity změřené vodorovné směry, zenitové úhly a šikmé vzdálenosti z nulté etapy opravené o centrační změnu stanoviska v x-ové souřadnici. GEOPROGRES šikmé vzdálenosti z nulté etapy neredukoval pouze o centrační změnu stanoviska v x-ové souřadnici, ale o polohovou centrační změnu. Protože y-nová a z-ová centrační změna stanoviska má na polohovou centrační změnu minimální vliv, byly v této diplomové práci šikmé vzdálenosti redukovány pouze o x-ovou souřadnici (proto označení zjednodušený postup výpočtu). Měření v nulté etapě bylo provedeno ve dvou skupinách. Z toho důvodu bylo předpokládáno, že budou vzdálenosti určeny přesněji. K výpočtu polohy nivelačních bodů byly využity již veškeré hodnoty naměřené v terénu. Díky tomu, že se u bodů stabilizovaných v počtvě určovaly pouze vertikální rozdíly, bylo možné použít i méně přesný dálkoměr.

Postup určení vyrovnaných souřadnic pozorovaných bodů byl tedy následující. Jako první byla určena z již zmíněných veličin vyrovnaná poloha volného stanoviska. Z rozdílu x-ové souřadnice určené v dané a nulté etapě byla vypočtena centrační změna v ose X (ΔX_i). V dalším kroku byly redukovány vzdálenosti. Použité šikmé vzdálenosti pro danou etapu byly vypočteny tak, že se k vzdálenosti určené v nulté etapě přičetla dříve stanovená centrační změna ΔX_i . Podrobné zpracování a výsledné hodnoty tohoto procesu jsou uvedeny v přílohách (Příloha 21.19 – Příloha 21.26). V posledním kroku byl z takto upravených dat vytvořen vstupní soubor (zápisník měření) pro vyrovnaní v programu EasyNET, kde byly určeny souřadnice pozorovaných bodů. Podrobný postup výpočtu je uveden v předchozí kapitole. Tímto způsobem bylo postupováno u všech etap s výjimkou nulté etapy. V té nebyla provedena redukce šikmých délek a výstupní hodnoty byly určeny hned z prvního vyrovnaní. Výsledné seznamy souřadnic se nacházejí v přílohách (Příloha 1 – Příloha 8).

7.2.2.2 Metoda neredukovaných měřených dat

V metodě neredukovaných měřených dat je popsán nově navržený postup zpracování. S ohledem na nynější možné měřické vybavení firmy bylo řečeno, že by do vyrovnaní mohla vstupovat veškerá naměřená data bez redukcí. Tím pádem by se výpočet velice zjednodušil a výrazně urychlil.

Při výpočtu bylo postupováno následujícím způsobem. Surová data byla upravena do tvaru měřického zápisníku ve formátu *.ASC. V softwaru EasyNET bylo provedlo vyrovnaní. Zhodnotil se poměr mezi apriorní a aposteriorní směrodatnou odchylkou jednotkovou. Byly upraveny směrodatné odchylky a na konci určeny vyrovnané souřadnice pozorovaných bodů. Způsob výpočtu byl u všech etap totožný a podrobně je popsán v kapitole 7.2.1. Výstupní seznamy souřadnic jsou uvedeny v přílohách (Příloha 9 – Příloha 16).



7.2.3 Určení posunů

Aby bylo možné hodnotit posuny tunelů pražského metra, bylo zapotřebí zjistit horizontální a vertikální rozdíly pozorovaných bodů mezi jednotlivými etapami. Postup určení horizontálních a vertikálních rozdílů už byl u metody redukovaných i nereduovaných měřených dat stejný. U bodů konvergenčních profilů byly sledovány horizontální i vertikální posuny a u nivelačních bodů byly pozorovány pouze vertikální posuny. Důvod tohoto rozdělení je popsán v kapitole 3. V našem případě bylo provedeno dvojí zhodnocení, posuny mezi danou a nultou etapou (Příloha 21.27 – Příloha 21.30) a posuny mezi dvěma po sobě jdoucími etapami (Příloha 21.31 – Příloha 21.34).

Horizontální rozdíly byly díky vhodně zvolenému souřadnicovému systému počítány jako rozdíl y-nových souřadnic bodu ve dvou daných etapách. Znaménko "+" znamenalo posun bodu vpravo a znaménko "-" znamenalo posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum. Vertikální rozdíly byly zjišťovány jako difference z-ových souřadnic bodu ve dvou dotčených etapách. Znaménko "+" znamená zdvih bodu a znaménko "-" znamená pokles bodu.

8 ROZBORY PŘESNOSTI PO MĚŘENÍ

Když bylo dokončeno měření a byly určeny výsledné výstupní hodnoty, bylo pro geodeta důležité znát jejich přesnost a vyhodnotit, zda tyto parametry splňovaly požadovanou přesnost zadavatelem. Právě z tohoto důvodu byly využity rozbor přesnosti po měření. V principu se dělí na dva hlavní segmenty. V první části se hodnotí výsledky vytyčení (například dvojího nezávislého vytyčení bodu nebo vytyčeného a kontrolně zaměřeného bodu). V druhé části se posuzují výsledky měřických úloh. V tomto případě se nejčastěji pro vyhodnocení, zda byla splněna požadovaná přesnost, používá porovnání apriorní a aposteriorní směrodatné odchylky jednotkové. V dnešní době se v obou těchto případech pro vyhodnocení nejčastěji využívá softwarového vybavení. [19]

8.1 Numerické vyhodnocení rozborů přesnosti po měření

V našem případě se jednalo právě o posouzení výsledků měřických úloh. Ty byly hodnoceny nejen porovnáním apriorní a aposteriorní směrodatné odchylky jednotkové, ale také pomocí výsledných směrodatných odchylek souřadnic jednotlivých pozorovaných bodů ve srovnání s požadovanou přesností.

8.1.1 Metoda redukováných měřených dat

V metodě redukováných měřených dat se rozbor přesnosti po měření prováděly následujícím způsobem. Protože byl simulován postup vyrovnání v programu Kokeš, byly datům nahraným do programu EasyNET nastaveny skutečné výběrové směrodatné odchylky určené při ověření přesnosti přístroje a bylo provedeno vyrovnání. Aby byl postup vyrovnání identický, nebyly již prováděny žádné úpravy. Dále byl vyexportován výpočetní protokol, kde se nacházel celý postup zpracování a všechny výsledky. Podrobný postup výpočtu je uveden v kapitole 7.2.2.1. Rozbor přesnosti po měření byly prováděny až po takto dokončeném vyrovnání.

K analýze přesnosti měření byl využíván již zmiňovaný výpočetní protokol, kde byla kromě jiného uvedena i apriorní a aposteriorní směrodatná odchylka jednotková. V této metodě bylo zhodnocení prováděno právě pomocí poměru těchto dvou hodnot. V nulté etapě byl vztah roven takřka jedné, což znamenalo splnění předpokládané přesnosti. Ve všech zbylých etapách byla však vždy aposteriorní směrodatná odchylka jednotková oproti apriorní směrodatné odchylce jednotkové větší v řádu jednotek. Přesné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 6.



Tab. 6: Porovnání apriorních a aposteriorních směrodatných odchylek jednotkových (MI)

Označení etapy	Stanovisko	Směrodatná odchylka			Směrodatná odchylka jednotková	
		Vod. směru	Zen. úhlu	Šikmé délky	Apriorní	Aposteriovní
		[mgon]	[mgon]	[mm]	–	–
0. etapa	1001	0,5	0,5	1	1,000	0,980
	2001	0,5	0,5	1	1,000	0,968
1. etapa	1001	0,5	0,5	1	1,000	4,105
	2001	0,5	0,5	1	1,000	8,957
2. etapa	1001	0,5	0,5	1	1,000	4,070
	2001	0,5	0,5	1	1,000	10,540
3. etapa	1001	0,5	0,5	1	1,000	3,760
	2001	0,5	0,5	1	1,000	10,375
4. etapa	1001	0,5	0,5	1	1,000	3,611
	2001	0,5	0,5	1	1,000	9,370
5. etapa	1001	0,5	0,5	1	1,000	3,654
	2001	0,5	0,5	1	1,000	8,973
6. etapa	1001	0,5	0,5	1	1,000	3,222
	2001	0,5	0,5	1	1,000	8,116
7. etapa	1001	0,5	0,5	1	1,000	2,416
	2001	0,5	0,5	1	1,000	5,928

Z Tab. 6 je patrné, že skutečná nejistota výsledků neodpovídala té hypotetické (apriorní) a ani zadané. Předpokládaným důvodem této nerovnosti bylo, že i přes snahu docílit co nejuvhodnějších podmínek nebylo při ověření přesnosti přístroje dosaženo totožných okolností, které skutečné měření ovlivňovaly. Po podrobném prozkoumání protokolu bylo dojito k závěru, že u identických bodů v atypické vzdálenosti docházelo při zaměření k horším přesnostem měřených veličin, než jak byly určeny skutečné výběrové směrodatné odchylky v testu (kapitola 5). Z tohoto důvodu byla apriorní a aposteriorní směrodatná odchylka jednotková odlišná, tedy výstupní vyrovnané souřadnice pozorovaných bodů měly horší aposteriorní směrodatné odchylky, a kromě nulté etapy neodpovídala požadované nejistotě zadavatele (viz Tab. 7). Vzhledem k tomu, že byla snaha nasimulovat výpočet pomocí programu Kokeš, ve kterém není možné zobrazit skutečné přesnosti určených bodů, zůstaly přesnosti nezměněné a výsledky vyrovnaní byly brány za definitivní.

Tab. 7: Směrodatné odchytky souřadnic pozorovaných bodů (MI)

SMĚRODATNÉ ODCHYLKY SOUŘADNIC POZOROVANÝCH BODŮ – MI					
Označení etapy	Stanovisko	Směr (souřadnice)	Směrodatná odchytky směru (souřadnice)		
			Průměrná	Minimální	Maximální
			[mm]	[mm]	[mm]
0. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,15	0,13	0,17
		Vertikální (Z)	0,21	0,10	0,43
	2001	Horizontální (Y)	0,16	0,14	0,18
		Vertikální (Z)	0,18	0,10	0,34
1. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,88	0,77	1,00
		Vertikální (Z)	1,21	0,58	2,54
	2001	Horizontální (Y)	2,02	1,79	2,38
		Vertikální (Z)	2,37	1,18	4,47
2. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,88	0,76	0,99
		Vertikální (Z)	1,21	0,58	2,52
	2001	Horizontální (Y)	2,38	2,10	2,80
		Vertikální (Z)	2,79	1,38	5,24
3. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,81	0,71	0,91
		Vertikální (Z)	1,11	0,55	2,33
	2001	Horizontální (Y)	2,34	2,07	2,75
		Vertikální (Z)	2,75	1,36	5,16
4. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,78	0,68	0,88
		Vertikální (Z)	1,01	0,51	2,23
	2001	Horizontální (Y)	2,11	1,87	2,49
		Vertikální (Z)	2,48	1,23	4,66
5. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,79	0,69	0,89
		Vertikální (Z)	1,08	0,52	2,26
	2001	Horizontální (Y)	2,02	1,79	2,38
		Vertikální (Z)	2,26	1,18	4,50
6. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,70	0,61	0,78
		Vertikální (Z)	0,95	0,46	1,99
	2001	Horizontální (Y)	1,83	1,62	2,16
		Vertikální (Z)	2,15	1,07	4,04
7. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,52	0,45	0,59
		Vertikální (Z)	0,66	0,34	1,49
	2001	Horizontální (Y)	1,34	1,18	1,57
		Vertikální (Z)	1,57	0,78	2,95

Protože v metodě redukovaných měřených dat nejistoty výsledných hodnot neodpovídaly požadované nejistotě, byl proveden výpočetní experiment. V tom bylo otestováno, zda by při možnosti zpracování totožných dat v jiném programu, kde je možné měnit apriorní přesnosti (např.: EasyNET), odpovídala skutečná nejistota výsledků té požadované.

V experimentu bylo oproti metodě redukovaných měřených dat postupováno částečně odlišným způsobem. Pro rozborů byl stejně jako v originální metodě použit výpočetní protokol, ale také základní údaje o vyrovnání. Na rozdíl od předchozího postupu však byly rozborů přesnosti po měření zahájeny již v programu EasyNET po dokončení prvního vyrovnání. Když byl výpočet dokončen, byla v základních informacích porovnána apriorní a aposteriorní



směrodatná odchylnka jednotková. Mimo nultou etapu byl tento poměr jasně větší nežli jedna, a proto byly v apriorních směrodatných odchylkách u podezřelých bodů upraveny přesnosti. Jednalo se zejména o identické body v atypické vzdálenosti. Po těchto úpravách bylo opět provedeno vyrovnání a podruhé byla provedena analýza přesnosti pomocí poměru apriorní a aposteriorní směrodatné odchylnky jednotkové. Tentokrát se hodnoty blížily jedné (Tab. 8), a tak byl uložen výsledný výpočetní protokol.



Tab. 8: Porovnání apriorních a aposteriorních směrodatných odchylek jednotkových (MI_EXP)

POROVNÁNÍ APRIORNÍCH A APOSTERIORNÍCH SMĚRODATNÝCH ODCHYLEK – METODA I (EXPERIMENT)							
Označení etapy	Stanovisko	Identický bod	Směrodatná odchylka			Směrodatná odchylka jednotková	
			Vod. směru [mgon]	Zen. úhlu [mgon]	Šikmé délky [mm]	Apriorní	Aposteriorní
0. etapa	1001	1002	0,5	0,5	1	1,000	0,934
		1003	0,7	0,7	1		
		1004	0,7	0,7	1		
		1005	0,5	0,5	1		
	2001	2002	0,5	0,5	1	1,000	0,964
		2003	0,7	0,7	1		
2004		0,7	0,7	1			
1. etapa	1001	1002	0,5	0,7	1	1,000	0,988
		1003	0,7	2,0	1		
		1004	0,7	2,0	1		
		1005	0,5	0,7	1		
	2001	2002	1,0	4,8	1	1,000	0,992
		2003	2,0	5,0	1		
2004		2,0	5,0	1			
2. etapa	1001	1002	0,7	1,2	1	1,000	1,012
		1003	1,0	2,5	1		
		1004	1,0	2,5	1		
		1005	0,7	1,2	1		
	2001	2002	1,6	5,0	1	1,000	1,026
		2003	2,0	6,0	1		
2004		2,0	6,0	1			
3. etapa	1001	1002	0,5	1,0	1	1,000	1,017
		1003	1,0	2,0	1		
		1004	1,0	2,0	1		
		1005	0,5	1,0	1		
	2001	2002	1,0	4,0	1	1,000	1,012
		2003	6,5	7,5	1		
2004		6,5	7,5	1			
4. etapa	1001	1002	1,0	1,5	1	1,000	1,021
		1003	1,5	2,5	1		
		1004	1,5	2,5	1		
		1005	1,0	1,5	1		
	2001	2002	1,0	3,5	1	1,000	1,005
		2003	1,5	5,5	1		
2004		1,5	5,5	1			
5. etapa	1001	1002	1,2	1,5	1	1,000	1,002
		1003	2,0	2,0	1		
		1004	2,0	2,0	1		
		1005	1,2	1,5	1		
	2001	2002	1,0	4,0	1	1,000	1,008
		2003	2,0	5,0	1		
2004		2,0	5,0	1			
6. etapa	1001	1002	1,0	1,0	1	1,000	0,983
		1003	1,5	1,7	1		
		1004	1,5	1,7	1		
		1005	1,0	1,0	1		
	2001	2002	1,0	3,5	1	1,000	1,018
		2003	2,0	4,7	1		
2004		2,0	4,7	1			
7. etapa	1001	1002	0,7	0,7	1	1,000	0,980
		1003	1,5	1,5	1		
		1004	1,5	1,5	1		
		1005	0,7	0,7	1		
	2001	2002	0,8	2,0	1	1,000	1,010
		2003	2,0	4,0	1		
2004		2,0	4,0	1			
		2005	0,8	2,0	1		

Posledním krokem rozborů přesnosti po měření bylo zhodnocení přesnosti souřadnic jednotlivých pozorovaných bodů. Po projití protokolu bylo dojito k závěru, že požadovaná přesnost měřených bodů byla v tomto případě ve všech etapách dodržena. (viz. Tab. 9).

Tab. 9: Směrodatné odchytky souřadnic pozorovaných bodů (MI_EXP)

SMĚRODATNÉ ODCHYLKY SOUŘADNIC POZOROVANÝCH BODŮ – MI (EXPERIMENT)					
Označení etapy	Stanovisko	Směr (souřadnice)	Směrodatná odchytky směru (souřadnice)		
			Průměrná	Minimální	Maximální
			[mm]	[mm]	[mm]
0. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,15	0,13	0,16
		Vertikální (Z)	0,20	0,10	0,41
	2001	Horizontální (Y)	0,16	0,14	0,18
		Vertikální (Z)	0,18	0,10	0,34
1. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,29	0,21	0,37
		Vertikální (Z)	0,37	0,17	0,92
	2001	Horizontální (Y)	0,39	0,34	0,48
		Vertikální (Z)	0,40	0,27	0,99
2. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,26	0,23	0,28
		Vertikální (Z)	0,32	0,18	0,64
	2001	Horizontální (Y)	0,45	0,43	0,47
		Vertikální (Z)	0,37	0,32	0,58
3. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,24	0,22	0,27
		Vertikální (Z)	0,32	0,17	0,64
	2001	Horizontální (Y)	0,55	0,54	0,57
		Vertikální (Z)	0,44	0,36	0,60
4. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,33	0,31	0,35
		Vertikální (Z)	0,32	0,18	0,64
	2001	Horizontální (Y)	0,32	0,30	0,35
		Vertikální (Z)	0,37	0,28	0,56
5. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,39	0,37	0,41
		Vertikální (Z)	0,31	0,17	0,63
	2001	Horizontální (Y)	0,35	0,33	0,37
		Vertikální (Z)	0,35	0,26	0,55
6. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,32	0,30	0,34
		Vertikální (Z)	0,30	0,16	0,61
	2001	Horizontální (Y)	0,35	0,33	0,38
		Vertikální (Z)	0,34	0,25	0,55
7. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,29	0,27	0,31
		Vertikální (Z)	0,30	0,15	0,61
	2001	Horizontální (Y)	0,32	0,30	0,35
		Vertikální (Z)	0,31	0,22	0,53

8.1.2 Metoda neredukovaných měřených dat

Při rozbořích přesnosti po měření v metodě neredukovaných měřených dat byl postup výpočtu stejný jako při experimentu. Rozboř přesnosti po měření byly započaty už v programu EasyNET po prvním vyrovnání. V základních informacích byla porovnána apriorní a aposteriorní směrodatná odchytky jednotková. Kromě nulté etapy byl poměr pokaždé zjevně větší nežli jedna. Z toho důvodu byly v apriorních směrodatných odchytkách u podezřelých bodů upraveny přesnosti (především u identických bodů v atypické vzdálenosti). Znovu bylo provedeno vyrovnání a realizován rozbor přesnosti díky poměru apriorní a aposteriorní směrodatné odchytky



jednotkové. Podruhé se hodnoty blížily jedné, proto byl uložen výsledný výpočetní protokol. Přesné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 10.

Tab. 10: Porovnání apriorních a aposteriorních směrodatných odchylek jednotkových (MII)

POROVNÁNÍ APRIORNÍCH A APOSTERIORNÍCH SMĚRODATNÝCH ODCHYLEK – METODA II

Označení etapy	Stanovisko	Identický bod	Směrodatná odchylka			Směrodatná odchylka jednotková	
			Vod. směru [mgon]	Zen. úhlu [mgon]	Šikmé délky [mm]	Apriorní	Aposterioerní
0. etapa	1001	1002	0,5	0,5	1	1,000	0,925
		1003	0,7	0,7	1		
		1004	0,7	0,7	1		
		1005	0,5	0,5	1		
	2001	2002	0,5	0,5	1	1,000	0,913
		2003	0,7	0,7	1		
2004		0,7	0,7	1			
1. etapa	1001	1002	0,5	0,7	1	1,000	0,991
		1003	0,7	2,0	1		
		1004	0,7	2,0	1		
		1005	0,5	0,7	1		
	2001	2002	0,5	3,0	1	1,000	1,064
		2003	0,7	6,0	1		
2004		0,7	6,0	1			
2. etapa	1001	1002	0,5	1,0	1	1,000	1,006
		1003	1,0	2,3	1		
		1004	1,0	2,3	1		
		1005	0,5	1,0	1		
	2001	2002	1,5	5,0	1	1,000	1,074
		2003	1,5	5,0	1		
2004		1,5	5,0	1			
3. etapa	1001	1002	1,0	6,0	1	1,000	1,064
		1003	8,0	8,0	1		
		1004	8,0	8,0	1		
		1005	1,0	6,0	1		
	2001	2002	1,0	4,5	1	1,000	1,073
		2003	1,5	15,0	1		
2004		1,5	15,0	1			
4. etapa	1001	1002	0,6	1,5	1	1,000	1,002
		1003	1,5	3,0	1		
		1004	1,5	3,0	1		
		1005	0,6	1,5	1		
	2001	2002	0,5	3,0	1	1,000	1,012
		2003	0,7	5,5	1		
2004		0,7	5,5	1			
5. etapa	1001	1002	0,5	1,0	1	1,000	1,019
		1003	0,7	2,5	1		
		1004	0,7	2,5	1		
		1005	0,5	1,0	1		
	2001	2002	1,0	3,0	1	1,000	1,012
		2003	2,0	6,0	1		
2004		2,0	6,0	1			
6. etapa	1001	1002	0,5	0,5	1	1,000	0,992
		1003	0,7	1,4	1		
		1004	0,7	1,4	1		
		1005	0,5	0,5	1		
	2001	2002	0,5	3,0	1	1,000	1,002
		2003	0,7	5,0	1		
2004		0,7	5,0	1			
7. etapa	1001	1002	0,5	0,5	1	1,000	1,020
		1003	0,7	1,0	1		
		1004	0,7	1,0	1		
		1005	0,5	0,5	1		
	2001	2002	0,7	2,0	1	1,000	1,000
		2003	2,0	4,0	1		
2004		2,0	4,0	1			
		2005	0,7	2,0	1		



Poslední částí rozborů přesnosti po měření bylo posouzení přesnosti souřadnic jednotlivých pozorovaných bodů. V protokolu byly přesnosti ověřeny a požadovaná přesnost pozorovaných bodů byla ve všech etapách splněna (viz Tab. 11).

Tab. 11: Směrodatné odchytky souřadnic pozorovaných bodů (MII)

SMĚRODATNÉ ODCHYLKY SOUŘADNIC POZOROVANÝCH BODŮ – MII

Označení etapy	Stanovisko	Směr (souřadnice)	Směrodatná odchytky směru (souřadnice)		
			Průměrná	Minimální	Maximální
			[mm]	[mm]	[mm]
0. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,14	0,12	0,16
		Vertikální (Z)	0,19	0,10	0,40
	2001	Horizontální (Y)	0,15	0,13	0,17
		Vertikální (Z)	0,17	0,10	0,29
1. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,21	0,19	0,24
		Vertikální (Z)	0,31	0,16	0,62
	2001	Horizontální (Y)	0,24	0,21	0,28
		Vertikální (Z)	0,40	0,31	0,60
2. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,24	0,22	0,27
		Vertikální (Z)	0,32	0,17	0,63
	2001	Horizontální (Y)	0,44	0,42	0,46
		Vertikální (Z)	0,38	0,28	0,59
3. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,28	0,26	0,31
		Vertikální (Z)	0,32	0,18	0,64
	2001	Horizontální (Y)	0,59	0,58	0,61
		Vertikální (Z)	0,49	0,41	0,66
4. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,28	0,26	0,30
		Vertikální (Z)	0,33	0,19	0,63
	2001	Horizontální (Y)	0,23	0,20	0,27
		Vertikální (Z)	0,37	0,28	0,56
5. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,22	0,19	0,25
		Vertikální (Z)	0,32	0,18	0,64
	2001	Horizontální (Y)	0,35	0,33	0,37
		Vertikální (Z)	0,39	0,30	0,57
6. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,21	0,19	0,24
		Vertikální (Z)	0,30	0,15	0,62
	2001	Horizontální (Y)	0,23	0,20	0,27
		Vertikální (Z)	0,35	0,26	0,55
7. etapa	1001	Horizontální (Y)	0,22	0,19	0,25
		Vertikální (Z)	0,30	0,15	0,63
	2001	Horizontální (Y)	0,30	0,28	0,33
		Vertikální (Z)	0,32	0,22	0,53



8.2 Zhodnocení výsledků a přesnosti

Když byly rozборы přesnosti po měření dokončeny, bylo provedeno zhodnocení a porovnání zpracování metodou redukovaných a neredukovaných měřených dat. Vypočtené souřadnice v jednotlivých etapách vykazují v obou metodách i experimentu velmi podobné výsledky (Tab. 12 – Tab. 15), což svědčí o vhodnosti měřického postupu. Při porovnání aposteriorních směrodatných odchylek, které charakterizují spolehlivost výsledků, jsou ovšem výsledky velice rozporuplné. Z Tab. 7 je patrná výrazně horší aposteriorní přesnost pro metodu redukovaných měření, což je způsobeno špatným odhadem apriorních přesností, které vstupují do výpočtu vyrovnání. Vzhledem k absenci vstupních i výstupních přesností u programu Kokeš, který byl běžně pro vyrovnání této úlohy používán, není možné ověřit, zda výpočet proběhl korektně a zda byla požadovaná přesnost splněna. V experimentu bylo zjištěno, že když by byla data zpracována v jiném programu (EasyNET), kde by bylo možné apriorní přesnosti měřených veličin měnit, byla by splněna požadovaná přesnost i nejistota. S ohledem na možné softwarové vybavení firmy bylo jediným potenciálním řešením pro splnění nejistoty, které odpovídají apriorním rozborům přesnosti, přidání další skupiny měření (v nulté etapě byly nejistoty dodrženy). V nově navržené metodě neredukovaných měřených dat byla díky možnostem programu EasyNET při stejném měřickém postupu zadaná přesnost i nejistota splněna.

Kokeš tedy pro vyrovnání takovéto sítě není vhodný, protože v programu není možné vkládat apriorní přesnosti a společně s výslednými hodnotami nejsou uváděny aposteriorní přesnosti. V metodě neredukovaných měření při zpracování dat v EasyNetu byly přesnosti a nejistoty uváděny a také splněny. Vzhledem k těmto závěrům je zřejmé, že aby bylo možné deklarovat nejistoty výsledků, je zapotřebí využít výpočetní program uvádějící i tyto parametry, například EasyNET.

9 VYHODNOCENÍ POSUNŮ

Hodnoty pro závěrečné znázornění byly čerpány z příloh horizontálních a vertikálních rozdílů mezi nultou a danou etapou (Příloha 21.27 – Příloha 21.30) a horizontálních a vertikálních rozdílů mezi dvěma po sobě jdoucími etapami (Příloha 21.31 – Příloha 21.34). K tomu, aby bylo možné tyto rozdíly hodnotit, bylo nutné určit horizontální a vertikální mezní rozdíl. Mezní rozdíly byly posuzovány s horizontálními a vertikálními rozdíly mezi dvěma po sobě jdoucími etapami a horizontálními a vertikálními rozdíly mezi danou a nultou etapou, aby bylo možné říci, jestli byl prokázán posun. Protože výstupní hodnoty pro metodu redukovaných měřených dat byly stejné jako v experimentu a v experimentu byly dodrženy i jejich nejistoty, byla pro hodnocení výsledků v kapitole 9 použita data z experimentu. Hodnoty v metodě neredukovaných měřených dat byly originální.

Ze zadaných směrodatných odchylek pro určení polohy v horizontálním směru σ_{0H} a vertikálním směru σ_{0V} byl určen horizontální mezní rozdíl Δ_{MH} a vertikální mezní rozdíl Δ_{MV} . V obou případech byl mezní rozdíl počítán stejným způsobem a výsledné hodnoty byly totožné. Proto bylo možné zapsat vzorec obecně. Mezní rozdíl $\Delta_{M\alpha}$ s koeficientem spolehlivosti $u_p = 2$ pro posouzení posunů byl spočítán následovně. [7]

$$\Delta_{M\alpha} = \sqrt{2} \cdot \sigma_{0\alpha} \cdot u_p \quad (25)$$
$$\Delta_{M\alpha} = 2,8 \text{ mm}$$

9.1 Výstupní hodnoty

Přestože bylo vyhodnocení posunů posuzováno dvěma různými metodami, bylo vycházeno ze stejných vstupních dat (surová měřená data). Hodnoty pro porovnání byly čerpány z nulté, šesté a sedmé etapy. Nultá etapa byla měřena 23. 1. 2018, šestá etapa byla změřena 11. 7. 2019 a sedmá etapa byla měřena 8. 1. 2020. Pro posouzení posunů byl horizontální a vertikální mezní rozdíl roven 2,8 mm. Výstupní hodnoty a posouzení rozdílů je uvedeno v Tab. 12 – Tab. 15. Pro výpočet posunů a analýzu přesnosti byly pro metodu redukovaných měření použity výsledky z vyrovnání experimentu viz Tab. 9 (uvedena v předchozí kapitole).



9.1.1 Metoda redukovanych měřených dat – horizontální posuny

Tab. 12: Vyhodnocení horizontálních rozdílů (MI)

VÝSLEDNÉ POSOUZENÍ HORIZONTÁLNÍCH POSUNŮ (METODA I)

Číslo bodu	Souřadnicový systém: vlastní				Výškový systém: vlastní				
	0. etapa	6. etapa	7. etapa	7. - 6. etapa	Směř. odchyl. rozdílů	Přek. mez. rozdílů	7. - 0. etapa	Směř. odchyl. rozdílů	Přek. mez. rozdílů
--	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	(±2,8 mm)	[m]	[m]	(±2,8 mm)
1	1 200,9212	1 200,9214	1 200,9216	0,3	0,5	NE	0,5	0,3	NE
2	1 200,8307	1 200,8307	1 200,8310	0,1	0,5	NE	0,1	0,3	NE
3	1 198,7312	1 198,7313	1 198,7316	0,3	0,4	NE	0,4	0,3	NE
4	1 196,2271	1 196,2278	1 196,2279	0,1	0,4	NE	0,8	0,3	NE
5	1 196,3158	1 196,3163	1 196,3165	0,1	0,4	NE	0,6	0,3	NE
6	1 154,1331	1 154,1339	1 154,1339	0,0	0,5	NE	0,5	0,4	NE
7	1 154,3795	1 154,3801	1 154,3802	0,1	0,5	NE	0,7	0,4	NE
8	1 156,6640	1 156,6646	1 156,6646	0,0	0,4	NE	0,7	0,3	NE
9	1 158,8621	1 158,8620	1 158,8622	0,1	0,5	NE	0,1	0,3	NE
10	1 158,7077	1 158,7077	1 158,7076	-0,2	0,4	NE	-0,1	0,3	NE

Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



9.1.2 Metoda neredukovaných měřených dat – vertikální rozdíly

Tab. 13: Vyhodnocení vertikálních rozdílů (MI)

Souřadnicový systém: vlastní					Výškový systém: vlastní				
Číslo bodu	0. etapa	6. etapa	7. etapa	7. - 6. etapa	Směř. odchyl. rozdílů	Přek. mez. rozdílů	7. - 0. etapa	Směř. odchyl. rozdílů	Přek. mez. rozdílů
--	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	(±2,8 mm)	[m]	[m]	(±2,8 mm)
1	7,9534	7,9539	7,9535	-0,4	0,3	NE	0,1	0,2	NE
2	10,5070	10,5078	10,5075	-0,3	0,2	NE	0,5	0,2	NE
3	11,6157	11,6175	11,6167	-0,9	0,3	NE	0,9	0,2	NE
4	9,7832	9,7848	9,7842	-0,6	0,2	NE	1,0	0,2	NE
5	8,2109	8,2122	8,2119	-0,4	0,2	NE	0,9	0,2	NE
6	8,5565	8,5576	8,5568	-0,8	0,4	NE	0,2	0,3	NE
7	10,9685	10,9699	10,9691	-0,8	0,4	NE	0,6	0,3	NE
8	12,0437	12,0457	12,0449	-0,9	0,4	NE	1,1	0,3	NE
9	10,3181	10,3190	10,3184	-0,7	0,4	NE	0,2	0,3	NE
10	8,4350	8,4358	8,4352	-0,6	0,4	NE	0,1	0,3	NE
101	5,3195	5,3187	5,3191	0,4	0,7	NE	-0,4	0,6	NE
102	5,6800	5,6792	5,6794	0,2	0,6	NE	-0,6	0,5	NE
103	6,1087	6,1080	6,1081	0,1	0,5	NE	-0,6	0,4	NE
104	6,4738	6,4732	6,4730	-0,2	0,4	NE	-0,8	0,4	NE
105	6,8567	6,8569	6,8571	0,2	0,3	NE	0,4	0,3	NE
106	7,3186	7,3194	7,3186	-0,8	0,3	NE	0,0	0,2	NE
107	7,7954	7,7966	7,7963	-0,3	0,6	NE	0,9	0,5	NE
108	8,3011	8,3012	8,3007	-0,5	0,2	NE	-0,4	0,2	NE
109	8,8078	8,8078	8,8076	-0,2	0,3	NE	-0,2	0,2	NE
110	9,2831	9,2828	9,2828	0,0	0,4	NE	-0,3	0,3	NE
201	6,6212	6,6195	6,6192	-0,2	0,6	NE	-2,0	0,5	NE
202	6,9202	6,9188	6,9181	-0,8	0,5	NE	-2,2	0,4	NE
203	7,2350	7,2346	7,2333	-1,2	0,5	NE	-1,7	0,4	NE
204	7,6405	7,6414	7,6402	-1,2	0,4	NE	-0,3	0,3	NE
205	8,0602	8,0621	8,0609	-1,3	0,4	NE	0,6	0,3	NE
206	8,5625	8,5625	8,5625	0,0	0,8	NE	0,0	0,6	NE
207	9,1821	9,1808	9,1810	0,2	0,3	NE	-1,1	0,2	NE
208	9,5140	9,5127	9,5131	0,3	0,4	NE	-1,0	0,3	NE
209	9,9036	9,9025	9,9020	-0,4	0,5	NE	-1,6	0,4	NE
210	10,2801	10,2783	10,2787	0,4	0,6	NE	-1,4	0,5	NE
2407	4,9308	4,9300	4,9303	0,3	0,9	NE	-0,5	0,7	NE
2419	9,8661	9,8661	9,8663	0,2	0,6	NE	0,2	0,5	NE
2424	6,2219	6,2202	6,2198	-0,4	0,7	NE	-2,2	0,6	NE
2436	10,7428	10,7411	10,7416	0,4	0,7	NE	-1,3	0,6	NE

Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



9.1.3 Metoda neredukovaných měřených dat – horizontální posuny

Tab. 14: Vyhodnocení horizontálních rozdílů (MII)

VÝSLEDNÉ POSOUZENÍ HORIZONTÁLNÍCH POSUNŮ (METODA II)

Číslo bodu	Souřadnicový systém: vlastní				Výškový systém: vlastní				
	0. etapa	6. etapa	7. etapa	7. - 6. etapa	Směř. odchyl. rozdílů	Přek. mez. rozdílů	7. - 0. etapa	Směř. odchyl. rozdílů	Přek. mez. rozdílů
--	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	(±2,8 mm)	[m]	[m]	(±2,8 mm)
1	1 200,9212	1 200,9214	1 200,9216	0,2	0,3	NE	0,4	0,3	NE
2	1 200,8307	1 200,8307	1 200,8310	0,3	0,3	NE	0,3	0,3	NE
3	1 198,7312	1 198,7313	1 198,7316	0,3	0,3	NE	0,4	0,2	NE
4	1 196,2271	1 196,2278	1 196,2279	0,1	0,3	NE	0,8	0,2	NE
5	1 196,3158	1 196,3163	1 196,3165	0,2	0,3	NE	0,7	0,2	NE
6	1 154,1331	1 154,1339	1 154,1339	0,0	0,4	NE	0,8	0,4	NE
7	1 154,3795	1 154,3801	1 154,3802	0,1	0,4	NE	0,7	0,4	NE
8	1 156,6640	1 156,6646	1 156,6646	0,0	0,3	NE	0,6	0,3	NE
9	1 158,8621	1 158,8620	1 158,8622	0,2	0,3	NE	0,1	0,3	NE
10	1 158,7077	1 158,7077	1 158,7076	-0,1	0,3	NE	-0,1	0,3	NE

Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



9.1.4 Metoda neredukovaných měřených dat – vertikální rozdíly

Tab. 15: Vyhodnocení vertikálních rozdílů (MII)

Souřadnicový systém: vlastní					Výškový systém: vlastní				
Číslo bodu	0. etapa	6. etapa	7. etapa	7. - 6. etapa	Směř. odchyl. rozdílu	Přek. mez. rozdílu	7. - 0. etapa	Směř. odchyl. rozdílu	Přek. mez. rozdílu
--	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	(±2,8 mm)	[m]	[m]	(±2,8 mm)
1	7,9534	7,9539	7,9535	-0,4	0,3	NE	0,1	0,2	NE
2	10,5070	10,5078	10,5075	-0,3	0,2	NE	0,5	0,2	NE
3	11,6157	11,6175	11,6167	-0,8	0,3	NE	1,0	0,2	NE
4	9,7832	9,7848	9,7842	-0,6	0,2	NE	1,0	0,2	NE
5	8,2109	8,2122	8,2119	-0,3	0,2	NE	1,0	0,2	NE
6	8,5565	8,5576	8,5568	-0,8	0,4	NE	0,3	0,3	NE
7	10,9685	10,9699	10,9691	-0,8	0,4	NE	0,6	0,3	NE
8	12,0437	12,0457	12,0449	-0,8	0,4	NE	1,2	0,3	NE
9	10,3181	10,3190	10,3184	-0,6	0,4	NE	0,3	0,3	NE
10	8,4350	8,4358	8,4352	-0,6	0,4	NE	0,2	0,3	NE
101	5,3195	5,3187	5,3191	0,4	0,8	NE	-0,4	0,6	NE
102	5,6800	5,6792	5,6794	0,2	0,7	NE	-0,6	0,6	NE
103	6,1087	6,1080	6,1081	0,1	0,5	NE	-0,6	0,5	NE
104	6,4738	6,4732	6,4730	-0,2	0,4	NE	-0,8	0,4	NE
105	6,8567	6,8569	6,8571	0,2	0,3	NE	0,4	0,3	NE
106	7,3186	7,3194	7,3186	-0,8	0,3	NE	0,0	0,2	NE
107	7,7954	7,7966	7,7963	-0,3	0,7	NE	0,9	0,6	NE
108	8,3011	8,3012	8,3007	-0,5	0,2	NE	-0,4	0,2	NE
109	8,8078	8,8078	8,8076	-0,2	0,3	NE	-0,2	0,2	NE
110	9,2831	9,2828	9,2828	0,0	0,4	NE	-0,3	0,4	NE
201	6,6212	6,6195	6,6192	-0,3	0,6	NE	-2,0	0,5	NE
202	6,9202	6,9188	6,9181	-0,7	0,5	NE	-2,1	0,4	NE
203	7,2350	7,2346	7,2333	-1,3	0,5	NE	-1,7	0,4	NE
204	7,6405	7,6414	7,6402	-1,2	0,4	NE	-0,3	0,3	NE
205	8,0602	8,0621	8,0609	-1,2	0,4	NE	0,7	0,3	NE
206	8,5625	8,5625	8,5625	0,0	0,8	NE	0,0	0,6	NE
207	9,1821	9,1808	9,1810	0,2	0,3	NE	-1,1	0,2	NE
208	9,5140	9,5127	9,5131	0,4	0,4	NE	-0,9	0,3	NE
209	9,9036	9,9025	9,9020	-0,5	0,5	NE	-1,6	0,4	NE
210	10,2801	10,2783	10,2787	0,4	0,6	NE	-1,4	0,4	NE
2407	4,9308	4,9300	4,9303	0,3	0,9	NE	-0,5	0,7	NE
2419	9,8661	9,8661	9,8663	0,2	0,6	NE	0,2	0,5	NE
2424	6,2219	6,2202	6,2198	-0,4	0,7	NE	-2,1	0,6	NE
2436	10,7428	10,7411	10,7416	0,5	0,7	NE	-1,2	0,5	NE

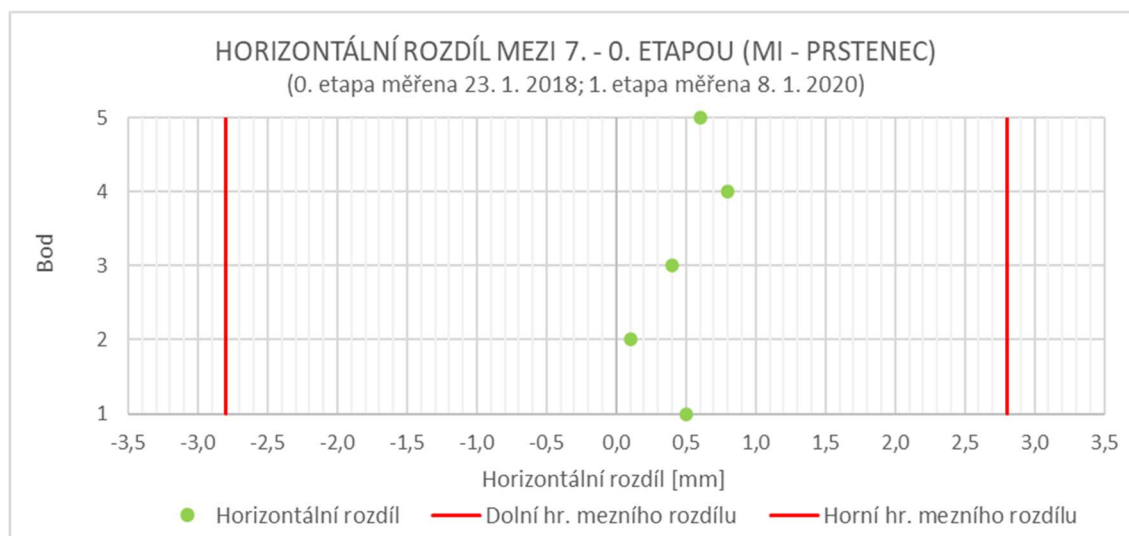
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.

9.2 Zhodnocení výsledků a grafické znázornění

Pro výsledném zhodnocení horizontálních a vertikálních posunů pozorovaných bodů sledované oblasti tunelů pražského metra linky A v mezistaničním úseku Muzeum – Můstek byly využity horizontální a vertikální rozdíly mezi poslední a nultou měřenou etapou. K posouzení velikosti posunů byl použit mezní rozdíl 2,8 mm. V následujících obrázcích je znázorněno vyhodnocení a veškeré grafy jsou uvedeny v přílohách (Příloha 17 – Příloha 20).

9.2.1 Metoda redukovanych měřených dat – horizontální posuny

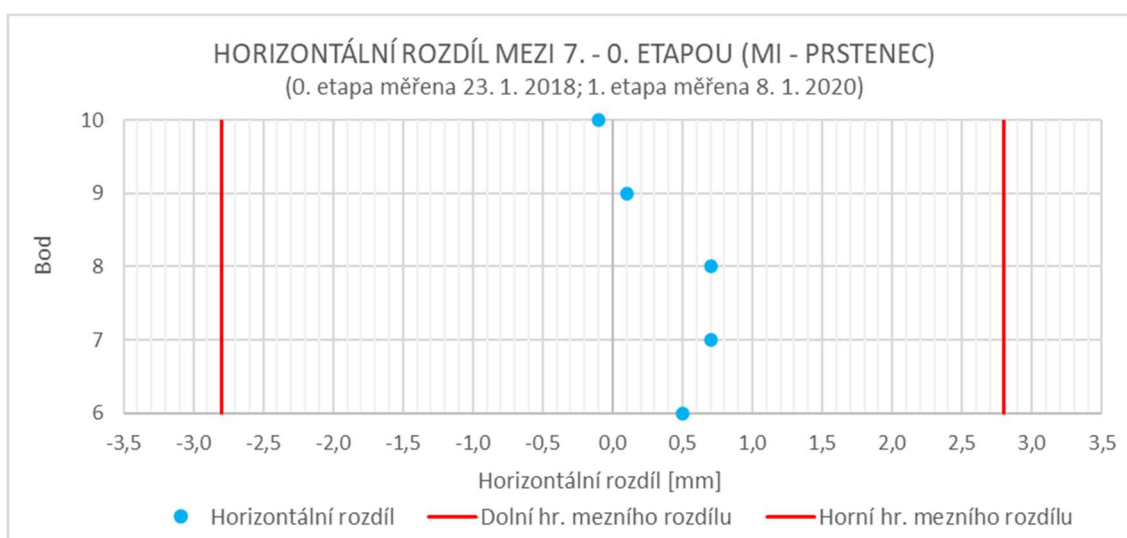
Díky grafu znázorňujícímu horizontální rozdíly prvního až pátého konvergenčního bodu mezi sedmou a nultou etapou určených první metodou (Obr. 29) je možné říci, že se tunel v této části oproti nulté etapě mírně posunul vpravo ve směru tratě Můstek – Muzeum. Vzhledem k horizontálnímu meznímu rozdílu byl posun pouze podezřelý, nikoliv však prokazatelný. Pravděpodobnou příčinou tohoto posunu bylo snížení působení sil na pravou část nebo zvýšení tlaku na levou část tunelu. Minimální horizontální rozdíl od nulté etapy nastal u bodu 2 (0,1 mm). K maximálnímu horizontálnímu rozdílu od nulté etapy došlo u bodu 4 (0,8 mm). Průměrný horizontální rozdíl od nulté etapy byl 0,5 mm. Žádný z horizontálních rozdílů bodů prstence však nepřekročil horizontální mezní rozdíl, a proto u nich nebyla prokázána nestabilita.



Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.

Obr. 29: Horizontální rozdíly konvergenčních bodů 1-5 (MI) (vlastní zdroj)

Z grafu demonstrujícího horizontální rozdíly šestého až desátého konvergenčního bodu mezi sedmou a nultou etapou definovaných první metodou (Obr. 30) jsme schopni pronést závěr, že se i druhý tunel v tomto úseku oproti nulté etapě posunul mírně vpravo ve směru tratě Můstek – Muzeum. Vůči horizontálnímu meznímu rozdílu byl posun pouze podezřelý, ne ale prokazatelný. Předpokládaným důvodem tohoto posunu bylo snížení působení sil na pravou část nebo zvýšení tlaku na levou část tunelu. K minimálnímu horizontálnímu rozdílu od nulté etapy došlo u bodu 9 a 10 (0,1 mm a -0,1 mm). Maximální horizontální rozdíl od nulté etapy nastal u bodu 7 a 8 (0,7 mm). Průměrný horizontální rozdíl od nulté etapy byl 0,3 mm. Ani jeden z horizontálních rozdílů bodů prstence ovšem nepřekročil horizontální mezní rozdíl, takže u nich nebyla prokázána nestabilita.

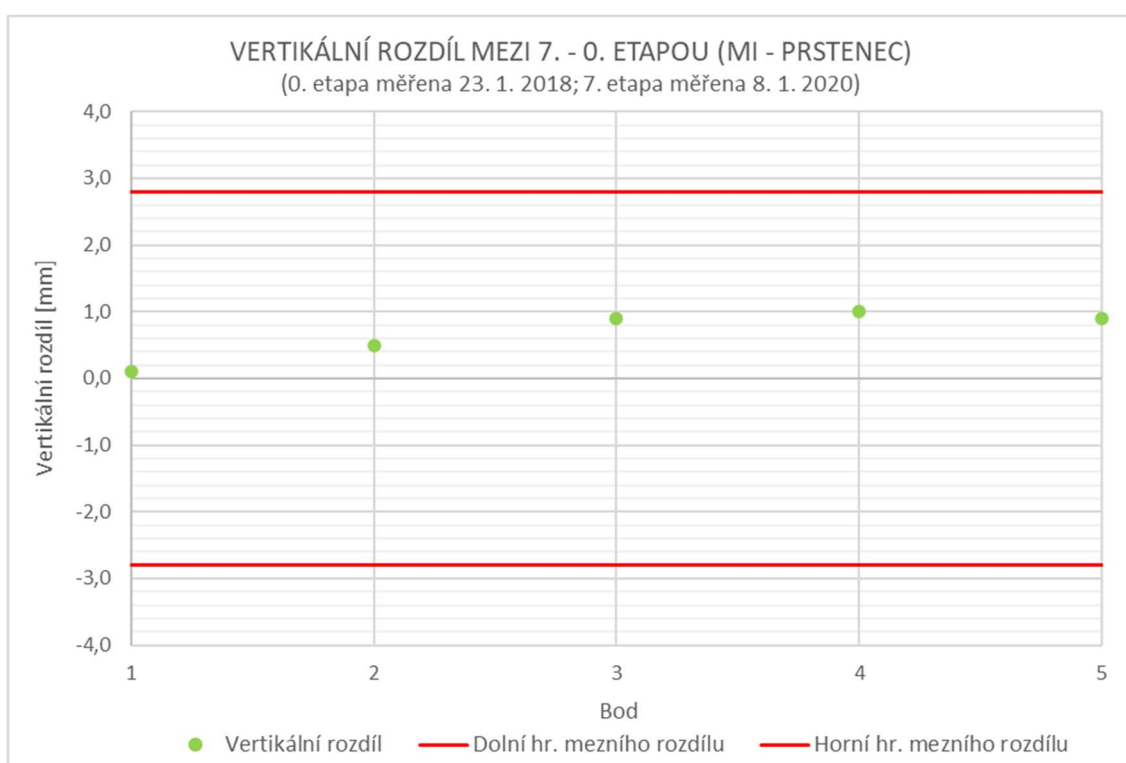


Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.

Obr. 30: Horizontální rozdíly konvergenčních bodů 6-10 (MI) (vlastní zdroj)

9.2.2 Metoda redukovanych měřených dat – vertikální rozdíly

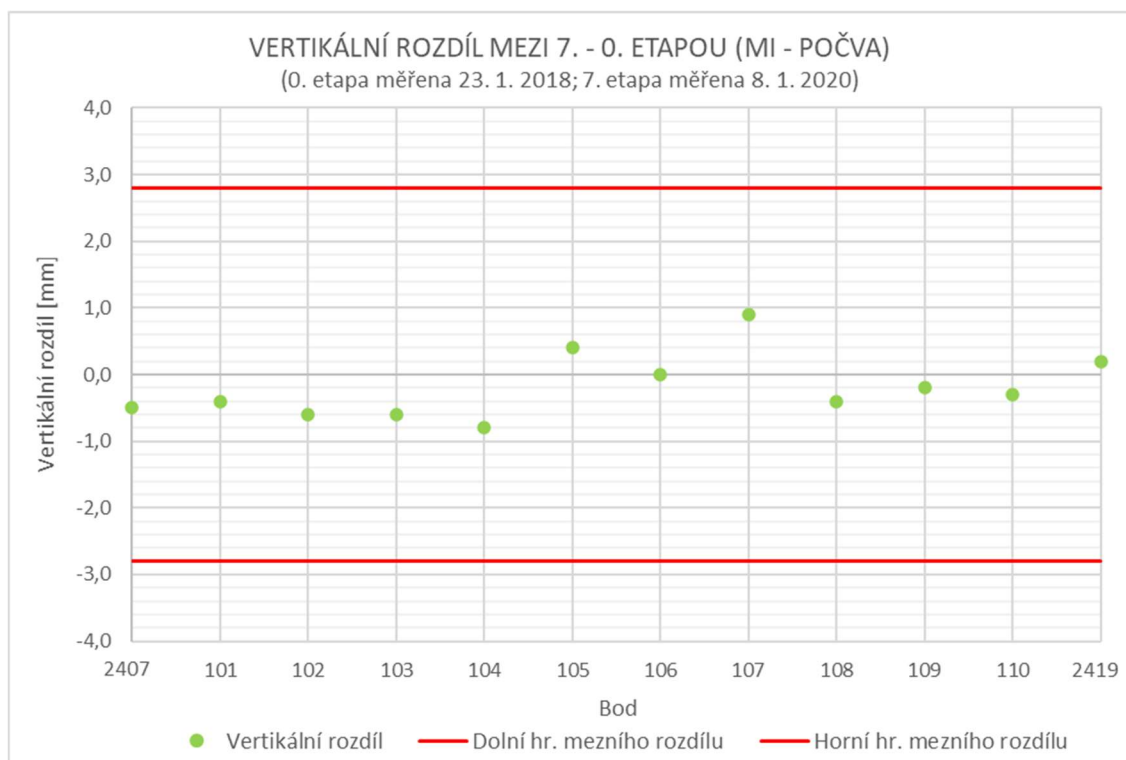
Díky grafickému znázornění vertikálních rozdílů prvního až pátého konvergenčního bodu mezi sedmou a nultou etapou stanovených první metodou (Obr. 31) můžeme vyjádřit tvrzení, že v této části tunelu došlo oproti nulté etapě k mírnému zdvihu. Vzhledem k vertikálnímu meznímu rozdílu byl zdvih pouze podezřelý, nikoliv však prokazatelný. Očekávaným podnětem tohoto posunu byla změna hmotnosti (odlehčení) nad pozorovanou oblastí. Minimální vertikální rozdíl od nulté etapy nastal u bodu 1 (0,1 mm). K maximálnímu vertikálnímu rozdílu od nulté etapy došlo u bodu 4 (1,0 mm). Průměrný vertikální rozdíl od nulté etapy byl 0,7 mm. Všechny vertikální rozdíly bodů prstence však nepřekročily vertikální mezní rozdíl, tudíž u nich nebyla prokázána nestabilita.



Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.

Obr. 31: Vertikální rozdíly konvergenčních bodů 1-5 (MI) (vlastní zdroj)

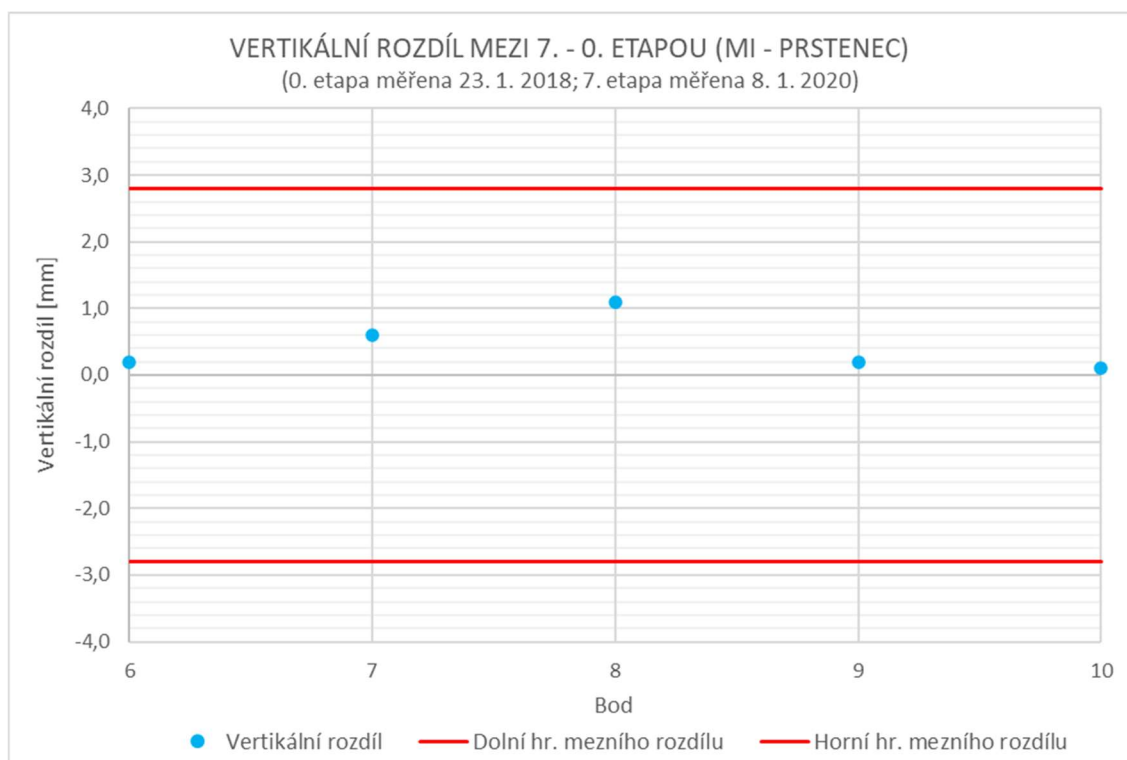
Při prozkoumání grafu znázorňujícího vertikální rozdíly nivelačních bodů mezi sedmou a nultou etapou determinovaných první metodou z volného stanoviska 1001 (Obr. 32) není možné pronést u všech bodů stejný závěr. V části tunelu, kde se nacházejí body 2407 a 101-104, došlo k poklesu. Vzhledem k vertikálnímu meznímu rozdílu byl zdvih pouze podezřelý, nikoliv však prokazatelný. Nejsme schopni říct, z jakého důvodu k poklesu došlo (příčinou mohlo být například vysychání spodních vod). U oblasti bodů 105, 106 a 107, kde leží také body konvergenčního profilu 1-5 byl u tunelu mírný zdvih. Vůči vertikálnímu meznímu rozdílu byl posun pouze podezřelý, ne ale prokazatelný. Pravděpodobným spouštěčem tohoto posunu byla změna hmotnosti (odlehčení) nad pozorovanou oblastí. Zbylé body 108-110 a 2419 vykazují tak malé vertikální rozdíly, že lze prohlásit, že zde je tunel na původním místě. K minimálnímu vertikálnímu rozdílu od nulté etapy došlo u bodu 106 (0,0 mm). Maximální vertikální rozdíl od nulté etapy nastal u bodu 107 (0,9 mm). Průměrný vertikální rozdíl od nulté etapy byl -0,2 mm. Žádný z vertikálních rozdílů nivelačních bodů ale nepřekročil vertikální mezní rozdíl, a proto u nich nebyla prokázána nestabilita.



Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.

Obr. 32: Vertikální rozdíly nivelačních bodů 101-110; 2407; 2419 (MI) (vlastní zdroj)

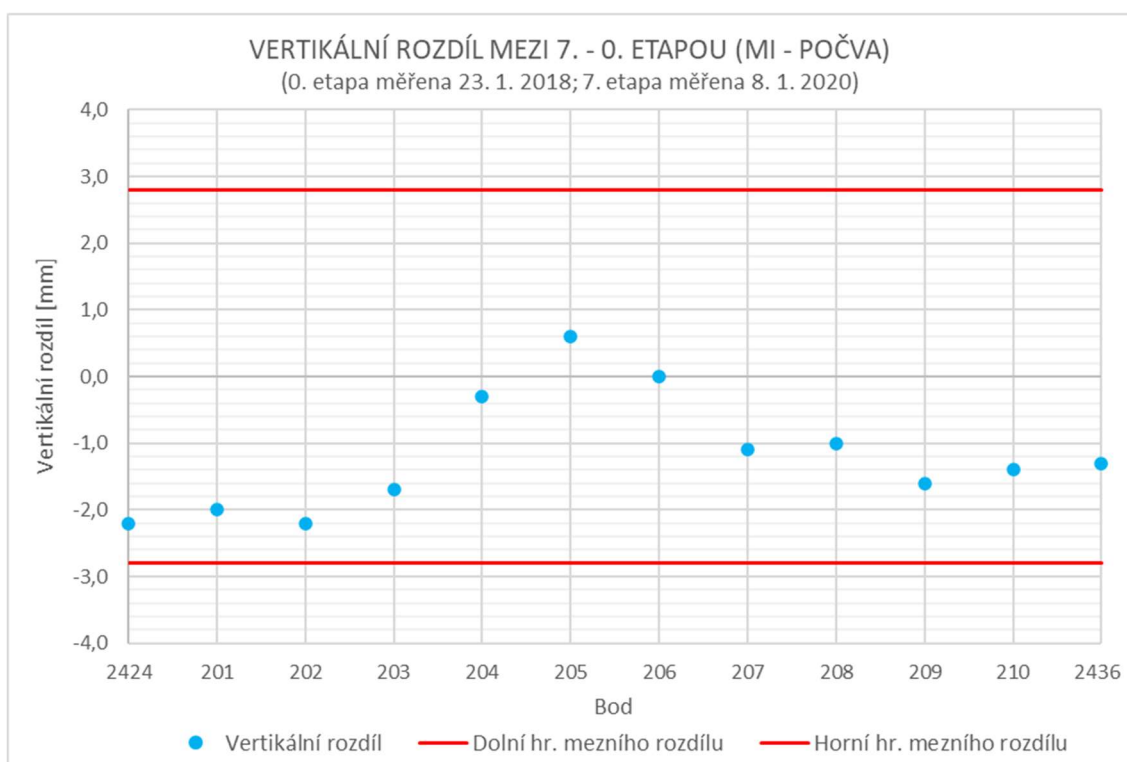
Z grafu znázorňujícího vertikální rozdíly šestého až desátého konvergenčního bodu mezi sedmou a nultou etapou určených první metodou (Obr. 33) je možné vyřknout závěr, že i u druhého tunelu v oblasti prstence došlo oproti nulté etapě k mírnému zdvihu. Vzhledem k vertikálnímu meznímu rozdílu byl zdvih pouze podezřelý, nikoliv však prokazatelný. Nejpravděpodobnějším důvodem posunu byla změna hmotnosti (odlehčení) nad zájmovou oblastí. Minimální vertikální rozdíl od nulté etapy nastal u bodu 10 (0,1 mm). K maximálnímu vertikálnímu rozdílu od nulté etapy došlo u bodu 8 (1,1 mm). Průměrný vertikální rozdíl od nulté etapy byl 0,4 mm. Ani jeden z vertikálních rozdílů bodů prstence ovšem nepřekročil vertikální mezní rozdíl, tedy u nich nebyla prokázána nestabilita.



Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.

Obr. 33: Vertikální rozdíly konvergenčních bodů 6-10 (MI) (vlastní zdroj)

Když bylo provedeno grafické znázornění vertikálních rozdílů nivelačních bodů mezi sedmou a nultou etapou stanovených první metodou z volného stanoviska 1001 (Obr. 34), nebylo možné pro všechny body vyslovit hromadný závěr. V oblasti, kde leží body 2424, 201-203, 207-210 a 2436 nastal pokles tunelu. Vzhledem k vertikálnímu meznímu rozdílu byl posun pouze podezřelý, nikoliv však prokazatelný. Pokles neumíme zdůvodnit. Příčinou mohlo být například vysychání spodních vod. V zóně s body 204, 205, 206 a body kovergenčního profilu 6-10 nastal zdvih tunelu. Vůči vertikálnímu meznímu rozdílu byl zdvih pouze podezřelý, ne ale prokazatelný. Ke zdvihu pravděpodobně došlo z důvodu změny hmotnosti (odlehčení) nad sledovanou oblastí. K minimálnímu vertikálnímu rozdílu od nulté etapy došlo u bodu 206 (0,0 mm). Maximální vertikální rozdíl od nulté etapy nastal u bodu 202 a 2424 (-2,2 mm). Průměrný vertikální rozdíl od nulté etapy byl -1,2 mm. U všech nivelačních bodů byl vertikální rozdíl menší nežli mezní vertikální rozdíl, a tak u nich nestabilita prokázána nebyla.

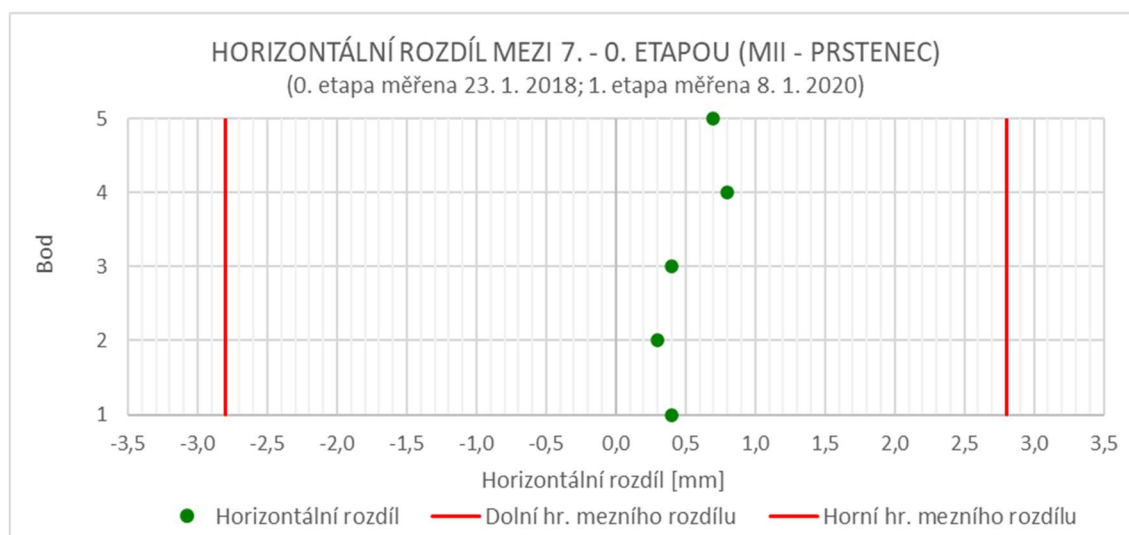


Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.

Obr. 34: Vertikální rozdíly nivelačních bodů 201-210; 2424; 2436 (MI) (vlastní zdroj)

9.2.3 Metoda neredukovaných měřených dat – horizontální posuny

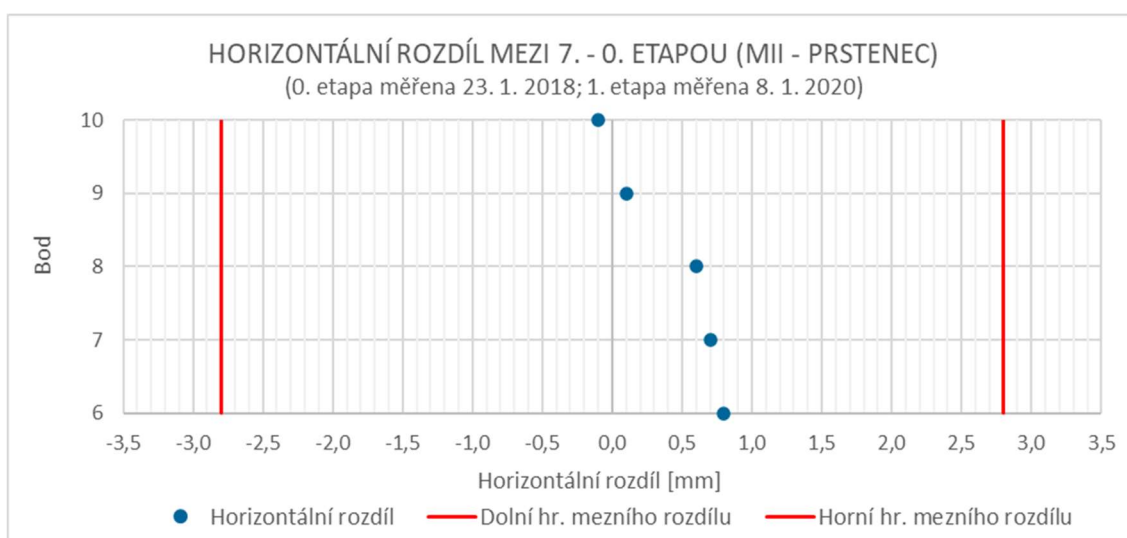
Z grafu demonstrujícího horizontální rozdíly prvního až pátého konvergenčního bodu mezi sedmou a nultou etapou definovaných druhou metodou (Obr. 35) jsme schopni pronést závěr, že se tunel v tomto úseku oproti nulté etapě posunul mírně vpravo ve směru tratě Můstek – Muzeum. Vzhledem k horizontálnímu meznímu rozdílu byl posun pouze podezřelý, nikoliv však prokazatelný. Předpokládaným důvodem tohoto posunu bylo snížení působení sil na pravou část nebo zvýšení tlaku na levou část tunelu. Minimální horizontální rozdíl od nulté etapy nastal u bodu 2 (0,3 mm). K maximálnímu horizontálnímu rozdílu od nulté etapy došlo u bodu 4 (0,8 mm). Průměrný horizontální rozdíl od nulté etapy byl 0,5 mm. Ani jeden z horizontálních rozdílů bodů prstence ovšem nepřekročil horizontální mezní rozdíl, takže u nich nebyla prokázána nestabilita.



Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Mústek – Muzeum.

Obr. 35: Horizontální rozdíly konvergenčních bodů 1-5 (MII) (vlastní zdroj)

Díky grafu znázorňujícímu horizontální rozdíly šestého až desátého konvergenčního bodu mezi sedmou a nultou etapou určených druhou metodou (Obr. 36) je možné říci, že se i druhý tunel v této části oproti nulté etapě mírně posunul vpravo ve směru tratě Můstek – Muzeum. Vůči horizontálnímu meznímu rozdílu byl posun pouze podezřelý, ne ale prokazatelný. Pravděpodobnou příčinou tohoto posunu bylo snížení působení sil na pravou část nebo zvýšení tlaku na levou část tunelu. K minimálnímu horizontálnímu rozdílu od nulté etapy došlo u bodu 9 a 10 (0,1 mm a -0,1 mm). Maximální rozdíl od nulté etapy nastal u bodu 6 (0,8 mm). Průměrný horizontální rozdíl od nulté etapy byl 0,4 mm. Žádný z horizontálních rozdílů bodů prstence však nepřekročil horizontální mezní rozdíl, a proto u nich nebyla prokázána nestabilita.

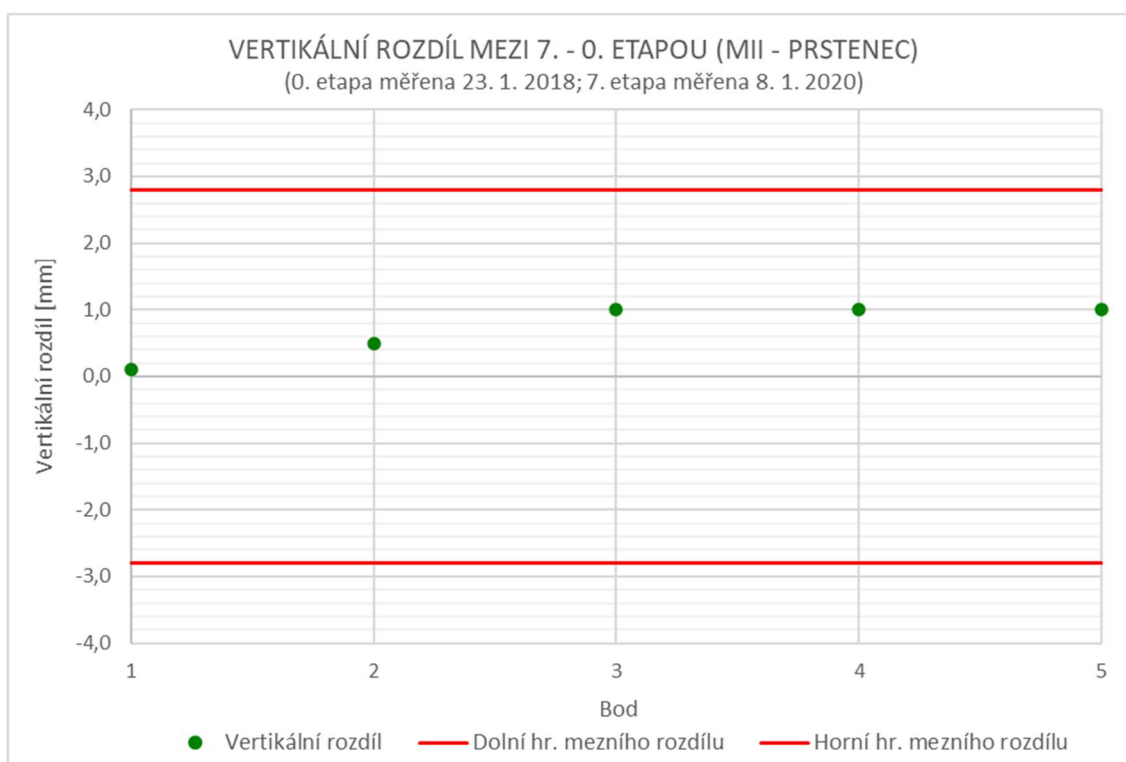


Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.

Obr. 36: Horizontální rozdíly konvergenčních bodů 6-10 (MII) (vlastní zdroj)

9.2.4 Metoda neredukovaných měřených dat – vertikální rozdíly

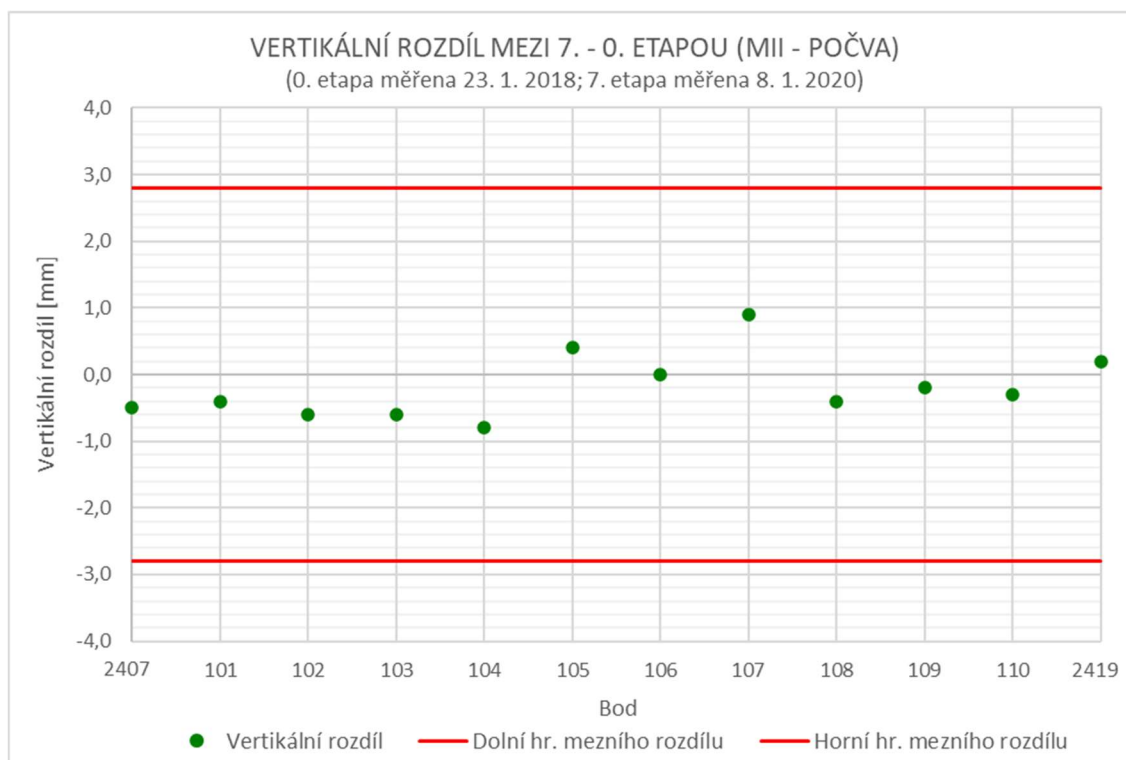
Z grafu znázorňujícího vertikální rozdíly prvního až pátého konvergenčního bodu mezi sedmou a nultou etapou určených druhou metodou (Obr. 37) je možné vyřknout závěr, že v tunelu v oblasti prstence došlo oproti nulté etapě k mírnému zdvihu. Vzhledem k vertikálnímu meznímu rozdílu byl posun pouze podezřelý nikoliv však prokazatelný. Nejpravděpodobnějším důvodem posunu byla změna hmotnosti (odlehčení) nad zájmovou oblastí. Minimální vertikální rozdílnost od nulté etapy nastal u bodu 1 (0,1 mm). K maximálnímu vertikálnímu rozdílu od nulté etapy došlo u bodu 3, 4 a 5 (1,0 mm). Průměrný vertikální rozdílnost od nulté etapy byl 0,7 mm. Ani jeden z vertikálních rozdílností bodů prstence ovšem nepřekročil vertikální mezní rozdílnost, tedy u nich nebyla prokázána nestabilita.



Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.

Obr. 37: Vertikální rozdílnosti konvergenčních bodů 1-5 (MII) (vlastní zdroj)

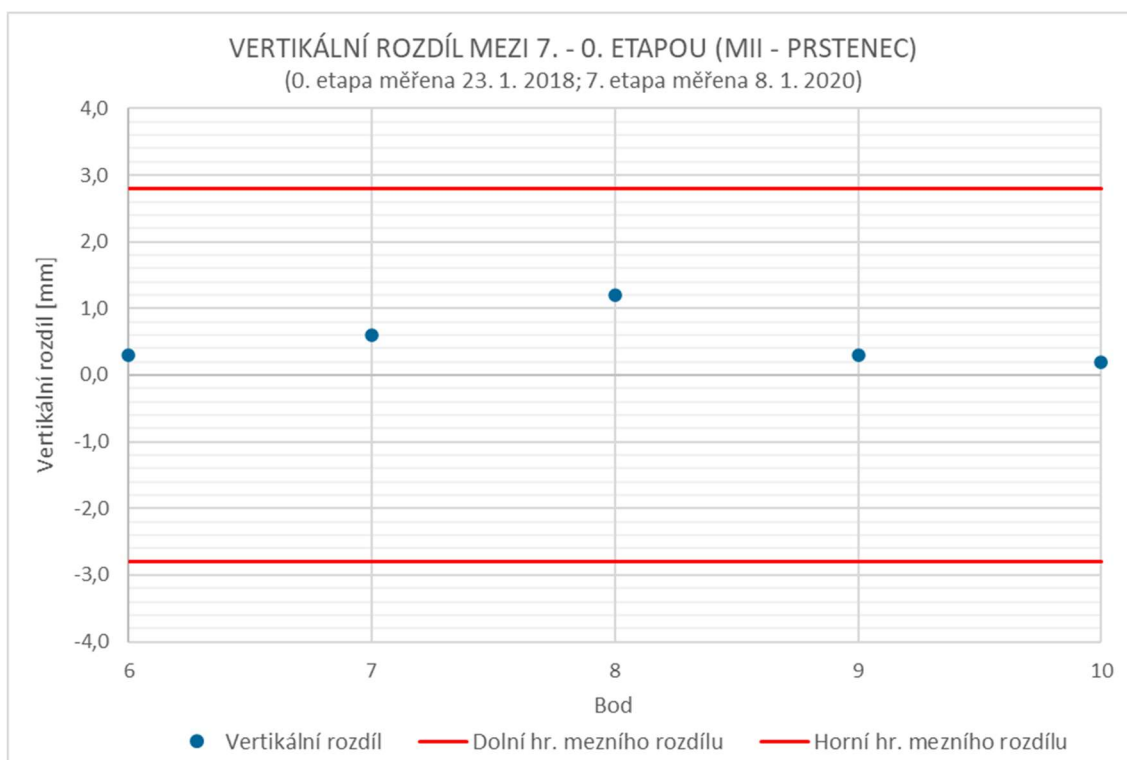
Když bylo provedeno grafické znázornění vertikálních rozdílů nivelačních bodů mezi sedmou a nultou etapou stanovených druhou metodou z volného stanoviska 1001 (Obr. 38), nebylo možné pro všechny body vyslovit hromadný závěr. V části tunelu, kde se nacházejí body 2407 a 101-104, došlo k poklesu. Vůči vertikálnímu meznímu rozdílu byly posuny pouze podezřelé, ne ale prokazatelné. Nejsme schopni říct, z jakého důvodu k poklesu došlo (příčinou mohlo být například vysychání spodních vod). U oblasti bodů 105, 106 a 107, kde leží také body konvergenčního profilu 1-5, byl u tunelu mírný zdvih. Vůči vertikálnímu meznímu rozdílu byl posun pouze podezřelý, ne ale prokazatelný. Pravděpodobným spouštěčem tohoto posunu je změna hmotnosti (odlehčení) nad pozorovanou oblastí. Zbylé body 108-110 a 2419 vykazují tak malé vertikální rozdíly, že lze prohlásit, že zde je tunel na původním místě. K minimálnímu vertikálnímu rozdílu od nulté etapy došlo u bodu 106 (0,0 mm). Maximální vertikální rozdíl od nulté etapy nastal u bodu 107 (0,9 mm). Průměrný vertikální rozdíl od nulté etapy byl -0,2 mm. Žádný z vertikálních rozdílů nivelačních bodů ale nepřekročil vertikální mezní rozdíl, a proto u nich nebyla prokázána nestabilita.



Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.

Obr. 38: Vertikální rozdíly nivelačních bodů 101-110; 2407; 2419 (MII) (vlastní zdroj)

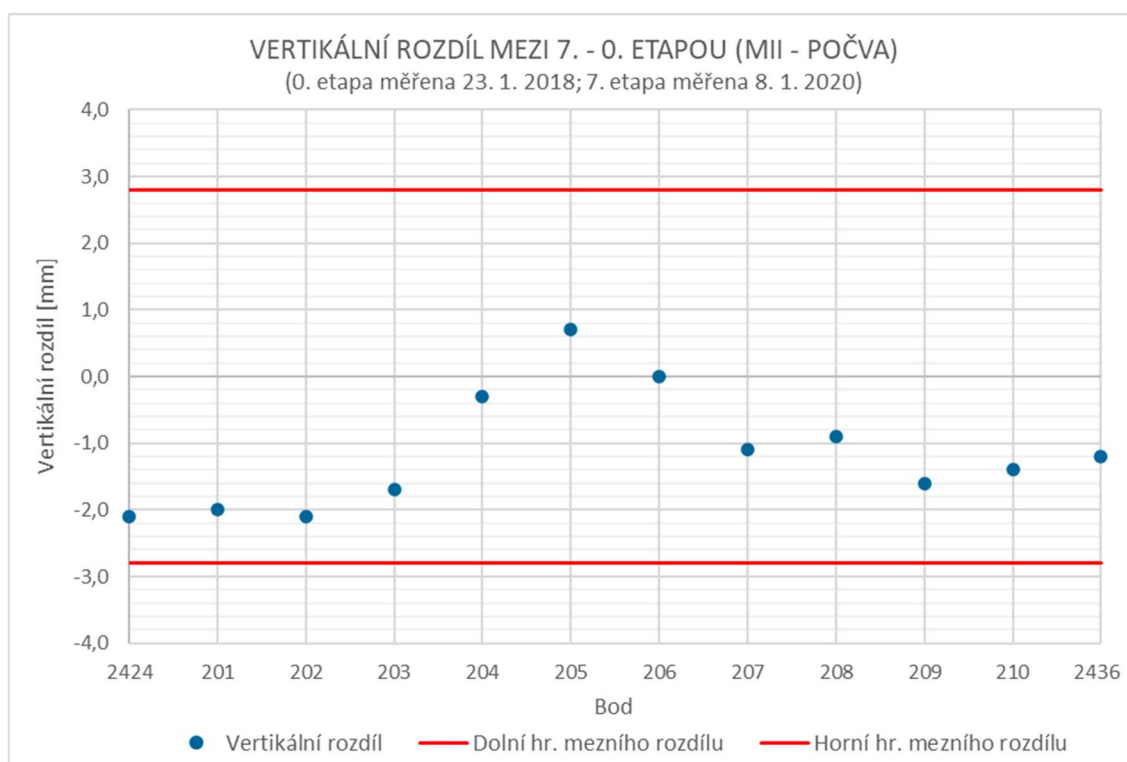
Díky grafickému znázornění vertikálních rozdílů šestého až desátého konvergenčního bodu mezi sedmou a nultou etapou stanovených druhou metodou (Obr. 39) můžeme vyjádřit tvrzení, že i v této části tunelu došlo oproti nulté etapě k mírnému zdvihu. Vzhledem k vertikálnímu meznímu rozdílu byl zdvih pouze podezřelý, nikoliv však prokazatelný. Očekávaným podnětem tohoto posunu byla změna hmotnosti (odlehčení) nad pozorovanou oblastí. Minimální vertikální rozdíl od nulté etapy nastal u bodu 10 (0,2 mm). K maximálnímu vertikálnímu rozdílu od nulté etapy došlo u bodu 8 (1,2 mm). Průměrný vertikální rozdíl od nulté etapy byl 0,5 mm. Všechny vertikální rozdíly bodů prstence však nepřekročily vertikální mezní rozdíl, tudíž u nich nebyla prokázána nestabilita.



Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.

Obr. 39: Vertikální rozdíly konvergenčních bodů 6-10 (MII) (vlastní zdroj)

Při prozkoumání grafu znázorňujícího vertikální rozdíly nivelačních bodů mezi sedmou a nultou etapou determinovaných první metodou z volného stanoviska 2001 (Obr. 40) není možné pronést u všech těchto bodů stejný závěr. V části, kde leží body 2424, 201-203, 207-210 a 2436 nastal pokles tunelu. Vzhledem k vertikálnímu meznímu rozdílu byl posun pouze podezřelý, nikoliv však prokazatelný. Pokles neumíme zdůvodnit. Příčinou mohlo být například vysychání spodních vod. V oblasti s body 204, 205, 206 a body kovergenčního profilu 6-10 nastal zdvih tunelu. Vůči vertikálnímu meznímu rozdílu byl zdvih pouze podezřelý, ne ale prokazatelný. Ke zdvihu zřejmě došlo z důvodu změny hmotnosti (odlehčení) nad sledovanou oblastí. K minimálnímu vertikálnímu rozdílu od nulté etapy došlo u bodu 206 (0,0 mm). Maximální vertikální rozdíl od nulté etapy nastal u bodu 202 a 2424 (-2,1 mm). Průměrný vertikální rozdíl od nulté etapy byl -1,2 mm. U všech nivelačních bodů byl vertikální rozdíl menší nežli mezní vertikální rozdíl, a tak u nich nestabilita prokázána nebyla.

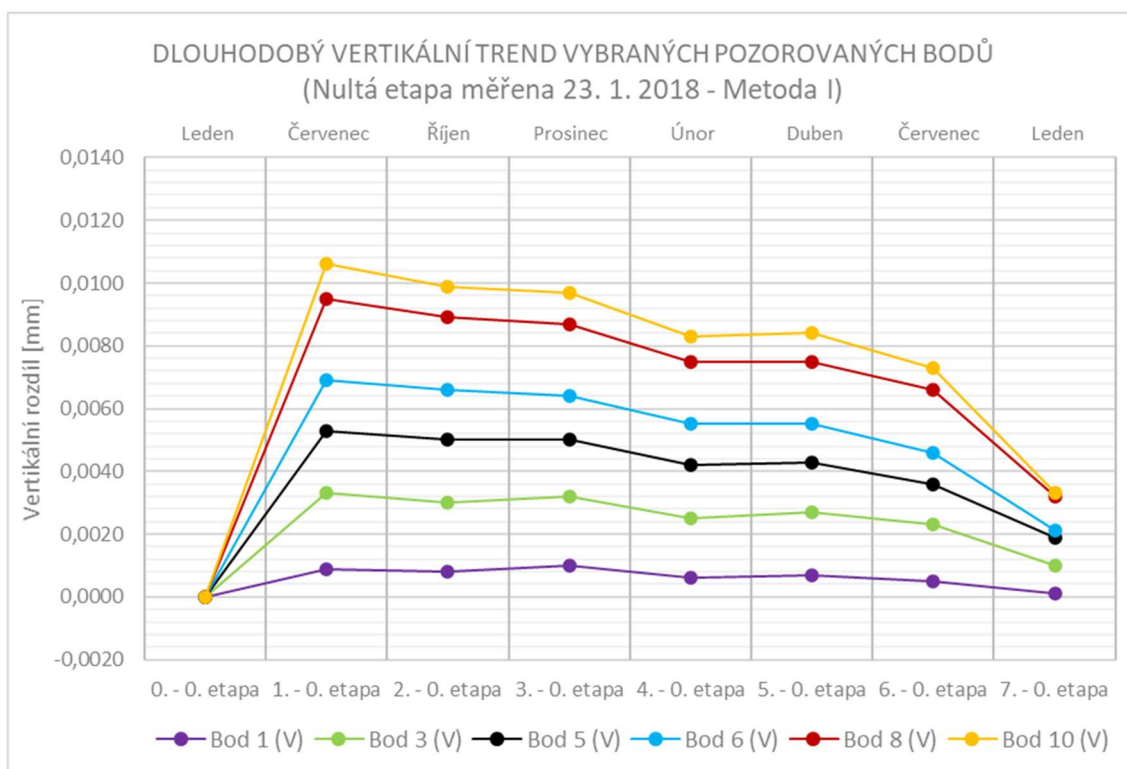


Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.

Obr. 40: Vertikální rozdíly nivelačních bodů 201-210; 2424; 2436 (MII) (vlastní zdroj)

9.3 Zhodnocení dlouhodobého trendu vlivu výstavby na posuny

Při prohlídce grafu znázorňujícím dlouhodobý vertikální trend vybraných pozorovaných bodů (Obr. 41) je jasně patrné, kdy byly jaké stavební práce prováděny. Po zaměření nulté etapy byla uskutečněna demolice staré budovy a výkop stavební jámy pro novou budovu. Díky odlehčení nad tunely došlo k jejich evidentnímu zdvihu. Tato změna je zaznamenána v první etapě. Poté byla již zahájena výstavba nové budovy. S přibývajícím hmotností v oblasti nad tunely začalo docházet k poklesům (2. – 7. etapa). Vzhledem k tomu, že práce ještě nejsou u konce a hmotnost budovy bude stále narůstat, je pravděpodobné, že se tunely dostanou zhruba do původní pozice. Protože měření nebylo prováděno v pravidelných intervalech, není možné přesně říci, zda je kromě prováděných stavebních úprav na povrchu dlouhodobý trend bodů závislý i na jiných vlivech (např.: teplota, oslunění budovy na povrchu, atd.).



Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.

Obr. 41: Dlouhodobý vertikální trend vybraných pozorovaných bodů (vlastní zdroj)



10 ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce bylo etapové měření pozorovaných bodů v pražském metru linky A v mezistaničním úseku Muzeum – Můstek pro definování horizontálních a vertikálních posunů tunelů. Důvodem sledování zájmové oblasti byla demolice staré a stavba nové budovy nad tunely metra. Měření bylo prováděno z volného stanoviska (přesto byl stroj vždy zcentrován, zhorizontován a postaven do stanovené výšky 1,6 m) prostorovou polární metodou pomocí robotické totální stanice Trimble S9. Dohromady bylo zaměřeno osm etap v době od 23. 1. 2018 do 8. 1. 2020. Monitoring byl po celou dobu prováděn firmou GEOPROGRES. Autor této práce byl přítomen u měření šesté a sedmé etapy, ale vyhodnocení provedl u všech samostatně. Zpracování bylo prováděno metodou redukováných (metoda I) a neredukovaných (metoda II) měřených dat.

První součást práce ověřovala přesnost totální stanice Trimble S9. Bylo zjištěno, že výrobcem uváděná přesnost v jedné skupině měřeného vodorovného směru a zenitového úhlu 0,2 mgon a šikmé délky 1 mm při zhoršených měřických podmínkách té skutečně neodpovídá. Testování bylo provedeno v charakteristické vzdálenosti 40 m a atypické vzdálenosti 4 m. Skutečná výběrová směrodatná odchylka v jedné skupině měřeného vodorovného směru a zenitového úhlu byla určena pro bod v charakteristické vzdálenosti na hodnotu 0,5 mgon a v atypické vzdálenosti na hodnotu 0,7 mgon. Skutečná výběrová směrodatná odchylka v jedné skupině měřené šikmé délky byla v obou testovaných vzdálenostech definována na hodnotu 1 mm. S těmito přesnostmi bylo stále možné docílit požadovaného polohového zaměření s přesností 1 mm, a proto byl tento přístroj pro zakázku vyhodnocen jako vyhovující.

V druhé části byly uskutečněny rozborů přesnosti před měřením. Rozborů byly pro metodu redukováných a neredukovaných měřených dat realizovány zvlášť, ale apriorní přesnosti v obou případech vyšly shodně. Předpokládané přesnosti splňovaly požadovanou přesnost. Proto se dospělo k závěru, že byla zvolena vhodná měřická metoda.

Další součástí práce bylo určování horizontálních a vertikálních posunů pozorovaných bodů. Převzatá měření byla zpracována metodou redukováných a neredukovaných dat. K definování polohy bodů byl využit vlastní souřadnicový systém. Celkem bylo sledováno třicet čtyři podrobných bodů. Pozorované body byly rozděleny na konvergenční (body stabilizované v prstenci tunelu) a nivelační (body stabilizované v počvě tunelu). Pro posouzení posunů mezi jednotlivými etapami byl stanoven horizontální a vertikální rozdíl na hodnotu 2,8 mm. Výstupní hodnoty z jednotlivých metod se lišily maximálně o 0,2 mm.

Čtvrtou částí byly rozborů přesnosti po měření. Bylo zjištěno, že pokud bylo měření zpracováno metodou redukováných měřených dat, jistota výsledků neodpovídala požadované přesnosti. V experimentu bylo však zjištěno, že když byla data zpracována v programu, kde by



bylo možné apriorní přesnosti měřených veličin měnit, byla by požadovaná přesnost i nejistota splněna. Při vyhodnocení metodou neredukovaných dat byla kritéria přesnosti splněna. Z toho důvodu bylo řečeno, že pro zpracování jsou vhodné obě metody, ale v metodě redukováných měřených dat bylo zapotřebí zvolit sofistikovanější výpočetní program, aby byla kritéria přesnosti splněna.

Poslední částí diplomové práce bylo zhodnocení horizontálních a vertikálních posunů a jejich grafické znázornění. K posouzení byly využity horizontální a vertikální rozdíly mezi sedmou (poslední) a nultou měřenou etapou. U žádného z třiceti čtyř bodů nebyl horizontální ani vertikální rozdíl překročen a nebyla u nich prokázána nestabilita. Rozsah horizontálních posunů vůči nulté etapě byl v obou metodách od 0,1 mm do 0,8 mm. Velikost vertikálních posunů vůči nulté etapě byl v první metodě od 0,0 mm do 2,2 mm a v druhé metodě od 0,0 mm do 2,1 mm. Výstupem této práce jsou přehledné tabulky s velikostmi posunů a grafy znázorňující míru posunů. Díky tomu, že budova nad tunely ještě není dostavěna a mohlo by tedy ještě stále docházet k posunům, bylo by vhodné v monitoringu pokračovat.



SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Urban, R.: Geodetické práce při měření posunů a deformací stavebních objektů. Česká technika – nakladatelství, 1. vydání. Praha, 2015. ISBN 978-80-01-05786-5.
- [2] ČSN 73 0405: Měření posunů stavebních objektů. Český normalizační institut, Praha, 1997.
- [3] Mapy: Opletalova [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z:
<https://mapy.cz/turisticka?x=14.4286525&y=50.0812277&z=18>
- [4] Wikipedie: Metro v Praze [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Metro_v_Praze
- [5] Wikipedie: Dějiny metra v Praze [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Dějiny_metra_v_Praze
- [6] Týden: Modernizace MHD [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z:
https://www.tyden.cz/rubriky/domaci/doprava/rekonstrukce-starych-souprav-metra-po-deseti-letech-konci_191751.html
- [7] Hampacher, M. - Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2. vydání. Praha, 2015. ISBN 978-80-01-05843-5.
- [8] Štroner, M.: PrecisPlanner 3D v3.1.0. Návod. FSv ČVUT, Praha, 2012.
- [9] Böhm, J. - Radouch, V. - Hampacher, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Geodetický a kartografický podnik Praha, 2. vydání, Praha, 1990. ISBN 80-7011-056-2.
- [10] Geotronics Praha: Trimble S9 [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z:
<https://geotronics.cz/geodezie/totalni-stanice/trimble-s9/>
- [11] Geoshop: Těžký dřevěný stativ SECO [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z:
<https://geoshop.inshop.cz/vsechny-produkty/geodezie/stativy-pro-geodety/stativ-tezky-dreveny-vyska-max.-1.9-m-7.5-kg-sroubyrychlosvorky-seco-%5B5220-13%5D?ItemIdx=0>
- [12] Geoshop: Odrazný hranol v rámovém držáku [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z:
<https://geoshop.inshop.cz/vsechny-produkty/geodezie/hranoly/hranol-v-ramovem-drzaku-k-35-mm-%5B4520101-35%5D?ItemIdx=25>
- [13] Geoshop: Hrot výtyčky [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z:
<https://geoshop.inshop.cz/vsechny-produkty/geodezie/prislusenstvi-pro-velmi-presne-prace/hrot-5-cm-58-zavit-%5B4520110-050%5D?ItemIdx=1>
- [14] Geoshop: Nástavec výtyčky [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z:
<https://geoshop.inshop.cz/vsechny-produkty/geodezie/prislusenstvi-pro-velmi-presne-prace/nastavec-30-cm-58-zavit-trimble-%5B4520120%5D?ItemIdx=0>
- [15] GP: Měřický hřeb [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z:
<https://eshop.gpprague.cz/hreby/mericky-hreb/>
- [16] Datart: Svítlna EMOS 10W [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z:
<https://www.datart.cz/svitlna-emos-10w-led-cob-cerna-zelena-1433010070.html>



- [17] Adjust Solutions: EasyNET [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z:
<http://adjustsolutions.cz/easynet/>
- [18] Veselý, Z.: Etapové určení výšek bodů na betonových konstrukcích v okolí Národní technické knihovny. Bakalářská práce. FSv ČVUT, Praha, 2018.
- [19] IngGeo: Rozbory přesnosti [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z:
http://inggeo.fsv.cvut.cz/wiki/doku.php?id=05_rozbory_presnosti:0501_rozbory_presnosti
- [20] Třasák, P.: EasyNET v3.4.3. Návod. FSv ČVUT, Praha, 2015.



SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Lokace sledované části tunelů pražského metra	11
Obr. 2: Linky pražského metra.....	12
Obr. 3: Vlaková souprava	13
Obr. 4: Tunel metra ve sledované oblasti.....	14
Obr. 5: Schéma identických a pozorovaných bodů v mezistaničním úseku	15
Obr. 6: Prostorová polární metoda	17
Obr. 7: Identický bod (vlevo) a pozorovaný body (uprostřed a vpravo).....	18
Obr. 8: Stabilizace stanoviska	18
Obr. 9: Měření v tunelu metra.....	19
Obr. 10: Hlavní měřické pomůcky.....	25
Obr. 11: Doplnkové měřické pomůcky	26
Obr. 12: Ověření přesnosti totální stanice – charakteristická vzdálenost.....	29
Obr. 13: Ověření přesnosti totální stanice – atypická vzdálenost	30
Obr. 14: Hlavní okno programu PrecisPlanner 3D	36
Obr. 15: Program PrecisPlanner 3D – mapa souřadnic.....	36
Obr. 16: Program PrecisPlanner 3D – mapa měření	37
Obr. 17: Dialogové okno pro zadávání měření a jeho přesnosti	37
Obr. 18: Dialogové okno pro hromadnou změnu přesnosti měření	38
Obr. 19: Dialogové okno pro změnu přesnosti jednoho měření	38
Obr. 20: Výpočty z kovarianční matice a určená přesnost souřadnic	39
Obr. 21: Hlavní okno programu EasyNET	45
Obr. 22: Dialogové okno nastavení vyrovnání sítě.....	46
Obr. 23: Dialogové okno nastavení protokolu	46
Obr. 24: Dialogové okno detekce měřických skupin	47
Obr. 25: Dialogové okno fixní body	47
Obr. 26: Dialogové okno apriorní směrodatné odchylky.....	48
Obr. 27: Dialogové okno vyrovnání sítě	48
Obr. 28: Dialogové okno základní informace o vyrovnání sítě	49
Obr. 29: Horizontální rozdíly konvergenčních bodů 1-5 (MI).....	66
Obr. 30: Horizontální rozdíly konvergenčních bodů 6-10 (MI).....	67
Obr. 31: Vertikální rozdíly konvergenčních bodů 1-5 (MI).....	68
Obr. 32: Vertikální rozdíly nivelačních bodů 101-110; 2407; 2419 (MI).....	69
Obr. 33: Vertikální rozdíly konvergenčních bodů 6-10 (MI).....	70
Obr. 34: Vertikální rozdíly nivelačních bodů 201-210; 2424; 2436 (MI).....	71
Obr. 35: Horizontální rozdíly konvergenčních bodů 1-5 (MII)	72



Obr. 36: Horizontální rozdíly konvergenčních bodů 6-10 (MII)	73
Obr. 37: Vertikální rozdíly konvergenčních bodů 1-5 (MII)	74
Obr. 38: Vertikální rozdíly nivelačních bodů 101-110; 2407; 2419 (MII)	75
Obr. 39: Vertikální rozdíly konvergenčních bodů 6-10 (MII)	76
Obr. 40: Vertikální rozdíly nivelačních bodů 201-210; 2424; 2436 (MII)	77
Obr. 41: Dlouhodobý vertikální trend vybraných pozorovaných bodů.....	78



SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Porovnání směrodatných odchylek v 1 skupině (Charakteristická vzdálenost).....	33
Tab. 2: Porovnání směrodatných odchylek v 1 skupině (Atypická vzdálenost)	34
Tab. 3: Apriorní přesnosti souřadnic a chybové modely pozorovaných bodů (MI)	40
Tab. 4: Apriorní přesnosti souřadnic a chybové modely pozorovaných bodů (MII)	41
Tab. 5: Datum měření etap a pojmenování surových dat.....	44
Tab. 6: Porovnání apriorních a aposteriorních směrodatných odchylek jednotkových (MI).....	53
Tab. 7: Směrodatné odchylky souřadnic pozorovaných bodů (MI).....	54
Tab. 8: Porovnání apriorních a aposteriorních směrodatných odchylek jednotkových (MI_EXP)....	56
Tab. 9: Směrodatné odchylky souřadnic pozorovaných bodů (MI_EXP)	57
Tab. 10: Porovnání apriorních a aposteriorních směrodatných odchylek jednotkových (MII) ..	58
Tab. 10: Směrodatné odchylky souřadnic pozorovaných bodů (MII).....	59
Tab. 12: Vyhodnocení horizontálních rozdílů (MI).....	62
Tab. 13: Vyhodnocení vertikálních rozdílů (MI).....	63
Tab. 14: Vyhodnocení horizontálních rozdílů (MII).....	64
Tab. 15: Vyhodnocení vertikálních rozdílů (MII).....	65



SEZNAM PŘÍLOH

ANALOGOVÉ PŘÍLOHY

Příloha 1: Seznam souřadnic (MI) – 0. etapa.....	89
Příloha 2: Seznam souřadnic (MI) – 1. etapa.....	90
Příloha 3: Seznam souřadnic (MI) – 2. etapa.....	91
Příloha 4: Seznam souřadnic (MI) – 3. etapa.....	92
Příloha 5: Seznam souřadnic (MI) – 4. etapa.....	93
Příloha 6: Seznam souřadnic (MI) – 5. etapa.....	94
Příloha 7: Seznam souřadnic (MI) – 6. etapa.....	95
Příloha 8: Seznam souřadnic (MI) – 7. etapa.....	96
Příloha 9: Seznam souřadnic (MII) – 0. etapa.....	97
Příloha 10: Seznam souřadnic (MII) – 1. etapa.....	98
Příloha 11: Seznam souřadnic (MII) – 2. etapa.....	99
Příloha 12: Seznam souřadnic (MII) – 3. etapa.....	100
Příloha 13: Seznam souřadnic (MII) – 4. etapa.....	101
Příloha 14: Seznam souřadnic (MII) – 5. etapa.....	102
Příloha 15: Seznam souřadnic (MII) – 6. etapa.....	103
Příloha 16: Seznam souřadnic (MII) – 7. etapa.....	104
Příloha 17: Grafy horizontálních rozdílů mezi nultou a danou etapou (MI).....	105
Příloha 18: Grafy vertikálních rozdílů mezi nultou a danou etapou (MI).....	112
Příloha 19: Grafy horizontálních rozdílů mezi nultou a danou etapou (MII)	126
Příloha 20: Grafy vertikálních rozdílů mezi nultou a danou etapou (MII)	133

ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY

Příloha 21: 1_Prilohy_diplomove_prace.....	CD
Příloha 21.1: Určení skutečné výběrové směr. odch. vodorovného směru (char. vzd.)	
Příloha 21.2: Určení skutečné výběrové směr. odch. zenitového úhlu (char. vzd.)	
Příloha 21.3: Určení skutečné výběrové směr. odch. šikmé délky (char. vzd.)	
Příloha 21.4: Určení skutečné výběrové směr. odch. vodorovného směru (atyp. vzd.)	
Příloha 21.5: Určení skutečné výběrové směr. odch. zenitového úhlu (atyp. vzd.)	
Příloha 21.6: Určení skutečné výběrové směr. odch. šikmé délky (atyp. vzd.)	
Příloha 21.7: Zápisník vodorovných směrů, zenitových úhlů a délek – 0. etapa	



- Příloha 21.8: Zápisník vodorovných směrů, zenitových úhlů a délek – 1. etapa
- Příloha 21.9: Zápisník vodorovných směrů, zenitových úhlů a délek – 2. etapa
- Příloha 21.10: Zápisník vodorovných směrů, zenitových úhlů a délek – 3. etapa
- Příloha 21.11: Zápisník vodorovných směrů, zenitových úhlů a délek – 4. etapa
- Příloha 21.12: Zápisník vodorovných směrů, zenitových úhlů a délek – 5. etapa
- Příloha 21.13: Zápisník vodorovných směrů, zenitových úhlů a délek – 6. etapa
- Příloha 21.14: Zápisník vodorovných směrů, zenitových úhlů a délek – 7. etapa
- Příloha 21.15: Tabulka výsledků rozborů přesnosti před měřením (MI – 1001)
- Příloha 21.16: Tabulka výsledků rozborů přesnosti před měřením (MI – 2001)
- Příloha 21.17: Tabulka výsledků rozborů přesnosti před měřením (MII – 1001)
- Příloha 21.18: Tabulka výsledků rozborů přesnosti před měřením (MII – 2001)
- Příloha 21.19: Redukované měření o centrační změnu (MI) – 0. etapa
- Příloha 21.20: Redukované měření o centrační změnu (MI) – 1. etapa
- Příloha 21.21: Redukované měření o centrační změnu (MI) – 2. etapa
- Příloha 21.22: Redukované měření o centrační změnu (MI) – 3. etapa
- Příloha 21.23: Redukované měření o centrační změnu (MI) – 4. etapa
- Příloha 21.24: Redukované měření o centrační změnu (MI) – 5. etapa
- Příloha 21.25: Redukované měření o centrační změnu (MI) – 6. etapa
- Příloha 21.26: Redukované měření o centrační změnu (MI) – 7. etapa
- Příloha 21.27: Horizontální rozdíly mezi danou a nultou etapou (MI)
- Příloha 21.28: Vertikální rozdíly mezi danou a nultou etapou (MI)
- Příloha 21.29: Horizontální rozdíly mezi danou a nultou etapou (MII)
- Příloha 21.30: Vertikální rozdíly mezi danou a nultou etapou (MII)
- Příloha 21.31: Horizontální rozdíly mezi dvěma po sobě jdoucími etapami (MI)
- Příloha 21.32: Vertikální rozdíly mezi dvěma po sobě jdoucími etapami (MI)
- Příloha 21.33: Horizontální rozdíly mezi dvěma po sobě jdoucími etapami (MII)
- Příloha 21.34: Vertikální rozdíly mezi dvěma po sobě jdoucími etapami (MII)
- Příloha 21.35: Meziroční horizontální rozdíly (MI)



Příloha 21.36: Meziroční vertikální rozdíly (MI)	
Příloha 21.37: Meziroční horizontální rozdíly (MII)	
Příloha 21.38: Meziroční vertikální rozdíly (MII)	
Příloha 21.39: Posouzení horizontálních rozdílů (MI)	
Příloha 21.40: Posouzení vertikálních rozdílů (MI)	
Příloha 21.41: Posouzení horizontálních rozdílů (MII)	
Příloha 21.42: Posouzení vertikálních rozdílů (MII)	
Příloha 21.43: Přehledka pozorovaných bodů	
Příloha 21.44: Fotodokumentace pozorovaných bodů	
Příloha 22: 2_Vstupni_data.....	CD
Příloha 23: 3_Zapisniky.....	CD
Příloha 24: 4_Vypocetni_soubory.....	CD
Příloha 25: 5_Vystupni_soubory.....	CD
Příloha 26: 6_Fotodokumentace.....	CD



Příloha 1: Seznam souřadnic (MI) – 0. etapa

SEZNAM SOUŘADNIC A VÝŠEK (0. ETAPA - METODA I)

Souřadnicový systém: vlastní

Výškový systém: vlastní

Číslo bodu	Y	X	Z	Poznámka
xxx	[m]	[m]	[m]	xxx
1	1 200,9212	5 023,1512	7,9534	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
2	1 200,8307	5 023,2124	10,5070	
3	1 198,7312	5 023,2884	11,6157	
4	1 196,2271	5 023,7646	9,7832	
5	1 196,3158	5 023,7245	8,2109	
6	1 154,1332	5 017,2823	8,5565	
7	1 154,3795	5 017,2368	10,9685	
8	1 156,6640	5 017,1988	12,0437	
9	1 158,8621	5 016,7413	10,3181	
10	1 158,7077	5 016,8342	8,4350	
101	1 199,8600	4 974,3923	5,3195	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
102	1 200,0640	4 983,7596	5,6800	
103	1 199,9135	4 994,8387	6,1087	
104	1 199,8960	5 004,1476	6,4738	
105	1 200,0005	5 014,0479	6,8567	
106	1 200,0003	5 026,4805	7,3186	
107	1 200,4052	5 039,0273	7,7954	
108	1 201,0225	5 052,6022	8,3011	
109	1 202,1677	5 065,7008	8,8078	
110	1 203,5916	5 078,3799	9,2831	
201	1 155,3689	4 989,2703	6,6212	
202	1 155,4150	4 997,0543	6,9202	
203	1 155,0193	5 004,4826	7,2350	
204	1 155,0007	5 014,4746	7,6405	
205	1 154,9980	5 024,5120	8,0602	
206	1 155,3714	5 037,1056	8,5625	
207	1 155,7979	5 051,4126	9,1821	
208	1 156,4365	5 060,0854	9,5140	
209	1 157,1901	5 069,5951	9,9036	
210	1 158,6285	5 079,7584	10,2801	
1002	1 196,3249	4 954,0642	5,4789	Druh bodu: identický Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
1003	1 203,9723	5 101,6437	11,4253	
1004	1 201,5841	5 041,9748	9,1446	
1005	1 201,4531	5 039,3610	9,0499	
2002	1 154,6152	4 973,2990	7,3080	
2003	1 159,9071	5 095,4255	12,2514	
2004	1 154,1752	5 034,6477	9,7804	
2005	1 154,2817	5 038,4211	9,9466	
2407	1 200,0858	4 963,2095	4,9308	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
2419	1 205,8965	5 091,3535	9,8661	
2424	1 155,4779	4 979,2874	6,2219	
2436	1 159,9484	5 090,6107	10,7428	



Příloha 2: Seznam souřadnic (MI) – 1. etapa

SEZNAM SOUŘADNIC A VÝŠEK (1. ETAPA - METODA I)

Souřadnicový systém: vlastní

Výškový systém: vlastní

Číslo bodu	Y	X	Z	Poznámka
xxx	[m]	[m]	[m]	xxx
1	1 200,9215	5 023,1513	7,9543	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
2	1 200,8312	5 023,2124	10,5085	
3	1 198,7318	5 023,2885	11,6181	
4	1 196,2280	5 023,7646	9,7854	
5	1 196,3166	5 023,7245	8,2129	
6	1 154,1339	5 017,2820	8,5581	
7	1 154,3801	5 017,2369	10,9706	
8	1 156,6646	5 017,1993	12,0463	
9	1 158,8621	5 016,7413	10,3195	
10	1 158,7077	5 016,8340	8,4361	
101	1 199,8611	4 974,3920	5,3190	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
102	1 200,0641	4 983,7590	5,6794	
103	1 199,9150	4 994,8408	6,1087	
104	1 199,8966	5 004,1476	6,4736	
105	1 200,0012	5 014,0474	6,8570	
106	1 200,0012	5 026,4808	7,3195	
107	1 200,4063	5 039,0223	7,7966	
108	1 201,0234	5 052,6017	8,3004	
109	1 202,1678	5 065,7004	8,8068	
110	1 203,5915	5 078,3801	9,2820	
201	1 155,3687	4 989,2727	6,6196	
202	1 155,4141	4 997,0556	6,9189	
203	1 155,0175	5 004,4805	7,2346	
204	1 155,0002	5 014,4756	7,6418	
205	1 154,9968	5 024,5129	8,0618	
206	1 155,3717	5 037,1063	8,5627	
207	1 155,7965	5 051,4103	9,1797	
208	1 156,4369	5 060,0858	9,5116	
209	1 157,1919	5 069,5933	9,9009	
210	1 158,6289	5 079,7581	10,2773	
1002	1 196,3249	4 954,0642	5,4789	Druh bodu: identický Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
1003	1 203,9723	5 101,6437	11,4253	
1004	1 201,5841	5 041,9748	9,1446	
1005	1 201,4531	5 039,3610	9,0499	
2002	1 154,6152	4 973,2990	7,3080	
2003	1 159,9071	5 095,4255	12,2514	
2004	1 154,1752	5 034,6477	9,7804	
2005	1 154,2817	5 038,4211	9,9466	
2407	1 200,0876	4 963,2101	4,9299	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
2419	1 205,8969	5 091,3539	9,8652	
2424	1 155,4764	4 979,2901	6,2198	
2436	1 159,9497	5 090,6099	10,7403	



Příloha 3: Seznam souřadnic (MI) – 2. etapa

SEZNAM SOUŘADNIC A VÝŠEK (2. ETAPA - METODA I)

Souřadnicový systém: vlastní

Výškový systém: vlastní

Číslo bodu	Y	X	Z	Poznámka
xxx	[m]	[m]	[m]	xxx
1	1 200,9214	5 023,1507	7,9542	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
2	1 200,8310	5 023,2126	10,5085	
3	1 198,7318	5 023,2891	11,6179	
4	1 196,2280	5 023,7645	9,7855	
5	1 196,3165	5 023,7239	8,2129	
6	1 154,1338	5 017,2814	8,5581	
7	1 154,3803	5 017,2370	10,9705	
8	1 156,6646	5 017,1998	12,0460	
9	1 158,8620	5 016,7414	10,3193	
10	1 158,7076	5 016,8336	8,4360	
101	1 199,8608	4 974,3923	5,3186	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
102	1 200,0651	4 983,7607	5,6791	
103	1 199,9146	4 994,8397	6,1082	
104	1 199,8968	5 004,1488	6,4735	
105	1 200,0008	5 014,0479	6,8574	
106	1 200,0010	5 026,4813	7,3197	
107	1 200,4017	5 039,0251	7,7965	
108	1 201,0226	5 052,6010	8,3005	
109	1 202,1667	5 065,6988	8,8073	
110	1 203,5914	5 078,3797	9,2823	
201	1 155,3664	4 989,2724	6,6194	
202	1 155,4132	4 997,0557	6,9189	
203	1 155,0168	5 004,4808	7,2350	
204	1 154,9996	5 014,4762	7,6421	
205	1 154,9958	5 024,5149	8,0624	
206	1 155,3712	5 037,1053	8,5625	
207	1 155,7993	5 051,4100	9,1800	
208	1 156,4368	5 060,0848	9,5118	
209	1 157,1930	5 069,5951	9,9015	
210	1 158,6294	5 079,7576	10,2775	
1002	1 196,3249	4 954,0642	5,4789	Druh bodu: identický Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
1003	1 203,9723	5 101,6437	11,4253	
1004	1 201,5841	5 041,9748	9,1446	
1005	1 201,4531	5 039,3610	9,0499	
2002	1 154,6152	4 973,2990	7,3080	
2003	1 159,9071	5 095,4255	12,2514	
2004	1 154,1752	5 034,6477	9,7804	
2005	1 154,2817	5 038,4211	9,9466	
2407	1 200,0873	4 963,2109	4,9296	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
2419	1 205,8942	5 091,3540	9,8656	
2424	1 155,4748	4 979,2916	6,2198	
2436	1 159,9502	5 090,6103	10,7402	



Příloha 4: Seznam souřadnic (MI) – 3. etapa

SEZNAM SOUŘADNIC A VÝŠEK (3. ETAPA - METODA I)

Souřadnicový systém: vlastní

Výškový systém: vlastní

Číslo bodu	Y	X	Z	Poznámka
xxx	[m]	[m]	[m]	xxx
1	1 200,9214	5 023,1507	7,9544	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
2	1 200,8311	5 023,2127	10,5085	
3	1 198,7320	5 023,2891	11,6179	
4	1 196,2279	5 023,7645	9,7854	
5	1 196,3167	5 023,7239	8,2127	
6	1 154,1339	5 017,2814	8,5579	
7	1 154,3805	5 017,2370	10,9705	
8	1 156,6650	5 017,1998	12,0460	
9	1 158,8622	5 016,7415	10,3195	
10	1 158,7078	5 016,8336	8,4360	
101	1 199,8608	4 974,3924	5,3183	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
102	1 200,0653	4 983,7613	5,6789	
103	1 199,9149	4 994,8391	6,1086	
104	1 199,8965	5 004,1493	6,4732	
105	1 200,0009	5 014,0485	6,8574	
106	1 200,0009	5 026,4809	7,3195	
107	1 200,4017	5 039,0250	7,7964	
108	1 201,0223	5 052,6008	8,3007	
109	1 202,1665	5 065,6982	8,8074	
110	1 203,5909	5 078,3799	9,2825	
201	1 155,3667	4 989,2728	6,6194	
202	1 155,4138	4 997,0554	6,9188	
203	1 155,0172	5 004,4803	7,2351	
204	1 154,9996	5 014,4763	7,6419	
205	1 154,9958	5 024,5146	8,0623	
206	1 155,3707	5 037,1054	8,5622	
207	1 155,7993	5 051,4105	9,1799	
208	1 156,4367	5 060,0842	9,5118	
209	1 157,1928	5 069,5943	9,9014	
210	1 158,6293	5 079,7576	10,2775	
1002	1 196,3249	4 954,0642	5,4789	Druh bodu: identický Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
1003	1 203,9723	5 101,6437	11,4253	
1004	1 201,5841	5 041,9748	9,1446	
1005	1 201,4531	5 039,3610	9,0499	
2002	1 154,6152	4 973,2990	7,3080	
2003	1 159,9071	5 095,4255	12,2514	
2004	1 154,1752	5 034,6477	9,7804	
2005	1 154,2817	5 038,4211	9,9466	
2407	1 200,0885	4 963,2107	4,9300	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
2419	1 205,8938	5 091,3543	9,8659	
2424	1 155,4751	4 979,2921	6,2201	
2436	1 159,9499	5 090,6107	10,7407	



Příloha 5: Seznam souřadnic (MI) – 4. etapa

SEZNAM SOUŘADNIC A VÝŠEK (4. ETAPA - METODA I)

Souřadnicový systém: vlastní				Výškový systém: vlastní
Číslo bodu	Y	X	Z	Poznámka
xxx	[m]	[m]	[m]	xxx
1	1 200,9212	5 023,1506	7,9540	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
2	1 200,8304	5 023,2126	10,5081	
3	1 198,7311	5 023,2892	11,6176	
4	1 196,2273	5 023,7646	9,7850	
5	1 196,3159	5 023,7239	8,2126	
6	1 154,1338	5 017,2816	8,5578	
7	1 154,3802	5 017,2372	10,9701	
8	1 156,6647	5 017,1999	12,0457	
9	1 158,8620	5 016,7414	10,3190	
10	1 158,7076	5 016,8335	8,4358	
101	1 199,8577	4 974,3918	5,3187	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
102	1 200,0619	4 983,7597	5,6793	
103	1 199,9122	4 994,8383	6,1080	
104	1 199,8952	5 004,1471	6,4732	
105	1 199,9980	5 014,0475	6,8566	
106	1 200,0008	5 026,4801	7,3192	
107	1 200,4072	5 039,0232	7,7966	
108	1 201,0231	5 052,6036	8,3004	
109	1 202,1692	5 065,7015	8,8067	
110	1 203,5934	5 078,3808	9,2822	
201	1 155,3672	4 989,2714	6,6191	
202	1 155,4139	4 997,0554	6,9185	
203	1 155,0176	5 004,4803	7,2341	
204	1 155,0003	5 014,4750	7,6413	
205	1 154,9962	5 024,5120	8,0618	
206	1 155,3706	5 037,1061	8,5624	
207	1 155,7988	5 051,4146	9,1799	
208	1 156,4366	5 060,0861	9,5117	
209	1 157,1919	5 069,5933	9,9013	
210	1 158,6295	5 079,7589	10,2775	
1002	1 196,3249	4 954,0642	5,4789	Druh bodu: identický Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
1003	1 203,9723	5 101,6437	11,4253	
1004	1 201,5841	5 041,9748	9,1446	
1005	1 201,4531	5 039,3610	9,0499	
2002	1 154,6152	4 973,2990	7,3080	
2003	1 159,9071	5 095,4255	12,2514	
2004	1 154,1752	5 034,6477	9,7804	
2005	1 154,2817	5 038,4211	9,9466	
2407	1 200,0837	4 963,2091	4,9300	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
2419	1 205,8999	5 091,3541	9,8654	
2424	1 155,4715	4 979,2884	6,2194	
2436	1 159,9506	5 090,6100	10,7404	



Příloha 6: Seznam souřadnic (MI) – 5. etapa

SEZNAM SOUŘADNIC A VÝŠEK (5. ETAPA - METODA I)

Souřadnicový systém: vlastní

Výškový systém: vlastní

Číslo bodu	Y	X	Z	Poznámka
xxx	[m]	[m]	[m]	xxx
1	1 200,9212	5 023,1517	7,9541	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
2	1 200,8309	5 023,2121	10,5080	
3	1 198,7316	5 023,2879	11,6177	
4	1 196,2278	5 023,7645	9,7849	
5	1 196,3165	5 023,7248	8,2125	
6	1 154,1339	5 017,2825	8,5577	
7	1 154,3802	5 017,2363	10,9702	
8	1 156,6646	5 017,1983	12,0457	
9	1 158,8621	5 016,7412	10,3190	
10	1 158,7076	5 016,8347	8,4359	
101	1 199,8599	4 974,3918	5,3191	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
102	1 200,0645	4 983,7592	5,6794	
103	1 199,9139	4 994,8388	6,1083	
104	1 199,8962	5 004,1476	6,4733	
105	1 200,0005	5 014,0458	6,8569	
106	1 200,0008	5 026,4807	7,3195	
107	1 200,4055	5 039,0227	7,7971	
108	1 201,0230	5 052,6023	8,3007	
109	1 202,1677	5 065,6985	8,8073	
110	1 203,5920	5 078,3805	9,2823	
201	1 155,3673	4 989,2717	6,6192	
202	1 155,4137	4 997,0556	6,9184	
203	1 155,0190	5 004,4801	7,2343	
204	1 155,0001	5 014,4757	7,6413	
205	1 154,9972	5 024,5113	8,0615	
206	1 155,3710	5 037,1061	8,5626	
207	1 155,7969	5 051,4125	9,1803	
208	1 156,4387	5 060,0886	9,5124	
209	1 157,1927	5 069,5963	9,9018	
210	1 158,6296	5 079,7585	10,2777	
1002	1 196,3249	4 954,0642	5,4789	Druh bodu: identický Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
1003	1 203,9723	5 101,6437	11,4253	
1004	1 201,5841	5 041,9748	9,1446	
1005	1 201,4531	5 039,3610	9,0499	
2002	1 154,6152	4 973,2990	7,3080	
2003	1 159,9071	5 095,4255	12,2514	
2004	1 154,1752	5 034,6477	9,7804	
2005	1 154,2817	5 038,4211	9,9466	
2407	1 200,0865	4 963,2098	4,9302	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
2419	1 205,8981	5 091,3534	9,8656	
2424	1 155,4760	4 979,2865	6,2197	
2436	1 159,9499	5 090,6108	10,7404	



Příloha 7: Seznam souřadnic (MI) – 6. etapa

SEZNAM SOUŘADNIC A VÝŠEK (6. ETAPA - METODA I)

Souřadnicový systém: vlastní

Výškový systém: vlastní

Číslo bodu	Y	X	Z	Poznámka
xxx	[m]	[m]	[m]	xxx
1	1 200,9214	5 023,1510	7,9539	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
2	1 200,8307	5 023,2122	10,5078	
3	1 198,7313	5 023,2885	11,6175	
4	1 196,2278	5 023,7646	9,7848	
5	1 196,3163	5 023,7245	8,2122	
6	1 154,1337	5 017,2820	8,5575	
7	1 154,3801	5 017,2370	10,9699	
8	1 156,6647	5 017,1993	12,0457	
9	1 158,8621	5 016,7413	10,3190	
10	1 158,7078	5 016,8339	8,4357	
101	1 199,8604	4 974,3930	5,3187	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
102	1 200,0649	4 983,7600	5,6792	
103	1 199,9137	4 994,8393	6,1080	
104	1 199,8962	5 004,1479	6,4732	
105	1 200,0001	5 014,0466	6,8569	
106	1 200,0010	5 026,4812	7,3194	
107	1 200,4059	5 039,0242	7,7966	
108	1 201,0230	5 052,6014	8,3012	
109	1 202,1683	5 065,6996	8,8078	
110	1 203,5919	5 078,3802	9,2828	
201	1 155,3664	4 989,2724	6,6194	
202	1 155,4135	4 997,0559	6,9188	
203	1 155,0173	5 004,4810	7,2345	
204	1 154,9996	5 014,4761	7,6414	
205	1 154,9954	5 024,5111	8,0621	
206	1 155,3710	5 037,1058	8,5625	
207	1 155,8007	5 051,4122	9,1808	
208	1 156,4375	5 060,0857	9,5127	
209	1 157,1931	5 069,5957	9,9024	
210	1 158,6304	5 079,7582	10,2783	
1002	1 196,3249	4 954,0642	5,4789	Druh bodu: identický Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
1003	1 203,9723	5 101,6437	11,4253	
1004	1 201,5841	5 041,9748	9,1446	
1005	1 201,4531	5 039,3610	9,0499	
2002	1 154,6152	4 973,2990	7,3080	
2003	1 159,9071	5 095,4255	12,2514	
2004	1 154,1752	5 034,6477	9,7804	
2005	1 154,2817	5 038,4211	9,9466	
2407	1 200,0865	4 963,2101	4,9300	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
2419	1 205,8977	5 091,3538	9,8661	
2424	1 155,4765	4 979,2890	6,2201	
2436	1 159,9510	5 090,6103	10,7411	



Příloha 8: Seznam souřadnic (MI) – 7. etapa

SEZNAM SOUŘADNIC A VÝŠEK (7. ETAPA - METODA I)

Souřadnicový systém: vlastní

Výškový systém: vlastní

Číslo bodu	Y	X	Z	Poznámka
xxx	[m]	[m]	[m]	xxx
1	1 200,9217	5 023,1504	7,9535	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
2	1 200,8308	5 023,2131	10,5075	
3	1 198,7316	5 023,2899	11,6166	
4	1 196,2279	5 023,7646	9,7842	
5	1 196,3164	5 023,7235	8,2118	
6	1 154,1337	5 017,2816	8,5567	
7	1 154,3802	5 017,2369	10,9691	
8	1 156,6647	5 017,1995	12,0448	
9	1 158,8622	5 016,7414	10,3183	
10	1 158,7076	5 016,8337	8,4351	
101	1 199,8608	4 974,3921	5,3191	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
102	1 200,0653	4 983,7593	5,6794	
103	1 199,9144	4 994,8390	6,1081	
104	1 199,8962	5 004,1476	6,4730	
105	1 199,9981	5 014,0464	6,8571	
106	1 200,0005	5 026,4808	7,3186	
107	1 200,4073	5 039,0252	7,7963	
108	1 201,0227	5 052,6017	8,3007	
109	1 202,1661	5 065,6995	8,8076	
110	1 203,5920	5 078,3800	9,2828	
201	1 155,3662	4 989,2721	6,6192	
202	1 155,4133	4 997,0557	6,9180	
203	1 155,0162	5 004,4802	7,2333	
204	1 154,9998	5 014,4757	7,6402	
205	1 154,9958	5 024,5109	8,0608	
206	1 155,3709	5 037,1066	8,5625	
207	1 155,7993	5 051,4132	9,1810	
208	1 156,4375	5 060,0859	9,5130	
209	1 157,1908	5 069,5975	9,9020	
210	1 158,6304	5 079,7591	10,2787	
1002	1 196,3249	4 954,0642	5,4789	Druh bodu: identický Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
1003	1 203,9723	5 101,6437	11,4253	
1004	1 201,5841	5 041,9748	9,1446	
1005	1 201,4531	5 039,3610	9,0499	
2002	1 154,6152	4 973,2990	7,3080	
2003	1 159,9071	5 095,4255	12,2514	
2004	1 154,1752	5 034,6477	9,7804	
2005	1 154,2817	5 038,4211	9,9466	
2407	1 200,0874	4 963,2089	4,9303	Druh bodu: pozorovaný
2419	1 205,8974	5 091,3544	9,8663	Místo stabil.: počva tunelu
2424	1 155,4758	4 979,2881	6,2197	Typ stabil.: měřický hřeb
2436	1 159,9514	5 090,6112	10,7415	



Příloha 9: Seznam souřadnic (MII) – 0. etapa

SEZNAM SOUŘADNIC A VÝŠEK (0. ETAPA - METODA II)

Souřadnicový systém: vlastní

Výškový systém: vlastní

Číslo bodu	Y	X	Z	Poznámka
xxx	[m]	[m]	[m]	xxx
1	1 200,9212	5 023,1512	7,9534	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
2	1 200,8307	5 023,2124	10,5070	
3	1 198,7312	5 023,2884	11,6157	
4	1 196,2271	5 023,7646	9,7832	
5	1 196,3158	5 023,7245	8,2109	
6	1 154,1331	5 017,2823	8,5565	
7	1 154,3795	5 017,2368	10,9685	
8	1 156,6640	5 017,1988	12,0437	
9	1 158,8621	5 016,7413	10,3181	
10	1 158,7077	5 016,8342	8,4350	
101	1 199,8600	4 974,3923	5,3195	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
102	1 200,0640	4 983,7596	5,6800	
103	1 199,9135	4 994,8387	6,1087	
104	1 199,8960	5 004,1476	6,4738	
105	1 200,0005	5 014,0479	6,8567	
106	1 200,0003	5 026,4805	7,3186	
107	1 200,4052	5 039,0273	7,7954	
108	1 201,0225	5 052,6022	8,3011	
109	1 202,1677	5 065,7008	8,8078	
110	1 203,5916	5 078,3799	9,2831	
201	1 155,3689	4 989,2703	6,6212	
202	1 155,4150	4 997,0543	6,9202	
203	1 155,0193	5 004,4826	7,2350	
204	1 155,0007	5 014,4746	7,6405	
205	1 154,9980	5 024,5120	8,0602	
206	1 155,3714	5 037,1056	8,5625	
207	1 155,7979	5 051,4126	9,1821	
208	1 156,4365	5 060,0854	9,5140	
209	1 157,1901	5 069,5951	9,9036	
210	1 158,6285	5 079,7584	10,2801	
1002	1 196,3249	4 954,0642	5,4789	Druh bodu: identický Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
1003	1 203,9723	5 101,6437	11,4253	
1004	1 201,5841	5 041,9748	9,1446	
1005	1 201,4531	5 039,3610	9,0499	
2002	1 154,6152	4 973,2990	7,3080	
2003	1 159,9071	5 095,4255	12,2514	
2004	1 154,1752	5 034,6477	9,7804	
2005	1 154,2817	5 038,4211	9,9466	
2407	1 200,0858	4 963,2095	4,9308	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
2419	1 205,8965	5 091,3535	9,8661	
2424	1 155,4779	4 979,2874	6,2219	
2436	1 159,9484	5 090,6107	10,7428	



Příloha 10: Seznam souřadnic (MII) – 1. etapa

SEZNAM SOUŘADNIC A VÝŠEK (1. ETAPA - METODA II)

Souřadnicový systém: vlastní

Výškový systém: vlastní

Číslo bodu	Y	X	Z	Poznámka
xxx	[m]	[m]	[m]	xxx
1	1 200,9216	5 023,1508	7,9542	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
2	1 200,8312	5 023,2123	10,5085	
3	1 198,7318	5 023,2884	11,6181	
4	1 196,2283	5 023,7664	9,7854	
5	1 196,3166	5 023,7236	8,2129	
6	1 154,1340	5 017,2826	8,5582	
7	1 154,3801	5 017,2369	10,9706	
8	1 156,6645	5 017,1993	12,0463	
9	1 158,8620	5 016,7415	10,3195	
10	1 158,7076	5 016,8343	8,4362	
101	1 199,8612	4 974,3920	5,3190	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
102	1 200,0642	4 983,7590	5,6794	
103	1 199,9151	4 994,8408	6,1087	
104	1 199,8967	5 004,1476	6,4737	
105	1 200,0012	5 014,0474	6,8570	
106	1 200,0012	5 026,4808	7,3195	
107	1 200,4063	5 039,0223	7,7966	
108	1 201,0234	5 052,6017	8,3004	
109	1 202,1677	5 065,7004	8,8068	
110	1 203,5914	5 078,3801	9,2820	
201	1 155,3686	4 989,2727	6,6196	
202	1 155,4140	4 997,0556	6,9189	
203	1 155,0174	5 004,4805	7,2346	
204	1 155,0001	5 014,4756	7,6418	
205	1 154,9968	5 024,5128	8,0618	
206	1 155,3716	5 037,1062	8,5628	
207	1 155,7965	5 051,4103	9,1797	
208	1 156,4369	5 060,0858	9,5116	
209	1 157,1919	5 069,5933	9,9009	
210	1 158,6290	5 079,7581	10,2773	
1002	1 196,3249	4 954,0642	5,4789	Druh bodu: identický Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
1003	1 203,9723	5 101,6437	11,4253	
1004	1 201,5841	5 041,9748	9,1446	
1005	1 201,4531	5 039,3610	9,0499	
2002	1 154,6152	4 973,2990	7,3080	
2003	1 159,9071	5 095,4255	12,2514	
2004	1 154,1752	5 034,6477	9,7804	
2005	1 154,2817	5 038,4211	9,9466	
2407	1 200,0877	4 963,2101	4,9299	Druh bodu: pozorovaný
2419	1 205,8968	5 091,3539	9,8653	Místo stabil.: počva tunelu
2424	1 155,4763	4 979,2901	6,2198	Typ stabil.: měřický hřeb
2436	1 159,9497	5 090,6099	10,7403	



Příloha 11: Seznam souřadnic (MII) – 2. etapa

SEZNAM SOUŘADNIC A VÝŠEK (2. ETAPA - METODA II)

Souřadnicový systém: vlastní

Výškový systém: vlastní

Číslo bodu	Y	X	Z	Poznámka
xxx	[m]	[m]	[m]	xxx
1	1 200,9214	5 023,1514	7,9543	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
2	1 200,8311	5 023,2124	10,5085	
3	1 198,7319	5 023,2890	11,6180	
4	1 196,2281	5 023,7658	9,7855	
5	1 196,3166	5 023,7243	8,2129	
6	1 154,1342	5 017,2837	8,5582	
7	1 154,3803	5 017,2375	10,9705	
8	1 156,6645	5 017,1993	12,0461	
9	1 158,8619	5 016,7415	10,3193	
10	1 158,7074	5 016,8347	8,4361	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
101	1 199,8610	4 974,3923	5,3186	
102	1 200,0652	4 983,7606	5,6791	
103	1 199,9147	4 994,8397	6,1083	
104	1 199,8969	5 004,1488	6,4735	
105	1 200,0008	5 014,0479	6,8575	
106	1 200,0011	5 026,4813	7,3197	
107	1 200,4017	5 039,0251	7,7965	
108	1 201,0226	5 052,6010	8,3005	
109	1 202,1667	5 065,6988	8,8073	
110	1 203,5914	5 078,3797	9,2823	
201	1 155,3662	4 989,2724	6,6194	
202	1 155,4131	4 997,0557	6,9189	
203	1 155,0167	5 004,4807	7,2350	
204	1 154,9995	5 014,4762	7,6421	
205	1 154,9957	5 024,5149	8,0624	
206	1 155,3711	5 037,1053	8,5624	
207	1 155,7992	5 051,4100	9,1800	
208	1 156,4368	5 060,0848	9,5118	
209	1 157,1930	5 069,5951	9,9015	
210	1 158,6294	5 079,7576	10,2775	
1002	1 196,3249	4 954,0642	5,4789	Druh bodu: identický Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
1003	1 203,9723	5 101,6437	11,4253	
1004	1 201,5841	5 041,9748	9,1446	
1005	1 201,4531	5 039,3610	9,0499	
2002	1 154,6152	4 973,2990	7,3080	
2003	1 159,9071	5 095,4255	12,2514	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
2004	1 154,1752	5 034,6477	9,7804	
2005	1 154,2817	5 038,4211	9,9466	
2407	1 200,0874	4 963,2109	4,9296	
2419	1 205,8941	5 091,3540	9,8656	
2424	1 155,4746	4 979,2916	6,2198	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
2436	1 159,9502	5 090,6103	10,7402	



Příloha 12: Seznam souřadnic (MII) – 3. etapa

SEZNAM SOUŘADNIC A VÝŠEK (3. ETAPA - METODA II)

Souřadnicový systém: vlastní

Výškový systém: vlastní

Číslo bodu	Y	X	Z	Poznámka
xxx	[m]	[m]	[m]	xxx
1	1 200,9214	5 023,1511	7,9544	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
2	1 200,8312	5 023,2123	10,5085	
3	1 198,7321	5 023,2887	11,6179	
4	1 196,2280	5 023,7654	9,7854	
5	1 196,3167	5 023,7239	8,2127	
6	1 154,1343	5 017,2840	8,5585	
7	1 154,3806	5 017,2381	10,9709	
8	1 156,6648	5 017,1992	12,0464	
9	1 158,8621	5 016,7422	10,3199	
10	1 158,7076	5 016,8345	8,4365	
101	1 199,8610	4 974,3924	5,3183	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
102	1 200,0654	4 983,7613	5,6789	
103	1 199,9150	4 994,8391	6,1086	
104	1 199,8966	5 004,1493	6,4732	
105	1 200,0010	5 014,0484	6,8574	
106	1 200,0010	5 026,4809	7,3195	
107	1 200,4018	5 039,0249	7,7964	
108	1 201,0223	5 052,6008	8,3007	
109	1 202,1665	5 065,6982	8,8074	
110	1 203,5909	5 078,3799	9,2825	
201	1 155,3666	4 989,2728	6,6198	
202	1 155,4137	4 997,0553	6,9192	
203	1 155,0171	5 004,4803	7,2355	
204	1 154,9995	5 014,4762	7,6423	
205	1 154,9957	5 024,5145	8,0627	
206	1 155,3707	5 037,1054	8,5627	
207	1 155,7993	5 051,4105	9,1803	
208	1 156,4367	5 060,0842	9,5122	
209	1 157,1928	5 069,5943	9,9018	
210	1 158,6293	5 079,7576	10,2779	
1002	1 196,3249	4 954,0642	5,4789	Druh bodu: identický Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
1003	1 203,9723	5 101,6437	11,4253	
1004	1 201,5841	5 041,9748	9,1446	
1005	1 201,4531	5 039,3610	9,0499	
2002	1 154,6152	4 973,2990	7,3080	
2003	1 159,9071	5 095,4255	12,2514	
2004	1 154,1752	5 034,6477	9,7804	
2005	1 154,2817	5 038,4211	9,9466	
2407	1 200,0887	4 963,2107	4,9300	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
2419	1 205,8937	5 091,3543	9,8659	
2424	1 155,4750	4 979,2921	6,2205	
2436	1 159,9500	5 090,6107	10,7411	



Příloha 13: Seznam souřadnic (MII) – 4. etapa

SEZNAM SOUŘADNIC A VÝŠEK (4. ETAPA - METODA II)

Souřadnicový systém: vlastní

Výškový systém: vlastní

Číslo bodu	Y	X	Z	Poznámka
xxx	[m]	[m]	[m]	xxx
1	1 200,9210	5 023,1510	7,9541	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
2	1 200,8305	5 023,2117	10,5082	
3	1 198,7311	5 023,2884	11,6178	
4	1 196,2275	5 023,7677	9,7850	
5	1 196,3158	5 023,7240	8,2127	
6	1 154,1340	5 017,2826	8,5579	
7	1 154,3801	5 017,2372	10,9701	
8	1 156,6646	5 017,1997	12,0457	
9	1 158,8620	5 016,7415	10,3190	
10	1 158,7075	5 016,8345	8,4359	
101	1 199,8577	4 974,3918	5,3188	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
102	1 200,0619	4 983,7597	5,6793	
103	1 199,9122	4 994,8384	6,1080	
104	1 199,8952	5 004,1471	6,4732	
105	1 199,9979	5 014,0475	6,8567	
106	1 200,0007	5 026,4801	7,3192	
107	1 200,4071	5 039,0233	7,7966	
108	1 201,0230	5 052,6036	8,3004	
109	1 202,1691	5 065,7015	8,8068	
110	1 203,5933	5 078,3808	9,2822	
201	1 155,3671	4 989,2714	6,6192	
202	1 155,4138	4 997,0553	6,9185	
203	1 155,0176	5 004,4803	7,2341	
204	1 155,0002	5 014,4750	7,6413	
205	1 154,9962	5 024,5120	8,0618	
206	1 155,3706	5 037,1061	8,5624	
207	1 155,7988	5 051,4146	9,1799	
208	1 156,4366	5 060,0861	9,5117	
209	1 157,1920	5 069,5933	9,9013	
210	1 158,6296	5 079,7589	10,2775	
1002	1 196,3249	4 954,0642	5,4789	Druh bodu: identický Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
1003	1 203,9723	5 101,6437	11,4253	
1004	1 201,5841	5 041,9748	9,1446	
1005	1 201,4531	5 039,3610	9,0499	
2002	1 154,6152	4 973,2990	7,3080	
2003	1 159,9071	5 095,4255	12,2514	
2004	1 154,1752	5 034,6477	9,7804	
2005	1 154,2817	5 038,4211	9,9466	
2407	1 200,0837	4 963,2091	4,9300	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
2419	1 205,8998	5 091,3542	9,8654	
2424	1 155,4714	4 979,2884	6,2194	
2436	1 159,9507	5 090,6100	10,7404	



Příloha 14: Seznam souřadnic (MII) – 5. etapa

SEZNAM SOUŘADNIC A VÝŠEK (5. ETAPA - METODA II)

Souřadnicový systém: vlastní

Výškový systém: vlastní

Číslo bodu	Y	X	Z	Poznámka
xxx	[m]	[m]	[m]	xxx
1	1 200,9213	5 023,1512	7,9540	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
2	1 200,8309	5 023,2125	10,5080	
3	1 198,7316	5 023,2886	11,6176	
4	1 196,2280	5 023,7668	9,7849	
5	1 196,3166	5 023,7246	8,2125	
6	1 154,1340	5 017,2830	8,5577	
7	1 154,3804	5 017,2379	10,9701	
8	1 156,6646	5 017,1993	12,0457	
9	1 158,8621	5 016,7418	10,3190	
10	1 158,7076	5 016,8352	8,4360	
101	1 199,8600	4 974,3918	5,3191	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
102	1 200,0646	4 983,7592	5,6794	
103	1 199,9139	4 994,8388	6,1083	
104	1 199,8962	5 004,1476	6,4733	
105	1 200,0005	5 014,0458	6,8569	
106	1 200,0009	5 026,4807	7,3195	
107	1 200,4055	5 039,0227	7,7971	
108	1 201,0229	5 052,6023	8,3007	
109	1 202,1677	5 065,6985	8,8073	
110	1 203,5919	5 078,3805	9,2823	
201	1 155,3672	4 989,2717	6,6192	
202	1 155,4137	4 997,0556	6,9184	
203	1 155,0190	5 004,4800	7,2343	
204	1 155,0001	5 014,4757	7,6413	
205	1 154,9972	5 024,5112	8,0616	
206	1 155,3710	5 037,1061	8,5626	
207	1 155,7970	5 051,4124	9,1803	
208	1 156,4388	5 060,0885	9,5124	
209	1 157,1928	5 069,5963	9,9018	
210	1 158,6297	5 079,7585	10,2777	
1002	1 196,3249	4 954,0642	5,4789	Druh bodu: identický Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
1003	1 203,9723	5 101,6437	11,4253	
1004	1 201,5841	5 041,9748	9,1446	
1005	1 201,4531	5 039,3610	9,0499	
2002	1 154,6152	4 973,2990	7,3080	
2003	1 159,9071	5 095,4255	12,2514	
2004	1 154,1752	5 034,6477	9,7804	
2005	1 154,2817	5 038,4211	9,9466	
2407	1 200,0866	4 963,2097	4,9302	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
2419	1 205,8980	5 091,3534	9,8656	
2424	1 155,4759	4 979,2865	6,2197	
2436	1 159,9501	5 090,6107	10,7404	



Příloha 15: Seznam souřadnic (MII) – 6. etapa

SEZNAM SOUŘADNIC A VÝŠEK (6. ETAPA - METODA II)

Souřadnicový systém: vlastní

Výškový systém: vlastní

Číslo bodu	Y	X	Z	Poznámka
xxx	[m]	[m]	[m]	xxx
1	1 200,9214	5 023,1513	7,9539	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
2	1 200,8307	5 023,2121	10,5078	
3	1 198,7313	5 023,2885	11,6175	
4	1 196,2278	5 023,7648	9,7848	
5	1 196,3163	5 023,7243	8,2122	
6	1 154,1339	5 017,2831	8,5576	
7	1 154,3801	5 017,2372	10,9699	
8	1 156,6646	5 017,1993	12,0457	
9	1 158,8620	5 016,7417	10,3190	
10	1 158,7077	5 016,8349	8,4358	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
101	1 199,8605	4 974,3930	5,3187	
102	1 200,0650	4 983,7600	5,6792	
103	1 199,9138	4 994,8393	6,1080	
104	1 199,8962	5 004,1479	6,4732	
105	1 200,0001	5 014,0466	6,8569	
106	1 200,0010	5 026,4812	7,3194	
107	1 200,4059	5 039,0242	7,7966	
108	1 201,0230	5 052,6014	8,3012	
109	1 202,1682	5 065,6996	8,8078	
110	1 203,5919	5 078,3802	9,2828	
201	1 155,3663	4 989,2724	6,6195	
202	1 155,4134	4 997,0559	6,9188	
203	1 155,0172	5 004,4810	7,2346	
204	1 154,9995	5 014,4761	7,6414	
205	1 154,9954	5 024,5111	8,0621	
206	1 155,3710	5 037,1058	8,5625	
207	1 155,8007	5 051,4122	9,1808	
208	1 156,4375	5 060,0857	9,5127	
209	1 157,1931	5 069,5957	9,9025	
210	1 158,6304	5 079,7582	10,2783	
1002	1 196,3249	4 954,0642	5,4789	Druh bodu: identický Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
1003	1 203,9723	5 101,6437	11,4253	
1004	1 201,5841	5 041,9748	9,1446	
1005	1 201,4531	5 039,3610	9,0499	
2002	1 154,6152	4 973,2990	7,3080	
2003	1 159,9071	5 095,4255	12,2514	
2004	1 154,1752	5 034,6477	9,7804	
2005	1 154,2817	5 038,4211	9,9466	
2407	1 200,0866	4 963,2101	4,9300	Druh bodu: pozorovaný
2419	1 205,8977	5 091,3538	9,8661	Místo stabil.: počva tunelu
2424	1 155,4764	4 979,2889	6,2202	Typ stabil.: měřický hřeb
2436	1 159,9510	5 090,6102	10,7411	



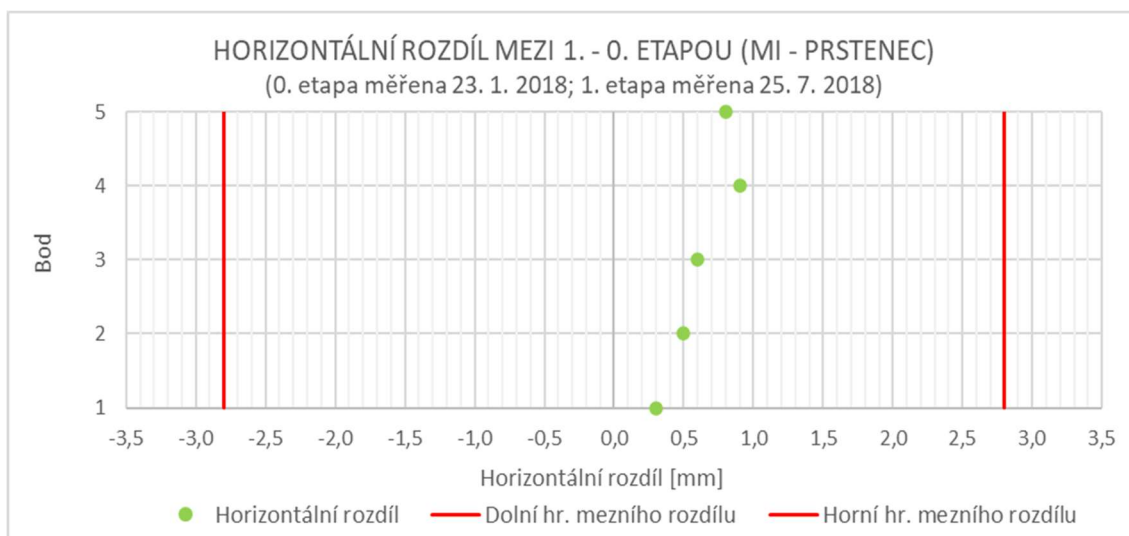
Příloha 16: Seznam souřadnic (MII) – 7. etapa

SEZNAM SOUŘADNIC A VÝŠEK (7. ETAPA - METODA II)

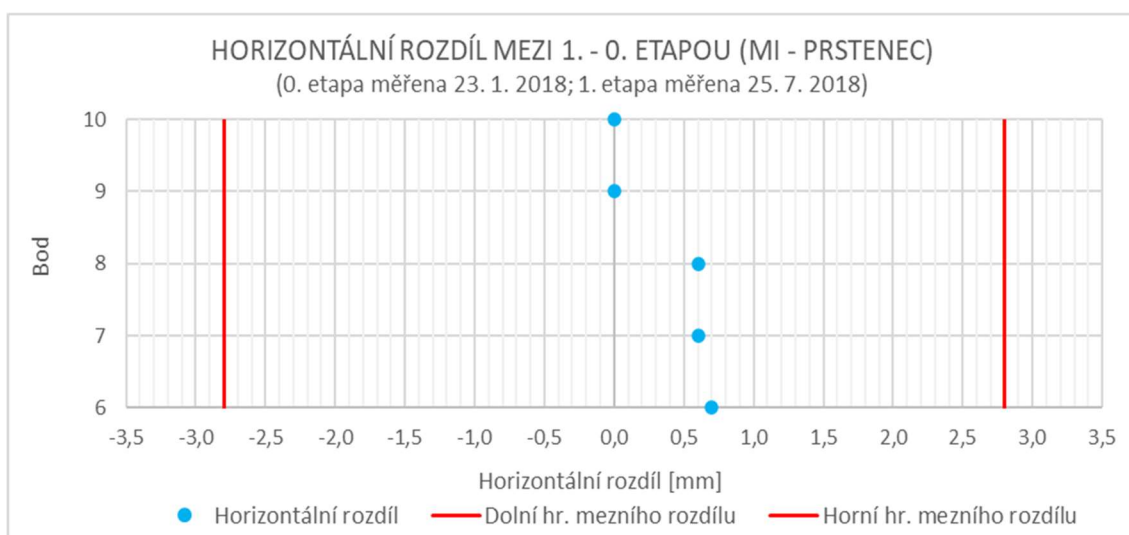
Souřadnicový systém: vlastní

Výškový systém: vlastní

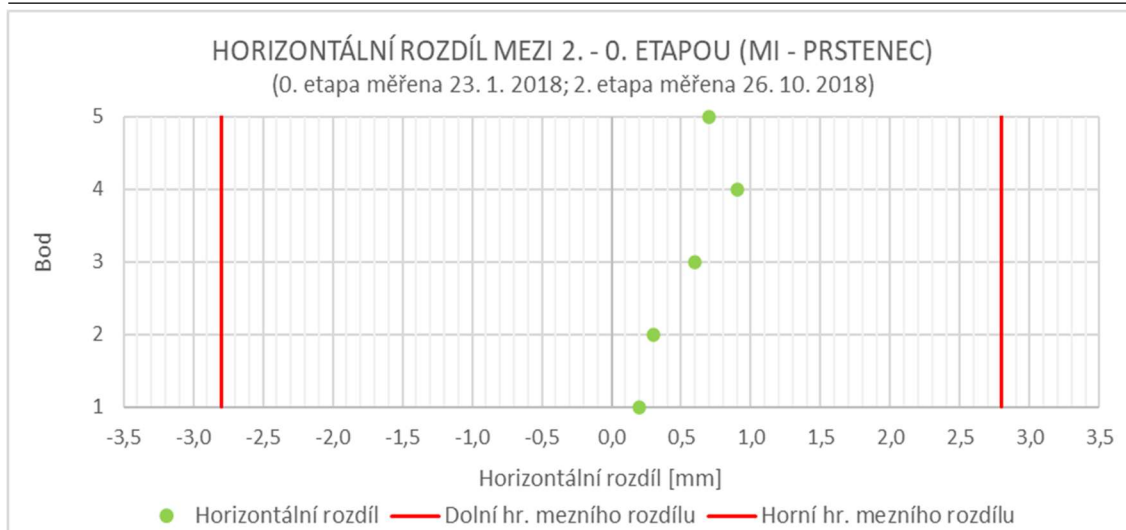
Číslo bodu	Y	X	Z	Poznámka
xxx	[m]	[m]	[m]	xxx
1	1 200,9216	5 023,1513	7,9535	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
2	1 200,8310	5 023,2121	10,5075	
3	1 198,7316	5 023,2886	11,6167	
4	1 196,2279	5 023,7649	9,7842	
5	1 196,3165	5 023,7248	8,2119	
6	1 154,1339	5 017,2825	8,5568	
7	1 154,3802	5 017,2374	10,9691	
8	1 156,6646	5 017,1994	12,0449	
9	1 158,8622	5 016,7415	10,3184	
10	1 158,7076	5 016,8346	8,4352	
101	1 199,8608	4 974,3921	5,3191	Druh bodu: pozorovaný Místo stabil.: počva tunelu Typ stabil.: měřický hřeb
102	1 200,0653	4 983,7593	5,6794	
103	1 199,9144	4 994,8390	6,1081	
104	1 199,8963	5 004,1476	6,4730	
105	1 199,9982	5 014,0464	6,8571	
106	1 200,0005	5 026,4808	7,3186	
107	1 200,4073	5 039,0252	7,7963	
108	1 201,0227	5 052,6017	8,3007	
109	1 202,1661	5 065,6995	8,8076	
110	1 203,5920	5 078,3800	9,2828	
201	1 155,3662	4 989,2721	6,6192	
202	1 155,4132	4 997,0557	6,9181	
203	1 155,0162	5 004,4802	7,2333	
204	1 154,9998	5 014,4757	7,6402	
205	1 154,9958	5 024,5109	8,0609	
206	1 155,3709	5 037,1066	8,5625	
207	1 155,7993	5 051,4131	9,1810	
208	1 156,4375	5 060,0859	9,5131	
209	1 157,1908	5 069,5974	9,9020	
210	1 158,6304	5 079,7591	10,2787	
1002	1 196,3249	4 954,0642	5,4789	Druh bodu: identický Místo stabil.: prstenec tunelu Typ stabil.: štítek
1003	1 203,9723	5 101,6437	11,4253	
1004	1 201,5841	5 041,9748	9,1446	
1005	1 201,4531	5 039,3610	9,0499	
2002	1 154,6152	4 973,2990	7,3080	
2003	1 159,9071	5 095,4255	12,2514	
2004	1 154,1752	5 034,6477	9,7804	
2005	1 154,2817	5 038,4211	9,9466	
2407	1 200,0875	4 963,2089	4,9303	Druh bodu: pozorovaný
2419	1 205,8973	5 091,3544	9,8663	Místo stabil.: počva tunelu
2424	1 155,4757	4 979,2881	6,2198	Typ stabil.: měřický hřeb
2436	1 159,9515	5 090,6112	10,7416	

Příloha 17: Grafy horizontálních rozdílů mezi nultou a danou etapou (MI)

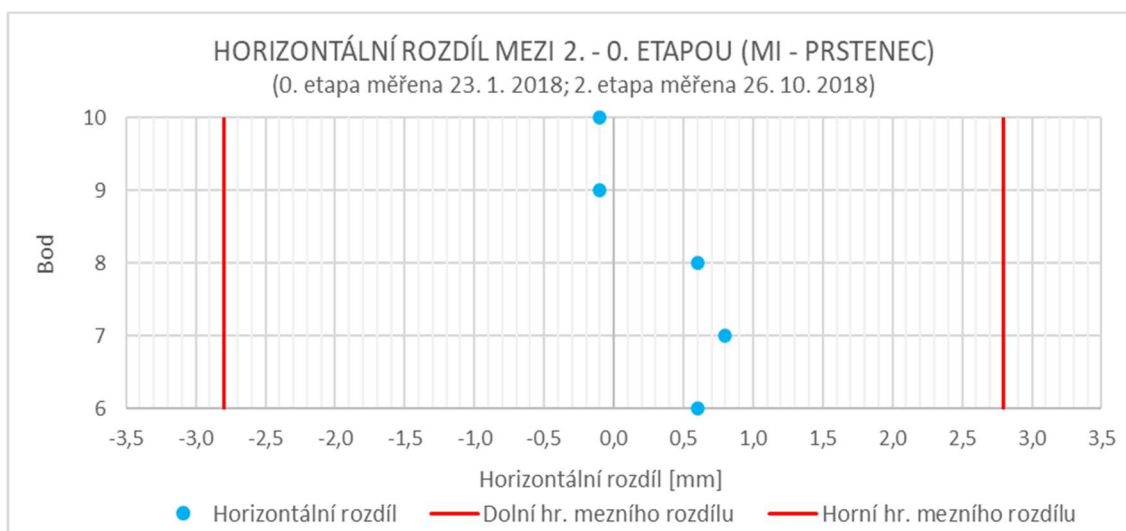
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



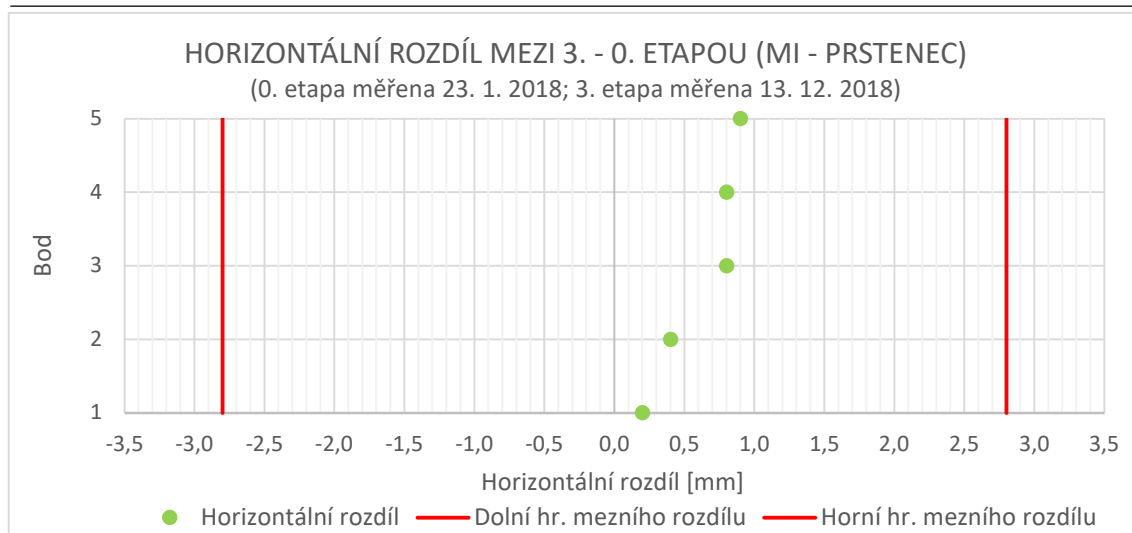
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



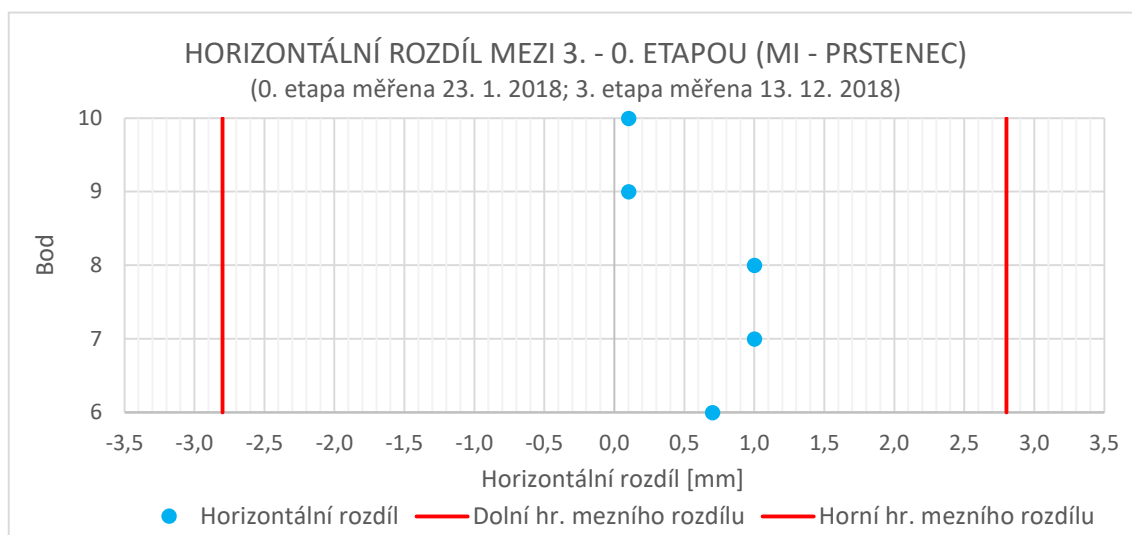
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



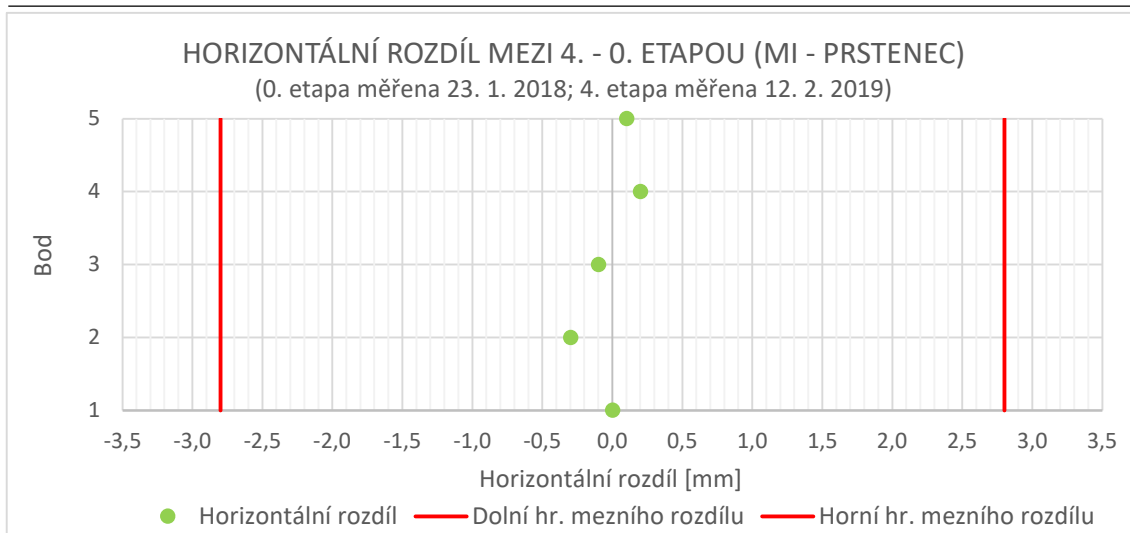
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



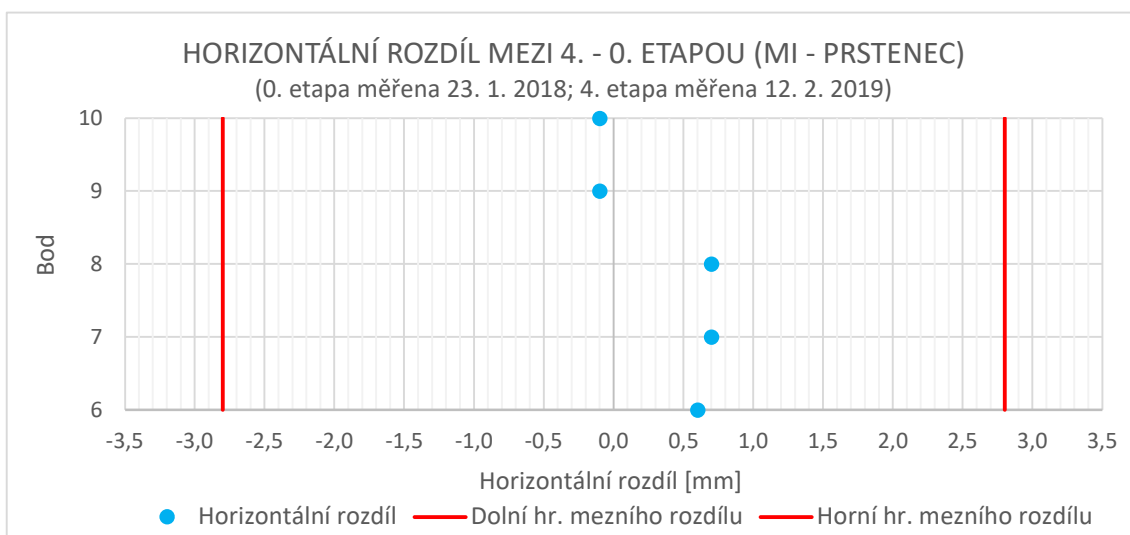
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



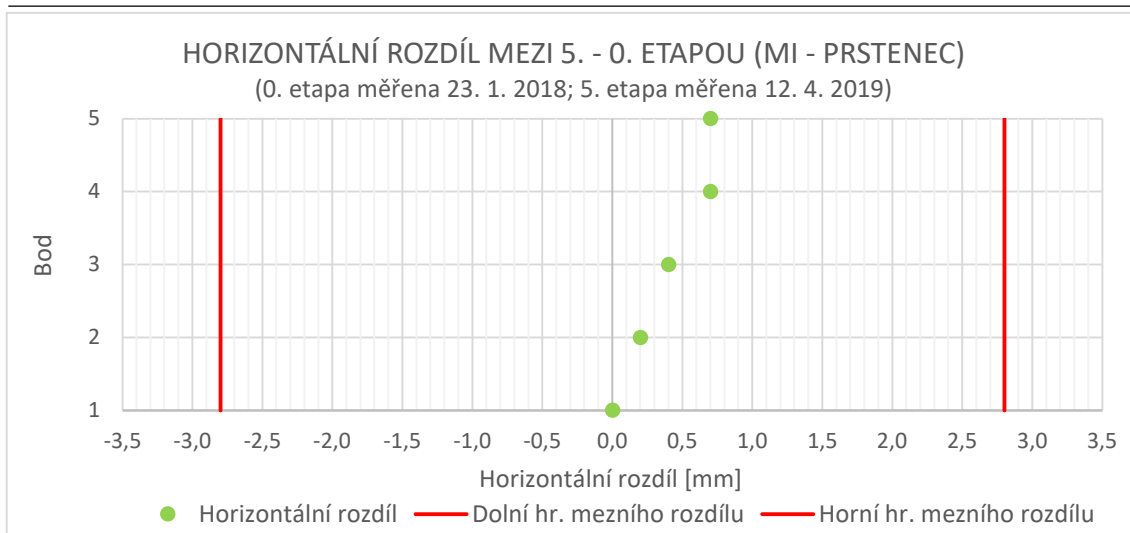
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



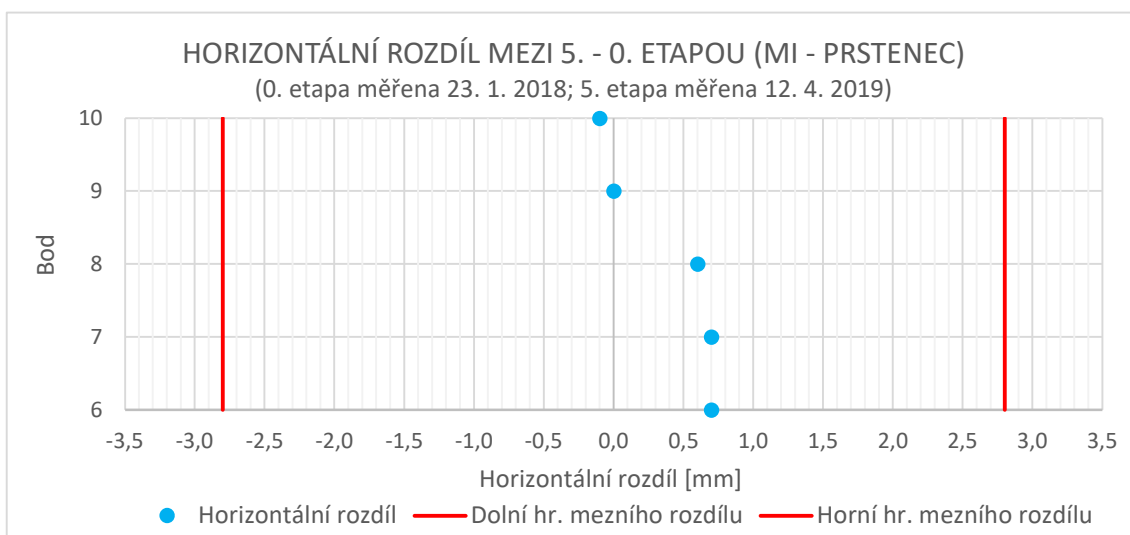
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



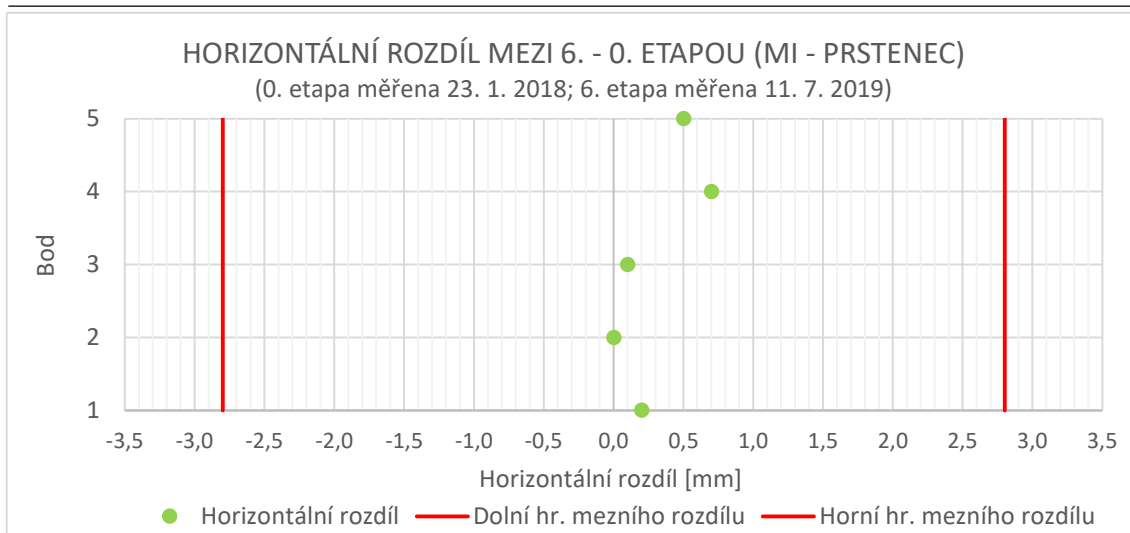
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



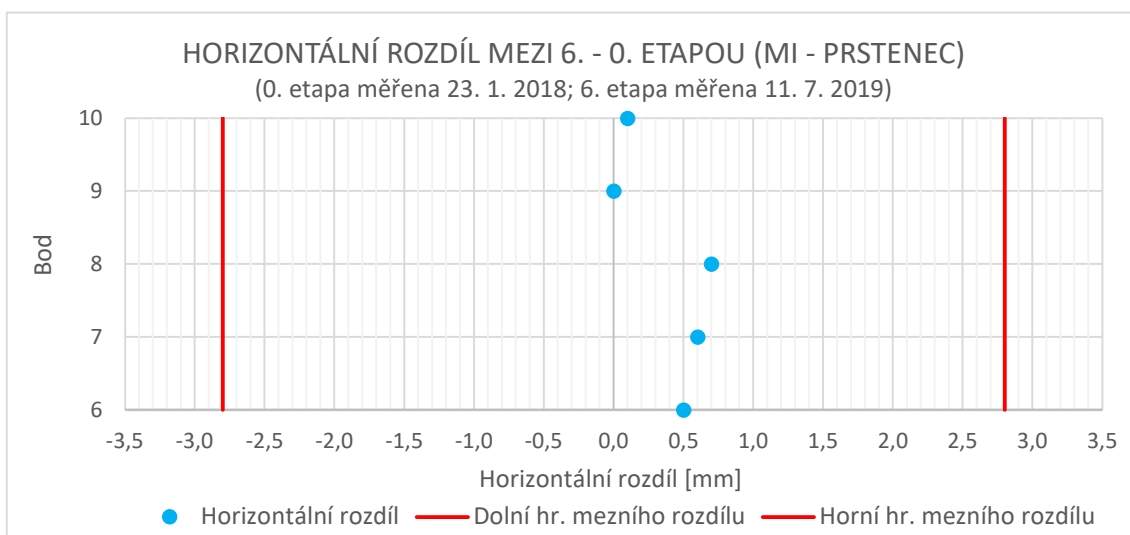
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



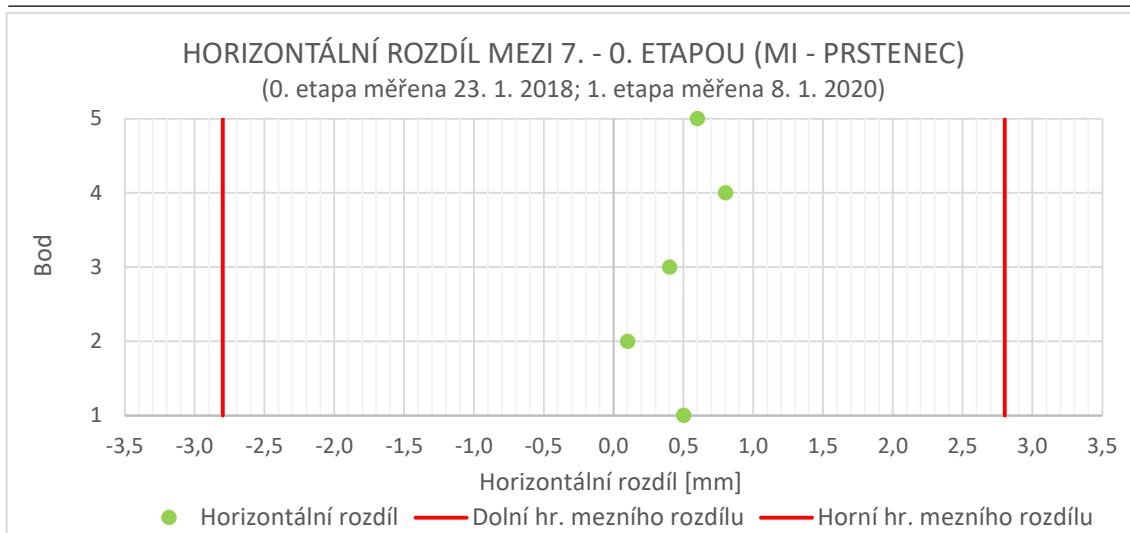
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



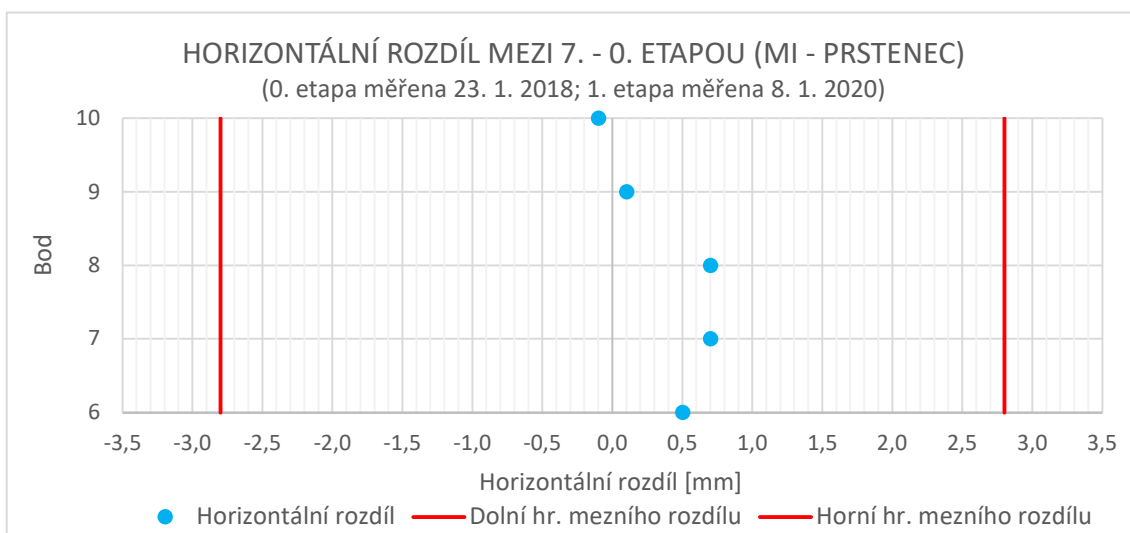
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



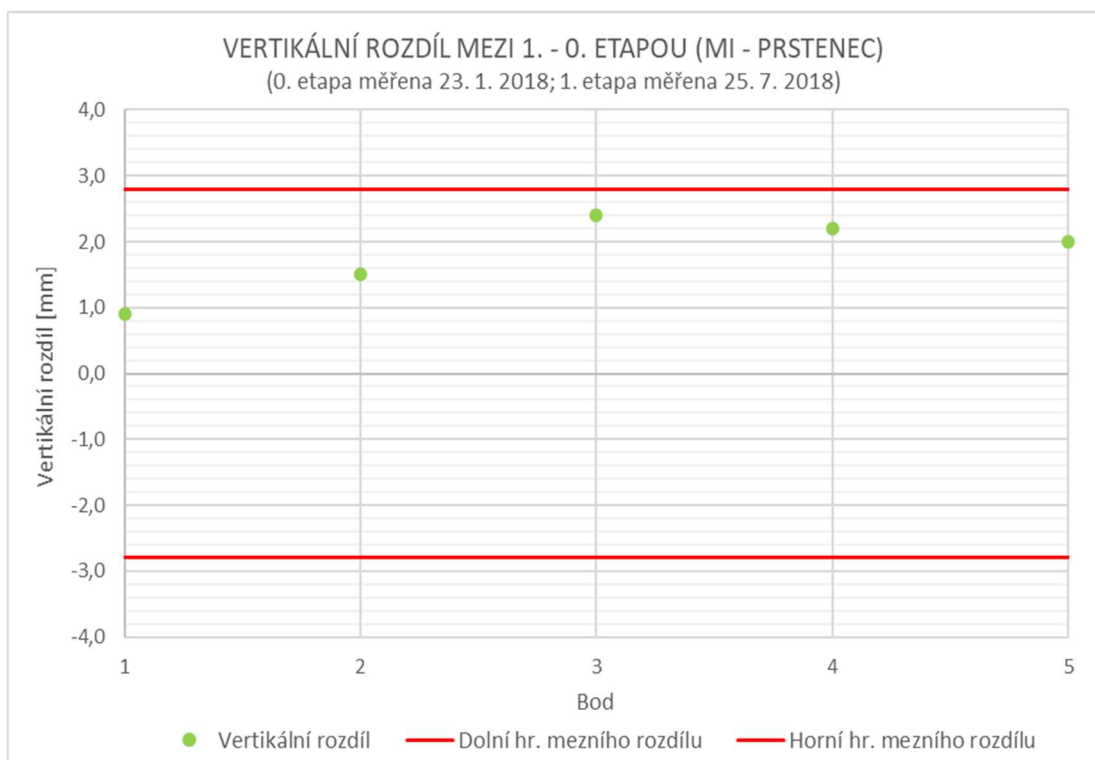
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



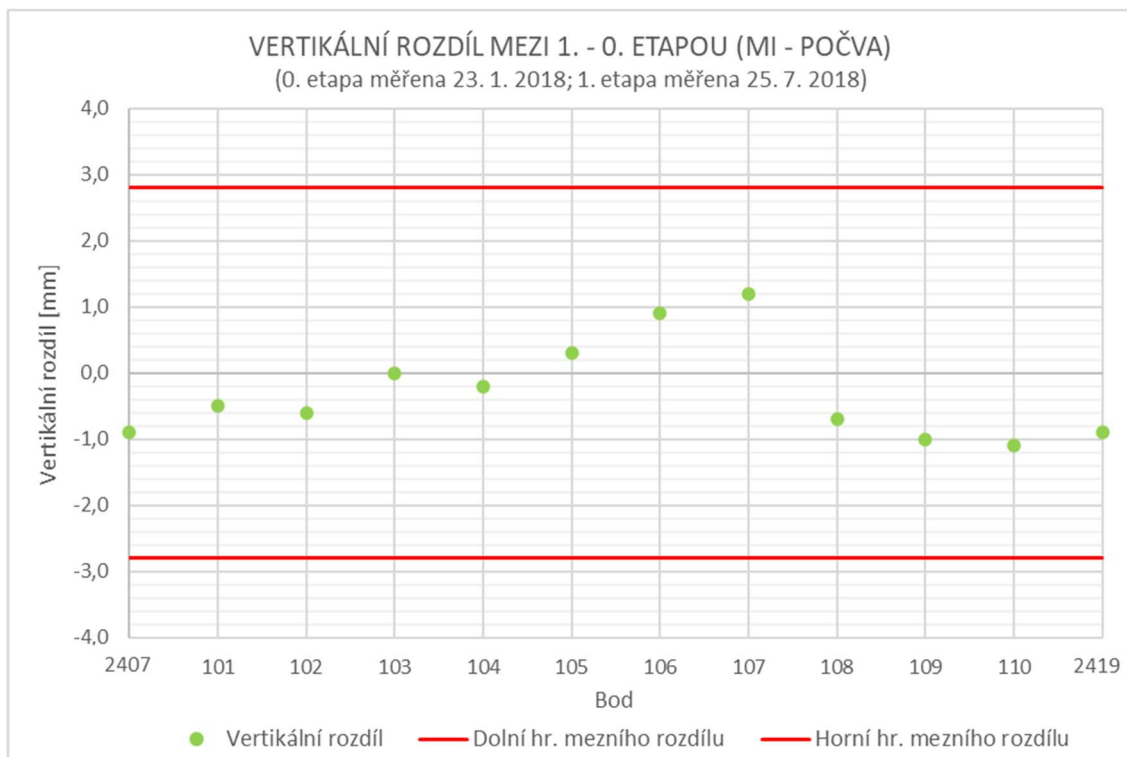
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



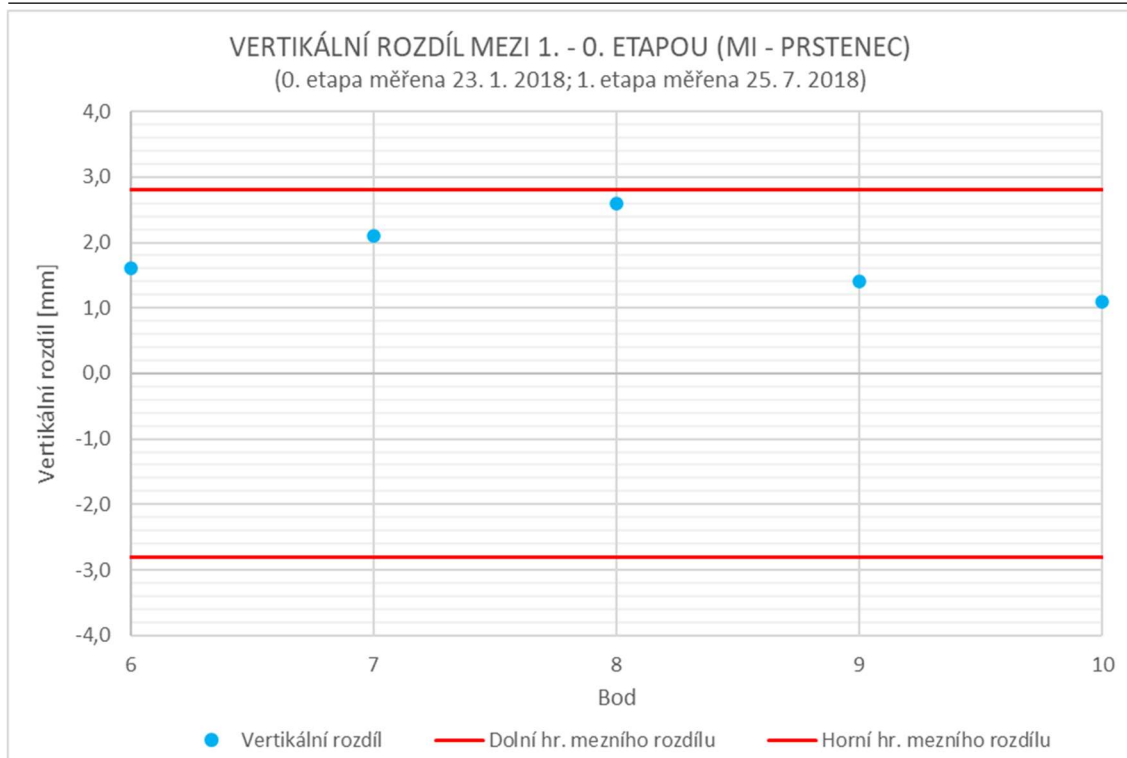
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.

Příloha 18: Grafy vertikálních rozdílů mezi nultou a danou etapou (MI)

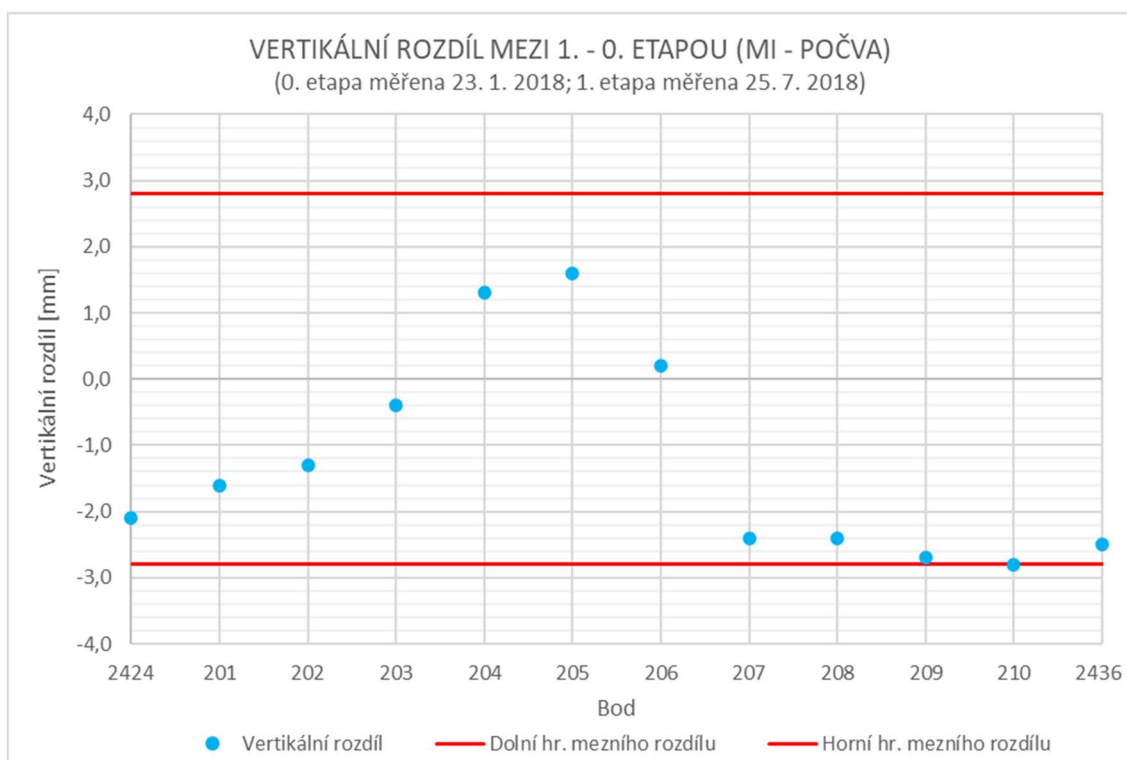
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



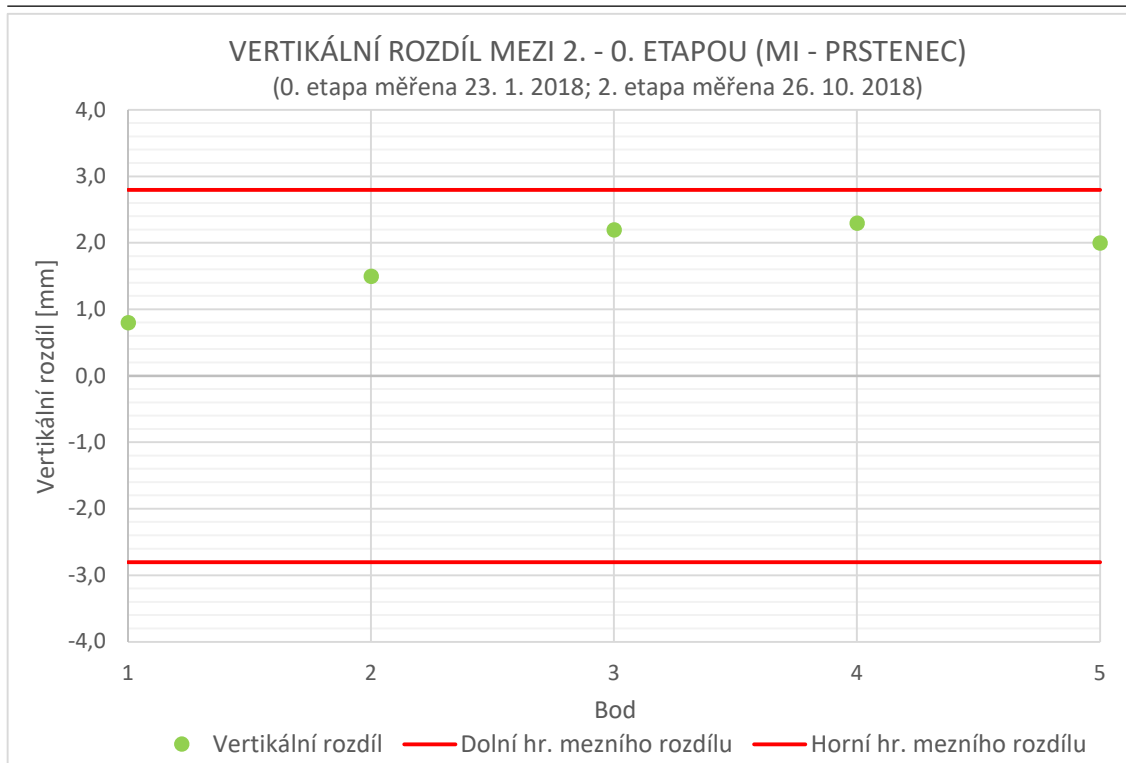
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



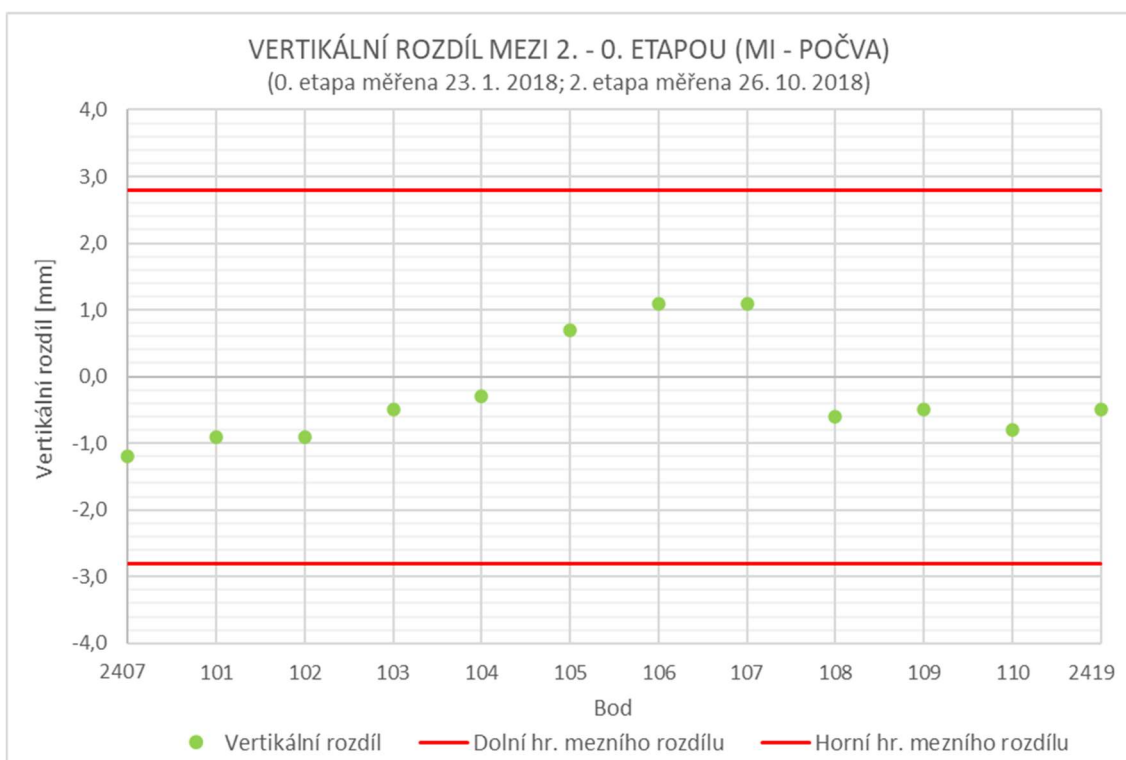
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



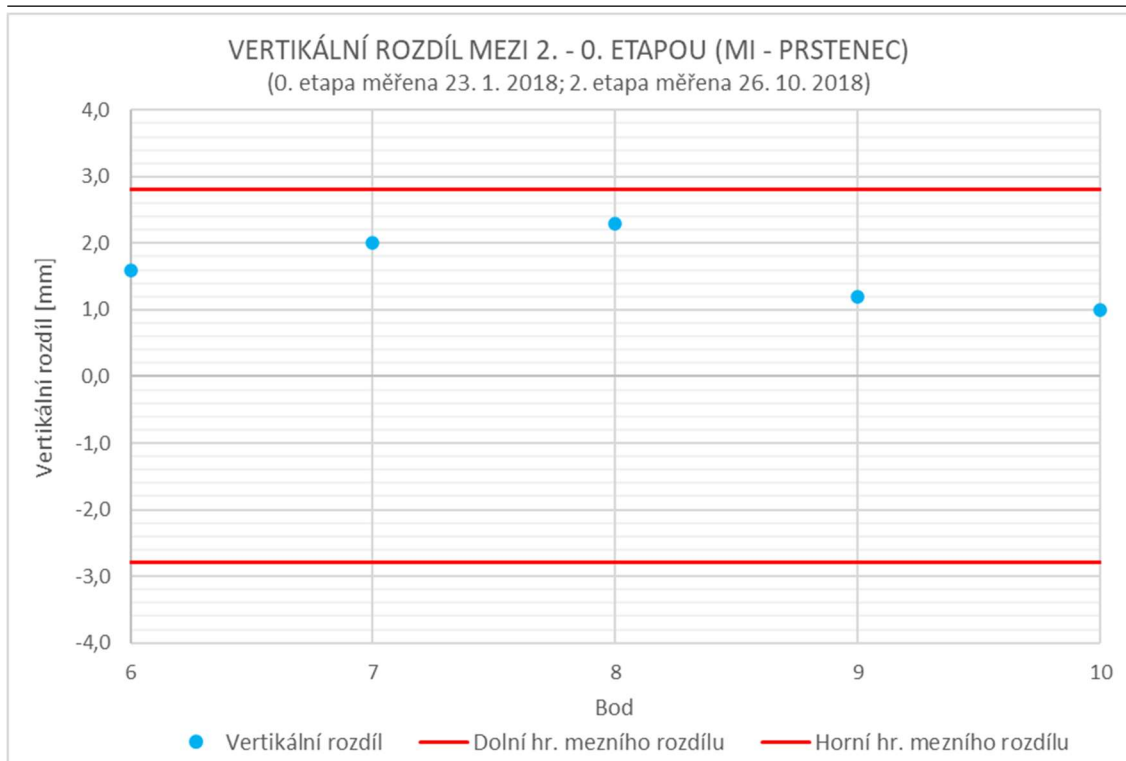
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



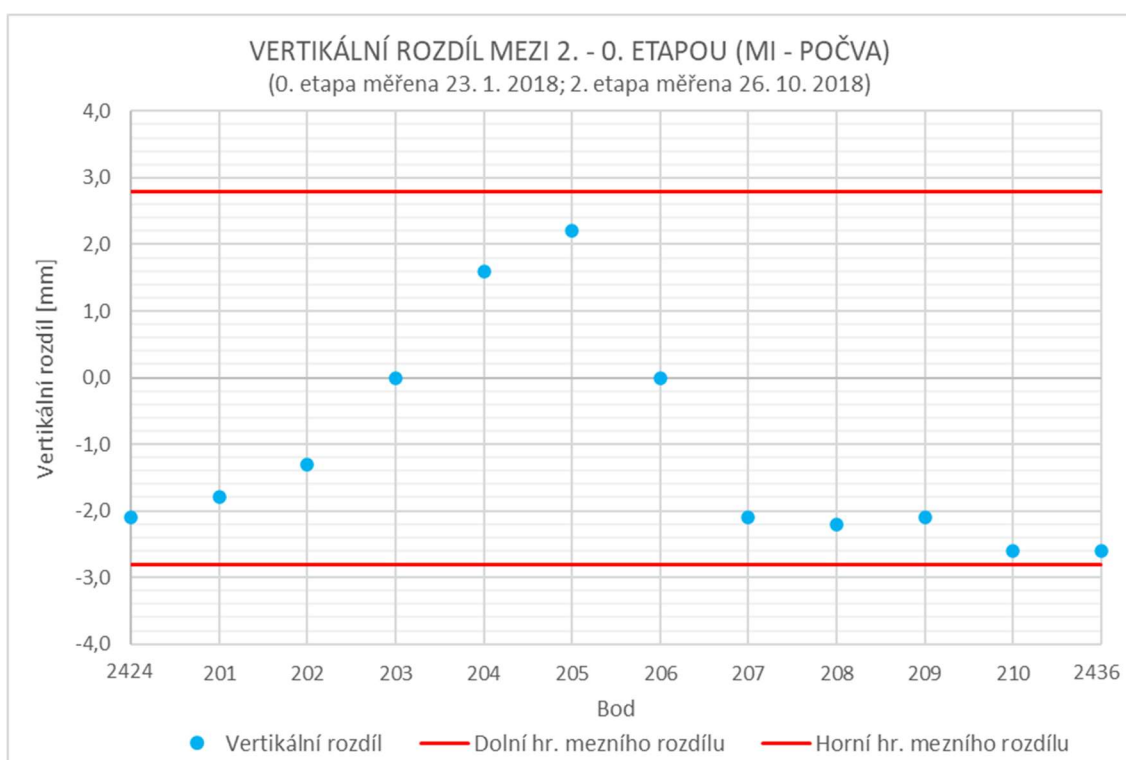
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



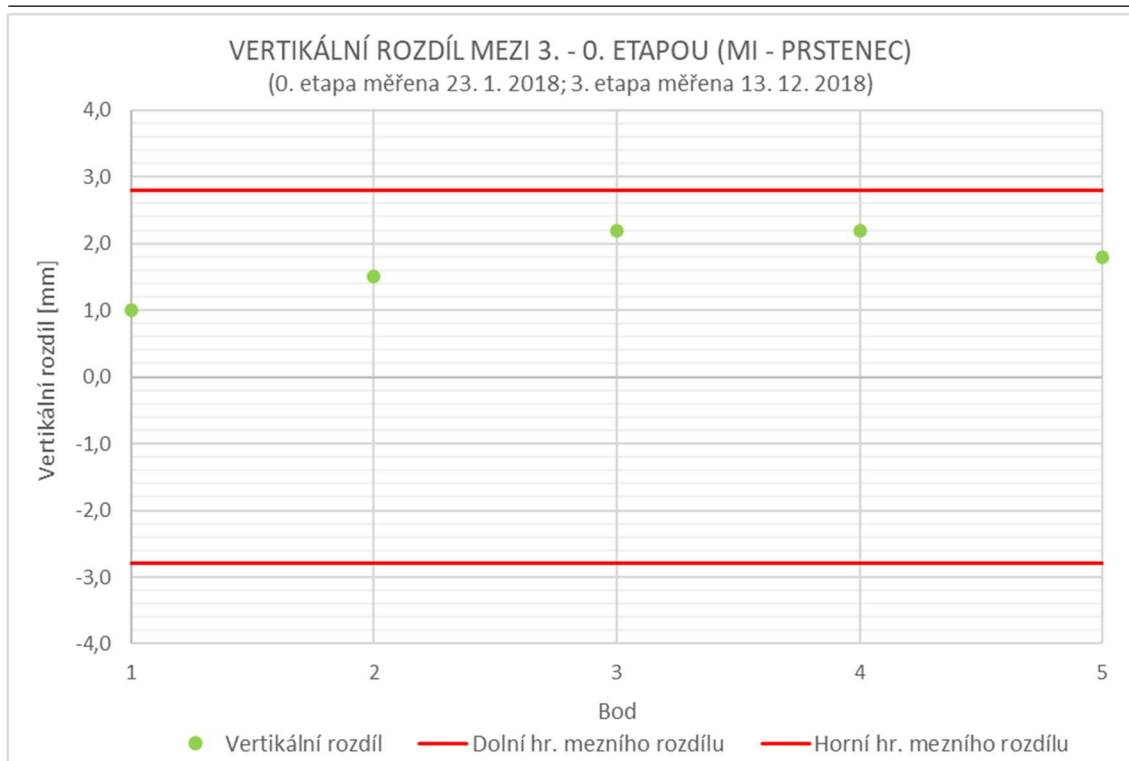
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



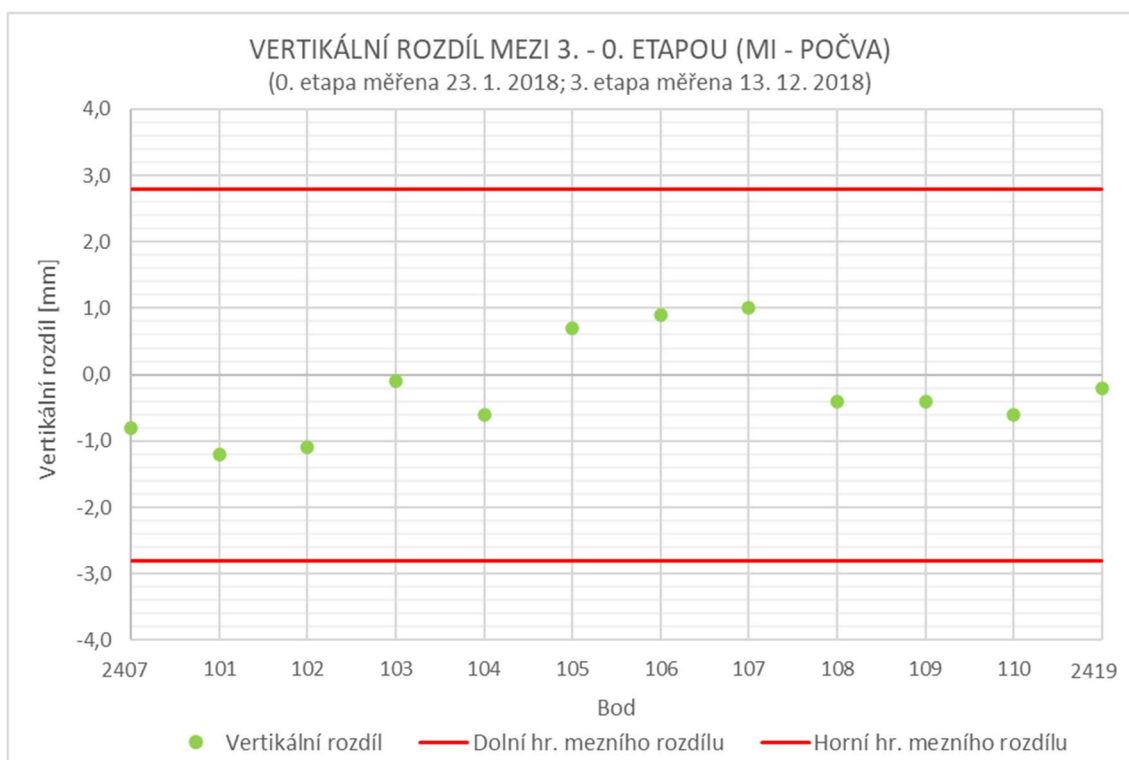
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



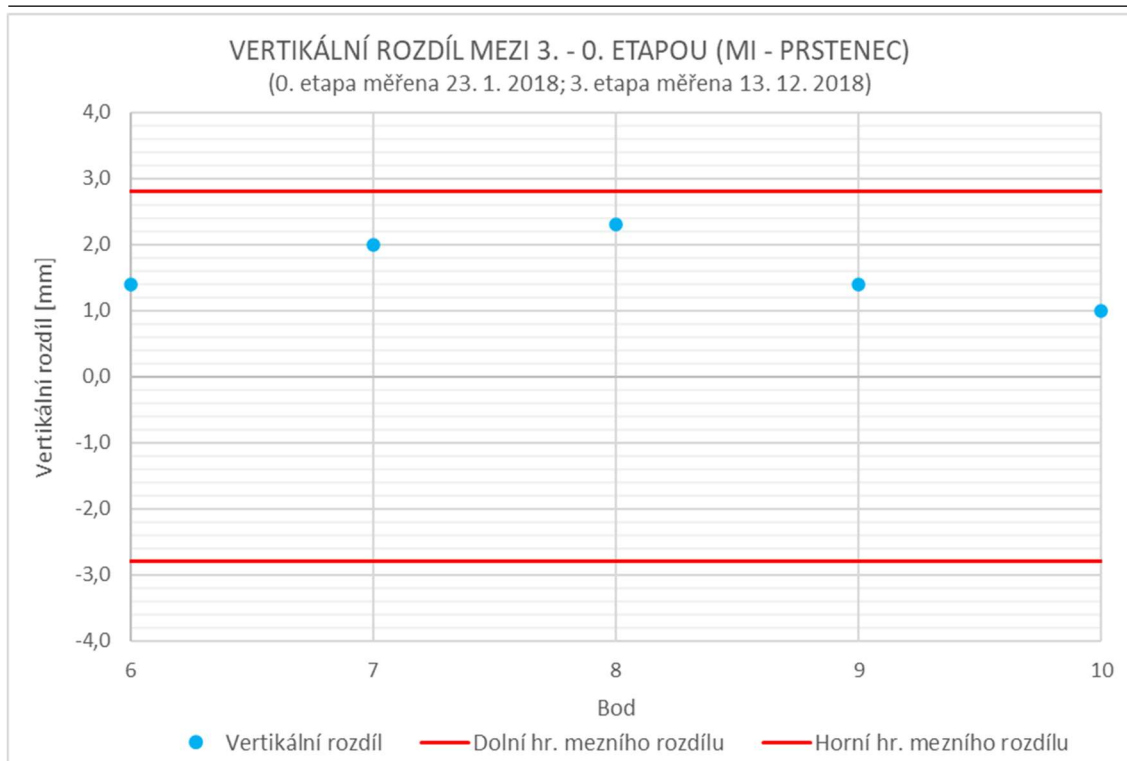
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



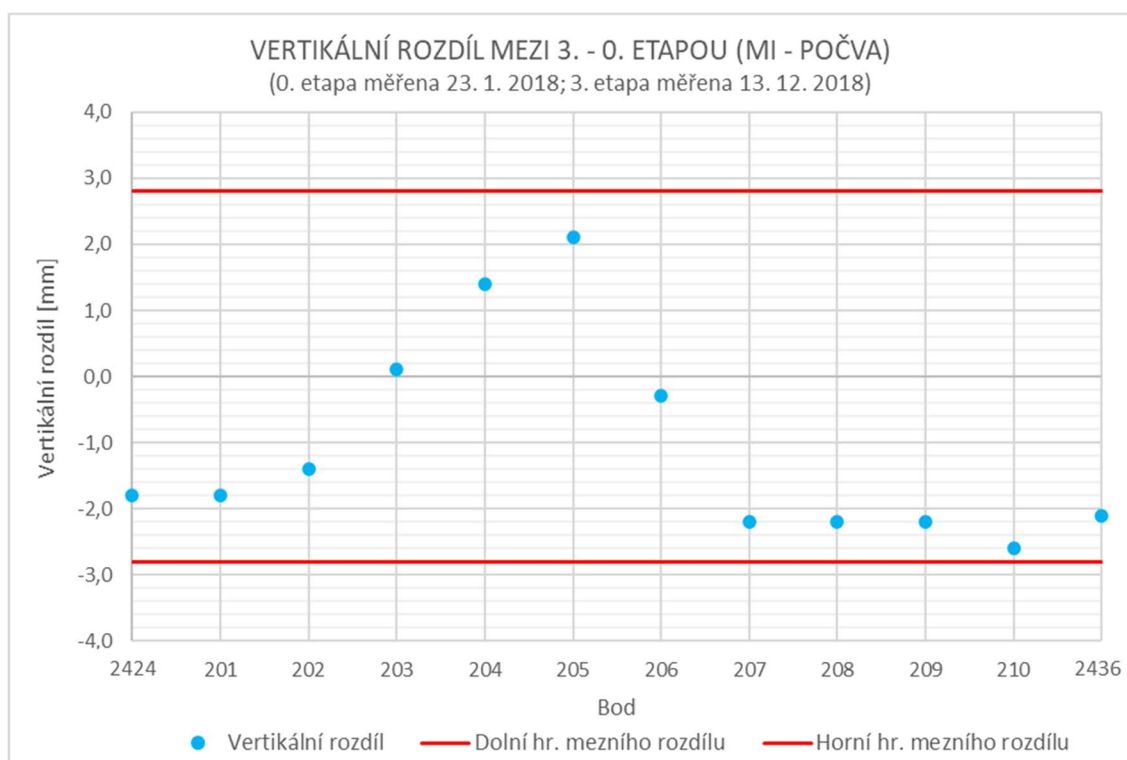
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



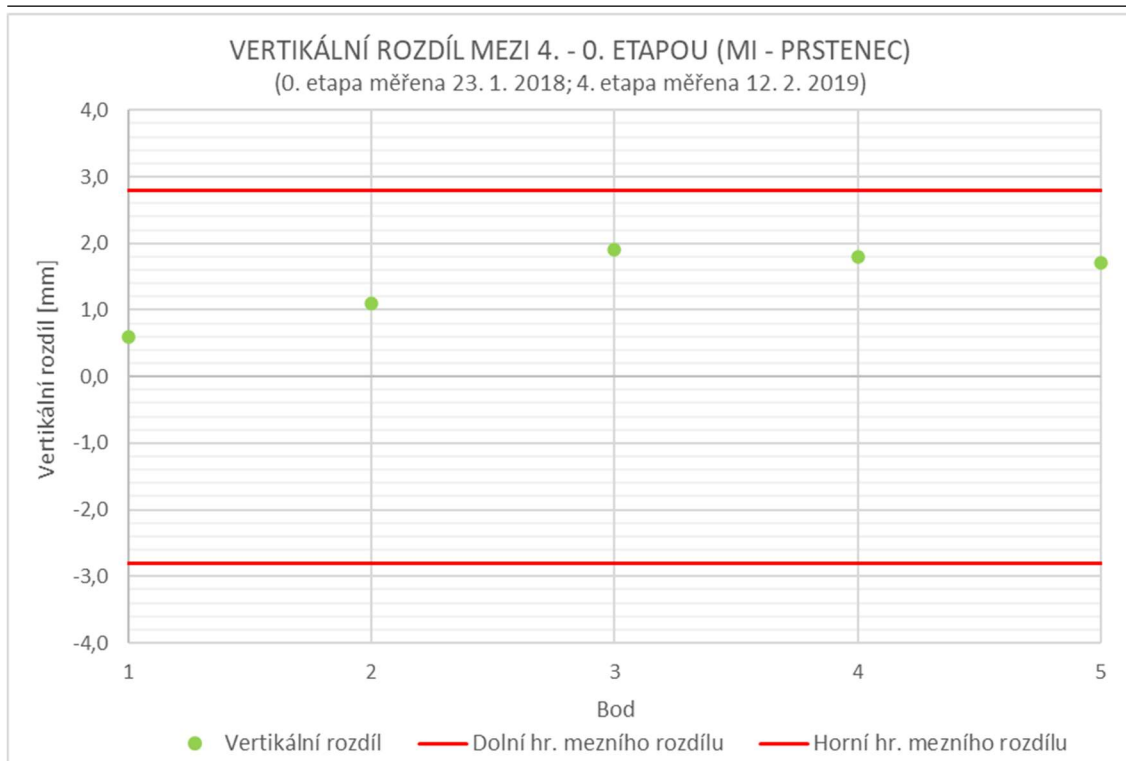
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



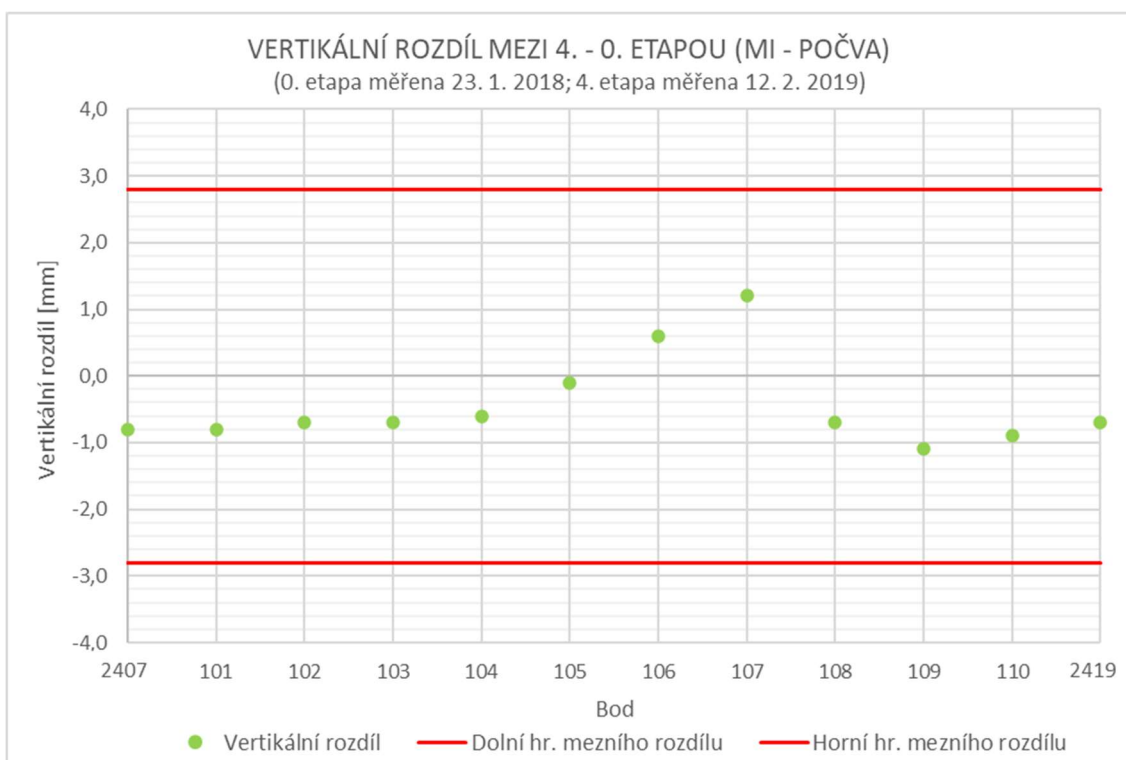
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



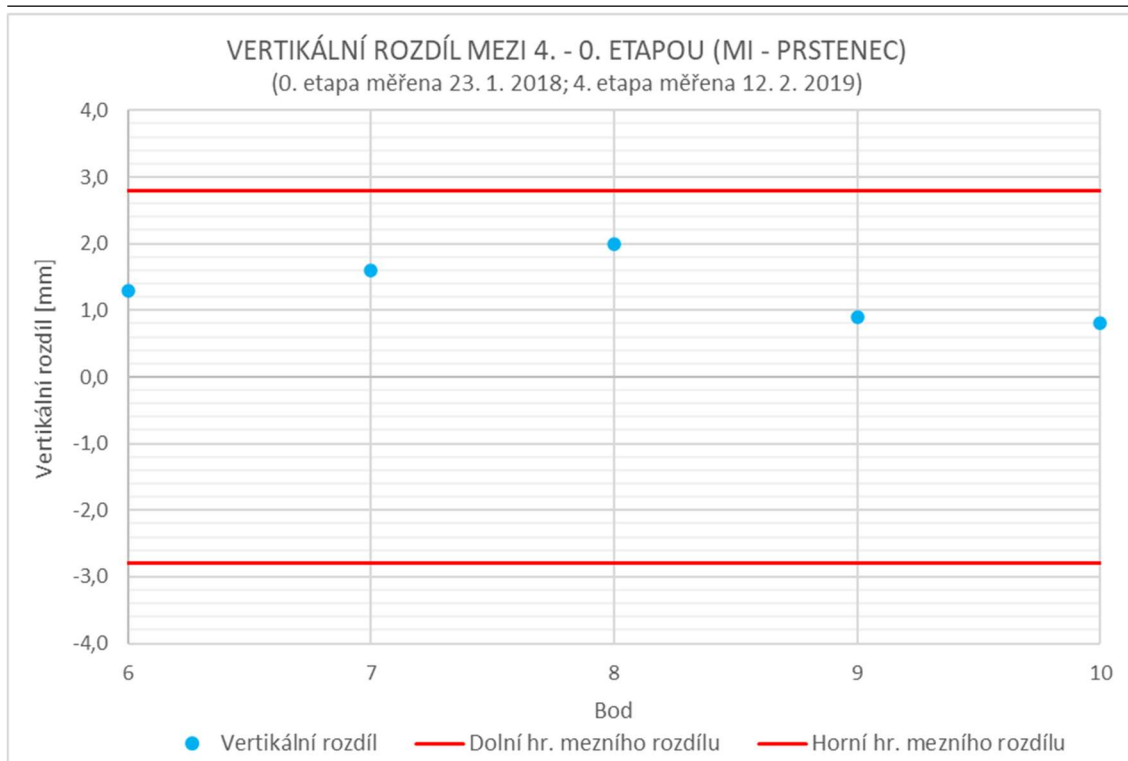
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



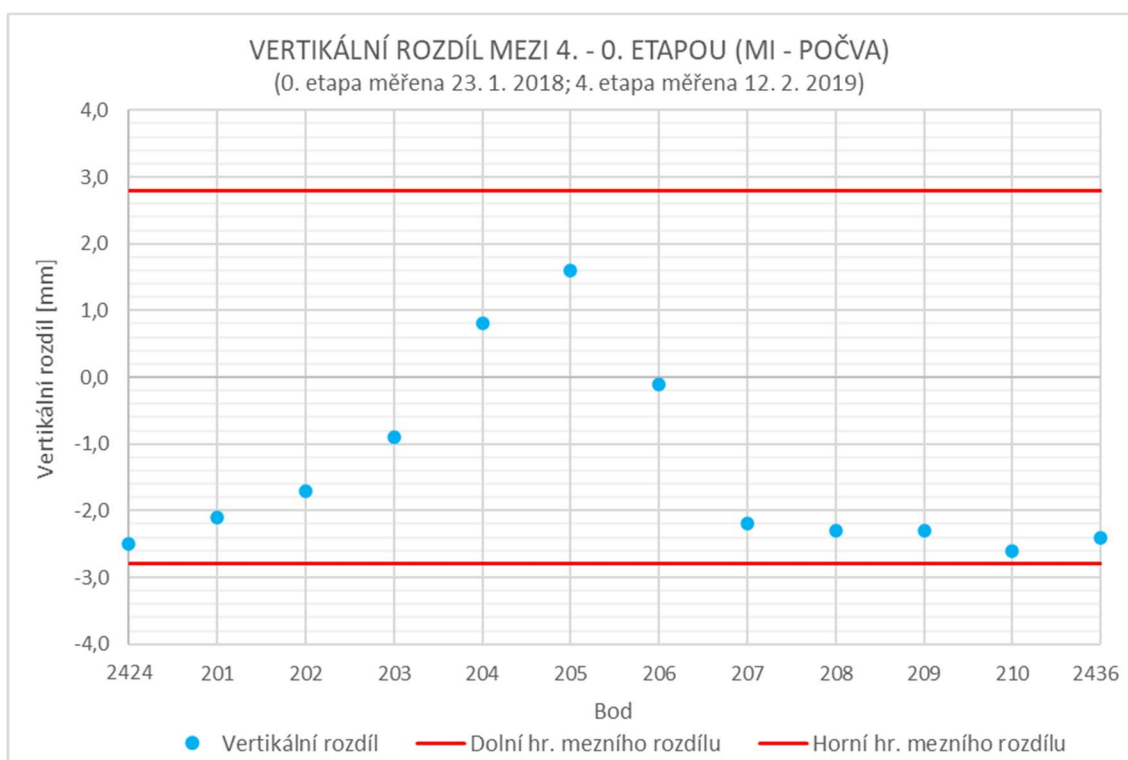
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



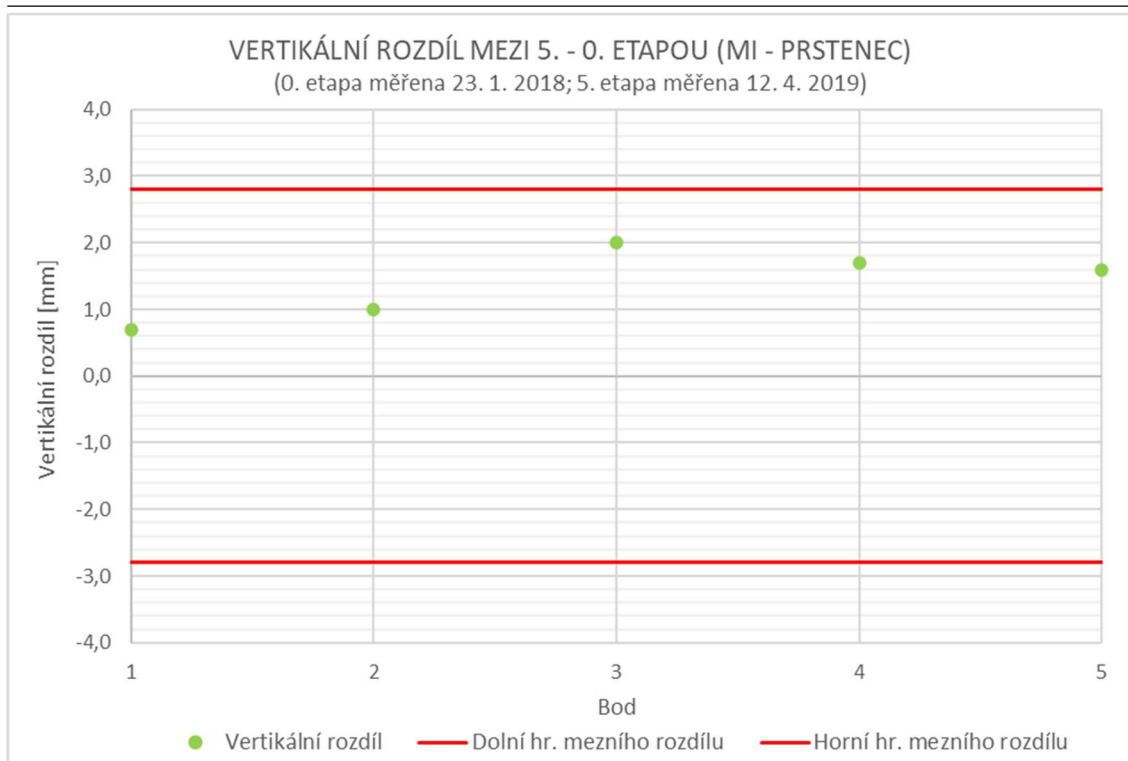
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



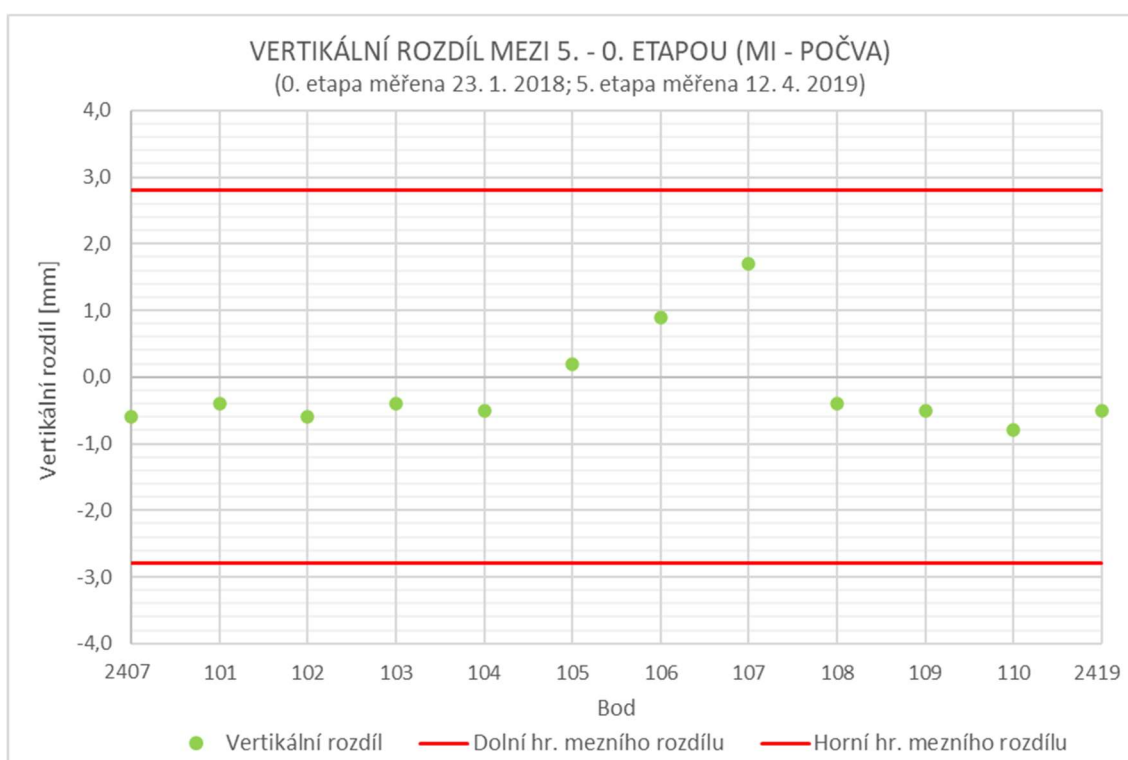
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



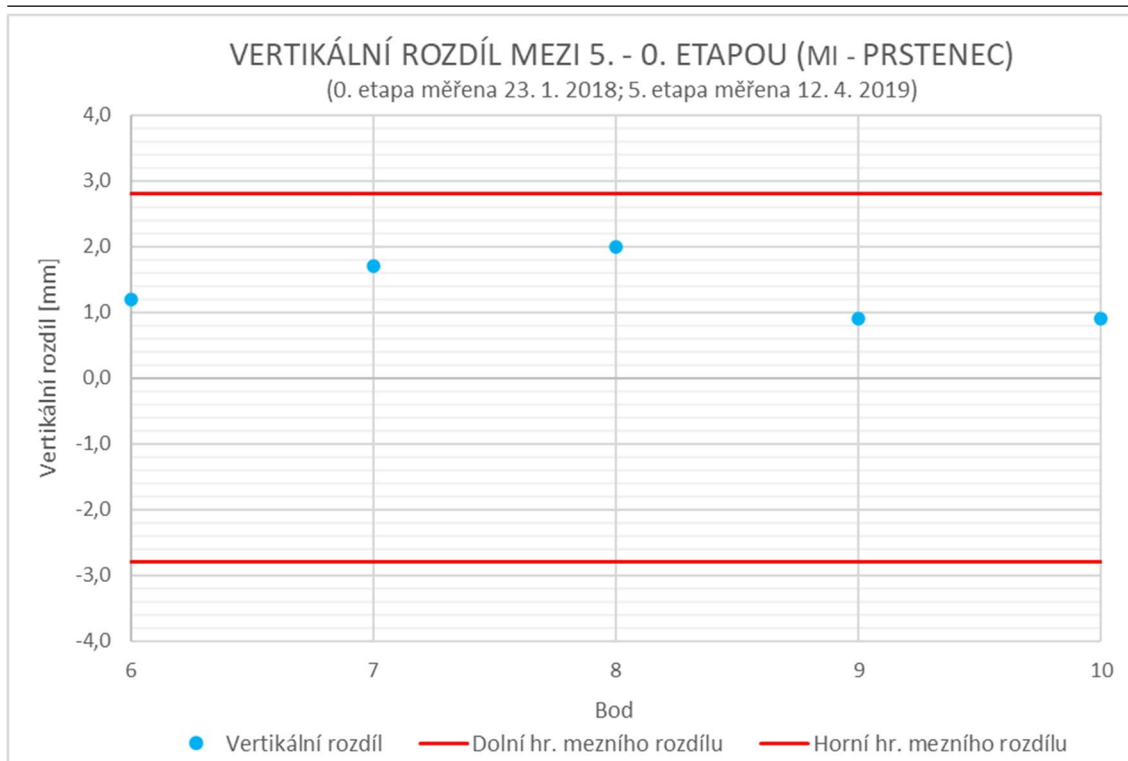
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



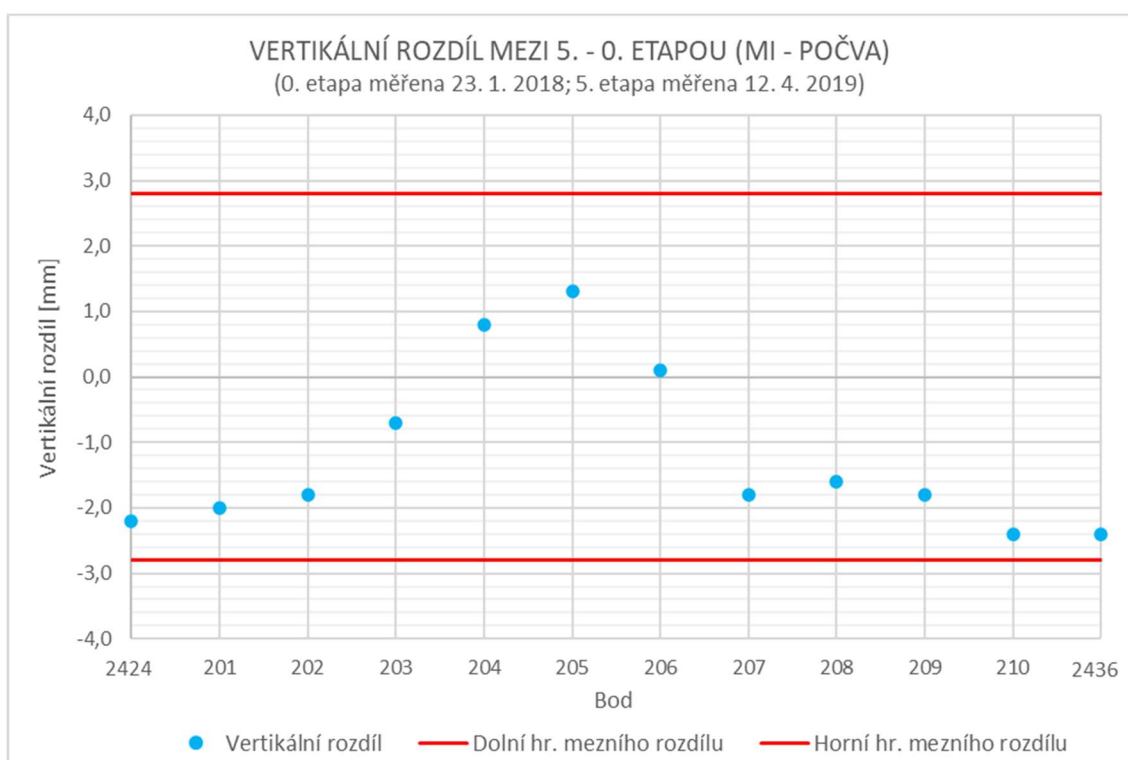
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



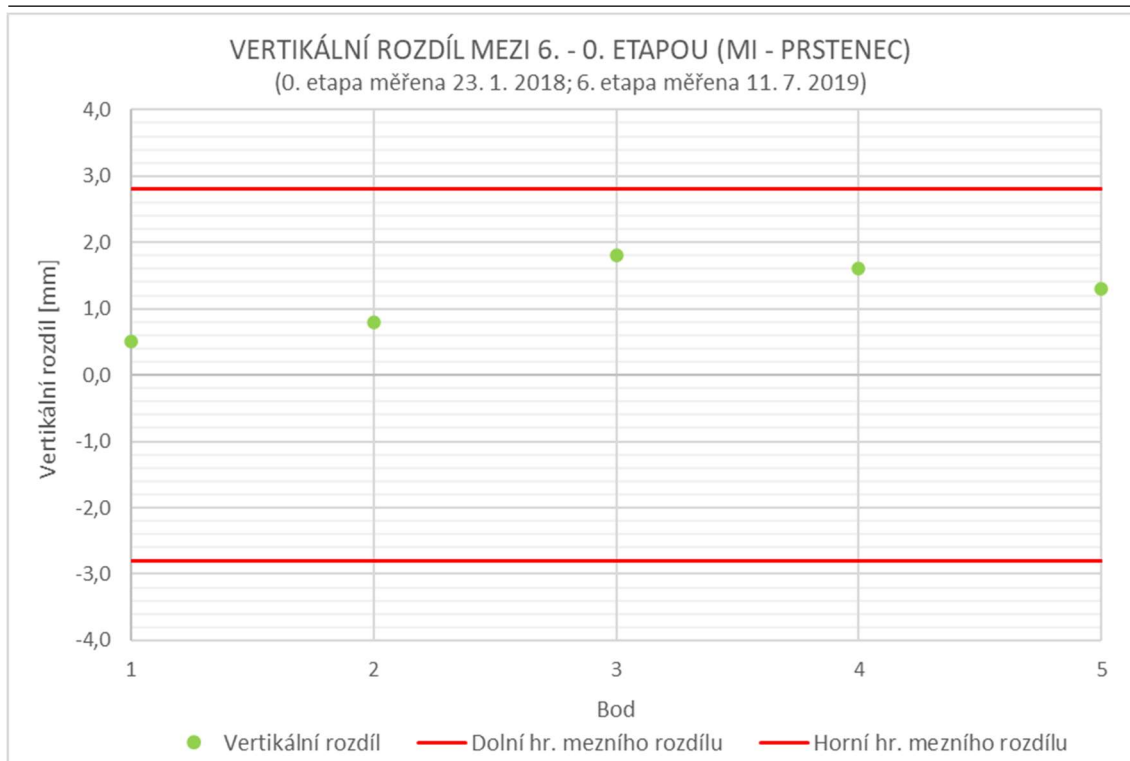
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



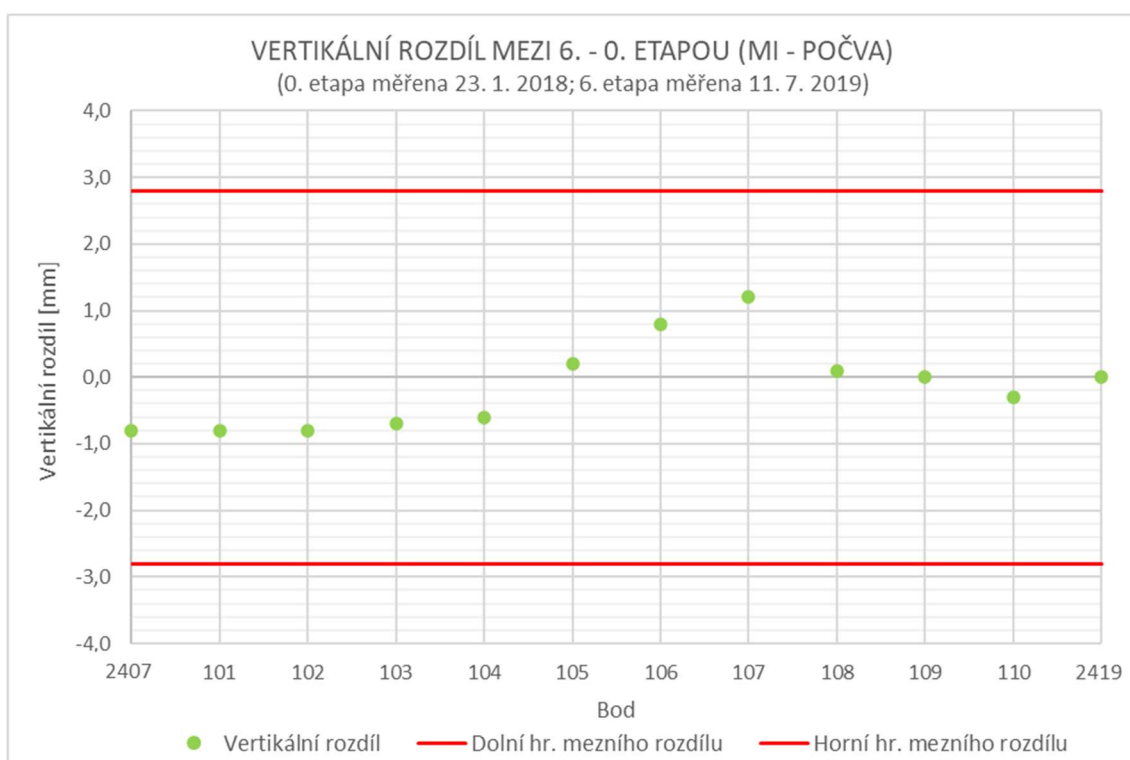
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



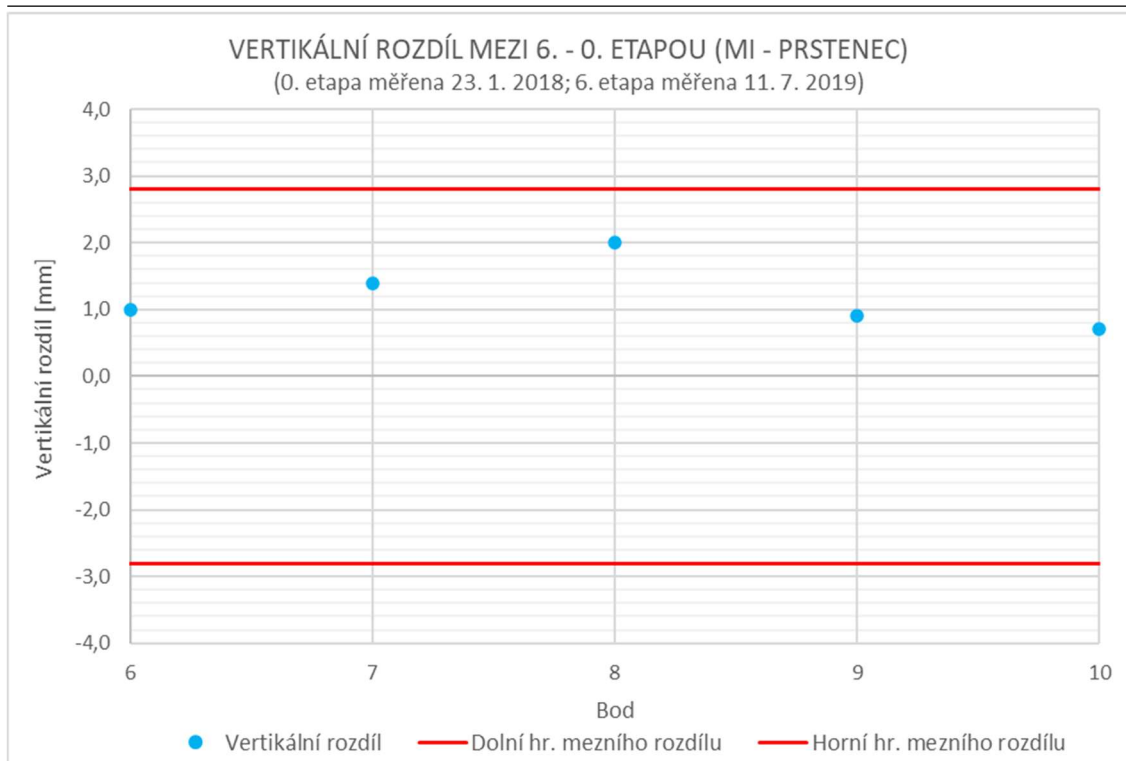
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



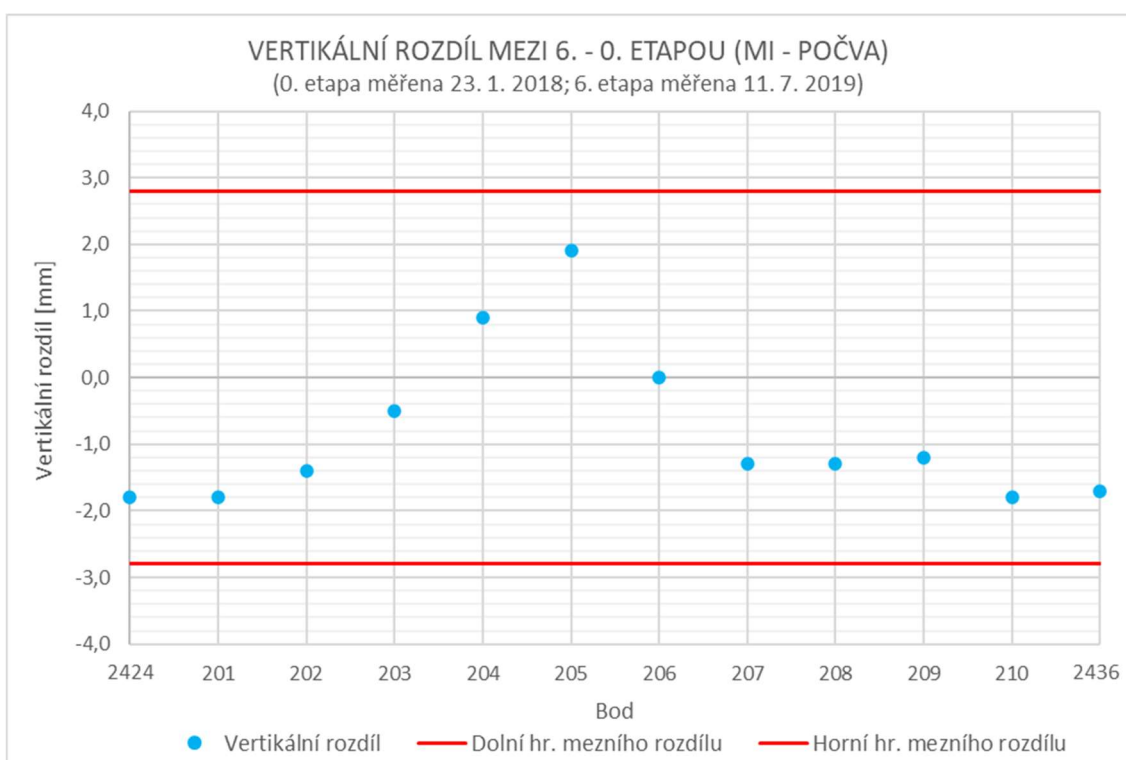
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



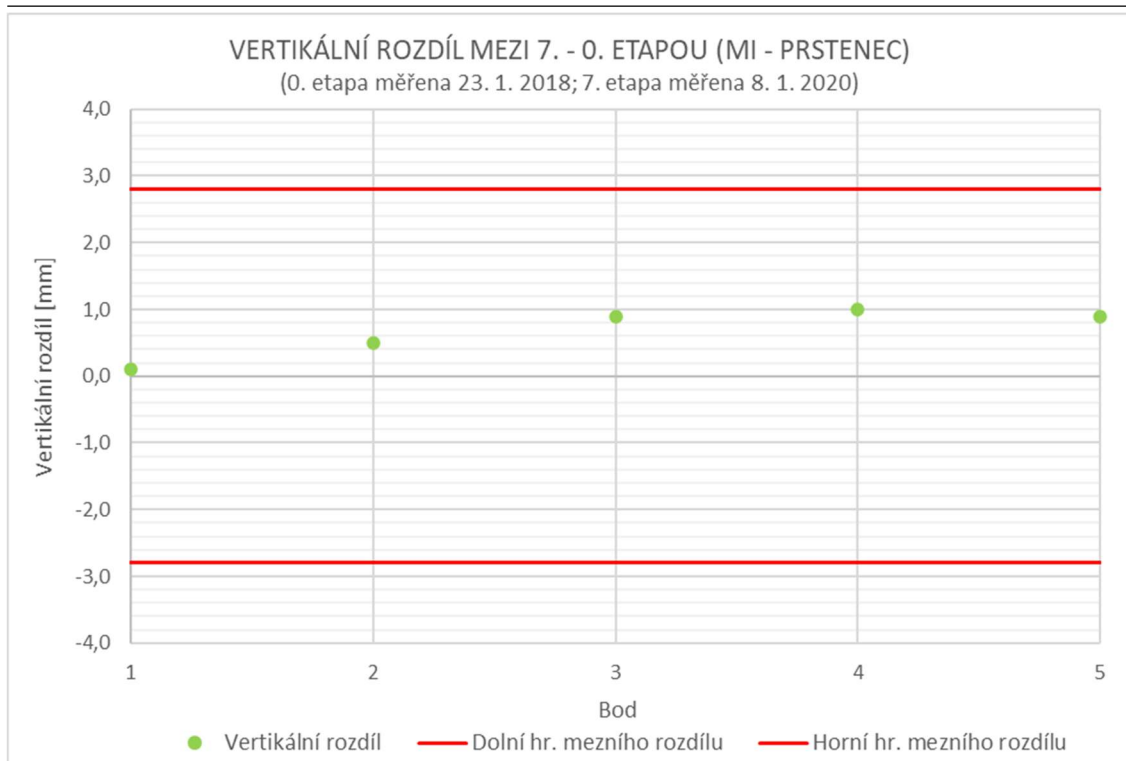
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



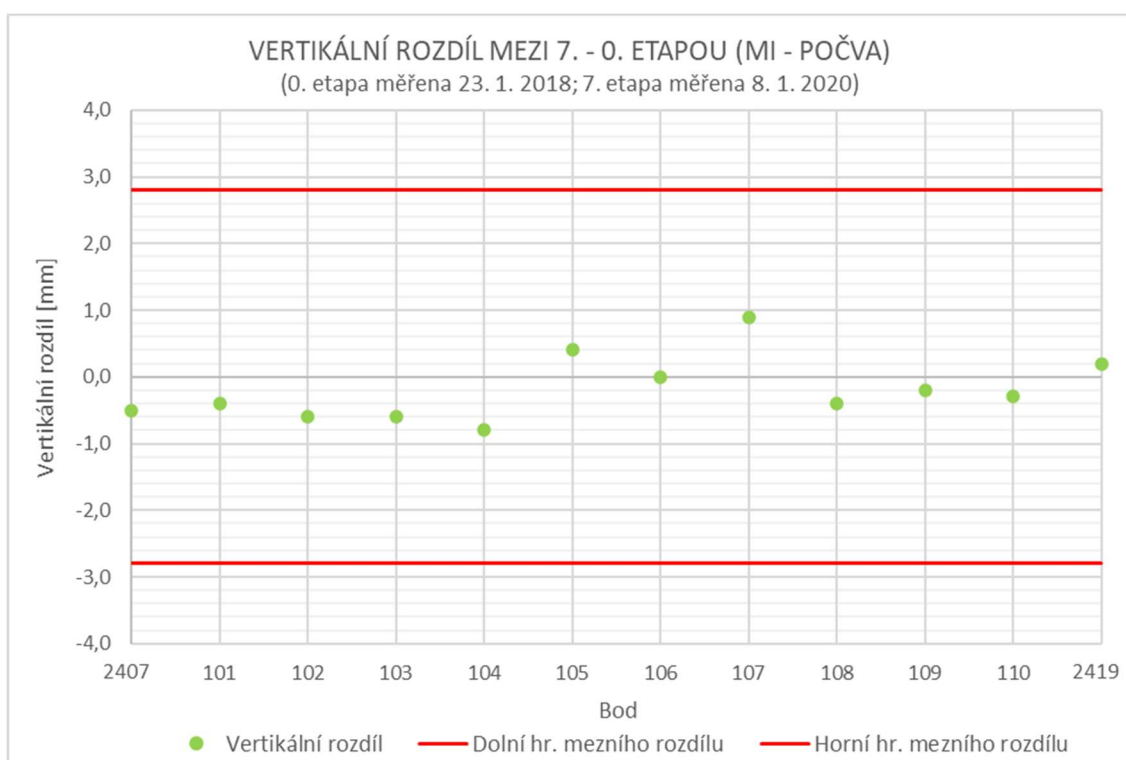
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



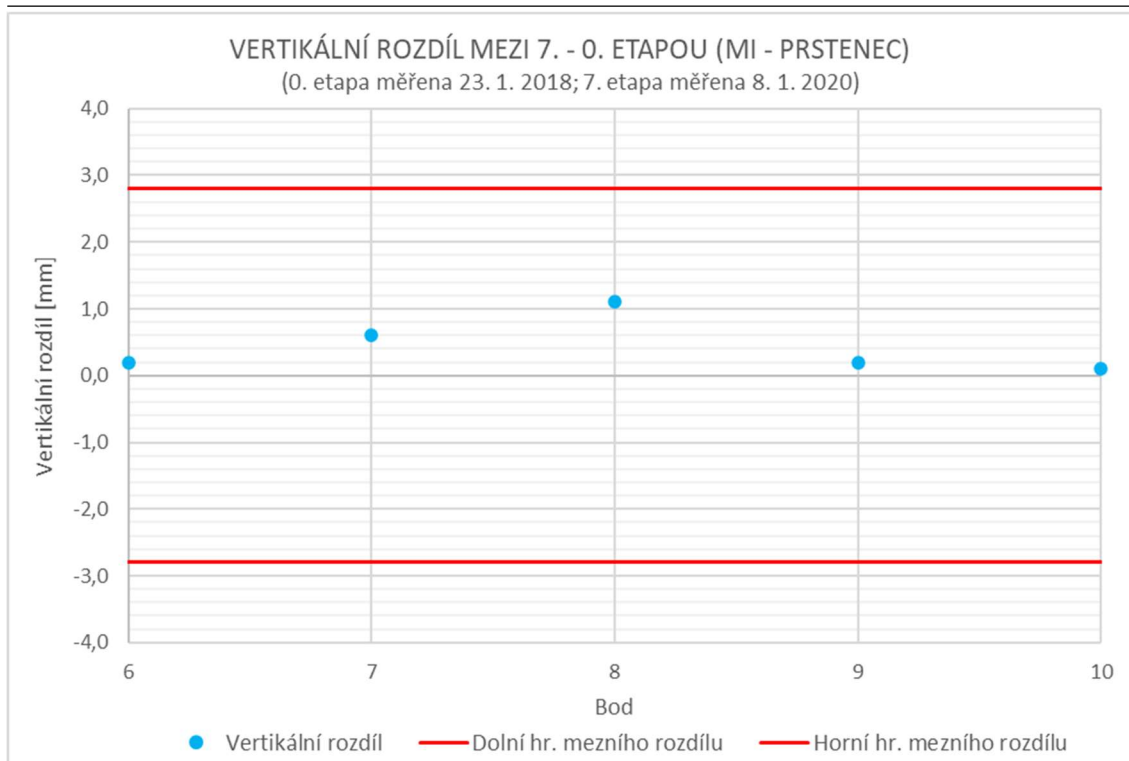
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



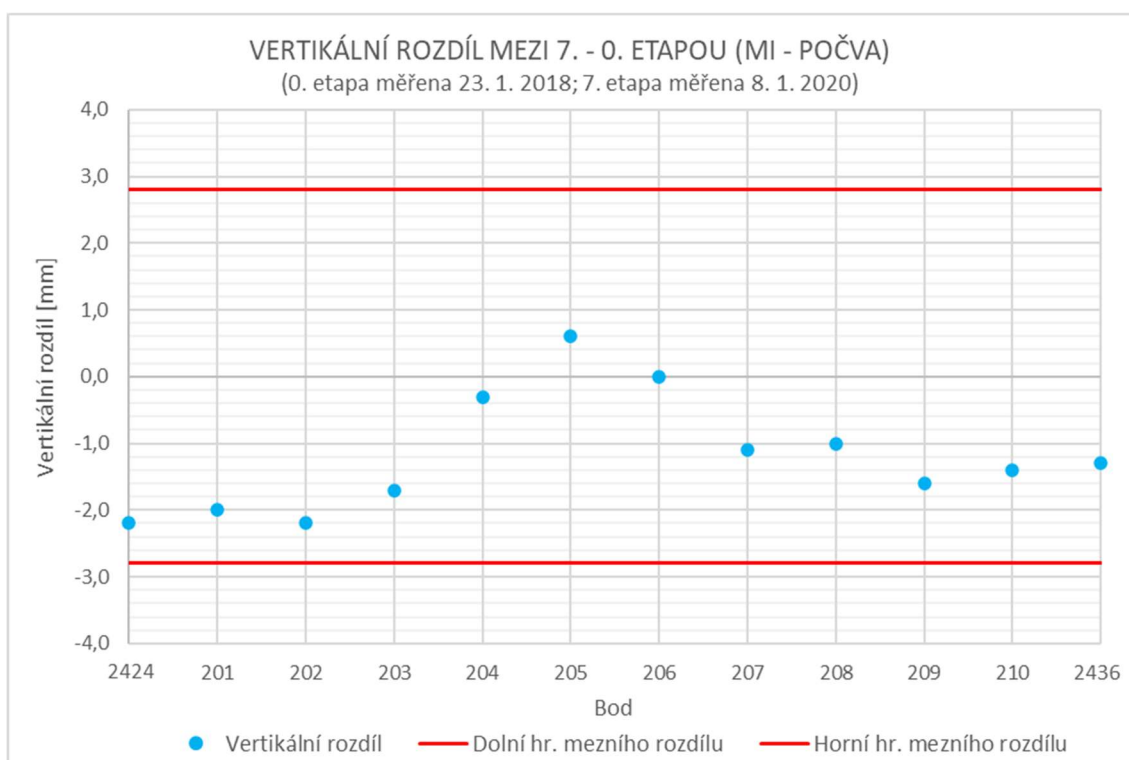
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



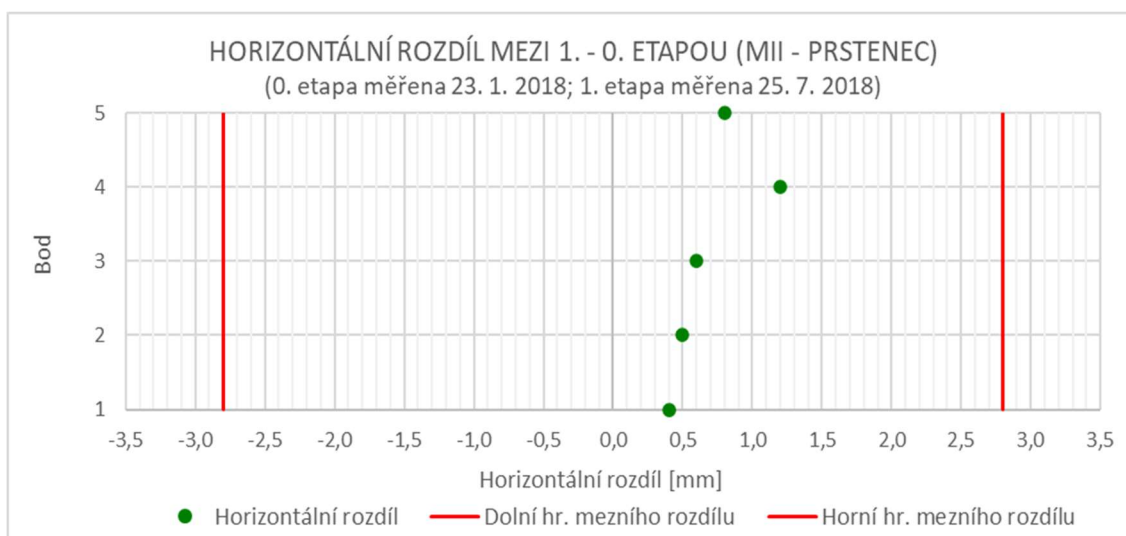
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



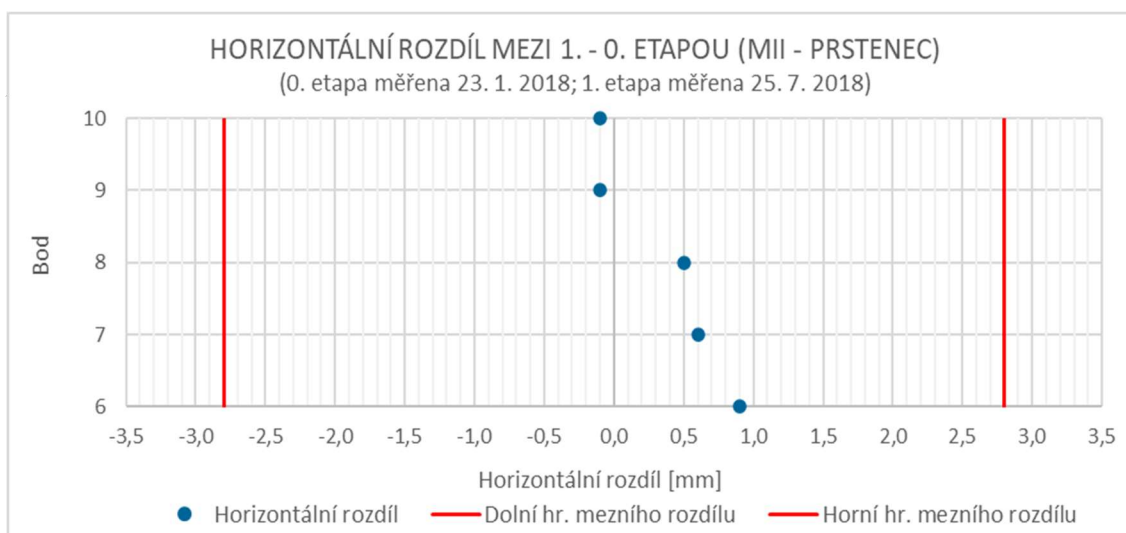
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



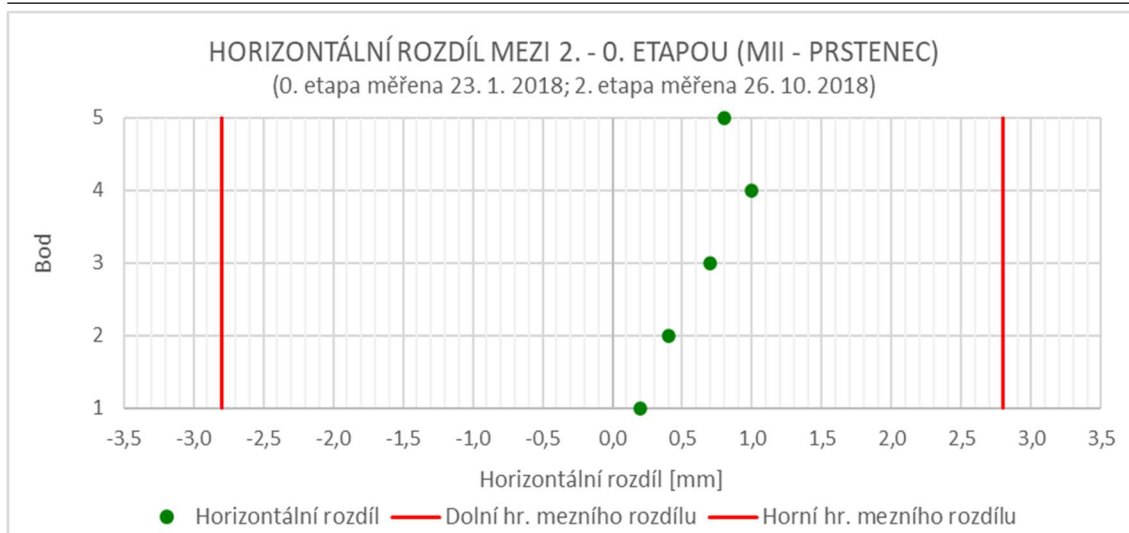
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.

Příloha 19: Grafy horizontálních rozdílů mezi nultou a danou etapou (MII)

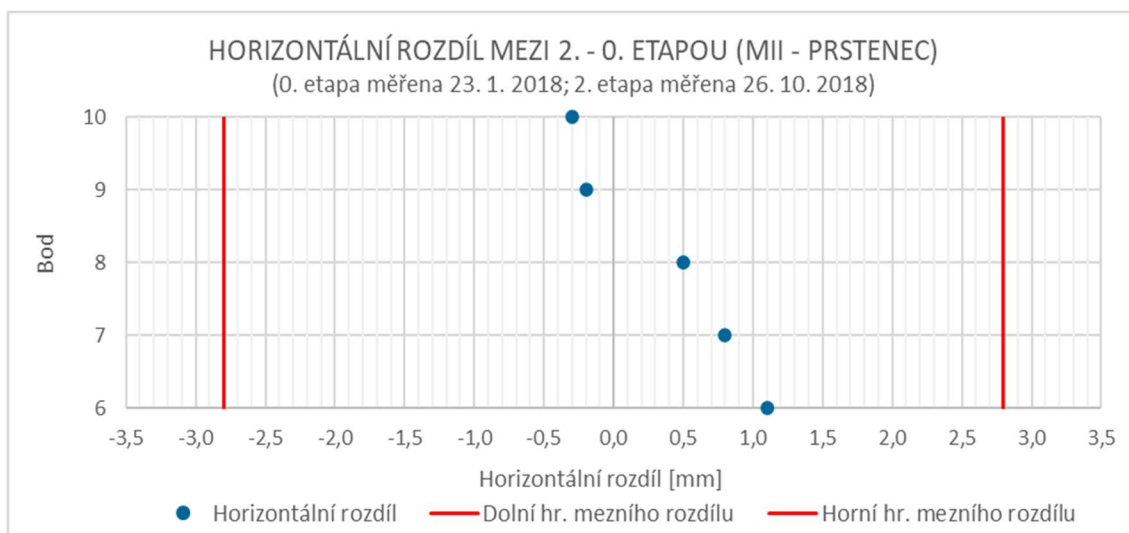
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



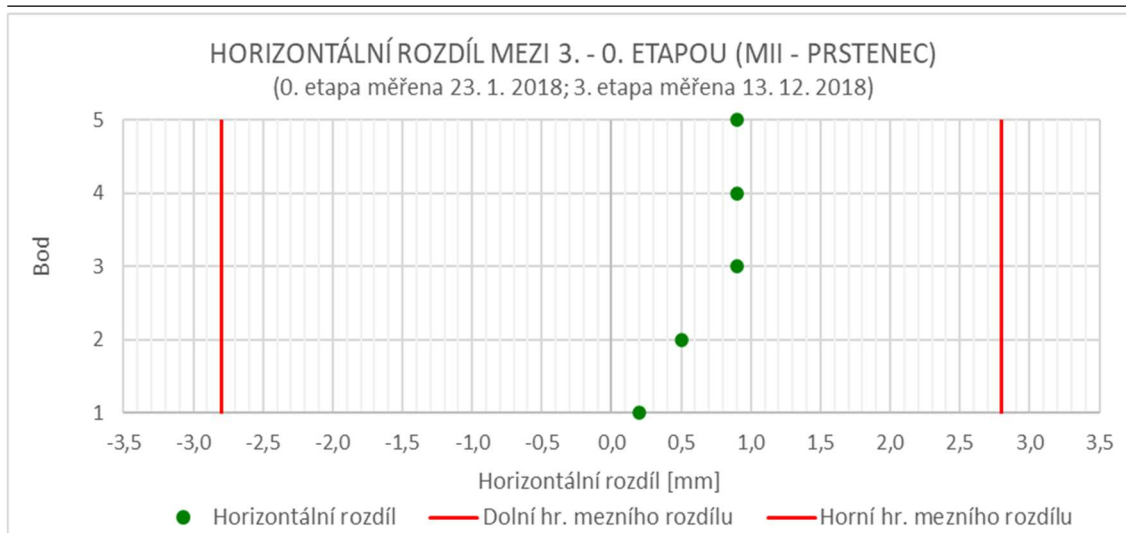
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



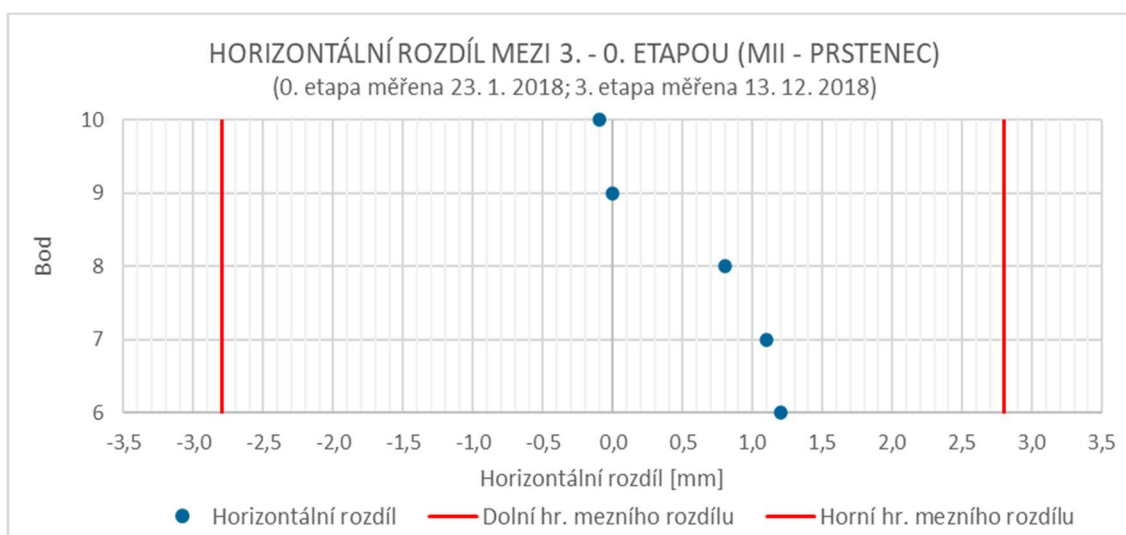
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



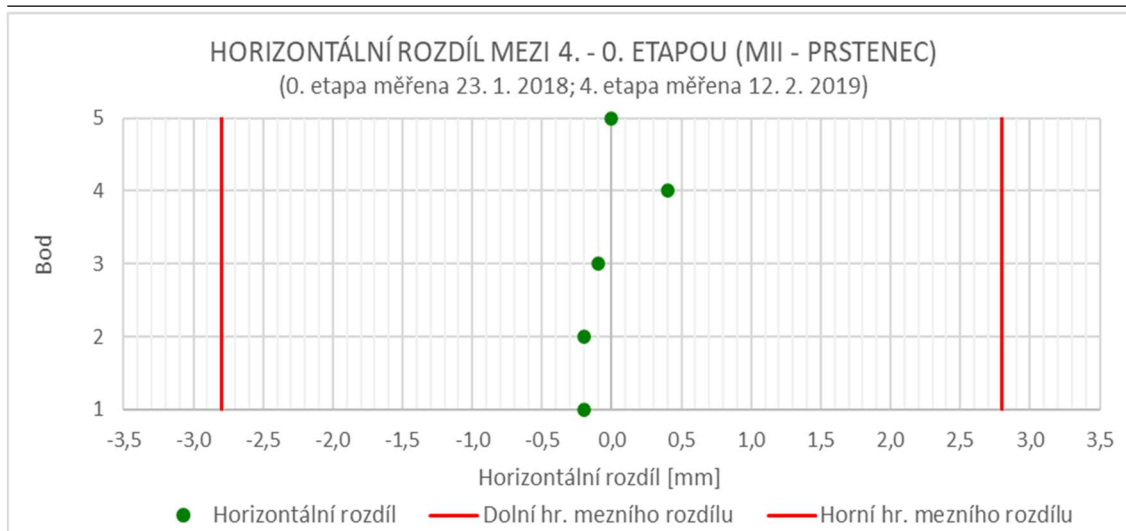
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



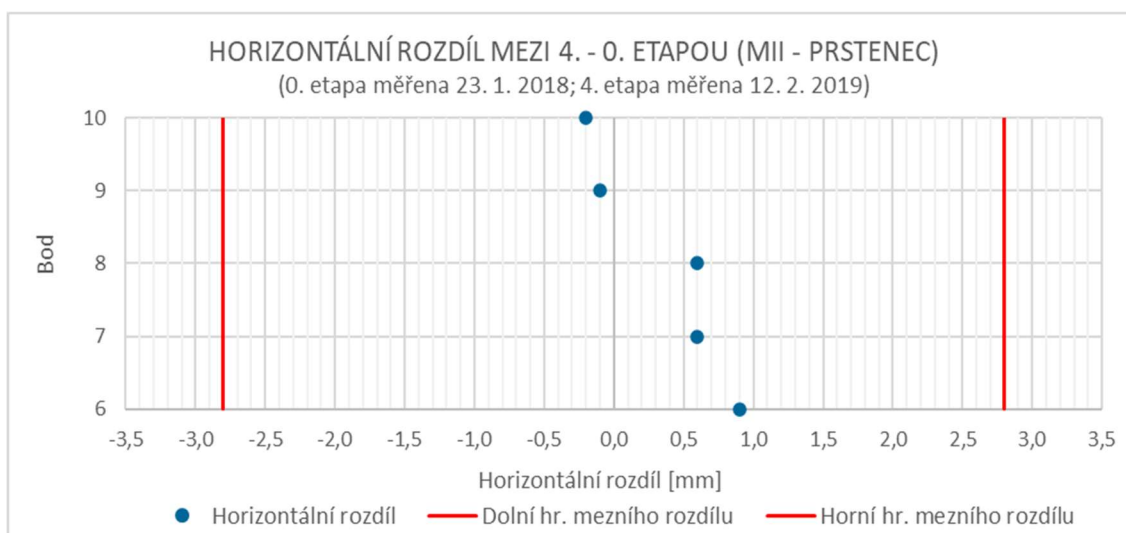
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



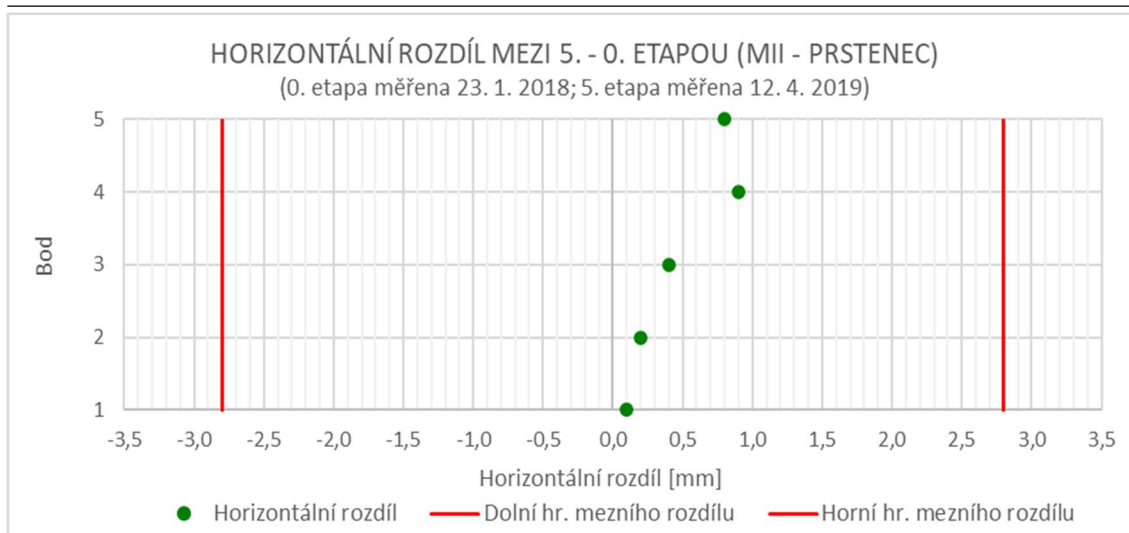
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



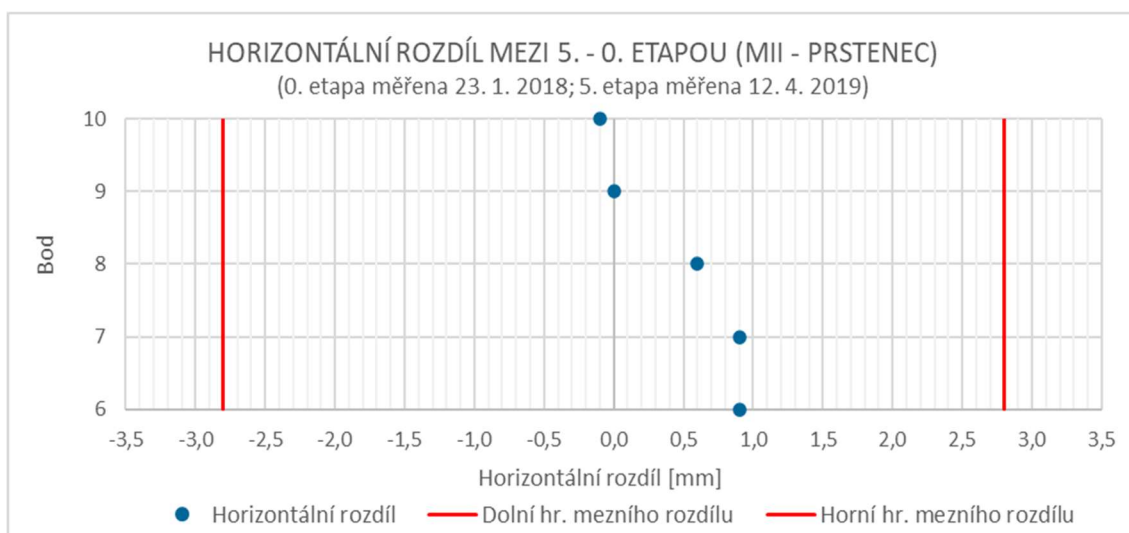
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



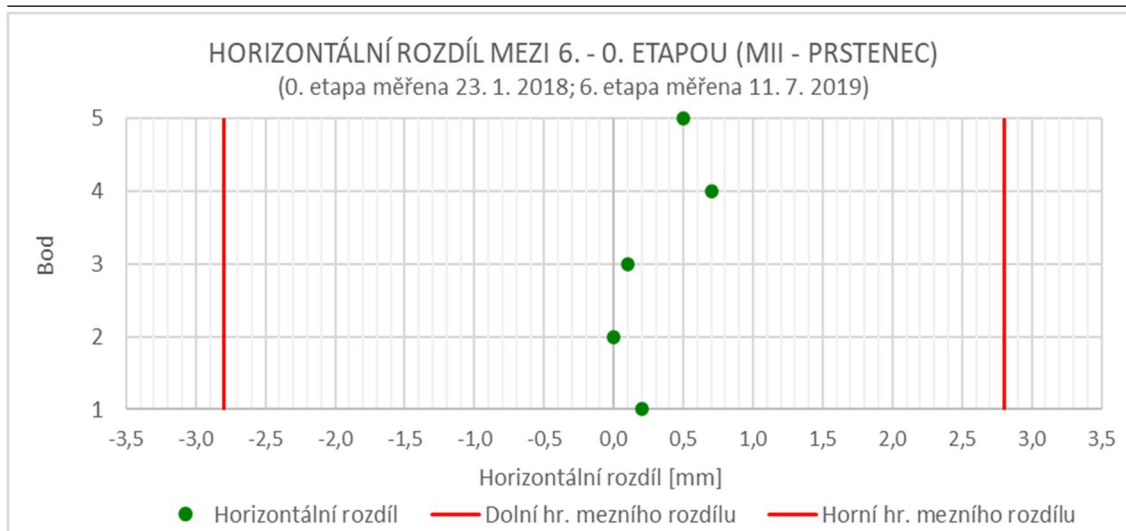
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



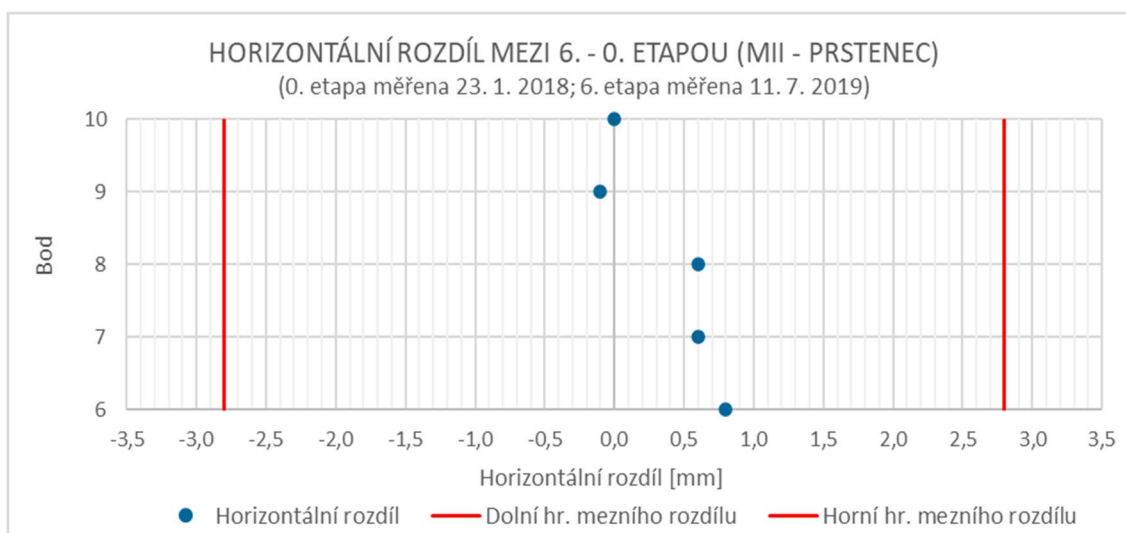
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



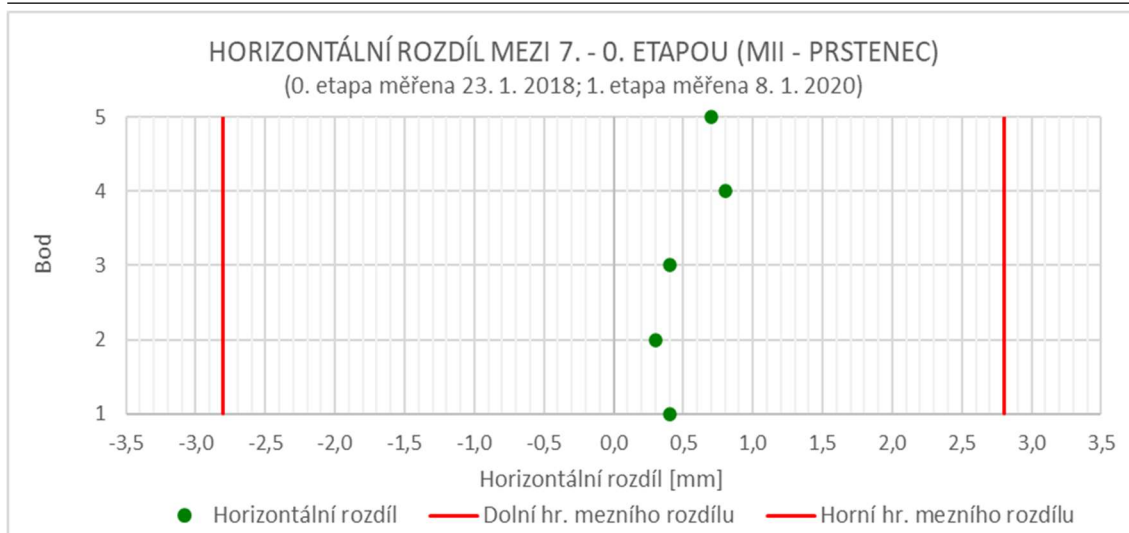
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



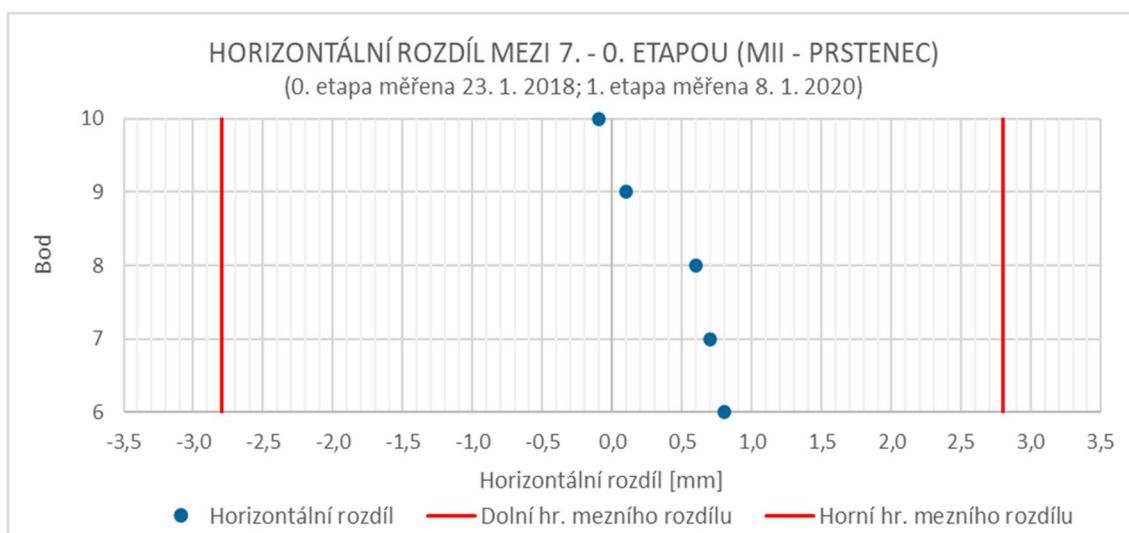
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



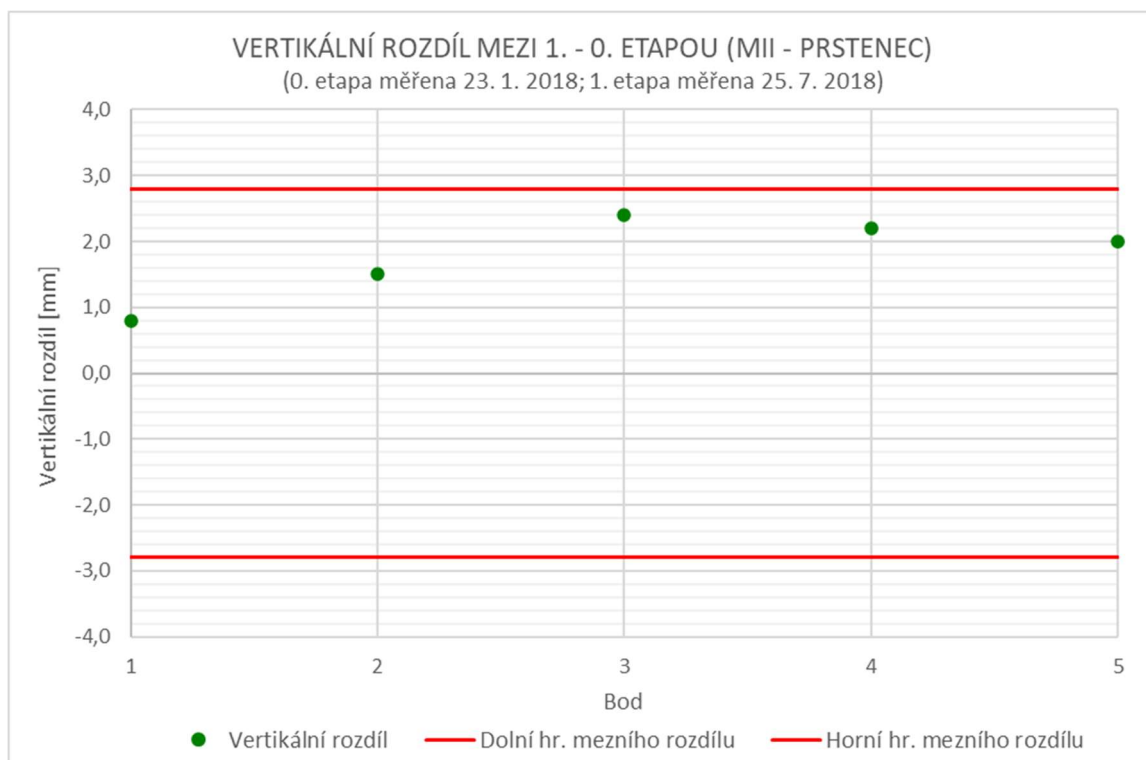
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



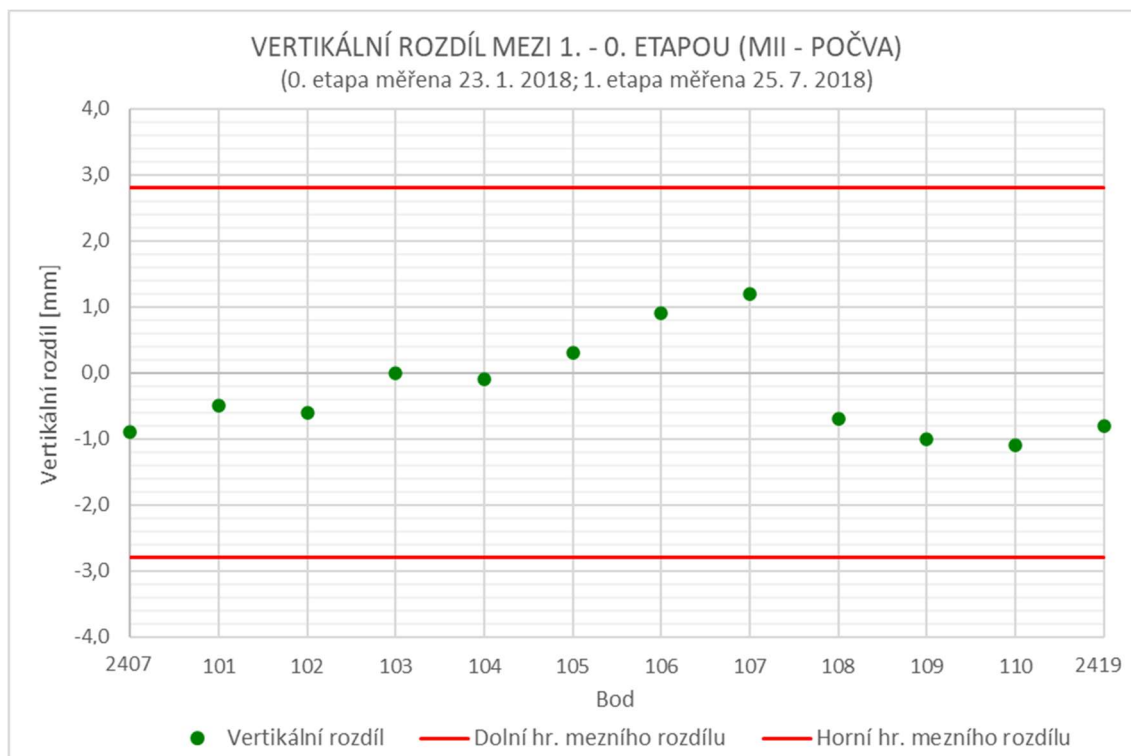
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.



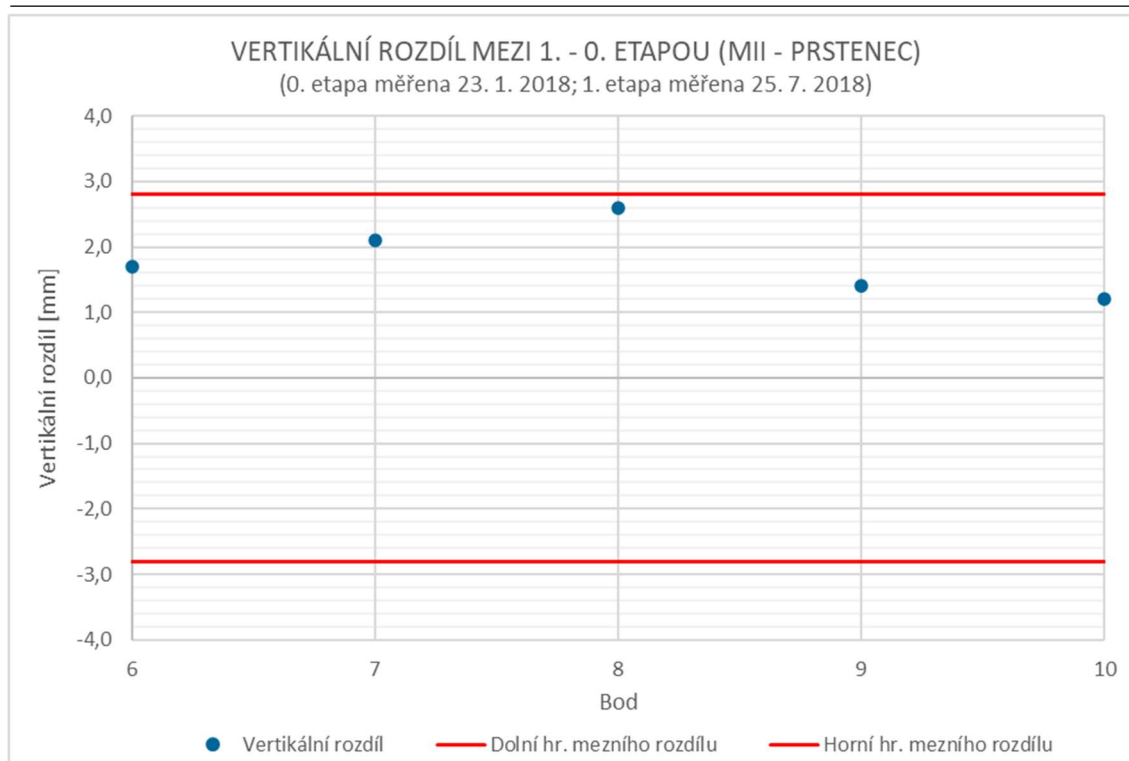
Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.

**Příloha 20: Grafy vertikálních rozdílů mezi nultou a danou etapou (MII)**

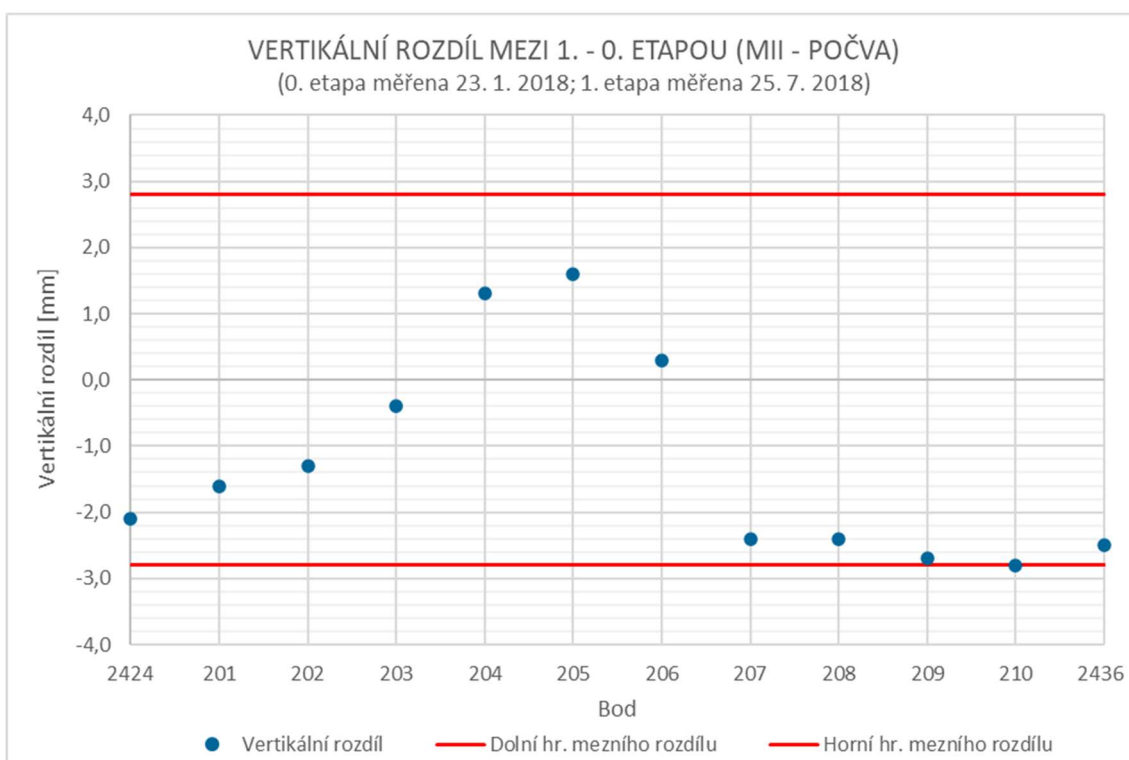
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



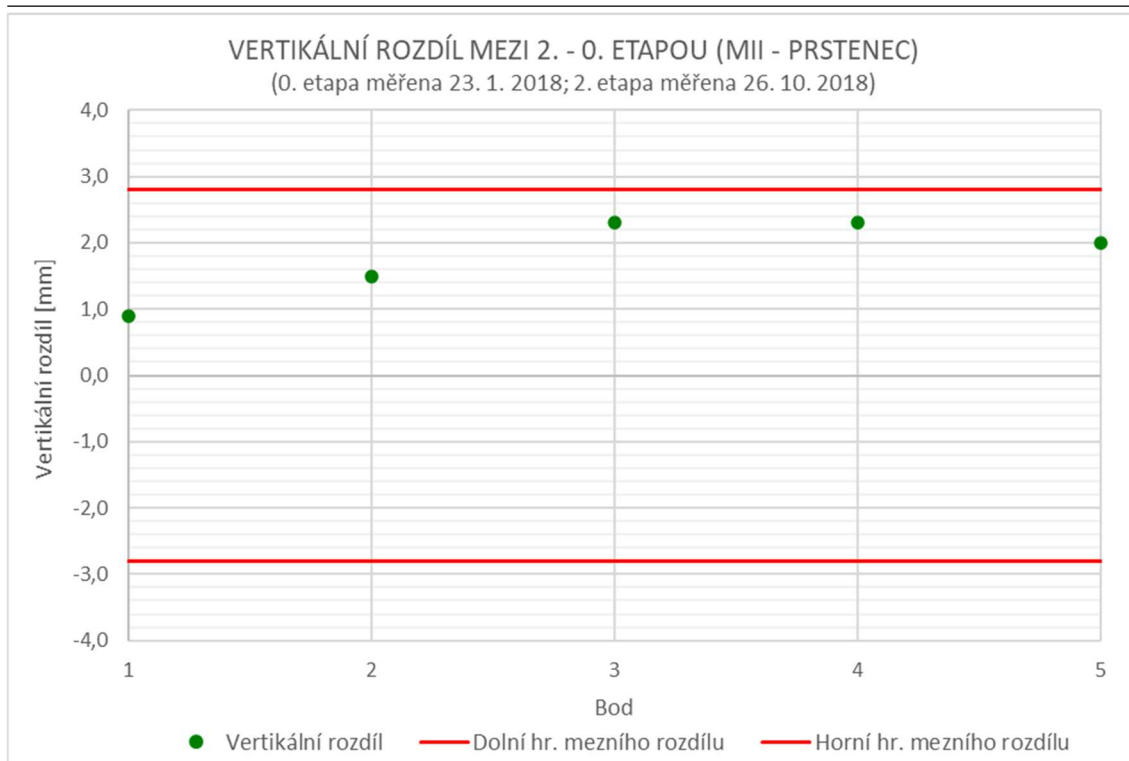
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



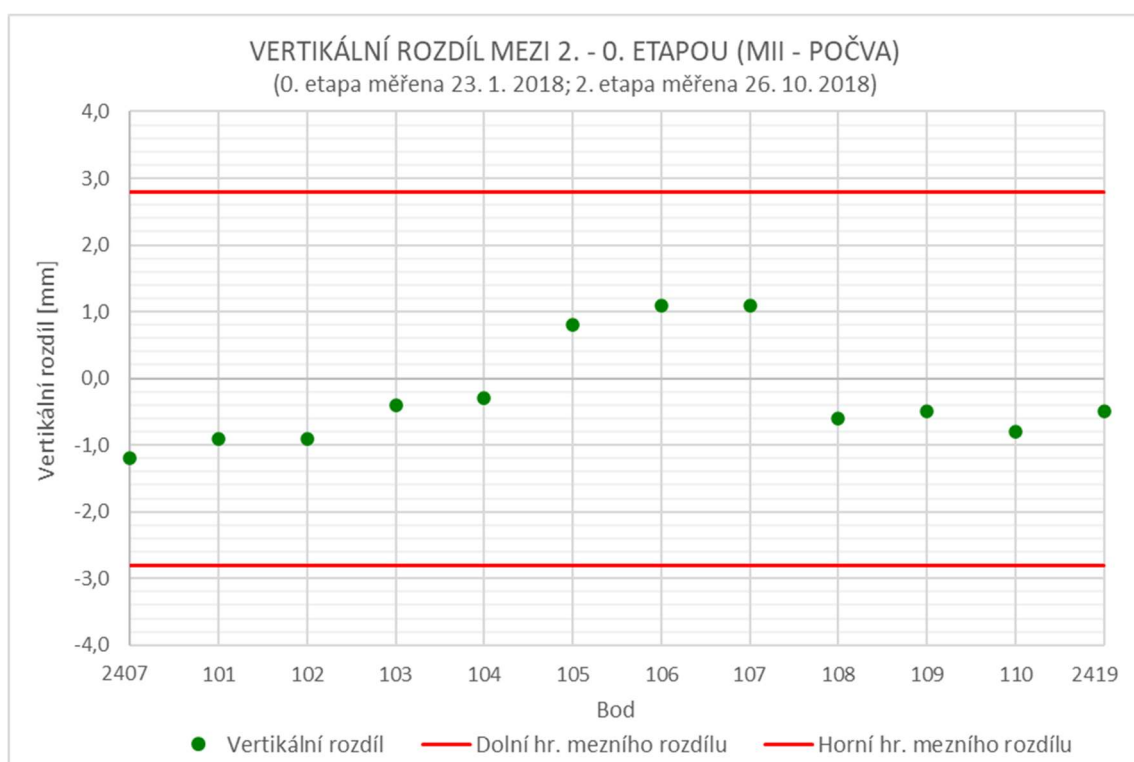
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



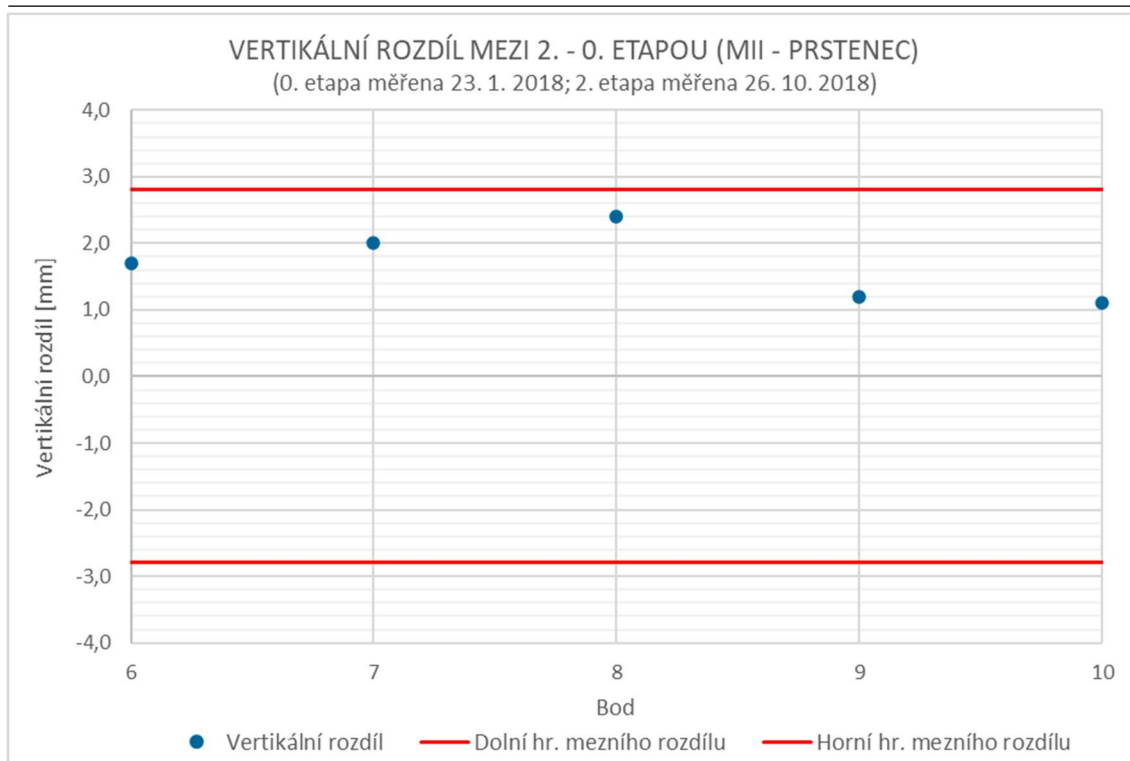
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



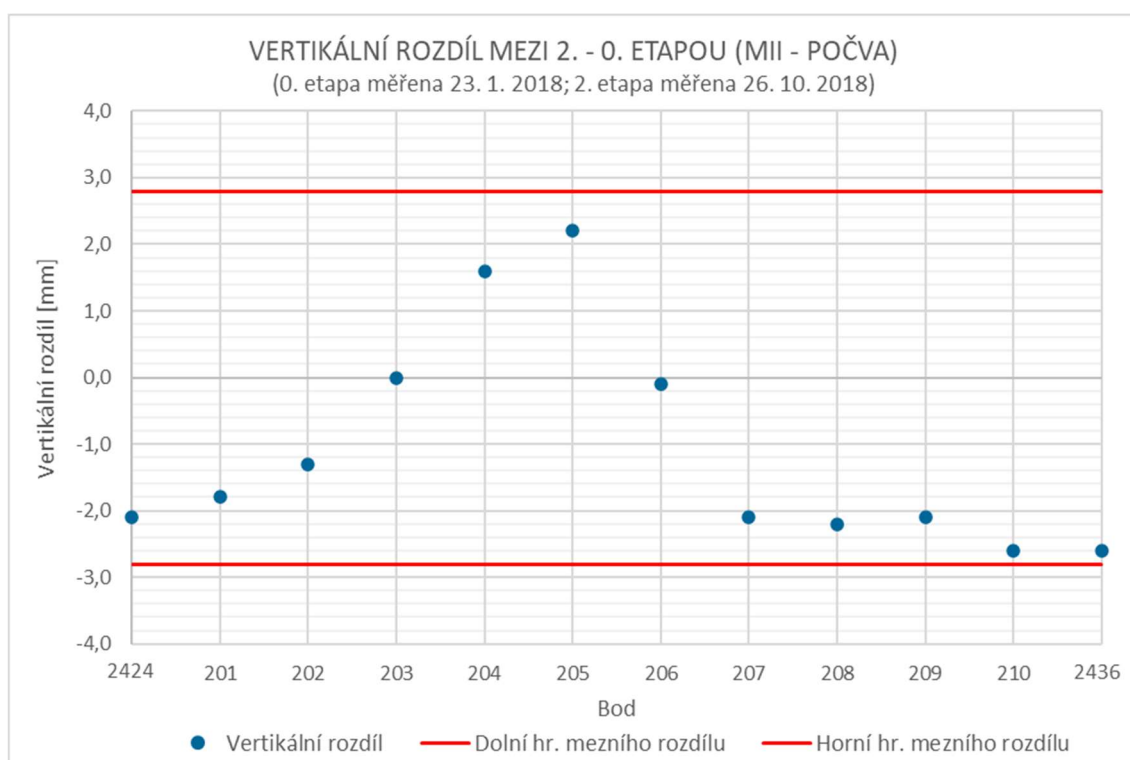
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



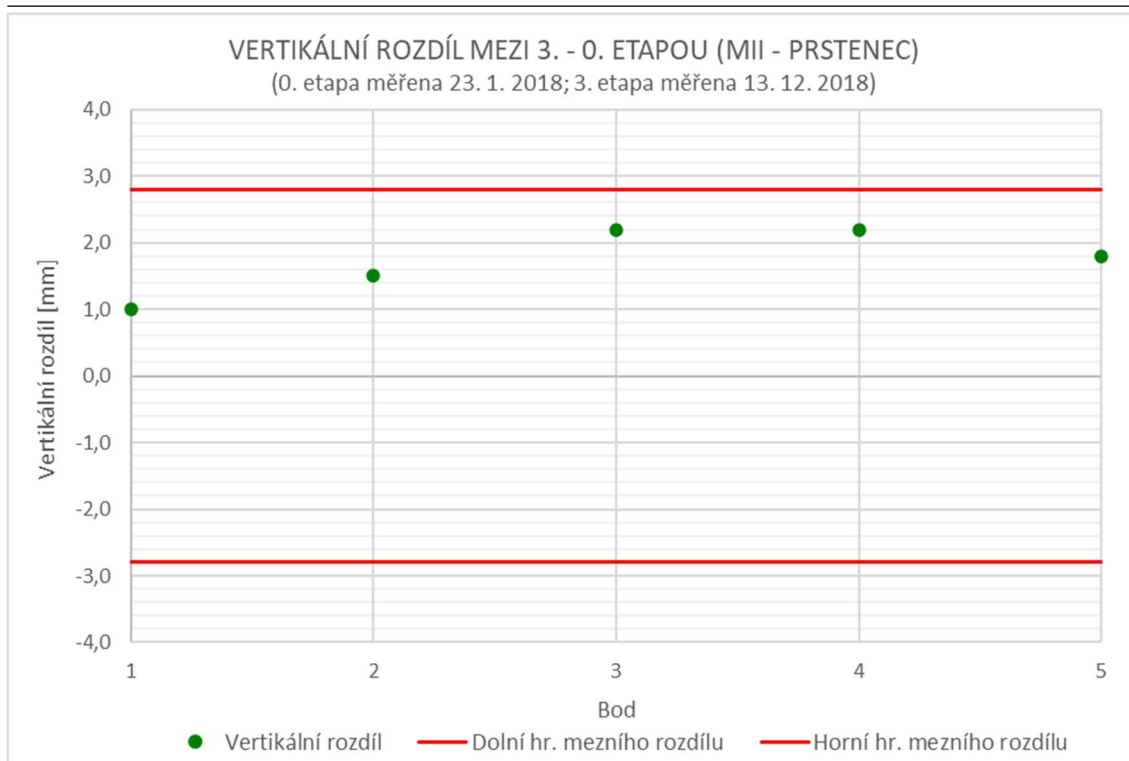
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



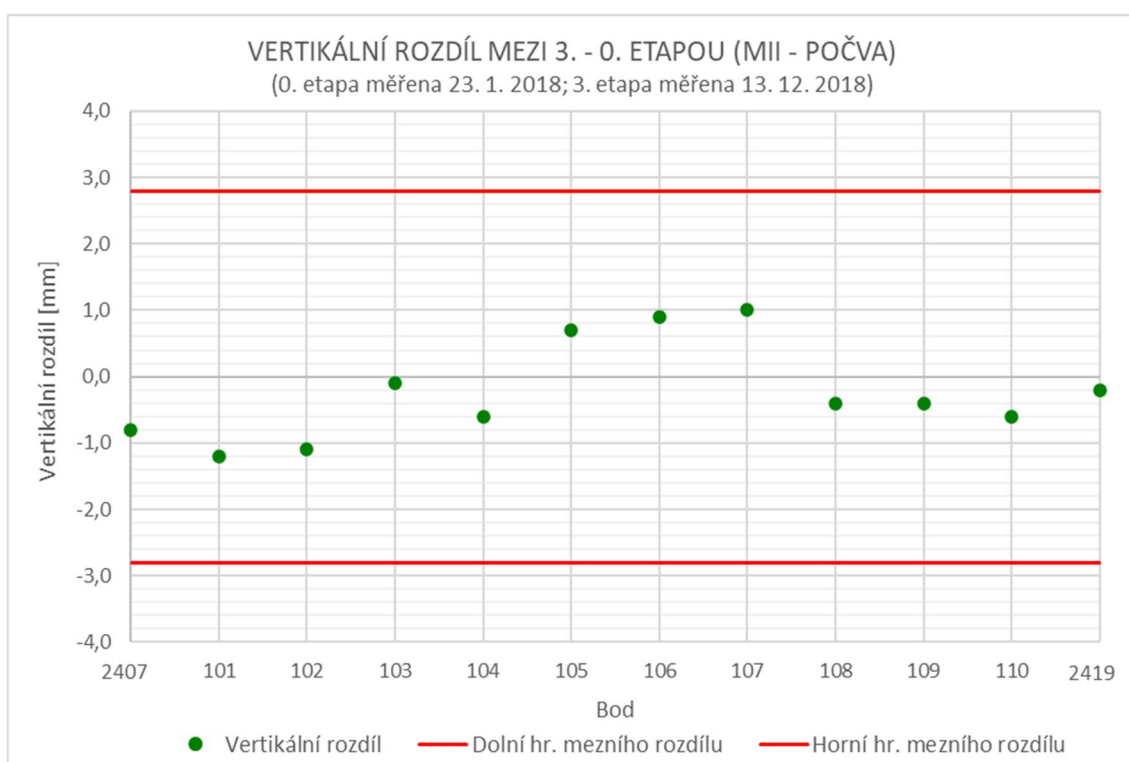
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



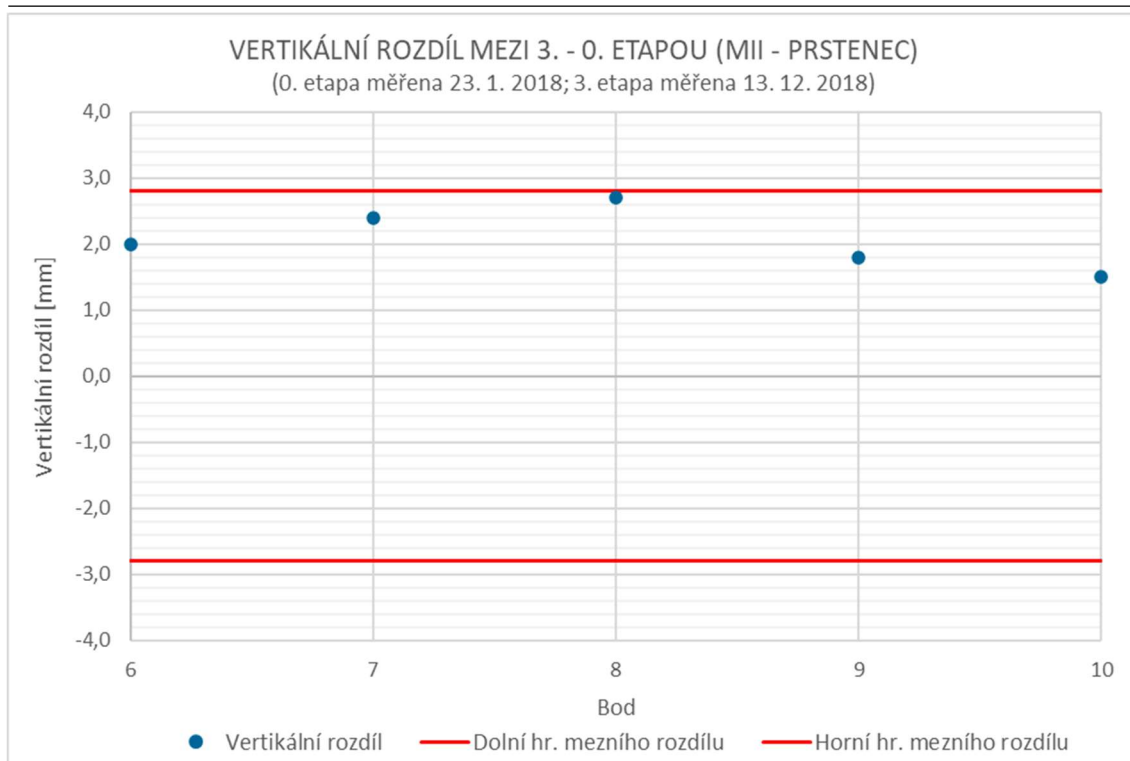
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



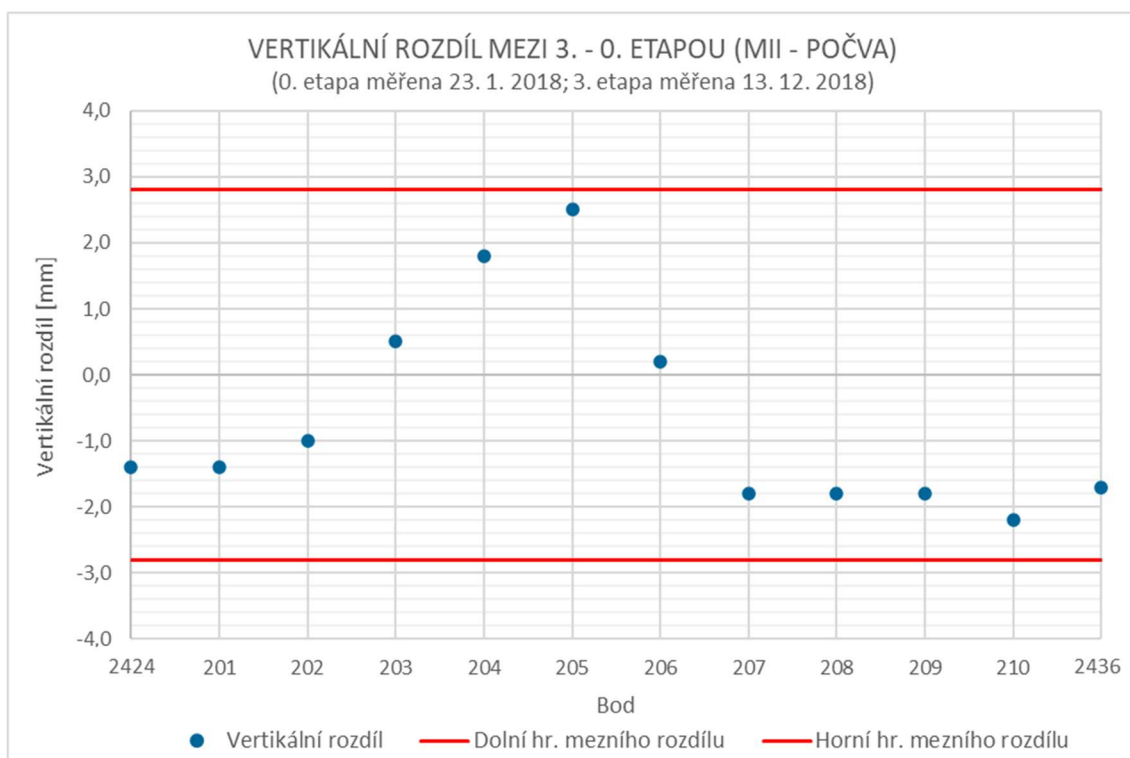
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



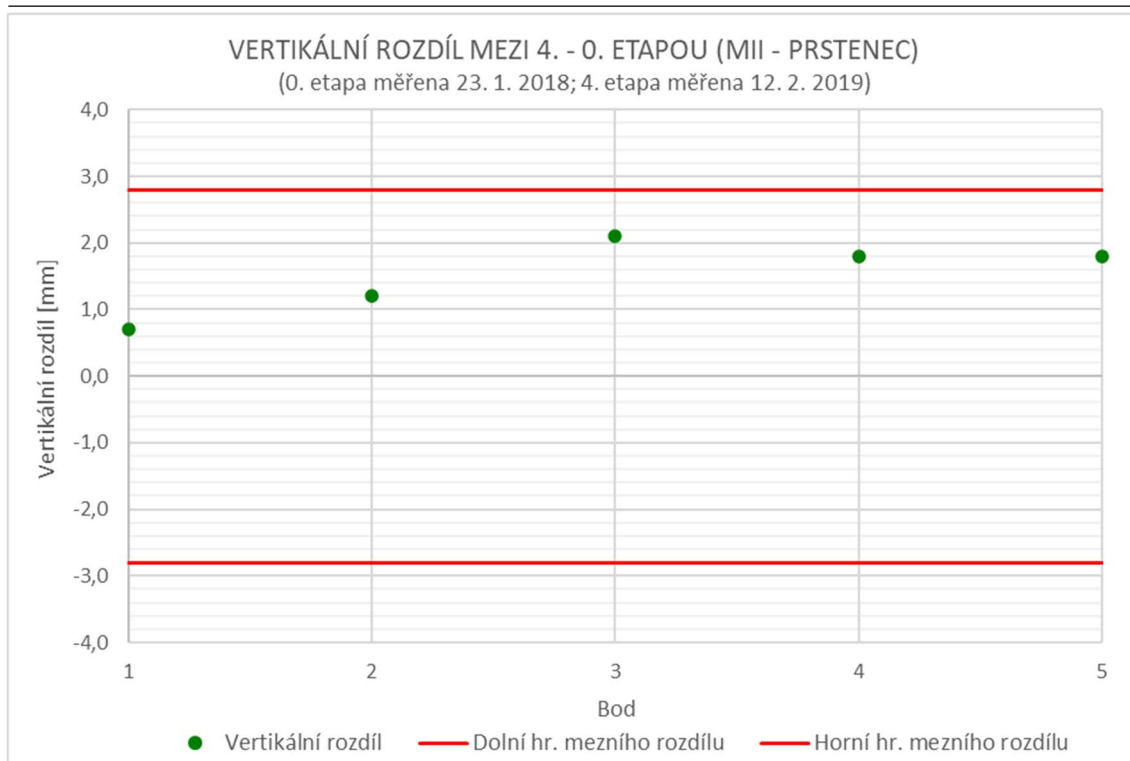
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



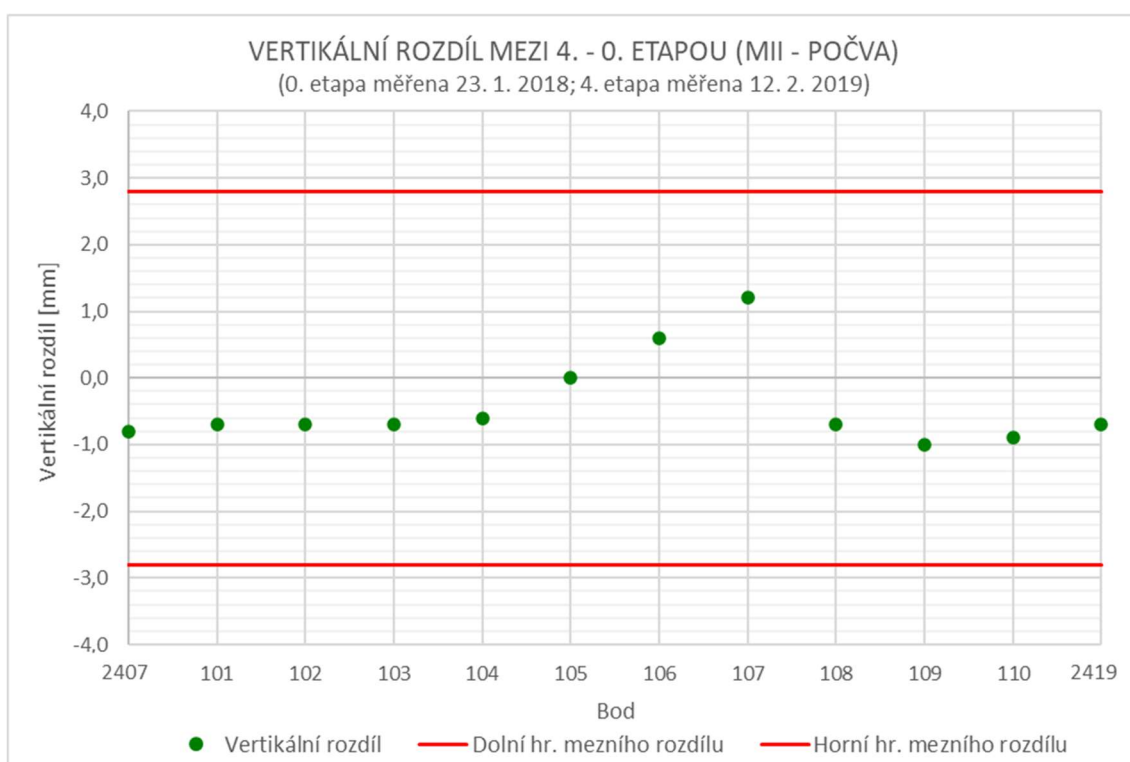
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



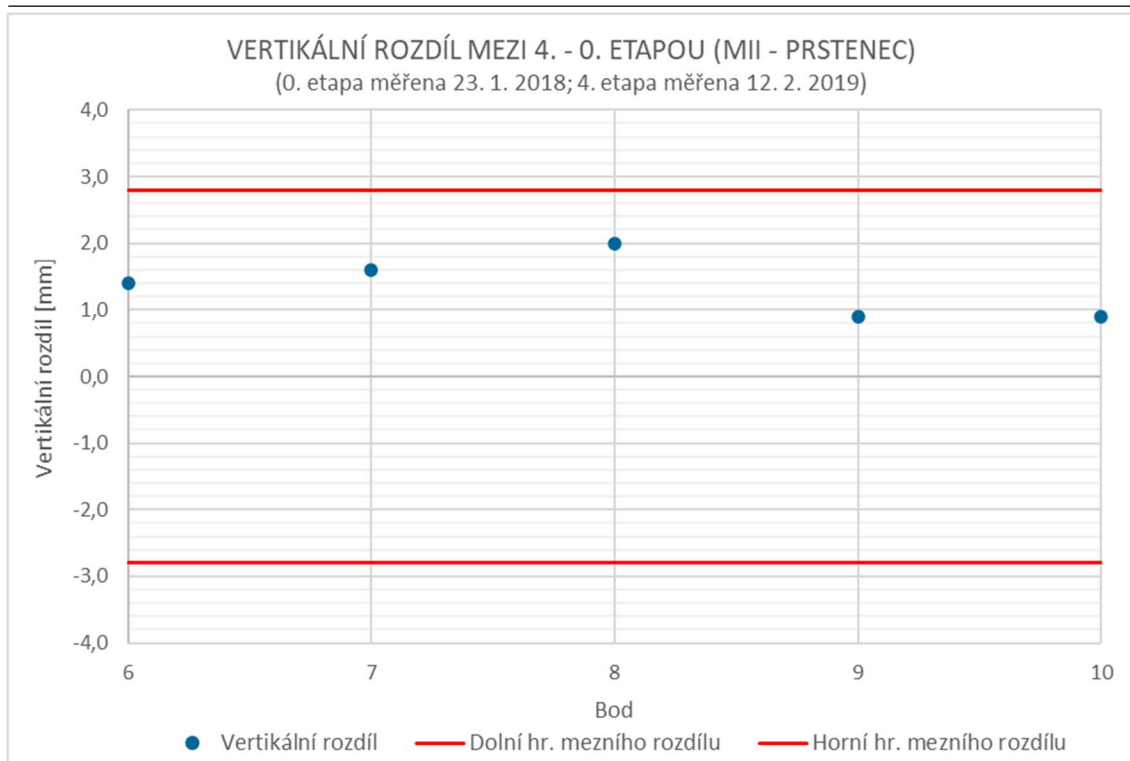
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



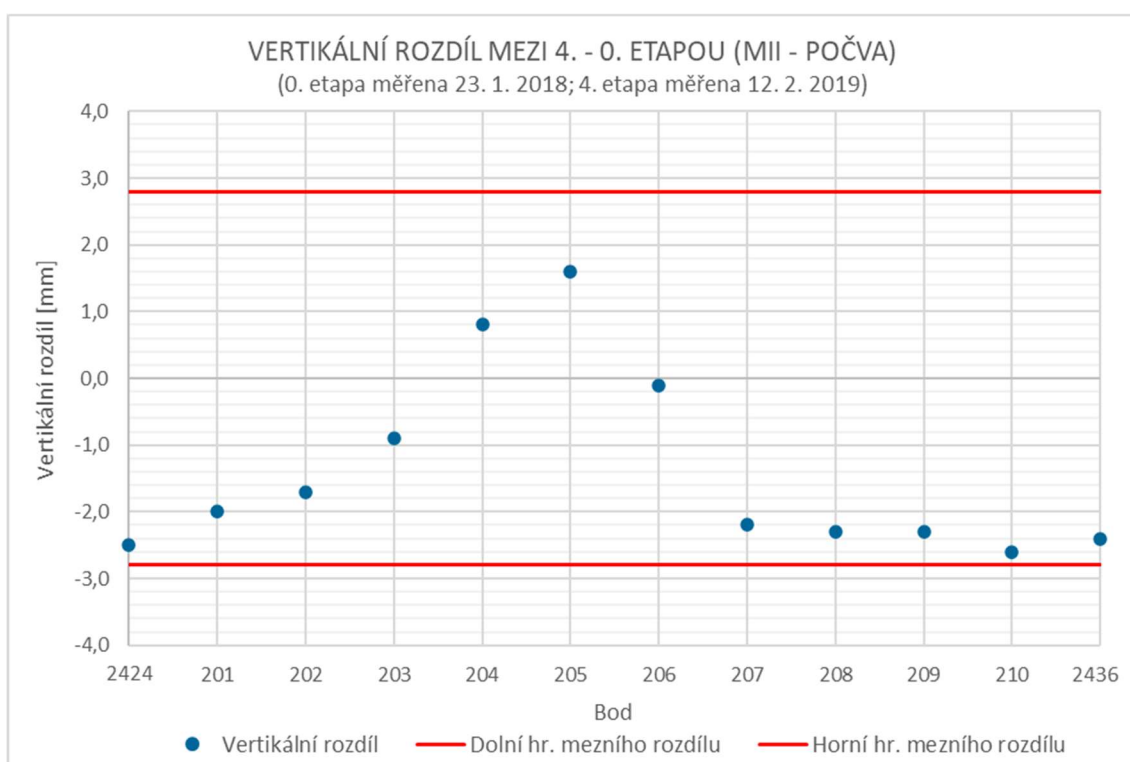
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



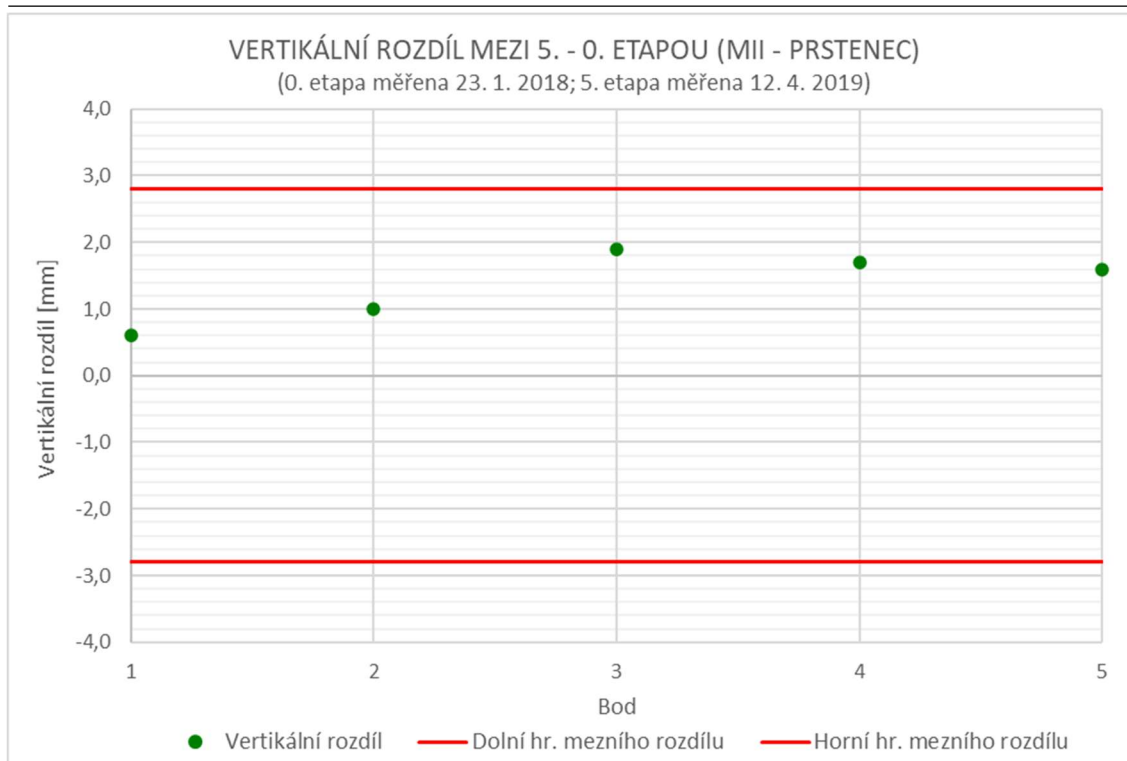
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



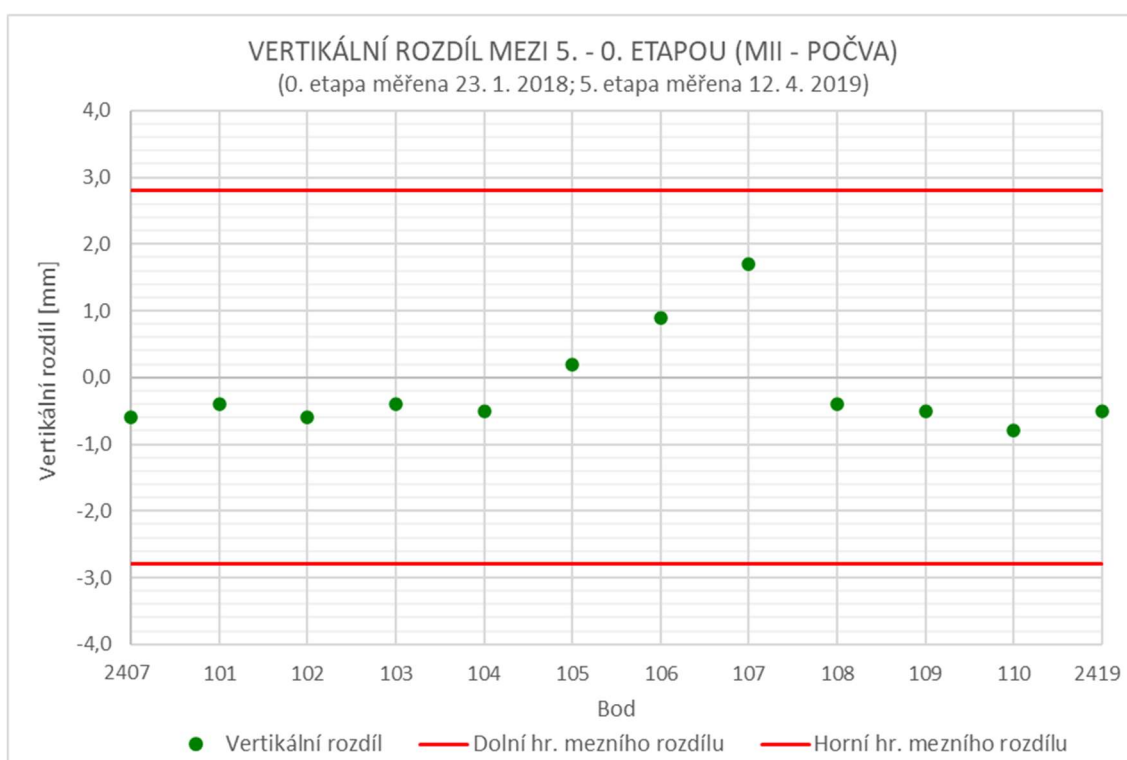
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



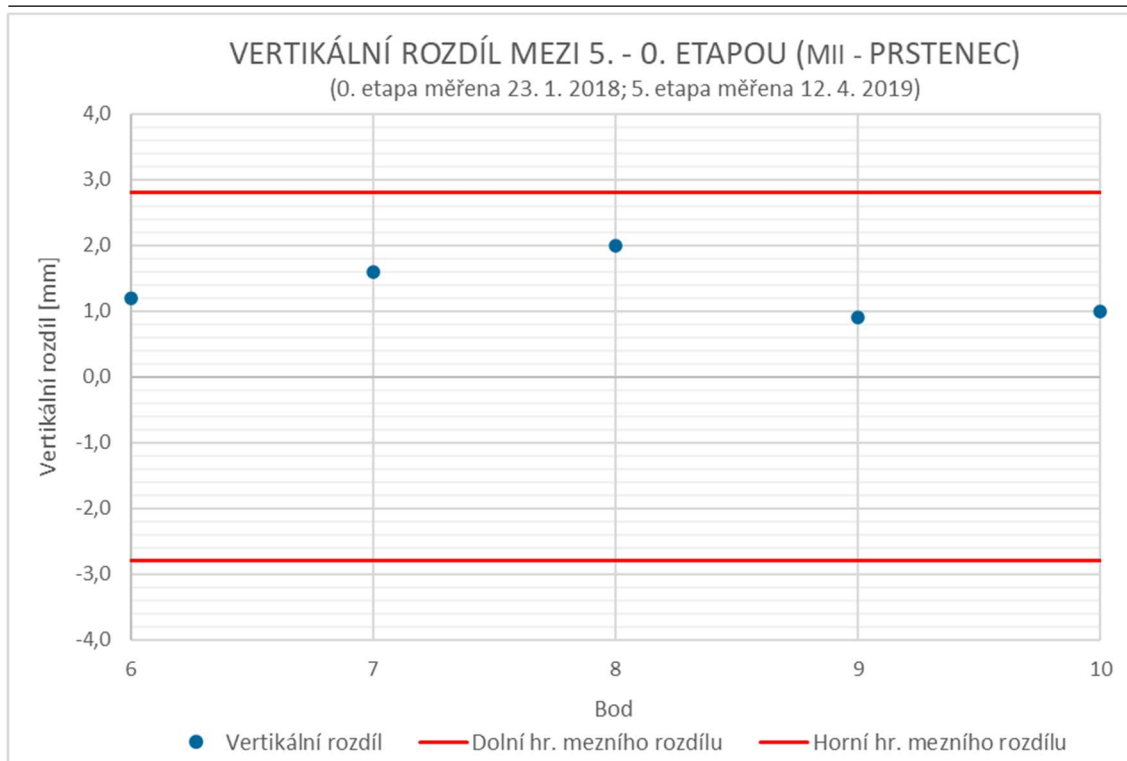
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



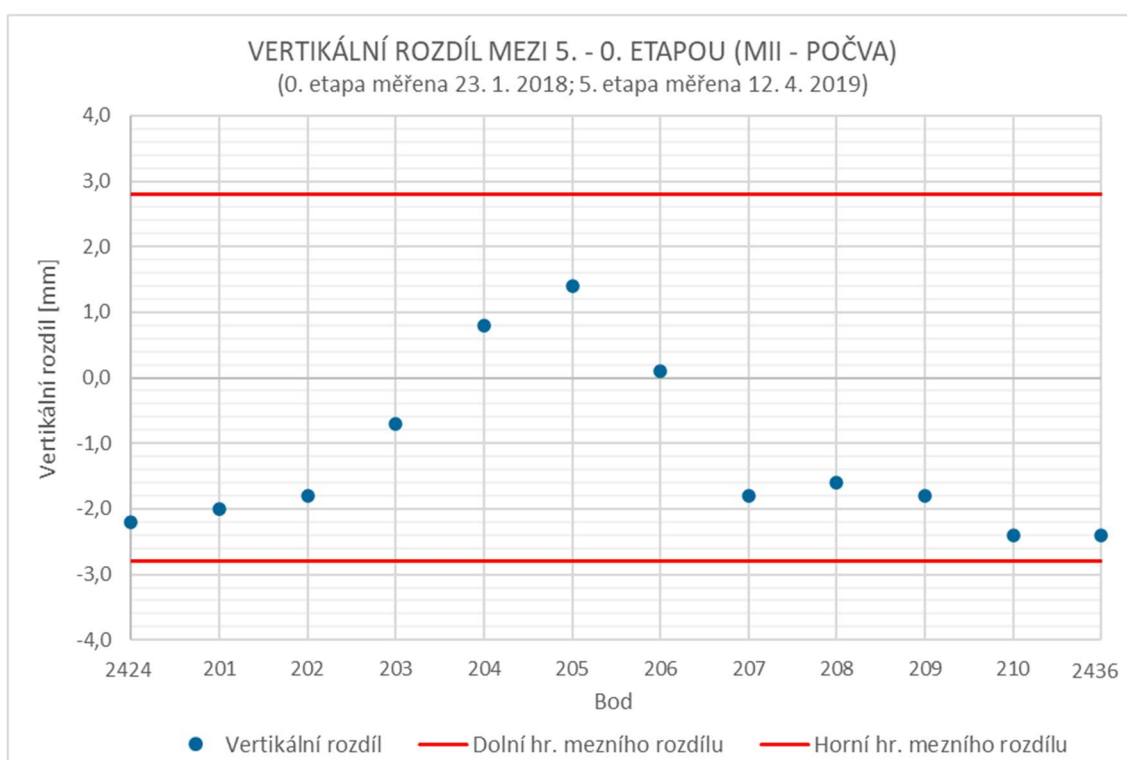
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



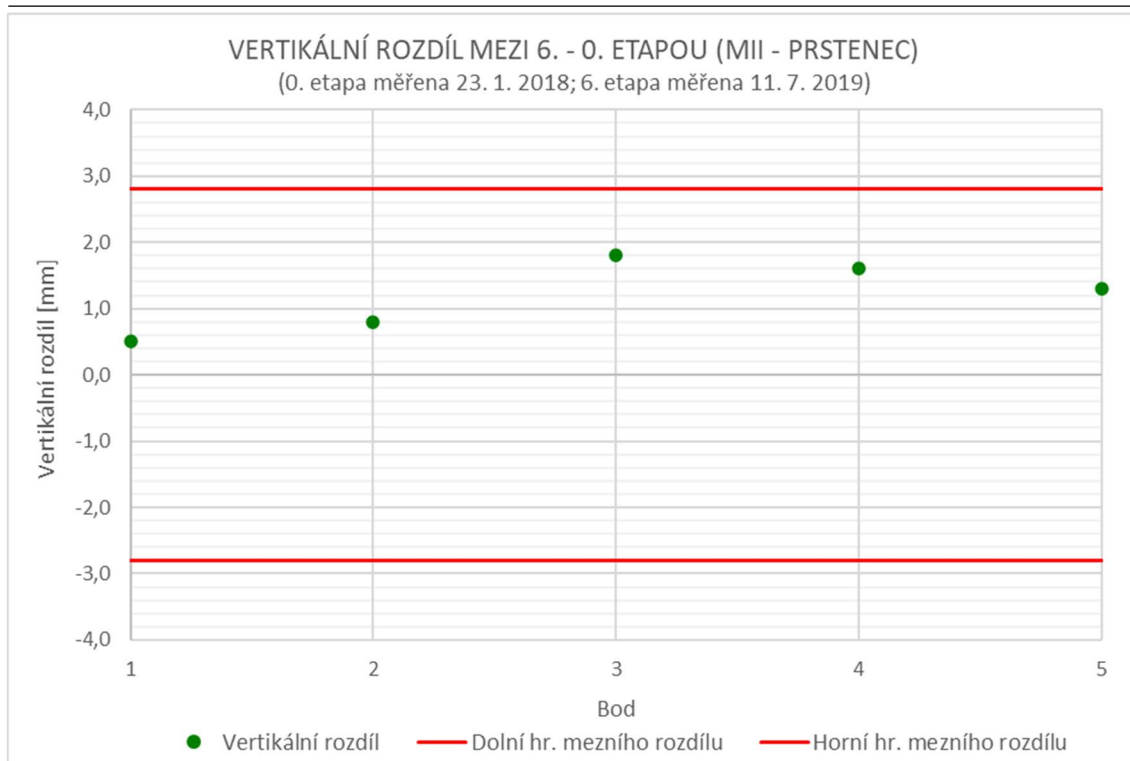
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



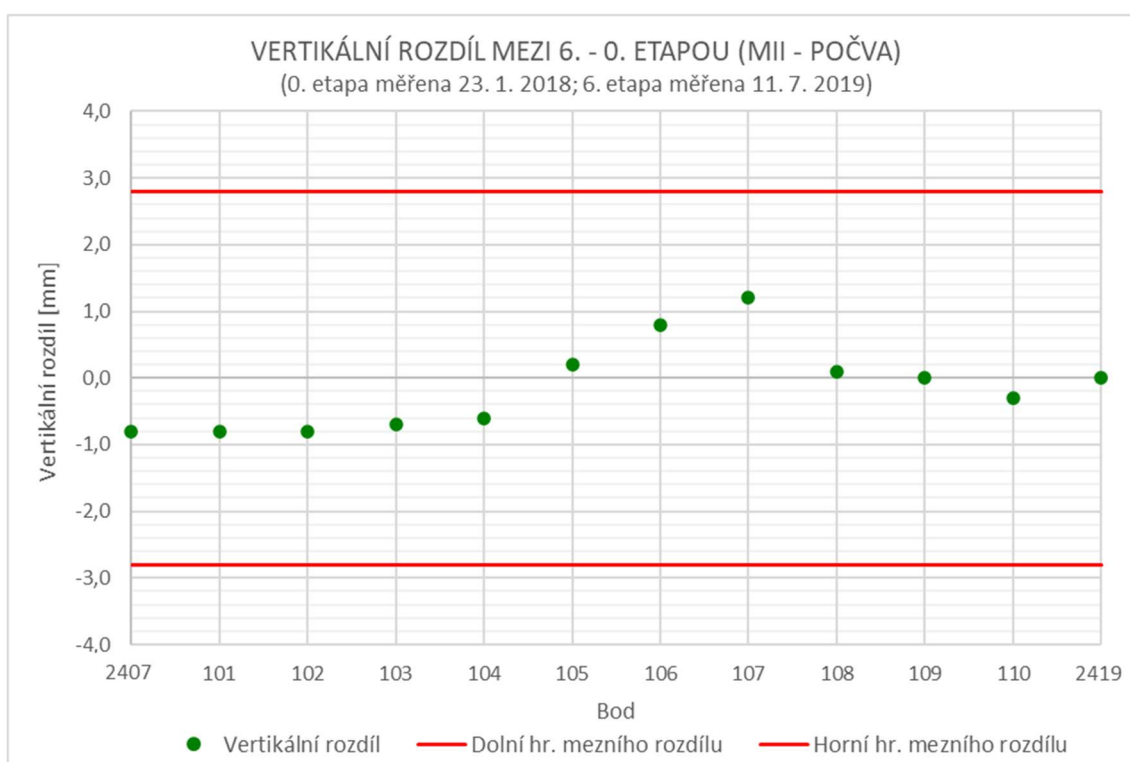
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



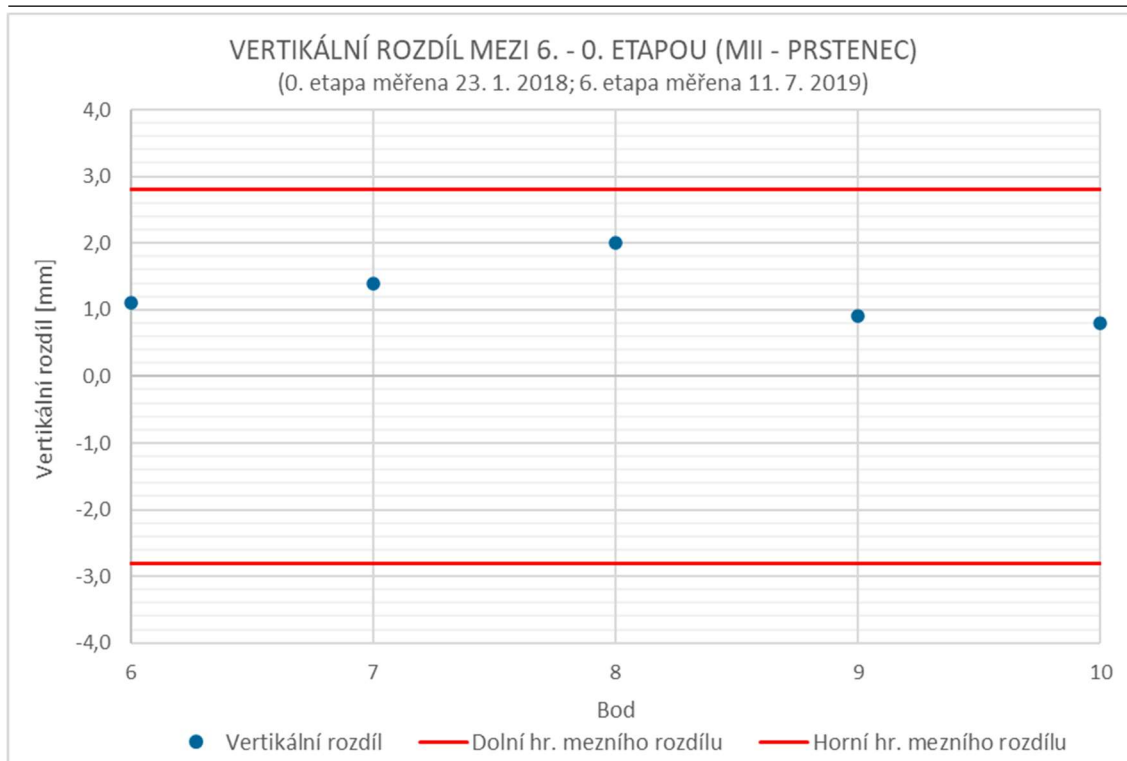
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



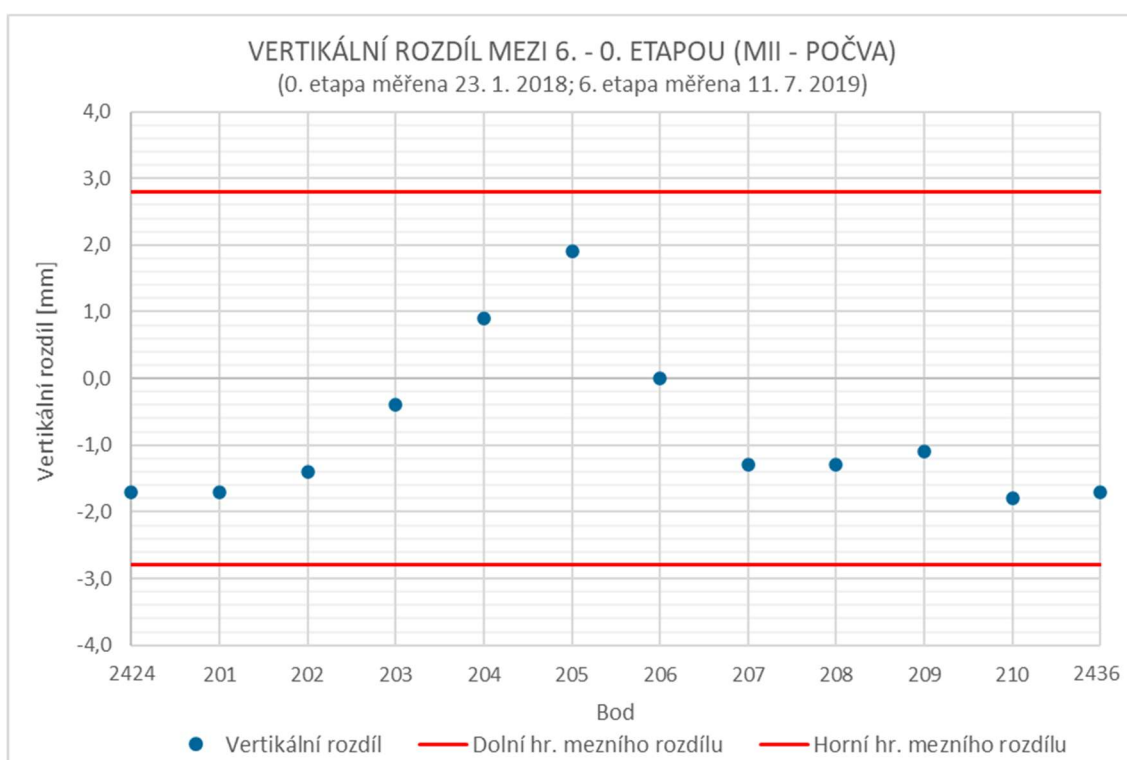
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



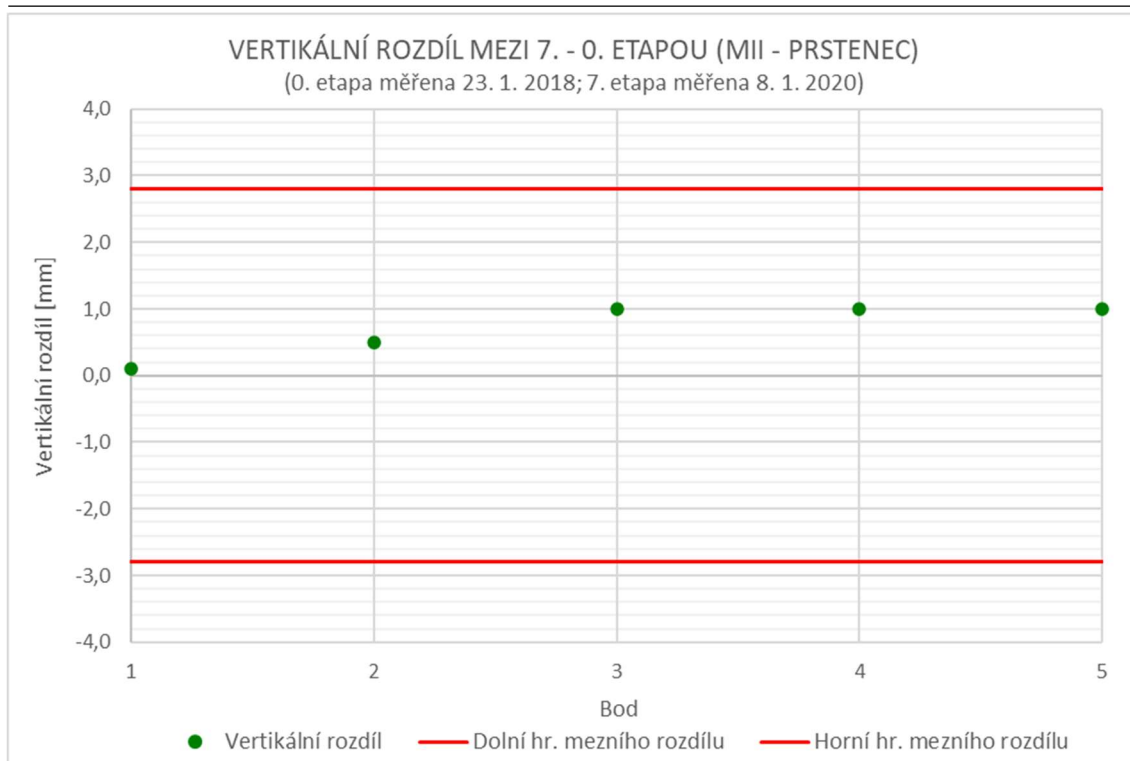
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



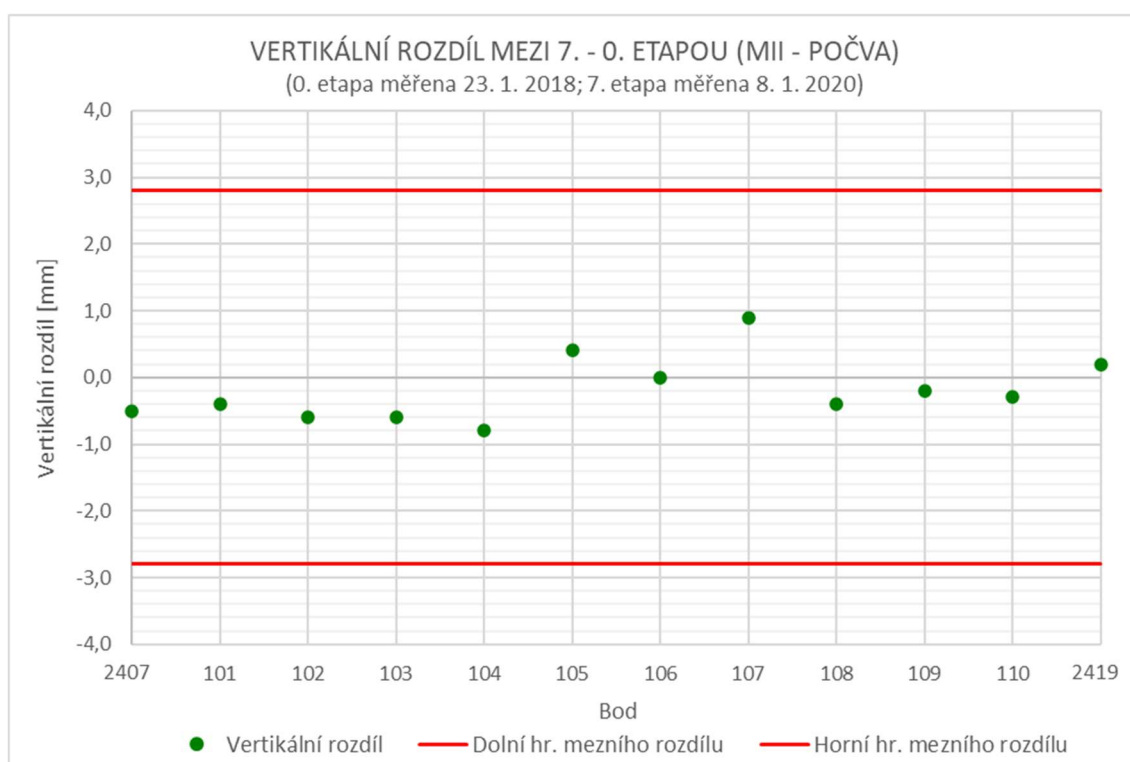
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



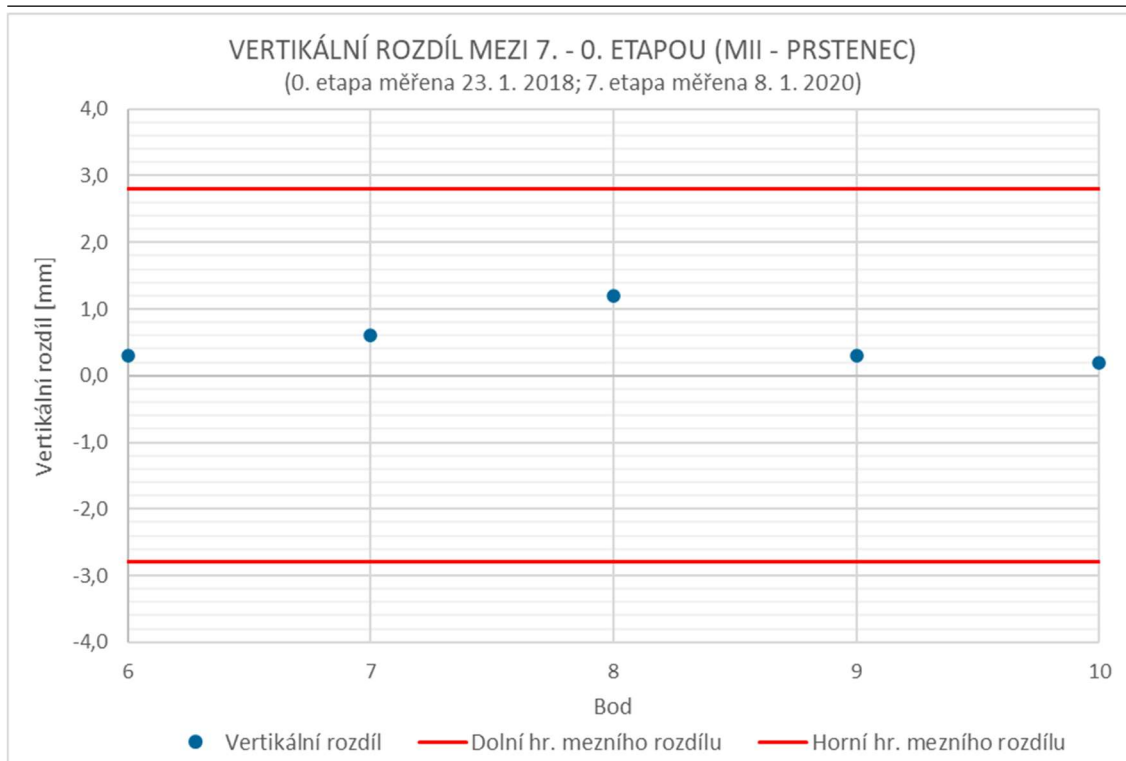
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



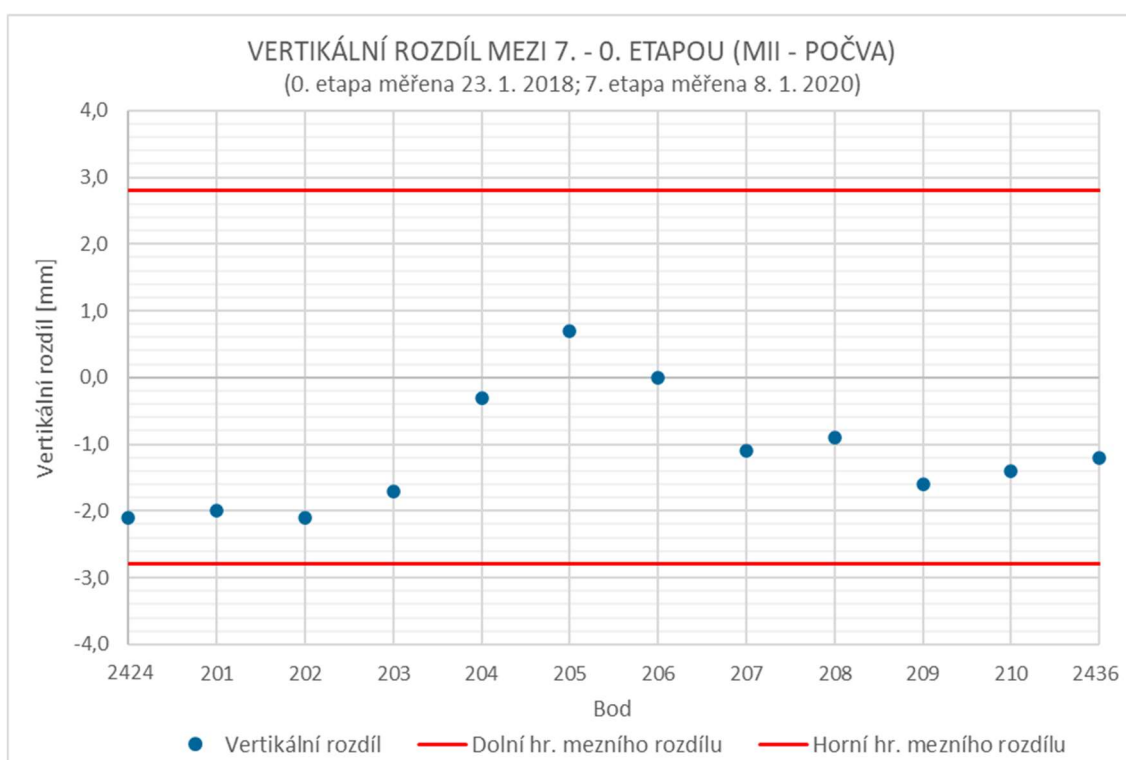
Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.



Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu.