



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

MĚŘENÍ SEDÁNÍ BYTOVÉHO DOMU

MEASURING THE SETTLEMENT OF AN APARTMENT BUILDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Veronika Haragová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Bureš, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav geodézie
Studentka: **Veronika Haragová**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Bureš, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23
Studijní program: B3646 Geodézie a kartografie
Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Měření sedání bytového domu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Podílejte se na zaměření svislých posunů a deformací bytového domu. Popište použitou metodu měření, zpracujte naměřená data, vyhodnoťte svislé posuny a jejich nejistoty. Interpretujte dosažené výsledky a graficky je vhodně znázorněte.

Cíle a výstupy bakalářské práce:

1. Podílení se na měřických pracích v terénu
2. Zpracování dat a vyhotovení potřebné dokumentace

Seznam doporučené literatury a podklady:

- [1] MICHALČÁK O., VOSIKA, O., VESELÝ, M, NOVÁK, Z. – Inženýrská geodézie I, Alfa a SNTL, 1985
- [2] KRUMPHANZL V., MICHALČÁK O. – Inženýrská geodézie II, Kartografia, n.p., Praha 1975
- [3] ANDĚL J. – Matematická statistika, SNTL, Praha 1978
- [4] BÖHM J., RADOUCH V., HAMPACHER M. – Teorie chyb a vyrovnávací počet, GKP Praha, 1990
- [5] BÖHM J., SVOBODA J. – Geometrická nivelace, SNTL Praha, 1960
- [6] BUREŠ, J.; ŠVÁBENSKÝ, O.; VITULA, A., Vybraná realizovaná technologická řešení speciálních inženýrsko-geodetických měření v oblasti zkušebnictví stavebních konstrukcí a materiálů., příspěvek na konferenci XII. International Scientific Conference - Geodesy and Cartography, ISBN 978-80-7204-629-4, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2009
- [7] URBAN, R. Geodetické práce při měření posunů a deformací stavebních objektů. ČVUT v Praze, 2015

[8] SEDLÁČEK S. – Programový systém GNET, uživatelská příručka , Brno 1996

[9] ČSN 73 0405 Měření posunů stavebních objektů

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 30. 11. 2022

L. S.

doc. Ing. Jiří Bureš, Ph.D.
vedoucí ústavu

doc. Ing. Jiří Bureš, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberá geodetickým zameraním a spracovaním preventívneho monitorovania zvislých posunov a deformácií bytového domu v Olomouci. Cieľom je zistenie miery nerovnomerného sadania budovy, ktorej podložie podľa geologického prieskumu vykazuje prítomnosť podzemnej vody. Meranie bolo vykonané metódou presnej nivelácie s využitím závesných kódových stupníc. Súčasťou riešenia bolo experimentálne meranie pre určenie rozdielu počiatkov stupníc a určenie presnosti čítania na použitých závesných stupniciach a vplyv dĺžky zábery na presnosť čítania na stupnici. Bakalárska práca celkovo spracováva päť etáp zameraných v časovom období od 4/2021 do 4/2023. Výsledkom tejto práce sú hodnoty zistených zvislých posunov bodov v jednotlivých etapách vzhľadom k počiatkovej etape. Výsledky sú graficky interpretované v súvislostiach geofyzikálneho prieskumu.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

geodetické meranie posunov a deformácií, presná nivelácia, etapové meranie, vyrovnanie, farebná hypsometria, Leica DNA03

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with the geodetic survey and processing of preventive monitoring of vertical displacements and deformations of an apartment building located in Olomouc, Czechia. The main goal is to determine the degree of uneven settlement of a building whose subsoil, according to a geological survey, shows the presence of groundwater. The measurement was carried out by the method of precise leveling using hanging code scales. Part of the solution was an experimental measurement to determine the difference of origins of the scales and to determine the accuracy of the reading on the used hanging scales and the effect of the length of sight on the accuracy of the reading on the scale. In total, the bachelor's thesis processes five stages measured in a time interval from 4/2021 to 4/2023. The results of this work are values of detected vertical displacements of points in individual stages with respect to the initial stage. Results are graphically interpreted in the context of the geophysical survey.

KEYWORDS

geodetic measurement of displacements and deformation, precise leveling, epoch measurement, adjustment, color hypsometry, Leica DNA03

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HARAGOVÁ, Veronika. *Měření sedání bytového domu*. Brno, 2023. 67 s., 7 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie.
Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Bureš, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Měření sedání bytového domu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 25. 5. 2023

Veronika Haragová

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Měření sedání bytového domu* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2023

Veronika Haragová

autor práce

POĎAKOVANIE

Predovšetkým by som chcela touto cestou poďakovať vedúcemu mojej bakalárskej práce doc. Ing. Jiřímu Burešovi Ph.D. za množstvo cenných rád, poznatkov a pripomienok v priebehu spracovávanía záverečnej práce. Taktiež veľké ďakujem patrí mojej rodine a priateľovi, že pri mne v priebehu celého bakalárskeho štúdia stáli a podporovali ma.

Obsah

Úvod	10
1 Problematika merania zvislých posunov	11
1.1 Názvoslovie posunov a pretvorenia stavieb	12
1.2 Metódy merania zvislých posunov	13
1.3 Výpočet výšok MNŠ	16
1.4 Spôsob vyhodnotenia posunov	19
2 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky	21
3 Meranie deformácií stavebného objektu	24
3.1 Popis objektu	24
3.2 Geofyzikálny prieskum stability podložia	25
3.3 Schéma rozmiestnenia meračských značiek	27
3.4 Použitá metóda merania	28
3.5 Použitý prístroj a meradlá	29
3.6 Špecifikácia výstupného formátu	31
3.7 Experimentálne merania	32
3.7.1 Experimentálne meranie pre určenie rozdielu počiatkov závesných stupníc	32
3.7.2 Experimentálne určenie presnosti čítania na použitých závesných stupniciach	34
3.7.3 Experiment vplyvu dĺžky zámary na presnosť čítania na stupnici	34
3.7.4 Analýza presnosti medzi závesnou stupnicou a laťou	36
3.8 Skúška zámernej osi	38
3.9 Postup pri realizácii merania a spracovania	40
3.10 Kontrola vnútornej presnosti	41
4 Spracovanie nameraných dát	43
4.1 Konverzia dát	43
4.2 Výpočet výšok MNŠ	44
4.3 Analýza vstupnej presnosti do MNŠ	47
4.4 Voľba východiskového bodu	48
5 Výsledky a zhodnotenie	51
5.1 Vyhodnotenie rozdielu výšok medzi etapami 1 (10/2021) a 0 (4/2021)	52

5.2	Vyhodnotenie rozdielu výšok medzi etapami 2 (3/2022) a 0 (4/2021)	53
5.3	Vyhodnotenie rozdielu výšok medzi etapami 3 (11/2022) a 0 (4/2021)	54
5.4	Vyhodnotenie rozdielu výšok medzi etapami 4 (4/2023 a 0 (4/2021)	55
5.5	Grafická interpretácia	55
5.6	Interpretácia výsledkov v súvislostiach s geofyzikálnym prieskumom	58
Záver		60
Literatúra		61
Zoznam obrázkov		63
Zoznam tabuliek		65
Zoznam symbolov a skratiek		66
Zoznam príloh		67
A	Použitý skript na prekonvertovanie nameraných dát	68
B	Protokol o výškovom vyrovnaní siete	70

Úvod

Cielom tejto bakalárskej práce je geodetické zameranie etáp monitoringu stavebného objektu nachádzajúceho sa v Olomouci a následné číselné a grafické vyhodnotenie jeho zvislých posunov a deformácií. Náplňou práce je zameranie 3. a 4. etapy, ktoré sú spolu s etapami nameranými pred započatím spracovania bakalárskej práce porovnané so stavom nultej (východiskovej) etapy merania. Dôvodom na preventívne meranie sadania bytového domu je prítomnosť vody v šachte v suteréne a taktiež trhliny po stenách, ktorých dôvodom vzniku môže byť práve nerovnomerné sadanie budovy.

V prvej časti práce je spracovaná teoretická časť, súvisiaca s témou bakalárskej práce a to problematika merania zvislých posunov, metódy využívané na meranie zvislých posunov a ich aplikácia v praxi, čo dáva prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky a taktiež princíp výpočtu výšok pomocou MNŠ a spôsob vyhodnotenia posunov.

Ďalšiu časť práce tvorí časť praktická, ktorá bližšie popisuje stavebný objekt a taktiež aj vrstvy pôd, ktoré sa pod objektom nachádzajú a zaoberá sa už vlastným zameraním objektu. Súčasťou tejto časti je aj popis použitej metódy merania, prístroja a meradiel. Nasledujúcim obsahom praktickej časti je skupina experimentálnych meraní, ktoré boli vykonané z dôvodu určenia presnosti, ktorá najlepšie odpovedá meraniu a je zvolená do vyrovnania. Zvyšok je venovaný skúške prístroja a kontrole vnútornej presnosti.

Nasleduje časť bakalárskej práce, ktorá sa venuje konverzií dát, aby mohlo dôjsť k výškovému vyrovnaniu bodov v príslušnom programe. Kapitolami tejto časti je postup výpočtu výšok pomocou MNŠ, analýza vstupnej presnosti do vyrovnania a voľba východiskového bodu.

Posledná kapitola je venovaná výpočtu jednotlivých zmien výšok medzi etapami a interpretácií preukázateľnosti posunov. Prvá polovica je zameraná na číselné vyhodnotenie zmien výšok bodov vo forme tabuliek a zhodnotenie preukázateľnosti posunov. Podstatou druhej polovice kapitoly je grafická interpretácia výsledkov v dvoch rôznych variantách. Posudzovaný je stav každej etapy vzhľadom k nultej etape merania uskutočnenej na jar v roku 2021.

1 Problematika merania zvislých posunov

Stavebné objekty môžu v dôsledku pôsobenia vonkajších vplyvov vykazovať nestabilitu priestorovej polohy. Týmito vplyvmi sú najčastejšie zmeny zaťaženia základovej pôdy, dynamické účinky prevádzky, kolísanie hladiny spodnej vody, seizmická činnosť a ďalšie. Z týchto dôvodov sa objekt premiestňuje ako celok (posun), mení tvar (pretvorenie), alebo dochádza ku kombinácii oboch javov. Keďže takéto zmeny sú vždy nežiaduce a môžu narušiť alebo úplne znemožniť bezpečnú funkciu stavby, je potrebné ich veľkosť a vývoj určovať opakovaným meraním.

Jednou z hlavných príčin spôsobujúcich posuny stavebných objektov je nerovnomerné sadanie ich základov. Ak je základová pôda zaťažená stavebným objektom, stlačí sa a objekt sadá (klesá), pričom veľkosť a rýchlosť sadania závisí na druhu základovej pôdy. Niektoré pôdy sú malo stlačiteľné (napr. štrkopiesok) a objekty na nich založené klesajú relatívne málo, zatiaľčo iné základové pôdy (hlinité pôdy, jemné piesky) sú viac stlačiteľné a objekty vykazujú väčšie hodnoty sadania [1].

Meranie posunov a deformácií sa uskutočňuje v rôznych fázach stavebného procesu:

- pri laboratórnych skúškach a testovaní vlastností konštrukčných prvkov,
- pri zakladaní stavebných objektov,
- v priebehu výstavby stavebných objektov,
- pri odovzdávaní objektov prevádzky (zaťažovacie skúšky),
- v priebehu prevádzky objektov (funkčné a bezpečnostné skúšky).

Účelom merania posunov je určenie veľkosti a časového vývoja zmien v takom rozsahu, aby mohli byť prijaté opatrenia pre zamedzenie pokračovania posunov a deformácií objektu, prípadnej havárie a pre obnovenie bezpečnej prevádzky objektu. Hlavné zásady a požiadavky na tieto merania upravuje norma ČSN 73 0405 ([2]).

Etapy merania sa volia v takých intervaloch, aby bol plynule zachytený priebeh zmien tvaru a polohy objektu vrátane okolností, ktoré ich spôsobili. Časový priebeh merania sa riadi:

- druhom základovej pôdy,
- rýchlosťou postupného zaťažovania základovej pôdy a namáhania konštrukcie,
- priebehom posunov a pretvorení v predchádzajúcich etapách,
- vonkajšími vplyvmi na stanovisku a v jeho okolí (zmenou hladiny podzemnej vody, objemovými zmenami v základovej pôde, stavebnými alebo zemnými prácami v okolí a pod),
- rýchlosťou zmien teploty,
- zmenou dynamického zaťaženia pri prevádzke strojov, dopravy v okolí, seizmických vplyvov a podobne.

Zvýšenú pozornosť treba venovať zameraniu základnej (nulte) etapy, vzhľadom ku ktorej sa vyhodnocujú posuny pozorovaných bodov v jednotlivých etapách. Pri meraní posunov a deformácií stavebných objektov sa zaznamenávajú aj podmienky v dobe merania (teplota, tlak, vlhkosť vzduchu a pod.), stav objektu, prevádzkové podmienky a ďalšie faktory, ktoré môžu ovplyvniť výsledky merania. Poloha a hustota pozorovaných bodov sa volí tak, aby bolo možné na základe zmien ich polohy určiť posuny a pretvorenie pozorovaného stavebného objektu. Meračské značky a spôsob ich osadenia musí byť vhodný pre daný účel, musí jednoznačne určovať pozorované a vzťažné body a zaručovať ich trvanlivosť po dobu merania [1], [2].

1.1 Názvoslovie posunov a pretvorenia stavieb

Základné pojmy z terminológie merania posunov a pretvorenia stavieb [1], [2], [3] :

Posun – priestorová zmena polohy stavebného objektu, alebo jeho časti, oproti polohe v základnej alebo predchádzajúcej etape merania

Absolútny posun – posun vyjadrený v absolútnej sústave, nezávislej od sledovaného objektu

Relatívny posun – posun vyjadrený vzhľadom na relatívnu vzťažnú sústavu alebo vzťažný bod nachádzajúci sa na objekte

Sadanie – zvislá zložka posunu smerom dolu, ktorá je vyvolaná stlačením základovej pôdy

Zdvíhanie – zvislá zložka posunu smerom hore

Naklonenie – odchýlenie zvislej osi objektu od zvislice

Pootočenie – uhlová odchýlka objektu od jeho pôvodnej polohy, pričom os otáčania je všeobecne položená

Priehyb, ohyb – pretvorenie konštrukcie objektu v smere kolmom na prevládajúci smer

Deformácia (pretvorenie) – vyjadruje sa obvykle zmenou tvaru prvku alebo konštrukcie vo vyšetrovanom smere a určitom reze podľa zataženia a to vzhľadom k tvaru v základnej etape alebo k tvaru v predchádzajúcej etape merania

Nultá etapa – počiatočná (východisková) etapa merania, vzhľadom k nej sú vypočítané posuny, obvykle je zameraná s vyššou presnosťou

Etapové meranie – opakované zameranie siete vzťažných a pozorovaných bodov v určenom časovom intervale

Pozorovaný bod – bod na objekte alebo jeho časti, ktorý slúži na určovanie posunov alebo pretvorení konštrukcií objektu

Vzťažný bod – bod vzťažnej sústavy stabilizovaný mimo sledovaný objekt a jeho vplyv

Vzťažná sústava – súbor vzťažných bodov stabilizovaných mimo sledovaný objekt a zónu jeho pôsobenia, ku ktorému sa vyjadrujú priestorové zmeny v polohe meraných bodov, napr. pri meraní posunov stavieb

1.2 Metódy merania zvislých posunov

Pre meranie zvislých posunov existuje rozličné množstvo geodetických a negeodetických (fyzikálnych) metód. Negeodetické metódy využívajú poznatky z elektroniky, optiky, mechaniky a automatiky. Medzi negeodetické metódy sa zaraďujú merania priehybomermi, indikátorovými hodinkami, tenzometrami atď. Uvedenými prístrojmi a pomôckami sa zisťujú predovšetkým relatívne zmeny jednej časti konštrukcie voči druhej, resp. priehyby, dĺžkové zmeny, posun konštrukcie, naklonenie konštrukcie atď.

Voľba optimálnej geodetickej metódy merania a jej zodpovedajúce prístrojové vybavenie podmieňuje vyžadovaná presnosť merania posunov a pretvorení. Zvislé posuny meriame:

- geometrickou niveláciou,
- hydrostatickou niveláciou,
- trigonometrickým meraním prevýšení,
- fotogrametrickými metódami,
- GNSS,
- inými metódami (radarová interferometria, atď)[4].

Geometrická nivelácia je najbežnejšou metódou na meranie zvislej zložky posunov a to hlavne z dôvodu jednoduchosti merania a dosahovania vysokej presnosti merania. Najčastejšie sa používa vo variante VPN alebo PN.

Posuny objektov a ich konštrukcií sa môžu určovať v absolútnej alebo relatívnej vzťažnej sústave. Absolútna sústava je definovaná sieťou vzťažných bodov so známymi nadmorskými výškami. Princíp určovania posunov je založený na opakovanom (etapovom) meraní nivelačných ťahov sústavy stabilizovaných bodov na stavebnom objekte. Hodnoty posunov sa určia na základe prevýšení medzi vzťažnými a pozorovanými bodmi. Namerané hodnoty sa porovnávajú so základnou etapou merania. Pri meraniach realizovaných v obmedzených priestoroch je potrebné použiť neštandardné postupy (zámery stranou, rozdielne dĺžky zámer a pod.). Do takto nameraných hodnôt zavádzame príslušné korekcie zo sklonu horizontu prístroja. Hodnota aktuálneho sklonu zámernej osi sa zisťuje testovacím meraním na základni, najlepšie pred a po vykonaní merania posunov.

Zhospodárnenie tejto metódy prinieslo zavedenie kompenzátorových nivelačných prístrojov do praxe, pri ktorých použitím stačí pri postavení prístroja urovnať krabi-

covú libelu a o urovnanie zámernej osi sa postará kompenzátor. Kompenzátorové nivelačné prístroje na druhej strane však nie je možné dobre použiť za veterného počasia a v prostredí s otrasmi, pretože uvedené účinky vyvolávajú kmitanie kompenzátora [1], [3], [4].

Hydrostatická metóda využíva fyzikálny zákon spojitých nádob. Princíp určenia prevýšenia hydrostatickými vodováhami je vo využití fyzikálnych vlastností tekutiny, umiestnenej v dvoch od seba vzdialených spojených nádobách, v ktorých povrch tekutiny vytvorí spoločnú hladinovú plochu. Metóda má prednosti v tom, že meranie viacerých bodov sa dá vykonať z jedného stanoviska a merací proces automatizovať a sústrediť na kontinuálne meranie prevýšení medzi vzťažnými a pozorovanými bodmi.

Ďalšími výhodami je vysoká dosahovaná presnosť (na úrovni veľmi presnej geometrickej nivelácie) t.j. 0,1 až 0,01 mm a možnosť použitia v ťažko prístupných priestoroch. Medzi nevýhody tejto metódy patrí obmedzený merací rozsah stupnice cca 100 mm a použitie na krátke vzdialenosti max. do 50 m. Metóda je tiež zdĺhavá a vyžaduje zvláštne jednoúčelové prístrojové vybavenie.

Vďaka vývoju automatizovaných súprav hydrostatickej nivelácie s elektronickým odčítaním hladiny v nádobách je možné meranie posunov aj v miestach, kde je ohrozené ľudské zdravie (napr. reaktorové sály jadrových elektrární) [1], [3], [4].

Trigonometrické meranie prevýšení je náhradnou metódou geometrickej nivelácie, keď ju z nejakých dôvodov nemôžeme použiť. Spravidla je to v prípadoch, keď pozorované body sú na ťažko prístupných a vzdialených miestach konštrukcie. Príkladom môže byť meranie poklesov podrúbaného banského diela, ktoré je s ohľadom na poškodenie výstuže prístupné len s veľkým rizikom. Druhý prípad použitia je keď sa jedná o radovo veľké poklesy.

Trigonometrická metóda sa v praxi používa zvyčajne na súčasné meranie zvislých a vodorovných posunov, resp. na zisťovanie priestorových zmien v polohe pozorovaných bodov, a to v relatívnych a absolútnych hodnotách. Zvislé posuny bodov sa určujú zo vzťažných bodov na základe zmeny výškových uhlov, meraných pri základnom a etapovom meraní pozorovaných bodov objektu. Meranie sa vykoná z dvoch, lepšie troch vzťažných bodov – stanovísk prístroja. Presnosť merania závisí na prostredí, presnosti prístroja a kvalite meračských značiek. Pri dodržovaní zásad presného merania uhlov je možné pri dĺžke zámery 150 m dosiahnuť presnosť výšky charakterizovanú strednou chybou o hodnote 0,5 mm [1], [3].

S ohľadom na vysokú vyžadovanú presnosť určovania posunov sa využívajú z **fotogrametrických metód** hlavne analytické metódy pozemnej fotogrametrie. Do úvahy prichádza najmä metóda pozemnej fotogrametrie s časovou alebo reálnou priestorovou základnicou. Metóda s časovou základnicou dovoľuje merať len posuny

a deformácie, ktoré vznikajú v rovine snímky, t.j. v súradniciach x a z . Snímky sú vyhotovené na tom istom stanovišti v dvoch časových úsekoch – pri základnom a etapovom meraní. Vzniká optický model, na základe ktorého sa dopočítajú posuny v dvoch smeroch - dX a dY . Pri pozemnej stereofotogrametrii s reálnou základňou sa súčasne snímkuje z dvoch koncových bodov základne a výsledkom sú tri zložky posunov a deformácií.

Hlavnou výhodou fotogrametrickej metódy je možnosť rýchlo, prakticky súčasne zaregistrovať veľkú množinu pozorovaných bodov objektu na snímke v analógovej alebo digitálnej podobe. Negatívom tejto metódy je, že výsledky merania sú k dispozícii až po laboratórnom spracovaní a vyhodnotení snímok. Fotogrametrické metódy sa odporúčajú používať ako kontrolné metódy v kombinácii s geodetickými a negeodetickými metódami.

Presnosť výsledkov závisí od rôznych faktorov, ako sú kvalita fotokamery, mierka snímky, vzdialenosť fotokamery od pozorovaného objektu a pod. Pri 100 m vzdialenosti projekčného centra komory od pozorovaných bodov môžeme doceliť presnosť v určení priestorových zmien pozorovaných bodov 3 až 5 mm [3], [4].

Metódy GNSS sú vhodné na meranie posunov v prípade, že je treba určiť posuny s presnosťou $\sigma_p = 5$ mm a časový interval medzi jednotlivými etapami nie je kratší ako 15 až 30 minút. Vzťažné aj pozorované body musia byť umiestnené tak, aby umožňovali observáciu satelitov (elevačný uhol 15°). Metóda je nezávislá od poveternostných podmienok a nevyžaduje vzájomnú viditeľnosť medzi bodmi.

Presnosť merania závisí aj na zvolenej metóde merania. Najväčšej presnosti je možno dosiahnuť pri použití statickej metódy, ktorej nevýhodou je dlhý čas observácie na meranom bode. Ďalšími používanými metódami sú metódy Stop & Go a RTK. Tieto metódy sa vyznačujú krátkym časom observácie na určovanom bode. Presnosť merania výškovej zložky je u GNSS asi 2-2,5 krát nižšia ako presnosť merania polohovej zložky [5].

Princípom družicovej **radarovej interferometrie** pre sledovanie zmien reliéfu terénu je vytvorenie tzv. diferenčného interferogramu. Z toho sa potom vyhodnocuje digitálny model terénu či model deformácií. Interferogram vzniká z dvoch družicových radarových snímok z určitého územia vytvorených s vhodným časovým odstupom. Merajú sa iba posuny relatívne voči nejakému stabilnému územiu. Medzi faktory obmedzujúce použitie tejto metódy sú doba snímkovania s ohľadom na rýchlosť posunu a v neposlednom rade tiež vegetačná pokrývka záujmového územia a jeho okolia. Táto metóda sa používa predovšetkým k mapovaniu postseizmických deformácií, ktoré sú väčšinou nezanedbateľné čo sa týka rozsahu aj veľkosti. Pre meranie sadania objektov tak vhodná nie je [6].

1.3 Výpočet výšok MNŠ

V prípade, že máme zameraný väčší počet veličín ako je nutné pre výpočet hľadaných parametrov, nie je riešenie určenia výsledkov jednoznačné. Vtedy je potrebné spraviť vyrovnanie, ktoré nám zaistí najspoľahlivejší výpočet hľadaných parametrov a taktiež poskytne odhady charakteristík presnosti výsledných parametrov. Dominantnou metódou riešenia tohto problému sa v geodézií, ale aj vo väčšine technických disciplín stala metóda najmenších štvorcov (MNŠ). Riešenie MNŠ je dané splnením podmienky: [7]

$$\sum vv = \min. \quad (1.1)$$

Ak do vyrovnania vstupujú veličiny s rôznou presnosťou, má podmienka tvar:

$$\sum pvv = \min. \quad (1.2)$$

Existujú tri základné druhy vyrovnávacích úloh založené na princípe MNČ:

- Vyrovanie priamych meraní - kde určovaný parameter/parametre je možné priamo merať,
- Vyrovanie sprostredkujúcich meraní - kde meriame jednu skupinu parametrov (napr. uhly a dĺžky) a inú skupinu parametrov určujeme - počítame (napr. súradnice bodov),
- Vyrovanie podmienkových meraní - kde skupina meraných parametrov musí spĺňať predom dané matematické podmienky (napr. súčet uhlov v trojuholníku musí byť rovný $2\pi / 180^\circ / 200g$). [7]

Väčšinu úloh vyrovnávacieho počtu je možné riešiť buď metódou vyrovnania sprostredkujúcich meraní alebo metódou vyrovnania podmienkových meraní. Obe metódy vedú k identickým výsledkom. Prax však dáva presnosť tej metóde, ktorá je pre daný typ úlohy menej náročná na výpočty [7].

Sprostredkujúce vyrovnanie

Toto vyrovnanie sa používa v prípadoch, kedy cieľové veličiny (spravidla súradnice a výšky bodov) neurčujeme priamo, ale prostredníctvom iných meraných veličín (spravidla uhly, dĺžky, prevýšenie). Merané veličiny sa nazývajú sprostredkujúce veličiny. Merané veličiny sú zatažené neistotami merania, to znamená, že boli určené s presnosťami odpovedajúcimi použitým metódam merania. Cieľom vyrovnania je určiť vyrovnané hodnoty neznámych a posúdiť presnosť meraných a vyrovnaných hodnôt [7].

Sprostredkujúce rovnice

Ku každému z n realizovaných meraní formulujeme jednu sprostredkujúcu rovnicu. Vzťah medzi meranými a určovanými parametrami je nadefinovaný:

$$L_i = f_i(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad (1.3)$$

kde L_i predstavuje pravú hodnotu meraných veličín a X_j pravú hodnoty neznámych parametrov rovníc.

Nahradíme pravé veličiny L_i a X_j náhodnými veličinami l_i a x_j s ich neistotami. Vykonaním merania a ich dosadením do sprostredkujúcich funkcií (do modelu) dostávame realizačný model. Nahradíme pravé hodnoty L_i a X_j v modele zatiaľ neurčenými vyrovnanými hodnotami \bar{l}_i a \bar{x}_j . Vyrovnané hodnoty merania \bar{l}_i získame pričítaním zatiaľ neučených opráv v_i k meraným veličinám l_i [7]:

$$\bar{l}_i = l_i + v_i \quad f_i = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k) \quad (1.4)$$

Teraz sme schopní zapísať pôvodné rovnice opráv

$$v_i f_i = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k) - l_i = \bar{l}_i - l_i \quad (1.5)$$

Rovnice opráv

Každá meraná veličina l_i je určená s nejakou neistotou (presnosťou), ktorá je vyjadrená buď jej základnou strednou chybou \bar{m}_i alebo váhou p_i . Obe veličiny sú spolu úzko späté cez vhodne zvolenú konštantu \bar{m}_o (apriorná jednotková stredná chyba) [7]:

$$p_i = \frac{\bar{m}_o^2}{\bar{m}_i^2} \quad (1.6)$$

Pre n výsledkov merania l_1, l_2, \dots, l_n môžeme sprostredkujúce rovnice prepísať na pôvodné rovnice opráv:

$$v_i = \bar{l}_i - l_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_k) - l_i \quad (1.7)$$

Z nich je zrejmé, že oprava v_i je definovaná ako rozdiel medzi vyrovnanou hodnotou \bar{l}_i a meranou hodnotou l_i .

Pre jednoduchší systém výpočtov je potrebné jednotlivé rovnice opráv linearizovať. Linearizáciu spravíme pomocou Taylorovej rady, z ktorej použijeme len členov prvého rádu. Z tohto dôvodu je potrebné zaviesť približné hodnoty neznámych x_0 tak, aby prírastky δx boli dostatočne malé. Pretvorené rovnice opráv po úprave budú mať tvar [7]:

$$\begin{aligned} v_n &= f_n(x_1^0, x_2^0, \dots, x_k^0) + a_n \delta x_1 + b_n \delta x_2 + \dots + k_n \delta x_k - l_n \Rightarrow \\ v_n &= a_n \delta x_1 + b_n \delta x_2 + \dots + k_n \delta x_k + l_n^0 - l_n \end{aligned} \quad (1.8)$$

Po zavedení $l_i^0 - l_i = l'_i$ dostaneme výslednú podobu pretvorených rovníc opráv v tvare:

$$v_n = a_n \delta x_1 + b_n \delta x_2 + \dots + k_n \delta x_k + l'_n \quad (1.9)$$

Pretvorené rovnice opráv budú mať v maticovom zápise tvar:

$$v = A\delta x + l' \quad (1.10)$$

Normálne rovnice a ich riešenie

Podmienku MNČ zaisťuje vzťah:

$$A^T P v = 0 \quad (1.11)$$

Prostým dosadením za v dostaneme systém normálnych rovníc:

$$A^T P (A\delta x + l') = 0 \quad (1.12)$$

Po úprave:

$$A^T P A \delta x + A^T P l' = 0 \quad (1.13)$$

Použijeme substitúciu:

$$N = A^T P A, \quad y = A^T P l' \quad (1.14)$$

$$N \delta x + y = 0 \quad (1.15)$$

Normálne rovnice vytvárajú systém lineárnych rovníc. Najčastejším spôsobom riešenia je použitie inverznej rovnice N^{-1} k matici koeficientov normálnych rovníc N [7]:

$$\delta x = -N^{-1}y = -\left(A^T P A\right)^{-1} A^T P l' \quad (1.16)$$

Neznáme hodnoty x je potom možné vypočítať zo vzťahu:

$$x = x_0 + \delta x \quad (1.17)$$

Opravy a vyrovnané meranie

Opravy sú počítané dvakrát nezávisle. Prvýkrát z pretvorených rovníc opráv a druhýkrát z pôvodných rovníc opráv. Hodnoty oboch výpočtov musia byť zhodné. Vyrovnané hodnoty merania dostaneme pripočítaním opráv k meraným hodnotám [7]:

$$\bar{l} = l + v \quad (1.18)$$

Charakteristiky presnosti

Aposteriórna jednotková stredná chyba

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n p v v}{n - k}} \quad (1.19)$$

kde $n - k$ je počet nadbytočných meraní.

Ďalej môžeme vypočítať strednú chybu vyrovnaných neznámych podľa vzorca:

$$m_x = m_0 \cdot \sqrt{Qx_ix_i} \quad (1.20)$$

kde Qx_ix_i je diagonálny prvok matice váhových koeficientov (kofaktorov), ktorý sa rovná inverznej matici koeficientov normálnych rovníc N^{-1} .

Strednú chybu vyrovnaných meraní vypočítame podľa vzorca:

$$m_x = m_0 \cdot \sqrt{Ql_il_i} \quad (1.21)$$

kde Ql_il_i je diagonálny prvok matice váhových koeficientov vyrovnaných meraní, ktorý sa rovná inverznej matici k matici váh P [7].

1.4 Spôsob vyhodnotenia posunov

Vyhodnotenie a prezentácia výsledkov merania posunov a pretvorení sa deje početne a graficky. Táto kapitola je zameraná výhradne na číselné vyhodnotenie. Číselné výsledky sa uvádzajú vo forme prehľadných tabuliek zoradených v časovom slede porovnania jednotlivých etáp s predošlou etapou. Pri malých hodnotách je občas problematické rozhodnúť či nastal posun alebo sú namerané hodnoty len produktom meračských chýb. Z každej etapy bude výsledkom zoznam vyrovnaných výšok bodov a ich presnosť.

Výpočet zvislého posunu:

$$\Delta H = H_i - H_o \quad (1.22)$$

ΔH rozdiel výšok bodu medzi etapami,

H_i vyrovnaná výška bodu v aktuálnej etape,

H_o vyrovnaná výška bodu v nulte etape.

Aplikáciou zákona o šírení stredných chýb sa vypočíta stredná chyba zvislého posunu podľa vzťahu:

$$m_{\Delta H} = \sqrt{m_{H_i}^2 + m_{H_o}^2} \quad (1.23)$$

$m_{\Delta H}$ stredná chyba rozdielu výšokv etapách,

m_{H_i} stredná chyba výšky bodu v aktuálnej etape,

m_{H_o} stredná chyba výšky bodu v nulte etape.

Interpretácia výsledkov

$\Delta H < m_{\Delta H}$	posun bol nepreukázateľný,
$m_{\Delta H} \leq \Delta H \leq 2m_{\Delta H}$	posun mohol nastať, ale nebol preukázateľný,
$2m_{\Delta H} < \Delta H$	posun bol preukázateľný.

Preukázateľnosť určených posunov (tj. zistenie, či určené hodnoty sú dôsledkom skutočného posunu alebo vznikli pôsobením chýb merania) sa posudzuje testom štatistickej hypotézy.

Výstupom tejto analýzy je vyhodnotenie či posun bol preukázaný, alebo nie. Posun bol preukázaný vtedy, ak jeho hodnota bola väčšia ako rozšírená neistota. Keď sa hodnota posunu nachádza v rozmedzí smerodatnej odchýlky a rozšírenej neistoty, predstavuje určitý predpoklad, že posun mohol, ale aj nemusel nastať. Ak hodnota bola menšia ako smerodajná odchýlka, posun nenastal. Rozšírená neistota bola vypočítaná ako súčin smerodajnej odchýlky a koeficientu konfidencie $t = 2$ a zahŕňa hodnotu veličiny s pravdepodobnosťou $P = 0,68$ [1], [2].

2 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

Táto kapitola je zameraná na prehľad využitia rozličných metód merania zvislých posunov v praxi.

Porovnanie merania zvislých deformácií metódou presnej nivelácie a trigonometrickej metódy bolo realizované v Rumunsku v meste Jasy na moste „Trancu“ určeného pre chodcov. Vzďialenosti a zenitové uhly boli pri trigonometrickej metóde merania zvislých posunov merané totálnou stanicou Leica TCR-407. Meranie výškových rozdielov pomocou geometrickej nivelácie bolo vykonané digitálnym nivelačným prístrojom Leica Sprinter 100M. Pri meraní trigonometrickou metódou bola dosiahnutá smerodajná odchýlka výšky v rozmedzí od 0,1 do 0,5 mm. Výsledky trigonometrického merania boli porovnané s výsledkami z merania presnej nivelácie, kde sa odhalil rozdiel výšok až 5,7 mm. Pri porovnaní rozdielov výšok medzi etapami maximálna hodnota rozdielu nepresiahla hodnotu 1,9 mm. Meraním sa potvrdilo, že trigonometrická metóda môže byť využívaná na meranie na krátke vzdialenosti v prípade, že z istého dôvodu nie je možné využiť presnú niveláciu [8].

K porovnaniu tých istých metód došlo taktiež v Turecku, kde dôvodom merania boli intenzívne deformácie juhovýchodnej časti kasární Davutpasa. Namerané a spracované boli 3 etapy, medzi ktorými bol vždy rozostup 6 mesiacov. Na meranie trigonometrickej metódy bola použitá robotická totálna stanica Leica TCRA 1201. Meranie presnej nivelácie prebehlo pomocou použitia prístroja Leica DNA03 a nivelačných latí Leica GPCL2. Päť vybraných referenčných bodov bolo určených pomocou 5 GPS prijímačov, konkrétne išlo o Thales Z-Max a doba observácie na bodoch trvala minimálne 3 hodiny. Pri meraní trigonometrickou metódou bola dosiahnutá priemerná smerodatná odchýlka 0,35 mm, pričom pri presnej nivelácií bola dosiahnutá hodnota 0,22 mm [9].

Na overenie vhodnosti fotogrammetrickej metódy s využitím softvéru ORIENT bola vykonaná zaťažkávací skúška dolných vrát ľavej PK VD Gabčíkovo. Softvér ORIENT rieši problém blokového vyrovnania zväzku fotogrammetrických lúčov daných snímok. Vlicovacie body boli signalizované kruhovými terčmi a rozmiestnené mimo vrát, tak aby boli stabilné. Fotogrammetrické meračské snímky boli vyhotovené širokouhlými univerzálnymi meračskými kamerami UMK 1 A a nadširokouhlou meračskou kamerou UMK 6,5 firmy Zeiss Jena. Presnosť priestorových súradníc charakterizovaná strednou chybou $m_{xyz} = 1$ až 3 mm sa preukázala ako postačujúca na určenie projektom predpokladaných posunov pozorovaných bodov [10].

V ďalšej štúdií bola skúmaná výkonnosť a citlivosť UAV fotogrammetrie pri trojrozmernom (3D) monitorovaní pohybu hmoty. V dnešnej dobe je na monitorovanie geodetických posunov najviac využívaná technológia GNSS, tú však nie je úplne vhodné použiť na projekty, kde je obmedzený rozpočet a čas. Hlavným cieľom tejto štúdie bolo určiť masívne posuny, ku ktorým došlo v okolí výrubu banských podnikov v provincii Amasya v Turecku pomocou UAV fotogrammetrie. Bola vyhotovená špeciálna metóda merania a to pomocou vyhotovených 34 platní na monitorovanie deformácií inštalovaných na mieste. GNSS meranie prebehlo rýchlou statickou metódou (30 minút) a na lietanie bol použitý dron DJI Matrice 600 Pro. Očakávaná presnosť polohy bodov určených UAV fotogrametriou sa v tejto štúdií pohybovala medzi 20 – 40 mm horizontálne a 20 – 60 mm vertikálne. Stredné kvadratické odchýlky sa využili na určenie rozdielov hodnôt polohy medzi GNSS a UAV. Výsledkom bolo, že neprekračujú očakávanú presnosť merania, čo znamená, že rozdiely súradníc UAV a GNSS sú v prijateľnom rozsahu [11].

V rámci overovania prínosu technológie pozemného interferometrického radaru pre určovanie deformácií rizikových objektov a lokalít bolo vykonané sledovanie zvislých priehybov betónového mostu na ceste I/19 pri Pelhřimove za bežnej prevádzky. Na meranie bol použitý vysoko stabilný koherentný pozemný interferometrický radar IBIS-S. Radar meria presné pohyby len v smere zámery. Prevýšenie medzi radarom a objektom, na ktorý je merané je potrebné určiť dodatočným geodetickým meraním. K signalizácii sledovaných bodov sa použili kovové kútové odrážače, ktoré boli rozmiestnené tak, aby najlepšie popisovali pohyby mostu. Meraním bola dosiahnutá smerodatná odchýlka zvislých posunov štyroch najbližších kútových odrážačov v rozmedzí 0,004-0,007 mm. Na druhú stranu u dvoch vzdialenejších kútových odrážačov sú tieto odchýlky podstatne väčšie a dosahujú hodnôt 0,030 a 0,043 mm. Je to z toho dôvodu, že je u nich výškový uhol príliš malý a tým pádom sa zväčšujú hodnoty projekčného centra, čo má za následok nižšiu presnosť premietnutých zvislých posunov [12].

Vhodnosť použitia závesných stupníc bola otestovaná v podzemnom podlaží budovy Fakulty stavebnej ČVUT v Prahe. Dôvodom bola skutočnosť, že pozorované body boli osadené krátkymi stupnicami s milimetrovým delením a nie úsekmi prístrojom čitateľného kódu. Navrhuté bolo riešenie dočasným zavesením 25 cm dlhej kombinovanej kódovej závesnej stupnice na doplnenú skrutku vždy po dobu merania. Meranie sprevádzalo veľa komplikácií a to hlavne problém nivelačného prístroja vôbec rozpoznať kód, čo bolo pravdepodobne spôsobené nerovnomerným a slabým osvetlením kódovej stupnice v kombinácii s jej lesklým povrchom. Z tohto dôvodu sa použitie daných závesných stupníc označilo za neúspešné. Na ďalšie meranie etapy

bola zakúpená originálna invarová kódová stupnice Zeiss DB 05 použitá spolu s veľmi presným digitálnym nivelačným prístrojom Trimble Zeiss DiNi 12T. Tu sa už problémy s nečitateľnosťou kódu neprejavili, aj z dôvodu možnosti osvetlenia závesnej stupnice žiarovkovým svietidlom napojeným externým akumulátorom. Vybavenie použité pre túto etapu sa ukázalo ako vhodné a dosiahnutá presnosť nepresahovala požiadavky zadania [13].

3 Meranie deformácií stavebného objektu

3.1 Popis objektu



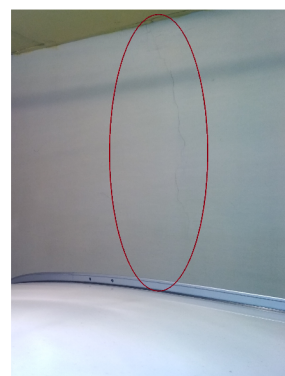
Obr. 3.1: Pohľad na sledovaný objekt z južnej strany

Stavebný objekt, ktorého meranie sadanie je predmetom náplne bakalárskej časti sa nachádza v Olomouci. Ide o bytový dom so suterénom a tromi poschodiami. Z dôvodu zachovania anonymity nie je možné poskytnúť podrobnejšie informácie o objekte a jeho lokalizácii.

Predmetom merania je sadanie z dôvodu zvodnenia podlažia. Problém je prítomnosť podzemnej vody v základoch, tak isto v šachte pod schodiskom (Obr. 3.2) a v montážnej jame v garážach. To je samo o sebe dôvodom možnej nestability objektu. Objekt istým spôsobom pracuje a dôkazom toho sú viditeľné drobné vlásočnicové trhliny na stenách v suteréne, príkladom je trhlina na stene v garážach (Obr. 3.3).

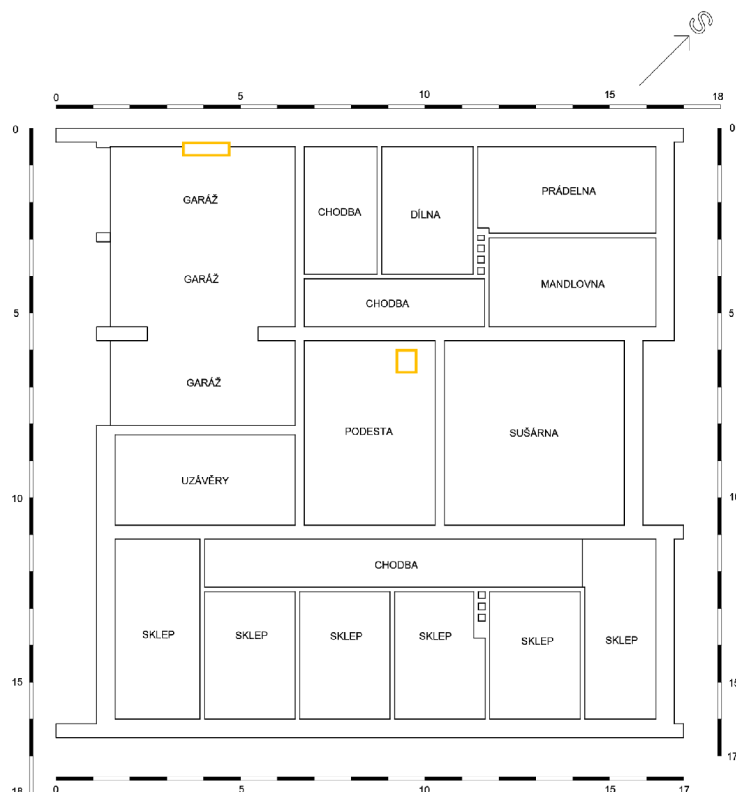


Obr. 3.2: Voda v šachte



Obr. 3.3: Vlásočnicová trhlina v garážach

Na obrázku 3.4 je pôdorys suterénu s popisom miestností a s vyznačenou lokalizáciou Obr. 3.2 a Obr. 3.3.

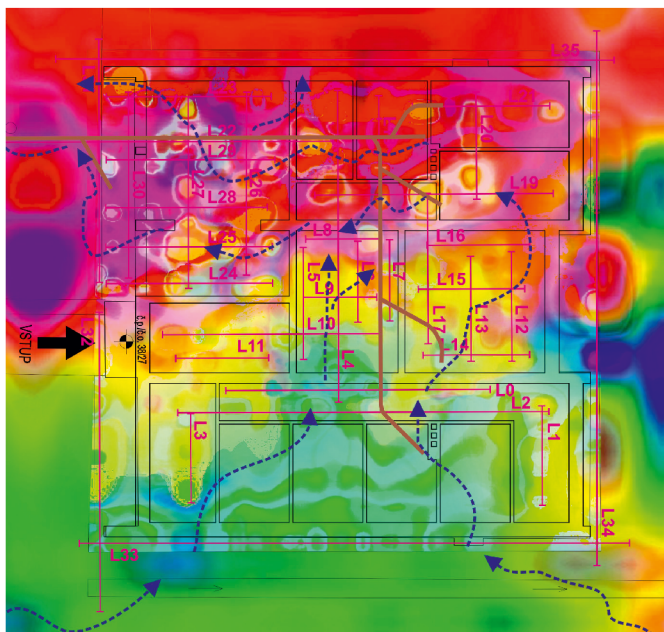


Obr. 3.4: Pôdorys suterénu

3.2 Geofyzikálny prieskum stability podložia

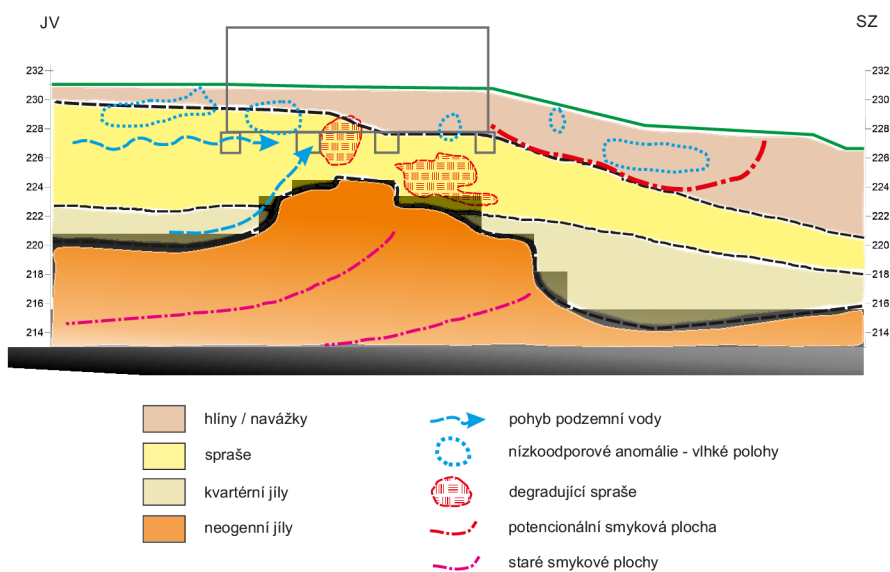
Na prelome januára a februára 2021 bol urobený geofyzikálny prieskum stability podložia z dôvodu rozsahu zvodnenia.

Obrázok 3.5 znázorňuje anomálie - kladné sú vyjadrené červenou a fialovou farbou a ide o dynamicky aktívne polohy, tj. miesta, kde dochádza k objemovým zmenám hornín a zemín a pôsobeniu či prejavu rôznych napätí a deformácií. Tmavšie farebné tóny - zelené a modré odtiene vyjadrujú záporné anomálie - ide o pasívne oslabené polohy. Grafická interpretácia anomálií analogicky súvisí s rôznou mierou zvodnenia. Šípkami sú naznačené možné zdroje sýtenia podložia.



Obr. 3.5: Grafické znázornenie anomálií [14]

Z geologicko - geofyzikálneho rezu podložia vyplýva, že objekt je založený v priere v štvormetrovej vrstve sprašov. Pod kvartérnymi sedimentmi sa nachádzajú neogénne íly. Zhruba v polovici objektu sa nachádza elevácia nestlačiteľných ílov, ktorá tvorí akýsi geologický chrbát. Okolité spraš je hornina, pri ktorej keď dojde k nasýteniu vodou, tak mení svoje vlastnosti. Keď sa podmienky zvodnenia menia a zväčšuje alebo znižuje sa miera zvodnenia, tak je to vplyv, ktorý môže spôsobiť nerovnomerné dosadenie objektu.



Obr. 3.6: Geologicko - geofyzikálny rez [15]

3.3 Schéma rozmiestnenia meračských značiek

Sledované body museli byť pred započatím sledovania objektu vhodne stabilizované, aby bolo možné ich sledovanie z dlhodobého hľadiska. Na základe toho sa zvolila stabilizácia závitovou tyčou, približne 150 cm nad zemou v stenách suterénu.

Poloha a hustota pozorovaných bodov, počet a miesta osadzovania trvalých meračských zariadení sa volia tak, aby na základe zmien ich polohy bolo možné určiť posuny a pretvorenie pozorovaného stavebného objektu. Pri určení rozmiestnenia bodov je potrebné prihliadať hlavne k tvaru pôdorysu objektu, tuhosti konštrukcie, rozdeleniu namáhania atď. [2]

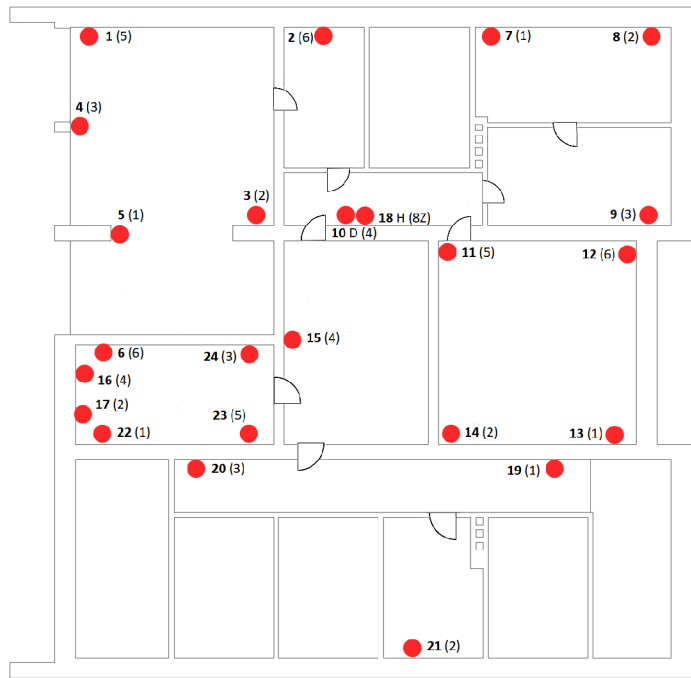
Sledovaných je 24 bodov rovnomerne rozmiestnených po stenách suterénu. Lokality jednotlivých bodov sa vyberala tak, aby boli pokryté výškové úrovne všetkých miestností, zároveň bolo nutné brať na vedomie, že niektoré miestnosti suterénu nie sú prístupné z dôvodu súkromného vlastníctva (pivnice).



Obr. 3.7: Ukážka stabilizácie sledovaného bodu

Na obrázku 3.8 je schéma rozmiestnenia bodov v rámci suterénu objektu, kde je uvedené číslo bodu a pri ňom v zátvorke číslo stupnice, ktorá bola použitá na danom bode počas merania každej etapy.

Púdorys 1. podzemného podlaží

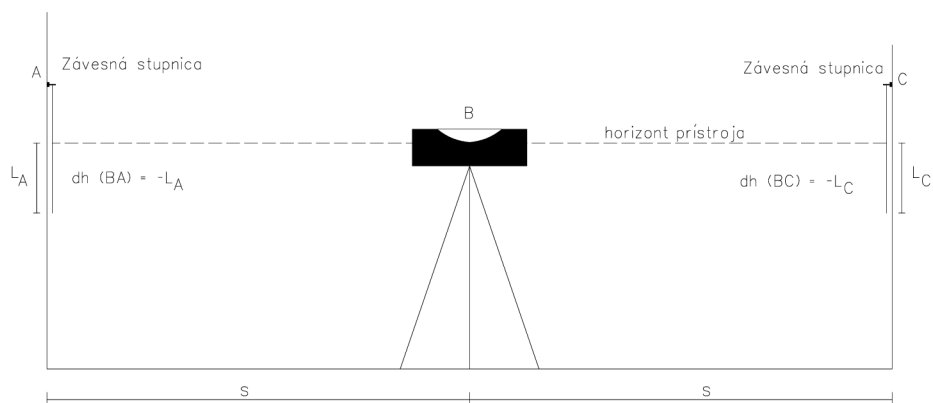


Obr. 3.8: Schéma rozmiestnenia sledovaných bodov

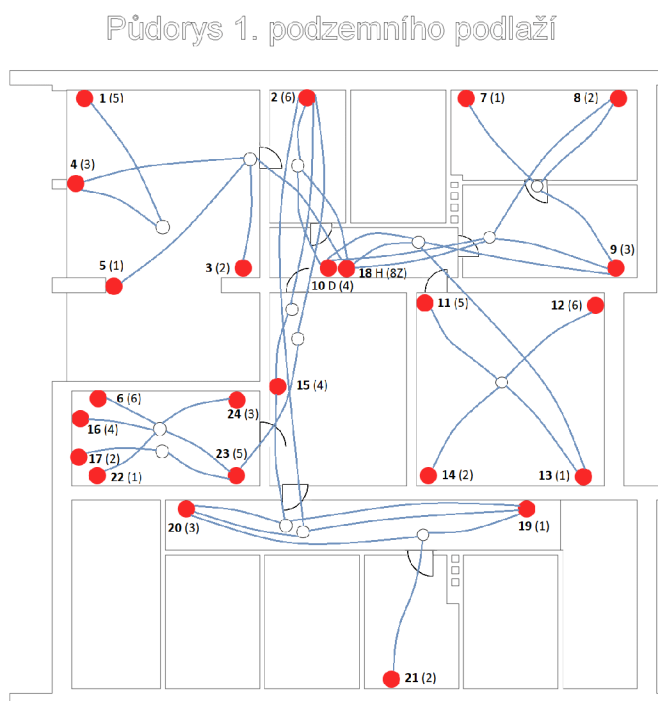
3.4 Použitá metóda merania

Za metódu merania bola zvolená presná nivelácia pomocou digitálneho nivelačného prístroja so závesnými stupnicami. Hlavným dôvodom použitia metódy geometrickej presnej nivelácie je presnosť, ktorú je možné dosiahnuť v desatinách milimetru. Metóda merania bola prevzatá z nulte etapy, ktorá bola zameraná pred začiatkom spracovávania tejto bakalárskej práce. Princíp merania nie je klasicky vpred a vzad. Z postavenia prístroja sa meria na určitý počet viditeľných zámer plošne. Zmenou horizontu prístroja sa vždy započalo kontrolné meranie na tie isté body.

Predmetom merania bola 3. a 4. etapa. Na obrázku 3.10 je pre predstavu znázornená schéma zamerania prevýšení.



Obr. 3.9: Schéma použitej metódy merania



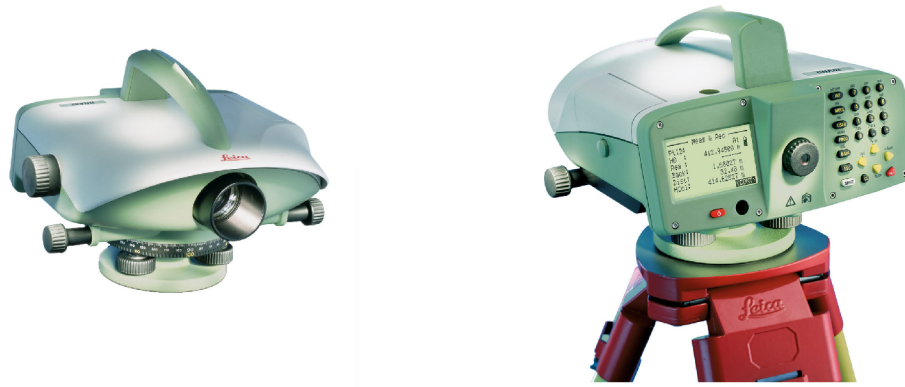
Obr. 3.10: Schéma zamerania prevýšení v etape

3.5 Použitý prístroj a meradlá

Na meranie presnej nivelácie sa využil digitálny nivelačný prístroj vhodný na VPN/PN Leica DNA03 (výrobné č. 331580) spolu so závesnými stupnicami označenými 1 - 8Z.

Bolo merané na osem závesných stupníc, z ktorých bolo sedem stupníc vyrobených z tridsaťcentimetrového ocelového strojného meradla a ôsma stupnica bola vyhotovená v predĺženej verzii z dôvodu, že garáže sa nachádzali výškovo v inej

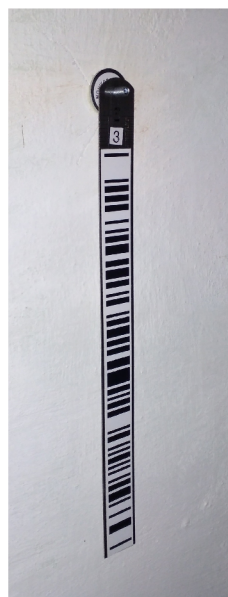
úrovni a bolo potrebné ich prepojiť so zvyškom miestností suterénu. Hlavnou výhodou využitia závesných stupnic bola schopnosť vykonať meranie len o jednej osobe, bez potreby konfiguranta či iného spolupracovníka, čo zvyšuje efektivitu práce.



Obr. 3.11: Leica DNA 03 [16]

Tab. 3.1: Tabuľka parametrov použitého prístroja [17]

Stredná kilometrová chyba	invarová lať	0,3mm	Zväčšenie ďalekohľadu	24x
	bežná lať	1,0mm	Priemer objektívu	36mm
Rozsah merania vzdialeností pre elektronické meranie	dĺžka late $\geq 3m$	1,8-110m	Citlivosť libely	8'/2mm
	3m invarová lať	1,8-60m	Spôsob urovňovania	kompenzátor
Smerodatná odchýlka merania dĺžok		5mm/10m	Rozsah kompenzácie	$\pm 10'$
Čas merania jedného merania		spravidla 3s	Presnosť kompenzácie	0,3"



Obr. 3.12: Závesná stupnica na monitorovanom bode

3.6 Špecifikácia výstupného formátu

Použitý digitálny nivelačný prístroj používa špeciálny formát GSI pre Leica zariadenia. Dáta sa zaznamenávajú v blokoch. Každý dátový blok obsahuje niekoľko slovných indexov (2-6). Každý dátový blok má fixnú dĺžku pozostávajúcu z 16 znakov [19].

110013+00310020 32...8+00722094 330.28+00026718 390...+00000003 391.28+00000000
110014+00100019 32...8+00303442 330.28+00026017 390...+00000003 391.28+00000000

Obr. 3.13: Namerané dáta vo formáte GSI

Vysvetlivky slovných indexov (WI) [19]:

WI = 11 Číslo bodu,

WI = 32 Vzdialenosť,

WI = 330 Hodnota odčítaná z laty v režime MEANS ONLY,

WI = 390 Počet opakovaní,

WI = 391 Smerodatná odchýlka jedného merania.

Popis samostatného bloku formátu GSI [19]:

Číslo pozície: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16
Formát dát: **110013+00310020**

Obr. 3.14: Formát GSI

Pozícia 1 - 3: slovný index bloku (WI),

Pozícia 4 - 6: doplnkové informácie k bloku,

Pozícia 7: znak + na oddelenie informácií o bloku od samotného bloku,

Pozícia 8 - 15: dáta bloku,

Pozícia 16: medzera na oddelenie jednotlivých blokov.

Systém číslovania bodov vo vlastnom meraní [19]:

6miestne číslo: XYEEEE, kde:

X - číslo použitej stupnice (1-8),

Y - 1 - zámera vzad, 0 - bokom, 2 - vpred,

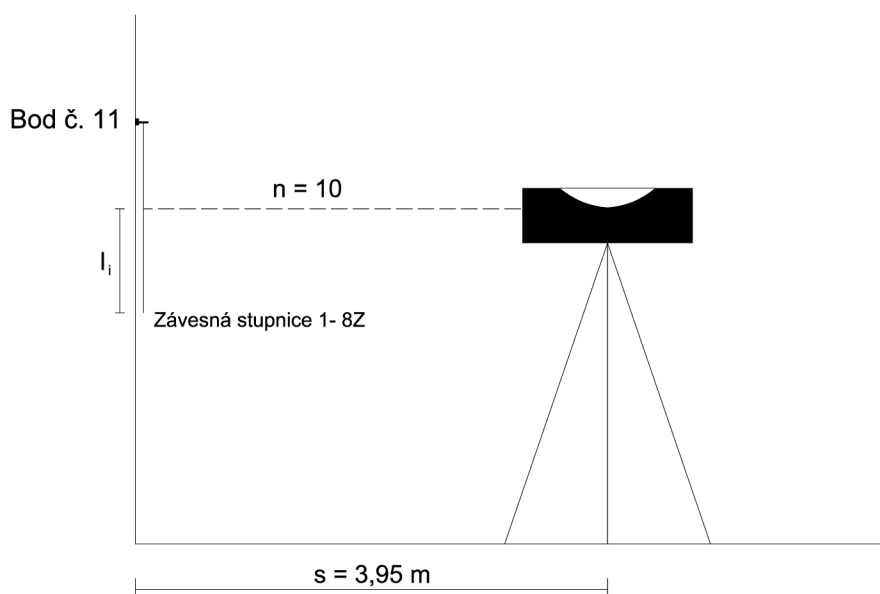
EEEE - vlastné číslo bodu.

3.7 Experimentálne merania

3.7.1 Experimentálne meranie pre určenie rozdielu počiatkov závesných stupníc

Pretože používame 7 rôznych stupníc, na ktoré bol nalepený Leica čiarový kód, tak potrebujeme urobiť ich kalibráciu počiatku, čiže zistiť rozdielnosť počiatkov. Napriek tomu, že sa snažíme v každej etape merať na rovnaké stupnice, tak v prípade, že by to z nejakého dôvodu nebolo možné (napr. v prípade poškodenia jednej stupnice), tak by sme pomocou zistenej rozdielnosti počiatkov stupníc vedeli korigovať výsledky.

Experimentálne sa meralo na bod č. 11, kedy zo vzdialenosti približne 4 m bola opakovane 10krát za sebou nameraná hodnota latového úseku pre každú jednu závesnú stupnicu. Z opakovaných meraní na stupnice sa vypočítala priemerná hodnota latového úseku, ktorá sa porovnala s hodnotou prvej stupnice, čím sme dostali rozdielnosť voči prvej stupnici. Čo sa týka tridsaťcentimetrových závesných stupníc rozdielnosť počiatkov nadobudla hodnoty od -9,62 mm po +3,26 mm a pri predĺženej stupnici č. 8 išlo o hodnotu +180,41 mm.



Obr. 3.15: Schéma experimentu pre určenie offsetov stupníc

Súčasťou experimentu bolo aj určenie presnosti z rozptylu 10 meraní, ktorým sa preukázalo, že na závesné stupnice ide merať s presnosťou na úrovni očakávanej rozlišovacej schopnosti prístroja (0,01 mm). Prehľad smerodatných odchýlok merania na jednotlivé stupnice a ich rozdielnych počiatkov voči 1. stupnici je v tabuľke 3.2.

Tab. 3.2: Rozdiely počiatkov závesných stupníc s ich smerodatnými odchýlkami

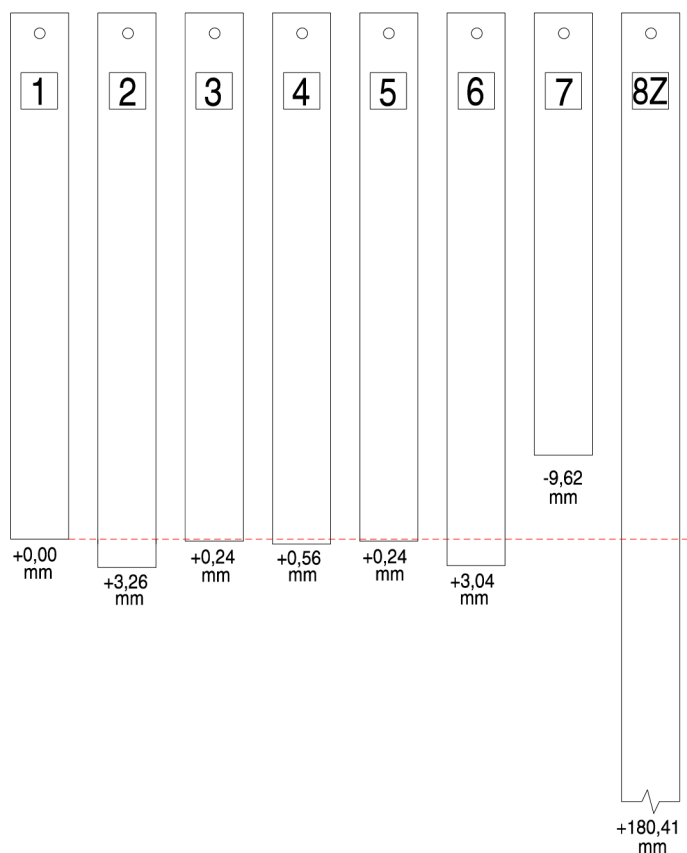
Stupnica	Rozdiel oproti 1. stupnici [mm]	Smer. odchýlka [mm]
1	0,00	0,007
2	3,26	0,007
3	0,24	0,005
4	0,56	0,007
5	0,24	0,000
6	3,04	0,003
7	-9,62	0,004
8Z	180,41	0,003

Priemerná hodnota:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 0,192831 \text{ m}, n = 10 \quad (3.1)$$

Smerodatná odchýlka jedného merania:

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} = 0,0074 \text{ mm} \quad (3.2)$$



Obr. 3.16: Rozdiely počiatkov jednotlivých závesných stupníc

3.7.2 Experimentálne určenie presnosti čítania na použitých závesných stupniciach

Druhým experimentom bola analýza presnosti opakovaného nasadzovania stupnice. Meranie spočívalo v tom, že sa na rovnakú dĺžku ako pri prvom experimente meralo na bod č. 11, kedy sa závesná stupnica č. 1 medzi jednotlivými opakovaniami, ktorých bolo 10, sňala zo stabilizácie bodu a opätovne znovu nasadila. Z merania sa následne vypočítala stredná chyba jedného merania.

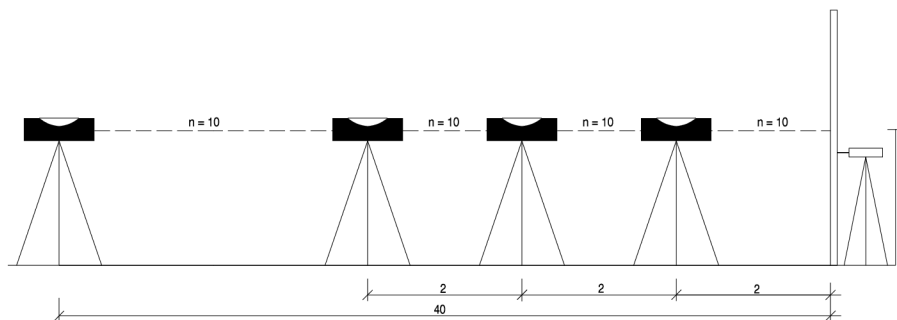
Ide o neistotu, ktorá vstupuje medzietapovo. Tento experiment je zásadný, pretože ním bola dosiahnutá takmer 4x horšia presnosť ako pri predchádzajúcom experimente.

Tab. 3.3: Kalibrácia znovunasadzovania stupnice na bod

Smer. odchýlka [mm]	0,032
---------------------	-------

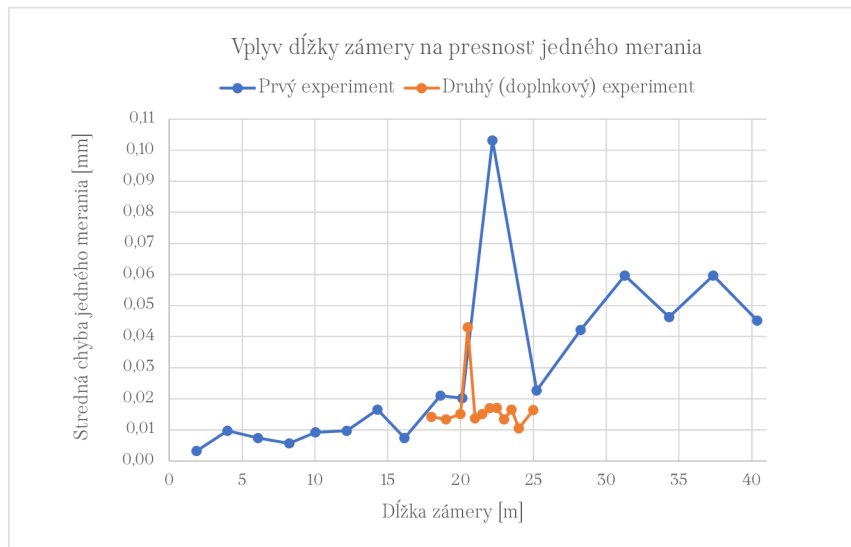
3.7.3 Experiment vplyvu dĺžky zámery na presnosť čítania na stupnici

Cieľom posledného experimentu bolo priradiť presnosť dĺžke zámery. Meranie spočívalo v upevnení invarovej laty k statívu a následným opakovaným odčítaním latového úseku z jedného postavenia prístroja. V rozpätí od 2 do 40 m sa určila presnosť zámery z rozptylu 10 opakovaných nezávislých meraní a je ju vidieť na grafe 3.18. Pri vzdialenosti od 2 do 22 m bol zvolený rozstup opakovaného merania každé 2 metre, následne sa po vzdialenosti 40 m rozstup predĺžil na 3 metre medzi jednotlivými postaveniami prístroja. Pri vyhodnotení smerodatných odchýlok jedného merania sa zistilo, že okolo 22. metra vznikol neočakávaný presnostný skok. Následne bol neočakávaný presnostný skok preverený druhým, podrobnejším premeraním v úseku, v ktorom ten skok nastal čo vypovedá rozmedziu 18 - 25 m. Presnostný skok sa doplnkovým meraním čiastočne potvrdil.



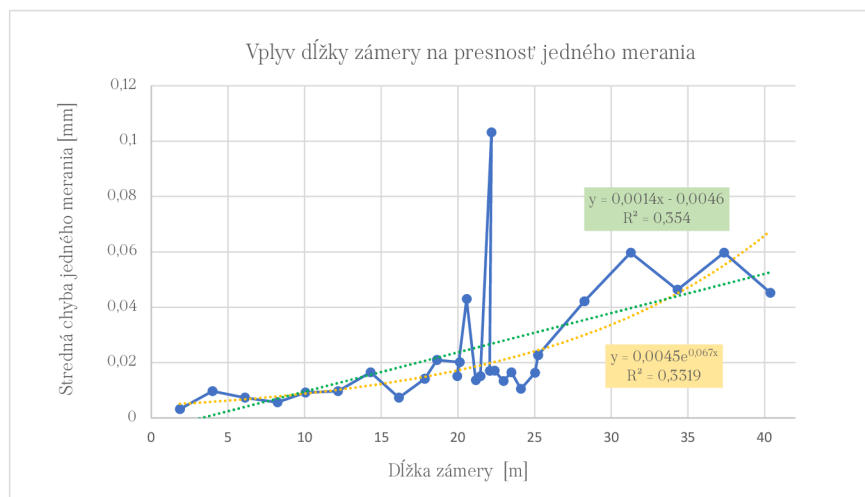
Obr. 3.17: Schéma experimentu vplyvu dĺžky zámery na presnosť čítania na stupnici

Experimentálnym meraním bolo zistené, že nameraná veľkosť strednej chyby jedného merania je do dĺžky 12 metrov na úrovni rozlišovacej schopnosti (0,01 mm), čo pokrýva všetky zámery v našom meraní. Pri meraní na 14 metrov už dosahuje meranie presnosť nad rámec rozlišovacej schopnosti. Od určitej dĺžky zámery je skoková zmena presnosti.



Obr. 3.18: Graf vplyvu dĺžky zámery na presnosť jedného merania

V druhom grafe sú oba experimenty zlúčené do jednej dátovej sady a sú preložené lineárnou a exponenciálnou spojnicou. Na základe výsledných koeficientov determinácie vidieť, že graf viac nasleduje exponenciálny trend.



Obr. 3.19: Graf vplyvu dĺžky zámery na presnosť jedného merania preložený spojnicami

3.7.4 Analýza presnosti medzi závesnou stupnicou a laťou

Experimentálnym meraním sme prišli na to, že presnosť na 4 metre sa v prípade merania na 8 závesných stupníc (sekcia 3.7.1) líši od presnosti na lať pri experimente vplyvu dĺžky zámery na presnosť merania (sekcia 3.7.2). Bolo potrebné otestovať či sú tieto 2 nezávislé experimenty výberom z rovnakého základného súboru.

Na tento účel sa využilo testovanie štatistických hypotéz, konkrétne Snedecorovo-Fisherovo rozdelenie, kde sú kritické hodnoty uvedené v tabuľkách. Tabuľky sú uvedené pre $\alpha = 0.05$ a $\alpha = 0.01$. Tabuľky obsahuje kritické hodnoty F_α rozdelenia $F = \frac{m_1^2}{m_2^2}$ pre rôzny rozsah výberov n_1 a n_2 , z ktorých boli vyčíslené stredné chyby m_1 a m_2 (n'_1 a n'_2). n'_1 (n'_2) je počet stupňov voľnosti náhodnej veličiny v čitateli (menovateli) náhodnej veličiny F.

Stredná kvadratická hodnota smerodatnej odchýlky na dĺžku 4 m pri prvom teste s použitím závesných stupní je 0,0051 mm. Pri použití late v experimente vplyvu dĺžky zámery na presnosť čítania na stupnici odpovedala dĺžke zámery 4 m presnosť 0,0097 mm.

$$F = \frac{m_1^2}{m_2^2} = \frac{0,0097^2}{0,0051^2} = 3,62 \quad (3.3)$$

Hodnotu sme porovnali najprv s kritickou hodnotou štatistického testu pri hladine významnosti 5 % a kritická hodnota bola prekročená.

$$3,62 > 3,19$$

		$\alpha = 0,05$														
$n'_2 \backslash n'_1$	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	30	40	60	120	∞	
1	161	199	216	225	230	234	239	242	246	248	250	251	252	253	254	
2	18,5	19,0	19,2	19,2	19,3	19,3	19,4	19,4	19,4	19,4	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	
3	10,1	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,85	8,79	8,70	8,66	8,62	8,59	8,57	8,55	8,53	
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,04	5,96	5,86	5,80	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63	
5	6,60	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,82	4,74	4,62	4,56	4,50	4,46	4,43	4,40	4,37	
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,15	4,06	3,94	3,87	3,81	3,77	3,74	3,71	3,67	
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,73	3,64	3,51	3,45	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23	
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,44	3,35	3,22	3,15	3,08	3,04	3,00	2,97	2,93	
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,23	3,14	3,01	2,94	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71	
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,07	2,98	2,84	2,77	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54	
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,85	2,75	2,62	2,54	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30	
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,70	2,60	2,46	2,39	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13	
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,59	2,49	2,35	2,28	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01	
18	4,41	3,56	3,16	2,93	2,77	2,66	2,51	2,41	2,27	2,19	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92	
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,45	2,35	2,20	2,12	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84	
25	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,49	2,34	2,24	2,09	2,01	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71	
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,27	2,16	2,02	1,93	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62	
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,18	2,08	1,92	1,84	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51	
60	4,00	3,15	2,76	2,52	2,37	2,25	2,10	1,99	1,84	1,75	1,65	1,59	1,53	1,47	1,39	
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,18	2,02	1,91	1,75	1,66	1,55	1,50	1,43	1,35	1,25	
∞	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	1,94	1,83	1,67	1,57	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00	

Obr. 3.20: Tabuľka rozdelenia F pre $\alpha = 0.05$ [18]

Následne sme porovnali hodnotu s kritickou hodnotou štatistického testu pri hladine významnosti 1% a v tomto prípade už bola hodnota nižšia ako kritická, čo vykazuje o tom, že nejde o úplne odlišné merania.

$$3,62 < 5,37$$

		$\alpha = 0,01$													
$n_2 \backslash n_1$	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	30	40	60	120	∞
1	4052	5000	5403	5625	5764	5859	5981	6056	6157	6209	6261	6287	6313	6339	6366
2	98,5	99,0	99,2	99,3	99,2	99,3	99,4	99,4	99,4	99,4	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5
3	34,1	30,8	29,5	28,7	28,2	27,9	27,5	27,2	26,9	26,7	26,5	26,4	26,3	26,2	26,1
4	21,2	18,0	16,7	16,0	15,5	15,2	14,8	14,5	14,2	14,0	13,8	13,7	13,7	13,6	13,5
5	16,3	13,3	12,0	11,4	11,0	10,7	10,3	10,1	9,7	9,55	9,38	9,29	9,20	9,11	9,02
6	13,7	10,9	9,78	9,15	8,75	8,47	8,10	7,87	7,56	7,40	7,23	7,14	7,06	6,97	6,88
7	12,2	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	6,84	6,62	6,31	6,16	5,99	5,91	5,82	5,74	5,65
8	11,3	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,03	5,81	5,52	5,36	5,20	5,12	5,03	4,95	4,86
9	10,6	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,47	5,26	4,96	4,81	4,65	4,57	4,48	4,40	4,31
10	10,0	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,06	4,85	4,56	4,40	4,25	4,16	4,08	4,00	3,91
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,50	4,30	4,01	3,86	3,70	3,62	3,54	3,45	3,36
14	8,86	6,52	5,56	5,04	4,70	4,47	4,14	3,94	3,66	3,51	3,35	3,27	3,18	3,09	3,00
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	3,89	3,69	3,41	3,26	3,10	3,02	2,93	2,84	2,75
18	8,28	6,01	5,09	4,58	4,25	4,02	3,70	3,51	3,23	3,08	2,92	2,84	2,75	2,66	2,57
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,56	3,37	3,09	2,94	2,78	2,70	2,61	2,52	2,42
25	7,77	5,57	4,68	4,18	3,86	3,63	3,32	3,13	2,85	2,70	2,54	2,45	2,36	2,27	2,17
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,17	2,98	2,70	2,55	2,39	2,30	2,21	2,11	2,01
40	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	2,99	2,80	2,52	2,37	2,20	2,11	2,02	1,92	1,80
60	7,08	4,98	4,13	3,65	3,34	3,12	2,82	2,63	2,35	2,20	2,03	1,94	1,84	1,73	1,60
120	6,85	4,79	3,95	3,48	3,17	2,96	2,66	2,47	2,19	2,04	1,86	1,76	1,66	1,53	1,38
∞	6,64	4,60	3,78	3,32	3,02	2,80	2,51	2,32	2,04	1,88	1,70	1,59	1,47	1,32	1,00

Obr. 3.21: Tabuľka rozdelenia F pre $\alpha = 0.01$ [18]

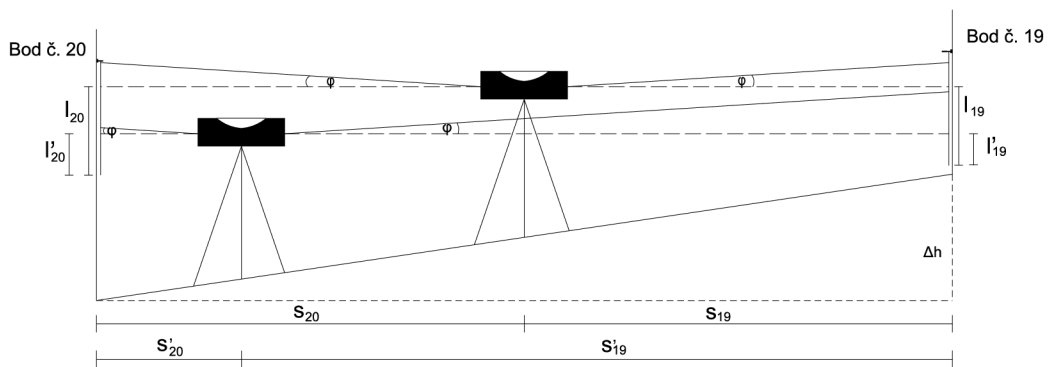
Výsledkom analýzy je, že testovacie merania sú zrovnateľné len čiastočne - oba experimenty boli vykonané za iných podmienok a za použitia iných meradiel.

Z tabuľky 3.2 je zrejmé, že kvalita jednotlivých závesných stupníc je rôzna, niektoré stupnice sa blížia nameranej hodnote v druhom porovnávanom experimente a niektoré vychádzajú podstatne lepšie. Do tejto analýzy sa ale vstupovalo so strednou kvadratickou hodnotou.

3.8 Skúška zámernej osi

Princíp metódy nivelácie je založený na vodorovnej zámere nivelačného prístroja a odčítaní hodnoty prevýšenia na lati, čo znamená, že nevodorovnosť zámernej priamky priamo ovplyvní merané dáta. Pri geometrickej nivelácii zo stredu sa tento vplyv úplne eliminuje z dôvodu rovnakých dĺžok zámer. V niektorých prípadoch nie je možné uskutočniť meranie tak, aby bola zaistená rovnaká dĺžka zámer a je tomu tak aj v našom prípade. Z tohto dôvodu je potrebné zavádzať korekciu zo sklonu zámernej osi.

V každej etape na začiatku a na konci bola vykonaná skúška pre overenie stability, zaistenie správnosti nameraných dát v celom priebehu merania a zavedenie korekcií. Skúška zámernej osi bola vykonaná medzi bodmi č. 19 a 20, ktoré boli od seba vzdialené približne 10 m. Z dôvodu horších podmienok a nedostatočného priestoru nebola použitá najbežnejšia varianta excentrického postavenia prístroja pri skúške zámernej osi a to postavenia za jedným z bodov. Využitá bola u nás nepříliš používaná Förstnerova metóda. Princíp tejto metódy vyplýva z obrázku 3.22.



Obr. 3.22: Schéma skúšky nevodorovnosti zámernej osi

Výpočet hodnoty sklonu zámernej osi φ na 1 m:

$$\Delta h_{19,20} = l_{19} - l_{20} \quad (3.4) \quad s_{19,20} = s_{19} - s_{20} \quad (3.5)$$

$$\Delta h'_{19,20} = l'_{19} - l'_{20} \quad (3.6) \quad s'_{19,20} = s'_{19} - s'_{20} \quad (3.7)$$

$$\Delta = \Delta h_{19,20} - \Delta h'_{19,20} \quad (3.8) \quad s = s_{19,20} - s'_{19,20} \quad (3.9)$$

$$\varphi = \frac{\Delta}{s} \quad (3.10)$$

$\Delta h, s$ prevýšenie, rozdiel dĺžok zámer postavenia zo stredu,
 $\Delta h', s'$... prevýšenie, rozdiel dĺžok zámer z excentrického postavenia,
 Δ, s rozdiel prevýšení/ dĺžok medzi postaveniami.

Vyššie popisovaný výpočet sa vykonal ako pre skúšku pred samotným meraním, tak aj po. Výpočet prebehol v programe Microsoft Excel. Rozdiely hodnôt sklonu zámernej osi pred a po meraní boli porovnané s medznou odchýlkou, ktorá bola vypočítaná:

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 \quad (3.11)$$

$$\delta = 2 * \sigma = 0,027 \text{ mm} \quad (3.12)$$

σ_1 ... súčet kvadrátov naexperimentových neistôt z postavenia zo stredu,
 σ_2 ... súčet kvadrátov naexperimentovaných neistôt pre rôzne dĺžky z excentrického postavenia.

Rozdiel nebol prekročený vrámci neistôt, tak bola použitá ako korekcia ich priemerná hodnota.

Tab. 3.4: Výsledky skúšok prístroja pred a po meraní

Číslo etapy	Oφ pred meraním [mm/m]	Oφ po meraní [mm/m]	Δ [mm/m]	Medzná odchýlka [mm/m]	Výsledná Oφ [mm/m]
0	0,021	0,012	0,009	0,027	0,017
1	0,027	0,015	0,012	0,027	0,021
2	0,042	0,025	0,017	0,027	0,034
3	0,034	0,017	0,017	0,027	0,025
4	0,033	0,021	0,012	0,027	0,027

Vypočítanú opravu o_φ zavádzame do meraného prevýšenia h'_i vzťahom:

$$h_i = h'_i + o_i \quad (3.13)$$

kde

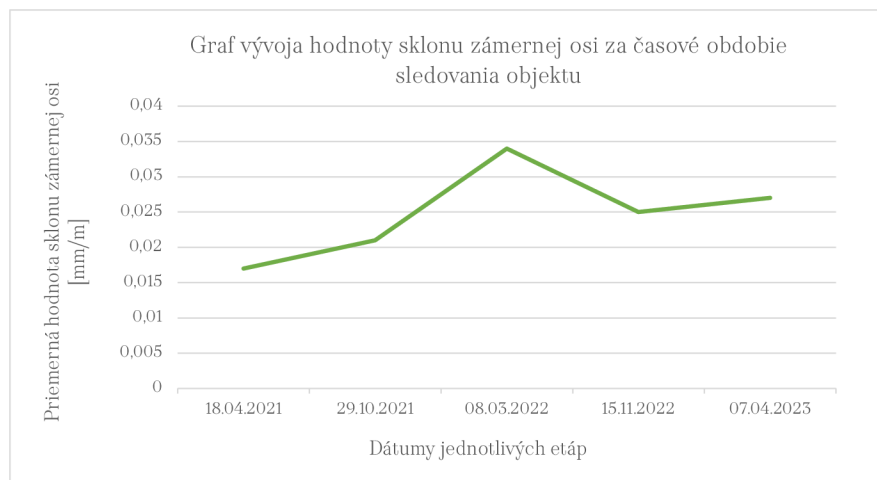
$$o_i = o_\varphi \cdot s \quad (3.14)$$

pričom s je dĺžka zámery a h_i je výsledné opravené prevýšenie.

Tab. 3.5: Výsledné hodnoty sklonu zámernej osi pre jednotlivé etapy

Etapa č.	Dátum	Priemerná hodnota sklonu zámernej osi [mm/m]	Teplota vonku [°C]
0	18.04.2021	0,017	7
1	29.10.2021	0,021	14
2	08.03.2022	0,034	3
3	15.11.2022	0,025	10
4	07.04.2023	0,027	12

Hodnoty sklonu zámerných os všetkých etáp sa vyniesli do grafu, kde je vidieť ako sa hodnota vyvíjala po dobu 2 rokov.



Obr. 3.23: Graf vývoja hodnoty sklonu zámernej osi

Výsledkom skúšky bola hodnota sklonu zámernej osi, o ktorú je nutné všetky namerané dáta v danej etape korigovať. Pretože nivelácia nemala princíp vzad a vpred ale zostava sa rozkladala na 2 prevýšenia medzi tromi bodmi, kde aj sa aj horizont prístroja počítal ako neznáma výška, tak sa s nameranými dátami počítalo riadkovo. Znamená to, že nameraný latový úsek bol považovaný za prevýšenie medzi prístrojom a bodom. Vyplýva z toho, že sa o hodnotu sklonu zámernej osi opravovalo každé meranie.

3.9 Postup pri realizácii merania a spracovania

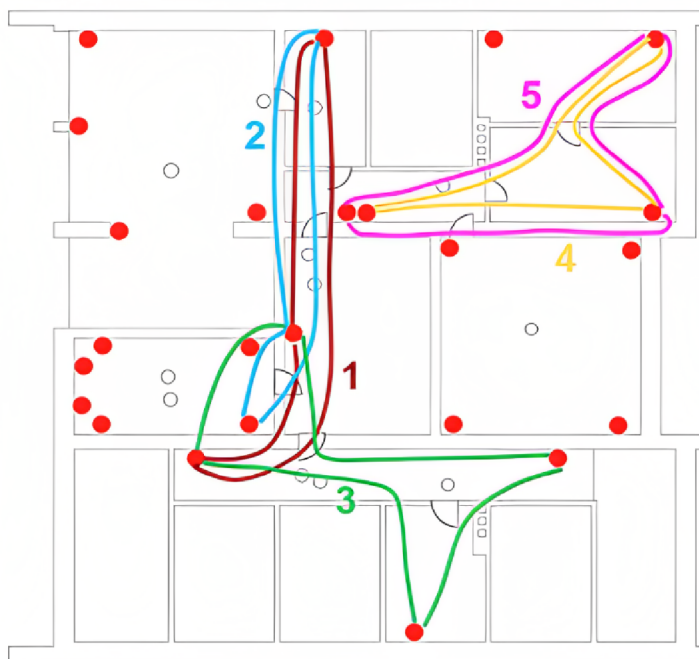
Po temperácii prístroja a vykonaní skúšky zámernej osi pred meraním mohlo dôjsť k samotnému meraniu. Záznam meraných dát bol uskutočnený ich registráciou do pamäti nivelačného prístroja, v režime „Measure only“, kde prístroj trikrát za sebou vykonal meranie a následne uložil priemernú hodnotu z meraní. V jednotlivých etapách bol nameraný dostatočný počet nadbytočných meraní, aby mohlo následne dôjsť k vyrovnaniu, ktoré zaistí najspoločnejší výpočet hľadaných parametrov a mohli sa taktiež odhaliť možné chyby meraných dát. Hodnota meraného prevýšenia bola zo závesnej stupnice odčítaná na stotiny milimetrov. Záznam meraných dát je ukladaný vo formáte Leica GSI, ktorý bol bližšie popísaný v podkapitole 3.6.

Prvým krokom pred samotným spracovaním nameraných dát je nutnosť exportu z použitého meracieho prístroja. V prípade digitálneho nivelačného prístroja Leica DNA03 išlo o kopírovanie dát vo formáte GSI z pamätovej karty prístroja do počítača.

Namerané dáta boli v textovom editore skontrolované a boli vymazané chybné merania a opravené prípadné chybné očíslovania bodov. Následne boli surové dáta z merania naimportované do softwaru MS Office Excel pomocou funkcie „Text na stĺpce“. V ďalšom kroku bola z nameraných dát skúšky pred a po meraní vypočítaná výsledná hodnota sklonu zámernej osi a bola do nameraných dát zavedená korekcia.

3.10 Kontrola vnútornej presnosti

Následne po zavedení korekcií z nevodorovnosti zámernej priamky nivelačného prístroja bolo potrebné overiť presnosť dát, aby sa odhalili chyby ešte pred ďalšími výpočtami. To bolo dosiahnuté výpočtom uzáverov nameraných z nezávislých postavení prístroja. Bolo ich tam niekoľko a jednotlivé uzávery sú od seba farebne odlišené na obrázku 3.24. Kontrola prebehla dvojitým nezávislým meraním a to z dôvodu, že boli všetky prevýšenia merané dvakrát a to tak, že pred kontrolným meraním došlo k zmene horizontu prístroja.



Obr. 3.24: Vyznačené uzávery

Výsledky uzáverov boli porovnané s medznou hodnotou uzáveru, ktorá bola vypočítaná:

$$m_{zos} = m_h \cdot \sqrt{2}, \quad (3.15)$$

$$m'_h = \frac{m_h}{\sqrt{2}}, \quad (3.16)$$

$$\delta_u = t \cdot \sqrt{n} \cdot m_h, \quad (3.17)$$

m_h stredná chyba jedného prevýšenia,
 m_{zos} stredná chyba jednej zostavy,
 m'_h stredná chyba priemeru dvojíc prevýšenia,
 δ_u medzná odchýlka uzáveru,
 t koeficient spoľahlivosti ($t = 2$).

Tab. 3.6: Posúdenie presnosti uzáverov vo všetkých etapách

Číslo etapy	Časové obdobie	Číslo uzáveru	Hodnota uzáveru [mm]	δ_u [mm]	Posúdenie presnosti
0	4/2021	1	-0,05	0,12	spĺňa
		2	-0,10	0,12	spĺňa
1	10/2021	1	-0,24	0,12	nespĺňa
		3	0,14	0,14	spĺňa
2	3/2022	1	-0,03	0,12	spĺňa
		3	-0,05	0,12	spĺňa
3	11/2022	1	0,05	0,12	spĺňa
		4	0,02	0,12	spĺňa
		5	0,04	0,12	spĺňa
4	4/2023	4	-0,02	0,12	spĺňa
		5	-0,01	0,12	spĺňa

Všetky uzávěry mají menší hodnotu ako je medzná hodnota až na jeden, kde je hodnota prekročená o 12 stotín milimetru. Namerané dáta z daného uzáveru zostali napriek tomu ponechané do ďalšieho spracovania, pretože vo vyrovnaní sa s nimi počíta ako so samostatnými hodnotami a nebola tam nájdená žiadna odľahlá hodnota.

4 Spracovanie nameraných dát

4.1 Konverzia dát

Na výpočet sprostredkujúceho merania pomocou MNŠ bol použitý softwar G-NET verzia 02.09, ktorý využíva špecifický formát. Tento formát má presne stanovené poradie a pozície jednotlivých veličín v textovom súbore. Z toho dôvodu bolo nutné vytvoriť skript na konverziu nameraných dát z formátu GSI na formát, ktorý využíva software G-NET. Vytvorený skript v programovacom jazyku Python je súčasťou prílohy A. Špecifikácia formátu programu G-NET sa nachádza v užívateľskej príručke softwaru a je taktiež uvedená v tabuľke 4.1.

Tab. 4.1: Externý formát súboru veličín programu G-NET [20]

Typ veličiny	Od pozície č.	Do pozície č.
Položka	1	8
ČB 1	9	18
ČB 2	19	28
ČB 3	29	38
Hodnota	39	48
AprStrCh	49	56
Vzorce	57	72

Ukážka dát prevedených na formát G-NET:

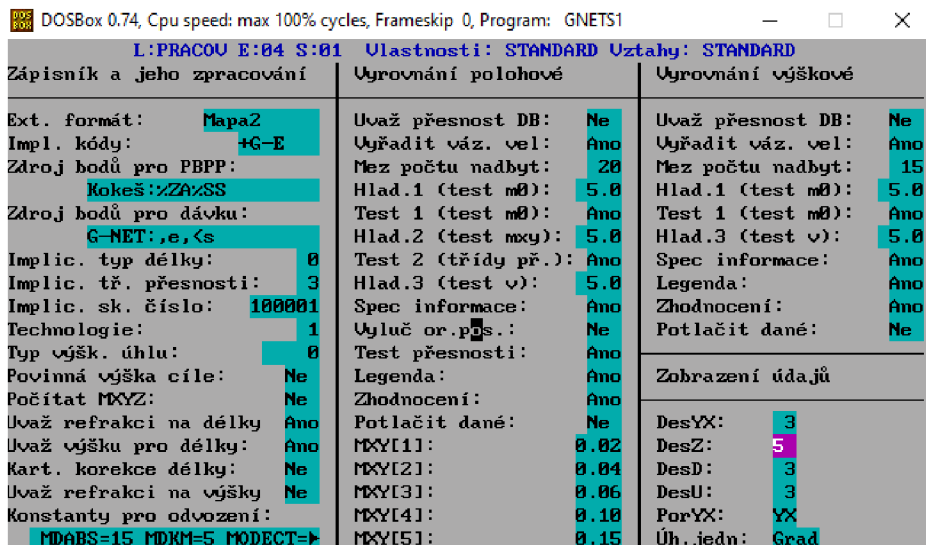
Položka	ČB1	ČB2	Prevýšenie	Presnosť
DZ	ST1	20	-0.26127	0.000034
DZ	ST1	21	-0.25840	0.000034
DZ	ST1	19	-0.25390	0.000034
DZ	ST2	19	-0.25395	0.000034
DZ	ST2	21	-0.25844	0.000034
DZ	ST2	20	-0.26127	0.000034
DZ	ST3	07	-0.22677	0.000034
DZ	ST3	08	-0.21959	0.000034
DZ	ST3	09	-0.23046	0.000034

Obr. 4.1: Namerané dáta prekonvertované na formát programu G-NET

Takto prekonvertované dáta už bolo možné naimportovať do geodetického výpočetného softvéru G-NET.

4.2 Výpočet výšok MNŠ

Pred naimportovaním zápisníka merania bolo nutné nastaviť vlastnosti lokality a o akú etapu, príp. sieť sa jedná. Taktiež bolo nutné vo vlastnostiach nastaviť počet desiatinných miest vstupných a tým pádom aj výstupných hodnôt. Dáta boli do softvéru naimportované pomocou textového súboru. Ten obsahoval všetky potrebné údaje pre vyrovnanie a to jednotlivé postavenia prístroja, čísla bodov, prevýšenie a vstupnú apriornú strednú chybu. Analýza voľby vstupnej apriornej strednej chyby bude bližšie popísaná v nasledujúcej kapitole.



Obr. 4.2: Nastavenie vlastností v programe G-NET

Veličina	ČB1	ČB2	ČB3	Hodnota	Chyba	Uzorec
DZ	ST1	20		-0.26127	0.000034	
DZ	ST1	21		-0.25840	0.000034	
DZ	ST1	19		-0.25390	0.000034	
DZ	ST2	19		-0.25395	0.000034	
DZ	ST2	21		-0.25844	0.000034	
DZ	ST2	20		-0.26127	0.000034	
DZ	ST3	07		-0.22677	0.000034	
DZ	ST3	08		-0.21959	0.000034	
DZ	ST3	09		-0.23046	0.000034	
DZ	ST4	09		-0.21502	0.000034	
DZ	ST4	08		-0.20412	0.000034	
DZ	ST4	07		-0.21130	0.000034	
DZ	ST5	08		-0.21498	0.000034	
DZ	ST5	09		-0.22588	0.000034	
DZ	ST5	18		-0.10123	0.000034	

Obr. 4.3: Naimportované namerané dáta v programe G-NET

Pred samotným vyrovnaním bolo potrebné vedieť približné výšky jednotlivých bodov. Tie bolo možné dopočítať len v prípade, že jeden zo sledovaných bodov budeme považovať za fixný. Ako fixný bod bol zvolený bod č. 13 s nastavenou relatívnou výškou 100 m. Voľba východiskového bodu bude bližšie vysvetlená v podkapitole 4.4.

G-NET/COMPLEX/U02.09 VÝPOČTY GEODETICKÝCH SÍTÍ (C) SHINE, C.S. Brno									
Urcholy síť [PRACOV 4 : 1]									
ČB	Y	X	Z	FixY	FixX	FixZ	HT	Z-HT	
13			100.00000	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne	

Obr. 4.4: Nastavenie východiskového bodu

Následne už mohlo prebehnúť odvodenie výšok ostatných bodov, ktoré boli vypočítané v zvolenom miestnom výškovom systéme. Približné výšky bodov spolu s meranými dátami pre vyrovnanie tvoria tzv. model siete. Posledným krokom bolo samotné vyrovnanie. Softvér G-NET spočíta výškové vyrovnanie ako vyrovnanie sprostredkujúcich meraní metódou najmenších štvorcov, ktorej hlavnou podmienkou je minimálna hodnota súčtu kvadrátov všetkých opráv hodnôt meraných veličín. Z vyrovnaní je v softvéri G-NET dostupný protokol o výškovom vyrovnaní siete, ktorý obsahuje všetky potrebné informácie. V prvej časti je rozbor vyrovnaní výškovej siete, z ktorého je najpodstatnejšia hodnota strednej aposteriórnej chyby. Ide o hodnotu získanú zo štatistického testovania, pri ktorom je testovaný odhad jednotkovej strednej chyby pomocou jednostranného χ^2 testu na zvolenej hladine významnosti 5%. Podstatou testu je overenie neprekročenia kritickej hodnoty.

V strednej časti sú informácie o vyrovnaní prevýšení medzi ktoré patria opravy, normované opravy, vyrovnané hodnoty jednotlivých prevýšení a iné. Táto časť má najväčší význam pre kontrolu nameraných údajov, ktoré vstupovali do vyrovnaní a odhalenie prípadných chýb. V poslednej časti protokolu sú vyrovnané výšky 24 sledovaných bodov a jednotlivých stanovísk spolu so strednými chybami určenia výšok. Vyrovnané výšky stanovísk prístroja nie sú podstatné a ďalej sa s nimi už nebude pracovať.

Na obrázku 4.5 je časť protokolu o výškovom vyrovnaní etapy č. 3. Celý protokol vyrovnaní je predmetom prílohy B.

 Rozbor vyrovnani vyskove site

Pocet prevyseni pouzitych ve vyrovani: 108
 Pocet nadbytecnych velicin: 57
 Jednotkova stredni chyba aposteriori: 0.4725
 Kriticka hodnota chi-kvadrat pro test 1: 1.1518
 Pravdepodobnost, ze na zaklade testu 1 bude
 presnost oznacena za nedodrzenou neopravnene: 5.0 %

Pocet podminek pro regularizaci: 0
 Pocet radku matice linearniho modelu: 108
 Pocet sloupcu matice linearniho modelu: 51
 Defekt matice: 0
 Vypoctena hodnota poctu nadbytecnych velicin: 57.00002
 Odhad jedn. str. ch. pri vyloucení podezreleho mereni: 0.4389
 Index nejpodzrelejsiho mereni: 99
 Pouzita standardni odchylka sigma 0.4725
 Na zaklade statistického testu 1 nelze presnost mereni prohlásit
 za nedodrzenou (na hladine vyznamnosti 5.0 %).

 Informace o vyrovnani prevyseni

	CB1	CB2	hodnota	AprStr	L	VNorm	Oprava	Apost	Vyrovnana	FC
1	ST1	20	-0.26736	0.034	0.000	-1.137	-0.02	0.009	-0.26737	0.430
2	ST1	19	-0.26025	0.034	0.070	1.231	0.01	0.010	-0.26023	0.348
3	ST1	21	-0.26459	0.034	0.000	0.508	0.01	0.013	-0.26458	0.209
4	ST1	20	-0.26737	0.034	0.010	-0.379	-0.00	0.009	-0.26737	0.430
5	ST2	20	-0.26735	0.034	0.000	-1.894	-0.03	0.009	-0.26737	0.430
6	ST2	19	-0.26026	0.034	0.090	2.052>	0.03	0.010	-0.26023	0.348
7	ST2	21	-0.26458	0.034	0.000	-0.508	-0.01	0.013	-0.26458	0.209
8	ST2	20	-0.26738	0.034	0.030	0.379	0.01	0.009	-0.26737	0.430
9	ST3	07	-0.20840	0.034	0.020	0.591	0.01	0.010	-0.20839	0.388
10	ST3	08	-0.20169	0.034	0.020	-0.631	-0.01	0.011	-0.20170	0.319

CB1, CB2 cisla bodu, mezi nimiz bylo mereno prevyseni (z CB1 na CB2).
 hodnota hodnota mereneho prevyseni (jednotky jsou [m]).
 AprStr velikost apriorni stredni chyby zadane v modelu site [mm]
 ! vyskytujici se u prevyseni oznacuje nejpodzrelejsi prevyseni.
 > vyskytujici se u prevyseni oznacuje opravy vybocuujici z testu 3.
 Kriticka hodnota testu 3 cini 1.96, a to pri hladine vyznamnosti 5.0 %.
 L velikost odchylky mezi hodnotou merenou a odvozenou z vysek [mm]
 VNorm normalizovana oprava (slouzi k testovani odlehlých hodnot, je bez rozmeru)
 Oprava oprava [mm]
 Aposter velikost stredni chyby vyrovnane veliciny [mm].
 Vyrovnana vyrovnana hodnota veliciny.
 FC faktor prinosu veliciny pro vyrovnani (bez rozmeru).
 FC = 1.0 - nepotrebná, 0.25 - normalni potreba, 0.0 - nezbytna velicina bez kontroly

 Vyrovnane vysky bodu

CB	Z [m]	MZ
13	100.00000	0.000
ST7	100.19787	0.012
	-0.00002	
18	100.09174	0.014
	-0.00003	
10	99.97379	0.014

CB Cislo bodu
 Z Vyrovnana vyska Z [m]
 MZ Stredni chyba ve vysce Z [mm]

Konec seznamu bodu

Konec protokolu o vyskove vyrovnani site.

Obr. 4.5: Ukážka protokolu výškového vyrovnania

Obdobne boli vyrovnané všetky etapy merania. Tabuľka 4.2 dáva prehľad o počte prevýšení nameraných v jednotlivých etapách a taktiež o dosiahnutej aposteriórnej jednotkovej strednej chybe po vyrovnaní.

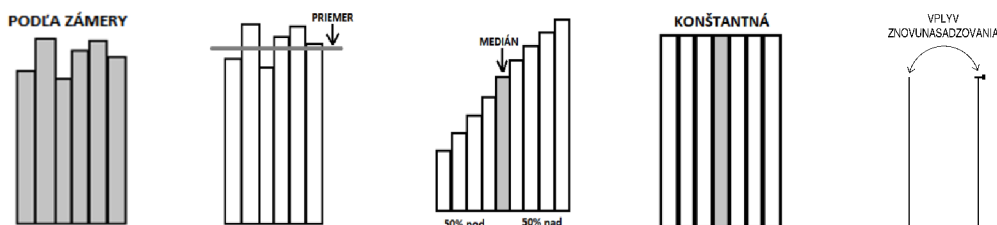
Tab. 4.2: Prehľad počtu meraných prevýšení a výslednej presnosti všetkých etáp

Číslo etapy	Počet prevýšení	Počet nadbytočných prevýšení	Jednot. str. chyba aposteriórna
0	88	36	0,8999
1	105	51	0,8635
2	123	67	0,4757
3	108	57	0,4725
4	82	35	1,0103

4.3 Analýza vstupnej presnosti do MNŠ

Do modelu vyrovnania potrebujeme vstupovať s presnosťou, ktorá reálne odpovedá podmienkam merania. Z dôvodu rozdielnych zámer v meraní bolo použitých 5 rozličných stratégií voľby apriornej presnosti čítania na stupnici, ktorá bude vstupovať do vyrovnania.

Ako prvá stratégia sa zvolila vstupná presnosť pre každé namerané prevýšenie zvlášť, podľa dĺžky zámer. Presnosť sa preto pohybovala od 3 tisíc do 1 stotiny milimetru. V druhom prípade bola použitá presnosť, ktorá odpovedá priemernej dĺžke zámer, čo sú 4 m. Podstatou tretej stratégie bolo použitie presnosti, ktorá odpovedá mediánu dĺžky zámer, ktorým sú 3 m. Štvrtá stratégia bola zvolená konštantná presnosť 0,05 mm pre všetky prevýšenia. Ako posledná piata analýza bola presnosť priemernej zámer s uvážením vplyvu znovunasadzovania stupnice. Apriorná presnosť sa tým pádom celkovo pohybovala v rozmedzí od troch tisícín mm do päť stotín mm.



Obr. 4.6: Piktogramy jednotlivých stratégií

Tab. 4.3: Analýza voľby váhovania

	Analýza voľby váhovania				
	1	2	3	4	5
Vstupná str. chyba apriórna [mm]	0,003-0,010	0,010	0,006	0,050	0,034
Jednotková str. chyba a posteriori	2,2879	1,6064	2,6773	0,3213	0,4725
Max. zmena výšky bodu [mm]	-0,01	0,00	0,00	0,00	referenčná

1	dĺžka zámery- odpovedajúca presnosť
2	priemerná zámerna (4m)
3	zámerna z mediánu (3m)
4	paušálna str. chyba
5	znovunasadzovanie + analýza č. 2

Obr. 4.7: Vysvetlivky jednotlivých stratégií

Analýza prebehla na nameraných dátach 3. etapy merania. Z tabuľky je vidieť, že pri použití rozličnej stratégie do výškového vyrovnania sa výška sledovaného bodu zmenila maximálne o 1 stotinu milimetru.

Analýzou vstupnej presnosti do MNČ sa došlo k záveru, že 5. stratégia voľby vstupnej presnosti najlepšie odpovedá meraniu a s tou budú hodnoty vstupovať do vyrovnania vo všetkých etapách.

4.4 Voľba východiskového bodu

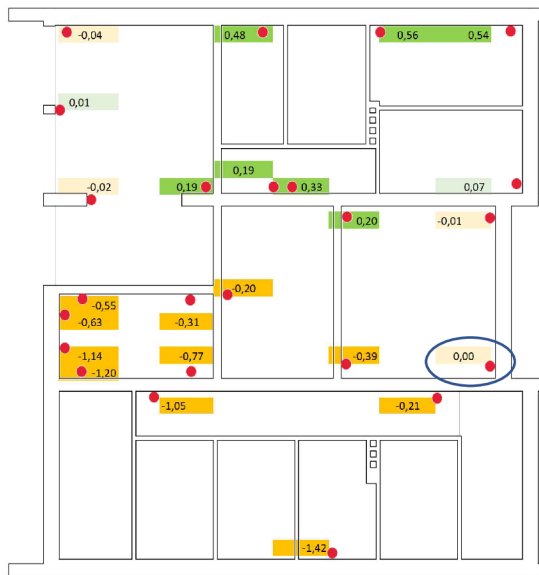
Problémom je voľba východiskového bodu. Pretože sa jedná len o pretvorenie, tak tam nie je žiadny vzťažný bod, ktorý by bol stabilný, všetky sledované body sú na objekte. Hľadáme preto bod, ktorý dáva logiku vyhodnoteniu. Voľba východiskového bodu je založená na hypotéze, že dom nerovnomerne sadá, zdvihy sú neočakávané a málo pravdepodobné. Stratégia hľadania východiskového bodu bola o tom, že sa pozeralo na kritérium najmenšieho počet zdvihov.

Na obrázkoch sú varianty rôznej voľby východiskového bodu, ktoré boli vybrané s ohľadom na výsledky geofyzikálneho prieskumu. Bolo vyhodnotených 5 variant výškového vyrovnania a za vstupné východiskové body boli zvolené body č. 13, 14, 19, 20 a 21. Do softvéru Microsoft Excel bol vložený obrázok pôdorysu suterénu sledovaného stavebného objektu, ktorý bol doplnený o sledované body a číselné hodnoty rozdielov výšok medzi tretou (11/2022) a nultou etapou (4/2021). Podľa toho či ide o preukázateľné alebo nepreukázateľné sadanie je číselná hodnota podfarbená svetlejšou alebo tmavšou zelenou. Obdobne je to so zdvihmi, ktoré sú vyznačené

oranžovým podfarbením. V krúžku je vždy označený bod, ktorý bol vrámci príslušného vyrovnania zvolený ako fixný.

	preukázateľný zdvih
	nepreukázateľný zdvih
	nepreukázateľné sadanie
	preukázateľné sadanie

Obr. 4.8: Vysvetlenie grafickej interpretácie



Obr. 4.9: Vých. bod č. 13



Obr. 4.10: Vých. bod č.14



Obr. 4.11: Vých. bod č. 19



Obr. 4.12: Vých. bod č. 20



Obr. 4.13: Vých. bod č. 21

Z porovnania obrázkov je zrejmé, že bod, ktorý spĺňal kritérium najmenšieho počtu zdvihov bol bod č. 13. Z toho dôvodu bol považovaný za východiskový bod a k nemu boli vyhodnotené všetky merania v 5 etapách.

5 Výsledky a zhodnotenie

Táto kapitola obsahuje vyhodnotenia rozdielov výšok všetkých etáp voči nulte etape. Prvá časť kapitoly je primárne zameraná na číselné vyhodnotenia vo forme tabuliek, ktoré boli spracované v programe Microsoft Excel.

S vypočítanými vyrovnanými výškami bodov a ich strednými chybami mohlo dôjsť k vyhodnoteniu deformácií objektu, čo je zásadnou časťou tejto bakalárskej práce. Boli vypočítané rozdiely výšok jednotlivých bodov a porovnali sa s medznou hodnotou rozdielu výšok. Výstupom analýzy je vyhodnotenie či posun bol preukázateľný alebo nie. Posun bol preukázateľný, ak hodnota rozdielu výšok prekročila hodnotu medznej odchýlky rozdielu výšok. V prípade, že sa hodnota posunu nachádzala v rozmedzí strednej chyby a medznej odchýlky rozdielu výšok, tak posun mohol ale aj nemusel nastať. Vyhodnocujeme ho teda ako nepreukázateľný. Posledným prípadom je situácia, kedy je hodnota posunu menšia ako stredná chyba rozdielu výšok, čo taktiež vyhodnocujeme ako nepreukázateľný posun.

Medzná odchýlka rozdielu výšok bola vypočítaná súčinom strednej chyby a koeficientu spoľahlivosti $t = 2$ a zahŕňa hodnotu veličiny s pravdepodobnosťou $P = 0,95$. Prehľad všetkých použitých vzorcov pre vyhodnotenie výsledkov merania sa nachádza v kapitole 1.4.

Hodnoty posunov boli vypočítané ako rozdiel výšok bodov v jednotlivých etapách, pričom od výšky v danej etape bola odčítaná výška v nulte etape. Vyhodnotenie deformácií je zoradené od porovnania najstaršej nameranej etapy s nultou po porovnanie poslednej etapy s nultou. Takýmto spôsobom získavame prehľad o správaní sledovaného objektu v čase.

5.1 Vyhodnotenie rozdielu výšok medzi etapami 1 (10/2021) a 0 (4/2021)

Tabuľky obsahujú informácie o jednotlivých etapách, výšky jednotlivých bodov v etapách, ich rozdiel a výpočet strednej chyby a medznej odchýlky rozdielu výšok pre zistenie preukázateľnosti posunu. Posledný stĺpec tabuľky informuje o tom, k akej zmene, resp. posunu bodu došlo. Pokiaľ posun medzi etapami nebol preukázateľný je v riadku čierne „N“. Preukázateľný posun je označený písmenom „P“ a farebne rozlíšený či ide o sadanie - zelenou alebo zdvih - červenou.

Vyhodnotením rozdielu výšok medzi prvou a nultu etapou sme prišli k záveru, že pri 13 bodoch došlo k preukázateľnému posunu, čo je viac ako polovica sledovaných bodov. K najväčšiemu sadaniu došlo na bode č. 8, ktoré malo hodnotu -1,43 mm a na druhú stranu najväčší zdvih mal bod č. 5 a to +0,22 mm.

Tab. 5.1: Vyhodnotenie rozdielov výšok medzi etapami 1 a 0

ČB	Etapa: 1		Etapa: 0		Zvislý posun Δ_H [mm]	Stredná chyba $m_{\Delta H}$ [mm]	Medzná odchýlka $\delta_{\Delta H}$ [mm]	Posun
	Dátum: 29.10.2021		Dátum: 18.4.2021					
	Výška H [m]	m_H [mm]	Výška H [m]	m_H [mm]				
1	100,27648	0,05	100,27664	0,04	-0,16	0,06	0,12	P
2	99,96538	0,04	99,96574	0,04	-0,36	0,05	0,11	P
3	100,25464	0,04	100,25458	0,04	0,06	0,05	0,11	N
4	100,27305	0,04	100,27300	0,04	0,05	0,05	0,11	N
5	100,27356	0,04	100,27334	0,04	0,22	0,05	0,11	P
6	99,93735	0,06	99,93726	0,06	0,09	0,08	0,16	N
7	99,96906	0,04	99,96975	0,04	-0,69	0,06	0,12	P
8	99,97504	0,03	99,97647	0,04	-1,43	0,05	0,10	P
9	99,96600	0,03	99,96655	0,04	-0,55	0,05	0,10	P
10	99,97356	0,03	99,97360	0,03	-0,04	0,04	0,08	N
11	99,97049	0,03	99,97059	0,03	-0,10	0,04	0,08	P
12	99,95966	0,03	99,96017	0,03	-0,51	0,04	0,08	P
13 (fixný)	100,00000	0,00	100,00000	0,00	0,00	0,00	0,00	N
14	99,96822	0,03	99,96814	0,03	0,08	0,04	0,08	P
15	99,97301	0,04	99,97308	0,04	-0,07	0,06	0,12	N
16	99,97260	0,06	99,97254	0,05	0,06	0,08	0,16	N
17	99,97538	0,06	99,97548	0,05	-0,10	0,08	0,16	N
18	100,09152	0,03	100,09141	0,03	0,11	0,04	0,08	P
19	99,97607	0,05	99,97626	0,05	-0,19	0,07	0,13	P
20	99,96986	0,04	99,96996	0,05	-0,10	0,06	0,12	N
21	99,97279	0,05	99,97312	0,05	-0,33	0,07	0,14	P
22	99,97171	0,06	99,97177	0,05	-0,06	0,08	0,16	N
23	99,97033	0,05	99,97015	0,05	0,18	0,07	0,14	P
24	99,97265	0,06	99,97271	0,05	-0,06	0,08	0,16	N

5.2 Vyhodnotenie rozdielu výšok medzi etapami 2 (3/2022) a 0 (4/2021)

Porovnávané etapy 2 a 0 boli obe namerané na jar a je medzi nimi približne ročný rozdiel. Pri porovnaní etáp 2-0 došlo k 15 preukázateľným posunom, kde k najväčšiemu poklesu došlo opäť na bode č. 8 a to -1,27 mm, najväčší zdvih nastal na bode č. 6 a to +0,24 mm.

Tab. 5.2: Vyhodnotenie rozdielov výšok medzi etapami 2 a 0

ČB	Etapa: 2 Dátum: 8.3.2022		Etapa: 0 Dátum: 18.4.2021		Zvislý posun Δ_H [mm]	Stredná chyba $m_{\Delta H}$ [mm]	Medzná odchýlka $\delta_{\Delta H}$ [mm]	Posun
	Výška H [m]	m_H [mm]	Výška H [m]	m_H [mm]				
1	100,27650	0,02	100,27664	0,04	-0,14	0,05	0,09	P
2	99,96534	0,02	99,96574	0,04	-0,40	0,04	0,08	P
3	100,25480	0,02	100,25458	0,04	0,22	0,04	0,09	P
4	100,27298	0,02	100,27300	0,04	-0,02	0,04	0,09	N
5	100,27343	0,02	100,27334	0,04	0,09	0,04	0,09	P
6	99,93750	0,03	99,93726	0,06	0,24	0,07	0,13	P
7	99,96907	0,02	99,96975	0,04	-0,68	0,05	0,09	P
8	99,97520	0,02	99,97647	0,04	-1,27	0,04	0,08	P
9	99,96602	0,02	99,96655	0,04	-0,53	0,04	0,08	P
10	99,97347	0,01	99,97360	0,03	-0,13	0,03	0,06	P
11	99,97037	0,01	99,97059	0,03	-0,22	0,03	0,07	P
12	99,95964	0,01	99,96017	0,03	-0,53	0,03	0,07	P
13 (fixný)	100,00000	0,00	100,00000	0,00	0,00	0,00	0,00	N
14	99,96809	0,01	99,96814	0,03	-0,05	0,03	0,07	N
15	99,97307	0,02	99,97308	0,04	-0,01	0,05	0,10	N
16	99,97247	0,03	99,97254	0,05	-0,07	0,06	0,12	N
17	99,97562	0,03	99,97548	0,05	0,14	0,06	0,12	P
18	100,09129	0,01	100,09141	0,03	-0,12	0,03	0,06	P
19	99,97629	0,02	99,97626	0,05	0,03	0,05	0,11	N
20	99,96993	0,02	99,96996	0,05	-0,03	0,05	0,10	N
21	99,97309	0,02	99,97312	0,05	-0,03	0,06	0,11	N
22	99,97163	0,03	99,97177	0,05	-0,14	0,06	0,12	P
23	99,97034	0,02	99,97015	0,05	0,19	0,05	0,10	P
24	99,97265	0,03	99,97271	0,05	-0,06	0,06	0,12	N

5.3 Vyhodnotenie rozdielu výšok medzi etapami 3 (11/2022) a 0 (4/2021)

Medzi meraním tretej a nulte etapy je časový rozdiel zhruba rok a pol. Medzi týmito etapami došlo k 18 preukázateľným posunom, najväčší pokles bol na bode č. 21 a to -1,42 mm a k najväčšiemu zdvihu došlo na bode č. 7 a to +0,56 mm. Došlo k zmene trendu, čo bude ale lepšie rozpoznateľné z grafickej interpretácie, ktorá je spracovaná v podkapitole 5.5. Taktiež sa ukázal nárast rozdielu maximálnej a minimálnej hodnoty zhruba o 5 desiatín na 2 mm.

Tab. 5.3: Vyhodnotenie rozdielov výšok medzi etapami 3 a 0

ČB	Etapa: 3 Dátum: 15.11.2022		Etapa: 0 Dátum: 18.4.2021		Zvislý posun Δ_H [mm]	Stredná chyba $m_{\Delta H}$ [mm]	Medzná odchýlka $\delta_{\Delta H}$ [mm]	Posun
	Výška H [m]	m_H [mm]	Výška H [m]	m_H [mm]				
1	100,27660	0,03	100,27664	0,04	-0,04	0,05	0,09	N
2	99,96622	0,02	99,96574	0,04	0,48	0,04	0,09	P
3	100,25477	0,02	100,25458	0,04	0,19	0,04	0,09	P
4	100,27301	0,02	100,27300	0,04	0,01	0,04	0,09	N
5	100,27332	0,02	100,27334	0,04	-0,02	0,04	0,09	N
6	99,93671	0,03	99,93726	0,06	-0,55	0,06	0,13	P
7	99,97031	0,02	99,96975	0,04	0,56	0,05	0,09	P
8	99,97701	0,02	99,97647	0,04	0,54	0,04	0,08	P
9	99,96662	0,01	99,96655	0,04	0,07	0,04	0,08	N
10	99,97379	0,01	99,97360	0,03	0,19	0,03	0,06	P
11	99,97079	0,01	99,97059	0,03	0,20	0,03	0,07	P
12	99,96016	0,01	99,96017	0,03	-0,01	0,03	0,07	N
13 (fixný)	100,00000	0,00	100,00000	0,00	0,00	0,00	0,00	N
14	99,96775	0,01	99,96814	0,03	-0,39	0,03	0,07	P
15	99,97288	0,02	99,97308	0,04	-0,20	0,05	0,10	P
16	99,97191	0,03	99,97254	0,05	-0,63	0,06	0,12	P
17	99,97434	0,03	99,97548	0,05	-1,14	0,06	0,12	P
18	100,09174	0,01	100,09141	0,03	0,33	0,03	0,06	P
19	99,97605	0,02	99,97626	0,05	-0,21	0,05	0,11	P
20	99,96891	0,02	99,96996	0,05	-1,05	0,05	0,10	P
21	99,97170	0,03	99,97312	0,05	-1,42	0,06	0,12	P
22	99,97057	0,03	99,97177	0,05	-1,20	0,06	0,12	P
23	99,96938	0,03	99,97015	0,05	-0,77	0,05	0,10	P
24	99,97240	0,03	99,97271	0,05	-0,31	0,06	0,12	P

5.4 Vyhodnotenie rozdielu výšok medzi etapami 4 (4/2023 a 0 (4/2021)

Ako posledné je porovnanie poslednej nameranej etapy s nultou, medzi ktorými je dvojročný časový rozdiel. Medzi etapami 4-0 došlo k 21 preukázateľným posunom, najväčší pokles nastal na bode č. 21 a to -1,66 mm a k najväčšiemu zdvihu došlo na bode č. 8 a to +1,47 mm. Meraním 4. etapy sa potvrdila zmena trendu, ktorá bola zistená pri meraní predchádzajúcej etapy.

Tab. 5.4: Vyhodnotenie rozdielov výšok medzi etapami 4 a 0

ČB	Etapa: 4		Etapa: 0		Zvislý posun Δ_H [mm]	Stredná chyba $m_{\Delta H}$ [mm]	Medzná odchýlka $\delta_{\Delta H}$ [mm]	Posun
	Dátum: 7.4.2023		Dátum: 18.4.2021					
	Výška H [m]	m_H [mm]	Výška H [m]	m_H [mm]				
1	100,27654	0,05	100,27664	0,04	-0,10	0,06	0,12	N
2	99,96637	0,04	99,96574	0,04	0,63	0,06	0,11	P
3	100,25457	0,05	100,25458	0,04	-0,01	0,06	0,12	N
4	100,27283	0,05	100,27300	0,04	-0,17	0,06	0,12	P
5	100,27309	0,05	100,27334	0,04	-0,25	0,06	0,12	P
6	99,93659	0,08	99,93726	0,06	-0,67	0,10	0,19	P
7	99,97075	0,04	99,96975	0,04	1,00	0,06	0,12	P
8	99,97794	0,04	99,97647	0,04	1,47	0,05	0,10	P
9	99,96704	0,03	99,96655	0,04	0,49	0,05	0,10	P
10	99,97378	0,03	99,97360	0,03	0,18	0,04	0,08	P
11	99,97083	0,03	99,97059	0,03	0,24	0,05	0,09	P
12	99,96049	0,03	99,96017	0,03	0,32	0,05	0,09	P
13 (fixný)	100,00000	0,00	100,00000	0,00	0,00	0,00	0,00	N
14	99,96766	0,03	99,96814	0,03	-0,48	0,05	0,09	P
15	99,97281	0,05	99,97308	0,04	-0,27	0,07	0,13	P
16	99,97173	0,07	99,97254	0,05	-0,81	0,09	0,17	P
17	99,97408	0,07	99,97548	0,05	-1,40	0,09	0,17	P
18	100,09167	0,03	100,09141	0,03	0,26	0,04	0,08	P
19	99,97599	0,05	99,97626	0,05	-0,27	0,07	0,14	P
20	99,96857	0,05	99,96996	0,05	-1,39	0,07	0,14	P
21	99,97146	0,06	99,97312	0,05	-1,66	0,08	0,16	P
22	99,97039	0,07	99,97177	0,05	-1,38	0,09	0,17	P
23	99,96932	0,06	99,97015	0,05	-0,83	0,07	0,15	P
24	99,97234	0,07	99,97271	0,05	-0,37	0,09	0,17	P

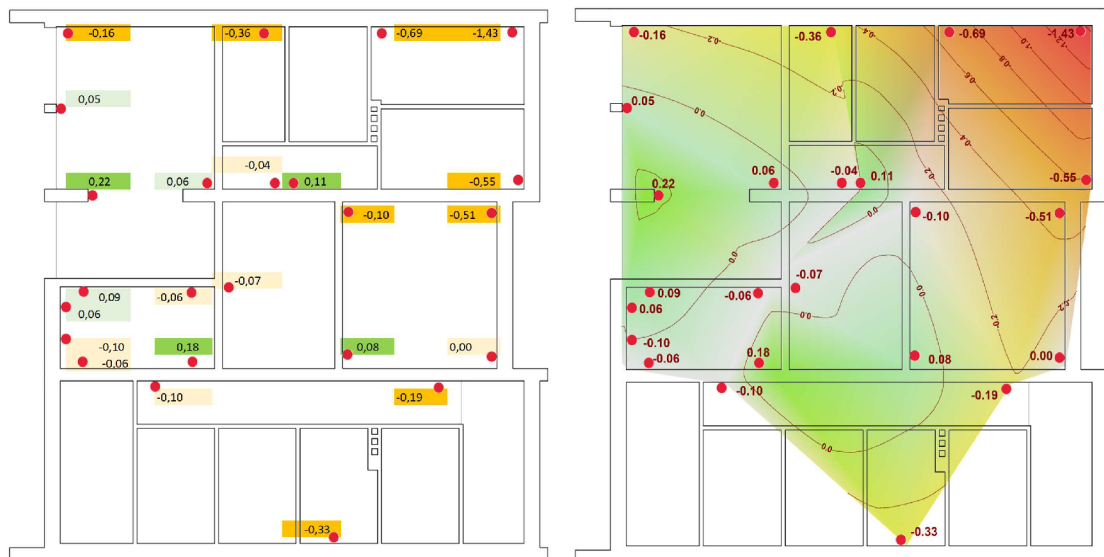
5.5 Grafická interpretácia

Druhý, rovnako dôležitý spôsob vyhodnotenia deformácií sledovaného objektu je grafická interpretácia. Podstatou grafického znázornenia je jednoduchosť, prehľadnosť, zrozumiteľnosť interpretácie a schopnosť taktiež graficky analyzovať prípadné zmeny trendu sadania. V našom prípade boli zvolené 2 varianty grafickej interpretácie. Prvá,

na spracovanie jednoduchšia varianta znázorňuje pôdorys, v ktorom je jednoducho na základe číselných hodnôt graficky podfarbením naznačené či dochádza k sadaniu alebo zdvihu bodu v etape oproti nulte etape. Toto spracovanie bolo vyhotovené v programe Microsoft Excel.

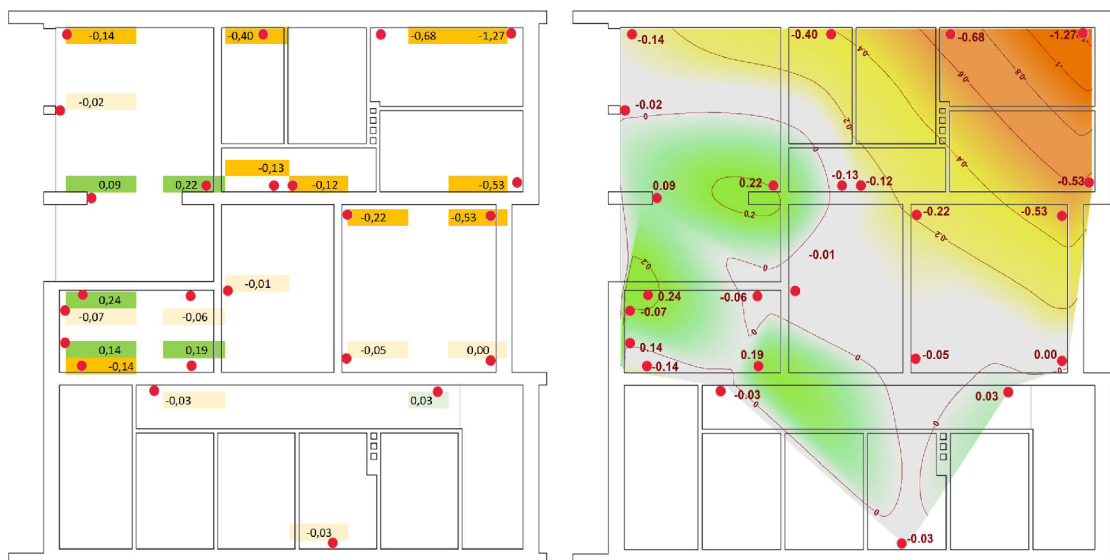
Druhá varianta grafického spracovania bola vytvorená v programe Atlas DMT, verzia 22.05.2. Vstupom do novozaloženého projektu bol textový súbor obsahujúci súradnice X,Y a Z 24 sledovaných bodov. Súradnice X a Y boli približne určené z kótovaného pôdorysu sledovaného stavebného objektu v miestnom súradnicovom systéme. Súradnica Z predstavovala posun bodu v danej etape voči nulte etape. Následne sa vyhotovil izočiarový model s farebnou hypsometriou. Farebná škála hypsometria bola volená s ohľadom na maximálny zdvih a sadanie všetkých etáp, aby došlo k adekvátnemu prefarbeniu naprieč všetkým etapám. Od zelenej cez kaki až po odtiene modrej boli farebne znázornené zdvihy a klesanie postupne prechádzalo od žltej, cez oranžovú po červenú v závislosti od hodnoty záporného posunu. Biela farba na farebnej škále znázorňovala miesta, kde nedošlo k preukázateľným posunom. Grafickým vyhodnotením sa tak získala ucelená charakteristika zmeny geometrie suterénu stavebného domu.

Grafické vyhodnotenie rozdielu výšok medzi etapami 1 (10/2021) a 0 (4/2021)



Obr. 5.1: 2 varianty grafického spracovania etáp 1 - 0

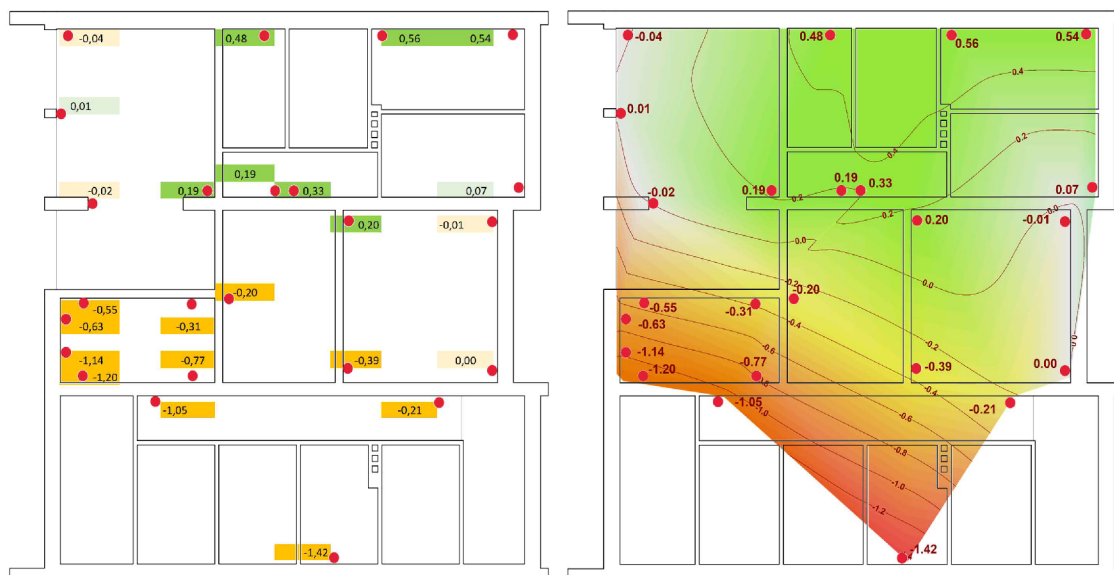
Grafické vyhodnotenie rozdielu výšok medzi etapami 2 (3/2022) a 0 (4/2021)



Obr. 5.2: 2 varianty grafického spracovania etáp 2-0

Trend deformácií je prakticky rovnaký ako v predošlej etape bez zásadných zmien.

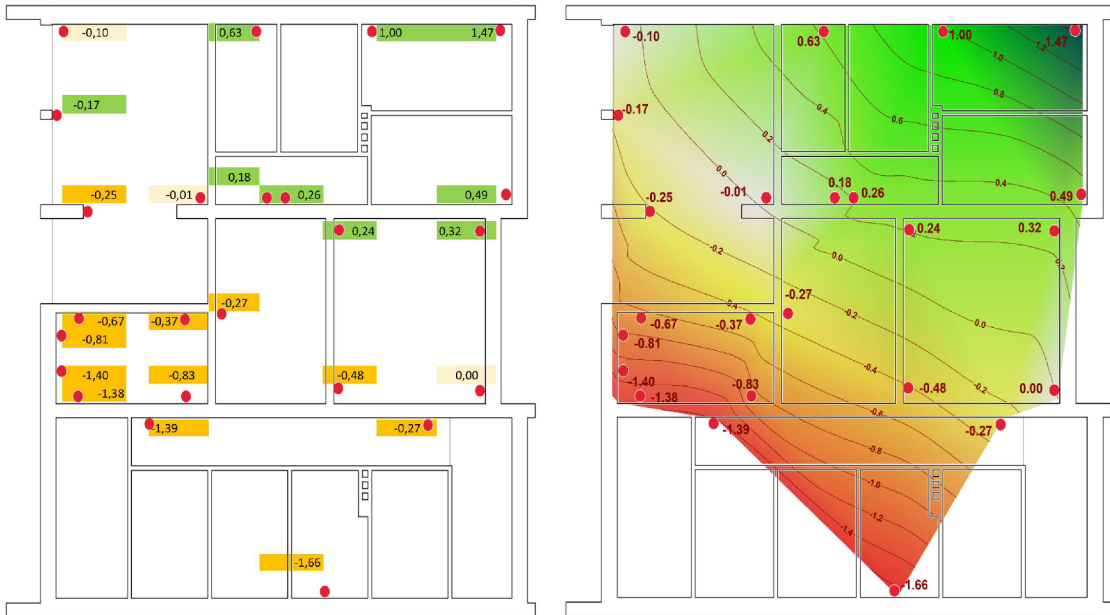
Grafické vyhodnotenie rozdielu výšok medzi etapami 3 (11/2022) a 0 (4/2021)



Obr. 5.3: 2 varianty grafického spracovania etáp 3-0

Ukázalo sa, že sa zmenil trend.

Grafické vyhodnotenie rozdielu výšok medzi etapami 4 (4/2023) a 0 (4/2021)

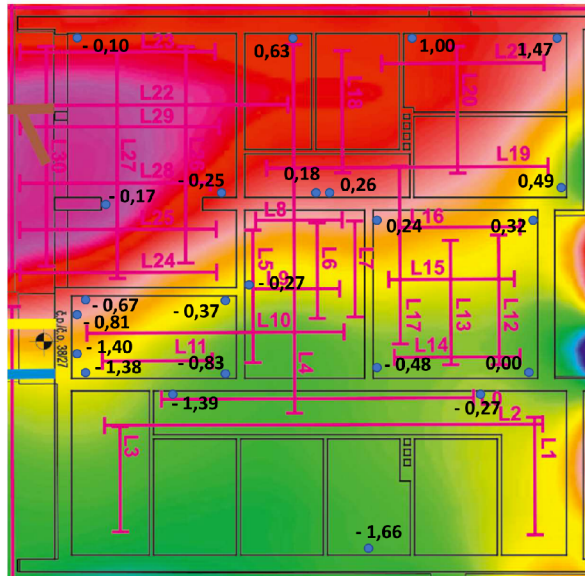


Obr. 5.4: 2 varianty grafického spracovania etáp 4-0

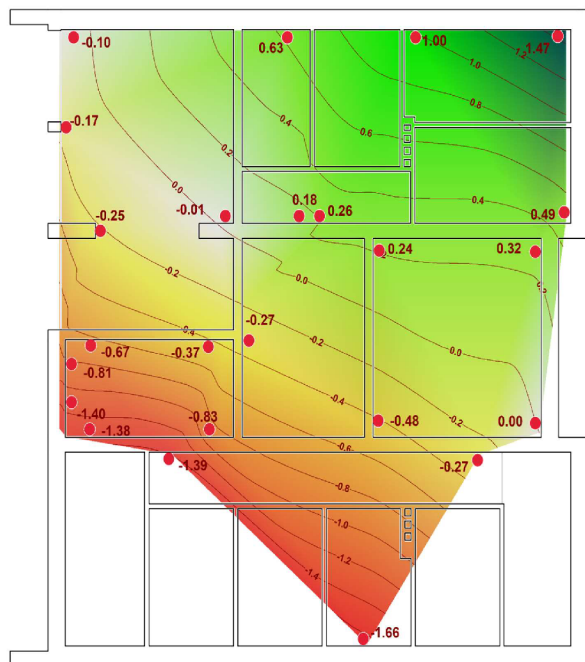
Trend zostal podobný trojke. Rozstup medzi nultou a poslednou nameranou etapou sú približne 2 roky.

5.6 Interpretácia výsledkov v súvislostiach s geofyzikálnym prieskumom

Výsledky z geodetického vyhodnotenia etáp 4-0 boli porovnané s geofyzikálnym prieskumom vyhotoveným na začiatku roku 2021. Z geofyzikálneho prieskumu vidieť rozdielny stav jednej časti a druhej časti podlažia a tomu odpovedá aj výsledok geodetického merania sadania, kde polovica domu sa chová inak ako druhá.



Obr. 5.5: Georadarový sken v hĺbke 0–2 m doplnený o rozdiely výšok medzi etami 4-0



Obr. 5.6: Farebná hypsometria rozdielov výšok medzi etapami 4 a 0

Záver

Cielom tejto bakalárskej práce bolo meranie, spracovanie a vyhodnotenie posunov a deformácií z etapových meraní stavebného objektu v Olomouci.

Objekt je do tejto chvíle sledovaný dva roky počas ktorých došlo k zameraniu piatich etáp: 0 (4/2021), 1 (10/2021), 2 (3/2022), 3 (11/2022) a 4 (4/2023). Meranie prebiehalo plošnou metódou presnej nivelácie s využitím závesných stupníc, ktorá bola prebratá zo zamerania predchádzajúcich etáp.

Súčasťou riešenia práce bola rada experimentov z dôvodu zistenia presnosti prístrojov a meradiel. Z dôvodu prípadného poškodenia jednej zo závesných stupníc bolo nutné určiť rozdielnosť ich počiatkov. Smerodatná odchýlka jedného merania na každú zo stupníc bola nižšia ako rozlišovacia schopnosť prístroja. Druhým bol experiment vplyvu znovunasadzovania stupnice, kde bola dosiahnutá smerodatná odchýlka jedného merania 0,032 mm, ktorú je nutné brať v ohľad do vstupnej presnosti do vyrovnania. Výsledkom experimentu vplyvu dĺžky zámery na presnosť jedného merania bolo, že nameraná veľkosť strednej chyby dĺžok zámery do 12 metrov je na úrovni rozlišovacej schopnosti (0,01 mm), čo zahŕňa všetky zámery vo vlastnom meraní.

Vyhodnotením posunov všetkých nameraných etáp sme dospeli k tomu, že na budove sa vyskytujú pohyby. V rozmedzí od počiatku sledovania objektu až po 4. etapu došlo k najväčšiemu sadaniu -1,66 mm a najväčší zdvih mal hodnotu +1,47 mm. Obe maximálne hodnoty boli namerané v poslednej etape, nejedná sa však o extrémny, ktoré by vynútili zásah statika.

Metóda merania umožňuje preukázateľnosť posunu od 0,06 mm až 0,17 mm s ohľadom na vzdialenosť od východiskového bodu. Preukázateľnosť v strednej hodnote vo všetkých etapách vykazuje 0,10 mm. Percentuálna preukázateľnosť posunov sa pohybovala od 54 % po 88 % v závislosti od etapy, čo znamená, že väčšina posunov bola preukázateľných a skutočne dochádza k istým zvislým pohybom a nerovnomernému sadaniu sledovaného objektu.

Z grafickej interpretácie vyplynulo, že medzi 2. a 3. etapou došlo k zmene trendu deformácií. Miesta, ktoré sadali po 2. etapu odvtedy začali stúpať. Tieto zmeny môžu súvisieť s vplyvom vonkajších podmienok, primárne s mierou zvodnenia, čo môže byť sezónna vec. Z dôvodu malého počtu nameraných etáp túto skutočnosť však nie je možné potvrdiť.

Konečným výsledkom práce je zhodnotenie, že z hľadiska rozdelenia objektu na zóny korešponduje geodetické meranie s geofyzikálnym prieskumom. V oboch prípadoch sa jedna polovica sledovaného objektu chovala inak ako druhá.

Literatúra

- [1] ŠVÁBENSKÝ, O., VITULA, A. a BUREŠ, J. *Inženýrská geodézie I: M02 - Geodézie ve stavebnictví*, FAST VUT v Brně, Brno, 2006.
- [2] ČSN 73 0405 *Měření posunů stavebních objektů*, Česká státní norma, Český normalizační institut, Praha, 1997.
- [3] MICHALČÁK, O., VESELÝ, M., NOVÁK, Z. a VOSIKA, O. *Inžinierska geodézia I.*, Bratislava: Alfa, 1985.
- [4] BITTERER, L. *Geodézia*, učebný text katedry geodézie, Žilinská univerzita v Žiline- stavebná fakulta, 2003.
- [5] KOPÁČIK, A. *Meranie posunov a pretvorenie stavebných objektov.*, In: A.G.K 2016: Inžinierska geodézia - Zborník príspevkov. Bratislava: Komora geodetov a kartografov, 2016, s. 99-109. ISBN 978-80-227-4609-0.
- [6] SCHENK, J. *Měření pohybů a deformací v poklesové kotlině*, Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2006.
- [7] WEIGEL, J. *Teorie chyb a vyrovnávací počet - Základní druhy vyrovnání (1. část)*, VUT v Brně, 2004.
- [8] CHIRILĂ, C. a ALBU-BUDUSANU, R. M. *Applying trigonometric levelling for monitoring the vertical deformations of engineering structures [online]*. 2019, 1859-1866 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/pdfs/vol18/full/no9/1_226_Chirila_18.pdf
- [9] ATA, E., HOŞBAŞ, R. G. a PIRTI, A. *Monitoring the Structural Deformation of Davutpasa Barrack by Using Geodetic Methods [online]*., 2018, 944-947 [cit. 2023-05-14]. ISSN 1848-63391. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/326343632_Monitoring_the_Structural_Deformation_of_Davutpasa_Barrack_by_Using_Geodetic_Methods.
- [10] BARTOŠ, P. a GREGOR, V. *Fotogrametrické určovanie deformácie dolných vrát plavebnej komory VD Gabčíkovo*, Časopis Geodetický a kartografický obzor. Praha, 1995, 41(83)(11), 238-242.
- [11] HASTAOĞLU, K. Ö., GÜL, Y., POYRAZ, F. a KARA, B. C. *Monitoring 3D areal displacements by a new methodology and software using UAV photogrammetry [online]*, [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243419300510>

- [12] TALICH, M., HANKUS, D., SOUKUP, L., et al. *Ověřená technologie určování svislých průhybů betonových mostních konstrukcí pozemním interferometrickým radarem [online].*, ÚTIA, 2012 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/17200142-Overena-technologie-urcovani-svislych-pruhybu-betonovych-mostnich-konstrukci-pozemnim-interferometrickym-radarem.html>
- [13] JIŘIKOVSKÝ, T. *Digitální nivelace v podzemních prostorech*, Acta Montanistica Slovaca. Fakulta baníctva, ekologie, řízení a geotechnologií TU, Košice, 2007, 12(mimoriadne 3), 398-402
- [14] KOLEJCONSULT & servis, spol. s r.o., středisko geofyziky 2000. *GF průzkum stability podloží: Georadarový sken v hloubce 0 – 2 m*, Olomouc, 2021
- [15] KOLEJCONSULT & servis, spol. s r.o., středisko geofyziky 2000. *GF průzkum stability podloží: Geologicko – geofyzikální řez*, Olomouc, 2021
- [16] LEICA DNA03 LEVEL [online] [cit. 2023-05-15] Dostupné z: https://www.gefosleica.cz/ftp/DNA/DNA_User_Manual_cs_1.2.0.pdf
- [17] LEICA GEOSYSTEMS AG. *Leica DNA03/DNA10: Návod k použití [online]*, Switzerland, 2004 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: https://www.gefosleica.cz/ftp/DNA/DNA_User_Manual_cs_1.2.0.pdf
- [18] BÖHM, J., RADOUCH, V. a HAMPACHER, M. *Teorie chyb a vyrovnávací počet*, Praha: Geodetický a kartografický podnik, 1990, 416 s. ISBN 8070110562.
- [19] *Digital levels NA2002/NA3003 V3.3 [online]*, Switzerland, 1997 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.vermessen.de/wp-content/uploads/downloads/handbuch/Leica/nax00x.pdf>
- [20] SEDLÁČEK, S. *G-NET ver. 02.09: Souřadnicové výpočty v geodetických sítích [Uživatelská příručka]*, BRNO, 1997.

Zoznam obrázkov

3.1	Pohľad na sledovaný objekt z južnej strany	24
3.2	Voda v šachte	24
3.3	Vlásočnicová trhlina v garážach	24
3.4	Pôdorys suterénu	25
3.5	Grafické znázornenie anomálií [14]	26
3.6	Geologicko-geofyzikálny rez [15]	26
3.7	Ukážka stabilizácie sledovaného bodu	27
3.8	Schéma rozmiestnenia sledovaných bodov	28
3.9	Schéma použitej metódy merania	29
3.10	Schéma zamerania prevýšení v etape	29
3.11	Leica DNA 03 [16]	30
3.12	Závesná stupnica na monitorovanom bode	30
3.13	Namerané dáta vo formáte GSI	31
3.14	Formát GSI	31
3.15	Schéma experimentu pre určenie offsetov stupníc	32
3.16	Rozdiely počiatkov jednotlivých závesných stupníc	33
3.17	Schéma experimentu vplyvu dĺžky zámery na presnosť čítania na stupnici	34
3.18	Graf vplyvu dĺžky zámery na presnosť jedného merania	35
3.19	Graf vplyvu dĺžky zámery na presnosť jedného merania preložený spojnicami	35
3.20	Tabuľka rozdelenia F pre $\alpha = 0.05$ [18]	36
3.21	Tabuľka rozdelenia F pre $\alpha = 0.01$ [18]	37
3.22	Schéma skúšky nevodorovnosti zámernej osi	38
3.23	Graf vývoja hodnoty sklonu zámernej osi	40
3.24	Vyznačené uzávery	41
4.1	Namerané dáta prekonvertované na formát programu G-NET	43
4.2	Nastavenie vlastností v programe G-NET	44
4.3	Naimportované namerané dáta v programe G-NET	44
4.4	Nastavenie východiskového bodu	45
4.5	Ukážka protokolu výškového vyrovnania	46
4.6	Piktogramy jednotlivých stratégií	47
4.7	Vysvetlivky jednotlivých stratégií	48
4.8	Vysvetlenie grafickej interpretácie	49
4.9	Vých. bod č. 13	49
4.10	Vých. bod č.14	49
4.11	Vých. bod č. 19	49

4.12	Vých. bod č. 20	49
4.13	Vých. bod č. 21	50
5.1	2 varianty grafického spracovania etáp 1-0	56
5.2	2 varianty grafického spracovania etáp 2-0	57
5.3	2 varianty grafického spracovania etáp 3-0	57
5.4	2 varianty grafického spracovania etáp 4-0	58
5.5	Georadarový sken v hĺbke 0–2 m doplnený o rozdiely výšok medzi etami 4-0	59
5.6	Farebná hypsometria rozdielov výšok medzi etapami 4 a 0	59

Zoznam tabuliek

3.1	Tabuľka parametrov použitého prístroja [17]	30
3.2	Rozdiely počiatkov závesných stupnic s ich smerodatnými odchýlkami	33
3.3	Kalibrácia znovunasadzovania stupnice na bod	34
3.4	Výsledky skúšok prístroja pred a po meraní	39
3.5	Výsledné hodnoty sklonu zámernej osi pre jednotlivé etapy	39
3.6	Posúdenie presnosti uzáverov vo všetkých etapách	42
4.1	Externý formát súboru veličín programu G-NET [20]	43
4.2	Prehľad počtu meraných prevýšení a výslednej presnosti všetkých etáp	47
4.3	Analýza voľby váhovania	48
5.1	Vyhodnotenie rozdielov výšok medzi etapami 1 a 0	52
5.2	Vyhodnotenie rozdielov výšok medzi etapami 2 a 0	53
5.3	Vyhodnotenie rozdielov výšok medzi etapami 3 a 0	54
5.4	Vyhodnotenie rozdielov výšok medzi etapami 4 a 0	55

Zoznam symbolov a skratiek

GNSS	globálne navigačné satelitné systémy
GPS	globálny lokalizačný systém
RTK	kinematika v reálnom čase
MNŠ	metóda najmenších štvorcov
ČSN	česká štátna norma
PN	presná nivelácia
VPN	veľmi presná nivelácia

Zoznam príloh

A Použitý skript na prekonvertovanie nameraných dát	68
B Protokol o výškovom vyrovnaní siete	70

A Použitý skript na prekonvertovanie nameraných dát

```
# specifikovanie nazvu vstupneho suboru
vstupny_subor_meno = "vstup.txt"

# nacitanie obsahu suboru do premennej `subor_riadky`
with open(vstupny_subor_meno, 'r') as file:
    subor_riadky = file.read().splitlines()

parsnute_riadky = list()

# prechadzanie jedneho riadka za druhym
for riadok in subor_riadky:
    # nahradenie ciarok za bodky
    riadok = riadok.replace(",", ".")
    #vynechanie prazdnych riadkov
    if riadok == "":
        continue
    #rozkuskovanie riadku na casti medzi ktorymi je tabulator
    riadok_casti = riadok.split('\t')
    # vloženie rozkuskovaného riadka do dočasného listu
    parsnute_riadky.append(riadok_casti)

vystup = ""

# cyklus na prechadzanie rozkuskovaných riadkov a ich vloženie
# do premennej `vystup`
for riadok in parsnute_riadky:
    # prva cast s indexom 0 sa vyplni medzerami na dlzku 8 znakov
    dz = riadok[0].ljust(8)
    # v casti s indexom 1 sa nahradi pismeno `x` za pismena `ST`
    # a vyplni sa dlzka na 10 znakov
    cb1 = riadok[1].replace("x", "ST").ljust(10)
    # z retazca na indexe 2 sa urobi cislo, ktore je zmenene na 2
    # desatine miesta a nasledne je vyplnene medzerami na dlzku
    # 10 znakov
    cb2 = '{:02d}'.format(int(riadok[2])).ljust(10)
    # premenna cb3 obsahuje len 10 prazdnych znakov
    cb3 = "".ljust(10)
    # pred hodnotu na indexe 3 sa prida znamienko minus a opat sa
    # zarovna na 10 znakov
    hodnota = f"-{riadok[3]".ljust(10)
    # hodnota na indexe 4 sa zarovna na dlzku 8
    chyba = riadok[4].ljust(8)
```

```

# premenna `vzorice` sa vyplni 8 prazdnymi znakmi
vzorice = ".ljust(8)

# nasledne sa posklada finalna reprezentacia riadku
prekonvertovany_riadok = f"{dz}{cb1}{cb2}{cb3}{hodnota}{chyba}{
                        vzorice}"

# ku zlozenemu riadku sa na konci prida znak noveho riadku
# a prida sa do premennej vystup
vystup += f"{prekonvertovany_riadok}\n"
# pre kontrolu si vypisem aktualne poskladany riadok pomocou
# funkcie `print`
print(prekonvertovany_riadok)

# zapisanie finalneho prekonvertovaneho vystupu potrebného
# pre program G-NET
with open(f"{vstupny_subor_meno}.export", 'w') as file:
    file.write(vystup)

```

B Protokol o výškovom vyrovnání siete

Protokol o výškovom vyrovnání siete Str: 1
 Lokalita: LOK Etapa: 3 Sit: 1 Datum: 29/03/23

Rozbor vyrovnání výškové siete

Pocet prevyseni pouzitych ve vyrovani: 108
 Pocet nadbytecnych velicin: 57
 Jednotkova stredni chyba aposteriori: 0.4725
 Kriticka hodnota chi-kvadrat pro test 1: 1.1518
 Pravdepodobnost, ze na zaklade testu 1 bude
 presnost oznacena za nedodrzenou neopravnene: 5.0 %

Pocet podminek pro regularizaci: 0
 Pocet radku matice linearniho modelu: 108
 Pocet sloupcu matice linearniho modelu: 51
 Defekt matice: 0
 Vypoctena hodnota poctu nadbytecnych velicin: 57.00002
 Odhad jedn. str. ch. pri vyloucení podezreleho mereni: 0.4389
 Index nejpodzrelejsiho mereni: 99
 Pouzita standardni odchylka sigma 0.4725
 Na zaklade statistického testu 1 nelze presnost mereni prohlásit
 za nedodrzenou (na hladine významnosti 5.0 %).

Informace o vyrovnání prevyseni

	CB1	CB2	hodnota	AprStr	L	VNorm	Oprava	Apost	Vyrovnana	FC
1	ST1	20	-0.26736	0.034	0.000	-1.137	-0.02	0.009	-0.26737	0.430
2	ST1	19	-0.26025	0.034	0.070	1.231	0.01	0.010	-0.26023	0.348
3	ST1	21	-0.26459	0.034	0.000	0.508	0.01	0.013	-0.26458	0.209
4	ST1	20	-0.26737	0.034	0.010	-0.379	-0.00	0.009	-0.26737	0.430
5	ST2	20	-0.26735	0.034	0.000	-1.894	-0.03	0.009	-0.26737	0.430
6	ST2	19	-0.26026	0.034	0.090	2.052>	0.03	0.010	-0.26023	0.348
7	ST2	21	-0.26458	0.034	0.000	-0.508	-0.01	0.013	-0.26458	0.209
8	ST2	20	-0.26738	0.034	0.030	0.379	0.01	0.009	-0.26737	0.430
9	ST3	07	-0.20840	0.034	0.020	0.591	0.01	0.010	-0.20839	0.388
10	ST3	08	-0.20169	0.034	0.020	-0.631	-0.01	0.011	-0.20170	0.319
11	ST3	09	-0.21210	0.034	-0.000	1.056	0.01	0.011	-0.21209	0.319
12	ST3	07	-0.20838	0.034	-0.000	-0.984	-0.01	0.010	-0.20839	0.388
13	ST4	07	-0.20839	0.034	0.000	0.591	0.01	0.010	-0.20838	0.388
14	ST4	08	-0.20168	0.034	0.000	-0.631	-0.01	0.011	-0.20169	0.319
15	ST4	09	-0.21208	0.034	-0.030	0.206	0.00	0.011	-0.21208	0.319
16	ST4	07	-0.20838	0.034	-0.010	-0.197	-0.00	0.010	-0.20838	0.388
17	ST5	08	-0.22282	0.034	0.000	0.053	0.00	0.009	-0.22282	0.444

Protokol o výškovom vyrovnání siete Str: 2
 Lokalita: LOK Etapa: 3 Sit: 1 Datum: 29/03/23

	CB1	CB2	hodnota	AprStr	L	VNorm	Oprava	Apost	Vyrovnana	FC
18	ST5	09	-0.23321	0.034	-0.040	0.042	0.00	0.009	-0.23321	0.415
19	ST5	18	-0.10809	0.034	-0.050	0.491	0.01	0.010	-0.10808	0.393
20	ST5	10	-0.22603	0.034	-0.060	-0.645	-0.01	0.010	-0.22604	0.393
21	ST5	08	-0.22282	0.034	0.000	0.053	0.00	0.009	-0.22282	0.444
22	ST6	08	-0.22282	0.034	0.000	0.503	0.01	0.009	-0.22281	0.444
23	ST6	09	-0.23321	0.034	-0.040	0.503	0.01	0.009	-0.23320	0.415
24	ST6	18	-0.10806	0.034	-0.080	-1.389	-0.02	0.010	-0.10808	0.393

25	ST6	10	-0.22603	0.034	-0.060	-0.175	-0.00	0.010	-0.22603	0.393
26	ST6	08	-0.22282	0.034	0.000	0.503	0.01	0.009	-0.22281	0.444
27	ST7	09	-0.23126	0.034	0.030	0.742	0.01	0.009	-0.23125	0.458
28	ST7	13	-0.19789	0.034	-0.000	2.264>	0.02	0.012	-0.19787	0.225
29	ST7	18	-0.10612	0.034	-0.000	-0.334	-0.00	0.010	-0.10612	0.393
30	ST7	10	-0.22407	0.034	0.000	-0.687	-0.01	0.010	-0.22408	0.393
31	ST7	09	-0.23123	0.034	0.000	-1.480	-0.02	0.009	-0.23125	0.458
32	ST8	09	-0.23120	0.034	-0.000	-2.665>	-0.04	0.009	-0.23124	0.458
33	ST8	13	-0.19783	0.034	-0.030	-2.264>	-0.02	0.012	-0.19785	0.225
34	ST8	18	-0.10612	0.034	0.030	0.763	0.01	0.010	-0.10611	0.393
35	ST8	10	-0.22409	0.034	0.050	1.977>	0.03	0.010	-0.22406	0.393
36	ST8	09	-0.23126	0.034	0.060	1.779	0.02	0.009	-0.23124	0.458
37	ST9	13	-0.21210	0.034	-0.000	-0.116	-0.00	0.010	-0.21210	0.408
38	ST9	14	-0.24435	0.034	0.000	0.098	0.00	0.012	-0.24435	0.225
39	ST9	11	-0.24131	0.034	0.000	0.098	0.00	0.012	-0.24131	0.225
40	ST9	12	-0.25194	0.034	-0.000	0.098	0.00	0.012	-0.25194	0.225
41	ST9	13	-0.21210	0.034	-0.000	-0.116	-0.00	0.010	-0.21210	0.408
42	ST10	13	-0.21210	0.034	-0.000	-0.270	-0.00	0.010	-0.21210	0.408
43	ST10	14	-0.24435	0.034	0.000	-0.098	-0.00	0.012	-0.24435	0.225
44	ST10	11	-0.24131	0.034	0.000	-0.098	-0.00	0.012	-0.24131	0.225
45	ST10	12	-0.25194	0.034	-0.000	-0.098	-0.00	0.012	-0.25194	0.225
46	ST10	13	-0.21211	0.034	0.010	0.502	0.01	0.010	-0.21210	0.408
47	ST11	18	-0.11263	0.034	0.000	0.019	0.00	0.009	-0.11263	0.430
48	ST11	10	-0.23058	0.034	0.000	-0.349	-0.00	0.010	-0.23058	0.348
49	ST11	02	-0.23816	0.034	0.000	0.381	0.00	0.013	-0.23816	0.209
50	ST11	18	-0.11263	0.034	0.000	0.019	0.00	0.009	-0.11263	0.430
51	ST12	18	-0.11263	0.034	0.000	0.208	0.00	0.009	-0.11263	0.430
52	ST12	10	-0.23058	0.034	0.000	-0.144	-0.00	0.010	-0.23058	0.348
53	ST12	02	-0.23815	0.034	-0.010	-0.381	-0.00	0.013	-0.23815	0.209
54	ST12	18	-0.11263	0.034	0.000	0.208	0.00	0.009	-0.11263	0.430
55	ST13	18	-0.40358	0.034	-0.000	0.347	0.00	0.010	-0.40358	0.408
56	ST13	03	-0.24055	0.034	0.000	-0.295	-0.00	0.012	-0.24055	0.225
57	ST13	05	-0.22200	0.034	0.000	-0.295	-0.00	0.012	-0.22200	0.225
58	ST13	04	-0.22232	0.034	0.000	0.689	0.01	0.012	-0.22231	0.225
59	ST13	18	-0.40357	0.034	-0.010	-0.425	-0.01	0.010	-0.40358	0.408
60	ST14	18	-0.40358	0.034	-0.000	0.039	0.00	0.010	-0.40358	0.408
61	ST14	03	-0.24056	0.034	0.010	0.295	0.00	0.012	-0.24056	0.225
62	ST14	05	-0.22201	0.034	0.010	0.295	0.00	0.012	-0.22201	0.225
63	ST14	04	-0.22231	0.034	-0.010	-0.689	-0.01	0.012	-0.22232	0.225
64	ST14	18	-0.40358	0.034	-0.000	0.039	0.00	0.010	-0.40358	0.408
65	ST15	04	-0.21327	0.034	0.000	-0.000	-0.00	0.014	-0.21327	0.134
66	ST15	01	-0.20968	0.034	-0.000	0.000	0.00	0.014	-0.20968	0.134
67	ST16	04	-0.21326	0.034	-0.000	0.000	0.00	0.014	-0.21326	0.134

Protokol o vyskove vyrovnaní site

Str: 3

Lokalita: LOK

Etapa: 3 Sit: 1 Datum: 29/03/23

	CB1	CB2	hodnota	AprStr	L	VNorm	Oprava	Apost	Vyrovnaná	FC
68	ST16	01	-0.20967	0.034	-0.000	-0.000	-0.00	0.014	-0.20967	0.134
69	ST17	02	-0.25326	0.034	0.000	-1.207	-0.01	0.013	-0.25327	0.209
70	ST17	15	-0.24662	0.034	0.000	1.207	0.01	0.013	-0.24661	0.209
71	ST18	15	-0.24660	0.034	-0.000	-0.318	-0.00	0.013	-0.24660	0.209
72	ST18	02	-0.25327	0.034	0.030	0.318	0.00	0.013	-0.25327	0.209
73	ST19	02	-0.22717	0.034	-0.000	1.556	0.01	0.014	-0.22716	0.134
74	ST19	23	-0.22398	0.034	0.000	-1.556	-0.01	0.014	-0.22399	0.134
75	ST20	23	-0.22403	0.034	0.000	1.556	0.01	0.014	-0.22402	0.134
76	ST20	02	-0.22717	0.034	-0.050	-1.556	-0.01	0.014	-0.22718	0.134
77	ST21	23	-0.23037	0.034	0.000	0.254	0.00	0.009	-0.23037	0.423
78	ST21	22	-0.22919	0.034	-0.000	1.045	0.01	0.012	-0.22918	0.236

79	ST21	16	-0.22783	0.034	0.000	-0.402	-0.00	0.012	-0.22783	0.236
80	ST21	06	-0.26303	0.034	-0.000	-0.402	-0.00	0.012	-0.26303	0.236
81	ST21	24	-0.22735	0.034	-0.000	0.080	0.00	0.012	-0.22735	0.236
82	ST21	23	-0.23036	0.034	-0.010	-0.508	-0.01	0.009	-0.23037	0.423
83	ST22	23	-0.23037	0.034	0.000	0.127	0.00	0.009	-0.23037	0.423
84	ST22	22	-0.22917	0.034	-0.020	-1.045	-0.01	0.012	-0.22918	0.236
85	ST22	16	-0.22784	0.034	0.010	0.402	0.00	0.012	-0.22784	0.236
86	ST22	06	-0.26304	0.034	0.010	0.402	0.00	0.012	-0.26304	0.236
87	ST22	24	-0.22735	0.034	-0.000	-0.080	-0.00	0.012	-0.22735	0.236
88	ST22	23	-0.23037	0.034	0.000	0.127	0.00	0.009	-0.23037	0.423
89	ST23	23	-0.15094	0.034	-0.000	-0.000	-0.00	0.014	-0.15094	0.134
90	ST23	17	-0.14598	0.034	0.000	0.000	0.00	0.014	-0.14598	0.134
91	ST24	17	-0.14597	0.034	-0.000	-0.000	-0.00	0.014	-0.14597	0.134
92	ST24	23	-0.15093	0.034	-0.000	0.000	0.00	0.014	-0.15093	0.134
93	ST25	15	-0.23593	0.034	0.000	-1.417	-0.02	0.009	-0.23595	0.414
94	ST25	19	-0.23276	0.034	0.000	-1.761	-0.02	0.010	-0.23278	0.353
95	ST25	20	-0.23994	0.034	-0.000	1.505	0.02	0.010	-0.23992	0.353
96	ST25	15	-0.23597	0.034	0.040	1.657	0.02	0.009	-0.23595	0.414
97	ST26	15	-0.23594	0.034	0.000	-0.840	-0.01	0.009	-0.23595	0.414
98	ST26	19	-0.23275	0.034	-0.020	-2.781>	-0.03	0.010	-0.23278	0.353
99	ST26	20	-0.23997	0.034 !	0.020	3.751>	0.05	0.010	-0.23992	0.353
100	ST26	15	-0.23595	0.034	0.010	-0.072	-0.00	0.009	-0.23595	0.414
101	ST27	02	-0.17577	0.034	0.000	0.552	0.01	0.009	-0.17576	0.414
102	ST27	19	-0.16593	0.034	-0.030	-0.179	-0.00	0.010	-0.16593	0.353
103	ST27	20	-0.17307	0.034	-0.070	-0.179	-0.00	0.010	-0.17307	0.353
104	ST27	02	-0.17576	0.034	-0.010	-0.216	-0.00	0.009	-0.17576	0.414
105	ST28	02	-0.17574	0.034	-0.000	-0.216	-0.00	0.009	-0.17574	0.414
106	ST28	19	-0.16593	0.034	-0.000	1.454	0.02	0.010	-0.16591	0.353
107	ST28	20	-0.17303	0.034	-0.080	-1.812	-0.02	0.010	-0.17305	0.353
108	ST28	02	-0.17575	0.034	0.010	0.552	0.01	0.009	-0.17574	0.414

Protokol o vyskovem vyrovnani site

Str: 4

Lokalita: LOK

Etapa: 3 Sit: 1 Datum: 29/03/23

CB1, CB2 cisla bodu, mezi nimiz bylo mereno prevyseni (z CB1 na CB2).
hodnota hodnota mereneho prevyseni (jednotky jsou [m]).
AprStr velikost apriorni stredni chyby zadane v modelu site [mm]
! vyskytujici se u prevyseni oznacuje nejpodezrelejsi prevyseni.
> vyskytujici se u prevyseni oznacuje opravy vybocuujici z testu 3.
Kriticka hodnota testu 3 cini 1.96, a to pri hladine vyznamnosti 5.0 %.
L velikost odchylky mezi hodnotou merenou a odvozenou z vysek [mm]
VNorm normalizovana oprava (slouzi k testovani odlehlych hodnot, je bez rozmeru)
Oprava oprava [mm]
Aposter velikost stredni chyby vyrovnane veliciny [mm].
Vyrovnana vyrovnana hodnota veliciny.
FC faktor prinosu veliciny pro vyrovnani (bez rozmeru).
FC = 1.0 - nepotrebna, 0.25 - normalni potreba, 0.0 - nezbytna velicina bez kontroly

Vyrovnane vysky bodu

CB	Z [m]	MZ
13	100.00000	0.000
ST7	100.19787	0.012
	-0.00002	

18	100.09174	0.014
	-0.00003	
10	99.97379	0.014
	-0.00003	
09	99.96662	0.013
	-0.00004	
ST8	100.19785	0.012
	-0.00001	
ST9	100.21210	0.010
	0.00000	
14	99.96775	0.014
	0.00000	
11	99.97079	0.014
	0.00000	
12	99.96016	0.014
	0.00000	
ST10	100.21210	0.010
	0.00000	
ST11	100.20437	0.016
	-0.00003	
02	99.96622	0.019
	-0.00002	

Protokol o vyskovem vyrovnani site
Lokalita: LOK

Str: 5

Etapa: 3 Sit: 1 Datum: 29/03/23

CB	Z [m]	MZ
ST12	100.20437	0.016
	-0.00003	
ST13	100.49532	0.017
	-0.00003	
03	100.25477	0.020
	-0.00003	
05	100.27332	0.020
	-0.00003	
04	100.27301	0.020
	-0.00002	
ST14	100.49532	0.017
	-0.00003	
ST15	100.48628	0.024
	-0.00002	
01	100.27660	0.025
	-0.00002	
ST16	100.48627	0.024
	-0.00002	
ST17	100.21949	0.023
	-0.00001	
15	99.97288	0.022
	-0.00000	
ST18	100.21948	0.023
	0.00000	
ST19	100.19337	0.023
	-0.00004	
23	99.96938	0.025
	-0.00005	
ST20	100.19340	0.023
	-0.00006	
ST21	100.19975	0.026
	-0.00005	

22	99.97057	0.028
	-0.00004	
16	99.97191	0.028
	-0.00006	
06	99.93671	0.028
	-0.00006	
24	99.97240	0.028
	-0.00005	
ST22	100.19975	0.026
	-0.00005	
ST23	100.12032	0.028
	-0.00005	
17	99.97434	0.029
	-0.00005	
ST24	100.12031	0.028
	-0.00005	
ST25	100.20883	0.023
	0.00002	

Protokol o vyskovem vyrovnani site
Lokalita: LOK

Str: 6

Etapa: 3 Sit: 1 Datum: 29/03/23

CB	Z [m]	MZ
19	99.97605	0.022
	-0.00000	
20	99.96891	0.022
	0.00004	
ST26	100.20883	0.023
	0.00001	
ST27	100.14198	0.021
	-0.00003	
ST28	100.14196	0.021
	-0.00002	
ST1	100.23628	0.023
	0.00005	
21	99.97170	0.025
	0.00006	
ST2	100.23628	0.023
	0.00006	
ST3	100.17870	0.017
	-0.00006	
07	99.97031	0.018
	-0.00007	
ST4	100.17869	0.017
	-0.00008	
08	99.97701	0.015
	-0.00008	
ST5	100.19983	0.015
	-0.00008	
ST6	100.19982	0.015
	-0.00009	

CB Cislo bodu

Z Vyrovnana vyska Z [m]

MZ Stredni chyba ve vysce Z [mm]

Konec seznamu bodu

Konec protokolu o vyskovem vyrovnani site.