

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Zimmerhaklová Jméno: Kateřina Osobní číslo: 477557

Zadávací katedra: Speciální geodézie

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie a kartografie

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Geodetický monitoring opěrné zdi

Název diplomové práce anglicky: Geodetic monitoring of the retaining wall

Pokyny pro vypracování:

Vybudovat, zaměřit a vyrovnat lokální geodetickou síť pro sledování vybrané opěrné zdi. Zvolit vhodné metody pro monitoring opěrné zdi. Analyzovat vybrané metody z hlediska použitelnosti, přesnosti a efektivity. Zpracování grafických a číselných výstupů.

Seznam doporučené literatury:

ČSN 73 0405- Měření posunů stavebních objektů.

Urban, R.: Geodetické práce při měření posunů a deformací stavebních objektů 1. vyd. Praha: CTU Publishing House, 2015. 227 s. ISBN 978-80-01-05786-5.

Hampacher, M. - Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 2. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2015. 336 s. ISBN 978-80-01-05843-5.

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

Datum zadání diplomové práce: 15.2.2022

Termín odevzdání DP v IS KOS: 15.5.2022

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



Podpis vedoucího práce



Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

15.2.2022

Datum převzetí zadání



Podpis studenta(ky)

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA SPECIÁLNÍ GEODÉZIE



Diplomová práce

Geodetický monitoring opěrné zdi

Bc. Kateřina Zimmerhaklová

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

15. května 2022

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Rudolfovi Urbanovi Ph.D. za připomínky a čas strávený touto prací. Velký dík patří Bc. Janu Zbiralovi za obětavou pomoc při měření. Za konečnou korekturu textu děkuji Ing. Tomáši Zimmerhaklovi a Ing. Pavlu Zimmerhaklovi. Lence Zimmerhaklové děkuji za přínosné nápady k praktické části a morální podporu. Nemalý dík patří celé mé rodině a přátelům NTR, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona, ve znění pozdějších předpisů. V souladu s ust. § 46 odst. 6 tohoto zákona tímto uděluji nevýhradní oprávnění (licenci) k užití této mé práce, a to včetně všech počítačových programů, jež jsou její součástí či přílohou a veškeré jejich dokumentace (dále souhrnně jen „Dílo“), a to všem osobám, které si přejí Dílo užít. Tyto osoby jsou oprávněny Dílo užít jakýmkoli způsobem, který nesnižuje hodnotu Díla, avšak pouze k nevýdělečným účelům. Toto oprávnění je časově, teritoriálně i množstevně neomezené.

V Praze dne 15. května 2022

.....

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební

© 2022 Kateřina Zimmerhaklová. Všechna práva vyhrazena.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Českém vysokém učení technickém v Praze, Fakultě stavební. Práce je chráněna právními předpisy a mezinárodními úmluvami o právu autorském a právech souvisejících s právem autorským. K jejímu užití, s výjimkou bezúplatných zákonných licencí, je nezbytný souhlas autora.

Odkaz na tuto práci

Zimmerhaklová, Kateřina.: *Geodetický monitoring opěrné zdi*. Diplomová práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2022.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá monitoringem opěrné zdi v Mladé Boleslavi v ulici Viničná. Nejprve je zmíněna norma pro posuny stavebních objektů, dále důležité pojmy a metody pro měření posunů a deformací. V praktické části je popsáno měření dvou etap a porovnání metod užitých k měření. Výstupem je vyhodnocení rozdílů mezi oběma etapami.

Klíčová slova monitoring opěrné zdi, posuny a deformace, porovnání metod, etapové měření

Abstract

This diploma thesis deals with the monitoring of the retaining wall in Mladá Boleslav in Viničná Street. First, the standard for displacements of buildings is mentioned, then important concepts and methods for measuring displacements and deformations. The practical part describes the measurement of two stages and a comparison of methods useful for measurement. The output is an evaluation of the differences between the both stages.

Keywords monitoring of the retaining wall, displacements and deformations, comparison of methods, stage measurement

Obsah

Úvod	1
1 Teorie	3
1.1 Pojmy	3
1.1.1 Monitoring stavebních konstrukcí	3
1.1.2 Metody sledování posunů a přetvoření	4
1.1.2.1 Prostorová polární metoda	4
1.1.2.2 Metoda prostorového protínání z úhlů	5
1.1.2.3 Metoda průřezové fotogrammetrie	7
1.1.2.4 Metoda prostorové sítě	8
1.1.2.5 Metoda 3D skenování	8
1.1.2.6 Metoda GNSS	9
1.1.2.7 Ostatní metody	11
1.2 Česká technická norma ČSN 73 0405	12
1.2.1 Důvody sledování posunů a přetvoření	12
1.2.2 Přesnost měření	13
1.2.3 Měření	13
2 Lokalita a záměr	15
2.1 Popis lokality	15
2.2 Záměr	16
2.2.1 Popis stavebního materiálu	16
3 Použité přístroje a programy	19
3.1 Přístroje	19
3.1.1 Leica TS12 R400	19
3.1.2 Carlson BRx7	21
3.1.3 Leica ScanStation P40	22
3.1.4 Canon EOS 450D + objektiv Canon EF 40 mm F/2.8 STM	23

3.1.5	Trimble S9 HP	24
3.2	Programy	25
3.2.1	PrecisPlanner 3D 3.3.1	25
3.2.2	Groma v. 12.1 [1]	25
3.2.3	EasyNet 3.5.1 [2]	26
3.2.4	Agisoft Metashape Professional 1.6.6 [3]	26
3.2.5	Cloud Compare v2.10.2 [4]	26
3.2.6	Leica Cyclone 9.0 [5]	26
3.2.7	L ^A T _E X 0.6.6 [6]	26
4	Budování geodetické sítě	27
4.1	Příprava	27
4.1.1	Rozbory přesnosti	28
4.2	Měření a vyrovnání geodetické sítě	28
5	0. etapa	31
5.1	Měření	31
5.1.1	Měření totální stanicí	31
5.1.2	Měření skenerem	33
5.1.3	Fotogrammetrické měření	33
5.2	Zpracování	33
5.2.1	Transformace souřadnic do místního systému	33
5.2.2	Fotogrammetrické zpracování	34
5.2.3	Zpracování videa	39
5.2.4	Zpracování laserového skenování	40
5.2.5	Porovnání fotogrammetrie a laserového skenování	40
6	1. etapa	43
6.1	Měření	43
6.2	Zpracování	43
6.3	Výsledky	44
	Závěr	47
	Literatura	49
	A Tištěné přílohy	53
	B Elektronické přílohy	55

Seznam obrázků

1.1	Výpočet souřadnic X_i, Y_i	4
1.2	Prostorové protínání z úhlů [7]	6
1.3	Průseková fotogrammetrie [8]	7
1.4	Rozdělení 3D skenovacích systémů	9
1.5	Trhlinoměr (dilatometr) [9]	11
1.6	Libelový sklonoměr [9]	11
1.7	Průchodoměr [9]	12
2.1	Lokalita: ulice Viničná	15
2.2	Opěrná zeď	16
2.3	Zeď narušená solným zvětráváním a trvalým promáčením	17
3.1	Totální stanice - Leica TS12 R400 [10]	20
3.2	GNSS přijímač - Carlson BRx7 [11]	21
3.3	Laserový skener - Leica ScanStation P40 [12]	22
3.4	Fotoaparát - Canon EOS 450D	24
3.5	Totální stanice - Trimble S9 HP [13]	25
4.1	Situace	27
4.2	PrecisPlanner 3D	28
4.3	Nastavení - Vyrovnání sítě	29
5.1	Vlícovací bod	31
5.2	Rozložení bodů na zdi	32
5.3	Černobílý skenovací terč [14]	33
5.4	Místní souřadnicový systém	34
5.5	Nastavení funkce Align Photos	35
5.6	Import souřadnic vlícovacích a kontrolních bodů	35
5.7	Převod místního systému na matematický systém	36
5.8	Reference Settings	37
5.9	Velikost chyb na kontrolních a vlícovacích bodech	37

5.10	Nastavení funkce Build Dense Cloud	38
5.11	Nastavení funkce Build Mesh	38
5.12	Nastavení funkce Build Texture	39
5.13	Odkaz na video	39
5.14	Porovnání mračen z fotogrammetrie a laserového skenování	41
6.1	Velikost chyb na kontrolních a vlíčovacích bodech	44
6.2	Uvolněná cementová výplň	44
6.3	Uvolněná cementová výplň 2	45
6.4	Uvolněné kameny	45

Seznam tabulek

3.1	Technické parametry - Leica TS12 R400 [15]	20
3.2	Technické parametry - Carlson BRx7 [16]	21
3.3	Technické parametry - Leica ScanStation P40 [17]	22
3.4	Technické parametry - Canon EOS 450D [18]	23
3.5	Technické parametry - objektiv Canon EF 40 mm F/2.8 STM [19]	23
3.6	Technické parametry - Trimble S9 HP [20]	24
4.1	Směrodatné odchylky souřadnic bodů sítě	29
5.1	Chyby na bodech	40
6.1	Rozdíly souřadnic z obrázku 6.2	45
6.2	Rozdíly souřadnic z obrázku 6.3	45
6.3	Rozdíly souřadnic z obrázku 6.4	46

Úvod

Geodetický monitoring staveb je důležité provádět z hlediska opatření k zastavení nežádoucích jevů, obnově funkčnosti, spolehlivosti, bezpečnosti a predikci dalšího chování objektů. Řadí se do inženýrské geodézie a je tedy kladen důraz na přesnost.

Proto se v této práci zabývám geodetickým monitoringem opěrné zdi v Mladé Boleslavi v ulici Viničná, která je postavena z pískovcových bloků. Ty se již v současnosti nevyužívají ke stavbě kvůli náchylnosti na změny počasí a následnému zvětrávání a degradaci povrchu. Zeď se nachází v nejnižším ze 4 terasovitých pater pod jednou z nejrušnějších ulic ve městě. Na délku má 38 m a je vysoká 4,2 m.

Cílem této práce je posouzení vhodnosti metod hromadného sběru dat (laserové skenování a fotogrammetrie) pro monitoring opěrné zdi, porovnat rozdíly mezi etapami a zpracovat graficky a číselně všechny výstupy. Dílčím cílem je vybudovat, zaměřit a vyrovnat lokální geodetickou síť pomocí totální stanice a metody GNSS.

Teorie

V této kapitole jsou v první části popsány metody, kterými je možné provádět geodetický monitoring a vysvětleno, co tento pojem znamená. Ve druhé části je uvedena norma, ze které vychází téma této práce. Je v ní popsán důvod měření, čím je charakterizována přesnost měření a jakým způsobem je prováděno měření.

1.1 Pojmy

V této kapitole jsou uvedeny základní pojmy a metody vztahující se k monitoringu stavebních konstrukcí.

1.1.1 Monitoring stavebních konstrukcí

Cílem monitoringu stavebních objektů a jejich konstrukčních částí je poskytování informací o velikosti změn a rychlosti jejich vývoje. Tyto údaje jsou velice důležité z hlediska návrhu opatření k zastavení nežádoucích jevů, obnovení funkční spolehlivosti a bezpečnosti objektu a k předpovědi jeho dalšího chování. Měření posunů je umožněno porovnávat skutečné posuny a přetvoření konstrukcí objektu s teoretickými předpokládanými hodnotami a ověřovat jejich správnost. Získáváme tak podklady k posouzení chování základových půd zatížených objektem a můžeme prohlubovat teoretické znalosti o vlastnostech podloží a působení objektu na okolí. Nejdůležitější je zaměření základní etapy (nultá etapa), ke které jsou vyhodnocovány hodnoty posunů a deformací pozorovaných bodů, zjištěných při etapových měřeních.

Monitoring je možno provádět u mnoha typů stavebních konstrukcí. Jedná se například o pozemní stavby, mostní objekty, vodohospodářská díla, podzemní stavby nebo důlní díla. Lze užít buď automatický monitoring nebo etapové měření. Při automatickém monitoringu dochází k nepřetržitému sběru dat. Současně dochází ke zpracování a vyhodnocování dat. Pokud jsou zjištěny

vyšší hodnoty posunů než je povoleno, je generováno upozornění o překročení povolené odchylky. [21]

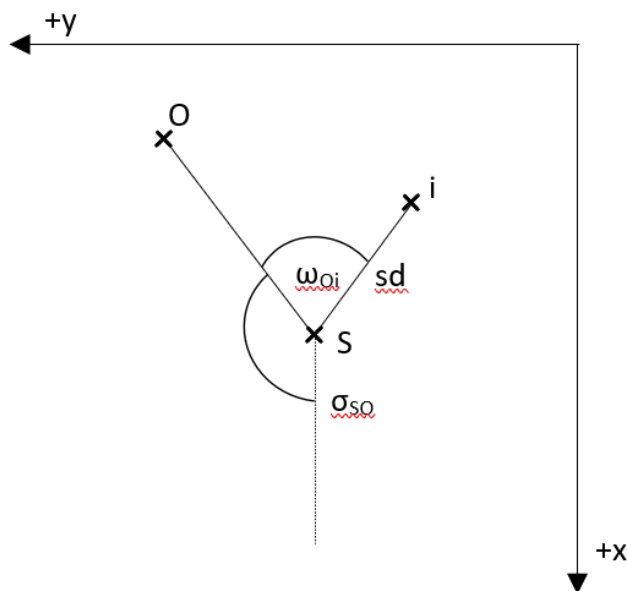
1.1.2 Metody sledování posunů a přetvoření

Mezi základní metody sledování prostorových posunů a deformací dle [7] patří:

- Prostorová polární metoda
- Metoda prostorového protínání z úhlů
- Metoda průsekové fotogrammetrie
- Metoda prostorové sítě
- Metoda 3D skenování
- Metoda GNSS

1.1.2.1 Prostorová polární metoda

Jedná se o nejrozšířenější metodu založenou na měření šikmé vzdálenosti, vodorovného směru a zenitového úhlu na určovaný bod ze známého bodu (stanoviska). Na obrázku 1.1 je schematicky znázorněna situace pro souřadnice X a Y.



Obrázek 1.1: Výpočet souřadnic X_i , Y_i

Princip výpočtu vychází z polární metody a trigonometrické nivelace ze vzorců:

$$X_i = X_S + sd_{Si} \cdot \sin(z) \cdot \cos(\sigma_{SO} + \omega_{Oi})$$

$$Y_i = Y_S + sd_{Si} \cdot \sin(z) \cdot \sin(\sigma_{SO} + \omega_{Oi})$$

$$Z_i = Z_S + sd_{Si} \cdot \cos(z) - v_c$$

kde:

XYZ_S ... souřadnice stanoviška

XYZ_P ... souřadnice měřeného bodu

sd ... šikmá délka

z ... zenitový úhel

α_{SO} ... směrník ze stanoviška na orientaci

ω_{OP} ... měřený vodorovný úhel mezi orientací a měřeným bodem

v_p ... výška přístroje

v_c ... výška cíle

Přesnost této metody vychází z přesnosti zaměření jednotlivých etap. Souřadnice 1. až n-té etapy se odečítají od tzv. nulté etapy. Výsledné posuny se uvádí v jednotlivých osách. Nejvhodnějším řešením je zvolit lokální souřadnicový systém, ve kterém se jedna z os přímo vkládá do měřeného objektu (např. opěrná zeď) a na druhé ose jsou pak vidět příčné odchylky.

Toto měření provádí například robotické totální stanice, které jsou umístěny ve vnitřním prostoru se stálou teplotou. Neustále monitorují stabilizované body a vyhodnocují měření. Místnost je vybavena počítačem, který ukládá, zpracovává a archivuje data. V případě, že dojde k překročení přípustné hodnoty posunu, pošle varovnou zprávu. [7]

1.1.2.2 Metoda prostorového protínání z úhlů

Tato metoda spočívá v použití protínání z úhlů a trigonometrické nivelace. Ze dvou stanovišek jsou měřeny vrcholové a zenitové úhly, vodorovné vzdálenosti a převýšení mezi koncovými body základny, jak je znázorněno na obr. 1.2.

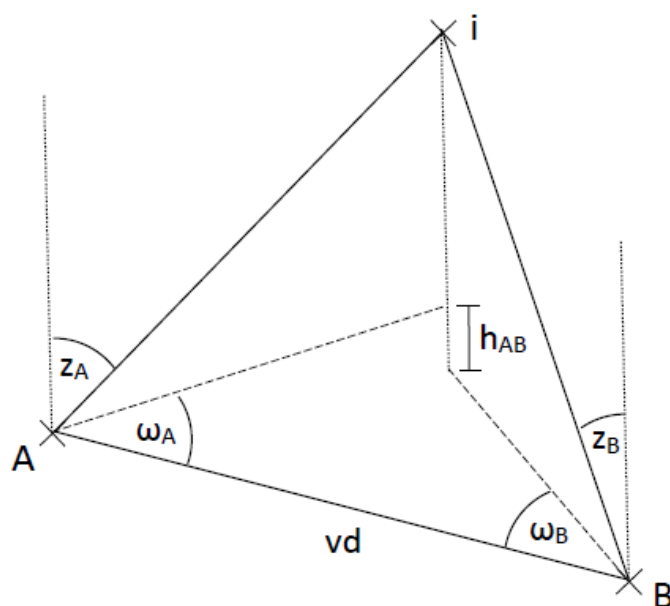
Souřadnice X, Y měřeného bodu jsou dány vzorci: [7]

$$X_i = X_A + \frac{vd}{\sin(200 - \omega_A - \omega_B)} \cdot \sin \omega_B \cdot \cos(\alpha_{AB} - \omega_A)$$

$$Y_i = Y_A + \frac{vd}{\sin(200 - \omega_A - \omega_B)} \cdot \sin \omega_B \cdot \sin(\alpha_{AB} - \omega_A)$$

nebo:

$$X_i = X_B + \frac{vd}{\sin(200 - \omega_A - \omega_B)} \cdot \sin \omega_A \cdot \cos(\alpha_{BA} - \omega_B)$$



Obrázek 1.2: Prostorové protínání z úhlů [7]

$$Y_i = Y_B + \frac{vd}{\sin(200 - \omega_A - \omega_B)} \cdot \sin \omega_A \cdot \sin(\alpha_{BA} - \omega_B)$$

kde

$XY_{A/B}$... souřadnice bodů základny
 α ... směrník
 ω ... vodorovný směr
 vd ... vodorovná délka (ze souřadnic)

Výška měřeného bodu je vypočtena z následujících vzorců:

$$Z_{iA} = Z_A + v_{pA} + \frac{vd}{\sin(200 - \omega_A - \omega_B)} \cdot \sin \omega_B \cdot \cotg z_A$$

nebo:

$$Z_{iB} = Z_B + v_{pB} + \frac{vd}{\sin(200 - \omega_A - \omega_B)} \cdot \sin \omega_A \cdot \cotg z_B$$

kde

Z ... výška měřeného bodu

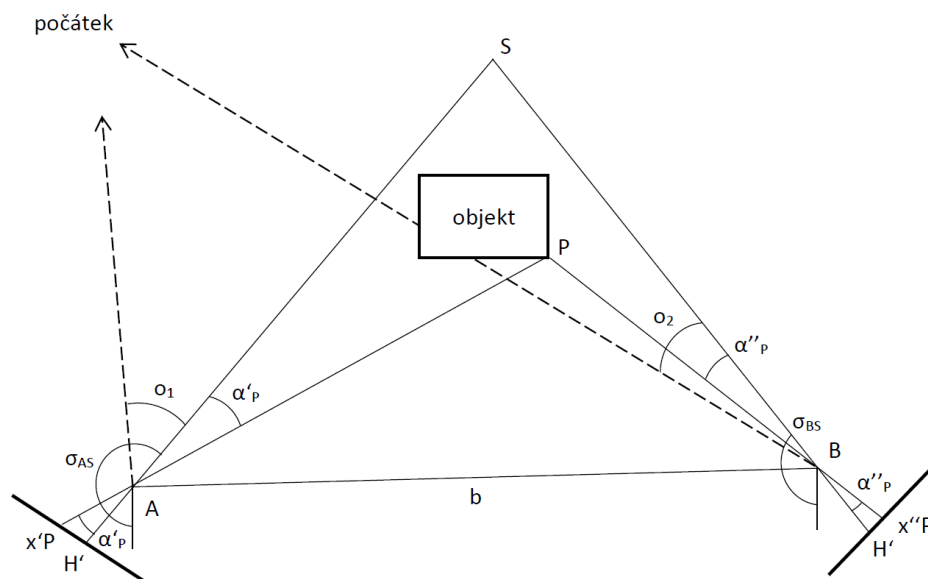
v_p ... výška cílové značky

ω ... vodorovný směr

vd ... vodorovná délka (ze souřadnic)

1.1.2.3 Metoda průsekové fotogrammetrie

Metoda je založena na využití 2 a více snímků, které se navzájem překrývají. Objekt je vyfotografován z několika míst tak, aby byl vždy na dvojici fotografií dostatečný počet vlíčovacích bodů. Systém určení prostorového bodu je dán protnutím paprsku, který prochází sledovaným bodem, vstupní pupilou¹ až na snímek. Jedná se v podstatě o protínání vpřed řešené pomocí měřických snímků. Princip této metody je zobrazen na obrázku 1.3. Ze známých souřad-



Obrázek 1.3: Průseková fotogrammetrie [8]

nic stanovisek a průsečíků os záběru lze vypočítat směrníky spojnic AS a BS a přičtením nebo odečtením úhlu na stanoviskách určit směry pro protínání vpřed ze směrů. Výšky lze určit jako při trigonometrickém měření výšek. [8]

¹omezuje množství světla, které projde optickou soustavou

Prostorové souřadnice bodu lze získat pomocí následujících rovnic:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + \lambda \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' - x'_0 \\ y' - y'_0 \\ -f \end{pmatrix}$$

kde

XYZ ... prostorové souřadnice sledovaného bodu

XYZ₀ ... prostorové souřadnice vstupní pupily

λ ... měřítkový koeficient

r_{11–33} ... koeficienty rotační matice

x'y' ... snímkové souřadnice sledovaného bodu

xy'₀ ... souřadnice hlavního snímkového bodu

f ... konstanta komory

1.1.2.4 Metoda prostorové sítě

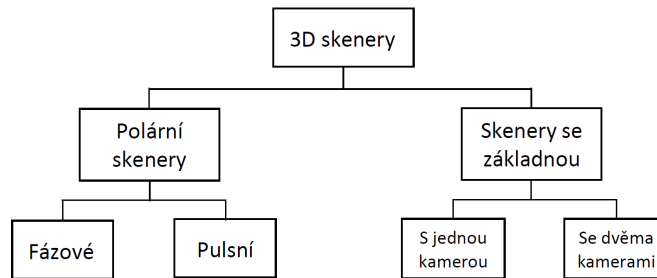
Metoda, která se využívá v případech, kdy je třeba dosáhnout vysoké přesnosti. Principem je měření vodorovných směrů, zenitových úhlů a šikmých délek z mnoha stanovisek tak, aby bylo změřeno nadbytečné množství veličin. Následně je pak pro vyrovnání použita metoda nejmenších čtverců. Je nutno počítat se všemi okolními vlivy a chybami v měření. Pro jejich eliminaci je vhodné robustní vyrovnání. [7]

1.1.2.5 Metoda 3D skenování

Jedná se o neselektivní určování prostorových souřadnic objektu a jejich ukládání do paměti. Výsledkem je tzv. mračno bodů, které obsahuje desítky až stovky milionů bodů. Výhody této metody jsou velmi rychlý sběr velkého množství dat, získávání kvalitních informací o nepravidelných plochách nebo možnost prostorové analýzy objektu, výpočet ploch, objemů atd. Nevýhodou je však, že velké množství dat je náročné na hardwarové a softwarové zpracování. Skenery můžeme dělit na polární nebo skenery se základnou, jak můžeme vidět na schématu 1.4.

Polární skenery fungují na principu prostorové polární metody. Jsou podobné totální stanici s bezhranovým dálkoměrem. K rozmítání svazku využívají skenery kombinace rovinných zrcadel, odrazných hranolů a servomotorů a lze je dále dělit na fázové a pulsní.

Pulsní dálkoměr je založen na principu měření tranzitního času, má větší dosah, ale nižší rychlost. V současnosti je kombinován i s fázovým měřením, čímž dosahuje vyšší rychlost srovnatelnou s fázovými dálkoměry.



Obrázek 1.4: Rozdělení 3D skenovacích systémů

Fázové dálkoměry pracují pomocí metody fázového rozdílu. Mají omezený dosah podle použité vlnové délky, ale naopak vyšší rychlost na rozdíl od pulsních dálkoměrů.

Skenery se základnou můžeme dělit na skenery s jednou kamerou nebo dvěma kamerami. Skener s jednou kamerou je systém, kde na jednom konci základny je digitální kamera a na druhém konci je upevněna točna s laserovým modulem, který rozmítá laserový svazek do přímky. Přímky v prostoru jsou definovány vnitřní a vnější orientací kamery a snímkovými souřadnicemi pixelů laserové stopy promítnuté na měřeném objektu. Skenery se dvěma kamerami fungují na principu, kdy je základna tvořena dvěma zacílenými kamerami, mezi kterými se nachází světelný projektor promítající na zaměřovaný objekt sekvenci vzorů. Prostorové souřadnice jsou vypočteny na základě vyhodnocení série snímků z obou kamer.

Polární skenery se vyznačují vysokou přesností v celém rozsahu měření. Uplatňují se především v geodézii, stavebnictví a příbuzných oborech. Skenery se základnou mají také velmi vysokou přesnost, která ale klesá s mocninou vzdálenosti. Používají se pro měření menších předmětů s rozměry pohybujícími se řádově mezi centimetry až několika metry nebo pro měření v interiérech. Proto je využití v geodézii nebo stavebnictví velmi výjimečné. [22]

1.1.2.6 Metoda GNSS

GNSS neboli globální navigační satelitní systémy je systém založený na vysílání signálu z družic, které vysílají své označení, polohu a čas vysílání. Přijímač, jehož polohu chceme zjistit, musí přijmout signál od minimálně čtyř družic kvůli čtyřem neznámým — souřadnicím X, Y, Z a opravě hodin přijímače. Metoda určení souřadnic je založena na prostorovém protínání z délek. Čím více signálů z více družic, tím je výsledek přesnější. Přesnost také záleží na konfiguraci družic. Pro geodetické zpracování dat jsou zapotřebí alespoň 2 přístroje, mezi nimiž se určuje pouze vektor (rozdíl souřadnic). První přístroj stojí na místě o známých souřadnicích, poloha druhého závisí na zvolené metodě (uvedeno dále). Dnes je místo přijímače (base) využito virtuálních stanic,

kde jsou observace na tyto stanice přenášeny přes internetové připojení do roveru. V České republice jsou 3 provozovatelé těchto stanic: CZEPOS (ČÚZK), Trimble VRS NOW (Geotronics spol. s.r.o.; Trimble) a TOPnet (Geodis Brno, Topcon). V dnešní době jsou nejvíce využívány 2 metody měření:

- Statická metoda
- Metoda RTK (Real Time Kinematic)

Statická metoda Jedná se o kontinuální měření dvou a více aparatur v řádu hodin až dnů. Dosažitelná přesnost je 3–5 mm.

Metoda RTK Aparatura se skládá ze dvou přijímačů, kdy jeden je umístěn na bodě o známých souřadnicích a druhý se pohybuje na měřených bodech. Oba přijímače musí být po celou dobu připojeny na internet. Přesnost je $\pm 20\text{ mm}$.

Každý GNSS systém používá jiný souřadnicový systém. GPS používá WGS-84 a proto je třeba výsledky převádět do systému S-JTSK a Bpv, které jsou v geodézii používanější. Tento převod je potřeba udělat transformací, kterou v dnešní době dokážou kontrolery vykonat samy.

Systém GNSS se dělí na 3 segmenty, jedná se o:

- Kosmický segment
- Řídící segment
- Uživatelský segment

Kosmický segment Je tvořen 32 družicemi obíhajícími ve výšce 20 200 km nad Zemí. Družice obsahují 3 až 4 přesné atomové hodiny, antény pro komunikaci s pozemními stanicemi, optické, rentgenové a pulzní-elektromagnetické detektory, solární panely a baterie jako zdroj energie.

Řídící segment Řídící a kontrolní segment monitoruje kosmický segment. Zasílá povely družicím, provádí jejich pohyb a kontrolu atomových hodin. Výsledek jejich sledování je zaznamenán v navigační zprávě každé družice.

Uživatelský segment Pomocí GPS přijímače mohou uživatelé přijímat signál z družic, které jsou zrovna v dosahu. Na základě přijatých dat vypočítá přijímač polohu antény. U geodetických GNSS je součástí anténa, přijímač a kontroler. V ČR je v současnosti přijímán signál ze systémů amerického GPS, ruského GLONASS, evropského Galileo a čínského BeiDou. [23]

1.1.2.7 Ostatní metody

Mezi další metody zejména v automatickém monitoringu patří:

- trhlinoměry
- sklonoměry
- inklinometry
- průchodoměry

Trhlinoměr na obrázku 1.5 neboli dilatometr je vhodný pro monitoring povrchových trhlin v betonových konstrukcích nebo skalních masivech. Detekuje pohyb už okolo 0,01 mm.



Obrázek 1.5: Trhlinoměr (dilatometr) [9]

Sklonoměr viz obr. 1.6 slouží k rychlému, avšak hrubému měření sklonu terénu. Existuje sklonoměr libelový, kyvadlový a závěsný.

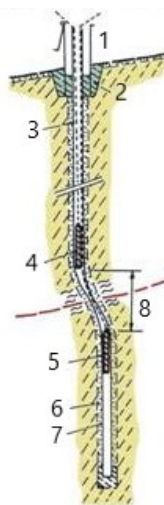


Obrázek 1.6: Libelový sklonoměr [9]

1. TEORIE

Inklinometr je snímač náklonu nebo sklonu. Měří úhel zařízení vzhledem k horizontální poloze. Jako referenční čára slouží pomyslná přímka od středu Země.

Průchodoměr na obrázku 1.7 slouží k měření aktivní smykové plochy. Na dno vrtu je spuštěno lanko o známé délce. V případě, že došlo k deformaci vrtu, tak průchodoměr při vytahování uvízne v dolní části deformovaného místa.



1 - vrt, 2 - plastická ochranná trubka, 3 - měřicí průchodoměry, 4 - závěsná lanka, 5 - pískový zásyp, 6 - krajní polohy průchodoměru při ohnutí trubky při pohybu podél smykové plochy

Obrázek 1.7: Průchodoměr [9]

1.2 Česká technická norma ČSN 73 0405

Pro pochopení problematiky měření posunů je důležité se seznámit s normou, která o ní pojednává. Měření a posuny stavebních objektů upravuje norma ČSN 73 0405 [24]. Je možné se v ní dočíst, z jakých důvodů jsou posuny sledovány, a jakým způsobem se měří. Zásadní části z normy jsou citovány v této kapitole.

1.2.1 Důvody sledování posunů a přetvoření

Tato práce sleduje stav stávajícího objektu ovlivněného okolními vlivy. Zde jsou vyjmenovány dle výše zmíněné normy další možné důvody monitoringu stavebních objektů:

1. získávání podkladů pro posouzení, jak se chová základová půda účinkem stavby a jak působí stavební objekt na blízké objekty
2. porovnání skutečných hodnot posunů s očekávanými hodnotami vypočtenými ve stavebním projektu
3. sledování stavu, funkce a bezpečnosti nových stavebních objektů
4. sledování stavu, funkce a bezpečnosti stávajících stavebních objektů ovlivněných stavební činností v jejich blízkém okolí

1.2.2 Přesnost měření

Hodnota mezní odchylky měření posunu stavebních objektů nemá podle charakteru základové půdy překročit hodnoty:

- a) $\delta \leq 1 \text{ mm}$ pro skalní a poloskalní horniny
- b) $\delta \leq 2 \text{ mm}$ pro písčité, hlinité a jiné stlačitelné zeminy a zhutněné násypy
- c) $\delta \leq 5 \text{ mm}$ pro nezhutněné násypy a silně stlačitelné zeminy

1.2.3 Měření

Pro měření rozsáhlejších objektů a objektů s vysokou funkční závažností se buduje vztažná soustava tvořená geodetickými body. Jejich úhlové, délkové a výškové zaměření tvoří síť.

Stabilita polohy vztažných bodů mezi jednotlivými etapami měření posunů se posuzuje pomocí testování, která vycházejí ze statistických hypotéz pro rozlišení skutečného posunu od vlivu nepřesnosti měření.

Při prokázání nestability vztažné soustavy je nutné statistickými testy prokázat změnu polohy jednotlivých vztažných bodů. Pro statistické testy hypotéz se doporučuje volit hodnotu normované normálně rozdělené náhodné veličiny

$$up = 2,5$$

Lokalita a záměr

V této kapitole jsou popsány základní údaje o opěrné zdi, kde se nachází a proč byla monitorována.

2.1 Popis lokality

Opěrná zeď, na které byl proveden monitoring, se nachází ve městě Mladá Boleslav v ulici Viničná, viz obr.2.1. Toto město ležící ve Středočeském kraji



Obrázek 2.1: Lokalita: ulice Viničná

patří díky automobilovému průmyslu mezi jedno z nejvíce dopravně vytížených měst v ČR. Zeď spadá do vlastnictví města a je umístěna v nejnižším ze 4 terasovitých pater. Tyto patra podepírají vysoce frekventovanou hlavní ulici

2. LOKALITA A ZÁMĚR

T.G.Masaryka, kde ve všední den dle ŘSD ČR² [25] projede více jak 22 000 aut. Tato třída spolu s navazující ulicí Jičínská odvádí tranzitní dopravu, která představuje až 8 000 těžkých nákladních vozidel denně.

Zedř postavená z pískovcových bloků (viz obr. 2.2) byla již v minulosti vícekrát opravována a je tedy zapotřebí monitorovat i nadále její stav. Délka monitorovaného úseku zdi činí 38 m a její výška je 4,2 m.



Obrázek 2.2: Opěrná zed

2.2 Záměr

Záměrem této práce je nejprve analyzovat metody fotogrammetrie a laserového skenování při měření nulté etapy a následně vyhodnotit rozdíly vzniklé mezi dvěma měřenými etapami.

Období pro měření bylo stanoveno na zimu, kvůli menším problémům s vegetací. Mezi první a druhou etapou uběhly 2 měsíce.

2.2.1 Popis stavebního materiálu

Pískovcové bloky jsou tradiční stavební materiál, jsou velmi měkké a tedy snadno opracovatelné. V dnešní době už se nevyužívají jako nosný prvek, ale

²Ředitelství silnic a dálnic České republiky

spíše jako obkladový materiál. Jsou náchylné v důsledku změn počasí na zvětrávání a degradaci povrchu. V zimě trpí zejména spodní bloky posypovou solí, kdy dochází k tzv. solnému zvětrávání. Dalším problémem je trvalé promáčení kvůli špatné hydroizolaci. Voda tak při deštích protéká skrz svah a nebo stéká po rostlé vegetaci, kdy v nejvyšších patrech je zeď téměř neporušená a ve spodních blocích jsou kvádry z velké části obroušeny jako na obrázku 2.3



Obrázek 2.3: Zeď narušená solným zvětráváním a trvalým promáčením

Použité přístroje a programy

V následujících dvou podkapitolách jsou uvedeny přístroje a programy použité při měření a zpracování této práce. K budování sítě byla použita technologie GNSS a totální stanice. Pro měření nulté etapy byla opět použita totální stanice, dále pak laserový skener, mobilní telefon a pro obě etapy byl použit fotoaparát. Ke zpracování rozborů přesnosti byl použit program *PrecisPlanner 3D*, pro vyrovnaní souřadnic sítě pak software *EasyNet*, pro výpočet a transformaci souřadnic program *Groma*. K registraci dat z laserového skenování byl použit program *Cyclone*, ke zpracování fotogrammetrie software *Agisoft Metashape Professional*, k porovnání metod a etap program *Cloud Compare* a k vytvoření této práce program \LaTeX .

3.1 Přístroje

Při měření v této práci jsem použila následující přístroje, které jsou popsány v následujících podkapitolách.

3.1.1 Leica TS12 R400

Jedná se o robotickou totální stanici s automatickým docilováním na hranol a sledováním hranolu. Dále obsahuje bezhranolový dálkoměr, EGL světlo, laserovou olovnici, barevný dotykový display a bluetooth. Další technické parametry jsou uvedeny v tabulce 3.1 a přístroj se nachází na obr. 3.1

3. POUŽITÉ PŘÍSTROJE A PROGRAMY

Tabulka 3.1: Technické parametry - Leica TS12 R400 [15]

Obecné informace	
váha	4,8 – 5,5 kg
jednotky	metry/stopy/inch
teplotní rozptyl	-20° až + 50°
Dalekohled	
průměr	40 mm
zvětšení	30×
zorné pole	1°30'(2,7 m/100 m)
minimální vzdálenost zacílení	1,7 m
Úhlové měření	
jednotky	360° / 400 gon
rozlišení displeje	0,1"/0,5 mgon
přesnost	7"/2 mgon
Délkové měření	
přesnost s cílením na odrazný hranol	1800 m(±1 + 1,5 ppm)mm
přesnost s cílením na reflexní cíl (bílý do 500 m)	200 m(±2 + 2 ppm)mm



Obrázek 3.1: Totální stanice - Leica TS12 R400 [10]

3.1.2 Carlson BRx7

Carlson BRx7 (obr.3.2) je velice vespělý přijímač pro GPS signály vybavený kompenzací náklonu. Jeho stručná specifikace se nachází v tabulce 3.2.

Tabulka 3.2: Technické parametry - Carlson BRx7 [16]

Technické parametry	
váha	1, 12 kg
rozměry	156 × 76 mm
typ přijímače	GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo, QZSS, IRNSS, Atlas L-band
teplotní rozptyl	-30° až + 65°
přesnost (RTK)	8 mm + 1 ppm



Obrázek 3.2: GNSS přijímač - Carlson BRx7 [11]

3.1.3 Leica ScanStation P40

Leica ScanStation P40 (viz obr. 3.3) je pozemní laserový skener s pulzní technologií. Dokáže naskenovat 1 milion bodů za sekundu v dosahu až 270 m. Má vysokou úhlovou přesnost, nízký rozsah šumu a dvouosou kompenzaci. Další technické parametry naleznete v tabulce 3.3

Tabulka 3.3: Technické parametry - Leica ScanStation P40 [17]

Obecné informace	
váha	12,25 kg
rozměry	238 × 358 × 395 mm
teplotní rozptyl	-20° až +50°
Laser	
vlnová délka	658 nm
dosah	0,4 – 270 m
přesnost	6 mm na 100 m
úhlová přesnost	8"
délková přesnost	1,2 mm + 10 ppm
Terč	
maximální dosah	75 m
odchylka	2 mm do 50 m
Kamera	
typ	Canon EOS 60D
rozlišení	1920 × 1920 pixel



Obrázek 3.3: Laserový skener - Leica ScanStation P40 [12]

3.1.4 Canon EOS 450D + objektiv Canon EF 40 mm F/2.8 STM

Canon EOS 450D (viz obr. 3.4) je digitální jednooká zrcadlovka (DSLR)³ s rozlišením 12,2 Mpx. Jeho technické parametry jsou vypsány v tabulce 3.4 a parametry objektivu jsou v tabulce 3.5

Tabulka 3.4: Technické parametry - Canon EOS 450D [18]

Parametry fotoaparátu	
váha	475 g
rozměry	129 × 98 × 62 mm
rozlišení	12,2 Mpx
obrazový snímač	CMOS
formát snímače	APS-C
expoziční čas	1/4000 - 30
ISO - citlivost	100 - 1600

Tabulka 3.5: Technické parametry - objektiv Canon EF 40 mm F/2.8 STM [19]

Objektiv	
typ objektivu	Canon EF 40 mm F/2.8 STM
typ bajonetu	Canon EF
světelnost objektivu	2,8
ohnisková vzdálenost	40 mm
clona	F2.8 – F22

³Digital Single-Lens Reflex camera

3. POUŽITÉ PŘÍSTROJE A PROGRAMY



Obrázek 3.4: Fotoaparát - Canon EOS 450D

3.1.5 Trimble S9 HP

Trimble S9 HP viz obr. 3.5 je robotická totální stanice. Jedná se o tzv. oneman station, kdy při měření není zapotřebí dvou lidí, přístroj dokáže sledovat a docilovat sám na hranol. Technické údaje o přístroji se nachází v tabulce 3.6.

Tabulka 3.6: Technické parametry - Trimble S9 HP [20]

Obecné informace	
váha	5,4 kg
jednotky	metry/stopy
teplotní rozptyl	-20° až + 50°
Dalekohled	
zvětšení	30×
zorné pole	1°30' (2,6 m/100 m)
minimální vzdálenost zacílení	1,5 m
Úhlové měření	
jednotky	360° / 400 gon
přesnost	1"/0,3 mgon
Délkové měření	
přesnost s cílením na odrazný hranol	±0,8 + 1 ppm
přesnost s cílením na reflexní cíl	±3 + 2 ppm



Obrázek 3.5: Totální stanice - Trimble S9 HP [13]

3.2 Programy

V této kapitole jsou stručně popsány programy, které byly použity pro zpracování naměřených dat a ke tvorbě této práce.

3.2.1 PrecisPlanner 3D 3.3.1

Program PrecisPlanner 3D [26] umožňuje na základě znalosti přibližných souřadnic, které definují konfiguraci měření, výběru měřených veličin a jejich přesnosti určit přesnost výsledných souřadnic a kovarianční matice pro další výpočty přesnosti odvozených veličin jako délky nebo úhlu.

3.2.2 Groma v. 12.1 [1]

Geodetický systém určený ke zpracování geodetických dat. Umožňuje provádět výpočty, zobrazovat kontrolní kresby a vytváří protokoly o výpočtech.

3.2.3 EasyNet 3.5.1 [2]

Software, který slouží pro zpracování přesných geodetických měření. Data jsou vyhodnocována pomocí robustního vyrovnání prostorové geodetické sítě. Jeho předností je funkce pro automatickou detekci a vyloučení odlehlých měření.

3.2.4 Agisoft Metashape Professional 1.6.6 [3]

Tento program slouží k fotogrammetrickému zpracování digitálních snímků. Je to nástroj pro generování texturovaných modelů, georeferencovaných ortofotosnímků a detailních DMT. Jedná se o novější verzi programu Agisoft PhotoScan.

3.2.5 Cloud Compare v2.10.2 [4]

Cloud Compare je software pro zpracování 3D mračna bodů pocházejících např. z laserového skenování nebo fotogrammetrie. Dokáže také porovnávat více mračen mezi sebou.

3.2.6 Leica Cyclone 9.0 [5]

Jedná se o program pro zpracování bodového mračna z laserových skenerů. Dokáže rychle vytvářet 3D trojúhelníkové sítě z mračen bodů. Je vhodný pro modelování objektů, porovnání objektů, extrakci hran, vektorizaci bodových mračen, výpočet posunů a deformací, prokládání plochami, výpočty objemů a vrstevnic.

3.2.7 L^AT_EX 0.6.6 [6]

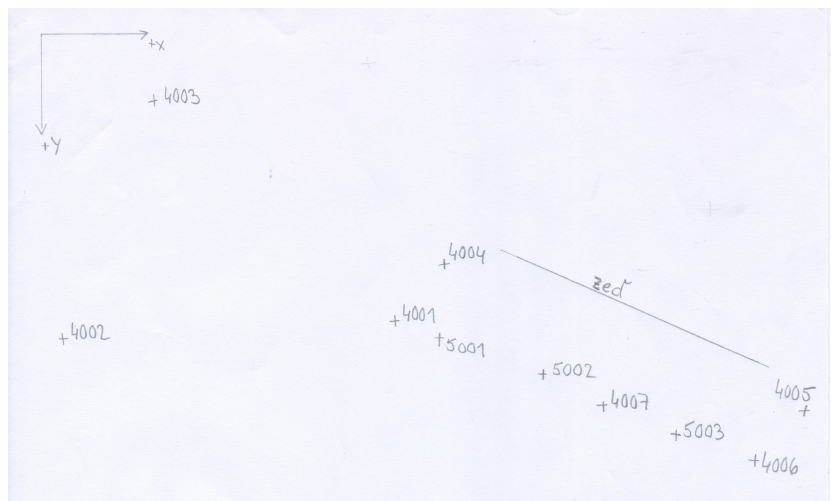
V tomto programu byla napsána tato práce. Program umožňuje sázet a tisknout díla ve vysoké typografické kvalitě a lze používat předdefinované šablony. Dokument je psán formou příkazů a následně je dokument překládán do formátu PDF.

Budování geodetické sítě

Bylo potřeba vytvořit geodetickou síť bodů v okolí místa následného monitorování opěrné zdi. V této kapitole se zabývám tvorbou a výpočty které jsou s ní spojené.

4.1 Příprava

Před veškerými měřickými pracemi byl 15.12.2021 zrekognoskován terén. Pomocí nastřelovacích hřebů bylo zafixováno 6 bodů, které byly následně zaměřeny pomocí technologie GNSS - Carlson BRx7 (v.č. 2528259) pro zjištění přibližných souřadnic, které byly využity pouze v rozborech přesností před měřením. Ve vhodné vzdálenosti, tak aby bylo vidět na všechny body a celou zeď, byla zvolena 3 volná stanoviska. Na náčrtu 4.1 je vidět rozmístění těchto bodů.



Obrázek 4.1: Situace

4.1.1 Rozbory přesnosti

Rozbory přesnosti před měřením byly provedeny v programu PreciPlanner 3D. Do programu byly vloženy 2 textové soubory. V prvním souboru se nachází přibližné souřadnice bodů sítě z GNSS měření, viz příloha [A]. Druhý soubor byl vytvořen pomocí funkce *Mapa měření* - obr. 4.2. Mezi všemi body



Obrázek 4.2: PreciPlanner 3D

navzájem bylo nastaveno měření vodorovného směru, zenitového úhlu a šikmé délky. Pro úhly byla zvolena přesnost 0,7 mgon udávaných výrobcem přístroje a pro délky 1 + 1 ppm (1 mm). Textový soubor se zadanými hodnotami měření je v příloze [A]. V hlavním menu byla zvolena funkce *Výpočet modelu*. Výsledný protokol z výpočtu se nachází v příloze [A]. Pro naše účely byla stanovena požadovaná přesnost sítě 3 mm. Předpokládaná přesnost bodů sítě vychází do 1 mm, což splňuje stanovenou přesnost.

4.2 Měření a vyrovnání geodetické sítě

Totální stanicí Leica TS12 R400 (v.č.270761) byla ze tří volných stanovišek - 5001, 5002 a 5003 proměřena síť bodů, které byly již stabilizovány a zaměřeny pomocí GNSS. Na prvním stanovišku byly vloženy přibližné souřadnice stanoviška z měření GNSS. Všechny souřadnice pak tedy vychází v systému S-JTSK. Na všechny body byl měřen vodorovný směr, zenitový úhel a šikmá délka. Z důvodu špatné viditelnosti na bod 4002 byl tento bod z celého dalšího měření vyřazen.

Vyrovnání geodetické sítě bylo provedeno v programu EasyNet. Nejprve bylo do programu přidáno měření z totální stanice s příponou *.asc (viz přílohu [A]). Na kartě *Vyrovnání/Fixní body* byly přidány souřadnice bodů vypočtené z přístroje. Všechny body byly vybrány a označeny jako nefixní. Na kartě *Hlavní/Nastavení/Vyrovnání sítě* byly nastaveny co nejvhodněji hodnoty tak, aby aposteriorní jednotková směrodatná odchylka vycházela co nejbližší hodnotě 1. Byla zhoršena úhlová a délková přesnost v nastavení vyrovnání sítě na

4.2. Měření a vyrovnání geodetické sítě

obrázku 4.3 vzhledem k malým vzdálenostem a měření na hranol, který byl umístěn na výtyčce nikoliv na stativu.

Nastavení - Vyrovnání sítě

Souřadnice před vyrovnáním

Zachovat vložené souřadnice nefixních bodů

Vyloučení odlehlých hodnot

Hladina významnosti:

Metoda robustního odhadu:

Analyzované veličiny

Vodorovný směr Šikmá délka (doplněk)

Zenitový úhel Směrník

Šikmá délka Převýšení

Svislé provažování

Ukončení iteračního vyrovnání

Maximální počet iterací:

Maximální změna robustní váhy:

Maximální změna souřadnice bodu [mm]:

Směrodatná odchylka měřené veličiny

Vodorovný směr [mgon]:

Zenitový úhel [mgon]:

Šikmá délka [mm]:

Směrodatná odchylka doplňkové veličiny

Šikmá délka [mm]:

Směrník [mgon]:

Převýšení [mm]:

Svislé provažování [mm]:

Apriorní jednotková směrodatná odchylka

Obrázek 4.3: Nastavení - Vyrovnání sítě

Aposteriorní jednotková směrodatná odchylka vychází 1,085, což je v pořádku, protože se poměr apriorní a aposteriorní jednotkové směrodatné odchylky rovná 0,921. Z rozboru přesnosti vyplývá, že maximální odchylka na bodě je 1,25 mm, což splňuje předepsanou přesnost sítě. Směrodatné odchylky souřadnic bodů sítě se nachází v tabulce 4.1.

Tabulka 4.1: Směrodatné odchylky souřadnic bodů sítě

ČB	$\sigma_X [mm]$	$\sigma_Y [mm]$	$\sigma_Z [mm]$
4001	0,54	1,08	0,34
4003	0,62	1,03	0,85
4004	0,92	0,61	0,28
4005	0,47	1,10	0,33
4006	0,59	1,03	0,29
4007	0,70	1,25	0,34

0. etapa

5.1 Měření

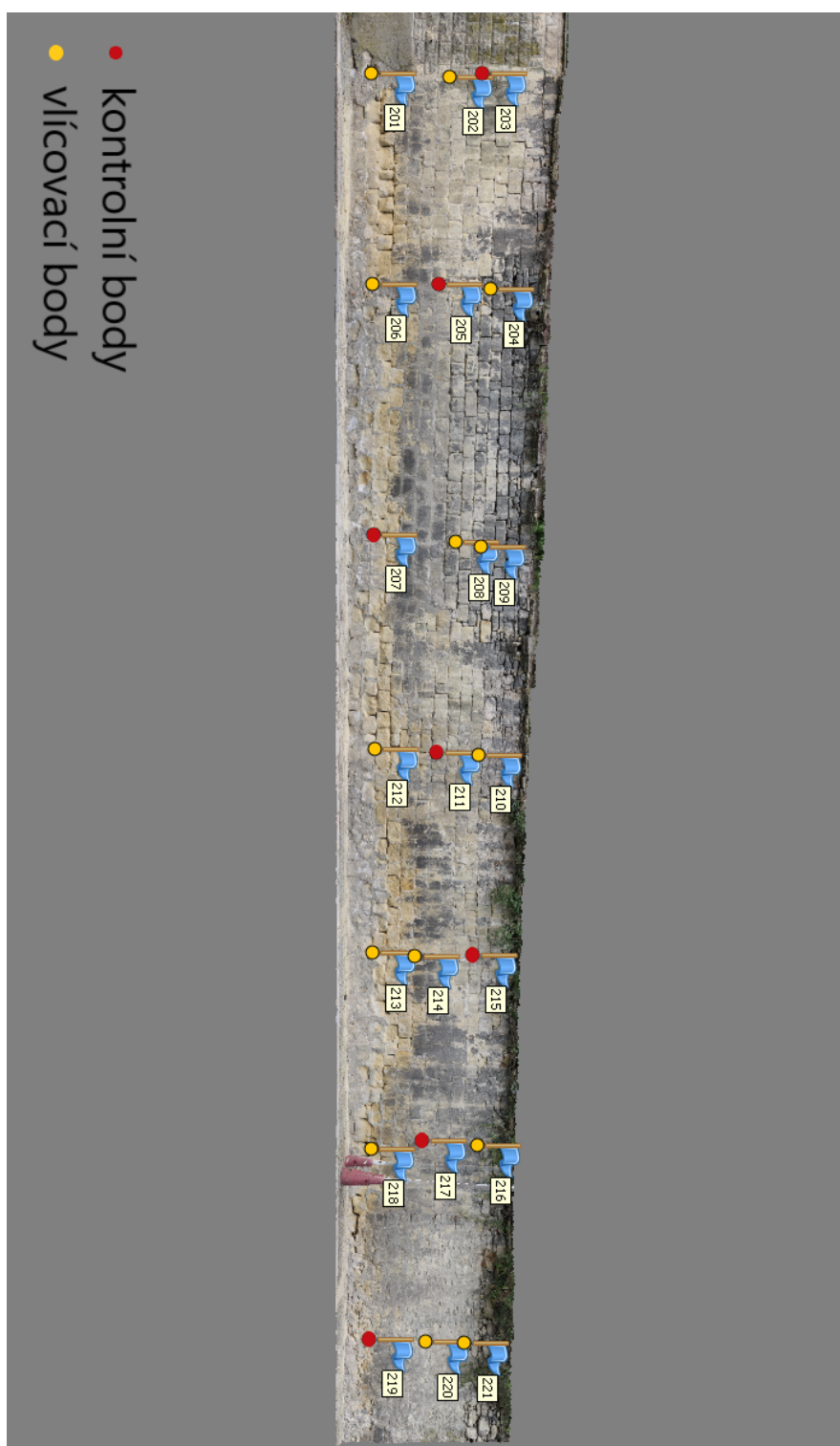
V této kapitole jsou popsány metody, kterými bylo 26.2.2022 prováděno měření. Jako etalon pro celé měření byla zvolena totální stanice, následně pak byla zeď zaměřena laserovým skenerem, vyfocena pomocí fotoaparátu a natočeno video mobilním telefonem. Před samotným měřením musela být zeď zbavena vegetace a následně byly po pěti metrech nakresleny fixou 3 křížky v každém profilu, jak je vidět na obrázku 5.2. Celkově bylo zakresleno 21 černých křížků.

5.1.1 Měření totální stanicí

Pomocí totální stanice Trimble S9 HP bylo ze dvou stanovišek zaměřeno 5 bodů sítě (4001, 4003, 4004, 4005 a 4008), 4 zhušťovací body na lampách (1009 - 1012), aby bylo možno stát s přístrojem na volném stanovisku a nemuselo se chodit na body sítě s odrazným hranolem, 4 terče (101 - 104) vhodně rozmístěné pro následné laserové skenování a všechny podrobné body 201 - 221 na samotné zdi označené černými křížky, viz obr. 5.1.



Obrázek 5.1: Vlíčovací bod



Obrázek 5.2: Rozložení bodů na zdi

5.1.2 Měření skenerem

Na obrázku 5.3 je tzv. skenovací terč, který slouží jako vlíčovací bod pro následnou registraci dat. Podél celé zdi byly vhodně rozmístěny 4 takovéto terče. Laserovým skenerem Leica scanstation P40 byla naskenována ze tří stanovisek postupně celá zeď.



Obrázek 5.3: Černobílý skenovací terč [14]

5.1.3 Fotogrammetrické měření

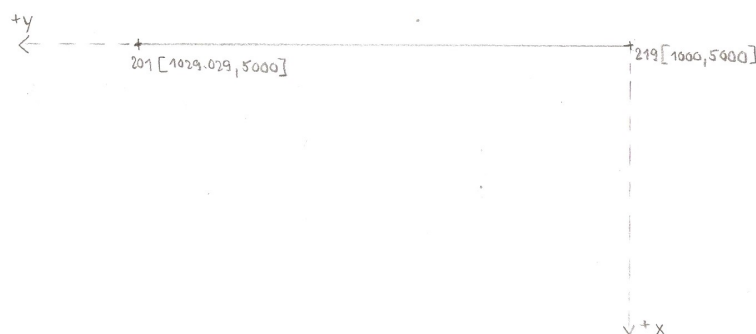
Fotoaparátem Canon EOS 450D, který měl objektiv s pevnou ohniskovou vzdáleností a vypnutým ostřením na automatiku, bylo nafoceno 189 fotografií ze vzdálenosti 5–10 m tak, aby bylo na fotkách vidět namalované křížky (vlíčovací body). Následně bylo natočeno video za účelem užití další metody, které bylo zpracováno stejným způsobem jako fotografie.

5.2 Zpracování

V této části práce je popsáno zpracování měření z totální stanice, neboli výpočet souřadnic vlíčovacích bodů na zdi v lokálním systému. Dále pak fotogrammetrické zpracování snímků a videa, registrace dat z laserového skenování a nakonec porovnání výsledků z obou metod.

5.2.1 Transformace souřadnic do místního systému

Aby bylo lépe vidět výsledky posunů zdi, byl vytvořen vlastní systém, kde byla vložena osa Y do dvou měřených bodů (č.201 a 219), jak je vidět na obrázku 5.4. Proto byla provedena 2D podobnostní transformace souřadnic v programu GROMA [1], kde byly změřené souřadnice z totální stanice přetransformovány do místního systému. Bod 219 byl použit jako počátek souřadnicové soustavy a



Obrázek 5.4: Místní souřadnicový systém

byly mu přiřazeny souřadnice $\rightarrow X: 5000 \text{ m } Y: 1000 \text{ m } Z: 99,607 \text{ m}$. Souřadnice Z byla ponechána z původního systému. Údaje o úhlu rotace a měřítku se nachází v protokolu o transformaci, který lze nalézt v příloze [A].

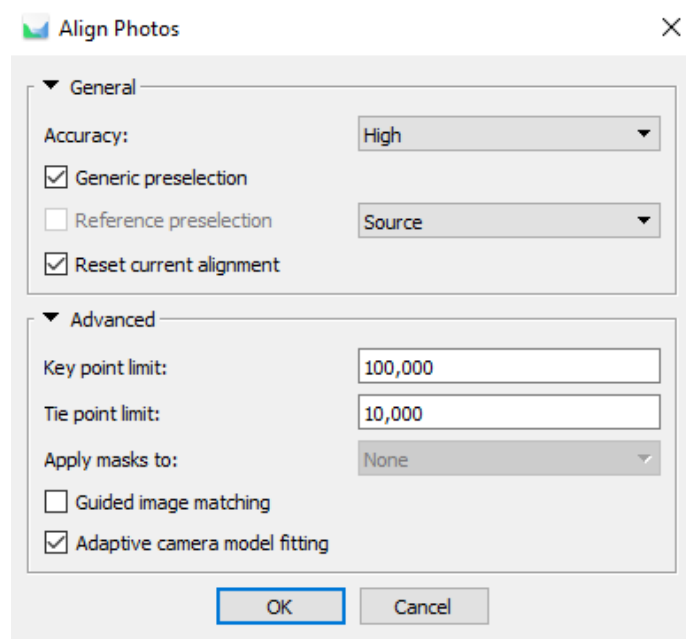
5.2.2 Fotogrammetrické zpracování

V programu Agisoft Metashape Professional [3] byly zpracovány snímky z fotoaparátu. Nejprve bylo všech 189 pořízených snímků naimportováno do programu pomocí funkce *Workflow/Add photos*.

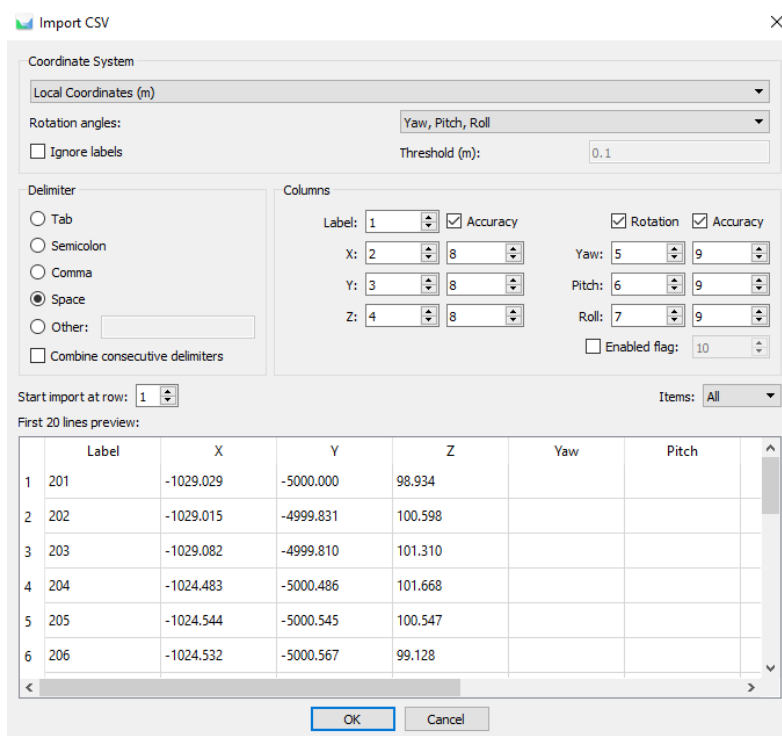
Další použitou funkcí bylo *Workflow/Align photos*, pro vyhledání spojovacích bodů. V nastavení bylo zvoleno rozlišení snímku *Accuracy* na hodnotu *High*. Dále pak byl zadán *Key point limit* tedy maximální počet bodů získaných z jedné fotografie na optimální hodnotu a *Tie point limit* - horní limit spojovacích bodů, které budou použity k propojení obou snímků. Zadané hodnoty funkce jsou na obrázku 5.5.

Dalším krokem bylo označení vlíčovacích a kontrolních bodů na snímcích. Pravým tlačítkem myši bylo vyvoláno roletové menu, kde byla zvolena možnost *Create marker*. Značka byla posunuta na místo na fotografii do středu křížku a označena správným číslem bodu. Tento postup byl opakován se všemi body. Program našel tyto body na ostatních fotografiích. Na každém snímku bylo zkontrolováno správné přiřazení značky k bodu, případně byla značka posunuta do správného místa. K minimalizování chyb byly odstraněny značky, které byly na okrajích snímků.

Po identifikování vlíčovacích a kontrolních bodů bylo třeba jim přiřadit správné souřadnice. Na kartě *Reference* pomocí ikony *Import* byl vložen textový soubor se souřadnicemi bodů (viz příloha [A]). Import je vidět na obrázku 5.6.

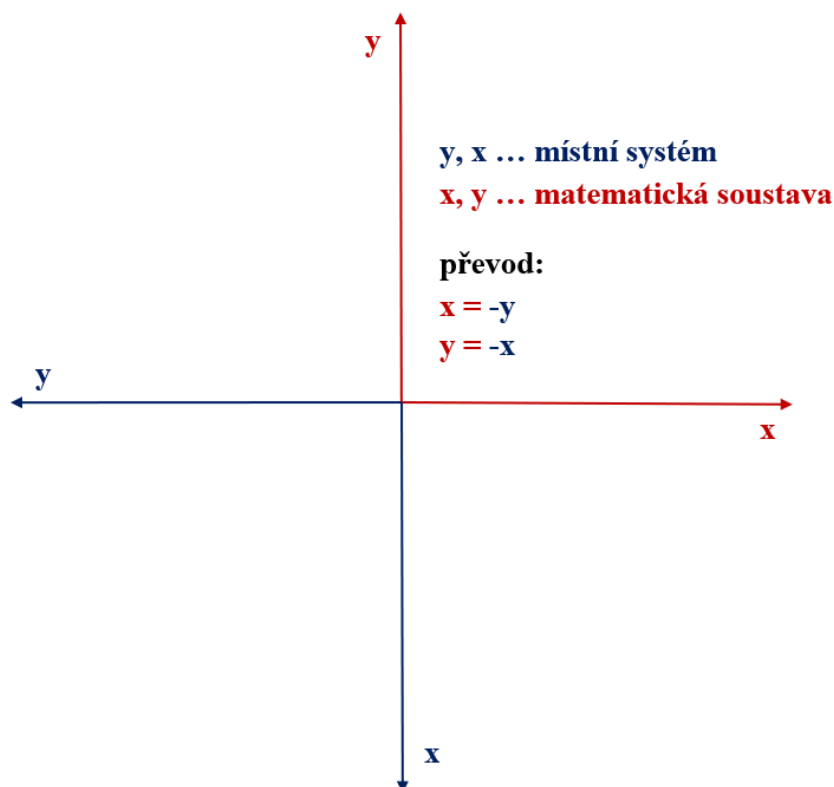


Obrázek 5.5: Nastavení funkce Align Photos



Obrázek 5.6: Import souřadnic vlčkových a kontrolních bodů

Souřadnicový systém byl nastaven jako lokální. Souřadnice předtím musely být konvertovány do matematické soustavy neboli souřadnice X a Y byla prohozena a přidáno znaménko mínus, jak je viditelné ze schématu 5.7.

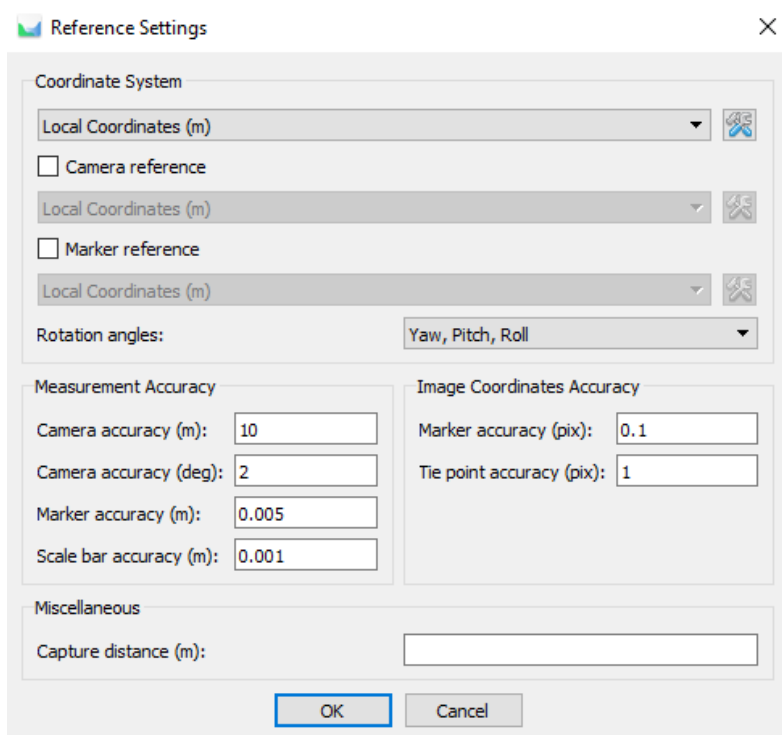


Obrázek 5.7: Převod místního systému na matematický systém

Následně byla vhodně zvolena konfigurace vlíčovacích a kontrolních bodů, která je zobrazena na obrázku 5.2 v kapitole 5.1. Kontrolní body byly odškrtnuty v seznamu bodů. V nastavení *Reference Settings* (obr.5.8) byl zkontrolován souřadnicový systém, zda je lokální a hodnota *Marker accuracy* (přesnost určení VB na fotografii) byla nastavena vzhledem k velikosti namalovaných křížků na hodnotu 0,005 m.

V tabulce bodů byly zkontrolovány hodnoty error (m). Nejvyšší hodnota se vyskytla na kontrolním bodě 220 a to 6 mm. Průměrná hodnota error na vlíčovacích bodech jsou 3 mm a na kontrolních bodech 4 mm. Výsledné hodnoty lze nalézt na obrázku 5.9.

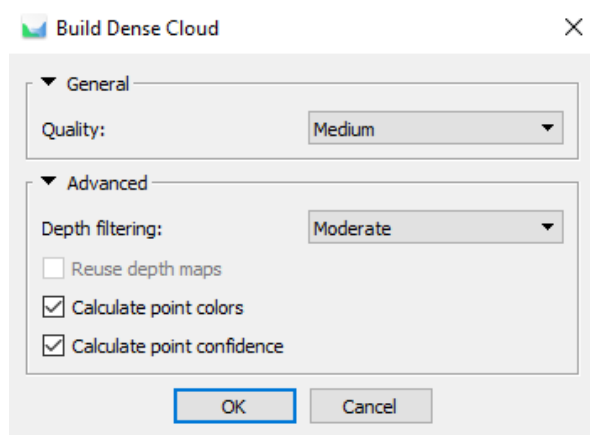
V dalším kroku bylo vytvořeno mračno bodů pomocí funkce *Workflow/Build Dense Cloud* s nastavením kvality na *Medium*. *Depth filtering*, což je parametr pro filtrování hloubky, byl nastaven na *Moderate* jako střední hloubkové vyhlazení, viz obr.5.10.



Obrázek 5.8: Reference Settings

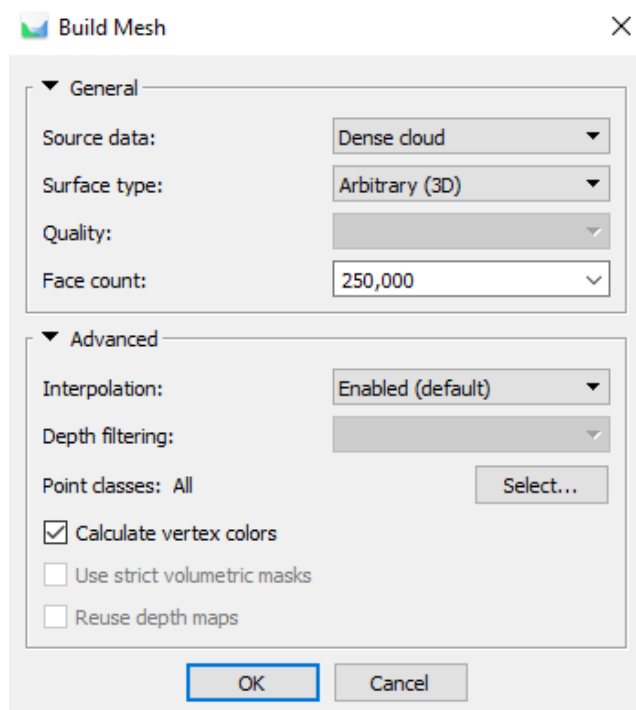
Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
<input checked="" type="checkbox"/> 220	-999.968000	-4999.879000	100.922000	0.020000	0.006279	16	0.409
<input type="checkbox"/> 219	-1000.000000	-5000.000000	99.607000	0.020000	0.006197	13	0.442
<input checked="" type="checkbox"/> 221	-999.957000	-4999.787000	101.855000	0.020000	0.006102	8	0.556
<input checked="" type="checkbox"/> 203	-1029.082000	-4999.810000	101.310000	0.020000	0.005573	16	0.521
<input type="checkbox"/> 215	-1009.539000	-4999.935000	101.752000	0.020000	0.005472	17	0.479
<input checked="" type="checkbox"/> 202	-1029.015000	-4999.831000	100.598000	0.020000	0.005384	16	0.316
<input type="checkbox"/> 211	-1014.260000	-5000.211000	100.803000	0.020000	0.004698	16	0.273
<input checked="" type="checkbox"/> 210	-1014.244000	-5000.168000	101.726000	0.020000	0.004326	14	0.835
<input type="checkbox"/> 207	-1019.118000	-5000.370000	99.261000	0.020000	0.004066	15	0.420
<input checked="" type="checkbox"/> 212	-1014.279000	-5000.217000	99.388000	0.020000	0.003801	14	0.307
<input checked="" type="checkbox"/> 213	-1009.471000	-5000.029000	99.439000	0.020000	0.003610	16	0.403
<input checked="" type="checkbox"/> 209	-1018.908000	-5000.275000	101.649000	0.020000	0.003537	17	0.356
<input checked="" type="checkbox"/> 201	-1029.029000	-5000.000000	98.934000	0.020000	0.003346	12	0.370
<input checked="" type="checkbox"/> 214	-1009.449000	-5000.009000	100.430000	0.020000	0.002962	19	0.329
<input checked="" type="checkbox"/> 216	-1004.838000	-4999.658000	101.991000	0.020000	0.002938	11	0.405
<input checked="" type="checkbox"/> 208	-1019.010000	-5000.297000	101.074000	0.020000	0.002185	18	0.421
<input checked="" type="checkbox"/> 218	-1004.670000	-4999.814000	99.504000	0.020000	0.002146	10	0.415
<input checked="" type="checkbox"/> 217	-1004.917000	-4999.770000	100.702000	0.020000	0.002142	13	0.353
<input checked="" type="checkbox"/> 206	-1024.532000	-5000.567000	99.128000	0.020000	0.001607	16	0.412
<input checked="" type="checkbox"/> 204	-1024.483000	-5000.486000	101.668000	0.020000	0.001077	19	0.485
<input type="checkbox"/> 205	-1024.544000	-5000.545000	100.547000	0.020000	0.000689	21	0.461
Total Error							
Control points					0.003837		0.442
Check points					0.004521		0.432

Obrázek 5.9: Velikost chyb na kontrolních a vřícovacích bodech



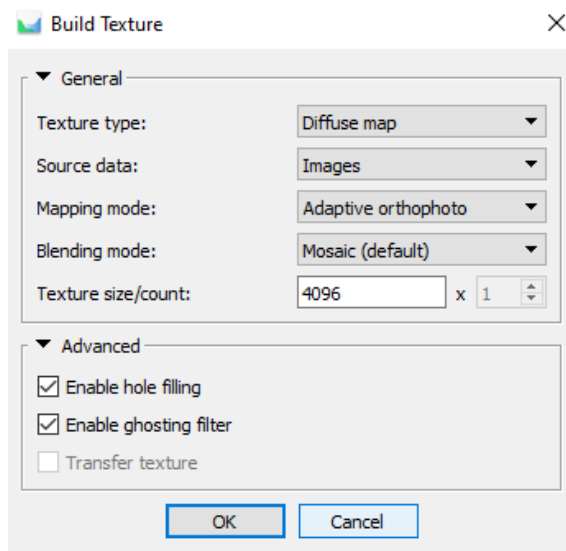
Obrázek 5.10: Nastavení funkce Build Dense Cloud

Dále byla vygenerována síť (*Mesh*) z předchozího *Dense cloud* funkcí *Workflow/Build Mesh*. Typ povrchu (*Surface type*) byl zvolen *Arbitrary (3D)* (libovolný). Hodnota *Face Count*, neboli množství vytvořených trojúhelníků, byla nastavena na hodnotu 250 000 podle předchozích zkušeností a zkoušení optimálního počtu trojúhelníků. Ostatní nastavení naleznete na obrázku 5.11



Obrázek 5.11: Nastavení funkce Build Mesh

Funkcí *Workflow/Build Texture* byla vytvořena textura. Dle obr. 5.12 byl nastaven *Texture type* na difuzní mapu, *Mapping mode* (způsob vytváření textury) na *Adaptive orthophoto* a *Blending mode*, který určuje, jakým způsobem jsou kombinovány hodnoty pixelů do výsledné textury na *Mosaic* (mozaika).



Obrázek 5.12: Nastavení funkce Build Texture

Protokol vygenerovaný programem je v příloze [A].

5.2.3 Zpracování videa

Video bylo natočeno mobilním telefonem Xiaomi Redmi Note 8 z podobné vzdálenosti, jako byly pořízeny snímky. Video je uloženo na internetu a je dostupné přes odkaz uvedený na obrázku 5.13.



Obrázek 5.13: Odkaz na video

Pro zpracování videa měl být použit stejný postup jako u zpracování snímků. *Frame step* byl nastaven na nejnižší možnou hodnotu, a to 1. Při následném importu bylo vytvořeno 2126 snímků, ale i přes to byla výsledná

kvalita jednotlivých snímků taková, že nebylo možno rozpoznat vřícovací body nakreslené na zdi, protože video má nižší rozlišení než snímek. Proto tato metoda nebyla už dále použita.

5.2.4 Zpracování laserového skenování

V programu Cyclone [5] byla provedena registrace dat z laserového skeneru. Z tabulky 5.1 je vidět, že největší odchylka mezi změřenými souřadnicemi VB z totální stanice a skenem je 1,7 mm na bodě 102. Protokol o registraci se nachází v příloze [A].

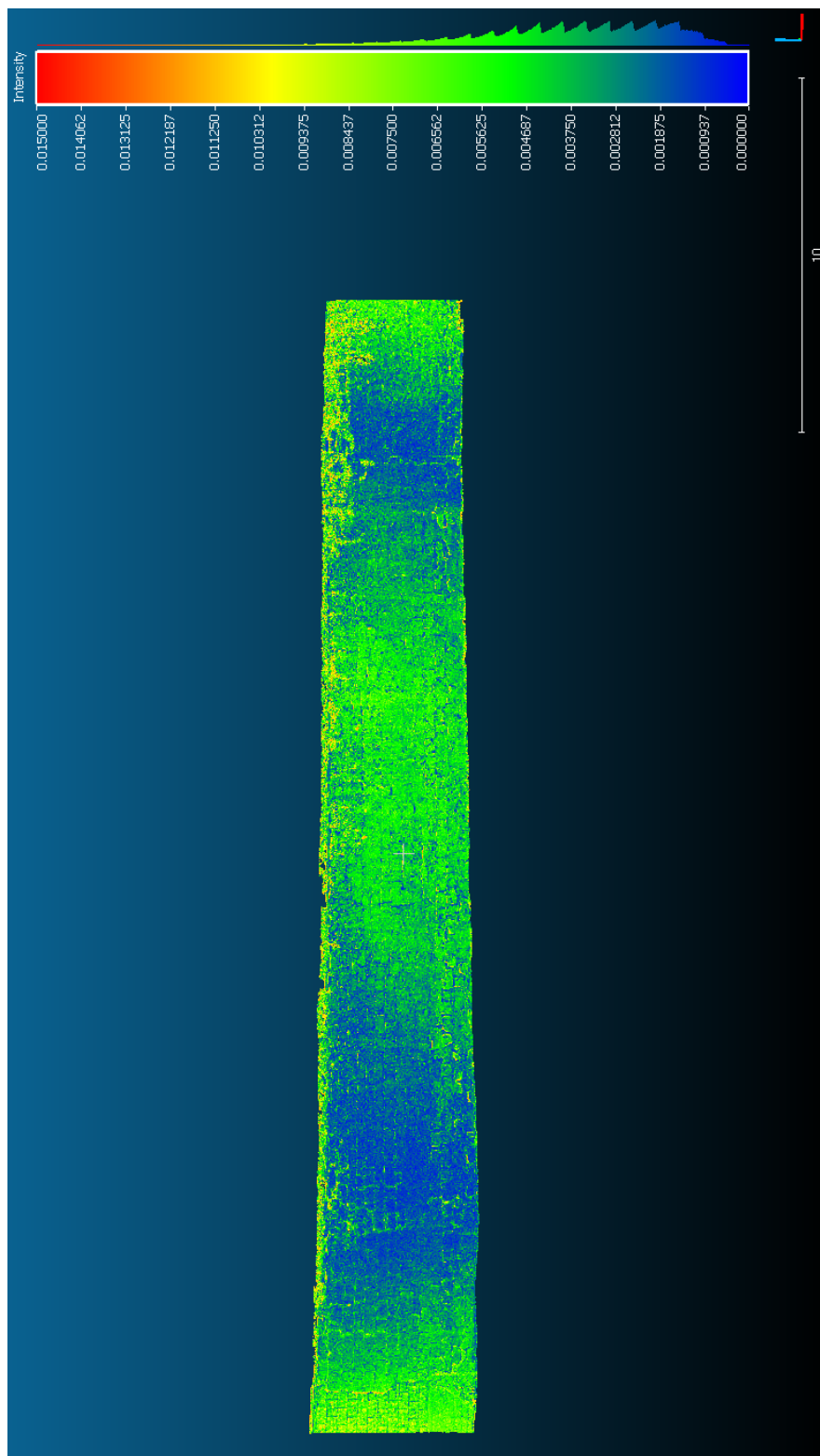
Tabulka 5.1: Chyby na bodech

Stanovisko	VB	σ_δ [mm]
1	101	1,4
1	102	0,8
1	103	0,9
1	104	1
2	102	1,5
2	103	1,3
2	104	1,4
3	101	1
3	102	1,7
3	104	1,1

5.2.5 Porovnání fotogrammetrie a laserového skenování

Následné zpracování bylo provedeno v programu Cloud Compare [4]. V tomto softwaru bylo za úkol porovnat přesnost obou metod a ukázat, která z nich je přesnější, nebo zda jsou pro tyto účely obě dostačující a budeme si moci vybrat, která z nich bude použita v následující etapě měření.

Do tohoto programu byla nahrána mračna bodů z laserového skenování a zpracované mračno z programu Agisoft Metashape Professional. Obě tato mračna byla ořezána a zbavena přebytečného šumu v podobě chodníku, lamp nebo okolní zeleně stínící samotnou zeď. Pomocí funkce *Compute cloud/cloud distance* byly vypočteny rozdíly (vzdálenosti) mezi oběma mračky. Průměrný rozdíl mezi mračky vychází 3,8 mm a směrodatná odchylka je 2,1 mm. Na obrázku 5.14 můžeme vidět porovnání mezi oběma mračky. Červené body značí největší odchylku mezi mračky do 15 mm. Žutozelené body se pochybují v rozmezí 3–10 mm. A modré body jsou od 0–3 mm.



Obrázek 5.14: Porovnání mračen z fotogrammetrie a laserového skenování

Následně byla otestována hypotéza o shodnosti dvou výběrových směrodatných odchylek pomocí Fisherova rozdělení ze vzorců dle [27]:

$$F = \frac{m_1^2}{m_2^2}$$

kde

$$m_1 = \sqrt{\frac{[vv]_1}{n_1 - 1}},$$

$$m_2 = \sqrt{\frac{[vv]_2}{n_2 - 1}}$$

$m_1, m_2 \dots$ výběrové rozptyly

$n_1, n_2 \dots$ rozsah základních výběrů

První výběr obsahuje odchylky na vřícovacích bodech z měření pomocí fotogrammetrické metody vůči souřadnicím získaným pomocí totální stanice. Druhý výběr je složen z odchylek, které byly získány porovnáním souřadnic získaných totální stanicí a laserovým skenováním.

$$m_1 = 0,000292309$$

$$m_2 = 0,001708983$$

Z tabulek F-rozdělení byla nalezena hodnota $F_{\alpha/2}$ pro $up^4 = 2,5$ dle [24]:

$$F_{\alpha/2} = 0,22814768$$

$$F = 0,0292556$$

$F \dots$ testovací kritérium

$F_{\alpha/2} \dots$ kritická hodnota

když $F < F_{\alpha/2}$, nezamítáme hypotézu H_0

$$H_0 : \sigma_1 = \sigma_2$$

Hypotéza H_0 znamená, že směrodatné odchylky obou výběrů jsou si rovny. Proto můžeme říci, že přesnost fotogrammetrie je dostačující a z důvodu jednoduššího měření byla v 1. etapě použita už jen tato metoda.

⁴99% pravděpodobnost, že náhodná chyba nepřekročí mezní odchylku

1. etapa

6.1 Měření

Dne 28.4.2022 byla zaměřena 1. etapa. Na místě měření bylo zkontrolováno, zda všech 21 křížků zůstalo viditelných. Pro lepší přehled byly znovu obtaženy lihovým fixem. Stejně tak byla opět odstraněna vegetace přerůstající přes zeď.

Totální stanicí Leica TS12 bylo ze dvou volných stanovisek znovu zaměřeno všech 21 vlíčovacích bodů ve dvou polohách v jedné měřické skupině. Opět bylo nafotografováno dostatečné množství fotografií fotoaparátem Canon EOS 450D tak, aby byly jasně vidět všechny vlíčovací body.

6.2 Zpracování

Zpracování měření z totální stanice proběhlo znovu v programu GROMA [1]. Byla použita funkce pro výpočet volného stanoviska ze známých souřadnic sítě v místním systému definovaném v nulté etapě a následně byla použita polární metoda pro výpočet podrobných bodů. Souřadnice vlíčovacích bodů v místním systému se nachází v příloze [A].

Do programu Agisoft Metashape Professional bylo naimportováno 169 fotografií. Pro zpracování byl použit stejný postup jako v kapitole 5.2.2. Nejvyšší hodnota error byla zaznamenána na bodě 210 a to 8 mm. Průměrná hodnota error (obr. 6.1) na vlíčovacích bodech je 5 mm a na kontrolních bodech je také 5 mm. Kontrolní body nejsou zaškrtnuté a vlíčovací body jsou zaškrtnuté.

V programu Cloud Compare byla stejným postupem z kapitoly 5.2.5 porovnána mračna bodů z 0. etapy a 1. etapy.

6. 1. ETAPA

Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
<input checked="" type="checkbox"/> 212	-1014.284000	-5000.216000	99.388000	0.005000	0.007387	13	0.243
<input checked="" type="checkbox"/> 220	-999.968000	-4999.878000	100.924000	0.005000	0.007199	20	0.225
<input checked="" type="checkbox"/> 214	-1009.442000	-5000.007000	100.430000	0.005000	0.006894	15	0.206
<input type="checkbox"/> 203	-1029.082000	-4999.808000	101.311000	0.005000	0.006653	19	0.238
<input checked="" type="checkbox"/> 210	-1014.240000	-5000.167000	101.728000	0.005000	0.006536	14	0.243
<input checked="" type="checkbox"/> 213	-1009.474000	-5000.029000	99.441000	0.005000	0.006449	12	0.265
<input type="checkbox"/> 215	-1009.532000	-4999.935000	101.752000	0.005000	0.006349	12	0.342
<input type="checkbox"/> 219	-1000.000000	-5000.000000	99.607000	0.005000	0.006290	13	0.350
<input checked="" type="checkbox"/> 221	-999.957000	-4999.785000	101.856000	0.005000	0.006133	15	0.286
<input type="checkbox"/> 217	-1004.911000	-4999.770000	100.703000	0.005000	0.005980	13	0.242
<input type="checkbox"/> 211	-1014.255000	-5000.211000	100.804000	0.005000	0.005970	19	0.282
<input checked="" type="checkbox"/> 202	-1029.016000	-4999.828000	100.600000	0.005000	0.005151	22	0.178
<input checked="" type="checkbox"/> 216	-1004.831000	-4999.659000	101.992000	0.005000	0.005064	11	0.174
<input checked="" type="checkbox"/> 201	-1029.029000	-5000.000000	98.934000	0.005000	0.005022	15	0.242
<input checked="" type="checkbox"/> 208	-1019.007000	-5000.294000	101.076000	0.005000	0.004445	18	0.200
<input type="checkbox"/> 207	-1019.115000	-5000.370000	99.261000	0.005000	0.004130	15	0.265
<input checked="" type="checkbox"/> 209	-1018.907000	-5000.275000	101.650000	0.005000	0.003559	16	0.249
<input checked="" type="checkbox"/> 218	-1004.665000	-4999.815000	99.504000	0.005000	0.003429	9	0.251
<input checked="" type="checkbox"/> 204	-1024.482000	-5000.484000	101.669000	0.005000	0.001725	19	0.235
<input checked="" type="checkbox"/> 206	-1024.531000	-5000.567000	99.129000	0.005000	0.001675	16	0.242
<input type="checkbox"/> 205	-1024.543000	-5000.544000	100.548000	0.005000	0.001381	23	0.213
Total Error							
Control points					0.005367		0.231
Check points					0.005536		0.272

Obrázek 6.1: Velikost chyb na kontrolních a vlčovací bodech

6.3 Výsledky

Po porovnání obou etap bylo nalezeno několik děr dosahujících hloubky cca 50 mm, nejčastěji se jedná o uvolněnou cementovou výplň viz obr. 6.2 a 6.3.



Obrázek 6.2: Uvolněná cementová výplň

V některých částech, jak je vidět na obrázku 6.4, došlo k uvolnění několika kamenů. V tabulkách 6.1, 6.2 a 6.3 jsou vypsány souřadnice přibližně stejného bodu na souřadnici Y a Z v obou etapách a jsou zde vidět rozdíly v ose X.

Tabulka 6.1: Rozdíly souřadnic z obrázku 6.2

	0. etapa	1. etapa	δX
Y	1005,704 m	1005,707 m	
X	4999,859 m	4999,811 m	48 mm
Z	99,366 m	99,364 m	



Obrázek 6.3: Uvolněná cementová výplň 2

Tabulka 6.2: Rozdíly souřadnic z obrázku 6.3

	0. etapa	1. etapa	δX
Y	1018,619 m	1018,614 m	
X	5000,355 m	5000,324 m	31 mm
Z	99,540 m	99,539 m	



Obrázek 6.4: Uvolněné kameny

Tabulka 6.3: Rozdíly souřadnic z obrázku 6.4

	0. etapa	1. etapa	δX
Y	1020, 506 m	1020, 507 m	
X	5000, 251 m	5000, 339 m	88 mm
Z	102, 778 m	102, 767 m	

Celkové vizuální porovnání obou etap se nachází v příloze [A]. Nejčastěji jsou vidět drobné výkusy o hloubce cca 10 mm. Z porovnání mezní odchylky posunu dle normy z kapitoly 1.2.2 je zřejmé, že k celkovému posunu zdi nedošlo, protože mezní odchylka pro písčité podloží je stanovena na hodnotu 2 mm a k tomu z výsledků měření nedošlo. Hodnoty přesahující tuto odchylku byly dosaženy pouze na místech odlomů nebo uvolnění kamenů. Jedná se tedy pouze o strukturální změny a ne posuny.

Závěr

Cílem této práce bylo monitorovat opěrnou zeď v Mladé Boleslavi v ulici Vinická a porovnat metody měření - laserové skenování a fotogrammetrii.

Byly změřeny dvě etapy v rozpětí dvou měsíců. Před měřením etap byla vybudována síť v okolí měření. V nulté etapě bylo zaměřeno 21 vlíčovacích bodů, nafoceno 189 fotografií a zeď byla naskenována laserovým skenerem. Měření bylo zpracováno a vyhodnocena přesnost laserového skenování a fotogrammetrie. Z testování o shodnosti dvou výběrových směrodatných odchylek se dospělo k závěru, že fotogrammetrie na krátkou vzdálenost má přesnost srovnatelnou s laserovým skenováním. První etapa byla tedy měřena jen pomocí fotogrammetrie.

Po porovnání etap v programu Cloud Compare byly zjištěny strukturální změny v podobě opadávání cementové výplně pískovcových bloků. Ve vrchní části zdi bylo zjištěno uvolnění několika kamenů. Posun zdi nebyl prokázán.

V tištěných přílohách jsou obsaženy všechny protokoly a porovnání metod a etap z programu Cloud Compare. Obsahem elektronických příloh jsou jak protokoly, porovnání, tak i projekty se zpracováním dat z ostatních programů a zdrojové soubory této práce z programu L^AT_EX [6]. Práce se všemi přílohami je přiložena v elektronické formě na CD na zadní straně desek.

Literatura

- [1] Geoline, spol. s.r.o.: *Groma - geodetický software v prostředí MS Windows*. [software]. [přístup 1. května 2022]. Dostupné z: <https://www.groma.cz/cz/groma>
- [2] Ing. Pavel Třasák, Ph.D.: *EasyNET*. [software]. [přístup 16. února 2022]. Dostupné z: <http://adjustsolutions.cz/easynet/>
- [3] Agisoft: *Agisoft Metashape Professional*. [software]. [přístup 8. dubna 2022]. Dostupné z: <https://www.agisoft.com/>
- [4] GNU GPL: *Cloud Compare*. [software]. [přístup 10. dubna 2022]. Dostupné z: <https://www.cloudcompare.org/main.html>
- [5] Leica Geosystems: *Cyclone 3DR*. [software]. [přístup 16. března 2022]. Dostupné z: <http://cyclone3dr.com/downloads.php/>
- [6] TeX Users Group: *LaTeX*. [software]. [přístup 24. února 2022]. Dostupné z: <http://www.latex-project.org/ftp.html>
- [7] Urban, R.: *Geodetické práce při měření posunů a deformací stavebních objektů*. nakladatelství ČVUT, 2015, ISBN 978-80-01-05786-5.
- [8] Pavelka, K.: *Fotogrammetrie 10*. nakladatelství ČVUT, 2004, ISBN 80-01-02649-3.
- [9] geologie.vsb: Geotechnický monitoring. [online], 2022, [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/svafef/text/6_monitoring.htm
- [10] Geoprema: Leica TS12 P 7" R400 Robotic Total Station. [online], 2020, [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: https://geoprema.com/products/used-equipment/used_total_stations/leica-ts12-p-7-r400-robotic-total-station/

- [11] Global GPS Systems: Carlson BRX7 Rover set. [online], 2022, [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://globalgpsystems.com/carlson-brx7-rover-set/#configuration>
- [12] Leica Geosystems AG: Leica ScanStation P40 / P30 - High-Definition 3D Laser Scanning Solution. [online], 2022, [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-scanstation-p40--p30>
- [13] Trimble: Trimble S9 HP. [online], 2022, [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-s9-hp>
- [14] GEFOS a.s.: 793350 - 6"černobílý skenovací terč v otočné vidlici. [online], 2011-2022, [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: https://www.gefos-leica.cz/e-shop/3d-skenovani/prislusenstvi-pro-3d-skenovani/6-cernobily-skenovaci-terc-v-otocne-vidlici___793350
- [15] Leica Geosystems: Leica TS12 Robotic User Manual. [online], [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://smithsurveyingequipment.co.uk/wp/wp-content/uploads/2017/09/LEICA-VIVA-TS12-ROBOTIC-TOTAL-STATION-USER-MANUAL.pdf>
- [16] Carlson: BRx7 GNSS Receiver. [online], [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://drive.google.com/file/d/1oZ8XvKjIzzySfcW4JtOSwn6iPm7M9mEM/view>
- [17] Leica Geosystems: Leica ScanStation P40/P30. [online], [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: https://kb.sccssurvey.co.uk/wpfd_file/leica-scanstation-p40-p30-user-manual/
- [18] MEGAPIXEL s.r.o.: Canon EOS 450D + EF-S 18-55 mm IS. [online], [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/canon-eos-450d-ef-s-18-55-mm#section-parameters>
- [19] Canon: EF Lenses STANDARD & MEDIUM TELEPHOTO Lens EF40mm f/2.8 STM. [online], [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://global.canon/en/c-museum/product/ef419.html>
- [20] Leica Geosystems: Leica Flexline TS09plus. [online], [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://totalstations.co/data%20sheet/Leica-TS09-Edited-1.pdf>
- [21] Braun, J.: Automatický monitoring [přednáška]. Technická zpráva, Fakulta stavební, ČVUT, Praha, [2021/2022].
- [22] Křemen, T.: Laserové skenování 1.přednáška [přednáška]. Technická zpráva, Fakulta stavební, ČVUT, Praha, [2021/2022].

-
- [23] Štroner, M.: Globální navigační satelitní systémy (GNSS). [online], [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: https://k154.fsv.cvut.cz/wp-content/uploads/2022/01/GNSS_obs.pdf
- [24] ČSN 73 0405 - Měření posunů stavebních objektů. Standard, Český normalizační institut, Praha, CZ, 1997.
- [25] Pokračujeme v přípravě stavby I/16 Mladá Boleslav-Martinovice. [online], Naposledy navštíveno 16.04.2022. Dostupné z: <https://kraje.rsd.cz/stredocesky/blog/2021/05/25/pokracujeme-v-priprave-stavby-i-16-mlada-boleslav-martinovice/>
- [26] prof. Ing. Martin Štroner, Ph.D.: *Projekt PrecisPlanner 3D*. [software]. [přístup 8. prosince 2021]. Dostupné z: <https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/PPlanner/>
- [27] Línková, L.: Statistické metody při zpracování výsledků měření [přednáška]. Technická zpráva, Fakulta stavební, ČVUT, Praha, [2021/2022].

Tištěné přílohy

1. Pplaner vstup
2. Pplaner měření
3. Pplaner protokol
4. Měření sítě
5. Protokol o vyrovnání souřadnic sítě
6. Protokol o transformaci souřadnic do místního systému
7. Souřadnice etapa 0
8. Protokol Agisoft Metashape Professional 0. etapa
9. Protokol o registraci - laserové skenování
10. Porovnání metod
11. Souřadnice etapa 1
12. Protokol Agisoft Metashape Professional 1. etapa
13. Porovnání etap

Elektronické přílohy

text_práce.....	elektronická verze diplomové práce
_ src.....	zdrojová forma práce ve formátu L ^A T _E X
_ Zadání_diplomové_práce_Kateřina_Zimmerhaklová.pdf.....	zadání práce ve formátu PDF
_ Geodetický_monitoring_opěrné_zdi.pdf	text práce ve formátu PDF
budování_sítě.....	přílohy z kapitoly o budování sítě
_ mereni_site.asc.....	měření bodů sítě
_ pplaner_mereni.txt.....	vstup měření do programu Pplaner
_ pplaner_protokol.txt.....	protokol z programu Pplaner
_ pplaner_vstup.txt.....	vstup souřadnic do programu Pplaner
_ protokol_o_vyrovnani.txt.....	protokol o vyrovnání souřadnic sítě
0_etapa.....	přílohy z kapitoly 0. etapa
_ ftg_mracno.e57.....	mračno bodů z fotogrammetrie
_ model_etapa0.pdf.....	model zdi z fotogrammetrie
_ porovnani_metod.e57.....	porovnání metod
_ porovnani_metod.PNG.....	porovnání metod
_ protokol_o_registraci.txt	protokol o registraci - laserové skenování
_ protokol_Agisoft_0.etapa.pdf.....	protokol z programu Agisoft Metashape Professional 0. etapa
_ protokol_o_transf._souradnic_do_mistniho_sys.pro....	protokol o transformaci souřadnic do místního systému
_ sken_mracno.e57.....	mračno bodů z laserového skenování
_ souradnice_v_mistnim_etapa0.txt.....	souřadnice bodů z 0. etapy
_ zed_etapa0.psx..	projekt z programu Agisoft Metashape Professional
1_etapa.....	přílohy z kapitoly 1. etapa
_ etapa_1.e57.....	mračno bodů z fotogrammetrie
_ etapa_1.psx.....	projekt z programu Agisoft Metashape Professional
_ model_etapa1.pdf.....	model zdi z fotogrammetrie
_ porovnani_etap.e57.....	porovnání etap
_ porovnani_etap.PNG.....	porovnání etap

B. ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY

	protokol_Agisoft_1.etapa.pdf protokol z programu Agisoft
	Metashape Professional 1.etapa
	souradnice_v_mistnim_etapa1.txt souřadnice bodů z 1. etapy