

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

PRAHA 2016

Bc. Pavel KAVÁLEK

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Připojovací měření v Podzemní laboratoři Josef

Vedoucí práce: Ing. Tomáš JIŘIKOVSKÝ, Ph.D.
Katedra speciální geodézie

květen 2016

Bc. Pavel KAVÁLEK



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Kaválek</u>	Jméno: <u>Pavel</u>	Osobní číslo: <u>370262</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra speciální geodézie</u>		
Studijní program: <u>Geodézie a kartografie</u>		
Studijní obor: <u>Geodézie a kartografie</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Připojovací měření v Podzemní laboratoři Josef</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Connection measurement in Josef Underground Laboratory</u>	
Pokyny pro vypracování: Návrh a příprava experimentu promítání bodu různými metodami (důlní olovnice, optický provažovač, laserový provažovač). Provedení vlastních měření ve štole Josef. Analýza výsledků a přesností. Zhodnocení, závěry, doporučení.	
Seznam doporučené literatury: Hánek, P. - Novák, Z.: Geodézie v podzemních prostorách Fencl, M.: Možnosti připojení a usměrnění základního důlního bodového pole v Podzemní laboratoři Josef. (Dipl. pr.) Hampacher, M. - Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 2011	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Tomáš Jiříkovský, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>24. 2. 2016</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>22. 5. 2016</u>
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“.

<u>24. 2. 2016</u>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá polohovým propojením tří horizontů v Podzemní laboratoři Josef – oblast Čelina východ. Propojení bylo uskutečněno pomocí metody provažování, které bylo provedeno důlní olovnicí, laserovým provažovačem, optickým provažovačem a totální stanicí. Dále byly pro jednotlivé metody provedeny analýzy přesnosti a statistické testy.

KLÍČOVÁ SLOVA

štola Josef, provažování (promítání), důlní olovnice, laserový provažovač Foif JC100, optický provažovač Zeiss PZL 100, totální stanice Leica TS06, ČSN ISO 17123-7

ABSTRACT

This diploma thesis deals with a positional connection of three horizons in the underground laboratory Josef, which is located in the eastern part of Čelina. The connection was realized with the aid of plumbing using a mining plummet, laser plummet, optical plummet and total station. Furthermore, accuracy analyses and statistical tests were carried out for the individual methods.

KEY WORDS

Josef Gallery, plumbing, mining plummet, Foif JC100 laser plummet, Zeiss PZL 100 optical plummet, Leica TS06 total station, ISO 17123-7

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Všechny informační zdroje, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

Pavel Kaválek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Tomášovi Jiřikovskému, Ph.D. za vedení práce a odborné rady při zpracovávání. V další řadě pak kolegům, kteří mi pomáhali při měření.

Obsah

Úvod.....	10
1 Podzemní laboratoř Josef	11
1.1 Obecné informace	11
1.2 Historie.....	12
1.3 Současnost	13
2 Promítání	16
2.1 Promítání bodů olovnicí.....	17
2.1.1 Wilského promítání.....	21
2.2 Optické promítání	22
2.2.1 Promítací přístroje s dalekohledem.....	23
2.2.2 Promítací laserové přístroje.....	25
3 Použité přístrojové vybavení	26
3.1 Optický provažovač Zeiss PZL 100	26
3.2 Laserový provažovač Foif JC100	27
3.3 Totální stanice Leica TS06.....	28
3.4 Totální stanice Trimble S6 HP (High Precision).....	29
4 Česká státní norma ISO 17123-7.....	30
4.1 Požadavky	30
4.2 Princip testování	31
5 Měření.....	32
5.1 Důlní olovnice	32
5.2 Příprava terče a stanoviska v horizontu 40	35
5.3 Laserový provažovač Foif JC100	37
5.4 Optický provažovač Zeiss PZL 100	38
5.5 Totální stanice Leica TS06.....	39
5.6 Zaměření prováženého bodu.....	39
5.7 Měření v horizontu 20	41
5.8 Měření totální stanicí Leica TS06, zpracování a výpočet přesnosti měření	42
6 Postup výpočtů	43
6.1 Postup analýzy přesnosti	43

6.2	Postup statistických testů	47
6.2.1	Statistická otázka č. 1	48
6.2.2	Statistická otázka č. 2	49
6.2.3	Statistická otázka č. 3	49
7	Výsledky analýzy přesnosti a statistických testů	51
7.1	Výledky pro Zeiss PZL 100	51
7.1.1	Analýza přesnosti	51
7.1.2	Statistické testy	55
7.2	Výsledky pro Foif JC100 – horizont 40	57
7.2.1	Analýza přesnosti	57
7.2.2	Statistické testy	61
7.3	Výsledky pro Leica TS06	63
7.3.1	Přesnost provázení totální stanicí Leica TS06	63
7.3.2	Analýza přesnosti	65
7.3.3	Statistické testy	66
7.4	Celkové zhodnocení provázení v horizontu 40	68
7.5	Výsledky pro Foif JC100 – horizont 20	70
7.5.1	Analýza přesnosti	70
7.5.2	Statistické testy	71
7.6	Analýza kyvů důlní olovnice	73
8	Pozorování změn absolutních souřadnic provažovaných bodů	75
8.1	Rozdělení laseru na jednotlivé body	75
8.2	Rozdělení laseru na jednotlivé body s uvážením přesnosti provažování	77
8.3	Rozdělení olovnice na jednotlivé body	78
8.4	Rozdělení olovnice na jednotlivé body s uvážením přesnosti provažování	79
	Závěr	81
	Použitá literatura a zdroje	82
	Seznam obrázků	84
	Seznam tabulek	86
	Seznam příloh	88

Úvod

Cílem této práce bylo polohově propojit tři horizonty v nově zpřístupněné oblasti Čelina – východ, která se nachází v Podzemní laboratoři Josef. Propojení tří horizontů dopomohlo k výpočtu polohové složky souřadnic nově vybudovaného bodového pole v této oblasti. Určením polohové složky se ve své diplomové práci [3] zabýval kolega Bc. Lukáš Vais. Samotné propojení horizontů bylo realizováno metodou provázení bodů. Provázení bylo provedeno více způsoby, a to hlavně pomocí důlní olovnice a laserového provažovače. Pro porovnání bylo zvoleno provázení s využitím optického provažovače a totální stanice. Druhým cílem práce bylo otestovat přesnost jednotlivých způsobů provázení.

V první kapitole jsou uvedeny základní informace o Podzemní laboratoři Josef neboli štole Josef. Tyto informace se týkají polohy, technických parametrů, historie a současnosti štole.

Druhá kapitola se zabývá teoretickým základem provažování (v důlně měřické praxi označováno jako promítání), popisuje způsoby provažování důlní olovnicí, optickým a laserovým provažovačem.

Ve třetí kapitole jsou představeny přístroje použité v této práci jak pro provažování, tak pro zaměření provážených bodů.

Čtvrtá kapitola se věnuje normě ČSN ISO 17123-7, ze které byly převzaty postupy pro měření a testování optického a laserového provažovače.

V páté kapitole jsou shrnuty veškeré postupy týkající se instalace důlní olovnice, přípravy stanoviska pro provázení laserovým a optickým provažovačem, samotného provázení jednotlivými způsoby a konečně zaměření provážených bodů.

V šesté kapitole je uveden výpočetní postup analýzy přesnosti provázení a statistických testů, který byl převzat z ČSN ISO 17123-7.

Sedmá kapitola pak uvádí výsledky analýz přesnosti a statistických testů pro jednotlivé způsoby provázení a následně celkové porovnání těchto způsobů.

V poslední osmé kapitole jsou pozorovány změny absolutních souřadnic provážených bodů v závislosti na různé konfiguraci vstupního souboru vyrovnání.

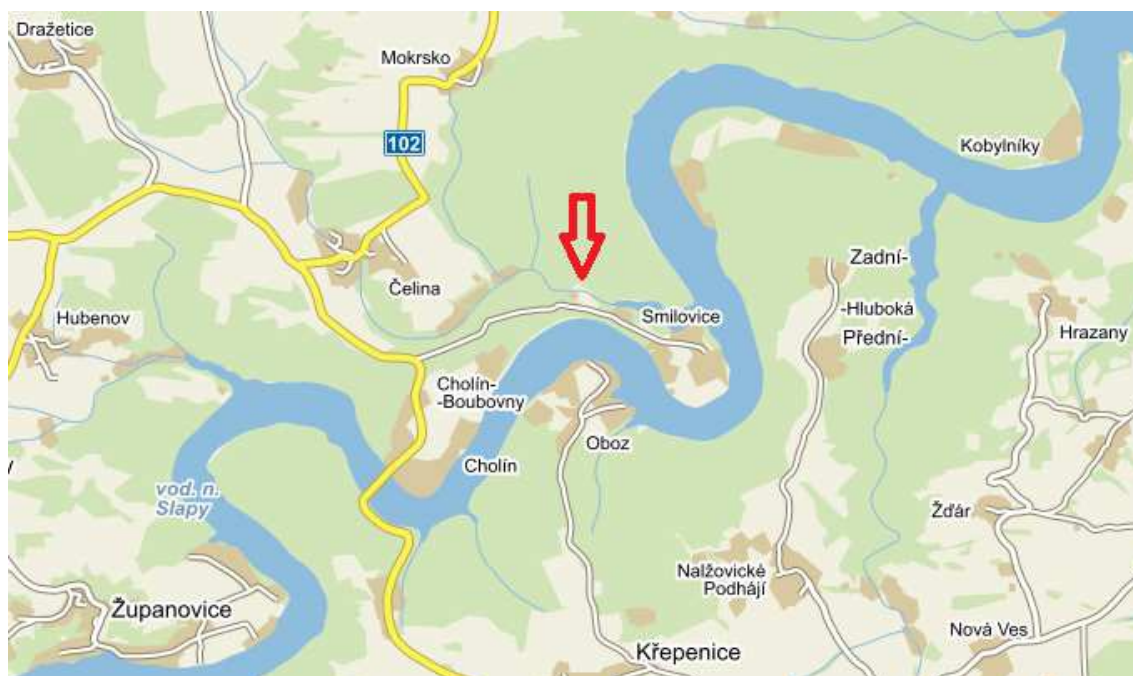
1 Podzemní laboratoř Josef

1.1 Obecné informace

Podzemní laboratoř Josef, neboli štola Josef, se nachází ve středočeském kraji u přehrady Slapy přibližně 50 km jižně od Prahy, je položena mezi obcemi Čelina a Mokrsko a je součástí zlatorudního revíru Psí hory. V rámci geologického průzkumu ložisek zlata byla štola vyražena v letech 1981 – 1991.

Horninové prostředí tvoří slabě metamorfované a vulkanosedimentární horniny, jako jsou bazalty, andezity, ryolity, tufy a tufity. Tyto horniny jsou pronikány mladšími intruzivními horninami (granodiority, albitické žuly).

Páteřní chodba, která prochází SSZ směrem napříč horninovým masivem Veselého vrchu, je dlouhá 1835 m a její profil je 14 – 16 m². Další liniová průzkumná díla navazující na páteřní chodbu mají celkovou délku 6018 m a profil 9 m². Převážná většina výlomů (kolem 90%) není vystrojena. Výška nadloží je 90 – 150 m. Konec páteřní štoly je s povrchem terénu propojen 136,8 m hlubokým nevystrojeným větracím komínem. Obsah kapitoly vychází z [7].



Obr. 1.1: Pozice Podzemní laboratoře Josef na mapě [13]

1.2 Historie

První velký rozkvět těžby zlata byl zaznamenán za dob Keltů, zejména ve 2. a 1. století př. n. l. Keltové získávali zlato převážně z rozsypů a rýžovišť, jejichž existence byla prokázána i na Čelinském potoce a v náplavech Vltavy u Smilovic. I vzhledem k blízkosti oppida Hrazany je pravděpodobné, že keltové těžili zlato i na Psích horách.

Po Keltech přinesl hlavní rozvoj těžby zlata až středověk. Těžba dosáhla největšího rozmachu v historii ve 14. století. V té době bylo zlato dobýváno z křemenných žil pomocí štol a úklonných šachtic. Průměrná hloubka podzemního díla byla 20 m, největší dosažená hloubka byla 60 m.

Pro dobývání bylo používáno velice jednoduché vybavení. Svítilo se hliněnými kahánky naplněnými lojem. Ruda se těžila železnými kladívky, tzv. želízky, a čtverhrannými palicemi, tzv. mlátky. Odhaduje se, že horník za jednu směnu spotřeboval více než 20 želízek.

Vytěžená ruda se poté drtila a mlela v rudných mlýnech a zlato se z ní oddělovalo amalgamací [17].

Kvůli rostoucím provozním nákladům, vyčerpání přístupnějších partií zlatonosných křemenných žil, technickým problémům při dolování ve větších hloubkách, a také kvůli bouřlivé politické situaci bylo na přelomu 14. a 15. století dolování na několik desetiletí zastaveno.

K obnově dolů došlo na přelomu 15. a 16. století. Druhá etapa dobývání však trvala krátce a nebyla zdaleka tak významná. Po polovině 16. století těžba na Psích horách nejspíš ustala. Ve středověku byly v celé novoknínské oblasti vytěženy asi 4 tuny zlata (pro srovnání – na území celého Českého masivu se v průběhu dějin získalo odhadem okolo 100 t zlata).

Psí hory zůstaly, narozdíl od jiných revírů v okolí Nového Knína, stranou veškerých hornických činností téměř až do konce 20. století. V letech 1977 – 1980 zde proběhl rozsáhlý regionální revizní průzkum hornin Jílovského pásma, který odhalil možnou přítomnost významného zlatonosného zrudnění. Podrobný průzkum oblasti Psí hory proběhl v letech 1980 – 1990. Tento průzkum zahrnoval geologické mapování, geofyzikální průzkum, podrobný geochemický průzkum půdního pokryvu, průzkum pomocí vrtů z povrchu až do hloubky 300 – 600 m a báňský průzkum z nově ražené

štoly Josef, který byl kombinovaný s podzemními vrty. Výsledkem průzkumu bylo zhodnocení zásob zlata na dosud známých ložiscích Čelina a Mokrsko – východ, především však bylo objeveno nové ložisko v oblasti Mokrsko – západ, kde byly využitelné zásoby zlata odhadnuty na 75 t. Ložisko se tak řadí mezi nejbohatší ložiska v Evropě. Celkové množství zlata všech ložisek bylo odhadnuto na 130 t, což je více, než se vytěžilo na území České republiky během celé historie těžby zlata.

Kvůli předpokládanému negativnímu vlivu případné těžby na životní prostředí nebylo k průmyslovému využití revíru nikdy přistoupeno. Zlato by se totiž muselo dobývat povrchovým způsobem, což by nevratně poškodilo okolní krajinu. Pro jeho separaci by navíc bylo nutné použít ekologicky riskantní metodu kyanidového loužení.

V polovině 90. let projevil o lokalitu zájem zahraniční těžební společnosti, ale díky protestům místních obyvatel a ekologických organizací ke komerční těžbě nedošlo. Od této doby štola a její okolí postupně chátraly. V roce 2000 bylo z bezpečnostních důvodů přistoupeno k zabetonování obou přístupových portálů. Obsah kapitoly vychází z [7].

1.3 Současnost

Na půdě ČVUT vznikla v roce 2003 vize využívání podzemního díla Josef k vytvoření unikátního podzemního pracoviště pro praktickou výuku a experimentální činnost. V květnu 2005 byla podepsána smlouva mezi Ministerstvem životního prostředí (vlastníkem průzkumného díla) a Fakultou stavební ČVUT o zapůjčení štoly pro vzdělávací a výzkumné účely.



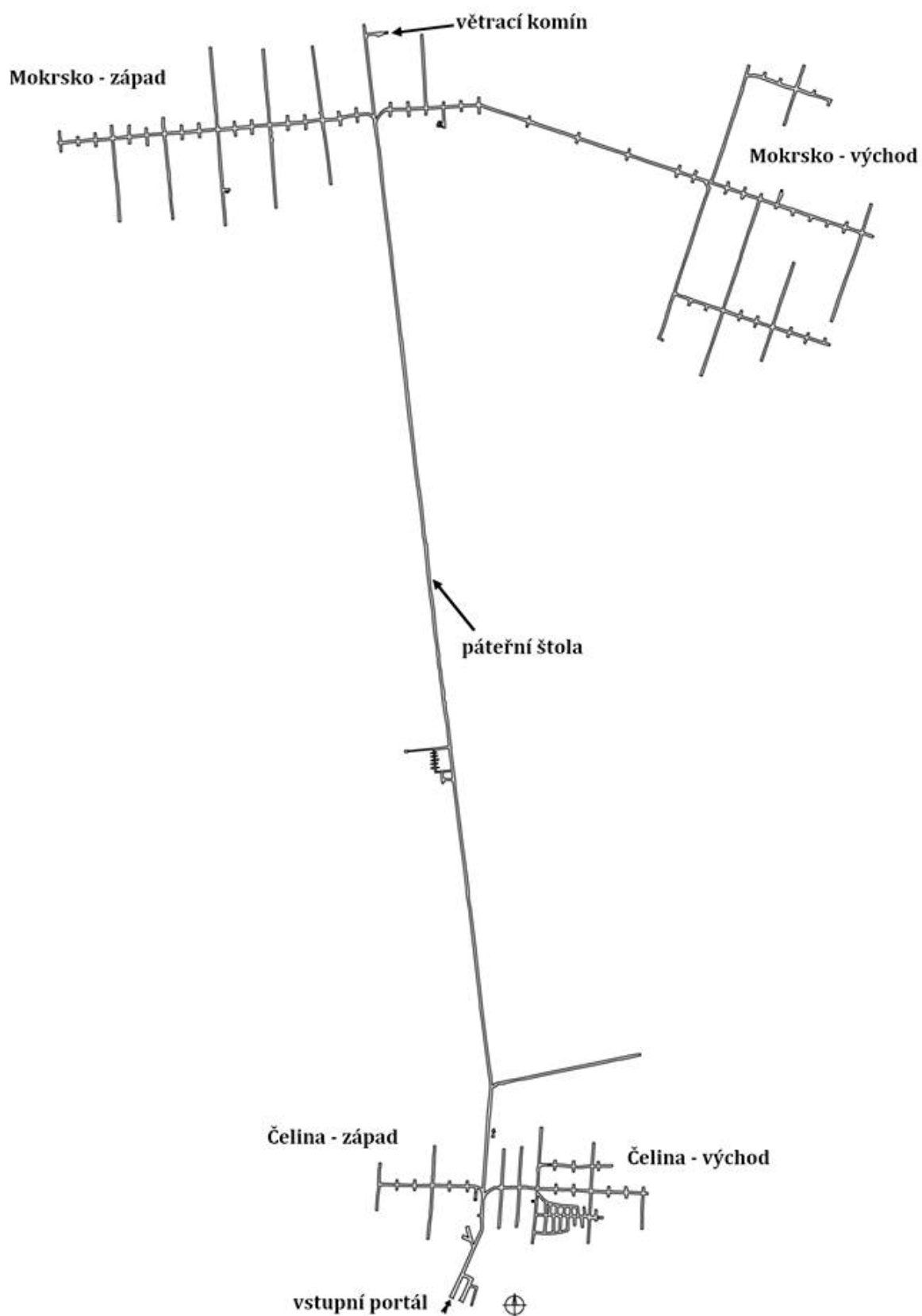
Obr. 1.3a: Portály štoly Josef [zdroj vlastní]

Ke znovuzpřístupnění štoly došlo proražením betonových zátek portálů v srpnu roku 2006. Proběhla kontrola Báňskou záchrannou službou a započala se rekonstrukce podzemních prostor a výstavba povrchového zázemí. Podzemní laboratoř Josef je v provozu od června 2007.

Provozovatelem, kterým je Centrum experimentální geotechniky (CEG) Fakulty stavební ČVUT, byly v srpnu 2010 zprovozněny další podzemní prostory v oblasti Mokrsko - západ. K převozu osob i materiálu a k pěšímu přístupu do této téměř 2 km vzdálené oblasti slouží vyštěrkovaná a zhutněná počva páteřní chodby.

V červnu 2014 byla zpřístupněna “podzemní katedrála” (kaverna) v oblasti Čelina - východ. Tato “katedrála” je pozůstatkem experimentální těžby z roku 1991.

Souběžně s výukou je v laboratoři realizován výzkum související zejména s problematikou ukládání radioaktivních odpadů. Obsah kapitoly vychází z [7].



Obr. 1.3b: Schéma štoly Josef [7]

2 Promítání

Aby bylo možné určovat polohu bodů důlního bodového pole v totožné souřadnicové soustavě jako na povrchu, je nutné provést jednu ze specifických důlních měřických úloh. Tato úloha tedy řeší přenesení polohy bodu a směru z povrchu (nebo horizontu dolu) do dolu (jiného horizontu dolu) a nazývá se připojovací a usměrňovací měření. Toto měření je důležité nejen pro vlastní hornicko-technická řešení, ale i pro řešení bezpečnostních a ekologických otázek, jelikož dobývací práce mívají vliv na povrchové objekty, které je třeba chránit. V neposlední řadě jde také o stanovení polohy vůči sousedním dolům z hlediska bezpečnosti práce, účelového využití a vydobytí ložiska.

Připojovací a usměrňovací měření lze provést různým postupem v závislosti na způsobu a počtu přístupů do dolu:

- jednou vodorovnou nebo úklonnou štolou polygonovým pořadem,
- dvěma nebo více šachtami,
- jednou svislou šachtou:
 - promítáním dvou bodů,
 - promítáním jednoho bodu a přenesením směrníku gyroteodolitem, nebo magneticky.

V podzemní laboratoři Josef je využívána kombinace polygonových pořadů štolou a promítání bodů šachtami a komíny (šibíky).

Problematice promítání, kterým se přenáší poloha bodu z povrchu do podzemí, jsou věnovány následující odstavce.

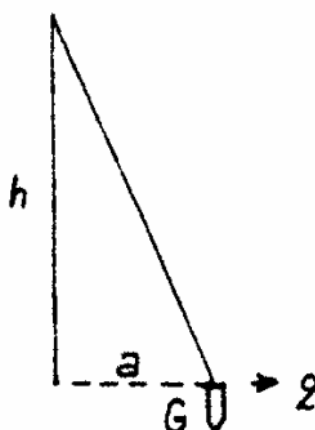
Využíváme dva způsoby promítání:

- promítání mechanicky jednoduchou nebo složenou olovníci,
- promítání optické:
 - svislou záměrnou přímkou vytyčenou dalekohledem,
 - laserem.

Obsah kapitoly vychází z [4], [5].

2.1 Promítání bodů olovnice

Olovnice tvoří závaží o hmotnosti od desítek do stovek kilogramů. Závaží je zavěšeno na ocelovém drátu odpovídající pevnosti a průměru, drát je navinut na vrátku či navijáku (ručním, elektrickém, pneumatickém). Závaží do 50 kg je většinou vcelku, těžší závaží se skládá z desek o průměru asi 20 cm a hmotnosti 1 až 20 kg. Tyto desky se vkládají do specifického rámu, který je pokrytý plechovým pláštěm. Plášť zajišťuje stejný odpor větrního proudu pro různě těžká, tudíž i různě vysoká, závaží.



Obr. 2.1a: Vliv boční síly na vychýlení olovnice [5]

Obr. 2.1a znázorňuje vychýlení (a) olovnice o hmotnosti G , která je zavěšena v hloubce h , pokud na ni působí boční síla q . Pro bod závěsu pak z momentové věty platí vzorec (1).

$$a = \frac{hq}{G} \quad (1)$$

Kromě pouzdra lze vliv boční síly omezit ponořením olovnice do kapaliny (voda, olej), čehož bylo, z důvodu absence pouzdra, při měření v rámci této práce využito.

Před promítáním se budují ochranné a pracovní povaly, a to nad jámou i na připojovacím patře. Poté se mírně zatížený závěs spouští přes kladku do příslušného horizontu. Zátěž se přidává proto, aby při utržení nedošlo k poškození zařízení v jámě. Závěs také prochází opěrným zářezem, a protože pod ním nebývá průběh lineární, je třeba cílit na závěs 1-3 m pod jeho úrovní. Po dosažení příslušného horizontu se zátěž nahradí tělesem olovnice. Spuštěním kovových kroužků, nebo podle doby kyvu

olovnice, se kontroluje, zdali drát někde nedoléhá. Doba jednoduchého kyvu t se vypočte z přibližného vzorce (2) pro matematické kyvadlo o délce l .

$$t = \sqrt{l} \quad (2)$$

Pokud se doba kyvu rychle zkracuje, drát olovnice někde doléhá na výztuž jámy.

Polohu průmětu závěsného bodu lze zjistit dvěma postupy:

- postup s volnou olovnicí,
- postup s upevněným závěsem olovnice.

Postup s volnou olovnicí není moc přesný a je vhodný jen pro měření v menších hloubkách (do 20 až 30 metrů – výjimečně více), a malé rozsahy měřických prací v okolí jámy.

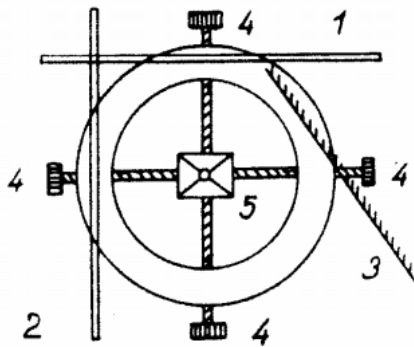
Postup s upevněným závěsem olovnice zvyšuje přesnost, snadnost a pohodlnost měření úhlů a délek. Průmět závěsného bodu se určuje jako střed nucených kyvů. Kyvy se pozorují teodolitem ve dvou směrech na stupnicích, přičemž stupnice jsou na sebe kolmé. Na jedné stupnici se průměty kyvů pozorují přímo, na druhé v pomocném zrcátku. Kyvy se v každém směru pozorují ve 2 až 3 řadách po 15 čteních (8 levých a 7 pravých). Výpočet středu kyvů se dá provést několika metodami. Nejjednodušší a dostatečně přesná metoda je tato:

- 1) výpočet aritmetického průměru pro levé čtení – L,
- 2) výpočet aritmetického průměru pro pravé čtení – P,
- 3) z hodnot výše se vypočte aritmetický průměr jako střed kyvů – S.

Výpočet se opakuje pro všechny řady a poté se z výsledků vypočte aritmetický průměr. Toto je postup pro jeden směr kývání. Celé se to tedy opakuje pro kolmý směr kyvu, který se pozoruje na stupnici v zrcátku.

Kyvy se vyšetřují na speciálním zařízení, které se nazývá Jungův centrační talíř.

(Obr. 2.1b)



- 1 - první stupnice
- 2 - druhá stupnice pozorovaná v zrcátku
- 3 - zrcátko
- 4 - šrouby
- 5 - jádro

Obr. 2.1b: Jungův centrační talíř [5]

Po výpočtu středů kyvů se na tyto hodnoty na stupnicích nastaví svíslá ryska dalekohledu teodolitu. Závěs olovnice se upevní v jádru (komolý čtyřboký jehlan) Jungova centračního talíře, pomocí dvou párů šroubů se ve dvou na sobě kolmých směrech jádro posouvá a tím se závěs ztotožňuje s ryskami dalekohledu nastavených ve středové poloze kyvů.

Předpokladem pro korektní výpočet středů kyvů je rovnoměrný pohyb olovnice kolem rovnovážné polohy bez vnějších rušivých vlivů. Proto musí být splněny dvě podmínky:

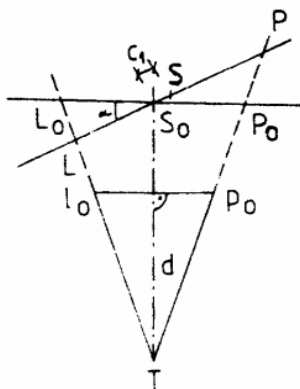
- stupnice, na které se sledují kyvy, má být kolmá na záměrnou rovinu teodolitu,
- rovina kyvu olovnice má být rovnoběžná se stupnicí, na které se kyvy sledují.

Nejsou – li tyto podmínky splněny, vzniká tzv. chyba ze stočení stupnice a chyba ze stočení roviny kyvů.

Chyba ze stočení stupnice (Obr. 2.1c) – závěs olovnice se kýve v rovině kolmé k záměrné rovině s krajními polohami l_0, p_0 . Tyto polohy se na stočenou stupnici promítnou do bodů L, P , jejichž středem je čtení S . Správné polohy by však odpovídaly hodnoty L_0, P_0 a S_0 . Poté chyba v určení středu kyvu se spočte dle vzorce (3).

$$c_1 = (u^2 \cdot \sin \alpha / 4d) \quad (3)$$

kde: u – čtený úsek ($u = P - L$),
 d – délka záměry ($d = T - S_0$),
 α – úhel stočení stupnice.

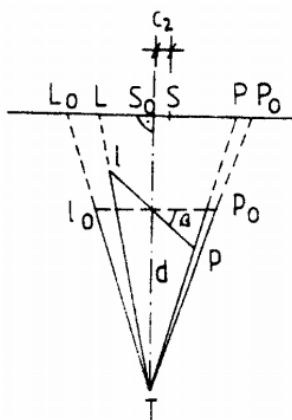


Obr. 2.1c: Chyba ze stočení stupnice [5]

Chyba ze stočení roviny kyvů (Obr. 2.1d) – pokud by se závěs olovnice kýval v rovině rovnoběžné se stupnicí, pak by krajním polohám l_0, p_0 odpovídala čtení L_0, P_0 a střed kyvů S_0 . Pokud se však rovina kyvu stočí o úhel β , tak se krajní polohy l, p promítnou na stupnici do bodů L, P , mezi kterými je střed kyvů S . Střed S_0 se od S liší o hodnotu c_2 , kterou lze vypočítat ze vztahu (4).

$$c_2 = (u^2 \cdot \sin 2\beta) / 8d \tag{4}$$

kde: u – čtený úsek ($u = P - L$),
 d – délka záměry ($d = T - S_0$),
 β – úhel stočení roviny kyvů.



Obr. 2.1d: Chyba ze stočení roviny kyvů [5]

Obsah kapitoly vychází z [4], [5].

2.1.1 Wilského promítání

Stanovení rovnovážné polohy olovnice může být někdy obtížné. Zejména pokud se promítá do větších hloubek, může i nepatrná velikost bočních sil zapříčinit velkou odchylku závěsu olovnice od tížnice. Průmět závěsného bodu pak neleží tam, kde má. Charakter bočních sil může být náhodný i systematický. Síly, které působí náhodně, mohou být zapříčiněny například odstříkujícími kapkami v mokřích jámách. Vliv takto působící síly se odstraňuje především určováním rovnovážné polohy při nuceném rozkývání olovnice, viz Kap. 2.1. Síly, které působí systematicky, jsou následkem působení větrního proudu v jámě. Obvykle tedy mají určitý směr a velikost. Pokud je toto splněno, je možné určit měřicky, či výpočtem hodnotu odchylky olovnice od rovnovážné polohy.

Je dokázáno, že ve větrním proudu se olovnice kýve stejně a stejně tlumeně jako v klidném ovzduší, střed kyvů je však, vzhledem k průmětu závěsného bodu, posunut. Čím větší je pohybová energie větrního proudu, tím roste posun středu kyvů. Pohybová energie větrního proudu závisí na množství a rychlosti větrů procházejících jámou. Aby Wilski snížil odpor větru, zvýšil hmotnost olovnice až na několik set kg a tím i její pohybovou energii. Výsledkem pokusu bylo zjištění, že pokud se vyšetří středy kyvů nejméně pro dvě závaží o různé hmotnosti, lze vypočítat správnou polohu průmětu závěsu olovnice.

Velikost vychýlení (a) závěsu se určí dle vzorce (5).

$$a = \frac{pl}{2} \cdot \left(\frac{1}{G + D/2} \right) \quad (5)$$

kde: p – boční tlak => konstantní,

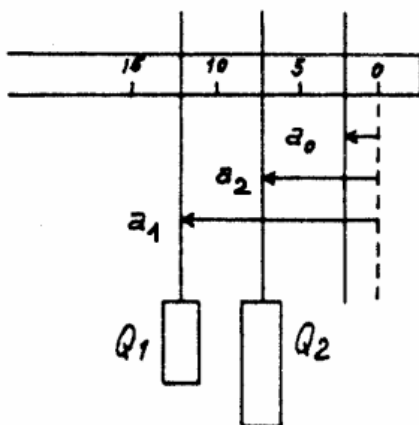
l – délka závěsu => konstantní,

D – hmotnost závěsu => proměnná,

G – hmotnost olovnice => proměnná.

Pokud $G + D/2 = Q$ potom rovnice (5) přejde na tvar (6).

$$a = k / Q \quad (6)$$



Na Obr. 2.1e je:

a_0 - čtení průmětu závěsu pro tížnici,

a_1 - čtení průmětu závěsu pro zatížení Q_1 ,

a_2 - čtení průmětu závěsu pro zatížení Q_2 .

Z rovnice (6) poté platí:

$$a_1 = a_0 + (k / Q_1) \quad (7)$$

$$a_2 = a_0 + (k / Q_2) \quad (8)$$

Obr. 2.1e: Promítání olovníc podle Wilskiho [5]

V rovnicích (7; 8) jsou a_0 , k neznámé veličiny. Známá jsou čtení na stupnici a_1 , a_2 a hmotnosti Q_1 , Q_2 . Řešením dvou rovnic o dvou neznámých se následně dostane (9).

$$a_0 = \frac{a_1 Q_1 - a_2 Q_2}{Q_1 - Q_2} \quad (9)$$

Pokud se u Wilskiho promítání použijí 3 až 4 závaží o různých hmotnostech, vzniknou tím přebytečná pozorování a hodnota průmětu závěsného bodu se určí vyrovnáním. Např. metodou nejmenších čtverců pomocí pozorování zprostředkujících s uvážením vah. Váhy se volí dle hmotnosti olovnice – čím větší hmotnost, tím větší váha. Pro posouzení konstantnosti působících vnějších vlivů se řada pozorování uzavírá opakovaným měřením s první olovnicí.

Promítání bodů olovníc je poměrně pracná, ale zato přesná metoda. Obsah kapitoly vychází z [4], [5].

2.2 Optické promítání

Optické promítání je takový způsob přenesení bodu, kdy se vytyčuje svislý směr svislým záměrným prostředkem. Svislý záměrný prostředek může být záměrná přímka svisle uloženého dalekohledu nebo svislý svazek paprsků laseru. Přístroje mohou být konstruované i tak, že mají vytyčovací člen (dalekohled nebo laser) uložen vodorovně

a na svislou se záměrná přímka změní pomocí hranolu. Do svislé polohy lze záměrnou přímku těchto přístrojů urovnat dvěma způsoby:

- pomocí libely,
- samočinně pomocí kompenzátoru.

Dále se přístroje rozdělují také podle toho, je-li s nimi možné promítat nahoru, dolu nebo oběma směry. Obsah kapitoly vychází z [4], [5].

2.2.1 Promítací přístroje s dalekohledem

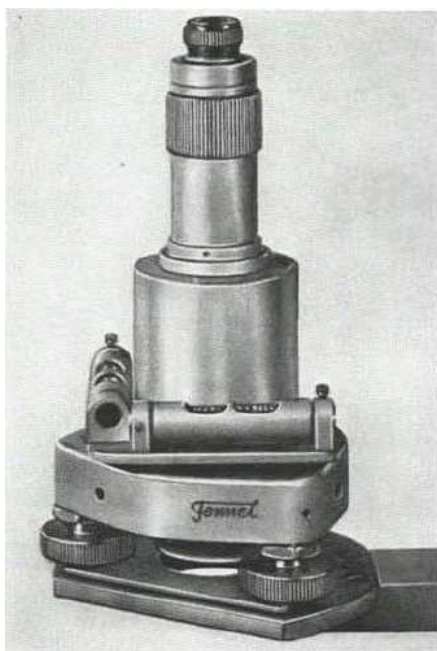
Měření probíhá ve dvou polohách dalekohledu, které jsou navzájem otočené o 200 gon. Tímto postupem se vylučuje chyba z nekolmosti záměrné přímky na osu dalekohledu. Průmět bodu na připojovaném horizontu se zjišťuje za pomoci terče, který je posuvný ve dvou na sobě kolmých směrech. Terč je vybaven stupnicemi, na kterých se odečítají relativní souřadnice průmětu bodu. Výsledkem jsou dva páry souřadnic průmětu bodu, ze kterých se vypočítají průměrné souřadnice a na ty se terč nastaví, aby mohlo být na tento průmět bodu zacíleno.

Jednou z nevýhod těchto přístrojů je omezený dosah viditelnosti. Ten může být způsoben prašným prostředím a vodními párami.

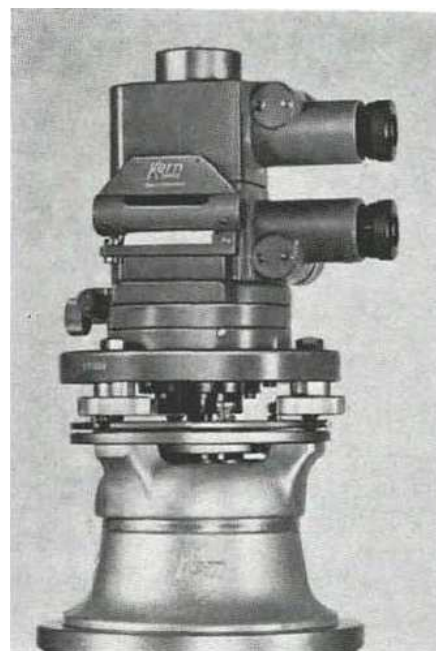
Jednotlivé typy promítacích přístrojů s dalekohledem, včetně starých typů, viz Tab. 2.1. Obsah kapitoly vychází z [4], [5].

Typ	výrobce	dalekohled			citlivost libely ["]	délka [mm]	výška [mm]	váha		maximální dosah [m]	přesnost jednoho provození
		zvětšení dalekohledu	průměr čočky objektivu [mm]	nejkratší záměra [m]				přístroj [kg]	obal [kg]		
Libelové											
TELIM	F. W. Breithaupt & Son, Kassel	42	50	2.0	20	230	350	7.1	6.5	600	1:100 000
OL	Kern & Co., Aarau	22.5	30	0.8	20	135	160	3.7	1.8	100	1:50 000
GLQ	Wild Heerbrugg AG	40	60	4.6	x	x	x	x	x	500	1:300 000
ZBL		5	8	0.3	60	160	100	1.5	0.5	20	1:10 000
ZNL		10	12	0.6	20	240	170	2.6	2.2	100	1:30 000
Kompenzátorové											
OZP	U.S.S.R	31	34	3	x	350	150	5.0	x	500	1:10 000
Auto-plumb	Rank Precision Industr. Ltd., England	30	40	1.8	x	195	215	x	x	150	1:200 000
		17	25	0.9	45			x	x		
PZL 100	VEB Carl Zeiss JENA	31.5	40	2.2	x	x	335	4.8	2.8	100	1:100 000
ZL	Wild Heerbrugg AG	24	36	0.9	x	x	x	3.1	2.2	100	1:200 000

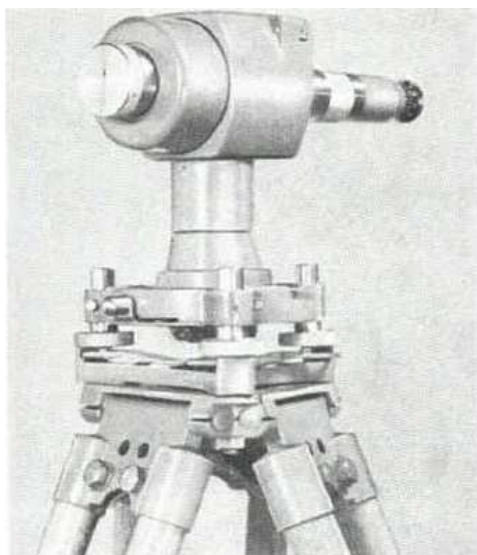
Tab. 2.1: Typy optických provažovacích přístrojů s dalekohledem a jejich parametry [8]



Obr. 2.2.1a: Optický provažovač Telim [8]



Obr. 2.2.1b: Optický provažovač Kern OL [8]



Obr. 2.2.1c: Optický provažovač
Wild ZNL [8]



Obr. 2.2.1d: Optický provažovač Wild ZL [8]

2.2.2 Promítací laserové přístroje

Promítání bodu může být realizováno také laserovým paprskem (He-Ne laser, dnes častěji laserová dioda). Laserový paprsek může být do svislé polohy urovnáván mechanicko-opticky nebo elektronickým zařízením, které je schopno fungovat v poměrně značném úhlovém rozsahu. Mezi výhody patří větší dosah než u přístrojů s dalekohledem a viditelnost stopy na cílovém terči. Mezi nevýhody patří rozptyl paprsku, který i přes použití zaostřovacích optických členů vytváří stopu, jejíž průměr může být při velké vzdálenosti i několik jednotek až desítek mm. K tomu má navíc rozličnou intenzitu a není ostře ohraničená. Detekovat stopu paprsku je možné opticky okem nebo elektronicky fotobuňkou, ta pracuje na principu zjišťování místa s maximálním dopadem světla.

Nevýhoda společná pro dalekohledové a laserové přístroje je vliv refrakce v jámě. V různých hloubkách může být různé uspořádání vrstev odlišné hustoty a vlhkosti. Tím se mění index lomu a způsobuje to odchylku paprsku od svislice, což má za následek promítnutí bodu do špatné polohy. Obsah kapitoly vychází z [4], [5].

3 Použité přístrojové vybavení

V této kapitole jsou uvedeny přístroje, které byly v rámci práce využity pro měření a testování.

3.1 Optický provažovač Zeiss PZL 100

Jedná se o provažovač, u kterého je vodorovná ryska záměrného kříže urovnávána pomocí kompenzátoru. Svislá ryska je urovnávána méně přesnou alhidádovou libelou. S tímto přístrojem je možné promítat pouze směrem do zenitu. Konkrétní specifikace viz Tab. 3.1.

střední chyba provážení	± 1 mm / 100 m
zvětšení dalekohledu	31,5x
průměr čočky objektivu	40 mm
zorné pole dalekohledu	1,3°
nejkratší záměra	2,2 m
maximální dosah	100 m
střední chyba kompenzátoru	$\pm 0,5^{\text{cc}}$
Úhlová hodnota trubicové libely	30" / 2 mm
Úhlová hodnota krabicové libely	8' / 2 mm

Tab. 3.1: Parametry přístroje Zeiss PZL 100 [9]



Obr. 3.1: Zeiss PZL 100 [14]

3.2 Laserový provažovač Foif JC100

Tento laserový provažovač je sestaven tak, aby bylo možné promítat směrem do zenitu i nadiru. Je vybaven kompenzátorem, který je schopen přístroj urovnat do vodorovné roviny v rozmezí $\pm 3^\circ$ s přesností $\pm 1''$. Výrobce uvádí, že laserový paprsek má dosah 150 m jak do zenitu, tak do nadiru. V této vzdálenosti má mít stopa průměr menší než 20 mm. Přístroj je možné ovládat pomocí dálkového ovladače a to ze vzdálenosti až 30m. Kompletní specifikace přístroje viz Tab. 3.2.

střední chyba provážení	$\pm 1 \text{ mm} / 100 \text{ m}$
maximální dosah	150 m
přesnost kompenzátoru	$\pm 1''$
rozsah kompenzátoru	$\pm 3^\circ$
vlnová délka laseru	635 nm
výkon laseru	5 mW
průměr stopy laseru	$\leq 20 \text{ mm} / 100 \text{ m}$
pracovní teplota	-10°C až $+50^\circ\text{C}$

Tab. 3.2 : Parametry přístroje Foif JC 100 [10]



Obr. 3.2: Foif JC100 [15]

3.3 Totální stanice Leica TS06

Totální stanice, u které je přesnost měření úhlů dána směrodatnou odchylkou směru měřeného v jedné skupině $\sigma_\varphi = 2''$ (0,6 mgon). Stanice měří délky s přesností 1,5 mm + 2,0 ppm a je vybavena kompenzátorem, který přístroj urovnává ve dvou osách. Při měření je možné zapnout permanentní laserovou stopu, této funkce bylo využito při provažování bodu. Ostatní specifikace viz Tab. 3.3.

směrodatná odchylka měřeného úhlu	0,6 mgon
Směrodatná odchylka měřené délky	1,5 mm + 2 ppm
dosah měření délek	3500 m
přesnost kompenzátoru	0,5"
rozsah kompenzátoru	0,07 gon
zvětšení dalekohledu	30x
Zorné pole dalekohledu	2,7 m ve 100 m
rozlišovací schopnost dalekohledu	3"
rozsah zaostření dalekohledu	1,7 m až nekonečno

Tab. 3.3: Parametry totální stanice Leica TS06 [11]



Obr. 3.3: Leica TS06 [16]

3.4 Totální stanice Trimble S6 HP (High Precision)

Totální stanice, u které je přesnost měření úhlů dána směrodatnou odchylkou směru měřeného v jedné skupině $\sigma_\varphi = 1''$ (0,3 mgon). Stanice měří délky s přesností 1 mm + 1,0 ppm. Kompenzátor přístroj urovnává ve dvou osách. Ostatní specifikace viz Tab. 3.4.

směrodatná odchylka měřeného úhlu	0,3 mgon
Směrodatná odchylka měřené délky	1 mm + 1 ppm
dosah měření délek	3000 m
přesnost kompenzátoru	0,5"
rozsah kompenzátoru	0,10 gon
zvětšení dalekohledu	30x
zorné pole dalekohledu	2,6 m ve 100 m
rozsah zaostření	1,5 m až nekonečno

Tab. 3.4: Parametry totální stanice Trimble S6 HP [12]



Obr. 3.4: Trimble S6 HP [12]

4 Česká státní norma ISO 17123-7

Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – Část 7: Optické provažovací přístroje

Tato norma přejímá anglickou verzi mezinárodní normy ISO 17123-7:2005, která má status české technické normy.

Při měření s použitými provažovacími přístroji a jejich testování byla využita doporučení, která jsou v normě ISO 171123-7 uvedena. Norma určuje postupy, které by měly být dodržovány, pokud se stanovuje a analyzuje přesnost optických provažovacích přístrojů a jejich příslušenství. Tyto postupy platí pro využití přístrojů při zeměměřickém a stavebním měření a přednostně jsou využívány k terénní kontrole vhodnosti určitých přístrojů pro konkrétní úkol a ke splnění požadavků jiných norem.

Postupy jsou navrženy tak, aby mohly být aplikovány okamžitě bez nutnosti použití speciálního příslušenství a také aby byly potlačeny atmosférické vlivy a jevy vzniklé nedokonalým nastavením optických provažovacích přístrojů. Obsah kapitoly vychází z [1].

4.1 Požadavky

Dle normy by se měřič měl vždy přesvědčit o tom, je-li měřické vybavení, vzhledem ke své přesnosti, vhodné pro zadanou měřickou úlohu. Toto vybavení musí být správně rektifikováno dle postupů uvedených v příručce od výrobce.

Výsledky měření jsou ovlivňovány meteorologickými podmínkami. Je proto třeba vzít v úvahu konkrétní podmínky, které se liší v závislosti na prostředí, kde je měření prováděno. Při měření venku je nejpříjemnější, pokud je zataženo a bezvětrí.

Podmínky, ve kterých se přesnost přístrojů testuje, by měly být stejné jako při samotné měřické úloze. Při testování v laboratoři se dosahuje výsledků, které nejsou zatíženy výše zmíněnými měřickými podmínkami, ale tato testování jsou velmi drahá a tudíž nejsou pro většinu uživatelů praktická. Laboratorní testování navíc dává mnohem větší přesnost, než které může být dosaženo při testování v polních podmínkách.

Jedním ze základních požadavků pro testování je použití pravouhlé x-y mřížky, která slouží jako terč, na kterém se odečítají souřadnice prováženého bodu. Interval t této mřížky musí splňovat vztah

$$t \geq 2,9 \times \frac{h}{\Gamma} \quad (10)$$

kde je

2,9 ... konstantní faktor umožňující dobrý odhad v intervalu mřížky;

h ... výška, do které se provažuje, vyjádřena v metrech;

Γ ... zvětšení dalekohledu.

Interval t poté vychází v milimetrech. Obsah kapitoly vychází z [1].

4.2 Princip testování

Míra přesnosti jakéhokoliv typu provažovacího přístroje je závislá na výšce, do které se provažuje. Přesnost je vyjádřena empirickou směrodatnou odchylkou bodu jednou prováženého do odpovídající výšky. Tato směrodatná odchylka se značí

SISO-plumb

Empirickou směrodatnou odchylku je možné určit při třech testovacích postupech:

- jeden měřič s jedním přístrojem a příslušenstvím po celý čas měření,
- jeden přístroj použitý při různých atmosférických podmínkách,
- více přístrojů použitých při stejných atmosférických podmínkách.

Obsah kapitoly vychází z [1].

5 Měření

V následující kapitole jsou popsána veškerá měření a další praktické činnosti, které bylo nutné provést, aby mohlo být provázení ve štole Josef, včetně otestování přesnosti jednotlivých přístrojů, provedeno.

Samotné místo, kde se provázení uskutečnilo, se nachází v oblasti Čelina – východ. Zde je schodišťová šachta, která propojuje tři horizonty. Pro lepší orientaci se horizonty pracovně označily číslem vyjadřujícím jejich přibližnou výšku od přízemí. Spodní tedy horizont 0, prostřední horizont 20 a horní horizont 40. Jelikož se šachta a tím pádem i schodiště stáčí, muselo být nejprve provedeno ověření její svislosti a průchodnosti. K ověření posloužil rybářský naviják s vlascem, na jehož konci bylo upevněno rybářské olůvko. Tato pomůcka nakonec svislost a průchodnost potvrdila.



Obr. 5: Pohled zespod do schodišťové šachty [zdroj vlastní]

5.1 Důlní olovnice

Provázení bodu důlní olovnice bylo provedeno z horizontu 40 až do horizontu 0. K upevnění vrátku olovnice v horizontu 40 posloužila speciální kostra, která byla vyrobena technikou z katedry speciální geodézie. Tato kostra se svěrkami připevnila k nosníkům podlahové mříže.



Obr. 5.1a: Vrátek důlní olovnice upevněný na speciální kostře [zdroj vlastní]

Po instalaci kostry a vrátku (Obr. 5.1a) bylo na drát připevněno lehčí závaží, které zajišťovalo to, aby se ocelový drát při spouštění nekroutil. Poté byl drát pomalu odvíjen do horizontu 0. Po odvinutí se zrakem zkontrolovalo, jestli je drát po celé své délce volný a nikde se nedotýká. Na drát se zavěsila středová tyč dělené olovnice a vrátek byl definitivně zajištěn proti samovolnému odmotání. Teprve potom se na středovou tyč z boku navlékly kotouče dělené olovnice. Celková hmotnost závaží byla 38 kg. Středová tyč vážila 6 kg a na ni byly navlečeny dva kotouče, každý o hmotnosti 16 kg.



Obr. 5.1b: Dělená olovnice při ustalování [zdroj vlastní]



Obr. 5.1c: Speciální odrazný terčik [zdroj vlastní]

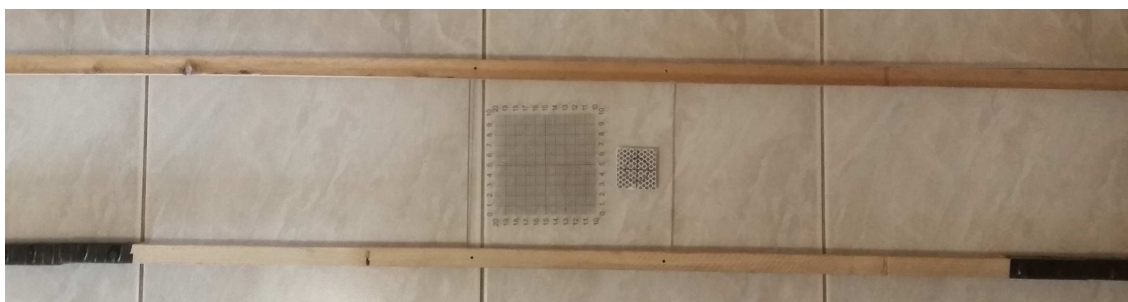
Pro ustálení kývání olovnice byla pod závaží umístěna nádoba tak, aby se závaží nikde nedotýkala a poté se napustila vodou (Obr. 5.1b). Nakonec se na drát v horizontu 0 připevnily dva speciální odrazné terčíky (Obr. 5.1c), které mají vybroušenou svislou drážku. Po zasazení drátu do této drážky vyčnívala jen jeho půlka, čímž se součtová konstanta stala nulovou. Dva terčíky se nasadily vzájemně natočené o více jak 100 gon. To z důvodu otáčení olovnice v době tří denního ustalování. Předešlo se tak nemožnosti měření, pokud by se jeden terčík odvrátil od stanoviska, ze kterého se měření vykonávalo. Systematické vlivy, které by působily na závěs olovnice a odvracely ho od svislice, jako například stálý větrný proud, nebyly zpozorovány. Žádné dodatečné korekce tedy nemusely být uvažovány.

V horizontu 40 se připevnil speciální odrazný terčík v blízkosti vodícího zářezu. Dle obecného postupu uvedeného v Kap. 2.1 by mělo být na závěs měřeno nejméně 1 m pod vodícím zařízením, v tomto případě to však nebylo technicky možné. Vodící zářez eliminoval kývání závěsu a tak se v tomto patře mohlo ihned vykonat měření. Měřilo se z polygonového bodu 539 totální stanicí Trimble S6 HP celkem ve třech skupinách. Orientováno bylo na polygonový bod 538 a další body v podobě odrazných fólií a minihranolů. Na závěs olovnice se cílilo jako na počátek i uzávěr.

Jak bylo uvedeno výše, poté následovalo tří denní ustalování olovnice. Po této době byly doměřeny zbývající dva horizonty. Nejprve se měřilo v horizontu 0 z polygonového bodu 533. Měření bylo provedeno ve třech skupinách s orientacemi na polygonový bod 532 a další body v podobě odrazných fólií a minihranolu na trnu ve skále. Poté bylo rozhodnuto o kontrolním měření, kdy se v jedné poloze dalekohledu 20x zaměřil směr a délka na terčík na závěsu. Toto se provedlo z důvodu ověření nehybnosti závěsu olovnice. Následně se terčíky opatrně odmontovaly a připevnily se na závěs v horizontu 20, opět dva nad sebe otočené o více jak 100 gon. Ustalování závěsu proběhlo v době, kdy byl doměřován zbytek sítě v horizontu 0 kolegou Bc. Vaisem. Následovalo zaměření závěsu z volného stanoviska a to opět ve třech skupinách s orientacemi na body v podobě minihranolů a odrazné fólie. V tomto horizontu se také provedlo ověřovací měření na závěs v jedné poloze.

5.2 Příprava terče a stanoviska v horizontu 40

Před samotným provažováním optickým a laserovým provažovačem bylo třeba pořídit funkční konstrukci s terčem, na kterém se daly odečítat souřadnice provažovaného bodu. Tuto konstrukci laskavě zapůjčil Ing. Rudolf Urban, Ph.D.. Skládala se ze dvou dřevěných latí, na kterých byla připevněna plexisklová deska (Obr. 5.2a). Na desku byla nalepena průhledná plastová fólie s natisknutým terčem a odrazný štítek pro zaměření hloubky provažování. Průhledná plastová fólie byla zvolena z důvodu stálosti jejího tvaru, ve schodišťové šachtě je totiž velmi vysoká vlhkost vzduchu blížící se 100%. Taková vlhkost by papírový terč zdeformovala, tím pádem by čtení na něm bylo zatíženo chybou. Dalším důvodem použití průhledné plastové fólie bylo lepší odečítání souřadnic při provažování laserovým provažovačem. Osoba provádějící odečet tak mohla pohodlně odečítat souřadnice z pozice nad terčem. V případě papírového terče by se pod něj musela naklánět, což by bylo v takovém prostředí nebezpečné a zdlouhavé.



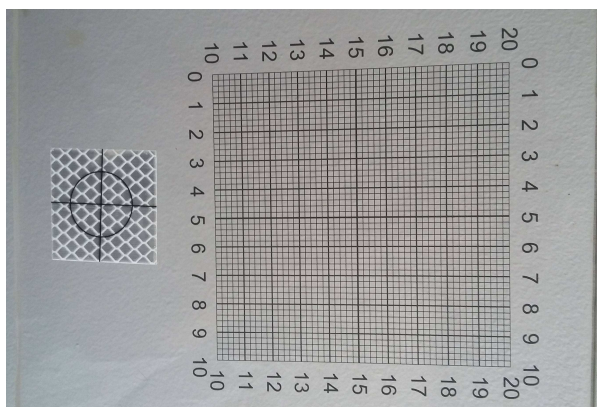
Obr. 5.2a: Konstrukce s terčem [zdroj vlastní]

Jak uvádí norma ISO 171123-7, k provažování je potřeba terč s pravouhloú mřížkou, která má správně zvolený interval. Dle vzorce (10), který je uveden v normě, byly vypočteny hodnoty intervalu dělení mřížky pro jednotlivé horizonty a jsou uvedeny v Tab. 5.2.

h (výška horizontu) [m]	Γ (zvětšení dalekohledu Zeiss PZL)	t (interval) [mm]
20	31,5 x	≈ 2
40		≈ 4

Tab. 5.2: Vypočtené intervaly dělení mřížky terče pro jednotlivé horizonty

Při provažování v této práci byl u čtvercové mřížky zvolen interval dělení 2 mm. Pro horizont 40 byl interval nekorektní, celkově se však jevil jako univerzální. Jak je uvedeno výše, při provažování bodu laserovým provažovačem byly jeho souřadnice odečítány přímo u terče, kdy byl potřeba takový interval dělení mřížky, aby se dalo dobře odhadnout čtení a tudíž by odečtená poloha byla co nejbližší skutečné poloze. Zároveň byl interval dostatečně velký, aby se na terči dalo odečítat z horizontu 0 optickým provažovačem Zeiss PZL 100. Osy terče byly odlišeny jiným číslováním, aby se zabránilo jejich záměně (Obr. 5.2b).



Obr. 5.2b: Detail mřížky terče [zdroj vlastní]

Před samotným uchycením konstrukce s terčem musela být provedena kontrola průchodnosti laserového paprsku, respektive záměry u Zeiss PZL 100, a správný dopad na mřížku terče. Nejprve se tedy postavil stativ v horizontu 0 a na něj byl umístěn laserový provažovač Foif JC100, ten se zapnul a sledovala se laserová stopa. Postupně se stativ posouval tak, aby stopa nenarážela na konstrukci schodiště a prošla až do horizontu 40. V důsledku stočení schodišťové šachty se však nepodařilo zajistit úplný průchod stopy. Stativ už byl příliš blízko schodišti a nešlo ho dále posouvat, viz Obr. 5.2c, stopa tak svým okrajem narážela těsně pod vrcholem do nosníku schodiště. Střed stopy však pronikl až do správného horizontu.



Obr. 5.2c: Stativ s laserovým provažovačem na stanovisku provažování [zdroj vlastní]

Konstrukce s terčem se poté umístila tak, aby stopa nebyla na okraji terče a tím se zabránilo jejímu případnému „vyjetí“ z terče při otočení přístroje do jiné polohy. Terč byl v horizontu 40 uchycen svěrkami k nosníkům podlahové mříže.

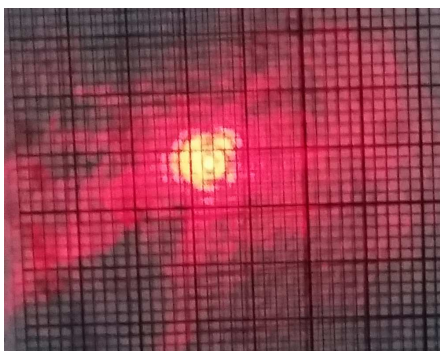
Po tomto kroku následovalo přesné urovnání stativu. To bylo provedeno pomocí centrovače FG–L30 firmy Freiburger Präzisionsmechanik. Jelikož bylo předpokladem testu přímé porovnání přístrojů prostřednictvím souřadnic provažovaného bodu, bylo nutné provažovat jeden a ten samý bod. Stabilizace bodu v kamenité podlaze, kdy by se nad tento bod přístroje jednotlivě stavěly, by byla složitá a navíc by přibyla chyba z centrace. Proto bylo přistoupeno k postupu, kdy byl stativ s trojnožkou stále pevně postaven a jen se měnily přístroje v trojnožce. Optický provažovač Zeiss PZL 100 má však jiný systém upnutí v trojnožce, proto byla použita redukce v podobě adaptéru GP pro trojnožku Wild-Zeiss.

5.3 Laserový provažovač Foif JC100

Dle normy byl stanoven postup měření a to takový, že se změřily tři série, kdy se každá série skládala z deseti měření. Jedno měření se skládalo ze čtení souřadnic ve čtyřech polohách přístroje, kdy se v jedné poloze odečetly souřadnice x a y , přístroj se pootočil o 100 gon do další polohy a následoval stejný postup jako v předchozí poloze.

Jednotlivé polohy byly na přístroji určeny změřením obvodu těla provažovače metrem a rozdělením tohoto obvodu na čtvrtiny. Čtvrtiny byly na přístroj vyznačeny fixem. Mezi jednotlivými sériemi se přístroj vyndal z trojnožky a otočil se v ní o třetinu, aby bylo dosaženo nezávislosti jednotlivých sérií.

Samotný postup měření byl vcelku zdoluhavý. Nejen z důvodu velkého množství opakování, ale také se vždy muselo počkat, než po otočení kompenzátor dorovná přístroj. Při dorovnávaní laserová stopa zhasla a doba, než se znovu rozsvítila, trvala v řádu jednotek vteřin. Ovšem někdy byla zpozorována výjimka, kdy se čas dorovnávaní prodloužil na více jak dvojnásobek běžné doby. Stopa měla tvar soustředných kružnic (Obr. 5.3). Kvůli vysoké zářivosti musela být na spodek plexiskla nalepena čtvrtka, která zářivost utlumila a stopu ohraničila tak, že se dala pohodlně přečíst poloha jejího středu. Velikost středu stopy v provažovaných výškách umožnila odečítání souřadnic na jednotky mm. Při odečítání souřadnic bylo, i po dorovnání, zpozorováno jemné kmitání stopy, které však nemělo na odečet prakticky žádný vliv.



Obr. 5.3: Laserová stopa tvořící soustředné kružnice [zdroj vlastní]

5.4 Optický provažovač Zeiss PZL 100

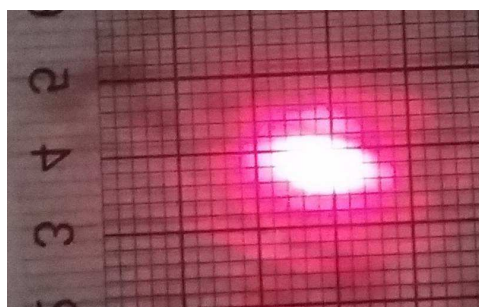
Postup měření byl prakticky stejný jako u laserového provažovače. To znamená, že byly měřeny tři série, v každé sérii bylo deset měření. Rozdíl byl ve struktuře jednoho měření, kdy se odečítaly souřadnice jen ve dvou polohách navzájem otočených o 200 gon, čímž se eliminovala chyba z nekompenzované svíslé rysky objektivu. Obě souřadnice x a y byly čteny zároveň ve stejné poloze dalekohledu. Samotnému odečtení souřadnic předcházelo zarovnání vodorovné rysky s jednou z os cílového terče. Až poté se daly souřadnice přečíst. Vzhledem k poměrně velké výšce provažování se dalo odečítat na jednotky mm, stejně jak tomu bylo

u laserového provážovače. Mezi jednotlivými sériemi se přístroj vyndal z třínožky a otočil se v ní o třetinu pro zajištění nezávislosti sérií.

5.5 Totální stanice Leica TS06

Pro porovnání bylo rozhodnuto o otestování provázení pomocí totální stanice Leica TS06. Po upevnění přístroje na stativ byla zapnuta permanentní laserová stopa a směr dalekohledu byl nastaven nejprve hrubě rukou a poté pomocí jemných ustanovek přesně do zenitu.

Metodika měření byla následující – změřila se jedna série, která se skládala z deseti měření, kde jedno měření obsahovalo odečtení souřadnic x a y ve dvou polohách dalekohledu, které byly vůči sobě otočeny o 200 gon. Po otočení přístroje o 200 gon se vždy musel znovu přesně nastavit nulový zenitový úhel. Odečet souřadnic probíhal přímo u terče. Tvar laserové stopy ve výšce 40 m byl elipsovitý a její velikost byla poměrně značná (Obr. 5.5), takže odečet souřadnic byl odhad v řádu jednotek mm.



Obr. 5.5: Laserová stopa totální stanice Leica TS06 ve 40 m [zdroj vlastní]

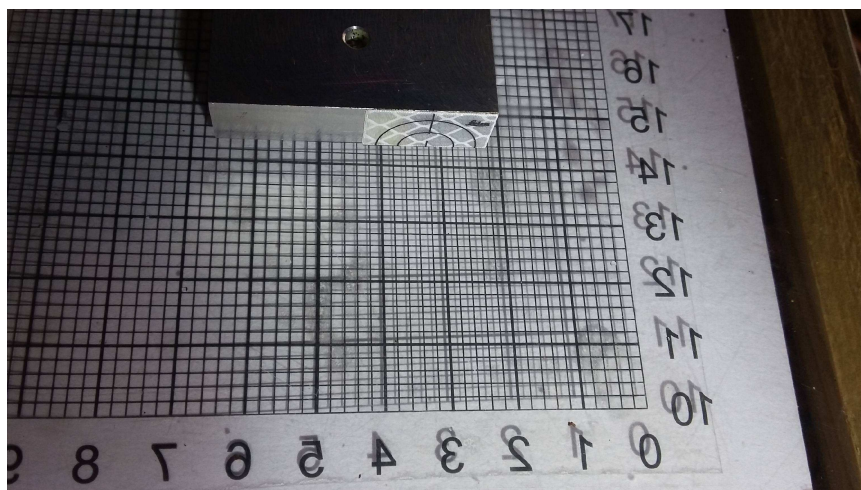
5.6 Zaměření prováženého bodu

Po provázení všemi testovanými přístroji bylo nutné provážený bod ihned zaměřit, jelikož se terč musel přesunout do horizontu 20.

Z provázení daným přístrojem se tedy vypočítaly průměrné souřadnice prováženého bodu nejprve pro jednotlivé série a pak celkový průměr z těchto sérií. Výsledkem tedy byly tři celkové průměry – laserový provážovač, optický provážovač a totální stanice. Provažování totální stanicí bylo vykonáno jen za účelem srovnání s ostatními přístroji, tudíž o nezaměřování jejího výsledku bylo rozhodnuto již předem. U přístroje Zeiss PZL 100 byly při porovnání mezivýsledků, tedy průměrů z jednotlivých

sérií, zjištěny velké rozdíly mezi těmito sériemi, což hrálo roli i ve výsledném průměru. Vznikla tak nejistota správnosti měření. Vzhledem k vyrovnaným výsledkům jednotlivých sérií přístroje Foif JC100 a také vzhledem k tomu, že se jednalo o hlavní testovaný přístroj, bylo přistoupeno k zaměření bodu prováženého právě tímto přístrojem.

K signalizaci prováženého bodu posloužila speciální pomůcka, a to odrazná fólie nalepená na hliníkovém kvádříku. Tento kvádřík se pak položil na terč tak, aby svislá ryska odrazné fólie protínala na terči místo vypočteného průměru (Obr. 5.6). K zaměření pak posloužila totální stanice Leica TS06. Měřilo se z polygonového bodu 539 ve dvou skupinách. Orientovalo se na odrazné fólie a polygonový bod 538. Na provážený bod se měřilo jako na počátek i uzávěr.



Obr. 5.6: Signalizace prováženého bodu pomocí fólie na hliníkovém kvádříku [zdroj vlastní]

5.7 Měření v horizontu 20

Výše sepsané odstavce jsou popisem měření v horizontu 40. Po měření v tomto horizontu následovalo uchycení konstrukce s terčem v horizontu 20, které bylo složitější. V tomto horizontu totiž není v prostoru schodišťové šachty podlahová mříž. Musela se najít vhodná pozice terče nejen taková, aby na terč dopadala laserová stopa, ale i taková, aby ho bylo možné pevně zajistit a zároveň aby byl alespoň přibližně vodorovný, což by zajišťovalo správné čtení souřadnic. Konstrukce byla nakonec přichycena kombinovaně. Jedno rameno bylo přichyceno svěrkou ke schodu, ostatní ramena byla přichycena samolepící páskou a drátem k zábradlí (Obr. 5.7).



Obr. 5.7: Uchycení terče v horizontu 20 [zdroj vlastní]

V tomto horizontu pak proběhlo provažování jen pomocí laserového provažovače Foif JC100. Bylo tak rozhodnuto z důvodu dostatečného množství dat na testování pořízeného v horizontu 40, z důvodu vyrovnaných výsledků tohoto provažovače a také z důvodu časové tísně. Zaměřila se jedna série, která obsahovala deset měření. Každé měření se skládalo ze čtení souřadnic ve dvou polohách přístroje navzájem otočených o 200 gon.

Zaměření vypočteného průměru prováženého bodu bylo provedeno opět pomocí totální stanice Leica TS06 z volného stanoviště. Orientace byla na odraznou fólii a minihranoly.

5.8 Měření totální stanicí Leica TS06, zpracování a výpočet přesnosti měření

Spolu s bodem, který byl provázen laserovým provažovačem, byly ve všech třech horizontech zaměřeny další orientační body. V horizontu 0 se měřilo z bodu 533, jako počátek se zvolil provážený bod a označil se písmenem L, poté se postupně cílilo na bod 7522 signalizovaný minihranolem, na body T01 a T02 signalizované odraznou fólií a uzávěr zpět na počátek. V horizontu 40 se měřilo z bodu 539, počátek byl provážený bod, poté se cílilo na body T41 a T42 signalizované odraznou fólií, na polygonový bod 538 a uzávěr zpět na počátek. Nakonec v horizontu 20 se měřilo z volného stanoviska, počátek byl provážený bod, poté se cílilo na bod T21 signalizovaný odraznou fólií, na body 7531 a 7532 signalizované minihranolem a uzávěr zpět na počátek. Vše se měřilo ve dvou skupinách.

Zpracování bylo provedeno v programu Groma, kde se zpracovalo měření ze dvou poloh. Poté se pokračovalo v programu Microsoft Office Excel, kde se počítala přesnost měření. Pro každé stanovisko se spočítala výběrová směrodatná odchylka (s) směru a délky. Z hodnot odchylek všech tří stanovisek se poté vypočítal kvadratický průměr dle vzorce (11). Tento průměr se poté použil při vyrovnání.

$$s = \sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2 + s_3^2}{3}} \quad (11)$$

Vypočtená výběrová směrodatná odchylka směru byla větší, než přesnost přístroje uvedená výrobcem. Nominální přesnost (σ_φ) danou výrobcem nebylo při vyrovnání vhodné použít, jelikož nevyhovovala o přesnosti skutečného měření. Výběrová směrodatná odchylka délky vyšla naopak velmi malá, ve vyrovnání byla tedy použita nominální přesnost uvedená výrobcem (σ_d). Hodnoty výběrových (s_φ a s_d) a nominálních směrodatných odchylek jsou uvedeny v Tab. 5.8.

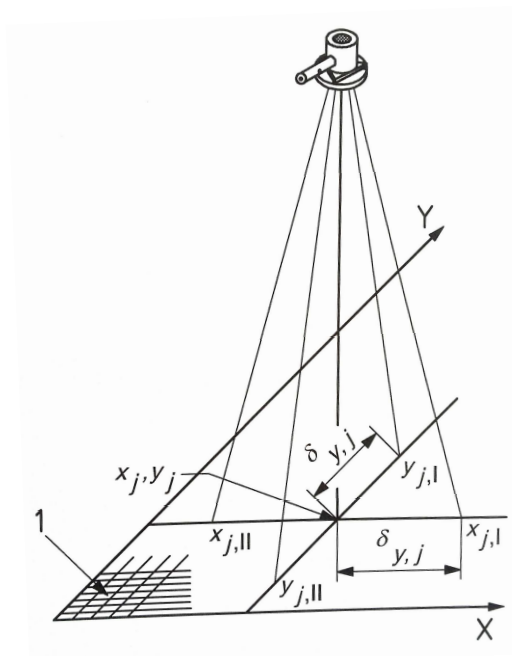
Výběrové a nominální směrodatné odchylky směru a délky – Leica TS06			
s_φ [mgon]	σ_φ [mgon]	s_d [mm]	σ_d [mm]
1,1	0,6	0,1	1

Tab. 5.8: Výběrové a nominální směrodatné odchylky směru a délky – Leica TS06

6 Postup výpočtů

V této kapitole je uveden postup analýzy přesnosti provázení a statistických testů. Postup se řídí normou ISO 17123-7, kdy je každá série měření hodnocena zvlášť.

1...mřížka terče
s 2mm dělením



Obr. 6: Znárodnění situace pro objasnění výpočtů [1]

6.1 Postup analýzy přesnosti

Nejprve byly vypočítány odchylky souřadnic první a druhé polohy od jejich středu (12; 13), viz Obr. 6. V případě laserového provažovače, kterým bylo měřeno celkem ve čtyřech polohách, byla porovnávána vždy dvě protilehlá čtení, tedy navzájem pootočená o 200 gon. Pro analýzu měření laserového provažovače Foif JC100 je postup analogický s tím rozdílem, že měření v sérii bylo 20.

$$\delta x_j = \frac{1}{2} \times (x_{j,I} - x_{j,II}); \quad j = 1, \dots, 10 \quad (12)$$

$$\delta y_j = \frac{1}{2} \times (y_{j,I} - y_{j,II}); \quad j = 1, \dots, 10 \quad (13)$$

V dalším kroku se spočetly průměrné souřadnice pro jednotlivá měření (14; 15).

$$x_j = \frac{1}{2} \times (x_{j,I} + x_{j,II}); \quad j = 1, \dots, 10 \quad (14)$$

$$y_j = \frac{1}{2} \times (y_{j,I} + y_{j,II}); \quad j = 1, \dots, 10 \quad (15)$$

Následně byly spočteny celkové průměry všech měření (16; 17).

$$\bar{x} = \frac{1}{10} \times \sum_{j=1}^{10} x_j \quad (16)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{10} \times \sum_{j=1}^{10} y_j \quad (17)$$

A celkové průměry odchylek první a druhé polohy od středu (18; 19).

$$\delta\bar{x} = \frac{1}{10} \times \sum_{j=1}^{10} \delta x_j \quad (18)$$

$$\delta\bar{y} = \frac{1}{10} \times \sum_{j=1}^{10} \delta y_j \quad (19)$$

Dále byly spočteny opravy jednotlivých souřadnic série od celkového průměru souřadnic jedné série (20; 21).

$$r_{x,j} = \bar{x} - x_j \quad (20)$$

$$r_{y,j} = \bar{y} - y_j \quad (21)$$

V následujícím kroku byly spočteny sumy čtverců oprav od průměru (22; 23; 24).

$$\sum r_{x,i}^2 = \sum_{j=1}^{10} r_{x,i,j}^2 \quad (22)$$

$$\sum r_{y,i}^2 = \sum_{j=1}^{10} r_{y,i,j}^2 \quad (23)$$

$$\sum r_i^2 = \sum r_{x,i}^2 + \sum r_{y,i}^2 \quad (24)$$

kde i ... značí číslo série

$\sum r_i^2$... je celková suma čtverců oprav

Počet stupňů volnosti, neboli počet nadbytečných měření (25; 26).

$$v_{x,i} = v_{y,i} = 10 - 1 = 9 \quad (25)$$

$$v_i = 20 - 2 = 18 \quad (26)$$

kde v_i ... je celkový počet stupňů volnosti v sérii

Výběrové směrodatné odchylky se pak spočítaly dle vzorců (27; 28; 29).

$$s_{x,i} = \sqrt{\frac{\sum r_{x,i}^2}{v_{x,i}}} = \sqrt{\frac{\sum r_{x,i}^2}{9}} \quad (27)$$

$$s_{y,i} = \sqrt{\frac{\sum r_{y,i}^2}{v_{y,i}}} = \sqrt{\frac{\sum r_{y,i}^2}{9}} \quad (28)$$

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{v_i}} = \sqrt{\frac{\sum r_i^2}{18}} \quad (29)$$

kde $s_{x,i}$... výběrová směrodatná odchylka souřadnice x bodu prováženého do výšky h

$s_{y,i}$... výběrová směrodatná odchylka souřadnice y bodu prováženého do výšky h

s_i ... výběrová směrodatná polohová odchylka bodu prováženého do výšky h

Výše uvedené výpočty se provedly pro všechny tři série a následovalo celkové zhodnocení, kdy se nejprve vypočetly výběrové směrodatné odchylky pro x a y souřadnici odděleně (30; 31; 32).

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum r_{x,1}^2 + \sum r_{x,2}^2 + \sum r_{x,3}^2}{\sum_{i=1}^3 v_{x,i}}} \quad (30)$$

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum r_{y,1}^2 + \sum r_{y,2}^2 + \sum r_{y,3}^2}{\sum_{i=1}^3 v_{y,i}}} \quad (31)$$

$$\text{kde } \sum_{i=1}^3 v_{x,i} = \sum_{i=1}^3 v_{y,i} = 27 \quad (32)$$

A celková výběrová směrodatná polohová odchylka bodu prováženého do výšky h vypočítaná ze všech sérií (33; 34).

$$s = \sqrt{\frac{\sum r_1^2 + \sum r_2^2 + \sum r_3^2}{v}} \quad (33)$$

$$\text{kde } v = \sum_{i=1}^3 v_i = 54 \quad (34)$$

Empirická směrodatná odchylka se spočetla dle vzorce (35).

$$s_{ISO-plumb} = \frac{s}{h} \quad (35)$$

kde h ... je výška provažování.

Pro následné statistické testy byly vypočteny ze všech tří sérií průměrné odchylky souřadnic první a druhé polohy od jejich středu (36; 37; 38).

$$\delta_x = \frac{\sum_{i=1}^3 \delta \bar{x}_i}{3} \quad (36)$$

$$\delta_y = \frac{\sum_{i=1}^3 \delta \bar{y}_i}{3} \quad (37)$$

$$\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} \quad (38)$$

Směrodatná odchylka odchylky je poté dle vzorce (39).

$$s_\delta = s \left(\frac{1}{\sqrt{3} \times \sqrt{10}} \right) \quad (39)$$

Obsah kapitoly vychází z [1], [6] .

6.2 Postup statistických testů

Pro lepší zhodnocení výsledků norma doporučuje provést statistické testy, při kterých je využito:

- empirické směrodatné odchylky $s_{ISO-plumb}$
- výběrových směrodatných odchylek s_x a s_y
- odchylky δ , její odchylky s_δ a jednotlivých odchylek souřadnic δx a δy

Při těchto testech bylo odpovězeno na tři otázky:

- 1) Je vypočtená empirická směrodatná odchylka $s_{ISO-plumb}$ menší než příslušná hodnota směrodatné odchylky σ uvedené výrobcem přístroje?
- 2) Je výběrová směrodatná odchylka s_x stejná jako výběrová směrodatná odchylka s_y ?
- 3) Je odchylka δ rovna nule?

Při testech byla uvažována hladina významnosti 5%.

Otázka	Nulová hypotéza H_0	Alternativní hypotéza H_1
1.	$s_{ISO-plumb} \leq \sigma$	$s_{ISO-plumb} > \sigma$
2.	$s_x = s_y$	$s_x \neq s_y$
3.	$\delta = 0$	$\delta \neq 0$

Tab. 6.2: Tabulka s nulovými a alternativními hypotézami

Obsah kapitoly vychází z [1].

6.2.1 Statistická otázka č. 1

Nulová hypotéza H_0 se nezamítá, pokud platí vztah (40).

$$s_{ISO-plumb} \leq \sigma \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha}(v)}{v}} \quad (40)$$

Kde v je počet stupňů volnosti. Pro měření s optickým provažovačem Zeiss PZL 100 je $v = 54$, pro měření s laserovým provažovačem Foif JC100 je $v = 114$, pro měření s totální stanicí Leica TS06 je $v = 18$.

$$s_{ISO-plumb} \leq \sigma \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(54)}{54}}; \quad s_{ISO-plumb} \leq \sigma \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(114)}{114}}; \quad s_{ISO-plumb} \leq \sigma \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(18)}{18}}$$

Kvantily χ^2 – kvadrát rozdělení byly vypočteny v programu Microsoft Office Excel.

$$\chi^2_{0,95}(54) = 72,15; \quad \chi^2_{0,95}(114) = 139,92; \quad \chi^2_{0,95}(18) = 28,87$$

$$s_{ISO-plumb} \leq \sigma \sqrt{\frac{72,15}{54}}; \quad s_{ISO-plumb} \leq \sigma \sqrt{\frac{139,92}{114}}; \quad s_{ISO-plumb} \leq \sigma \sqrt{\frac{28,87}{18}}$$

$$s_{ISO-plumb} \leq \sigma \times 1,16; \quad s_{ISO-plumb} \leq \sigma \times 1,11; \quad s_{ISO-plumb} \leq \sigma \times 1,27$$

Pokud toto neplatí, nulová hypotéza H_0 se zamítá a přijímá se alternativní hypotéza H_1 .

Obsah kapitoly vychází z [1].

6.2.2 Statistická otázka č. 2

Nulová hypotéza H_0 se nezamítá, pokud platí vztah (41).

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2}(v_x, v_y)} \leq \frac{s_x^2}{s_y^2} \leq F_{1-\alpha/2}(v_x, v_y) \quad (41)$$

Kde $v_x = v_y = 27$ je počet stupňů volnosti pro provažovač Zeiss PZL 100, pro provažovač Foif JC100 je tento počet roven 57 a pro totální stanici Leica TS06 je to 9.

$$\frac{1}{F_{0,975}(27,27)} \leq \frac{s_x^2}{s_y^2} \leq F_{0,975}(27,27); \quad \frac{1}{F_{0,975}(57,57)} \leq \frac{s_x^2}{s_y^2} \leq F_{0,975}(57,57);$$

$$\frac{1}{F_{0,975}(9,9)} \leq \frac{s_x^2}{s_y^2} \leq F_{0,975}(9,9)$$

Kvantily F - rozdělení byly vypočteny v programu Microsoft Office Excel.

$$F_{0,975}(27,27) = 2,16; \quad F_{0,975}(57,57) = 1,69; \quad F_{0,975}(9,9) = 4,03$$

$$0,46 \leq \frac{s_x^2}{s_y^2} \leq 2,16; \quad 0,59 \leq \frac{s_x^2}{s_y^2} \leq 1,69; \quad 0,25 \leq \frac{s_x^2}{s_y^2} \leq 4,03$$

Pokud toto neplatí, nulová hypotéza H_0 se zamítá a přijímá se alternativní hypotéza H_1 .

Obsah kapitoly vychází z [1].

6.2.3 Statistická otázka č. 3

Nulová hypotéza H_0 se nezamítá, pokud platí vztah (42).

$$|\delta| \leq s_\delta \times t_{1-\alpha/2}(v) \quad (42)$$

Kde v je počet stupňů volnosti. Pro měření s provažovačem Zeiss PZL 100 je $v = 54$, pro měření s provažovačem Foif JC100 je $v = 114$ a pro totální stanici Leica TS06 je $v = 18$.

$$|\delta| \leq s_{\delta} \times t_{0,975}(54); \quad |\delta| \leq s_{\delta} \times t_{0,975}(114); \quad |\delta| \leq s_{\delta} \times t_{0,975}(18)$$

Kvantily t - rozdělení byly vypočteny v programu Microsoft Office Excel.

$$t_{0,975}(54) = 2,00; \quad t_{0,975}(114) = 1,98; \quad t_{0,975}(18) = 2,10$$

$$|\delta| \leq s_{\delta} \times 2,00; \quad |\delta| \leq s_{\delta} \times 1,98; \quad |\delta| \leq s_{\delta} \times 2,10$$

Pokud toto neplatí, nulová hypotéza H_0 se zamítá a přijímá se alternativní hypotéza H_1 .

Obsah kapitoly vychází z [1].

7 Výsledky analýzy přesnosti a statistických testů

7.1 Výledky pro Zeiss PZL 100

Číselné hodnoty měření, výsledky analýzy přesnosti a statistických testů pro optický provažovač Zeiss PZL 100 v horizontu 40.

7.1.1 Analýza přesnosti

Výsledky 1. série

Měření	1. poloha		2. poloha		Odchytky	
	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]	δx [cm]	δy [cm]
1	3,8	10,8	3,3	13,0	0,25	-1,10
2	3,8	10,8	3,3	12,7	0,25	-0,95
3	3,8	10,3	3,3	12,5	0,25	-1,10
4	3,8	10,8	3,3	13,0	0,25	-1,10
5	3,8	10,4	3,2	12,6	0,30	-1,10
6	3,8	10,4	3,3	12,6	0,25	-1,10
7	3,9	10,8	3,3	12,2	0,30	-0,70
8	3,8	10,8	3,4	12,2	0,20	-0,70
9	3,8	10,9	3,3	12,4	0,25	-0,75
10	3,8	10,8	3,3	13,0	0,25	-1,10
	Průměr 1. a 2. polohy		Celkový průměr 1. série		Opravy od průměru	
Měření	x [cm]	y [cm]	\bar{x} [cm]	\bar{y} [cm]	r_x [cm]	r_y [cm]
1	3,55	11,90	3,56	11,65	0,01	-0,25
2	3,55	11,75	Průměr odchylek		0,01	-0,10
3	3,55	11,40	$\delta \bar{x}$ [cm]	$\delta \bar{y}$ [cm]	0,01	0,25
4	3,55	11,90	0,26	-0,97	0,01	-0,25
5	3,50	11,50	Součet čtverců oprav		0,06	0,15
6	3,55	11,50	$\sum r_x^2$ [cm]	$\sum r_y^2$ [cm]	0,01	0,15
7	3,60	11,50	0,01	0,35	-0,04	0,15
8	3,60	11,50	Součet součtů čtverců		-0,04	0,15
9	3,55	11,65	$\sum r_i^2$ [cm]		0,01	0
10	3,55	11,90	0,36		0,01	-0,25
	Výběrové směrodatné odchytky					
	s_x [cm]	s_y [cm]	s_i [cm]			
	0,03	0,20	0,14			

Tab. 7.1.1a: Měření a zhodnocení přesnosti 1. série – Zeiss PZL 100

Z výsledků první série je vidět, že hodnoty souřadnice x, které byly odečítány pomocí kompenzované vodorovné rysky dalekohledu, jsou po zprůměrování první

a druhé polohy prakticky stejné. Rozdíl mezi maximální hodnotou zaměřenou v první poloze a minimální hodnotou zaměřenou v druhé poloze je 7 mm. Výběrová směrodatná odchylka souřadnice x je 0,3 mm.

Hodnoty souřadnice y byly odečítány svislou rýskou dalekohledu, tedy tou, která není kompenzována, ale je urovnávána méně přesnou trubicovou libelou, což lze z výsledků zpozorovat. Rozdíl mezi minimální hodnotou zaměřenou v první poloze a maximální hodnotou zaměřenou v druhé poloze je -27 mm. Pokud by to byl konstantní rozdíl, nemuselo by to značit chybu, protože se z hodnot dvou poloh počítá průměr. Opravy od průměru jsou však poměrně velké a nekonstantní. Výběrová směrodatná odchylka souřadnice y je 2 mm. Celková směrodatná polohová odchylka prováženého bodu v této sérii je pak 1,4 mm.

Výsledky 2. série

Měření	1. poloha		2. poloha		Odchylky	
	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]	δx [cm]	δy [cm]
1	3,8	13,2	3,3	14,7	0,25	-0,75
2	3,8	12,9	3,3	15,0	0,25	-1,05
3	3,8	13,0	3,3	14,6	0,25	-0,80
4	3,8	13,2	3,3	14,6	0,25	-0,70
5	3,8	13,2	3,3	14,6	0,25	-0,70
6	3,8	13,2	3,3	14,6	0,25	-0,70
7	3,8	13,0	3,3	14,7	0,25	-0,85
8	3,8	12,9	3,3	14,6	0,25	-0,85
9	3,8	12,8	3,3	14,7	0,25	-0,95
10	3,8	12,9	3,3	14,7	0,25	-0,90
	Průměr 1. a 2. polohy		Celkový průměr 1. série		Opravy od průměru	
Měření	x [cm]	y [cm]	\bar{x} [cm]	\bar{y} [cm]	r_x [cm]	r_y [cm]
1	3,55	13,95	3,55	13,86	0	-0,09
2	3,55	13,95	Průměr odchylek		0	-0,09
3	3,55	13,80	$\delta \bar{x}$ [cm]	$\delta \bar{y}$ [cm]	0	0,06
4	3,55	13,90	0,25	-0,83	0	-0,04
5	3,55	13,90	Součet čtverců oprav		0	-0,04
6	3,55	13,90	$\sum r_x^2$ [cm]	$\sum r_y^2$ [cm]	0	-0,04
7	3,55	13,85	0	0,05	0	0,01
8	3,55	13,75	Součet součtů čtverců		0	0,11
9	3,55	13,75	$\sum r_i^2$ [cm]		0	0,11
10	3,55	13,80	0,05		0	0,06
	Výběrové směrodatné odchylky					
	s_x [cm]	s_y [cm]	s_i [cm]			
	0	0,07	0,05			

Tab. 7.1.1b: Měření a zhodnocení přesnosti 2. série – Zeiss PZL 100

V druhé sérii jsou hodnoty souřadnice x téměř stejné jako v sérii první. Rozptyl od průměru je, při zaokrouhlování na 2 desetinná místa, nulový, tím pádem se i výběrová směrodatná odchylka s_x rovná nule.

Výrazně lepších výsledků oproti první sérii bylo dosaženo u souřadnice y . Hodnoty v rámci poloh jsou vyrovnanější. Největší oprava od průměru má hodnotu 1,1 mm. Výběrová směrodatná odchylka je 0,7 mm, což je téměř 3x méně než v první sérii. Samotná hodnota průměru však vůbec nekoresponduje s průměrnou hodnotou z první série. Rozdíl těchto průměrů je 22,1 mm.

Výsledky 3. série

Měření	1. poloha		2. poloha		Odchylky	
	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]	δx [cm]	δy [cm]
1	3,8	12,4	3,2	14,0	0,30	-0,80
2	3,8	11,9	3,3	13,9	0,25	-1,00
3	3,7	12,3	3,3	14,5	0,20	-1,10
4	3,8	12,3	3,3	14,1	0,25	-0,90
5	3,7	12,3	3,3	14,8	0,20	-1,25
6	3,7	12,3	3,3	14,7	0,20	-1,20
7	3,8	12,4	3,3	14,3	0,25	-0,95
8	3,7	12,4	3,3	14,1	0,20	-0,85
9	3,7	12,4	3,3	14,0	0,20	-0,80
10	3,7	12,3	3,3	14,4	0,20	-1,05
	Průměr 1. a 2. polohy		Celkový průměr 1. série		Opravy od průměru	
Měření	x [cm]	y [cm]	\bar{x} [cm]	\bar{y} [cm]	r_x [cm]	r_y [cm]
1	3,50	13,20	3,52	13,29	0,02	0,09
2	3,55	12,90	Průměr odchylek		-0,03	0,39
3	3,50	13,40	$\delta \bar{x}$ [cm]	$\delta \bar{y}$ [cm]	0,02	-0,11
4	3,55	13,20	0,23	-0,99	-0,03	0,09
5	3,50	13,55	Součet čtverců oprav		0,02	-0,26
6	3,50	13,50	$\sum r_x^2$ [cm]	$\sum r_y^2$ [cm]	0,02	-0,21
7	3,55	13,35	0,01	0,31	-0,03	-0,06
8	3,50	13,25	Součet součtů čtverců		0,02	0,04
9	3,50	13,20	$\sum r_i^2$ [cm]		0,02	0,09
10	3,50	13,35	0,32		0,02	-0,06
	Výběrové směrodatné odchylky					
	s_x [cm]	s_y [cm]	s_i [cm]			
	0,03	0,19	0,13			

Tab. 7.1.1c: Měření a zhodnocení přesnosti 3. série – Zeiss PZL 100

Hodnoty souřadnice x jsou opět skoro stejné jak v rámci srovnání poloh, tak při srovnání s předešlými sériemi. Výběrová směrodatná odchylka je 0,3 mm.

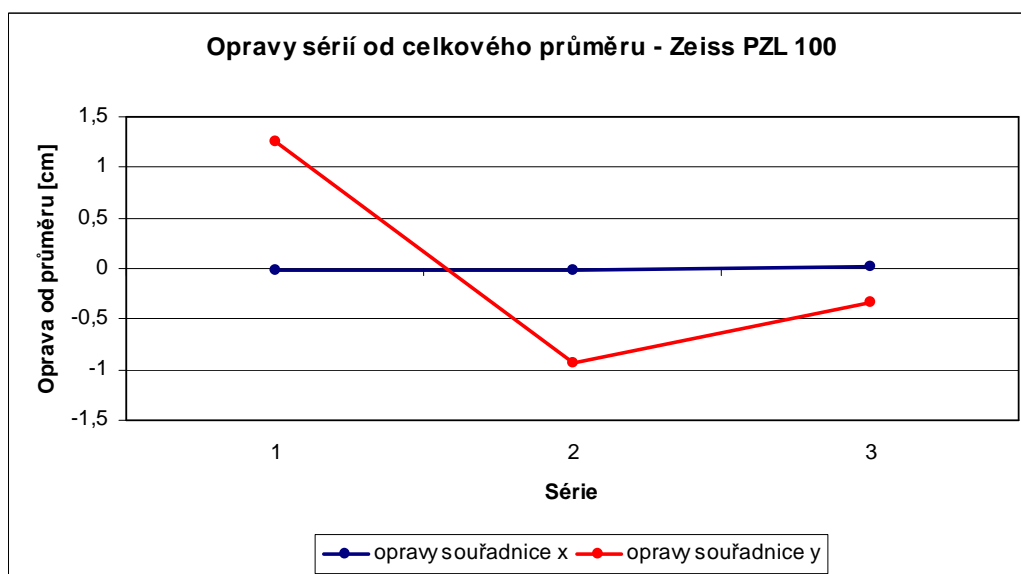
Hodnoty souřadnice y jsou velmi nevyrovnané. Hlavně ve druhé poloze, kde je rozdíl mezi minimální a maximální hodnotou 0,9 mm. Z tohoto vyplývají i velké opravy od průměru, kdy největší oprava má hodnotu 3,9 mm. Výběrová směrodatná odchylnka je 1,9 mm. Celková směrodatná polohová odchylnka prováženého bodu je 1,3 mm, tato hodnota odpovídá hodnotě z první série. Celkový průměr souřadnice y se však víc přibližuje k hodnotě z druhé série.

Celkové výsledky tří sérií – Zeiss PZL 100

Průměrné souřadnice prováženého bodu			
x [cm]	y [cm]		
3,54	12,93		
Celkové výběrové směrodatné odchylnky			
s _x [cm]	s _y [cm]	s [cm]	
0,03	0,16	0,12	
Opravy průměrů jednotlivých sérií od celkového průměru			Empirická směrodatná odchylnka
série	r _x [cm]	r _y [cm]	
1.	-0,02	1,28	
2.	-0,01	-0,93	
3.	0,02	-0,36	0,0000314
Průměrné odchylnky protějšších poloh od provažovací linie			
δ _x [cm]	δ _y [cm]	δ [cm]	s _δ [cm]
0,25	-0,93	0,96	0,02

Tab. 7.1.1d: Celkové výsledky tří sérií - Zeiss PZL 100

-při výpočtu empirické směrodatné odchylnky byla uvažována měřená výška provažování 38,2 m.



Obr. 7.1.1: Opravy sérií od celkového průměru – Zeiss PZL 100 [zdroj vlastní]

7.1.2 Statistické testy

Otázka č. 1

$$s_{ISO-plumb} \leq \sigma \times 1,16$$

$$s_{ISO-plumb} = 0,0000314$$

$$\sigma = 1mm / 100m = 0,00001$$

$$\sigma \times 1,16 = 0,00001 \times 1,16 = 0,0000116$$

$$**0,0000314 > 0,0000116**$$

Tab. 7.1.2a: Statistická otázka č. 1 – Zeiss PZL 100

Hodnota empirické směrodatné odchyly $s_{ISO-plumb}$ je téměř 3x větší než příslušná hodnota směrodatné odchyly udávaná výrobcem, tudíž se nulová hypotéza H_0 zamítá.

Otázka č. 2

$$0,46 \leq \frac{s_x^2}{s_y^2} \leq 2,16$$

$$s_x = 0,03$$

$$s_y = 0,16$$

$$\frac{s_x^2}{s_y^2} = 0,04$$

$$**0,04 < 0,46 < 2,16**$$

Tab. 7.1.2b: Statistická otázka č. 2 – Zeiss PZL 100

Hodnota výběrové směrodatné odchyly s_x není stejná jako hodnota výběrové směrodatné odchyly s_y , nulová hypotéza H_0 se proto zamítá.

Otázka č. 3

$ \delta \leq s_\delta \times 2,00$ $ \delta = 0,96$ $s_\delta = 0,02$ $s_\delta \times 2,00 = 0,04$ $0,96 > 0,04$
--

Tab. 7.1.3c: Statistická otázka č. 3 – Zeiss PZL 100

Hodnota odchylky protějších poloh od průměru je větší než dvojnásobná hodnota její směrodatné odchylky, nulová hypotéza H_0 se proto zamítá.

Na základě celkového zhodnocení přesnosti provázení a statistických testů pro optický provažovač Zeiss PZL 100 lze říci, že měření bylo zatíženo chybou. Toto tvrzení vychází především z hodnoty celkové výběrové směrodatné polohové odchylky prováženého bodu, která má být dle výrobce 1 mm / 100 m. Provázení bylo provedeno na vzdálenost menší než 40 m a výběrová směrodatná odchylka je 1,2 mm. Dalo by se předpokládat, že na takovéto vzdálenosti bude odchylka pokud ne menší, tak alespoň rovna 1 mm, což se bohužel nepotvrdilo. Při statistických testech byly všechny nulové hypotézy zamítnuty, což na chybu při měření také ukazuje.

Chyba z odečtení souřadnic byla vyloučena, jelikož je malá pravděpodobnost, že by se na jedné ose četlo konstantně stejně a na druhé se v odečtu dělaly chyby, zejména pokud se osy od sebe neliší, např. měřítkem nebo vzhledem. Dle výsledků zhodnocení souřadnice x lze říci, že kompenzátor pracoval správně, jelikož je rozptýl hodnot, jak v rámci jedné série, tak i v rámci porovnání sérií mezi sebou, minimální. Chyba tedy byla nejspíš na straně trubicové libely, která dorovnávala svislou rysku dalekohledu, kterou se odečítala souřadnice y . Měřením ve dvou polohách dalekohledu by se měla chyba z nepřesného urovnání této libely vyloučit. Nejspíš se tak jednalo o nějakou nahodilou chybu, která při otáčení mezi polohami a v trojnožce porušila urovnání přístroje. Mohla to způsobit například použitá redukce GP ať už vlastní konstrukcí, chybou v nasazení přístroje do této redukce nebo chybou nasazení redukce do trojnožky.

7.2 Výsledky pro Foif JC100 – horizont 40

Číselné hodnoty měření, výsledky analýzy přesnosti a statistických testů pro laserový provažovač Foif JC100 v horizontu 40.

7.2.1 Analýza přesnosti

Výsledky 1. série

Měření	1. poloha		2. poloha		3. poloha		4. poloha	
	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]
1	3,6	13,3	3,4	13,3	3,4	12,9	3,7	13,0
2	3,7	13,4	3,4	13,2	3,4	12,9	3,7	13,0
3	3,7	13,4	3,3	13,3	3,5	12,9	3,8	13,1
4	3,4	13,3	3,5	12,9	3,7	13,0	3,8	13,5
5	3,3	13,3	3,5	13,0	3,7	13,1	3,7	13,4
6	3,4	13,3	3,4	12,9	3,7	13,0	3,7	13,5
7	3,4	13,3	3,5	12,9	3,8	13,1	3,9	13,0
8	3,6	13,4	3,3	13,3	3,4	13,0	3,7	13,0
9	3,6	13,4	3,3	13,3	3,5	12,9	3,7	13,0
10	3,6	13,4	3,4	13,4	3,5	13,0	3,7	13,0
	Odchylka 1. a 3. polohy		Odchylka 2. a 4. polohy		Průměr 1. a 3. polohy		Průměr 2. a 4. polohy	
Měření	δx [cm]	δy [cm]	δx [cm]	δy [cm]	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]
1	0,10	0,20	-0,15	0,15	3,50	13,10	3,55	13,15
2	0,15	0,25	-0,15	0,10	3,55	13,15	3,55	13,10
3	0,10	0,25	-0,25	0,10	3,60	13,15	3,55	13,20
4	-0,15	0,15	-0,15	-0,30	3,55	13,15	3,65	13,20
5	-0,20	0,10	-0,10	-0,20	3,50	13,20	3,60	13,20
6	-0,15	0,15	-0,15	-0,30	3,55	13,15	3,55	13,20
7	-0,20	0,10	-0,20	-0,05	3,60	13,20	3,70	12,95
8	0,10	0,20	-0,20	0,15	3,50	13,20	3,50	13,15
9	0,05	0,25	-0,20	0,15	3,55	13,15	3,50	13,15
10	0,05	0,20	-0,15	0,20	3,55	13,20	3,55	13,20
	Celkový průměr 1. série		Celkový průměr odchylek		Opravy od průměru (1. a 3. poloha)		Opravy od průměru (2. a 4. poloha)	
	\bar{x} [cm]	\bar{y} [cm]	$\delta\bar{x}$ [cm]	$\delta\bar{y}$ [cm]	r_x [cm]	r_y [cm]	r_x [cm]	r_y [cm]
	3,56	13,16	-0,09	0,09	0,06	0,06	0,01	0,01
	Součet čtverců oprav		Součet součtů čtverců		0,01	0,01	0,01	0,06
					-0,04	0,01	0,01	-0,04
	$\sum r_x^2$ [cm]	$\sum r_y^2$ [cm]	$\sum r_i^2$ [cm]		0,01	0,01	-0,09	-0,04
	0,05	0,07	0,12		0,06	-0,04	-0,04	-0,04
	Výběrové směrodatné odchylky				0,01	0,01	0,01	-0,04
	s_x [cm]	s_y [cm]	s_i [cm]		-0,04	-0,04	-0,14	0,21
	0,05	0,06	0,06		0,06	-0,04	0,06	0,01
					0,01	0,01	0,06	0,01
					0,01	-0,04	0,01	-0,04

Tab. 7.2.1a: Měření a zhodnocení přesnosti 1. série – Foif JC100

Z hodnot výše je vidět, že kompenzátor pracuje stejně v obou osách. Největší rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou souřadnice x v rámci jedné polohy je 4 mm, v rámci všech poloh pak 6 mm. U souřadnice y je to v rámci jedné polohy 5 mm a v rámci všech poloh 6 mm. Téměř shodnou přesnost souřadnic x a y potvrzují i jejich výběrové směrodatné odchyly, které se liší jen o 0,1 mm. Celková směrodatná polohová odchylna prováženého bodu je 0,6 mm.

Výsledky 2. série

Měření	1. poloha		2. poloha		3. poloha		4. poloha	
	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]
1	3,3	13,2	3,5	13,0	3,9	13,1	3,5	13,4
2	3,3	13,2	3,6	12,9	3,8	13,1	3,6	13,5
3	3,3	13,1	3,5	13,0	3,7	13,2	3,6	13,4
4	3,3	13,2	3,5	13,0	3,7	13,1	3,7	13,4
5	3,4	13,2	3,5	13,0	3,8	13,1	3,6	13,5
6	3,3	13,2	3,5	12,9	3,8	13,1	3,7	13,4
7	3,3	13,1	3,6	12,9	3,9	13,2	3,7	13,3
8	3,3	13,2	3,5	12,9	3,8	13,2	3,5	13,4
9	3,3	13,1	3,5	13,0	3,8	13,1	3,6	13,4
10	3,3	13,3	3,6	12,8	3,8	13,1	3,7	13,5
	Odchylka 1. a 3. polohy		Odchylka 2. a 4. polohy		Průměr 1. a 3. polohy		Průměr 2. a 4. polohy	
Měření	δx [cm]	δy [cm]	δx [cm]	δy [cm]	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]
1	-0,30	0,05	0,00	-0,20	3,60	13,15	3,50	13,20
2	-0,25	0,05	0,00	-0,30	3,55	13,15	3,60	13,20
3	-0,20	-0,05	-0,05	-0,20	3,50	13,15	3,55	13,20
4	-0,20	0,05	-0,10	-0,20	3,50	13,15	3,60	13,20
5	-0,20	0,05	-0,05	-0,25	3,60	13,15	3,55	13,25
6	-0,25	0,05	-0,10	-0,25	3,55	13,15	3,60	13,15
7	-0,30	-0,05	-0,05	-0,20	3,60	13,15	3,65	13,10
8	-0,25	0,00	0,00	-0,25	3,55	13,20	3,50	13,15
9	-0,25	0,00	-0,05	-0,20	3,55	13,10	3,55	13,20
10	-0,25	0,10	-0,05	-0,35	3,55	13,20	3,65	13,15
	Celkový průměr 1. série		Celkový průměr odchylek		Opravy od průměru (1. a 3. poloha)		Opravy od průměru (2. a 4. poloha)	
	\bar{x} [cm]	\bar{y} [cm]	$\delta\bar{x}$ [cm]	$\delta\bar{y}$ [cm]	r_x [cm]	r_y [cm]	r_x [cm]	r_y [cm]
	3,57	13,17	-0,15	-0,11	-0,03	0,02	0,07	-0,03
	Součet čtverců oprav		Součet součtů čtverců		0,02	0,02	-0,03	-0,03
	$\sum r_x^2$ [cm]	$\sum r_y^2$ [cm]	$\sum r_i^2$ [cm]		0,07	0,02	-0,03	-0,03
	0,04	0,03	0,07		-0,03	0,02	0,02	-0,08
	Výběrové směrodatné odchylky				0,02	0,02	-0,03	0,02
	s_x [cm]	s_y [cm]	s_i [cm]		-0,03	0,02	-0,08	0,07
	0,05	0,04	0,04		0,02	-0,03	0,07	0,02
					0,02	0,07	0,02	-0,03
					0,02	-0,03	-0,08	0,02

Tab. 7.2.1b: Měření a zhodnocení přesnosti 2. série – Foif JC100

Druhá série je o něco vyrovnanější, co se týče hodnot jedné polohy, než první série. Největší rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou souřadnice x v rámci jedné polohy jsou 2 mm, v rámci všech poloh pak 6 mm. U souřadnice y je to v rámci jedné polohy 2 mm a v rámci všech poloh 7 mm. Opět téměř shodnou přesnost souřadnic x

a y potvrzují jejich výběrové směrodatné odchylky, které se liší jen o 0,1 mm. Celková směrodatná polohová odchylka prováženého bodu je 0,4 mm.

Výsledky 3. série

Měření	1. poloha		2. poloha		3. poloha		4. poloha	
	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]
1	3,6	12,9	3,9	13,3	3,3	13,5	3,3	13,0
2	3,7	13,0	3,9	13,3	3,4	13,5	3,5	13,0
3	3,6	12,9	3,7	13,3	3,3	13,6	3,4	13,0
4	3,7	12,9	3,9	13,3	3,5	13,4	3,4	13,0
5	3,6	12,9	3,9	13,3	3,5	13,4	3,3	13,1
6	3,6	13,0	3,9	13,3	3,3	13,5	3,3	13,0
7	3,7	13,0	3,9	13,4	3,4	13,3	3,3	13,0
8	3,5	12,9	3,8	13,2	3,4	13,4	3,5	13,1
9	3,7	13,0	3,9	13,3	3,3	13,5	3,4	13,1
10	3,6	13,0	3,8	13,3	3,3	13,4	3,3	13,0
	Odchylka 1. a 3. polohy		Odchylka 2. a 4. polohy		Průměr 1. a 3. polohy		Průměr 2. a 4. polohy	
Měření	δx [cm]	δy [cm]	δx [cm]	δy [cm]	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]
1	0,15	-0,30	0,30	0,15	3,45	13,20	3,60	13,15
2	0,15	-0,25	0,20	0,15	3,55	13,25	3,70	13,15
3	0,15	-0,35	0,15	0,15	3,45	13,25	3,55	13,15
4	0,10	-0,25	0,25	0,15	3,60	13,15	3,65	13,15
5	0,05	-0,25	0,30	0,10	3,55	13,15	3,60	13,20
6	0,15	-0,25	0,30	0,15	3,45	13,25	3,60	13,15
7	0,15	-0,15	0,30	0,20	3,55	13,15	3,60	13,20
8	0,05	-0,25	0,15	0,05	3,45	13,15	3,65	13,15
9	0,20	-0,25	0,25	0,10	3,50	13,25	3,65	13,20
10	0,15	-0,20	0,25	0,15	3,45	13,20	3,55	13,15
	Celkový průměr 1. série		Celkový průměr odchylek		Opravy od průměru (1. a 3. poloha)		Opravy od průměru (2. a 4. poloha)	
	\bar{x} [cm]	\bar{y} [cm]	$\delta \bar{x}$ [cm]	$\delta \bar{y}$ [cm]	r_x [cm]	r_y [cm]	r_x [cm]	r_y [cm]
	3,56	13,18	0,19	-0,06	0,11	-0,02	-0,04	0,03
	Součet čtverců oprav		Součet součtů čtverců		0,01	-0,07	-0,14	0,03
	$\sum r_x^2$ [cm]	$\sum r_y^2$ [cm]	$\sum r_i^2$ [cm]		0,11	-0,07	0,01	0,03
	0,12	0,03	0,15		-0,04	0,03	-0,09	0,03
	Výběrové směrodatné odchylky				0,01	0,03	-0,04	-0,02
	s_x [cm]	s_y [cm]	s_i [cm]		0,11	-0,07	-0,04	0,03
	0,08	0,04	0,06		0,01	0,03	-0,04	-0,02
					0,11	0,03	-0,09	0,03
					0,06	-0,07	-0,09	-0,02
					0,11	-0,02	0,01	0,03

Tab. 7.2.1c: Měření a zhodnocení přesnosti 3. série – Foif JC100

Největší rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou souřadnice x v rámci jedné polohy jsou 2 mm, v rámci všech poloh pak 6 mm. U souřadnice y je to v rámci jedné

polohy 3 mm a v rámci všech poloh 7 mm. Výběrové směrodatné odchylky souřadnic x a y se v této skupině liší o 0,4 mm, kdy horší přesnost má souřadnice x . Celková směrodatná polohová odchylka prováženého bodu je 0,6 mm.

Celkové výsledky tří sérií – Foif JC100

Průměrné souřadnice prováženého bodu			
x [cm]	y [cm]		
3,56	13,17		
Celkové výběrové směrodatné odchylky			
s _x [cm]	s _y [cm]	s [cm]	
0,06	0,05	0,05	
Opravy průměrů jednotlivých sérií od celkového průměru			
série	r _x [cm]	r _y [cm]	Empirická směrodatná odchylka
1.	0,00	0,01	
2.	-0,01	0,00	
3.	0,00	-0,01	
Průměrné odchylky protějších poloh od provažování linie			
δ _x [cm]	δ _y [cm]	δ [cm]	s _δ [cm]
-0,02	-0,03	0,04	0,01

Tab. 7.2.1d: Celkové výsledky tří sérií – Foif JC100

7.2.2 Statistické testy

Otázka č. 1

$$s_{ISO-plumb} \leq \sigma \times 1,11$$
$$s_{ISO-plumb} = 0,0000131$$
$$\sigma = 1mm / 100m = 0,00001$$
$$\sigma \times 1,11 = 0,00001 \times 1,11 = 0,0000111$$
$$**0,0000131 > 0,0000111**$$

Tab. 7.2.2a: Statistická otázka č. 1 – Foif JC100

Hodnota empirické směrodatné odchylky $s_{ISO-plumb}$ je o něco málo větší než příslušná hodnota směrodatné odchylky udávaná výrobcem, tudíž se nulová hypotéza H_0 zamítá.

Otázka č. 2

$$0,59 \leq \frac{s_x^2}{s_y^2} \leq 1,69$$

$$s_x = 0,06$$

$$s_y = 0,05$$

$$\frac{s_x^2}{s_y^2} = 1,44$$

$$0,59 < 1,44 < 1,69$$

Tab. 7.2.2b: Statistická otázka č. 2 – Foif JC100

Hodnota výběrové směrodatné odchytky s_x je velmi blízká hodnotě výběrové směrodatné odchytky s_y , nulová hypotéza H_0 se proto nezamítá.

Otázka č. 3

$$|\delta| \leq s_\delta \times 1,98$$

$$|\delta| = 0,04$$

$$s_\delta = 0,01$$

$$s_\delta \times 1,98 = 0,02$$

$$0,04 > 0,02$$

Tab. 7.2.2c: Statistická otázka č. 3 – Foif JC100

Hodnota odchytky δ je větší než dvojnásobná hodnota její směrodatné odchytky, nulová hypotéza H_0 se proto zamítá.

Na základě celkového zhodnocení přesnosti provázení a statistických testů pro laserový provažovač Foif JC100 lze říci, že přesnost v obou souřadnicích je velmi podobná, jejich výběrové směrodatné odchytky se liší pouze o 0,1 mm. Výběrová směrodatná polohová odchytka prováženého bodu je 0,5 mm. Při statistických testech se ovšem přijala pouze jedna nulová hypotéza a to právě ta, která tvrdí, že se výběrové směrodatné odchytky souřadnic x a y neliší. U dvou zbývajících testů byla nulová hypotéza zamítnuta, ale na rozdíl od optického provažovače Zeiss PZL 100 je vidět, že

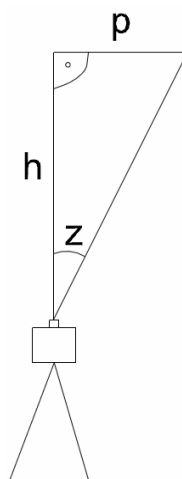
podmínky u těchto testů nebyly splněny jen o malé hodnoty. Mohly to způsobit nahodilé chyby při odečítání souřadnic na terči, jelikož laserová stopa měla poměrně velký průměr, její střed byl odhadován. K přesnějšímu určení středu by možná dopomohl elektronický detektor stopy.

7.3 Výsledky pro Leica TS06

Číselné hodnoty měření a výsledky analýzy přesnosti totální stanice Leica TS06 v horizontu 40.

7.3.1 Přesnost provázení totální stanicí Leica TS06

Aby mohlo být provázení totální stanicí Leica TS06 podrobena statistickému testu, je nutné znát předpokládanou přesnost provázení. Jinak řečeno je nutné znát stejnou hodnotu jako u optického a laserového provažovače, která je v jejich případě přímo uvedena výrobcem jako střední chyba provázení. Tato hodnota musela být pro totální stanici vypočtena. Při výpočtu se vycházelo z Obr. 7.3.1.



Obr. 7.3.1: Odvození směrodatné odchylky provázení - Leica TS06 [zdroj vlastní]

Kde h je výška, do které se provažuje, z je zenitový úhel a p posun prováženého bodu. Přesnost provázení se pak odvodila ze vztahu (43) pro výpočet posunu.

$$p = \operatorname{tg}(z) \times h \quad (43)$$

Na vztah (43) se aplikoval Zákon hromadění směrodatných odchylek a výsledkem byl vztah (44) pro výpočet směrodatné odchylky provázení.

$$\sigma_p^2 = \operatorname{tg}(z)^2 \cdot \sigma_h^2 + \frac{h^2}{\cos(z)^4} \cdot \sigma_z^2 \cdot \frac{\pi^2}{200^2} \quad (44)$$

Jelikož se zenitový úhel při provažování rovnal 0 gon, odpadl ze vzorce vliv přesnosti výšky provažování neboli vliv měřené délky. Vzorec se pak upravil na tvar (45).

$$\sigma_p = h \cdot \sigma_z \cdot \frac{\pi}{200} \quad (45)$$

Do vztahu (45) se pak za σ_z dosadila přesnost směru udávaná výrobcem, tj. 0,6 mgon, a za h se dosadila nejprve provažovaná výška 38,2 m a poté i obecná výška 100 m. Výsledné očekávané směrodatné odchylky provázení jsou uvedeny v Tab. 7.3.1.

Očekávané směrodatné odchylky provázení totální stanicí Leica TS06	
h [m]	σ_p [mm]
38,2	0,4
100	0,9

Tab. 7.3.1: Očekávané směrodatné odchylky provázení totální stanicí Leica TS06

Přesnost provažování na 100 m je dle výpočtu velmi podobná přesnosti optického a laserového provažovače, která je 1 mm / 100 m.

7.3.2 Analýza přesnosti

	1. poloha		2. poloha		Odchylky	
Měření	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]	δx [cm]	δy [cm]
1	3,7	13,6	3,8	12,8	-0,05	0,40
2	3,7	13,6	3,8	12,8	-0,05	0,40
3	3,6	13,6	3,9	12,9	-0,15	0,35
4	3,7	13,6	3,7	12,9	0,00	0,35
5	3,7	13,6	3,7	12,9	0,00	0,35
6	3,7	13,5	3,8	12,9	-0,05	0,30
7	3,7	13,6	3,7	12,9	0,00	0,35
8	3,7	13,5	3,8	13	-0,05	0,25
9	3,7	13,6	3,7	12,9	0,00	0,35
10	3,7	13,5	3,8	12,9	-0,05	0,30
	Průměr 1. a 2. polohy		Celkový průměr 1. série		Opravy od průměru	
Měření	x [cm]	y [cm]	\bar{x} [cm]	\bar{y} [cm]	r_x [cm]	r_y [cm]
1	3,75	13,20	3,73	13,23	-0,02	0,03
2	3,75	13,20	Průměr odchylek		-0,02	0,03
3	3,75	13,25	$\delta \bar{x}$ [cm]	$\delta \bar{y}$ [cm]	-0,02	-0,02
4	3,70	13,25	-0,04	0,34	0,03	-0,02
5	3,70	13,25	Součet čtverců oprav		0,03	-0,02
6	3,75	13,20	$\sum r_x^2$ [cm]	$\sum r_y^2$ [cm]	-0,02	0,03
7	3,70	13,25	0,01	0,01	0,03	-0,02
8	3,75	13,25	Součet součtů čtverců		-0,02	-0,02
9	3,70	13,25	$\sum r_i^2$ [cm]		0,03	-0,02
10	3,75	13,20	0,02		-0,02	0,03
	Výběrové směrodatné odchylky			Empirická směrodatná odchylka		
	s_x [cm]	s_y [cm]	s_i [cm]	SISO-plumb		
	0,03	0,03	0,03	0,0000087		
	Odchylka δ [cm]			Odchylka odchylky s_δ [cm]		
	0,34			0,01		

Tab. 7.3.2: Měření a zhodnocení přesnosti – Leica TS06

7.3.3 Statistické testy

Otázka č. 1

$$\begin{aligned} s_{ISO-plumb} &\leq \sigma \times 1,27 \\ s_{ISO-plumb} &= 0,0000087 \\ \sigma &= 0,9mm / 100m = 0,000009 \\ \sigma \times 1,27 &= 0,000009 \times 1,27 = 0,0000114 \\ \mathbf{0,0000087 < 0,0000114} \end{aligned}$$

Tab. 7.3.3a: Statistická otázka č. 1 – Leica TS06

Hodnota empirické směrodatné odchyly $s_{ISO-plumb}$ je menší než příslušná hodnota směrodatné odchyly vypočtené v Kap. 7.3.1, tudíž se nulová hypotéza H_0 nezamítá.

Otázka č. 2

$$\begin{aligned} 0,25 &\leq \frac{s_x^2}{s_y^2} \leq 4,03 \\ s_x &= 0,03 \\ s_x &= 0,03 \\ \frac{s_x^2}{s_y^2} &= 1,00 \\ \mathbf{0,25 < 1,00 < 4,03} \end{aligned}$$

Tab. 7.3.3b: Statistická otázka č. 2 – Leica TS06

Hodnota výběrové směrodatné odchyly s_x je stejná jako hodnota výběrové směrodatné odchyly s_y , nulová hypotéza H_0 se proto nezamítá.

Otázka č. 3

$$\begin{aligned} |\delta| &\leq s_\delta \times 2,10 \\ |\delta| &= 0,34 \\ s_\delta &= 0,01 \\ s_\delta \times 2,10 &= 0,02 \\ \mathbf{0,34 > 0,02} \end{aligned}$$

Tab. 7.3.3c: Statistická otázka č. 3 – Leica TS06

Hodnota odchyly δ je větší než dvojnásobná hodnota její směrodatné odchyly, nulová hypotéza H_0 se proto zamítá.

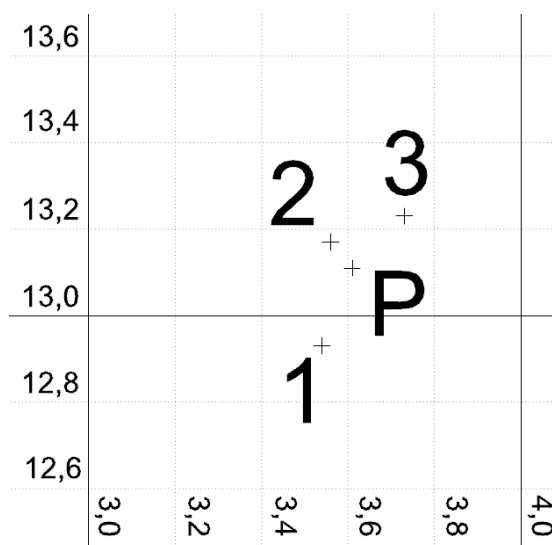
Největší rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou souřadnice x v rámci jedné polohy jsou 2 mm, v rámci obou poloh pak 3 mm. U souřadnice y jsou to v rámci jedné polohy 2 mm, ale v rámci obou poloh 8 mm. Výběrové směrodatné odchyly souřadnic x a y se neliší. Výběrová směrodatná polohová odchylna prováženého bodu je 0,3 mm. Při statistickém testování se nulová hypotéza nezamítla u prvního a druhého testu.

7.4 Celkové zhodnocení provázení v horizontu 40

Pro porovnání jsou v Tab. 7.4a uvedeny výsledné souřadnice prováženého bodu od každého přístroje.

Souřadnice bodu prováženého jednotlivými přístroji			
Označení	Přístroj	x [cm]	y [cm]
1	Zeiss PZL 100	3,54	12,93
2	Foif JC100	3,56	13,17
3	Leica TS06	3,73	13,23
P	Průměr	3,61	13,11

Tab. 7.4a: Souřadnice bodu prováženého jednotlivými přístroji



Obr. 7.4a: Pozice bodů na čtvercové mřížce [zdroj vlastní]

Z Tab. 7.4a a Obr. 7.4a je vidět, že nejbližší průměru se nachází bod provážený laserovým provažovačem Foif JC100, což je pozitivní, jelikož právě tento bod byl zaměřen totální stanicí pro další využití při výpočtu polohové složky nově stabilizovaných bodů. V největší vzdálenosti od průměru je pak bod provážený optickým provažovačem Zeiss PZL 100. Pro porovnání jsou v Tab. 7.4b uvedeny výběrové směrodatné odchylky souřadnic prováženého bodu jednotlivými přístroji.

Výběrové směrodatné odchylky souřadnic			
Přístroj	s_x [cm]	s_y [cm]	s [cm]
Zeiss PZL 100	0,03	0,16	0,12
Foif JC100	0,06	0,05	0,05
Leica TS06	0,03	0,03	0,03

Tab. 7.4b: Výběrové směrodatné odchylky souřadnic

Z tabulky je vidět, že velmi přesně byla souřadnice x měřena přístrojem Zeiss PZL 100, ale zároveň má tento přístroj velmi velkou hodnotu odchylky v souřadnici y , více než 3x větší než Foif JC100 a více než 5x větší než Leica TS06. Jak již bylo zmíněno výše, je to velmi pravděpodobně zapříčiněno chybou při měření.

Na pomyslném druhém místě, co se přesnosti týče, je laserový provažovač Foif JC100. Tento přístroj prokázal velmi slušnou vyrovnanost mezi jednotlivými sériemi, kdy se průměry souřadnic lišily maximálně o 0,2 mm. Nesplnil však očekávanou přesnost provažování do výšky 38 m.

Nejlepší přesnost vykazuje totální stanice Leica TS06, směrodatné odchylky obou souřadnic jsou téměř 2x menší než u přístroje Foif JC100. Leica TS06 je také jediný přístroj, který dle statistického testu splnil očekávanou přesnost provažování. Totální stanicí však bylo měřeno jen v jedné sérii. Otázkou tedy je, jestli by na přesnost mělo vliv otočení přístroje v trojnožce při měření více sérií.

Se všemi přístroji je však velmi důležité provažovat alespoň ve dvou polohách navzájem otočených o 200 gon. Rozdíly mezi polohami totiž dosahují poměrně velkých hodnot. U laserového provažovače je to až 7 mm, u totální stanice až 8 mm. Výsledné souřadnice prováženého bodu se pak určí aritmetickým průměrem z měření ve více polohách.

Na přesnost provážení má rozhodně velký vliv schopnost správně určit střed laserové stopy. S narůstající výškou stopa zvětšuje svůj průměr a tím pádem je i více složitější střed určit. Zvláště u totální stanice, kdy stopa navíc neměla kruhový, ale elipsový tvar velkých rozměrů.

7.5 Výsledky pro Foif JC100 – horizont 20

Číselné hodnoty měření, výsledky analýzy přesnosti a statistických testů pro laserový provažovač Foif JC100 v horizontu 20.

7.5.1 Analýza přesnosti

Měření	1. poloha		2. poloha		Odchytky	
	x [cm]	y [cm]	x [cm]	y [cm]	δx [cm]	δy [cm]
1	3,3	14,2	3,5	14,0	-0,10	0,10
2	3,3	14,3	3,4	14,1	-0,05	0,10
3	3,3	14,3	3,4	14,1	-0,05	0,10
4	3,3	14,3	3,4	14,1	-0,05	0,10
5	3,3	14,3	3,4	14,1	-0,05	0,10
6	3,3	14,3	3,5	14,1	-0,10	0,10
7	3,3	14,3	3,4	14,1	-0,05	0,10
8	3,3	14,3	3,4	14,1	-0,05	0,10
9	3,3	14,3	3,4	14,1	-0,05	0,10
10	3,3	14,3	3,4	14,1	-0,05	0,10
	Průměr 1. a 2. polohy		Celkový průměr 1. série		Opravy od průměru	
Měření	x [cm]	y [cm]	\bar{x} [cm]	\bar{y} [cm]	r_x [cm]	r_y [cm]
1	3,40	14,10	3,36	14,19	-0,04	0,09
2	3,35	14,20	Průměr odchylek		0,01	-0,01
3	3,35	14,20	$\delta \bar{x}$ [cm]	$\delta \bar{y}$ [cm]	0,01	-0,01
4	3,35	14,20	-0,06	0,10	0,01	-0,01
5	3,35	14,20	Součet čtverců oprav		0,01	-0,01
6	3,40	14,20	$\sum r_x^2$ [cm]	$\sum r_y^2$ [cm]	-0,04	-0,01
7	3,35	14,20	0,004	0,01	0,01	-0,01
8	3,35	14,20	Součet součtů čtverců		0,01	-0,01
9	3,35	14,20	$\sum r_i^2$ [cm]		0,01	-0,01
10	3,35	14,20	0,014		0,01	-0,01
	Výběrové směrodatné odchytky			Empirická směrodatná odchytky		
	s_x [cm]	s_y [cm]	s_i [cm]	$s_{ISO-plumb}$		
	0,02	0,03	0,03	0,0000158		
	Odchytky δ [cm]			Odchytky odchytky s_δ [cm]		
	0,12			0,01		

Tab. 7.5.1: Měření a zhodnocení přesnosti, horizont 20 – Foif JC100

7.5.2 Statistické testy

Otázka č. 1

$$\begin{aligned} s_{ISO-plumb} &\leq \sigma \times 1,27 \\ s_{ISO-plumb} &= 0,0000158 \\ \sigma &= 1mm / 100m = 0,00001 \\ \sigma \times 1,27 &= 0,00001 \times 1,27 = 0,0000127 \\ \mathbf{0,0000158 > 0,0000127} \end{aligned}$$

Tab. 7.5.2a: Statistická otázka č. 1, horizont 20 – Foif JC100

Hodnota empirické směrodatné odchylky $s_{ISO-plumb}$ je větší než příslušná hodnota směrodatné odchylky udávaná výrobcem, tudíž se nulová hypotéza H_0 zamítá.

Otázka č. 2

$$\begin{aligned} 0,25 &\leq \frac{s_x^2}{s_y^2} \leq 4,03 \\ s_x &= 0,02 \\ s_y &= 0,03 \\ \frac{s_x^2}{s_y^2} &= 0,44 \\ \mathbf{0,25 < 0,44 < 4,03} \end{aligned}$$

Tab. 7.5.2b: Statistická otázka č. 2, horizont 20 – Foif JC100

Hodnota výběrové směrodatné odchylky s_x je velmi blízká hodnotě výběrové směrodatné odchylky s_y , nulová hypotéza H_0 se proto nezamítá.

Otázka č. 3

$$|\delta| \leq s_\delta \times 2,10$$

$$|\delta| = 0,12$$

$$s_\delta = 0,01$$

$$s_\delta \times 2,10 = 0,02$$

$$\mathbf{0,12 > 0,02}$$

Tab. 7.5.2c: Statistická otázka č. 3, horizont 20 – Foif JC100

Hodnota odchyly δ je větší než dvojnásobná hodnota její směrodatné odchyly, nulová hypotéza H_0 se proto zamítá.

Měření má celkově malý rozptyl. V obou souřadnicích je rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou v rámci polohy 1 mm, v rámci obou poloh jsou to u souřadnice x 2 mm a u souřadnice y 3 mm. Opravy od průměru jsou převážně 0,1 mm. Výběrová směrodatná polohová odchyly prováženého bodu je 0,3 mm. Statistický test na očekávanou směrodatnou odchyly provážení však přístroj opět nesplnil.

Pro srovnání provážení přístrojem Foif JC100 v horizontu 20 a horizontu 40 slouží Tab. 7.5.2d.

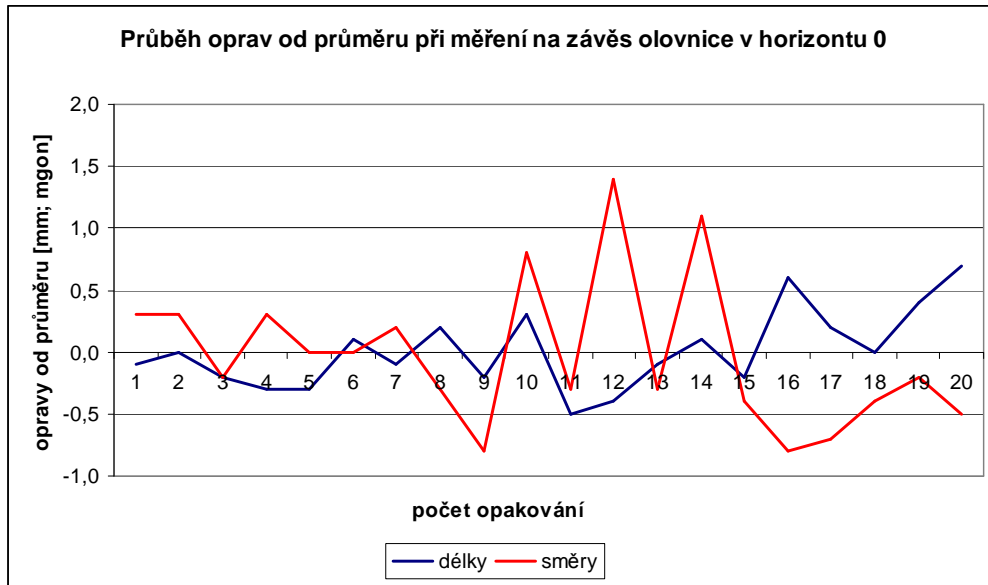
Výběrové směrodatné odchyly v horizontu 20 a 40 – Foif JC100			
Horizont	s_x [cm]	s_y [cm]	s [cm]
20	0,02	0,03	0,03
40	0,06	0,05	0,05

Tab. 7.5.2d: Výběrové směrodatné odchyly v horizontu 20 a 40 – Foif JC100

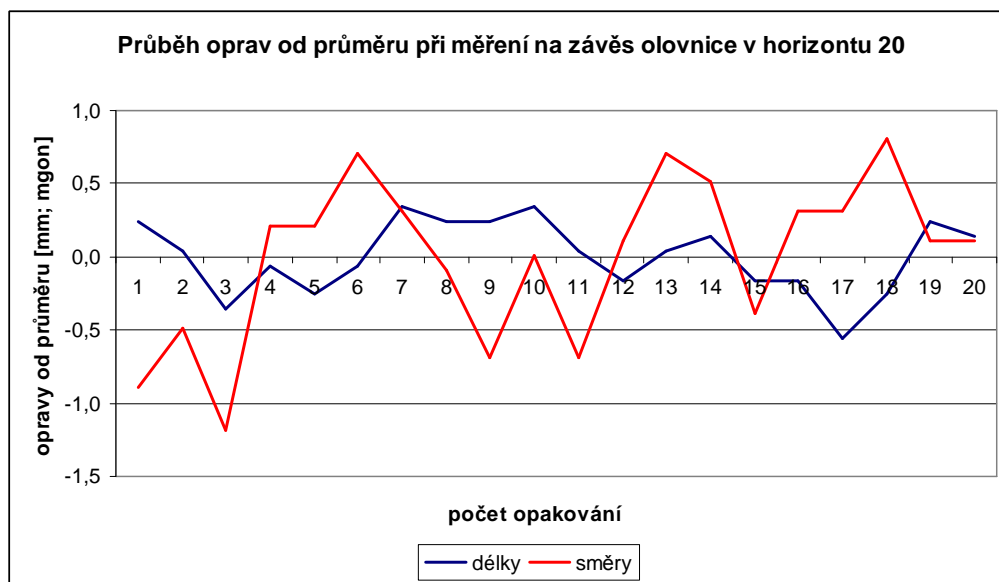
Hodnoty výběrových směrodatných odchyly vypovídají o tom, že se přesnost zhoršuje s narůstající provažovanou výškou. Ve dvojnásobné výšce je skoro dvakrát horší přesnost prováženého bodu.

7.6 Analýza kyvů důlní olovnice

Jak bylo uvedeno v Kap. 5.1, v horizontu 0 a 20 se provedlo kontrolní měření na terčích na závěsu olovnice z důvodu ověření jeho nehybnosti. Měřily se délky a vodorovné směry 20x v jedné poloze dalekohledu, což bylo pro tento test dostačující. Poté se vypočetly průměrné délky a směry a vypočítaly se opravy od těchto průměrů, které se, kvůli lepší vizuální kontrole, vynesly do grafů.



Obr. 7.6a: Průběh oprav od průměru při měření na závěs olovnice v horizontu 0 [zdroj vlastní]



Obr. 7.6b: Průběh oprav od průměru při měření na závěs olovnice v horizontu 20 [zdroj vlastní]

Z grafů lze vidět, že jak opravy délek, tak opravy směrů nemají systematický průběh. Větší hodnoty oprav u směrů byly pravděpodobně způsobeny nepatrnou chybou v zacílení, jelikož se na závěs měřilo z poměrně malé vzdálenosti. Nakonec byly z oprav vypočteny výběrové směrodatné odchytky směrů a délek, viz Tab. 7.6c. Tyto hodnoty se poté využily při dalším testování. Obsah kapitoly vychází z [2].

Výběrové směrodatné odchytky směru a délky – olovnice		
horizont	s_{φ_0} [mgon]	s_{d_0} [mm]
0	0,60	0,32
20	0,56	0,25

Tab. 7.6c: Výběrové směrodatné odchytky směru a délky – olovnice



8 Pozorování změn absolutních souřadnic provažovaných bodů

Provázení v této práci nesloužilo jen k otestování použitých metod, ale také přímo dopomohlo k tvorbě nového bodového pole. Na této tvorbě se podílel Bc. Lukáš Vais, který určoval polohovou složku a Bc. David Hanousek, který určoval výškovou složku nových bodů. Hodnocení v této kapitole bylo provedeno za pomoci vyrovnání metodou nejmenších čtverců, kterým se souřadnice nových bodů spočetly. Samotné vyrovnání bylo provedeno v programu GNU Gama – local a vstupní soubor do tohoto vyrovnání, na kterém bylo následně testování provázení provedeno, byl převzat od Bc. Vaise, v jehož práci [3] je popsán postup, který samotnému vytvoření vstupního souboru vyrovnání předcházelo. Do tohoto souboru už bylo kolegou Vaisem zaneseno i měření na olovnici a na bod provážený laserovým provažovačem. Verze souboru sice nebyla konečná, ale na testování v této kapitole tento fakt neměl vliv.

Princip hodnocení spočíval v tom, že se různě měnila konfigurace vstupního souboru, konkrétně měřených dat a jejich přesnosti týkající se provažovaných bodů. Jednotlivé konfigurované vstupní soubory pak byly vyrovnány a výsledkem byly souřadnice provažovaných bodů v S - JTSK, které se porovnávaly s referenčními souřadnicemi a mezi sebou. Jako referenční byly zvoleny souřadnice vypočtené ze základního tvaru vstupního souboru poskytnutého Bc. Vaisem, viz Tab. 8.

Referenční souřadnice provážených bodů v S – JTSK		
Bod	X [m]	Y [m]
olovnice	1081472,2278	753304,3883
laser	1081472,0953	753304,0128

Tab. 8: Referenční souřadnice provážených bodů v S – JTSK

8.1 Rozdělení laseru na jednotlivé body

Při tomto pokusu se provažování laserovým provažovačem Foif JC100 neuvažovalo jako provažování jednoho bodu, ale rozdělilo se na tři body, pro každý horizont jeden. Učinilo se tak z toho důvodu, aby se zjistilo, jestli a popřípadě o kolik se

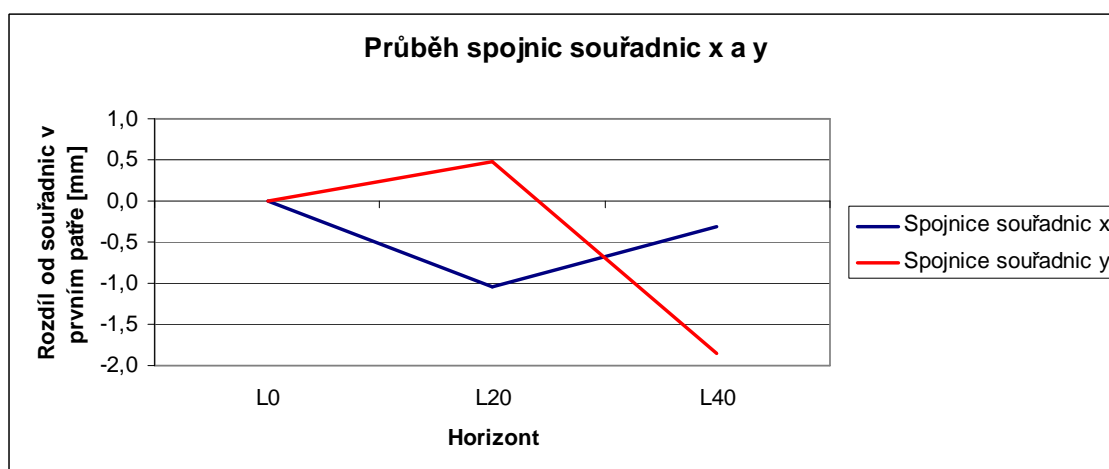


tyto tři body liší a jestli se jejich pomyslná spojnice naklání, od prvního do třetího patra, ve stejném směru, což by mohlo znamenat, že byl laserový paprsek odkloněn od svislice. Provážení důlní olovnice bylo ve vyrovnání reprezentováno jedním bodem. V Tab. 8.1 jsou uvedeny souřadnice jednotlivých bodů, kde jsou označeny písmenem L a příslušným číslem horizontu. Dále jsou v tabulce opravy od referenčních souřadnic a pro srovnání i souřadnice bodu prováženého důlní olovnice.

Souřadnice bodů provážených laserovým provažovačem rozdělené do pater				
Bod	X [m]	Y [m]	v_x [mm]	v_y [mm]
L0	1081472,0948	753304,0129	0,5	-0,1
L20	1081472,0958	753304,0124	-0,5	0,4
L40	1081472,0951	753304,0147	0,2	-1,9
olovnice	1081472,2273	753304,3879	0,5	0,4

Tab. 8.1: Souřadnice bodů provážených laserovým provažovačem do jednotlivých pater

Z Tab. 8.1 je vidět, že souřadnice bodů jsou si velmi podobné, výrazněji se od referenčních souřadnic liší pouze bod L3 v souřadnici Y a to přibližně o 2 mm, což mohlo být způsobeno nižší přesností provážení v horizontu 40.



Obr. 8.1: Průběh spojnic souřadnic x a y [zdroj vlastní]

Z Obr. 8.1 je vidět, že se pomyslná spojnice bodů ve druhém patře lomí, to znamená, že by laserový paprsek neměl být v konstantním směru odkloněn od svislice.

8.2 Rozdělení laseru na jednotlivé body s uvážením přesnosti provažování

Pokus proběhl stejně jako předchozí s tím rozdílem, že se při vyrovnání upravily přesnosti hodnot měřených na provážené body. Zkombinovala se tak přesnost měření totální stanicí a přesnost provážení v jednotlivých patrech.

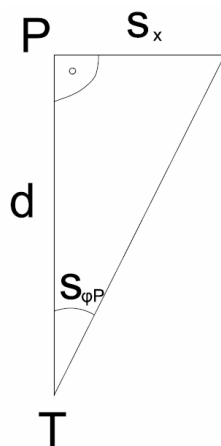
Výpočet kombinované přesnosti

Při analýze přesnosti provažování byly zjištěny výběrové směrodatné odchytky s_x a s_y , konkrétní hodnoty pro patra jsou zopakovány v Tab. 8.2a.

Výběrové směrodatné odchytky v horizontu 20 a 40 – Foif JC100		
horizont	s_x [mm]	s_y [mm]
20	0,2	0,3
40	0,6	0,5

Tab. 8.2a: Výběrové směrodatné odchytky v horizontu 20 a 40 – Foif JC100

Terč, na kterém se odečítaly souřadnice provážených bodů, byl v obou patrech orientován, při zaměřování prováženého bodu, osou x přibližně kolmo na záměrnou přímkou totální stanice. Výběrová směrodatná odchytky s_x tedy představovala příčnou odchytku a s_y podélnou odchytku. Bylo tedy nutné hodnotu s_x převést na odchytku úhlovou. Při známé vzdálenosti prováženého bodu od stanoviska zaměření byla úhlová odchytky spočtena z pravoúhlého trojúhelníku, viz Obr. 8.2.



Obr. 8.2: Trojúhelník pro převod směrodatné odchytky s_x na úhlovou $s_{\phi P}$ [zdroj vlastní]



Na obrázku T značí stanovisko, d vzdálenost od provažovaného bodu, P provažovaný bod, s_x výběrovou směrodatnou odchylku souřadnice x a $s_{\phi p}$ úhlovou odchylku. Při výpočtu $s_{\phi p}$ byl využit vztah (46).

$$s_{\phi p} = \arcsin\left(\frac{s_x}{d}\right) \quad (46)$$

Kombinace takto vypočtené úhlové odchylky s výběrovou směrodatnou odchylkou (s_{ϕ}) měření totální stanicí Leica TS06 byla provedena pomocí kvadratického součtu (47).

$$\sigma_{\phi} = \sqrt{s_{\phi}^2 + s_{\phi p}^2} \quad (47)$$

Kombinace výběrové směrodatné odchylky s_y a směrodatné odchylky měřené délky totální stanicí Leica TS06 (σ_{dT}) byla provedena taktéž kvadratickým součtem (48).

$$\sigma_d = \sqrt{\sigma_{dT}^2 + s_y^2} \quad (48)$$

Dílčí a výsledné hodnoty přesnosti směrů a délek, které byly zadány do vstupního souboru vyrovnání, viz Tab. 8.2b.

Dílčí a výsledné hodnoty přesnosti směrů a délek zadané při vyrovnání – Foif JC100						
Horizont	s_{ϕ} [mgon]	σ_{dT} [mm]	$s_{\phi p}$ [mgon]	s_y [mm]	σ_{ϕ} [mgon]	σ_d [mm]
0	1,1	1	-	-	1,1	1,0
20	1,1	1	1,9	0,3	2,2	1,0
40	1,1	1	1,9	0,5	2,2	1,1

Tab. 8.2b: Dílčí a výsledné hodnoty přesnosti směrů a délek zadané při vyrovnání – Foif JC100

Po výpočtu vyrovnání vyšly souřadnice provážených bodů úplně stejně jako v předchozím pokusu. Změna přesnosti tedy měla na výpočet zanedbatelný vliv.

8.3 Rozdělení olovnice na jednotlivé body

Při tomto pokusu se provažování důlní olovnice neuvažovalo jako provažování jednoho bodu, ale rozdělilo se na tři body, pro každý horizont jeden. Učinilo se tak z toho důvodu, aby se zjistilo, jestli a popřípadě o kolik se tyto tři body liší. Provážení



laserovým provažovačem bylo ve vyrovnání reprezentováno jedním bodem. V Tab. 8.3 jsou uvedeny souřadnice jednotlivých bodů, kde jsou označeny písmenem D a příslušným číslem horizontu. Dále jsou v tabulce opravy od referenčních souřadnic a pro srovnání i souřadnice bodu prováženého laserovým provažovačem.

Souřadnice bodů provážených laserovým provažovačem rozdělené do pater				
Bod	X [m]	Y [m]	v_x [mm]	v_y [mm]
D0	1081472,2275	753304,3876	0,3	0,7
D20	1081472,2292	753304,3893	-1,4	-1,0
D40	1081472,2276	753304,3885	0,2	-0,2
Laser	1081472,0951	753304,0133	0,2	-0,6

Tab. 8.3: Souřadnice bodů provážených důlní olovnicí do jednotlivých pater

Souřadnice jednotlivých bodů jsou si velmi podobné, lehce vybočuje jen bod provážený ve druhém patře. Toto vybočení mohlo být způsobeno horším připojením tohoto patra ke zbývajícím sítím.

8.4 Rozdělení olovnice na jednotlivé body s uvážením přesnosti provažování

Pokus proběhl stejně jako předchozí s tím rozdílem, že se při vyrovnání upravily přesnosti hodnot měřených na provážené body. Zkombinovala se tak přesnost měření totální stanicí a přesnost provážení v jednotlivých patrech.

Výpočet kombinované přesnosti

Přesnost provážení důlní olovnicí byla vypočtena ze souboru 20 měření, které bylo vykonáno v horizontu 0 a 20 pro ověření nehybnosti závěsu olovnice. Při analýze tohoto měření byla zjištěna výběrová směrodatná odchylka směru s_{φ_0} a délky s_{d_0} . Po zaokrouhlení jsou tyto hodnoty pro oba horizonty stejné a jsou uvedeny v Tab. 8.4a.

Výběrové směrodatné odchylky směru a délky - olovnice	
s_{φ_0} [mgon]	s_{d_0} [mm]
0,6	0,3

Tab. 8.4a: Výběrové směrodatné odchylky směru a délky – olovnice



Kombinace těchto výběrových směrodatných odchylek se směrodatnými odchylkami měřeného směru (s_ϕ) a délky (σ_{dT}) totální stanicí Trimble S6 HP byla provedena obdobně jako u laserového provažování, tedy kvadratickým součtem (49; 50).

$$\sigma_\phi = \sqrt{s_\phi^2 + s_{\phi o}^2} \quad (49)$$

$$\sigma_d = \sqrt{\sigma_{dT}^2 + s_{do}^2} \quad (50)$$

Dílčí a výsledné hodnoty přesnosti směrů a délek, které byly zadány do vstupního souboru vyrovnání, viz Tab. 8.4b.

Dílčí a výsledné hodnoty přesnosti směrů a délek zadané při vyrovnání – olovnice						
horizont	s_ϕ [mgon]	σ_{dT} [mm]	$s_{\phi o}$ [mgon]	s_{do} [mm]	σ_ϕ [mgon]	σ_d [mm]
0	0,9	1	0,6	0,3	1,1	1,0
20	0,9	1	0,6	0,3	1,1	1,0
40	0,9	1	-	-	0,9	1,0

Tab. 8.4b: Dílčí a výsledné hodnoty přesnosti směrů a délek zadané při vyrovnání - olovnice

Kombinované přesnosti se od původních přesností liší minimálně. Po vyrovnání vyšly souřadnice provážených bodů úplně stejně jako v předchozím pokusu. Změna přesnosti tedy měla na výpočet zanedbatelný vliv.

Závěr

V diplomové práci bylo provedeno polohové propojení tří horizontů v části štol Josefa, zvané Čelina – východ. Toto propojení posloužilo při určování polohových souřadnic bodů nově vybudovaného bodového pole, které ve své práci [3] určil Bc. Lukáš Vais. Propojení tří horizontů bylo provedeno metodou provažování pomocí důlní olovnice a laserového provažovače Foif JC100, kdy se takto provážené body, spolu s dalšími orientačními body, v každém horizontu zaměřily totální stanicí. Měření pak vstoupilo do celkového vyrovnání sítě, jehož výsledkem jsou souřadnice nových bodů. Jako doplňkové a porovnávací bylo zvoleno provážení pomocí optického provažovače Zeiss PZL a totální stanice Leica TS06. Zároveň se tedy testovala přesnost všech těchto způsobů provážení. U důlní olovnice pro testování posloužilo kontrolní zaměření nehybnosti závěsu, které bylo provedeno ve dvou horizontech, z tohoto měření se poté určila přesnost vodorovného směru a délky. Přesnost jednotlivých provažovacích přístrojů byla spočtena z opakovaného měření, při kterém byly odečítány relativní souřadnice provažovaného bodu na speciálním terči. Postup měření, analýzy přesnosti a statistických testů byl převzat z normy ISO 17123-7.

Z výpočtů přesnosti a následných statistických testů vyplynulo, že laserový provažovač Foif JC100 ani v jednom ze dvou horizontů, i přes velké množství opakování měření, nesplnil očekávanou přesnost udávanou výrobcem. Měření optickým provažovačem Zeiss PZL 100 bylo nejspíš zatíženo chybou, kterou mohla způsobit použitá redukce do trojnožky. Jen totální stanice Leica TS06 splnila očekávanou přesnost provažování. V tomto případě však mohlo jít o náhodný jev, jelikož její laserová stopa měla poměrně velké rozměry a střed byl hrubě odhadován.

Nakonec bylo provedeno pozorování, kdy se provážení olovnicí i laserem ve vstupním souboru vyrovnání rozdělilo na jednotlivé body dle horizontů a zjišťovaly se rozdíly mezi souřadnicemi těchto bodů a referenčními souřadnicemi, které byly určeny z nerozděleného provažování. Byla testována varianta se zahrnutím pouze přesnosti přístroje, kterým byly provážené body zaměřeny a druhá varianta kdy se k přesnosti zaměření přidala i přesnost provážení. Ve výsledku se však souřadnice z těchto dvou variant nelišily.

Použitá literatura a zdroje

- [1] ČSN ISO 17123-7. *Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – Část 7: Optické provažovací přístroje*. Ženeva: ISO, 2005.
- [2] FENCL, Martin. *Možnosti připojení a usměrnění základního důlního bodového pole v Podzemní laboratoři Josef*. [online]. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie, 2015. Diplomová práce. Dostupné z: <<http://geo.fsv.cvut.cz/proj/dp/2015/martin-fencl-dp-2015.pdf>>.
- [3] VAIS, Lukáš. *Polohové zaměření a připojení základního bodového pole štoly Josef oblasti Čelina - východ*. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra speciální geodézie, 2016. Diplomová práce.
- [4] KOVANIČ, Ľudovít, Jiří MATOUŠ a Aleš MUČKA. *Důlní měřictví*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00229-X.
- [5] HÁNEK, Pavel a Zdeněk NOVÁK. *Geodezie v podzemních prostorách 10*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03004-0.
- [6] JEŽKO, Ján. *Postup a výsledky kontroly optických prevažovacích prístrojov*. [online]. Bratislava: STU v Bratislavě, Fakulta stavební, Katedra geodézie, 2008. Dostupné z: <<http://stavba.tzb-info.cz/podlahy-pricky-povrchy/9893-postup-a-vysledky-kontroly-opticky-prevazovacich-pristrojov>>
- [7] Centrum experimentální geotechniky. [online]. Dostupné z: <<http://ceg.fsv.cvut.cz>>.
- [8] DEUMLICH, Fritz a Wolfgang FAIG. *Surveying instruments*. New York: W. de Gruyter, 1980. ISBN 3-11-007765-5.

- [9] MATOCHOVÁ, Zuzana. *Určení svislosti*. [online].
Dostupné z: <<http://spszem.cz/storage/files/72/Urceni-svislosti-2013.pdf>>
- [10] SUZHOU FOIF. *JC100 Laser Plummet*. China. [online].
Dostupné z: <www.foif.com/system/files/DZJ2_JC100_Laser_Plummet_EN.pdf>
- [11] LEICA GEOSYSTEMS AG. *Leica FlexLine TS06plus*. Switzerland. [online].
Dostupné z: <<http://leica-geosystems.com/products/total-stations/manual-total-stations/leica-flexline-ts06plus>>
- [12] TRIMBLE. *Trimble S6 Total Station*. USA. [online].
Dostupné z: <<http://www.trimble.com/Survey/trimbles6.aspx>>
- [13] Mapy.cz. *Pozice podzemní laboratoře Josef na mapě* [obrázek].
Dostupné z: <<http://mapy.cz>>
- [14] Virtuelles Museum Vermessungsinstrumente. *Zeiss PZL 100* [obrázek].
Dostupné z: <<http://bau-popp.de/pages/carl-zeiss-jena/sonstige-geraete/pzl-100.php>>
- [15] Get Surveying. *Foif JC100* [obrázek].
Dostupné z: <<http://getsurveying.com/laser-plummets/548-foif-laser-plummet-jc100.html>>
- [16] Surveyequipment.com. *Leica TS06* [obrázek].
Dostupné z: <<http://surveyequipment.com/leica-flexline-ts06plus-total-station/>>
- [17] Leporelo.info. *Amalgamace*. [online].
Dostupné z: <<https://leporelo.info/amalgamace>>

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Pozice Podzemní laboratoře Josef na mapě.....	11
Obr. 1.3a: Portály štoly Josef	13
Obr. 1.3b: Schéma štoly Josef.....	15
Obr. 2.1a: Vliv boční síly na vychýlení olovnice	17
Obr. 2.1b: Jungův centrační talíř.....	19
Obr. 2.1c: Chyba ze stočení stupnice.....	20
Obr. 2.1d: Chyba ze stočení roviny kyvů.....	20
Obr. 2.1e: Promítání olovnicí podle Wilského	22
Obr. 2.2.1a: Optický provažovač Telim.....	24
Obr. 2.2.1b: Optický provažovač Kern OL.....	24
Obr. 2.2.1c: Optický provažovač Wild ZNL.....	25
Obr. 2.2.1d: Optický provažovač Wild ZL.....	25
Obr. 3.1: Zeiss PZL 100	26
Obr. 3.2: Foif JC100.....	27
Obr. 3.3: Leica TS06	28
Obr. 3.4: Trimble S6 HP.....	29
Obr. 5: Pohled zespod do schodišťové šachty	32
Obr. 5.1a: Vrátek důlní olovnice upevněný na speciální kostře	33
Obr. 5.1b: Dělená olovnice při ustalování.....	33
Obr. 5.1c: Speciální odrazný terčik	33
Obr. 5.2a: Konstrukce s terčem	35
Obr. 5.2b: Detail mřížky terče.....	36
Obr. 5.2c: Stativ s laserovým provažovačem na stanovisku provažování	37
Obr. 5.3: Laserová stopa tvořící Newtonovy kroužky.....	38
Obr. 5.5: Laserová stopa totální stanice Leica TS06 ve 40 m	39
Obr. 5.6: Signalizace prováženého bodu pomocí fólie na hliníkovém kvádříku.....	40
Obr. 5.7: Uchycení terče v horizontu 20.....	41
Obr. 6: Znázornění situace pro objasnění výpočtů.....	43
Obr. 7.1.1: Opravy sérií od celkového průměru – Zeiss PZL 100	54
Obr. 7.3.1: Odvození směrodatné odchylky provážení - Leica TS06	63

Obr. 7.4a: Pozice bodů na čtvercové mřížce	68
Obr. 7.6a: Průběh oprav od průměru při měření na závěs olovnice v horizontu 0.....	73
Obr. 7.6b: Průběh oprav od průměru při měření na závěs olovnice v horizontu 20.....	73
Obr. 8.1: Průběh spojnic souřadnic x a y	76
Obr. 8.2: Trojúhelník pro převod směrodatné odchylky s_x na úhlovou $s_{\varphi p}$	77

Seznam tabulek

Tab. 2.1: Typy optických provažovacích přístrojů s dalekohledem a jejich parametry..	24
Tab. 3.1: Parametry přístroje Zeiss PZL 100.....	26
Tab. 3.2 : Parametry přístroje Foif JC 100.....	27
Tab. 3.3: Parametry totální stanice Leica TS06.....	28
Tab. 3.4: Parametry totální stanice Trimble S6 HP	29
Tab. 5.2: Vypočtené intervaly dělení mřížky terče pro jednotlivé horizonty	35
Tab. 5.8: Výběrové a nominální směrodatné odchylky směru a délky – Leica TS06	42
Tab. 6.2: Tabulka s nulovými a alternativními hypotézami	48
Tab. 7.1.1a: Měření a zhodnocení přesnosti 1. série – Zeiss PZL 100	51
Tab. 7.1.1b: Měření a zhodnocení přesnosti 2. série – Zeiss PZL 100	52
Tab. 7.1.1c: Měření a zhodnocení přesnosti 3. série – Zeiss PZL 100.....	53
Tab. 7.1.1d: Celkové výsledky tří sérií - Zeiss PZL 100	54
Tab. 7.1.2a: Statistická otázka č. 1 – Zeiss PZL 100.....	55
Tab. 7.1.2b: Statistická otázka č. 2 – Zeiss PZL 100	55
Tab. 7.1.3c: Statistická otázka č. 3 – Zeiss PZL 100.....	56
Tab. 7.2.1a: Měření a zhodnocení přesnosti 1. série – Foif JC100	57
Tab. 7.2.1b: Měření a zhodnocení přesnosti 2. série – Foif JC100	59
Tab. 7.2.1c: Měření a zhodnocení přesnosti 3. série – Foif JC100	60
Tab. 7.2.1d: Celkové výsledky tří sérií – Foif JC100	61
Tab. 7.2.2a: Statistická otázka č. 1 – Foif JC100.....	61
Tab. 7.2.2b: Statistická otázka č. 2 – Foif JC100	62
Tab. 7.2.2c: Statistická otázka č. 3 – Foif JC100.....	62
Tab. 7.3.1: Očekávané směrodatné odchylky provázení totální stanicí Leica TS06	64
Tab. 7.3.2: Měření a zhodnocení přesnosti – Leica TS06	65
Tab. 7.3.3a: Statistická otázka č. 1 – Leica TS06	66
Tab. 7.3.3b: Statistická otázka č. 2 – Leica TS06.....	66
Tab. 7.3.3c: Statistická otázka č. 3 – Leica TS06	67
Tab. 7.4a: Souřadnice bodu prováženého jednotlivými přístroji	68
Tab. 7.4b: Výběrové směrodatné odchylky souřadnic	68
Tab. 7.5.1: Měření a zhodnocení přesnosti, horizont 20 – Foif JC100	70

Tab. 7.5.2a: Statistická otázka č. 1, horizont 20 – Foif JC100	71
Tab. 7.5.2b: Statistická otázka č. 2, horizont 20 – Foif JC100.....	71
Tab. 7.5.2c: Statistická otázka č. 3, horizont 20 – Foif JC100	72
Tab. 7.5.2d: Výběrové směrodatné odchytky v horizontu 20 a 40 – Foif JC100.....	72
Tab. 7.6c: Výběrové směrodatné odchytky směru a délky – olovnice	74
Tab. 8: Referenční souřadnice provážených bodů v S – JTSK.....	75
Tab. 8.1: Souřadnice bodů provážených laserovým provažovačem do jednotlivých pater	76
Tab. 8.2a: Výběrové směrodatné odchytky v horizontu 20 a 40 – Foif JC100.....	77
Tab. 8.2b: Dílčí a výsledné hodnoty přesnosti směrů a délek zadané při vyrovnání – Foif JC100	78
Tab. 8.3: Souřadnice bodů provážených důlní olovnicí do jednotlivých pater	79
Tab. 8.4a: Výběrové směrodatné odchytky směru a délky – olovnice	79
Tab. 8.4b: Dílčí a výsledné hodnoty přesnosti směrů a délek zadané při vyrovnání - olovnice.....	80

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Ukázka vstupního souboru vyrovnání v programu GNU Gama - local [3]

Příloha č. 2 – Ukázka výstupního souboru vyrovnání z programu GNU Gama - local [3]

Digitální příloha na CD:

1_merena_data_TS - soubor měření *.gsi z totální stanice Leica TS06,
zpracované měření a výpočet přesnosti v programu Excel

2_analyza_dat_provazovani - zpracované analýzy přesnosti a statistické testy pro
jednotlivé přístroje, zpracovaná měření na olovnici,
zpracované rozdělení provázení v programu Excel

3_vyrovnavani_gama - vstupní a výstupní soubory vyrovnání v programu GNU
Gama

4_DP - diplomová práce ve formátu *.pdf

Příloha č. 1 - Ukázka vstupního souboru vyrovnání v programu GNU Gama - local [3]

```

<!DOCTYPE gama-xml SYSTEM "gama-xml.dtd">
<gama-local version="2.0">

<network axes-xy="nw" angles="right-handed">

<description>
Celina - vychod
Meril:Lukas Vais
Souradnicovy system: S-JTSK
delky jednostranne
zenity jednostranne
Polygonovy porad + sit + provazovac
Trimble S8 HP + Trimble S6 HP + Leica TS06
</description>

<parameters
sigma-apr="1"
conf-pr="0.95"
tol-abs="1000"
sigma-act="apriori"
/>

<points-observations
direction-stdev="9.0"
distance-stdev="1.0"
>

<point id="501" x="1081634.670" y="753430.173" fix="XY"/>
<point id="502" x="1081511.472" y="753377.286" adj="XY"/>
<point id="537" x="1081565.782" y="753374.343" adj="xy"/>

<point id="503" adj="xy"/>
<point id="531" adj="xy"/>
<point id="532" adj="xy"/>
<point id="533" adj="xy"/>
<point id="537" adj="xy"/>
<point id="538" adj="xy"/>
<point id="539" adj="xy"/>

...

<!-- Polygonovy porad -->

<obs from="539">

<direction to="538" val="0.0014" stdev="9.0"/>
<direction to="T42" val="195.6385" stdev="9.0"/>

...

<distance to="538" val="48.8559" stdev="1.0"/>
<distance to="T42" val="21.1329" stdev="1.0"/>

</obs> ...

...

<!-- Sit -->

<obs from="539">

<direction to="538" val="208.7158" stdev="9.0"/>
<direction to="D" val="0.0000" stdev="9.0"/>

...

<distance to="538" val="48.8537" stdev="1.0"/>

```

```
<distance to="D" val="19.9516" stdev="1.0"/>
</obs> ...
...
<!-- Provazovace -->

<obs from="539">
<direction to="L" val="0.0101" stdev="11.0"/>
<direction to="538" val="209.0617" stdev="11.0"/>
...
<distance to="L" val="20.3340" stdev="1.0"/>
<distance to="538" val="48.8515" stdev="1.0"/>
</obs> ...
...
</points-observations>
</network>
</gama-local>
```

Příloha č. 2 - Ukázka výstupního souboru vyrovnání z programu GNU Gama - local [3]

Vyrovnání místní geodetické sítě verze: 1.15-envelope / MSVC 1800

<http://www.gnu.org/software/gama/>

Přibližné souřadnice

souřadnice	xyz	xy	z	
dané	:	0	3	0
vypočtené	:	0	48	0

celkem	:	0	51	0
měření	:	244		

Přibližné souřadnice určených bodů nahrazeny vyrovnanými

Počet iterací linearizace: 2

Popis sítě

Celina - vychod
 Meril:Lukas Vais
 Souradnicovy system: S-JTSK
 delky jednostranne
 zenity jednostranne
 Polygonovy porad + sit + provazovac
 Trimble S8 HP + Trimble S6 HP + Leica TS06

Základní parametry vyrovnání

Souřadnice	xyz	xy	z	
Vyrovnané	:	0	50	0
Opěrné *	:	0	1	0
Pevné	:	0	1	0

Celkem	:	0	51	0

Počet směrů	:	123	Počet osnov	:	20
Počet dělek	:	121			
Celkem pozorování	:	244			

Počet rovnic oprav	:	244	Počet neznámých:	120
Počet nadbyt. pozorování:	125	Defekt sítě	:	1

m0 apriorní	:	1.00		
m0' aposteriorní:	1.27	[pvv]	:	2.00655e+002

Při statistické analýze se pracuje

- s apriorní jednotkovou střední chybou 1.00
- s konfidenční pravděpodobností 95 %

Poměr m0' aposteriorní / m0 apriorní: 1.267
 95 % interval (0.876, 1.124) neobsahuje hodnotu m0'/m0
 m0'/m0 (délky): 2.471 m0'/m0 (směry): 1.616

Pevné body

bod	x	y
501	1081634.670	753430.173

Vyrovnané souřadnice

i	bod	přibližná hodnota	korekce [m]	vyrovnaná hodnota	stř.ch. [mm]	konf.i. [mm]
...						
4	538 x	1081470.19554	0.00276	1081470.19830	1.0	2.0
5	y	753373.04909	-0.01760	753373.03149	1.2	2.3
...						
2	539 x	1081473.56742	0.00990	1081473.57732	1.1	2.2
3	y	753324.31049	-0.01659	753324.29390	1.1	2.2
...						
79	D x	1081472.21851	0.00930	1081472.22780	1.3	2.5
80	y	753304.39522	-0.00691	753304.38831	1.1	2.1
...						
115	L x	1081472.08583	0.00944	1081472.09528	1.3	2.5
116	y	753304.02075	-0.00799	753304.01277	1.1	2.1
...						
16	T42 x	1081473.57828	0.01314	1081473.59142	1.3	2.6
17	y	753303.17839	-0.01682	753303.16157	1.3	2.5

Vyrovnané orientační posuny

i	stanovisko	přibližná hodn. [g]	korekce [g]	vyrovnaná hodn. [g]	stř.ch. [cc]	konf.i. [cc]
1	539	104.405284	-0.000001	104.405283	11.5	22.5
18	538	0.870919	-0.000001	0.870919	9.0	17.6

Střední chyby a parametry elips chyb

bod	mp [mm]	mxy [mm]	střed. el. chyb a [mm] b alfa[g]			konfid. el. chyb a' [mm] b'		g
538	1.6	1.1	1.2	1.0	110.3	2.9	2.5	0.0
539	1.6	1.1	1.3	0.9	149.8	3.2	2.2	0.0
D	1.7	1.2	1.4	0.9	164.6	3.5	2.2	0.0
L	1.7	1.2	1.4	0.9	164.9	3.5	2.2	0.0
T42	1.8	1.3	1.5	1.0	153.7	3.7	2.5	0.0

Maximální střední polohová chyba je 4.1 mm na bodě 503
Průměrná polohová chyba je 1.8 mm

Vyrovnaná pozorování

i	stanovisko	cíl	měřená hodnota	vyrovnaná hodnota [m g]	stř.ch. [mm cc]	konf.i. [mm cc]
1	539	538 směr	0.001400	0.001405	5.2	10.1
8		T42 směr	195.638500	195.637184	6.4	12.5

		...				
9		538 délka	48.85590	48.85459	0.4	0.7
16		T42 délka	21.13290	21.13233	0.6	1.1
		...				
129	539	538 směr	208.715800	208.716485	5.8	11.3
132		D směr	0.000000	0.000373	5.6	10.9
		...				
136		538 délka	48.85370	48.85459	0.4	0.7
139		D délka	19.95160	19.95128	0.5	1.0
		...				
215	539	L směr	0.010100	0.010667	6.2	12.2
218		538 směr	209.061700	209.061199	6.8	13.4
		...				
220		L délka	20.33400	20.33521	0.5	1.0
223		538 délka	48.85150	48.85459	0.4	0.7