

Lucie Pospíšilová

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování
strojů a soustrojí

Vysoká škola báňská – Technická univerzita

Ostrava

17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba

Hornicko-geologická fakulta

Institut geodézie a důlního měřictví

**Aplikace geodetických metod pro
měření a ustavování strojů a soustrojí**

Autoreferát disertační práce

Autor:	Ing. Lucie Pospíšilová
Školitel:	Doc. Ing. Pavel Hánek, CSc.
Studijní program:	Geodézie a kartografie
Obor:	Důlní měřictví

Ostrava 2014

2014

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování
strojů a soustrojí

Abstract

This thesis deals with the industrial surveying, surveying equipments and tools used for measuring and setting up in industry. The thesis describes entry parameters influencing the resulting precision with the use of 3D polar method.

At first there are introduced basic surveying terms and rules. There are in short introduced industrial equipments and tools that are regularly used. The core part of the thesis is dedicated to geodetic measurement systems, especially single theodolite systems, and the analysis of single entry parameters. It is the analysis of polar method in measurement and set up, the choice of total station and prism used for measurement, the micro-network creation, the influence of aiming and turn deviation, and recline deviation of the target from the line of sight. The last three mentioned were tested in practical part of the thesis. The conclusion summarizes the results gained while working on this thesis and their possible usage in the area of industrial surveying.

Key word

Industrial surveying, micro-network, aiming, target turn deviation, target recline deviation.

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování
strojů a soustrojí

Ráda bych touto cestou poděkovala mé rodině a obzvláště mému manželovi Jiřímu za podporu a pomoc.

Mé poděkování patří také Doc.Ing.Pavlu Hánkovi, CSc. za odborné vedení a cenné rady. Také bych ráda poděkovala všem, kteří se zapojili do testovacího měření. Dík patří i vedení Institutu geodézie a důlního měřictví za zapůjčení přístrojů a prostor potřebných k testovacímu měření.

Na závěr bych chtěla poděkovat společnosti SKF CZ, a.s. za možnost rozmanitých pracovních příležitostí v průmyslu a kolegovi Vlastíkovi Kargerovi.

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování
strojů a soustrojí

Obsah

Obsah	4
1. Úvod	5
2. Cíle disertační práce	6
3. Přehled současného stavu problematiky.....	7
4. STS systémy	7
5. Rozbor vstupních podmínek pro měření v průmyslu	8
5.1 Přesnost polární metody	9
5.2 Vnitřní přesnost přístrojů.....	11
5.3 Tvorba mikrosítě	12
5.4 Přesnost zacílení	14
5.5 Přesnost v nastavení odrazného hranolu.....	16
5.6. Vliv okolních podmínek	17
6. Závěr	19
Použitá literatura:.....	22
Seznam vlastních publikací	28

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování strojů a soustrojí

1. Úvod

S rozvojem průmyslu, technologií a průmyslové výroby se staly výrobní stroje složitější a komplikovanější. Díky nim je ve všech výrobních odvětvích vyvíjen obrovský tlak na rychlou a pokud možno kvalitní výrobu s minimálním počtem kazových výrobků. Produkce je tak vázána na stroje a jejich bezporuchový chod. Pokud je ale stroj špatně ustaven, může vyrábět vadné výrobky, které jsou finanční zátěží každého podniku. Zvyšuje se tak i riziko nečekané havárie v důsledku vyššího namáhání jednotlivých strojních dílů. Proto je kladen velký důraz na kontrolu ustavení strojního zařízení během jeho provozu, oprav a rekonstrukcí. Termín ustavení znamená uložení strojního dílu do požadované polohy vůči ostatním strojním dílům a tím je zajištěna správná geometrie celého strojního celku.

Obor průmyslové geodézie je relativně mladý, ale s postupným rozvojem průmyslové výroby je velmi potřebný a hlavně stále se vyvíjející. Jedná se o část inženýrské geodézie, se kterou se běžný geodet potká jen minimálně. Většina prováděných prací se neřídí normami nebo všeobecně doporučovanými postupy. Každé měření je jedinečné, protože se musí zohlednit velikost a členitost měřeného celku, vhodná měřická metoda a hlavně její přesnost. Práce je tedy odvislá od potřeb strojírenských firem, jejich vnitřních předpisů a norem, ve kterých může být dané zařízení provozováno.

Tato disertační práce se zabývá průmyslovou geodézií, měřickými přístroji a pomůckami, které se používají při měření v průmyslu a rozbořem vstupních

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování strojů a soustrojí

parametrů zejména v oblasti, které se profesně věnuji. Zabývám se kontrolou geometrie a ustavování papírenských strojů, strojů na výrobu hliníkových a PVC folií, splétacích strojů, rotačních pecí nebo ustavování hřídelí mezi motorem a válcem.

2. Cíle disertační práce

Cílem disertační práce je vytvořit souhrnný materiál o současných měřických metodách využívaných při měření v průmyslu. Nejedná se pouze o geodetické metody měření, ale také o strojírenské přístroje a pomůcky, se kterými se geodet může setkat a které může při ustavování využít.

Dalším cílem disertační práce je vytvořit materiál zaměřený na teodolitové systémy, které využívají obecně známé postupy při měření v průmyslu.

Posledním cílem této disertační práce je rozbor vstupních podmínek u teodolitových měření a jejich přesnost. Při měření v průmyslu je vyžadována vyšší přesnost a proto je nutné tyto podmínky zohledňovat. Tento cíl byl řešen na základě praktických měření ze souboru, který obsahoval 4335 měřených bodů, což je 13005 hodnot.

Práce by neměla být pouze shrnutím dané problematiky, ale hlavně praktickým textem, který by pomohl představit možnosti využití geodézie nejen pro geodety, ale také pro strojaře, kteří mnohdy nejsou s geodetickými metodami seznámeni.

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování strojů a soustrojí

3. Přehled současného stavu problematiky

Měřické přístroje a pomůcky pro měření v průmyslu je možné shrnout do dvou základních skupin. Strojírenské a geodetické metody a přístroje.

Mezi strojírenské přístroje pro měření patří: laserové systémy pro ustavování a rovinná měření, gyroskopické systémy, laserová interferometrie, souřadnicové měřicí přístroje a strojírenská měřidla.

Geodetické přístroje jsou: teodolitové systémy, laserové trackery, laserové skenování, fotogrammetrie nebo nivelace.

Všechny zmíněné metody a přístroje jsou podrobněji popsány v disertační práci. Hlavní část práce se zabývá geodetickými metodami měření- teodolitovými systémy.

4. STS systémy

Single Theodolite System, tedy jedno-teodolitový systém se skládá z jedné totální stanice nejvyšší přesnosti v měření úhlů a délek. Jedná se tedy o soupravu pro polární měření bodů. Oproti metodě 3D protínání má tento způsob výhodu v tom, že je nezávislý na přesnosti určení polohy bodu vzhledem ke konfiguraci stanovisek. Protože jen málokdy je možné provést celé měření z jednoho stanoviska, je nezbytné si vytvořit mikrosíť referenčních bodů nutných pro měření totální stanicí z více stanovisek.

Pro měření v průmyslu je nezbytné mít speciální měřické pomůcky, kterými jsou speciální odrazné hranoly, odrazné štítky, magnetické podstavce nebo stativy. Pro

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování strojů a soustrojí

samotné měření je také potřeba použít vhodnou totální stanici, která umožní měření s požadovanou přesností.

Celkovou přesnost měření v průmyslu ovlivňují nejen použité přístroje a pomůcky, ale také všechny vstupní parametry měření.

5. Rozbor vstupních podmínek pro měření v průmyslu

Při měření v průmyslu je kladen velký důraz na přesnost a proto je důležité věnovat pozornost vstupním podmínkám. V jednotlivých kapitolách disertační práce jsou postupně rozebrány vstupní složky měření, jako jsou přesnost polární metody- měření a vytyčování, typ totální stanice a výchozí mikrosíť. Této problematice jsou věnovány kapitoly 5.1 až 5.3, kde jsou popsány tyto vstupní parametry.

Dalšími vstupními složkami, kterým se obvykle nevěnuje taková pozornost, jsou typ odrazného hranolu, stočení odrazného hranolu od záměrné přímky nebo jeho sklopení, přesnost zacílení a konfigurace umístění odrazného hranolu. Všechny tyto faktory mohou hrát velkou roli při určování polohy měřeného bodu. Této skupině vstupních podmínek je věnována praktická část práce popsaná v kapitolách 5.4 a 5.5.

Pro testovací měření byly použity následující totální stanice: Leica TDA5005, Leica TCRP 1201+, Leica TS30, a Trimble S8 2 DR Plus (dále jen Trimble S8). Pro cílení byly použity odrazné hranoly GPH1P (přesný hranol), Mini GMP101 (mini hranol) a GRZ101 (360° mini hranol). Pro testování nebyl použit pasivní odraz a to z důvodu nízké přesnosti a nevhodnosti při měření v průmyslu.

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování strojů a soustrojí

Měření probíhalo v měřické chodbě Institutu geodézie a důlního měřictví, VŠB-TU v Ostravě, kde byl k podlaze přišroubován masivní kovový stativ. Na podlaze byly pomocí pásma vyznačeny body, nad které byl umístěn stativ s trnem pro odrazný hranol. K trojnožce trnu byl připevněn i speciálně vyrobený přípravek s horizontální a vertikální stupnicí, díky kterým bylo možné nastavit odrazný hranol do požadované polohy - natočení nebo sklopení. Na každém odrazném hranolu byla připevněna šipka, díky které bylo možné odrazný hranol nastavit do požadované polohy. Stupnice obou úhloměřů jsou po 5°.

V měřické chodbě byl vždy měřen tlak vzduchu, teplota vzduchu a vlhkost prostředí, aby byly provedeny fyzikální korekce měřených veličin přímo v totální stanici. Všechny pomůcky a přístroje, které byly použity pro testovací měření, musely po nezbytně dlouhou dobu temperovat, aby nebyly negativně ovlivněny výsledné hodnoty měření. Vzhledem k organizaci práce, výuky v měřické chodbě a času potřebnému na měření byla měření prováděna v době od 8.3.2013 do 1.5.2013.

5.1 Přesnost polární metody

Pro polohové měření jednotlivých strojních částí je používána prostorová polární metoda, díky které je možné určit současně jak polohovou, tak výškovou složku měření. V této práci jsou polohová a výšková složka rozebrány samostatně dle [33].

Výchozí rovnice (1) pro výpočet souřadnic y a x určovaného bodu P pomocí polární metody jsou:

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování strojů a soustrojí

$$\begin{aligned}y_P &= y_A + d_{AP} \cdot \sin(\sigma_{AP} + \alpha), \\x_P &= x_A + d_{AP} \cdot \cos(\sigma_{AP} + \alpha),\end{aligned}\quad (1)$$

Směrodatná souřadnicová odchylka bodu P je popsána vzorcem:

$$\sigma_{xy_P} = \sqrt{\frac{\sigma_{x_P}^2 + \sigma_{y_P}^2}{2}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\sigma_d^2 + d_{AP}^2 \cdot \frac{\sigma_\alpha^2}{\rho^2} \right)}.\quad (2)$$

Pokud by se do vzorce (2) dosadily hodnoty: $\sigma_d = 0,3$ mm, $d_{AP} = 15$ m, $\sigma_\alpha = 0,15$ mgon, pak by směrodatná souřadnicová odchylka bodu P byla 0,2 mm.

Protože jsou výšky určovány trigonometricky, je potřeba zmínit i přesnost této metody. Výška bodu P se vypočte ze vzorce:

$$H_P = H_A + v_{př} \pm h - v_c + q,\quad (3)$$

Směrodatná odchylka pro trigonometrické určení výšky bodu P se tedy počítá podle vzorce (4):

$$\sigma_{H_P} = \sqrt{\sigma_{H_A}^2 + \sigma_{d_s}^2 \cdot \cos^2 \xi + \left(d_s \cdot \sin \xi \cdot \frac{\sigma_\xi}{\rho} \right)^2 + \sigma_{v_{př}}^2 + \sigma_{v_c}^2 + \sigma_q^2},\quad (4)$$

Mezi měřením a vytyčováním polární metodou je rozdíl. Při přesném vytyčování, kdy je směrodatná souřadnicová odchylka realizovaného bodu $\sigma_{xy} \leq 1$ mm, se vytyčování převádí na měření. Bod se nejprve vytyčí přibližně, poté se vypočte hodnota podélného a příčného posunu, o které je potřeba přibližný bod posunout. Hodnoty

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování strojů a soustrojí

příčného posunu p_q a podélného posunu p_d se vypočítají dle vzorců:

$$p_q = (\omega - \omega_m) \cdot \frac{d}{\rho}, \quad (5)$$

$$p_d = d - d_m.$$

Pro směrodatnou odchylku určení polohy bodu σ_{XYP} polární metodou je podle [36] odvozen vztah (6), ve kterém je zohledněna také chyba orientace a úhlu a chyba délky:

$$\sigma_{XYP}^2 = \sigma_{XY}^2 \left[1 + \frac{s}{d} \left(\frac{s}{d} - \cos \chi \right) \right] + \frac{1}{2} \left(\sigma_s^2 + \frac{\sigma_\chi^2}{\rho^2} \cdot s^2 \right), \quad (6)$$

Vyjádříme-li ze vztahu (7) směrodatnou odchylku polohy měřeného bodu pak:

$$\sigma_{XY}^2 = \frac{d^2}{d^2 + s^2 - d \cdot s \cdot \cos \chi} \left(\sigma_{XYP}^2 - \frac{\sigma_s^2}{2} - \frac{\sigma_\chi^2 \cdot s^2}{2\rho^2} \right). \quad (7)$$

Dosadíme-li do vzorce (7) hodnoty pro přístroj Leica TDA 5005 a měřené hodnoty pro nejnepříznivější konfiguraci: $\sigma_s = 0,3 \text{ mm}$, $\sigma_\chi = 0,3 \text{ mgon}$, $s = 50 \text{ m}$, $\chi = 200 \text{ gon}$, $d = 60 \text{ m}$. Pak je směrodatná odchylka v poloze bodu při požadované přesnosti $\sigma_{XYP} = 1,0 \text{ mm}$: $\sigma_{XY} = 0,6 \text{ mm}$.

5.2 Vnitřní přesnost přístrojů

Totální stanice, které byly použity pro testovací měření, jsou Leica TDA5005, v.č. 439345; Leica TCRP1201+, v.č. 27685 ; Leica TS30, v.č. 361223 a Trimble S8, v.č. 99010322. Tyto totální stanice byly vybrány

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování strojů a soustrojí

na základě jejich dostupnosti pro testovací měření a podle předpokládané využitelnosti při měření v průmyslu. Technické parametry těchto totálních stanic jsou shrnuty níže v tabulce 1. Byly vybrány jen některé z technických údajů, všechny ostatní jsou volně dostupné na webových stránkách jejich výrobců [29], [31], [32], [34]. Přesností měření směru se zabývá norma ČSN ISO 17123-3 [26], přesností měření délek se zabývá norma ČSN ISO 17123-4 [27]. Technické parametry pro daný typ totální stanice jsou garantovány výrobcem, který se řídí mezinárodní normou ISO 17123 a ISO 9001. V České republice je známa pod označením ČSN ISO 17123 [25].

Tabulka 1. Technické parametry totálních stanic použitých pro testovací měření

	Leica TDA5005	Leica TCRP1201+	Leica TS30	Trimble S8
Přesnost Hz, V (směrodatná odchylka dle [26])	0,5" (0,15 mgon)	1" (0,30 mgon)	0,5" (0,15 mgon)	1" (0,30 mgon)
Přesnost EDM (směrodatná odchylka dle [27])	1mm+ 2ppm	1mm+ 1,5ppm	1mm+ 1ppm	1mm+ 2ppm
Rozsah měření (koutový odražeč)	2 - 600 m	Do 1500 m	Do 3500 m	0,2 - 5500 m
Rozsah měření (odrazné štítky)	2- 180 m	Do 250 m	Do 250 m	neuvede no

5.3 Tvorba mikrosítě

Pro veškerá geodetická měření v průmyslu je potřeba vycházet ze sítě měřických bodů. V průmyslové

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování strojů a soustrojí

geodézii se nepoužívají body polohových a výškových bodových polí, ale je nutné vytvořit separátní mikrosít (lokální síť bodů). Její body pak slouží jako geometrický základ pro měření, vytyčování pro montážní práce, kontrolní měření a rektifikace. Délky stran mikrosítě bývají poměrně krátké. Jako celek může mikrosít pokrývat plochu např. 60 x 15 m, protože se vztahuje k měřenému objektu. Rozmístění samotných bodů je pak závislé na velikosti a hlavně členitosti strojního zařízení. Mikrosít je nezávislá svou přesností a orientací na vnějších polohových a výškových bodových polích připojených na referenční systémy. Ve strojírenství je větší důraz kladen na geometrické určení a návaznost jednotlivých strojních částí, než na určení polohového umístění v prostoru výrobní haly. Mikrosít je vztažena pouze ke strojnímu zařízení a je zcela nezávislá na ostatních objektech.

Tvar základní mikrosítě bývá obvykle pravoúhlý. Zpravidla bývá určena základní (podélná) osa X a příčná osa Y strojního zařízení. Každá osa je realizována minimálně dvěma body a bývá v pravidelných úsecích doplněna dalšími body. Hustota a počet bodů mikrosítě není také přesně specifikován. Může se pohybovat od dvou bodů, to v případě, že je realizována pouze jedna osa stroje, až do počtu v řádu desítek u složitějších strojních celků. Při měření v průmyslu není možné z jednoho stanoviska vidět a měřit všechna požadovaná místa. Proto se musí přístroj velmi často přestavovat a znovu orientovat. Je tedy nezbytné, aby byl zajištěn dostatek viditelných bodů pro jakékoli stanovisko kolem výrobního stroje. Z toho důvodu se také upřednostňuje použití přechodného stanoviska. Díky tomu je kladen velký důraz na přesné vybudování mikrosítě a dostatečnou hustotu bodů.

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování strojů a soustrojí

Konkrétní tvar mikrosítě a rozmístění základních bodů závisí na konstrukčních požadavcích, členitosti a geometrickém určení jednotlivých dílů strojního zařízení. Tyto body nebývají používány pouze geodety, ale také konstruktéry výrobní linky, kteří si díky nim mohou snadno ověřit správné umístění a návaznost jednotlivých dílů při stavbě nebo rekonstrukci výrobního stroje.

5.4 Přesnost zacílení

Přesnost zacílení je jedním ze vstupních parametrů, které ovlivňují přesnost měřeného bodu při měření v průmyslu.

Rozlišovací schopnost oka je dle [40] cca 1 úhlová vteřina. Přesnost zacílení tedy závisí na vzdálenosti totální stanice a odrazného hranolu. U ručního cílení také hraje velkou roli lidský faktor, jako jsou únava geodeta nebo subjektivní vnímání odrazného hranolu vlivem okolních podmínek. Přesnost cílení pomocí ATR lidský faktor vylučuje, protože je zcela automatizované. Při cílení pomocí ATR stačí hrubě zacílit kolimátorem na odrazný hranol. Dalekohled poté začne krouživým pohybem směrem od středu hledat odrazný hranol a místo na něm s nejsilnějším odrazem paprsku. ATR senzor identifikuje odrazný hranol a měří jeho polohu na obrazovém senzoru, aby byla následně určena přesná úhlová poloha odrazného hranolu. Nové totální stanice mají dle [29] místo CCD ATR senzoru ATR CMOS senzor (Complementary-Metal-Oxide-Semiconductor). CMOS senzor má velikost pixelu 6 μm , což umožňuje vyšší přesnost detekce paprsku a tím zvyšuje přesnost měření. Podle [28], kdy byla testována také časová náročnost je zřejmé, že cílení pomocí ATR je

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování strojů a soustrojí

2,5 až 3 x rychlejší a zkracuje se tedy čas potřebný k samotnému měření.

Každé testované měření je rozděleno na jednotlivé složky: horizontální směr Hz, zenitový úhel ξ a šikmá délka d_s . Při testování byly použity totální stanice Leica TDA5005, Leica TCRP1201+, Leica TS30 a Trimble S8. Během testování byly totální stanice umístěny na robustní kovový stativ, který byl přišroubován k podlaze měřické chodby. Odrasný hranol byl umístěn na stativ vzdálený cca 1,4 m, 3 m, 5 m, 7 m, 10 m, 15 m, 20 m, 30 m, 40 m a 50 m. Odrasný hranol byl opticky centrován nad každý bod a zacílený na kolimátor totální stanice. Záměry do 20 m reprezentují měření podrobných bodů při měření v průmyslu a záměry nad 20 m reprezentují záměry na orientace. Na testovanou vzdálenost 1,4 m byl použit odrasný hranol Mini GMP101, protože na tak krátkou vzdálenost nebylo možné zacílit na odrasný hranol GPH1P. Na ostatní testované vzdálenosti byl použit odrasný hranol GPH1P.

Samotné testování probíhalo následujícím způsobem. Na odrasný hranol, který byl umístěn na výše uvedených vzdálenostech, bylo cíleno nejprve pomocí ATR a bylo provedeno 10 měření v obou polohách dalekohledu. Následně bylo provedeno 10 měření v obou polohách dalekohledu s manuálním cílením.

Způsob zpracování naměřených dat a interpretace výsledných hodnot je součástí disertační práce.

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování strojů a soustrojí

5.5 Přesnost v nastavení odrazného hranolu

Dalším zkoumaným faktorem je natočení a sklopení odrazného hranolu od záměrné přímky. Tyto složky byly testovány samostatně, nebyly kombinovány, tzn. že nebylo cíleno na pootočení a zároveň sklopení odrazný hranol.

Pro měření byly použity následující totální stanice: Leica TDA5005, Leica TCRP1201+, Leica TS30, a Trimble S8. Pro cílení byly použity odrazné hranoly GPH1P (přesný hranol), Mini GMP101 (mini hranol) a GRZ101 (360° hranol). Totální stanice, kterou bylo prováděno měření, byla umístěna na masivní kovový stativ, který byl přišroubován k podlaze v měřické chodbě. Stativ s trnem pro odrazný hranol a přípravkem s úhloměry, byl umístěn na vzdálenost 10 a 50 m. Na odrazný hranol byly připevněny šipky, které ukazovaly nastavení odrazného hranolu na úhloměrech.

Cílem tohoto testu bylo zjistit, jakou přesnost má vliv natočení a sklopení odrazného hranolu na učení polohy měřeného bodu.

Samotné testování probíhalo v sadách po pěti měřeních. Odrazný hranol byl ustaven na vzdálenost 10 m, nastaven na natočení 0° od záměrné přímky a 0° sklopení a změřen v jedné poloze dalekohledu. Poté byl natočen na 5° , 10° , 15° , 20° , 30° a 45° po směru hodinových ručiček, tedy v kladném směru. To samé probíhalo i pro záporný směr. Pro jednu totální stanici a jeden odrazný hranol tak vzniklo 70 měření. Tento způsob provedení měření platil pro odrazný hranol GPH1P a MiniGMP101. Odrazný hranol GRZ101 byl nastavován pro měření s krokem 30° od natočení 0° do 360° opět v sérii po pěti měřeních. Vzniklo tak 65 měření. Po této sérii měření byl odrazný hranol nastaven opět na 0° natočení a 0° sklopení. Znovu

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování strojů a soustrojí

testování probíhalo v sérii po pěti měřeních, ale s tím rozdílem, že byl tentokrát odrazný hranol sklápěn od vodorovné roviny. Krok úhlového sklopení byl stejný, jako při natočení od záměrné přímky. Kladný směr sklopení znamená, že byl odrazný hranol sklápěn dolů, záporný nahoru. Opět vznikl soubor 70 měření pro jednu totální stanici a jeden odrazný hranol. Výjimku tvoří odrazný hranol GRZ101, který nelze s ohledem na jeho konstrukci sklápět, pouze natáčet. Proto nebylo sklápění testováno.

Každou z uvedených totálních stanic byly změřeny výše uvedené odrazné hranoly, které byly natáčeny a sklápěny v uvedeném kroku na vzdálenost 10 m a vše bylo opakováno na vzdálenosti 50 m.

Pro cílení byla použita funkce ATR, kterou jsou vybaveny všechny uvedené totální stanice.

Způsob zpracování naměřených dat a interpretace výsledných hodnot je opět součástí disertační práce.

5.6. Vliv okolních podmínek

V halách obvykle nebývá dostatek světla a proto si musí geodet připravit doplňkové světelné zdroje, díky kterým bude moci zacílit. Obvykle jsou dostačující malé baterky, kterými se osvětlí cíl - broušené pravítko nebo odrazný štítek. V případě, že je k měření použita totální stanice s automatickým vyhledáváním cíle (ATR) a odrazné hranoly, není potřeba žádného svícení. Stačí přibližně zacílit a totální stanice si sama automaticky najde střed odrazného hranolu.

Pokud se geodet pohybuje a pracuje ve výrobní hale, nemůže počítat s možností odstavení všech strojů.

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování strojů a soustrojí

Proto se musí často potýkat s chvěním, které je vyvolané provozem nezbytných zařízení, která není možné vypnout nebo umístěním stativu a totální stanice na nepevný povrch, např. roštová podlaha nebo plechové kryty. Chvění způsobené provozem jiného zařízení může spolu s materiálem stativu způsobovat rezonanci, kterou pak kompenzátor už není schopný kompenzovat. Při umístění stativu na nepevný povrch nastává tato situace skokově a to vždy, když je nějak narušen klidový stav povrchu. Jedná se o průchod dělníků, převážení materiálu atd. Tento stav byl zmíněn u nivelačních přístrojů a typu jejich kompenzátorů. Při měření ve strojírenství je tedy potřeba zohlednit povrch stanoviska a pokud je to nezbytně nutné, uzavřít daný prostor po dobu měření.

Další komplikací jsou lokální tepelné zdroje, větrání a rozdílná vlhkost vytvářejí specifické vnitřní mikroklima, kterému musí geodet během svojí práce čelit. Proudění vzduchu výrazně mění teplotu vzduchu a tím také mění podmínky při měření. To souvisí s vlhkostí. V teplých místech je obvykle vzduch sušší, zatímco v chladnějších místech, jakými jsou sklepy, je vlhkost vyšší. Tyto podmínky se ještě znásobují v prostředí papíren, kde je díky způsobu výrobního procesu vysoká teplota doprovázena vysokou vlhkostí. Tyto proměnlivé „atmosférické“ podmínky mohou mít systematický charakter, který by se dal odstranit pomocí opakování měření za různých podmínek. V průmyslové geodézii to však není možné a proto je potřeba volit taková stanoviska, která výrazně omezí vliv těchto podmínek. Vertikální složka refrakce může být minimální, pokud záměrný paprsek neprochází vrstvami vzduchu různých teplot. To způsobuje rozdílné hustoty vzduchu a tedy i

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování strojů a soustrojí

změnu indexu lomu paprsku. Záměrný paprsek se pak zakřivuje do oblouku o velkém poloměru, což ovlivňuje zenitový úhel. Boční (horizontální) refrakce vzniká v případě, že záměrná přímka prochází v blízkosti objektů, které jsou zdrojem tepla nebo které jsou ovlivňovány jinými tepelnými zdroji. Jedná se o parní potrubí, kotle, výměníky tepla nebo objekty, které jsou ohřívány např. slunečním zářením. Tyto objekty pak mohou ovlivnit dráhu paprsku a tím měřený úhel nebo délku. Obecně platí, že by záměrná přímka neměla procházet níže než 0,5 m nad povrchem a více než 0,5 m od překážky. Tyto podmínky však v průmyslové geodézii někdy nelze splnit. Refrakce se v klasické geodézii zohledňuje až při záměrech delších než 200 m. Na tak dlouhé vzdálenosti se v průmyslové geodézii obvykle neměří. Pokud takový stav ale nastane, je vhodné měření rozdělit na kratší úseky a opravu z refrakce vypočítat.

6. Závěr

Tato práce měla představit málo známou oblast průmyslové geodézie a její specifika. Ukázat a představit používané strojní a geodetické přístroje a pomůcky, které mohou geodetovi velmi pomoci při jeho činnosti. Práce je zaměřena na teodolitové STS systémy a rozbor vstupních parametrů, které ovlivňují výslednou přesnost souřadnic měřeného bodu. Jedná se o přesnost polární metody, způsob budování mikrosítě, volbu totální stanice a odrazného hranolu, přesnost cílení přístrojem, natočení nebo sklopení odrazného hranolu a vliv prostředí na přesnost měření.

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování strojů a soustrojí

Vzhledem k tomu, že každé měření v průmyslu je jedinečné, je potřeba přemýšlet a vhodně kombinovat měření totální stanicí a měřické pomůcky. Každý průmyslový stroj je jiný a u každého stroje jsou jiné podmínky pro měření, jiné požadavky na tvorbu mikrosítě a následné geodetické činnosti. Proto je nutná alespoň částečná znalost funkce daného stroje a problematiky týkající se strojírenství a zkušenost s problematikou měření v průmyslu. Pokud geodet tyto zkušenosti nemá, měl by pečlivě zvážit interpretaci naměřených hodnot tak, aby nedošlo ke zhoršení než nápravě funkce strojního zařízení.

Díky rozboru vstupních podmínek a testovacímu měření bylo zjištěno následující. Při měření ve strojírenství je vhodnější pro cílení na odrazný hranol používat ATR. Tento způsob cílení je přesnější, než cílení manuální a také rychlejší. Podle vzorce (7) a zjištěných směrodatných odchylek při natočení nebo sklopení odrazného hranolu lze říci, že natočený nebo sklopený odrazný hranol je v průmyslu možné použít pro měření do 15° . Při větším natočení nebo sklopení už hodnoty směrodatných odchylek daného bodu ve většině případů nevyhovují svou přesností. Pro měření v průmyslu je možné použít všechny uvedené totální stanice značky Leica. Totální stanice Trimble S8 by byla vhodná, pokud by byl použit dřevěný stativ, který by nepřenášel a nezvětšoval vibrace způsobené vestavěným gyroskopem. Na druhou stranu, obrovskou výhodou této totální stanice je, že má rozsah měření už od 0,2 m. Při měření v průmyslu se takto krátké záměry mohou objevit.

Na přesnost měření má vliv také typ odrazného hranolu. Odrazný hranol Mini GMP101 nebo GPH1P jsou pro měření v průmyslu vhodné. Závisí ale na jejich naklonění nebo sklopení vůči záměrné přímce dalekohledu,

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování
strojů a soustrojí

což bylo potvrzeno testovacím měřením. Odrazný hranol GRZ101 má díky své konstrukci nevýhodu v tom, že nelze sklápět a tedy nastavit do optimální polohy vzhledem k záměrné přímce. Další nevýhodou je také to, že se skokově liší hodnoty při jeho natáčení. Zhoršuje se tak přesnost určení měřeného bodu. Jinými slovy lze říci, že při jeho použití se zvyšují nároky na pečlivost obsluhy.

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování
strojů a soustrojí

Použitá literatura:

- [1] ČSN 730401, Názvosloví v geodézii a kartografii, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 1990
- [2] Asociace technických diagnostiků České republiky o.s., Stanovy ATD ČR o.s., 2006
- [3] MICHALČÁK, Ondrej; VOSIKA, Otakar; VESELÝ, Miloslav; NOVÁK, Zdeněk. *Inžinierska geodézia II*. Bratislava, Nakladateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1985. ISBN 80-05-00678-0.
- [4] Terminologický slovník zeměměřičtví a katastru nemovitostí, VÚGTK Praha-Zdiby, 2005 – 2011. [online]. [vid. 2014-01-10]. Dostupné z: <http://www.vugtk.cz/slovník/index.php>
- [5] HÁNEK, Pavel. *Geodetické systémy bezdotykových strojírenských a průmyslových měření*. Vojensko-technická informace Moderní geodézie v ozbrojených silách, Praha, VZÚ 1998, sv.58, s.229-233.
- [6] ČSN EN ISO 286-1 Geometrické specifikace produktu (GPS)- ISO system kódu pro tolerance lineárních rozměrů- Část 1: Základní tolerance, úchyly a uložení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 40 s.
- [7] ČSN 01 4203 Jednotná soustava tolerance a uložení RVHP- Řady tolerancí, základních úchylen a

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování
strojů a soustrojí

toleranční pole pro rozměry přes 3150 mm. Praha:
Úřad pro normalizaci a měření, 1976. 21 s.

- [8] Renishaw apply innovation, Vysvětlení interferometrie [online]. [vid.2014-01-09]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/vysvetleni-interferometrie--7854>
- [9] ČSN EN ISO 13920 Svařování- Všeobecné tolerance svařovaných konstrukcí- Délkové a úhlové rozměry- Tvar a poloha. Praha: Český normalizační institut, 2003. 12 s.
- [10] ČSN EN ISO 9000 Systém managementu kvality – Základní principy a slovník. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [11] HOFMANN, Dietrich. *Priemyselná meracia technika*. Bratislava: Alfa vydavateľstvo technickém a ekonomickém literatúry, 1988. 567s. ISBN 80-05-00139-8.
- [12] Easy-Laser, Measurement and alignment Systems. Shaft alignment [online]. [vid.2014-01-09]. Dostupné z: <http://www.damalini.com/Home-622.aspx>
- [13] Fixturlaser, Shaft alignment [online]. [vid.2014-01-09]. Dostupné z: <http://www.fixturlaser.com/Shaft-Alignment/FIXTURLASER-GO-Pro/>
- [14] SKF Ložiska, a.s., Servis, Ustavování. [vid.2013-04-07]. Dostupné z: http://www.skf.com/portal/skf_cz/home/products?contentId=260619&lang=cs

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování
strojů a soustrojí

- [15] Prüftechnik, Paralign- roll alignment [online]. [vid.2013-04-07]. Dostupné z: <http://www.pruftechnik.com/paralign-roll-alignment.html>
- [16] Leica Geosystems, Leica Geosystems 2014- Part of Hexagon. White paper Leica Geosystems Products- Accurate Performance in Every Dimension [online].
- [17] Leica Geosystems, Leica Geosystems 2014- Part of Hexagon. White paper Leica Geosystems Leica Absolute Tracker AT401 [online]. [vid.2013-02-10]. Dostupné z: <http://www.leica-geosystems.com/en/index.htm>
- [18] Leica Geosystems. Leica Geosystems 2014- Part of Hexagon. [online]. [vid.2014-01-09]. Dostupné z: http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-C10_79411.htm
- [19] PAVELKA, Karel; DOLANSKÝ, Tomáš; HODAČ, Jindřich; VALENTOVÁ, Miluše. *Fotogrammetrie 30: Digitální metody*. Vydavatelství ČVUT, 2001. 171-172s. ISBN 80-01-02413-X.
- [20] Leica Geosystems. Leica Geosystems 2014- Part of Hexagon. [online]. [vid.2014-01-09]. Dostupné z: http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-NA2-NAK2_4457.htm
- [21] Mitutoyo Česká republika, Souřadnicové měřicí přístroje [online]. [vid 2014-01-09]. Dostupné z: <http://www.mitutoyo.cz/produkty/souradnicove-merici-stroje/cnc-souradnicove-merici-stroje.html>

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování
strojů a soustrojí

- [22] MÖSER, MÜLLER, SCHLEMMER, WERNER (Hrsg.). *Handbuch Ingenieurgeodäsie: Maschinen- und Anlagenbau, 2., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage*. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag, 2002. ISBN 3-87907-299-X.
- [23] Conrad Electronic Česká republika, s.r.o., Praha 10. Měřicí nástroje [online]. [vid 2014-01-09]. Dostupné z: <http://www.conrad.cz/merici-nastroje.c17593>
- [24] GLM- Laser, Target and accessory catalogue [online]. [vid 2014-01-09]. Dostupné z: http://catalogue.glm-laser.com/Targets_asse_catalogue.pdf
- [25] ČSN ISO 17123-1 Optika a optické přístroje- Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů- Část 1: Teorie. Český normalizační institut, 2005.
- [26] ČSN ISO 17123-3 Optika a optické přístroje- Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů- Část 3: Teodolity. Český normalizační institut, 2005.
- [27] ČSN ISO 17123-4 Optika a optické přístroje- Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů- Část 4: Elektrooptické dálkoměry. Český normalizační institut, 2005.
- [28] BUREŠ, Jiří; VÁVROVÁ, Eva. *K problematice přesnosti měření s využitím robotizovaných totálních stanic*. Inžiniersko-Priemyselný geodézia 2013, Bratislava, 2013. ISBN 978-80-227-4032-6.

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování
strojů a soustrojí

- [29] Leica Geosystems, Leica Geosystems 2014- Part of Hexagon. White paper Leica Geosystems Products- TPS1200+_EN.
- [30] SwissTek, Tripods and Adapters. [online]. [vid 2014-01-10]. Dostupné na http://www.swisstek.com/images/tripods_adapters/hercules.jpg
- [31] Trimble, Geospatial Solutions, Total stations, Trimble S8 Total station. [online]. [vid 2014-01-10]. Dostupné z: http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-390412/022543-410G_TrimbleS8_DS_0613_LR.pdf
- [32] Leica Geosystems. Leica Geosystems 2014- Part of Hexagon. [online]. [vid.2014-01-09]. Dostupné z: http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/TS30/brochures-datasheet/TS30_Technical_Data_en.pdf
- [33] NOVÁK, Zdenek; PROCHÁZKA, Jaromír. *Inženýrská geodézie 10*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2001. ISBN 80-01-02407-5.
- [34] TPS5000 User Manual_en. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, 2005. [online]. [vid 2014-01-09]. Dostupné z: <https://myworld.leica-geosystems.com/irj/portal?NavigationTarget=navurl:/7bf95a07f9b5845e53a26c20656bb1a1>
- [35] ŠVÁBENSKÝ, Otakar; VITULA, Alexej. *Inženýrská geodézie, Návodky ke cvičení I..* Nakladatelství PC-DIR spol.s.r.o., Brno.

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování
strojů a soustrojí

- [36] MICHALČÁK, Ondrej; VOSIKA, Otakar; VESELÝ, Miloslav; NOVÁK, Zdeněk. *Inžinierska geodézia I*. Bratislava, Nakladateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1985. ISBN 80-05-00678-0.
- [37] Paper Technology [online]. [vid 2014-01-10]. Dostupné z: http://www.knowpap.com/www_demo/english/paper_technology/general/5_papermaking/frame.htm
- [38] FARO corp. firemní materiály [on-line] dostupné na: <http://www.faro.com>
- [39] MAZALOVÁ, Jana, VALENTOVÁ, Kateřina, VLČKOVÁ, Lenka, Testing of accuracy of reflectorless distance measurement of selected Leica and Topcon total stations. *GeoScience Engineering*. Volume LVI (2010), No. 1. p. 19-26, ISSN 1802-5420.
- [40] MAZALOVÁ, Jana, *Měřické přístroje a systémy*. VŠB-TU Ostrava, Ostrava, 1995. ISBN 80-7078-266-8.
- [41] FRANEK, Pavel, *Ověřování parametrů přesnosti měření délek moderními geodetickými přístroji s použitím bezhranových technologií*. Ostrava, 2012. Disertační práce. Vysoká škola báňská-technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut geodézie a důlního měřictví.
- [42] MÁDR, Vilém, Pavel ČERNOTA, Jiří POSPÍŠIL a Hana STAŇKOVÁ. *Laserové záření v důlním měřictví a geodézii*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3137-4.

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování
strojů a soustrojí

Seznam vlastních publikací

Stavařová L.: *Vytvoření interaktivní 3D vizualizace vybraného území.* Conference Proceedings, 3rd International Conference and 3rd International Trade Fair of Geodesy, Cartography, Navigation and Geoinformatics, GEOS 2008. Praha 2008. ISBN 978-80-85881-29-5

Stavařová L.: *Vytvoření interaktivní 3D vizualizace města Hradec nad Moravicí.* Sborník 10. odborné konference doktorského studia JUNIORSTAV 2008, 6.2 Praktické aspekty geodézie a kartografie. VUT, Brno 2008. ISBN 978-80-86433-45-5

Stavařová L., Valentová K., Vlčková L.: *Využití jednosnímkové fotogrammetrie v průmyslu.* Sborník 11. odborná konference doktorského studia JUNIORSTAV 2009, 6.1 Teoretické aspekty geodézie a kartografie. VUT, Brno 2009. ISBN 978-80-214-3810-1

Stavařová L., Slabý V., Pospíšil J.: *Geodézie v papírenském průmyslu.* Sborník XII. Mezinárodní vědecké konference VUT v Brně, Sekce 11. Aktuální problémy inženýrské geodézie. VUT, Brno 2009. ISBN 978-80-7204-629-4

Stavařová L.: *Industrial utilization of single-image photogrammetry.* GeoScience Engineering, Volume LV (2009), Issue No.4, p.66-72. ISSN 1802-5420.

Stavařová L., Slabý V., Pospíšil J.: *Geodézie v papírenském průmyslu.* Technická diagnostika 2, ročník XVIII, 2009. ISSN 1210-311X.

Lucie Pospíšilová:

Aplikace geodetických metod pro měření a ustavování strojů a soustrojí

Pospíšilová, L., Pospíšil, J., Staňková, H., Micro-network creation in industrial surveying. *Geodesy and Cartography*. Volume 38, Issue 2, June 2012. p. 70-74, ISSN: 1392-1541.

Staňková, H., Černota, P., Matas, O., Pospíšil, J., **Pospíšilová, L.** Analyzing the accuracy of stable cadastre network from the perspective of current use. In: *12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2012: conference proceedings. Volume I-V*. Varna: Bulgaria: STEF92 Technology Ltd., 2012, s.677-684. ISSN 1314-2704.

Pospíšilová, L., *Kontrola Geometrických parametrů převijčky papírenského stroje*. Vytyčovanie a kontrolné meranie technologických zariadení. Inžiniersko-priemyselná geodézia 2013, 12., 13.9.2013, STU Bratislava 2013. ISBN 978-80-227-4032-6.

Pospíšil, J., Dandoš, R., **Pospíšilová, L.**, *Geodetická měření ve strojírenství*. Konference Diago 2014, 28.-29.1.2014, Rožnov pod Radhoštěm. ISBN

Pospíšilová, L., Pospíšil, J., Precision of the total station and target configuration, INGENEO 2014, Praha - v recenzním řízení