



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV GEODÉZIE**

**FACULTY OF CIVIL ENGINEERING**  
**INSTITUTE OF GEODESY**

# VYUŽITÍ ROBOTICKÉ TOTÁLNÍ STANICE PRO MĚŘENÍ JEŘÁBOVÝCH DRAH

APPLICATION OF ROBOTIC TOTAL STATION FOR CRANE TRACKS MEASUREMENT

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. JÁN CHOMJAK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. RADOVAN MACHOTKA, Ph.D.**

BRNO 2014



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3646 Geodézie a kartografie
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3646T003 Geodézie a kartografie
<b>Pracoviště</b>	Ústav geodézie

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. Ján Chomjak
<b>Název</b>	Využití robotické totální stanice pro měření jeřábových drah
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	30. 11. 2013
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	30. 5. 2014
V Brně dne 30. 11. 2013	

.....  
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

Manuál pro obsluhu totálních stanic řady Leica TPS 1200  
norma ČSN 73 5130 Jeřábové dráhy

## **Zásady pro vypracování**

Proved'te zaměření alespoň jedné jeřábové dráhy s využitím robotické totální stanice Leica TCRP 1205+. Pro určení přímosti kolejí využijte automatické cílení na hranol. Výsledky porovnejte s klasickým postupem dle normy ČSN 73 5130 Jeřábové dráhy.

## **Předepsané přílohy**

.....

Ing. Radovan Machotka, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

Predmetom tejto diplomovej práce bolo využitie robotickej totálnej stanice pre meranie žeriavových dráh. Pre určenie priamosti koľajníc mal byť použitý systém automatického cielenia na hranol. Zameraná bola jedna žeriavová dráha dvoma metódami. Vodorovné odchýlky od priamosti boli určené priamo metódou „zámernej priamky“ a nepriamo pomocou uhlového a dĺžkového merania. Pre určenie výškového priebehu sa použila technická nivelácia a trigonometrické určovanie výšok. Výsledky merania preukázali, že dosiahnuté odchýlky medzi jednotlivými metódami sú minimálne, a teda je možné ich považovať za rovnocenné. Systém ATR cieľi na hranol spoľahlivo a s dostatočnou presnosťou.

## **Klíčová slova**

Žeriavová dráha, automatické cielenie na hranol, os koľajnice, metóda merania, odchýlka

## **Abstract**

This diploma thesis deals with application of robotic total station for crane tracks measuring. To determinate straight of rail tracks was used system of automatic target recognition. One crane track was measured by two methods. Horizontal deviation from straight direction was determined directly by the method “line of sight” and indirectly using measuring angles and lengths. To determinate height continuance was used engineering and trigonometric leveling. The results of measuring proved, that reached deviations between methods are minimal, so we consider them as equal. System of automatic target recognition reliably and with sufficient accuracy aims to the prism-centre.

## **Keywords**

Crane track, automatic target recognition, rail axis, method of measurement, deviation

## **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Ján Chomjak *Využití robotické totální stanice pro měření jeřábových drah*. Brno, 2014. 86 s., 13 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Radovan Machotka, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 29.5.2014

.....  
podpis autora  
Bc. Ján Chomjak

**Pod'akovanie:**

Týmto ďakujem Ing. Radovanovi Machotkovi, Ph.D., vedúcemu tejto diplomovej práce, za jeho cenné pripomienky a odborné rady. Pod'akovanie patrí tiež Ing. Karolovi Svobodovi, ktorý poskytol prístrojové vybavenie, sprostredkoval meranie a viedol praktickú časť tejto diplomovej práce. Ďakujem mojim rodičom, ktorí ma podporovali v priebehu celého štúdia.

## OBSAH

<b>1. ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV .....</b>	<b>9</b>
<b>2. ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>3. PROBLEMATIKA MERANIA ŽERIAVOVÝCH DRÁH .....</b>	<b>11</b>
3.1 Geodézia v priemysle .....	11
3.1.1 Bezpečnosť práce pri meraní žeriavových dráh.....	12
3.2 Žeriavy a žeriavové dráhy .....	13
3.2.1 Základné pojmy .....	13
3.2.2 Rozdelenie žeriavov podľa konštrukcie.....	15
3.3 Podstata úlohy .....	18
3.3.1 Vymedzenie priestorových vzťahov .....	19
3.4 Súvisiace normy, návody a smernice .....	20
3.5 Tolerancie a meranie úchýliek .....	21
3.5.1 Tolerancie .....	21
3.5.2 Meranie odchýlok .....	22
3.6 Metódy merania .....	23
3.6.1 Metóda zámernej priamky .....	24
3.6.2 Priestorová polárna metóda .....	27
<b>4. ROBOTICKÁ TOTÁLNA STANICA.....</b>	<b>31</b>
4.1 Robotická totálna stanica Leica TCRP 1205+ R400.....	32
4.2 Systém ATR .....	35
4.3 Vlastné testovanie ATR .....	37
4.3.1 Popis testovacieho merania.....	37
4.3.2 Spracovanie testovacieho merania.....	39
4.3.3 Zhodnotenie výsledkov testovania ATR.....	40
4.4 Testovanie uhlovej presnosti.....	41
4.4.1 Popis poľného testu.....	41
4.4.2 Spracovanie a zhodnotenie výsledkov .....	43
<b>5. PRAKTICKÉ MERANIE ŽERIAVOVÝCH DRÁH.....</b>	<b>45</b>
5.1 Žeriavová dráha vo firme Thermal Trend spol. s r.o. ....	45
5.2 Použité prístroje a pomôcky .....	46
5.2.1 Skúška nivelačného prístroja .....	48
5.3 Podmienky a príprava merania.....	49



5.4	Metóda zámernej priamky.....	50
5.4.1	Smerový priebeh .....	53
5.4.2	Vyrovnanie smerovej deformácie .....	54
5.4.3	Výškový priebeh .....	58
5.5	Priestorová polárna metóda.....	59
5.5.1	Spracovanie meraných dát .....	61
5.5.2	Výpočet priečných odchýlok .....	62
5.5.3	Výpočet rozchodu zo súradníc podrobných bodov.....	63
5.5.4	Trigonometrické určenie výšok .....	65
5.6	Rozbor presnosti.....	67
5.6.1	Presnosť určenia rozchodu.....	67
5.6.2	Presnosť určenia priečnej odchýlky.....	70
5.6.3	Presnosť určenia výškových odchýlok .....	72
5.7	Porovnanie medzi metódami.....	74
5.7.1	Porovnanie priečných odchýlok.....	74
5.7.2	Porovnanie rozchodov .....	77
5.7.3	Porovnanie výškových odchýlok .....	78
<b>6.</b>	<b>ZÁVER .....</b>	<b>80</b>
<b>7.</b>	<b>ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV.....</b>	<b>81</b>
7.1	Literárne zdroje .....	81
7.2	Internetové zdroje.....	82
<b>8.</b>	<b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>	<b>84</b>
<b>9.</b>	<b>ZOZNAM TABULIEK .....</b>	<b>85</b>
<b>10.</b>	<b>ZOZNAM PRÍLOH.....</b>	<b>86</b>
10.1	Viazané prílohy .....	86
10.2	Voľné prílohy .....	86

# 1. ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV

## Zoznam skratiek:

ATR .....	Automatic Target Recognition
CCD .....	Charged Coupled Device
CMOS .....	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
ČSN.....	Česká technická norma
EDM.....	Elektronic Distance Measurement
HS .....	Horizontálny smer
HZ (Hz).....	Horizontálny uhol
IR .....	Infrared
ISO .....	International Organization for Standardization
LOCK.....	Automatic Target Tracking
MNŠ.....	Metóda najmenších štvorcov
MZP .....	Metóda zámernej priamky
PS .....	PowerSearch
RL .....	Reflectorless
S. NO. ....	Serial Number
spol. s r.o.....	Spoločnosť s ručením obmedzeným
STD.....	Standard
TRK .....	Tracking
TS.....	Totálna stanica
ŽD .....	Žeriavová dráha
V.....	Vertikálny uhol

## Zoznam symbolov:

% .....	percento
‰ .....	promile
° .....	uhlový stupeň
" .....	uhlová sekunda (šesťdesatinná)
cc .....	uhlová sekunda (stotinná)
°C .....	stupeň Celzia
gon, <sup>g</sup> .....	gón, grád
m .....	meter
Pa .....	pascal
ppm .....	parts per million
s.....	sekunda

## 2. ÚVOD

Predmetná diplomová práca (ďalej len „diplomová práca“) je primárne zameraná na využitie robotickej totálnej stanice (TS) Leica TCRP 1205+ R400 pre určenie priestorových vzťahov žeriavových dráh (ŽD). Pre určenie priamosti koľají má byť použitý systém automatického cielenia na odrazový hranol (ATR) a dosiahnuté výsledky sa majú porovnať s klasickým postupom podľa normy ČSN 73 5130 („Jeřábové dráhy“).

Jednou z hlavných úloh pri meraní ŽD je určenie smerového priebehu jednotlivých koľajníc. Ten je daný vodorovnými odchýlkami (*Poznámka: v Českej republike sa používa odborný termín „úchylka“*) pozdĺžnej strednice koľajníc od vzťažnej priamky v stanovených priečných rezoch. Odchýlky je možné určovať priamo optickým odčítaním na stupnici milimetrového pravítka, alebo nepriamo pomocou uhlového a dĺžkového merania.

Práve pri nepriamom určovaní môže byť aplikovaný systém ATR. Pomocou tejto funkcie sú jednak eliminované chyby z cielenia a odčítania stupnice, zapríčinené najmä nedokonalosťou ľudských zmyslov, a jednak je postup z časti automatizovaný. Do akej miery sú nahradené skúsenosti a precíznosť merača sa prioritne zisťuje v rámci tejto diplomovej práce, ktorá sa snaží posúdiť využiteľnosť systému ATR pri meraní ŽD z hľadiska presnosti a časovej úspornosti.

Sekundárne sa diplomová práca zaoberá testovaním presnosti systému ATR na základe výberového súboru merania v laboratórnych podmienkach a testovaním uhlovej presnosti danej TS.

Téma vznikla na základe spolupráce Ústavu geodézie a Ing. Karla Svobodu, ktorý je fyzickou osobou podnikajúcou v odbore zememeračskej a kartografickej činnosti. Ten poskytol vyššie uvedenú TS a iné špeciálne pomôcky, ktoré sú pre meranie ŽD potrebné. Zabezpečil prístup na ŽD, ktorá sa v praxi reálne používa a pomáhal autorovi diplomovej práce pri meraní.

### **3. PROBLEMATIKA MERANIA ŽERIAVOVÝCH DRÁH**

#### **3.1 Geodézia v priemysle**

Geodetické práce v priemysle sa vykonávajú za iných podmienok než práce v teréne. Priemyselné prostredie a jeho vplyv na geodetické meranie je charakteristické pre túto oblasť geodézie. Väčšina geodetických meraní v priemysle sa vykonáva vo vnútri priemyselných objektov, dielňach, výrobných halách či prevádzkach, ktoré majú spravidla špecifické klimatické a prevádzkové podmienky.

Skracujú sa dĺžky meraných či vytyčovaných objektov. Vzrastajú však požiadavky na presnosť a kvalitu výsledkov. Vysoké nároky na presnosť meraných prvkov často vyžadujú úpravy a zdokonaľovanie bežných meračských prác, výrobu špeciálnych neštandardných prístrojov a pomôcok, ale tiež vhodné teoretické riešenia meračských a vyhodnocovacích postupov a metód.

Zvláštnosti priemyselného prostredia priamo ovplyvňujú tiež organizáciu a priebeh vlastných meračských prác. Je bezpodmienečne nutné dbať na bezpečnosť pri práci a ochranu zdravia. Z toho vyplýva, že je potrebné preškolenie všetkých členov meračskej skupiny. Dôležité je tiež ohlásenie prác u vedúceho prevádzky či zmeny.

Požiadavky objednávateľa zahŕňajú skrátenie doby merania na nevyhnutné minimum, nakoľko prekážky vo výrobe znamenajú vždy menšie či väčšie ekonomické straty. Geodet preto musí dbať na dôkladnú prípravu a samotnú realizáciu meračských prác.

Rozdiel medzi meraním vo voľnej prírode a v priemyselných objektoch teda spočíva v prostredí, v ktorom meračské práce prebiehajú, v bezpečnosti práce, ktorej musí meračská skupina venovať veľkú pozornosť, v rozmeroch objektov, ktoré sú oproti objektom vo voľnom teréne pomerne malé, a v požadovanej presnosti, ktorá je asi o rád vyššia než pri meraní v stavebníctve [14].

### 3.1.1 Bezpečnosť práce pri meraní žeriavových dráh

Pracovné prostredie výrobných hál, nádvorí či iných priemyselných objektov, v ktorých sa žeriavové dráhy nachádzajú, kladie mimoriadne zvýšené požiadavky na opatrnosť a bezpečnosť pri výkone meračských prác. Zaistenie bezpečnosti je pri realizácii kontrolných meraní dôležitou súčasťou, zvlášť pri nadzemných žeriavových dráhach, kde je geodet vystavený nebezpečenstvu spojenému s prácou vo výškach.

Podmienky na bezpečnostné zariadenie a vybavenie žeriavových dráh ukladala technická norma ČSN 27 0140 („Jeřáby a zdvihadla“), ktorá bola zrušená bez náhrady. Stanovila bezpečnostné predpisy pre opravárenskú žeriavovú čatu, ktoré sa vzťahovali tiež na meračskú skupinu. Z tejto normy vyplývali povinnosti pre zaistenie bezpečnosti, ktoré je možné aplikovať aj na súčasné vykonávanie meračských činností pri zisťovaní priestorových vzťahov žeriavových dráh.

Vedúci meračskej skupiny by mal zaistiť dodržanie nasledujúcich vybraných bezpečnostných opatrení, v záujme ochrany zdravia všetkých členov skupiny:

- ohlásiť sa žeriavnikovi príslušnej dráhy a informovať sa o všetkých nutných a zvláštnych opatreniach tohto pracoviska
- dohodnúť sa s elektrikárom prevádzky o zabezpečení a ochrane pred dotykou elektrického vedenia
- nezačínať s prácami, pokiaľ nie je elektrické zariadenie ochránené tak, že je zamedzený styk i pri neopatrnosti a dokiaľ nie je isté, že zariadenie je bez prúdu
- zistiť, či nemôže dôjsť k dotyku meračského pásma s iným neizolovaným vedením, napr. pri vyšmyknutí alebo pretrhnutí pásma môže dôjsť k dotyku s nechráneným el. vodičom
- informovať sa o všetkých ochranných opatreniach v priestoroch nad pecami, v zlievarniach a všade tam, kde je nebezpečenstvo ohrozenia zdravia (škodlivé plyny, výpary kyselín a pod.)
- pracovníci pohybujúci sa vo výškach, by mali byť vybavení ochranným pásom slúžiacim k pripútavaniu sa, vhodným ochranným odevom a popřípade i ochrannou prilbou

- dbať o to, aby pri práci nespádli zo žeriavu alebo žeriavovej dráhy meračské prístroje alebo pomôcky, náradie či iné predmety
- ak sa pracovník pohybujúci sa vo výškach cíti z nejakého dôvodu telesne alebo duševne neistý, musí to ihneď oznámiť vedúcemu skupiny
- pri práci je nutné postupovať pokojne a rozvážne, občas sa navzájom upozorniť na nebezpečenstvo pri jednotlivých úkonoch a venovať sústavnú pozornosť ochrane pred akýmkoľvek možným úrazom.

Pri meračských prácach na žeriavových dráhach je nutné si uvedomiť, že i malé opomenutie môže mať za následok úraz či dokonca smrť a že podceňovanie rizika tieto možnosti len zvyšuje.

Dodržiavanie pokynov k zaisteniu bezpečnosti a ochranu zdravia pri práci je prvoradé. Na druhú stranu však vzniká zvýšený nápor na nervovú sústavu, nakoľko musí byť pracovník neustále v strehu, čo vedie k objektívnemu znižovaniu pozornosti s dĺžkou merania [11].

## 3.2 Žeriavy a žeriavové dráhy

### 3.2.1 Základné pojmy

Nasledujúce vybrané pojmy sú spracované podľa [3] a [4].

**Žeriav** je stroj pre cyklickú činnosť určený k zdvíhaniu alebo premiestňovaniu bremena v priestore, pričom bremeno je zavesené na háku alebo uchopené iným spôsobom.

**Žeriavová dráha** je konštrukcia určená pre pojazd žeriavu, tvorená nosníkovou konštrukciou s koľajnicami alebo oceľovými nosníkmi podvesných žeriavov alebo pojazdového kladkostroja (zdvíhadla), popr. samostatnou koľajou na podloží. Súčasťou dráhy je i nutné príslušenstvo, najmä nárazníky, narážky, lávky plošiny, schodiská, rebríky, zábradlia, popr. nosníky a konzoly koľají.

**Vetva žeriavovej dráhy** – časť konštrukcie žeriavovej dráhy, po ktorej jazdia pojazdové kolesá žeriavu.

**Pole vetvy žeriavovej dráhy** – časť vetvy žeriavovej dráhy medzi dvoma susednými podporami, popr. s predĺžením nosníku za poslednú podporu, t.j. s previsnutým koncom.

**Rozchod žeriavovej dráhy** – vodorovná vzdialenosť medzi zvislými osami (stredmi) žeriavových koľajníc oboch vetiev žeriavovej dráhy mostových, portálových a poloportálových žeriavov a vodorovná vzdialenosť medzi zvislými osami jazdených nosníkov vonkajších vetiev žeriavovej dráhy podvesného žeriavu.

Poznámka: Rozchod ŽD mostového žeriavu je zhodný s rozpätím mostového žeriavu.

**Výška žeriavovej dráhy** – zvislá vzdialenosť od úrovne zeme (podlahy) k úrovni hlavy koľajnice žeriavovej dráhy.

Výška žeriavovej dráhy je u

- a) žeriavov mostových, portálových a poloportálových k úrovni hlavy koľajnice
- b) žeriavov podvesných a pojazdných zdvíhadiel k hornej hrane jazdenej príruby nosníku, popr. závesné koľajnice
- c) pojazdných konzolových žeriavov k úrovni hlavy nosnej koľajnice na zvislom nosníku

**Priechodná lávka** – lávka pozdĺž celej vetvy žeriavovej dráhy určená najmä pre núdzový únik z kabíny alebo koša žeriavu, popr. z priechovej lávky žeriavu.

**Revízná lávka** – lávka v časti vetvy žeriavovej dráhy určená ku kontrole, údržbe a opravám žeriavu.

**Revízná plošina** – plošina v priečnom, popr. i v príľahlom pozdĺžnom smere žeriavovej dráhy určená ku kontrole, údržbe a opravám žeriavu.

**Nástupná plošina** – plošina určená pre prístup do kabíny alebo koša žeriavu.

**Most** – hlavná nosná konštrukcia žeriavu mostového typu, po ktorej sa pohybuje mačka, alebo konštrukcia medzi podporami portálových a poloportálových žeriavov.

**Portál** – základná časť žeriavu určená pre montovanie otočnej základne, vrátane poháňacieho ústrojenstva pre pojazd žeriavu.

**Mačka** – montážna skupina skonštruovaná pre priečny pohyb zaveseného bremena.

**Koľajová dráha** – zostava koľajníc, nosníkov, príložiek koľajníc a konštrukcií, po ktorých jazdí žeriav.

**Nárazník** – zariadenie pre utlmenie nárazu.

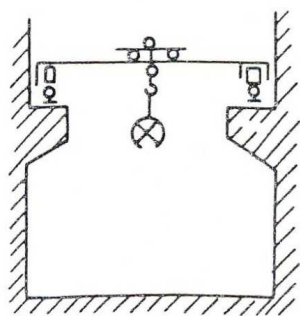
### 3.2.2 Rozdelenie žeriavov podľa konštrukcie

Rozdelenie vychádza z normy ČSN ISO 4306-1 *Jeřáby – Slovník – Část 1: Všeobecně* [4] a v tejto diplomovej práci je mienené ako orientačné, nie v úplnej podrobnosti.

1. **Žeriav mostového typu** – žeriav s prostriedkom pre uchopenie bremien zaveseným na mačke, na zdvihovej jednotke/kladkostrojii alebo výložníkovom žeriave a tento prostriedok sa môže pohybovať pozdĺž mostu žeriavu.
  - 1.1 **Mostový žeriav** (*bridge crane*) – žeriav s mostovými nosníkmi, priamo podoprenými pojazdvými jednotkami na koľajnicových dráhach
  - 1.2 **Portálový žeriav** (*gantry crane*) – žeriav s mostovými nosníkmi, podoprený nohami na koľajnicových dráhach
  - 1.3 **Poloportálový žeriav** (*semi-gantry crane*) – žeriav s mostovými nosníkmi, podoprený na jednom konci priamo na dráhe a nohami na druhom konci
2. **Typ žeriavu s nosnými lanami** – žeriav s prostriedkom pre uchopenie bremien zavesenými na mačke, jazdiaci na nosných lanách, upevnených na stožiaroch.
3. **Žeriav výložníkového typu** – žeriav s prostriedkom pre uchopenie bremien zaveseným na výložníku alebo mačke, jazdiaci pozdĺž výložníku.
  - 3.1 Portálový otočný žeriav
  - 3.2 Poloportálový otočný žeriav
  - 3.3 Mobilný žeriav
  - 3.4 Vežový žeriav
  - 3.5 Železničný žeriav
  - 3.6 Plávajúci žeriav
  - 3.7 Palubný žeriav
  - 3.8 Derikový žeriav, stožiarový žeriav
  - 3.9 Konzolový žeriav
  - 3.10 Výložníkový žeriav

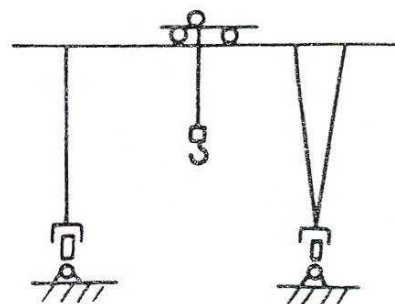
Z geodetického hľadiska sú zaujímavé predovšetkým nasledovné štyri typy žeriavov: mostový, portálový, poloportálový a prípadne vežový žeriav. V rámci tejto diplomovej práce je potom zaujímavý iba mostový žeriav. Avšak ďalej sú priblížené aj zvyšné tri typy, aby bol rozdiel dostatočne jasný.





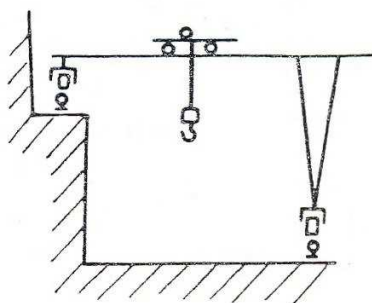
**Obr. 3-1: Schéma mostového žeriava**

[4]

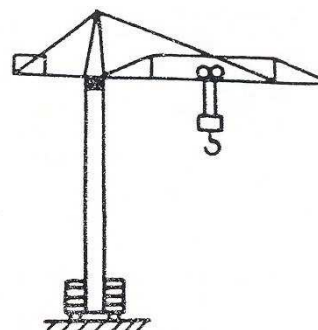


**Obr. 3-2: Schéma portálového žeriava**

[4]



**Obr. 3-3: Schéma poloportálového žeriava [4]**



**Obr. 3-4: Schéma vežového žeriava [4]**

Mostové žeriavy tvoria najrozsiahljšiu a najčastejšiu skupinu žeriavov v priemyselných halách a nádvořiach priemyselných objektov. Konštrukcia mostového žeriavu sa skladá z mostu, ktorý sa pohybuje po vyvýšenej žeriavovej dráhe s dvoma vetvami a pojazdného zariadenia vrátane kolies. Po moste sa pohybuje žeriavový vozík (tzv. mačka), ktorá nesie zdvíhacie zariadenie a bremeno.

Nachádzajú sa v rôznych výškach, v stiesnených priestoroch výrobných hál s nedokonalým osvetlením, často so znečisteným prostredím a vysokou teplotou vzduchu alebo na otvorených priestranstvách, kde sú meračské práce zaťažené poveternosnými podmienkami.

Nosnú konštrukciu portálových žeriavov tvorí portál, ktorý sa skladá zo žeriavového mosta a dvoch podpier s pojazdným zariadením umiestneným v úrovni pojazdu žeriava. Most môže byť bez previsnutých koncov, prípadne s jedným, výnimočne dvoma previsnutými koncami.

Poloportálové žeriavy tvoria špecifickú časť portálových žeriavov. Ich most sa na jednej strane bezprostredne dotýka žeriavovej dráhy a na druhej strane je dotyk zabezpečovaný pomocou podpier. Jedna vetva žeriavovej dráhy sa teda nachádza vo zvýšenej úrovni, najčastejšie vo výške mostového žeriava a umiestnený na nosnej konštrukcii budovy alebo samostatnej opornej steny.

Mostové a portálové žeriavy sa pohybujú takmer výhradne po žeriavových dráhach. Vzájomne sa od seba tieto typy odlišujú v jednom aspekte. U portálových žeriavov sa po žeriavovej dráhe pohybujú podpory hore pevne spojené s nosníkmi pre pojazd mačky. V prípade mostového žeriavu je naopak žeriavová dráha umiestnená na podperách a po nej sa pohybujú hlavné nosníky a pojazdy mačky. Tieto typy žeriavových dráh majú charakter trvalých dráh.

Zvislú konštrukciu vežového žeriava tvorí vysoká vežová priehradová konštrukcia. Vežové žeriavy sa vyrábajú v mnohých prevedeniach, ale z geodetického hľadiska je dôležité rozlíšenie podvozku. Delia sa na podvozok bez pojazdu alebo s pojazdom. U väčších žeriavov sa nezriedka používa pojazd po žeriavových dráhach o rôznych dĺžkach i tvaroch. Tieto žeriavové dráhy, zvlášť väčších dĺžok a členitejších tvarov, sa stávajú predmetom geodetických pozorovaní a majú charakter dočasných dráh [22].



**Obr. 3-5: Príklad mostového žeriava**

[27]



**Obr. 3-6: Príklad portálového žeriava**

[28]



**Obr. 3-7: Príklad poloportálového žeriava [29]**



**Obr. 3-8: Príklad vežového žeriava [30]**

### 3.3 Podstata úlohy

Žeriavy sú v priemysle a stavebníctve dôležitým pracovným prostriedkom, ktorý však v dôsledku nepretržitej prevádzky a vysokého zaťaženia podlieha značnému opotrebovaniu.

Správne postavená, resp. rektifikovaná žeriavová dráha musí v stanovených toleranciách spĺňať nasledujúce podmienky:

- osi koľajníc sú navzájom rovnobežné
- jazdené plochy koľajníc sú v rovnakej výške
- rozchod koľajníc je zhodný s osovou vzdialenosťou kolies žeriavu
- spojnica nárazníkových čiel je kolmá na osu koľajníc
- osa koľajníc je kolmá na točnú osu kolies žeriavu

Nesplnenie hlavných podmienok pre bezporuchovú prevádzku ŽD a vlastného žeriava vedie k opotrebovaniu materiálu (koľajníc a kolies žeriava), nadmernému zaťaženiu pohonnej časti a prevodoviek žeriava a k vyššej spotrebe elektrickej energie. Takýto stav vyžaduje odstávku žeriava z prevádzky, následné vykonanie kontroly, výmenu opotrebovaných súčastí a rektifikáciu ŽD a žeriava. Z toho vyplýva dlhšia doba odstavenia žeriava z prevádzky, čo je nežiaduce z hľadiska výrobných činností, nakoľko dochádza k obmedzeniu výroby a s tým súvisiacim ekonomickým stratám.

Vykonávanie kontrolných meraní geometrických parametrov žeriavovej dráhy v pravidelných intervaloch predchádza nežiaducemu opotrebeniu, či dokonca odstávke žeriava. Pravidelnými kontrolami je možné včas odhaliť geometrické parametre prekračujúce povolené medzné odchýlky a tým zabezpečiť včasnú rektifikáciu žeriavovej dráhy a žeriava.

Realizácia kontrolných meraní síce taktiež vyžaduje z technických i bezpečnostných dôvodov odstavenie žeriava z prevádzky, avšak na omnoho kratšiu dobu. Doba merania závisí na type žeriavovej dráhy, veľkosti geometrických parametrov dráhy a žeriava, požadovanej presnosti, zvolenej metóde merania a na prístrojovom vybavení. Vzhľadom k rozsahu a náročnosti meračských prác sa jedná spravidla o niekoľko hodín, pričom je snaha túto dobu minimalizovať a znížiť tak ekonomické straty.

Účelom merania je teda kontrola dodržania predpísaných medzných odchýlok a to nie len pred uvedením žeriavovej dráhy do prevádzky, ale i po montáži alebo oprave, poprípade pre získanie podkladov pre rekonštrukciu alebo rektifikáciu žeriavovej dráhy [1], [22]. Dovoľené tolerancie sú stanovené v norme [3].

### 3.3.1 Vymedzenie priestorových vzťahov

Určovaním priestorových vzťahov žeriavovej dráhy sa rozumie určenie smerového a výškového priebehu koľajníc žeriavovej dráhy a ich rozchodu.

**Smerový priebeh** žeriavovej dráhy je určený smerovými odchýlkami pozdĺžnej strednice koľajníc od vzťažnej priamky v stanovených priečných rezoch. U novopostavených žeriavových dráhach alebo uvádzaných do prevádzky po rekonštrukcii je vzťažnou priamkou projektovaná osa koľajníc, v ostatných prípadoch sa spravidla volí spojnica vhodne zvolených koncových bodov pozdĺžnej strednice koľajníc.

**Výškový priebeh** žeriavovej dráhy je určený výškovými odchýlkami pojazdových plôch koľajníc od vzťažnej vodorovnej roviny a výškovými rozdielmi týchto plôch v stanovených priečných rovinách. U novopostavených žeriavových dráhach alebo uvádzaných do prevádzky po rekonštrukcii je vzťažnou rovinou projektovaná úroveň pojazdových plôch koľajníc, v ostatných prípadoch sa volí vodorovná rovina prechádzajúca najvyšším bodom pojazdových plôch koľajníc.

**Rozchod koľajníc** v stanovených priečných rezoch je určený vodorovnou vzdialenosťou ich pozdĺžnych stredníc.

Ďalšími údajmi, ktorými sa určujú priestorové vzťahy žeriavovej dráhy sú odchýlky **spojnice čiel nárazníkov** na koncoch koľajníc od roviny kolmej k ose žeriavovej dráhy a **bočný presah koľajníc v stykoch**.

Vzhľadom na okolnosti, resp. požiadavky objednávateľa sa môžu zisťovať tiež rozmery kolies, vôle v ložiskách, rozmery pojazdového kolesa, zvislosť nosných stĺpov a ich poklesy a priehyb mostu pri zaťažení bremenom.

### **3.4 Súvisiace normy, návody a smernice**

V nedávnej dobe boli zrušené staré normy pre výrobu ocelových konštrukcií, podľa ktorých sa do výrobných skupín zatriedovali aj konštrukcie žeriavových dráh. Ocelové konštrukcie boli zatriedené do výrobných skupín podľa normy **ČSN 73 2601** („Provádění ocelových konstrukcí“) z roku 1988, ktorá bola zrušená k 1.9.2011. Zo zatriedenia konštrukcie do výrobných skupín ďalej podľa tejto normy ďalej vyplývali požiadavky na periódy preventívnych a podrobných kontrolných prehliadok.

Zatriedenie konštrukcie do výrobných skupín malo vplyv aj na povolené výrobné a montážne tolerancie. Tie boli predpisované v norme **ČSN 73 2611** („Úchyly rozměrů a tvarů ocelových konstrukcí“) z roku 1978, ktorá bola zrušená rovnako k 1.9. 2011.

Novým európskym štandardom pre výrobu ocelových konštrukcií, ktorý sa stal náhradou predošlých dvoch noriem, je **ČSN EN 1090-2** („Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce“). Norma platí pre výrobu všetkých typov ocelových nosných konštrukcií, vrátane mostov a stožiarov a splňuje zásady a požiadavky na bezpečnosť a použiteľnosť konštrukcií a základné ustanovenia pre ich navrhovanie a posudzovanie, uvedené v ČSN EN 1990.

Norma ČSN EN 1090-2 však neuvádza žiadne ustanovenia pre následné kontroly a údržbu. Z toho dôvodu vznikla nová norma **ČSN 73 2604** „Ocelové konstrukce – Kontrola a údržba konstrukcí pozemních a inženýrských staveb“. Norma uvádza požiadavky na kontrolné prehliadky konštrukcií a dopĺňa ustanovenia ČSN EN 1090-2 o problematiku, ktorá v nej nie je obsiahnutá.

**ČSN 73 5130** („Jeřábové dráhy“). Táto norma určuje zásady pre priestorovú úpravu, konštrukčné riešenie, tolerancie, meranie odchýlok a požiadavky na rektifikáciu. Platí pre projektovanie, výrobu, montáž a prevádzku nových koľajnicových dráh pojazdných žeriavov a zdvíhadiel. Norma neplatí pre žeriavové dráhy na staveniskách [3].

Norma je stále v platnosti a jej aktuálna podoba bola vydaná v roku 1994. Jedná sa o druhé vydanie, ktoré nahradilo normu z 11.7.1986, označenú rovnomeným názvom. Vzhľadom na dobu vydania sa norma v rade prípadov odkazuje na normy, ktoré už nie sú v platnosti, ako napríklad už spomínané ČSN 73 2601 a ČSN 73 2611.

Norma ČSN 73 5130 je pre túto prácu diplomovú kľúčová, čo vyplýva aj zo zadania diplomovej práce, a v mnohých prípadoch sa odkazuje priamo na ňu.

Autor predkladanej diplomovej práce sa v mnohých prípadoch odvoláva na „Metodický návod pro určování prostorových vztahů jeřábových drah“ [1], ktorý vyšiel už v roku 1978. Ďalej je to „Směrnice na proměrování jeřábových drah geodetickými metodami“ [11]. Jej účelom bolo stanovenie čo najhospodárnejších pracovných postupov pre priame geodetické pozorovania, ktorými sa zisťujú príčiny poruchovosti žeriavových dráh.

## **3.5 Tolerancie a meranie úchyliek**

### **3.5.1 Tolerancie**

V tomto oddiele sú uvedené tolerancie, podľa ktorých budú posudzované jednotlivé geometrické parametre. Tolerancie uvádza norma [3]. Platia pre nové žeriavové dráhy a sú stanovené pre štandardnú teplotu 20°C. Ak sú za prevádzky tieto tolerancie prekročené o 20%, musí sa žeriavová dráha vyrovnať. Po zreteľnom zhoršení jazdných vlastností žeriavu môže byť účelné žeriavovú dráhu vyrovnať i keď prekročenie tolerancií nepresiahlo spomínaných 20%.

- Najväčšia tolerancia  $\Delta s$  rozchodu žeriavovej dráhy  $s$  je:
  - pre  $s \leq 10$  m:  $\Delta s = \pm 3$  mm
  - pre  $s > 10$  m:  $\Delta s = \pm [3 + 0,25 * (s - 10)]$  mm
- Najväčšia dovolená tolerancia výškovej úrovne hlavy koľajnice od teoretickej výšky žeriavovej dráhy je  $\pm 10$  mm. Výškové úrovne oboch koľajnic môžu

v priečnom smere vykazovať rozdiel 10 mm. Výšková odchýlka v pozdĺžnom smere koľajnice v každom meranom bode dĺžky 2 m nesmie prekročiť 2 mm.

- Pre celkovú dĺžku koľajnice je najväčšia hodnota tolerancie v bočnom smere  $\pm 10$  mm. Pozdĺžna stredová os (krivka) koľajnice vo vodorovnej rovine nesmie prekročiť bočnú odchýlku  $\pm 1$  mm na dĺžke 2 m.

### 3.5.2 Meranie odchýlok

Priečne a výškové odchýlky polohy koľajnice, odchýlky rozchodu žeriavovej dráhy a rozdiel výškových úrovní oboch koľajníc sa musí zisťovať v miestach všetkých podpier dráhy (okrem žeriavových dráh na podloží) a na previsnutých koncoch nosníkov dlhších ako 3 m. Ak je pole dráhy dlhšie než 18 m, informatívne sa merajú odchýlky v medziľahlých miestach, vzdialených najviac 12 m.

V prípade, že má jedna vetva žeriavovej dráhy polovičné rozpätie polí oproti druhej vetve a ak nepresiahne rozpätie väčšieho poľa 18 m, môže sa merať výškový rozdiel výškových úrovní oboch koľajníc len v miestach podpier vetiev s väčším rozpätím polí.

Ak sú na žeriavovej dráhe v dobe merania žeriavy, musia byť odstavené do krajnej polohy žeriavovej dráhy a byť mimo prevádzku. Meranie nesmie byť ovplyvnené pojazdom žeriavov v susedných lodiach.

Po montáži, generálnej oprave alebo rekonštrukcii žeriavovej dráhy sa musí vykonať kontrola jej geometrického tvaru. Súčasne je nutné overiť prípoje nosníkov dráhy k podperám z hľadiska využitia ich rektifikačných možností za prevádzky žeriavovej dráhy. Výsledky merania žeriavovej dráhy po jej montáži, generálnej oprave alebo rekonštrukcii a pri kontrolnej prehliadke sa uvedú v protokole, ktorý obsahuje technickú správu a grafické znázornenie.

Technická správa obsahuje:

- a) popis a údaje o žeriavovej dráhe
- b) účel merania
- c) stručný popis merania údaje o použitých prístrojoch a pomôckach, klimatických podmienkach
- d) mená a kvalifikáciu pracovníkov, ktorí meranie vykonali
- e) zhodnotenie výsledkov merania, údaje o použitých východiskových bodoch

f) posudok o dodržaní, príp. o prekročení odchýlok

V grafickom znázornení priestorových vzťahov žeriavovej dráhy sa vyznačuje smerový a výškový priebeh, číselné hodnoty vodorovných a výškových odchýlok koľajníc, maximálny a minimálny rozchod žeriavovej dráhy, odchýlky v polohe čiel nárazníkov, sklon a vodorovné vychýlenie jednotlivých polí [3].

### 3.6 Metódy merania

Metódy merania priestorových vzťahov žeriavových dráh prešli istým vývojom. V minulosti sa používali predovšetkým metódy ako je zámerná priamka či semipolárna metóda. S príchodom elektronických diaľkometerov sa začala používať priestorová polárna metóda. Ďalšími priekopníckymi metódami v tomto odvetví sú automatizovaný merací systém a terestrické laserové skenovanie, pri ktorých je eliminovaná nutnosť pohybu meračského a technického personálu po ŽD.

Výber konkrétnej metódy je podmienený viacerými aspektmi. Zohľadňujú sa hlavne bezpečnostné pravidlá pre práce vo výškach a pri elektrických zariadeniach, typ žeriavovej dráhy, jej konštrukčné a geometrické usporiadanie (dĺžka, výška a veľkosť rozchodu dráhy). Dôležitá je dostatočná presnosť určenia geometrických odchýlok. Voľba metódy závisí do značnej miery od prístrojového vybavenia a meračských pomôcok, ktoré sú k dispozícii.

V prípade umiestnenia prístroja priamo na osi koľajnice, je možné merať priečne odchýlky od priamosti metódou zámernej priamky uhlovo alebo pomocou špeciálnych prípravkov priamo. Dobré prístupné žeriavové dráhy s malým rozchodom umožňujú merať rozchody priamo pomocou pásma alebo laserovým diaľkometerom. U väčších dráh je vhodnejšie, a niekedy nevyhnutné, zisťovať rozchody nepriamo, napríklad priestorovou polárnou metódou. Výškový priebeh dráhy sa určuje buď samostatne alebo súčasne so smerovým priebehom, v závislosti na zvolenej metóde merania.

Metódy vyžadujúce pohyb meračského personálu po koľajniciach sú veľmi náročné na fyzickú zdatnosť pracovníkov a ich osobnú odvalu.



V nasledujúcich dvoch oddieloch bude bližšie rozoberaná problematika metódy zámernej priamky (miestami môže byť použitá skratka MZP) a priestorovej polárnej metódy, ktoré boli v istých modifikáciách použité v rámci tejto diplomovej práce.

### 3.6.1 Metóda zámernej priamky

Jedná sa o základnú metódu určovania vodorovných odchýlok v priečnom smere u priamych žeriavových dráh. Zámerná priamka, tvoriaca vzťažnú sústavu, môže byť realizovaná niekoľkými spôsobmi. Buď ako spojnica počiatočného a koncového bodu pozdĺžnej strednice koľajnice (vzťažnej priamky), alebo je zámerná priamka so vzťažnou rovnobežná, poprípade sú vzájomne vo všeobecnej polohe. Najčastejší prípad je, keď sú vzťažná i zámerná priamka totožné. Zámernú priamku môže predstavovať zámerná os teodolitu, totálnej stanice, laserového či nivelačného prístroja.

Meraniu samotných geometrických parametrov predchádzajú prípravné práce, ktorých cieľom je rozmeranie koľajníc a vyznačenie bodov na hornej ploche koľajnice v jej osi. Poloha týchto bodov sa vyznačuje pomocou špeciálnych nožníc s jamkovačom, ktoré sú súčasťou špeciálnej výbavy pre meranie žeriavových dráh. V prípade, že takáto pomôcka nie je k dispozícii, ponúka sa použitie posuvného meradla, ktorým sa zmeria šírka hornej plochy koľajnice. Nastavením polovičnej hodnoty nameranej šírky sa určí poloha bodu na strednici koľajnice. Za týmto účelom sa môže použiť aj iné dĺžkové meradlo, napr. zvinovací meter alebo pravítko.

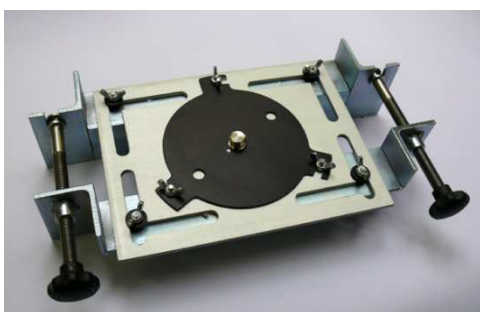
Poloha bodov v smere žeriavovej dráhy sa určí meraním ich staničenia od počiatku komparovaným meračským pásmom. Najprv sa rozmerajú body na riadiacej koľajnici, t.j. na tej, ktorá vykazuje väčšiu stabilitu. Vzďialenosť jednotlivých bodov na koľajnici v pozdĺžnom smere je volená v závislosti na type žeriavovej dráhy, s ohľadom na príslušné technické normy (viď oddiel 3.5.2 Meranie odchýlok). Body na druhej koľajnici sa určia vytýčením pravých uhlov z koncových bodov riadiacej priamky. Ostatné merané body sa vytýčia v rovnakých vzdialenostiach ako na prvej koľajnici.

Smerový priebeh stredu koľajnice pozorujeme na zvolenej pozorovacej priamke. Teodolit môže stáť na stojane alebo špeciálnom úchyte na koľajnici (na upevňovacej doske) na jednom z koncových bodov. Vodorovné odchýlky pozdĺžnej strednice sa čítajú priamo teodolitom na pravítku s milimetrovým delením (alebo na zámernom pravítku),

ktoré sa prikladá vodorovne na koľajnicu a kolmo na ňu, na vyznačených bodoch. Opticky teda zistíme, o koľko milimetrov je meraný stred koľajnice odchýlený od pozorovacej priamky a na ktorú stranu.

Odchýlky sa merajú dvakrát nezávisle. Pri prvom meraní sa s pravítkom postupuje od koncového bodu (cieľa) smerom k teodolitu, pri druhom meraní naopak. Rozdiel oboch čítaní nemá presiahnuť hodnotu 1 mm. Výsledná odchýlka je potom priemerom oboch hodnôt. V prípade, že je zámerná priamka leží vo všeobecnej polohe, je potrebné namerané údaje transformovať k riadiacej priamke.

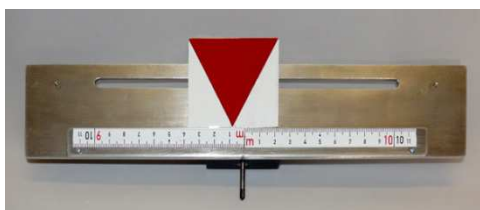
Podobným spôsobom sa postupuje aj pri určovaní vodorovných odchýlok na druhej koľajnici. Zámerná priamka tu býva väčšinou vo všeobecnej polohe. Namerané odchýlky je preto potrebné previesť na rovnobežku so vzťažnou priamkou prechádzajúcou počiatočným bodom (stanoviskom teodolitu).



**Obr. 3-9: Upevňovacia doska [31]**



**Obr. 3-11: Špeciálne nožnice s jamkovačom [32]**



**Obr. 3-12: Vodorovné pravítko s jazdcom pre meranie vodorovných odchýlok [33]**



**Obr. 3-10: Pravítko pre meranie výškových odchýlok [34]**

Zvyšná časť žeriavovej dráhy, na ktorej sú odstavené mosty sa premerajú po ich odsune na opačný koniec dráhy. Cieľová značka sa umiestni na niektorom bode zámernej priamky s posunutím o predtým meranú vodorovnú úchylku. Stabilita dráhy sa po prejazde mostu overí kontrolným meraním rozchodu v bližšom páre koncových bodov zámerných priamok. Úchylky zvyšnej časti, na ktorej sú odstavené mosty, sa určujú pomocou odsunutej zámernej priamky.

Výškové odchýlky pojazdových plôch koľajníc a výškové rozdiely oboch koľajníc sa v stanovených priečných rovinách určujú dvojitou niveláciou. Používa sa nivelačný prístroj pre presnú niveláciu a lata s milimetrovým delením vhodnej dĺžky. Nivelačný prístroj sa opäť upevňuje na upínaciu dosku na koľajnici. Výškové odchýlky v meraných bodoch sa vypočítajú (v mm) z rozdielu relatívnych výšok vzhľadom k vzťažnej rovine.

Vzťažnou rovinou je u novopostavených či zrekonštruovaných dráhach projektovaná hodnota pojazdových plôch koľajníc. V ostatných prípadoch sa volí tak, aby prechádzala najvyšším bodom dráhy. Ďalej sa určí sklon (v ‰) pre jednotlivé polia žeriavovej dráhy. Vypočítajú sa tiež výškové rozdiely pojazdových plôch koľajníc v stanovených priečných rezoch z rozdielu relatívnych výšok vzhľadom k riadiacej koľaji.

*Poznámka: Vzťažná rovina prechádzajúca najvyšším bodom dráhy sa volí z toho dôvodu, že najčastejšie sa pre výškovú rektifikáciu používa metóda podkladania jednotlivých bodov na rovnakú výškovú úroveň.*

Rozchody koľajníc sa merajú oceľovým alebo invarovým pásmom, ktoré je široké max. 13 mm a jeho priečny prierez nepresahuje 3 mm<sup>2</sup>. Merajú sa vzdialenosti v priečných rovinách medzi odpovedajúcimi si vyznačenými bodmi. Meraná hodnota dĺžky je opravená o korekcie z nesprávnej dĺžky pásma, z teplotného rozdielu, z pretiahnutia pásma a z prievisu pásma. Za účelom merania rozchodov koľajníc je možné použiť tiež laserový diaľkomer či paralaktické meranie vzdialeností [1], [11].

### **3.6.2 Priestorová polárna metóda**

Začiatkom 90. rokov minulého storočia sa začali pre meranie žeriavových dráh používať totálne stanice. Presnosť a efektívnosť súčasných univerzálnych meracích staníc, umožňuje určiť geometrické parametre ŽD s požadovanou presnosťou.

Na realizáciu kontrolných meraní je vhodné použiť totálnu stanicu, ktorej smerodajná odchýlka merania vodorovného a zenitového uhlu je charakterizovaná hodnotou do 0,5 mgon a smerodajná odchýlka meranej dĺžky 1 mm až 3 mm. Charakteristiky presnosti použitých prístrojov je potrebné pred meraním overiť podľa metodiky uvedenej v medzinárodných normách pre testovanie uhlomerných a diaľkomerných častí totálnych staníc (ISO 17123-4 a ISO 17123-5).

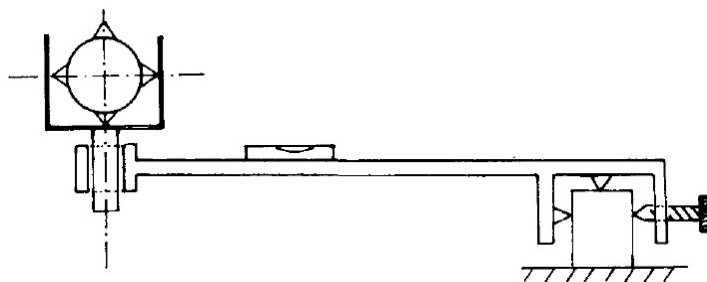
Princípom metódy je teda určenie priestorovej polohy bodu na koľajnici pomocou totálnej stanice vyššej triedy presnosti a odrazového hranolu. Prístroj môže byť upevnený na statíve na zemi alebo na koľajnici na upevňovacej doske. Počet a umiestnenie meračských stanovísk závisí predovšetkým na dĺžke dráhy. Dosah meracej súpravy s vyhovujúcou presnosťou je približne 80 m až 90 m.

V prípade kratších dráh než je dvojnásobok uvedenej hodnoty sa stanovisko volí približne uprostred dĺžky žeriavovej dráhy a zároveň tak, aby bolo v jej osi. U dráh dlhších ako 180 m sa volia dve navzájom prepojené stanoviská, ktoré sú umiestnené približne vo štvrtine dĺžky dráhy od oboch koncov. Z uvedených stanovísk môže byť meraná dráha v celom rozsahu alebo len bližšia polovica dráhy z každého stanoviska.

Meraním na identické body a následnou transformáciou súradníc, určených z jednotlivých stanovísk, sa zabezpečí realizácia merania v jednej súradnicovej sústave. Vzájomné prepojenie stanovísk je možné uskutočniť i meraním na totožné orientačné body. Stabilita prístroja sa overuje na začiatku a konci merania jednej vetvy žeriavovej dráhy. Úplne meranie dráhy sa opakuje dvakrát.

Poloha bodu uprostred dráhy sa určuje meraním na odrazový hranol, ktorý je odsadený dovnútra dráhy (v priečnom smere smerom k prístroju) pomocou špeciálneho prípravku (krátka kovová lata, 0,2 m – 0,4 m), urovnaného pomocou krabicovej libely. Hodnota odsadenia hranolu od strednice koľajnice je podmienená viditeľnosťou hranolu a závisí tiež na strmosti zámernej priamky a nosnej konštrukcie žeriavovej dráhy. Na protihlom konci je lata opatrená jednoduchým upevňovacím zariadením, ktoré sa o jednu zo zvislých plôch a o pojazdovú plochu koľajnice opiera dotykovými hrotmi. Lata sa upevňuje pootáčaním vodorovného šraubu.

Skúšky preukázali, že vplyv nesprávneho nastavenia lavy nepresiahne v žiadnom smere 0,2 mm. Hranol má dva stupne voľnosti pre hrubé zacielenie na prístroj. Vzdialenosť zvislej osi hranolu a bodu dotyku sa určí strojárskym posuvným meradlom s presnosťou 0,1 mm.



**Obr. 3-13: Špeciálny prípravok pre odsadenie odrazového hranola [8]**

Vodorovné úchylky sa (na rozdiel od metódy zámernej priamky) vzťahujú k jednej zo zvislých plôch koľajníc (vnútornej alebo vonkajšej), a to po dohode s pozorovateľom a podľa stupňa opotrebenia. Pre prevedenie na pozdĺžnu strednicu stačí s ohľadom na znamienko pripočítať polovicu skutočnej (meranej posuvným meradlom) alebo ideálnej šírky koľajnice.

Meračské stanovisko je možné voliť aj vo zvýšenom postavení, napr. na stabilných strechách vstavaných objektov alebo na rozmernom vybavení továrenskej haly. V takom prípade koľajnici nie je potrebné použitie špeciálneho prípravku na odsadenie. Odrazový mini hranol s hrotom sa stavia priamo na vyznačené body strednice.

Z meraných priestorových súradníc, ktorými sú šikmá dĺžka, vodorovný uhol (smerník od orientačného bodu) a zenitové vzdialenosti, sa vypočítajú priestorové pravouhlé súradnice. Tie sa následne transformujú do sústavy, kde os  $+X$  leží v dvojici ľubovoľne, ale vhodne určených bodov jednej z koľajníc dráhy.

Zo súradníc sa počítajú priečne odchýlky bodov od priamok koľajníc oboch vetiev, daných osou  $+X$  v riadiacej koľajnici a rovnobežkou vo vzdialenosti rozchodu dráhy pre druhú koľajnicu.

Rozchod je daný priemerom rozdielu súradníc  $Y$  protiľahlých bodov (majúcich rovnakú súradnicu  $X$ ) v sústave karteziánskych súradníc. Tie sa v rozmedzí niekoľkých centimetrov dĺžky koľajnice nemenia, najmä pokiaľ bol vodorovný hrot laty opretý o nezjazdenú hranu koľajnice. Týmto odpadá nutnosť prepojiť obe vetvy kolmicami a presne rozmeriavať a vyznačovať polohu bodov. Toto analogicky platí aj o výškových rozdieloch. Pre montáž stačí označenie miesta merania napr. farbou. V dvojitom nezávislom meraní potom nie sú miesta merania úplne identické. Pokiaľ je známa

projektová dokumentácia, je rozchod daný projektovanou hodnotou. Zvislé posuny bodov dráhy sa vzťahujú k najvyššie položenému bodu alebo k inak definovanej výškovej úrovni.

Na základe vypočítaných priečných posunov je možné invariantne vykonávať tzv. optimalizácie. Prvá z nich predpokladá opakovaný výpočet s inou dvojicou bodov pre definovanie osi  $+X$ , čo vedie k vyššej symetrii bodov (vľavo a vpravo v smere číslovania bodov). Ďalšou možnosťou je následný paralelný posun osi  $+X$  o priemernú hodnotu posunu. Posuny je tiež možné vyrovnáť i metódou najmenších štvorcov (MNŠ).

Priestorová polárna metóda prekonáva klasickú metódu zámernej priamky z viacerých hľadísk. Počet meračských operácií je nižší (napr. o meranie rozchodu), bezpečnosť práce meračov je vyššia (okrem obsluhy laty nepracujú vo výškach), presnosť určenia bodov je nezávislá na vzdialenosti a dosah je podstatne väčší. Elektronický spôsob merania prináša tiež výhodu v zázname, prenose a spracovaní meraných dát [8], [9], [22].

## 4. ROBOTICKÁ TOTÁLNA STANICA

Robotické univerzálne meracie stanice, alebo tiež robotické totálne stanice, priniesli výrazné zvýšenie efektivity pri získavaní informácií o priestorovej polohe meraných objektov. V tomto smere nadobúda úloha merača v procese merania čoraz väčšiu pasivitu. Rôzne elektronické senzory, snímače a programové vybavenia nahrádzajú do istej miery skúsenosti a precíznosť merača.

Predpokladom správneho použitia nových technológií pri praktických meraniach je znalosť ich funkčného princípu. Presnosť a spoľahlivosť nových technológií sme schopní overiť v rámci testovacích meraní a na základe ich výsledkov posúdiť, do akej miery je možné dôverovať tej ktorej funkcii.

V ďalšom texte bude rozoberaná problematika robotických totálnych staníc produkovaných firmou Leica Geosystems (ďalej len Leica) a to konkrétne radom TPS1200+, do ktorého spadá prístroj používaný v rámci tejto diplomovej práce. Tomu je prispôbená aj terminológia a skratky jednotlivých funkcií, ktoré sa môžu u iných výrobcov viac či menej líšiť.

Všetky totálne stanice Leica majú modulovú stavbu, ktorá umožňuje upgrady základného modelu. Rad TPS1200+ nie je výnimkou a totálne stanice disponujúce servomotormi môžu mať podľa stupňa vybavenia tieto funkcie [26]:

- **Reflectorless (R)** – bezhranolový diaľkomer.
- **Automatic Target Recognition (ATR)** – automatické vyhľadávanie stredu hranola alebo reflexnej fólie.
- **Automatic Target Tracking (LOCK)** – automatické sledovanie cieľa.
- **PowerSearch (PS)** – rýchle vyhľadávanie hranola pomocou vertikálneho laserového lúča (360° skenovanie, resp. skenovanie predpokladanej oblasti).
- **Remote Control Unit** – diaľkové ovládanie.

Motorizované totálne stanice pomocou servomotorov prekladajú ďalekohľad do druhej polohy a natáčajú ho horizontálne i vertikálne do smeru vytyčovaného bodu.

Laserovým diaľkomerom TPS1200+ je možné zmerať dĺžky i cez 1000 m bez odrazového hranolu. Vyznačuje sa veľmi malým rozptylom meracieho lúča a vysokou presnosťou. Bezhranolový diaľkomer funguje na princípe fázového laseru.



Aktiváciou funkcie PS (senzor PS je umiestnený v hornej časti diaľkomeru) je odrazový hranol, ktorý sa nachádza od 2 m do 200 m od prístroja, vyhľadaný pomocou zvislého laserového lúča. Tento lúč je eliminovaný PS-vysielačom pod uhlom  $\pm 20^\circ$  od rovnobežky so zámernou priamkou.

Po nájdení hranola zacieli automatická totálna stanica na hranol pomocou senzoru ATR. Senzor ATR (funkcia ATR bude podrobnejšie rozoberaná v podkapitole 4.2) identifikuje hranol a vytvorí jeho virtuálny obraz. Prístroje TPS1200+ používajú pre tento účel CMOS kameru (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor), ktorá nahradila staršie CCD kamery.

Automatické prístroje sledujú pohybujúci sa hranol pomocou funkcie LOCK a v doplnení s diaľkovým ovládaním od hranola tak umožňujú vytvoriť samostatnú meračskú jednotku, zvanú „jednomužný“ systém („one-man-system“) [24].

#### 4.1 Robotická totálna stanica Leica TCRP 1205+ R400

Ako už bolo vyššie uvedené, totálna stanica Leica TCRP 1205+ patrí do radu TPS1200+. Táto rada geodetických prístrojov bola predstavená v septembri 2007 na medzinárodnom veľtrhu Intergeo v Lipsku, ale od roku 2010 sa už nevyrába. Bola nahradená novou profesionálnou triedou. Vzhľadom k veľkému rozšíreniu tejto rady na českom trhu zatiaľ ponecháva výhradný obchodný zástupca firmy Leica Geosystems pre Českú republiku informácie o TPS1200+ na svojom webe.

Jedná sa teda o staršiu generáciu a čo sa uhlovej presnosti týka, tak aj o najmenej presnú totálnu stanicu z tohto radu. Vypovedá o tom číslo 1205, kde päťka na konci značí presnosť v rámci triedy (presnosť merania vodorovného smeru a zenitového uhlu v jednej skupine). Logiku označovania uhlovej presnosti jednotlivých tried vyjadruje nasledujúca tabuľka.

**Tab. 4-1: Uhlová presnosť prístrojov z radu TPS1200+ [19]**

Typ	1201+	1202+	1203+	1205+
Presnosť HZ, V	1" (0,3 mgon)	2" (0,6 mgon)	3" (1 mgon)	5" (1,5 mgon)



**Obr. 4-1: Totálna stanica Leica z radu  
TPS1200+ [36]**



**Obr. 4-2: Poľný ovládač diaľkového  
ovládania Viva CS10 a CS15 [35]**

Leica TCRP 1205+ R400 je bezhranolová motorizovaná totálna stanica s automatickým cielením a s možnosťou automaticky nájsť a následne sledovať stratený hranol. Označenie „TC“ (Theomat Coaxial) znamená, že ide o elektronický teodolit s koaxiálne umiestneným diaľkomerom. Písmeno „R“ (Reflectorless) označuje, že prístroj umožňuje meranie dĺžok bez použitia odrazového hranola. Symbolom „P“ (PowerSearch) výrobca rozlišuje totálne stanice verzie „TCA“ majúce zabudovaný vyhľadávací systém, ktorý dokáže automaticky vyhľadať reflektor bez predchádzajúceho približného manuálneho zacielenia. Písmeno „A“ (Automated) v skratke „TCA“ značí, že totálna stanica je vybavená motormi a systémom na automatické sledovanie cieľa (základ „jednomužného“ systému). Do prístroja je inštalovaný diaľkomer PinPoint R400 s dosahom 400 m pri meraní bez odrazového hranola [17], [25].

V tomto ponímaní patrí model Leica TCRP 1205+ medzi totálne stanice s najvyšším stupňom výbavy a teda aj s možnosťou použitia diaľkového ovládania od odrazového hranolu (Viva CS10 a CS15). Komunikáciu medzi stanicou a poľným ovládačom zabezpečuje integrovaný rádio-modem.

Totálna stanica disponuje nekonečnými pohybovkami, laserovou olovniciou a dvojosím elektronickým kompenzátorom (s možnosťou vypnutia). Prístroj je vybavený veľkým farebným dotykovým displejom, ikonami pre rýchly vstup do menu a softwarovou platformou Leica Geo Office. Obsluhu stanice je možné prispôsobiť na mieru užívateľovi pomocou voľne definovateľných funkčných kláves a klávesových skratiek. Registrácia

meraných dát je voliteľná buď na pamäťové karty Compact Flash alebo do internej pamäte prístroja [24].

**Tab. 4-2: Vybrané technické parametre totálnej stanice Leica TCRP 1205+ R400 [19]**

<b>Všeobecné údaje</b>	
Zväčšenie ďalekohľadu	30 x
Rozsah zaostrenia ďalekohľadu	1,7 m do nekonečna
Citlivosť krabicovej libely	6' / 2 mm
<b>Meranie uhlov</b>	
Presnosť merania uhlov Hz, V (podľa ISO 17123-3)	5" (1,5 mgon)
Rozlíšenie displeja	1" (0,1 mgon)
<b>Meranie dĺžok – IR*)</b>	
Dosah na kruhový hranol (GPR1)	3000 m
Dosah na mini hranol (GMP101)	1200 m
Dosah na reflexnú fóliu (60 mm x 60 mm)	250 m
Najkratšia merateľná vzdialenosť	1,5 m
Presnosť merania dĺžky (podľa ISO 17123-4) – režim standard	1 mm + 1,5 ppm
<b>Meranie dĺžok – RL**)</b>	
PinPoint R400	400 m / 200 m (Kodak Gray Card: 90 % reflective / 18 % reflective)
Najkratšia merateľná vzdialenosť	1,5 m
Presnosť merania dĺžky (podľa ISO 17123-4) – režim standard	
< 500 m	2 mm + 2 ppm
> 500 m	4 mm + 2 ppm
<b>Motorizácia</b>	
Maximálna rýchlosť otáčania	45° (50 gon) / s
<b>Automatické vyhľadávanie stredu hranola alebo reflexnej fólie (ATR)</b>	
	ATR mode / LOCK mode
Dosah na kruhový hranol (GPR1)	1000 m / 800 m
Dosah na mini hranol (GMP101)	500 m / 400 m
Dosah na reflexnú fóliu (60 mm x 60 mm)	55 m
Najkratšia merateľná vzdialenosť	1,5 m / 5 m
Presnosť uhlu pri ATR HZ, V	1" (0,3 mgon)
Základná polohová presnosť	±1mm
Čas merania na GPR1	3 – 4 s
<b>PowerSearch (PS)</b>	
Dosah na kruhový hranol (GPR1)	300 m
Dosah na mini hranol (GMP101)	100 m
Najkratšia merateľná vzdialenosť	5 m
Typická doba vyhľadávania	< 10 s

\*) IR = infrared, t.j. meranie na hranol

\*\*\*) RL = reflectorless, t.j. meranie bez odrazového hranola

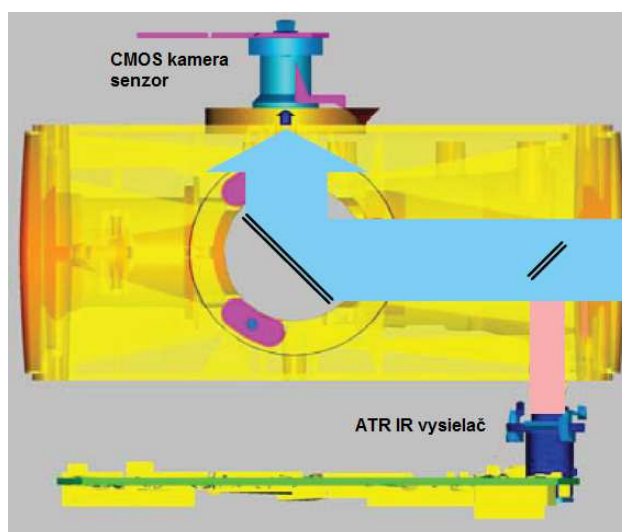
**Tab. 4-3: Identifikačné údaje použitej totálnej stanice**

Leica TCRP 1205+ R400	
S. NO.	267211
Rok výroby	2010

## 4.2 Systém ATR

ATR je senzor, ktorý identifikuje hranol a zameria jeho pozíciu na obrazovom snímači, na základe čoho stanoví jeho presnú uhlovú polohu. Pri rade totálnych staníc TPS1200+ sú zobrazovacie technológie založené na CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) technológii s dvojrozmerným (2-D) poľom. Výhoda CMOS kamery spočíva v jasných a ostrých snímkach a to aj pri veľmi silnom osvetlení, ako aj v rýchlom spracovaní obrazu. Navyše, ATR CMOS kamera má veľkosť pixlu 6  $\mu\text{m}$ , čo umožňuje vysoké rozlíšenie obrazu a zaručuje tak vysokú presnosť merania.

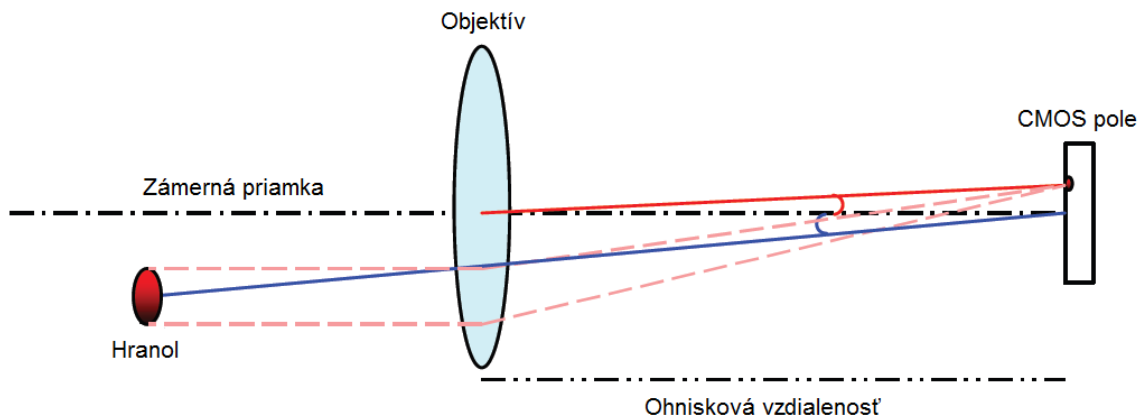
Infračervený laserový lúč je vysielaný ATR vysielateľom, umiestneným v dolnej časti ďalekohľadu, smerom k hranolu, ktorý je v zornom poli ďalekohľadu. Lúč sa odrazí od hranola späť a vytvorí obraz na CMOS senzore, ktorý je umiestnený v hornej časti ďalekohľadu.



**Obr. 4-3: ATR vysielateľ a prijímač [21]**

Rovnako ako u väčšiny technológií merania obrazu, je informácia o pixli základom merania. CMOS 2-D senzory sa skladajú z horizontálnych a vertikálnych pixlov,

ktorých pozícia je definovaná v miestnom súradnicovom systéme. Počiatkom tohto súradnicového systému prechádza zámerná os. Každý pixel má tak priradené jedinečné súradnice (x, y).



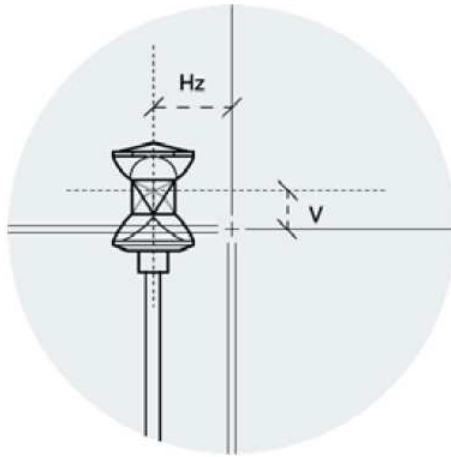
**Obr. 4-4: Zjednodušená geometria [21]**

Definície jednotlivých priamok:

- Zámerná priamka: priamka spájajúca stred objektívu a stred senzoru CMOS (bodkočiarkovaná čiara)
- Priamka objektu: priamka spájajúca stred objektu a stred senzoru CMOS (modrá čiara)
- Priamka obrazu: priamka spájajúca stred objektívu a stred obrazu na senzore CMOS (červená čiara)

Uhol medzi zámernou priamkou a priamkou objektu sa rovná uhlu medzi zámernou priamkou a priamkou obrazu. Poloha obrazu pixlu na poli CMOS je spojená s druhým uhlom (červený uhol) vďaka znalosti ohniskovej vzdialenosti a veľkosti pixlu.

Pozícia odrazového hranola v 2-D geometrii je určená meraním horizontálnej (Hz) a vertikálnej (V) pozície pixlov obrazu stredom hranola vzhľadom k počiatku súradnicového systému CMOS senzora. Na základe vyhodnotenej polohy stredom hranola a počiatku súradnicového systému CMOS senzora sa vypočítajú Hz a V uhlové odchýlky. To vedie k Hz a V uhlovým odchýlkam hranola od zámernej priamky. Tieto odchýlky sa používajú buď k natočeniu zámernej osi ďalekohľadu za pomoci motorov do stredom hranola alebo k meraniu skutočných uhlov hranola po pridaní uhlových snímačov, ktoré sa vzťahujú k zámernej priamke.



**Obr. 4-5: ATR Hz a V odchýlky [21]**

V závislosti na režime merania (STD, FAST alebo TRK) a za účelom minimalizovať čas merania, systém zvolí, či chce riadiť motorizáciu alebo určiť výsledné uhly. Ak sú odchýlky menšie než 5 mgon ( $50^{\text{cc}}$ ) a diaľkomer je v režime STD, potom systém priamo určí výsledné uhly, a to aj v prípade, že zámerný kríž nie je umiestnený presne v strede hranolu. Vypočíta uhlové diferencie, ktoré priráta k aktuálnym hodnotám určených z čítacieho zariadenia na horizontálnom a vertikálnom kruhu totálnej stanice, čím sa získa definitívna poloha stredu hranolu. Inak systém aktivuje motory a natáča zámernú os ďalekohľadu do takej polohy, pri ktorej sú odchýlky menšie ako 5 mgon. Pokiaľ ide o režim FAST a TRK, prah odchýlky je 40 mgon ( $400^{\text{cc}}$ ) [17], [21].

### 4.3 Vlastné testovanie ATR

Cieľom vlastného testovania systému automatického cielenia na odrazový hranol bolo porovnať jej presnosť s presnosťou manuálneho cielenia. Charakteristikou presnosti bude výberová stredná chyba horizontálneho smeru HS a vertikálneho uhlu V meraného v dvoch polohách ďalekohľadu (<sup>II</sup>).

#### 4.3.1 Popis testovacieho merania

Testovanie bolo vykonané v miestnosti B150, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, dňa 16.12. 2013. Daná učebňa je vybavená piliermi a tie boli použité

ako nosné zariadenia pre totálnu stanicu a odrazový hranol. S možnej dispozície pilierov bolo meranie realizované na najkratšiu možnú vzdialenosť 4,52 m (ďalej bude uvádzaná 4,5 m) a na najdlhšiu vzdialenosť 12,12 m (ďalej bude uvádzaná 12 m).

Keďže meranie prebiehalo v interiéri, atmosférické podmienky možno považovať za konštantné. Potvrdili to aj hodnoty teploty, relatívnej vlhkosti a atmosférického tlaku, ktoré boli merané v pravidelných intervaloch v priebehu celého testovania. Zaznamenával sa aj začiatok a koniec merania jednej série, aby bolo možné posúdiť aj časové hľadisko a mieru efektivity systému ATR.

Ako cieľ bol zvolený odrazový hranol Zeiss. Popri aklimatizácii totálnej stanice bolo vykonané nastavenie EDM (Electronic Distance Measurement) a ATR v možnostiach nastavenia prístroja. O voľbe nastavení pri aktívnej funkcii ATR a pri manuálnom cílení informuje nasledujúca tabuľka.

**Tab. 4-4: Nastavenie prístroja počas testovania ATR**

	<b>ATR</b>	<b>Manuálne cílenie</b>
<b>EDM typ</b>	Hranol (IR)	Hranol (IR)
<b>EDM režim</b>	Standard	Standard
<b>Hranol</b>	Leica mini hranol	Leica mini hranol
<b>Súčtová konštanta</b>	+17,5 mm	+17,5 mm
<b>Automatizácie</b>	ATR	Žiadne
<b>ATR nastavenie</b>	Normálne	-

IR teda značí meranie na hranol. Štandardné jednoduché meranie dĺžky s presnosťou 1 mm + 1,5 ppm predstavuje EDM režim Standard. Výber hranola Leica mini hranol s hodnotou súčtovej konštanty +17,5 mm odpovedá použitému hranolu Zeiss mini. Konštanta hranola však nie je pri uhlovom meraní dôležitá. Pri výbere automatizácií ATR sa meranie realizuje na statický hranol. Výber *žiadne* samozrejme predstavuje merania bez ATR. Zapnutie normálneho režimu v ponuke ATR nastavenie zase značí normálne prostredie. Okrem toho je napríklad možné vybrať zo zoznamu aj nastavenie pre nepriaznivé podmienky (nízka viditeľnosť). Táto možnosť je k dispozícii len pri zapnutom režime ATR [20].

Po aklimatizácii bolo zahájené meranie najprv na vzdialenosť 12 m pri nastavení s aktívnym režimom ATR. Cílenie prebiehalo tak, že sa manuálne zacieleno približne

na hranol do takej miery, aby bol v zornom poli ďalekohľadu. Po spustení merania systém ATR automaticky docielil a merané hodnoty boli registrované na pamäťovú kartu. Pri každom meraní bolo zmenené zacielenie náhodne v rôznom smere a o rôzne uhlové diferencie vždy tak, aby stred zámerného obrazca nesplýval so stredom odrazového hranola a aby sa hranol ešte nachádzal v zornom poli ďalekohľadu. Postup a rozsah merania bol rovnaký aj na kratšiu vzdialenosť. V oboch prípadoch trvalo meranie cirka 25 minút.

Obdobným spôsobom prebiehalo meranie pri manuálnom cielení na hranol, pričom docielenie na stred hranola už záviselo od skúseností a precíznosti merača. Meranie malo plynulý priebeh a zabralo približne 35 minút, a to ako pri krátkej, tak pri dlhšej vzdialenosti.

Rozsah jednej série merania predstavoval 30 zacielení v prvej polohe ďalekohľadu a 30 v druhej polohe. Celkovo tak bolo zaznamenaných 60 hodnôt horizontálneho smeru a vertikálneho uhlu pri oboch spôsoboch cielenia a pri oboch vzdialenostiach.

#### 4.3.2 Spracovanie testovacieho merania

Pred výpočtom výberovej strednej chyby HS bola odstránená kolimačná chyba, ktorou boli zaťažené merania v prvej a druhej polohe ďalekohľadu. Nesplnenie osovej podmienky, pri ktorej zámerná os nie je kolmá na klopnú osu ďalekohľadu, sa eliminuje práve meraním v dvoch polohách ďalekohľadu. Nemerané hodnoty  $V$  boli opravené o vplyv indexovej chyby  $i$ , ktorá predstavuje uhol medzi osou indexov urovnaných kompenzátorom a teoreticky správnu rovinou.

Veľkosť  $i$  sa spočítala podľa vzťahu

$$i = \frac{400^g - (V^I + V^{II})}{2}, \quad (4.1)$$

kde  $V^I$  značí meranie vertikálneho uhlu v prvej polohe ďalekohľadu a  $V^{II}$  meranie v druhej polohe. Indexová chyba bola potom pripočítaná k  $V^I$ , čím sa meraná hodnota opravila o vplyv tejto chyby.



Súbor, na základe ktorého bola určená výberová stredná chyba, obsahoval 30 meraní. Rozsahom odpovedal výberovému súboru. Podľa [16] sa výberová stredná chyba vypočíta zo vzorca

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}, \quad (4.2)$$

kde  $v$  je oprava a  $n$  je počet meraní. Oprava  $v$  je daná vzťahom  $v_i = \bar{x} - l_i$ , v ktorom  $\bar{x}$  je aritmetický priemer súboru a  $l_i$  je meraná veličina.

**Tab. 4-5: Výsledky testovania ATR**

Vzdialenosť	ATR		Manuálne cielenie	
	$s_{HS}$ [mgon]	$s_V$ [mgon]	$s_{HS}$ [mgon]	$s_V$ [mgon]
4,5 m	0,2	0,1	0,9	0,7
12 m	0,1	0,1	0,8	0,5

Testovacie meranie vykonal autor diplomovej práce. V priebehu merania bola nameraná teplota 22 °C, relatívna vlhkosť vzduchu 67,5 % a atmosférický tlak 1005,2 hPa. Namerané hodnoty HS a V obsahuje *príloha A*.

### 4.3.3 Zhodnotenie výsledkov testovania ATR

Výsledky testovania preukazujú, že na takéto krátke vzdialenosti systém ATR cieľi presnejšie ako autor diplomovej práce. Z aspektu časovej efektivity je manuálne cielenie pomalšie a vyžaduje omnoho väčšie sústredenie merača, čo môže byť pri meraniach priestorových vzťahov žeriavových dráh rozhodujúce. Ako už bolo zmienené, prekážky vo výrobe znamenajú vždy menšie alebo väčšie ekonomické straty. Vzniká tiež zvýšený nápor na nervovú sústavu, kedy musí byť merač neustále v strehu a jeho pozornosť sa znižuje s dĺžkou merania. Na druhej strane je potrebné zohľadniť skúsenosti merača, nakoľko človek disponujúci danou totálnou stanicou a dlhšou praxou by mohol dospieť k odlišným výsledkom.

Na základe vlastného testovacieho merania je však možné usudzovať, že systém ATR umožňuje zvýšiť presnosť zacielenia pri použití daného odrazového hranola, znížiť dobu merania a poskytnúť meračovi priestor na to, aby sa sústredil predovšetkým na vlastnú bezpečnosť pri prácach vo výškach.

## 4.4 Testovanie uhlovej presnosti

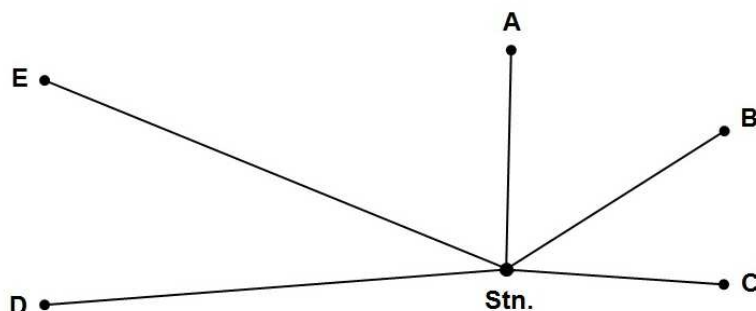
V rámci výučby v letnom semestri školského roku 2013/2014, v nadväzujúcom magisterskom študijnom programe odboru „Geodézie a kartografie“, so zameraním „Inžényrská geodézie“, bola na predmete „Metrologie a standardizace“ praktikovaná úloha kalibrácie ľubovoľne zvoleného geodetického prístroja. Autor diplomovej práce vybral pre testovanie uhlovej presnosti totálnu stanicu Leica TCRP 1205+ R400. Výsledkom je určenie strednej chyby horizontálneho smeru ( $s_{HS}$ ) a vertikálneho uhlu ( $s_V$ ) meraného v dvoch polohách d'alekohľadu.

### 4.4.1 Popis poľného testu

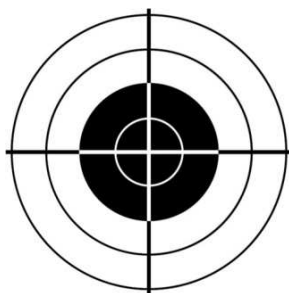
Terénne postupy pre skúšanie geodetických a meračských prístrojov upravuje norma ČSN ISO 17123-3 (730220) [6]. Táto norma opisuje dva druhy poľných testov (úplný a zjednodušený). Zjednodušený test vyžaduje vybudovanie osnova 4-roch cieľov a zameranie osnova smerov v dvoch polohách d'alekohľadu v jednej sérii, pričom 1 séria pozostáva z 3x meranej osnova smerov. Pri úplnom teste je vybudovaná osnova 5-tich cieľov, ktorá má byť zameraná tiež v dvoch polohách d'alekohľadu, ale v až v štyroch sériách a za rôznych podmienok, kde 1 séria je opäť 3x meraná osnova smerov.

Testovacie meranie bolo znova vykonané v miestnosti B150, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, dňa 17.3. 2014. Prístroj bol postavený na pilieri. Cvičenie malo prebiehať na dvoch vyučovacích hodinách, v celkovej dĺžke trvania 100 minút. Z časového hľadiska bola na pokyn vyučujúceho vybudovaná osnova 5-tich cieľov, ktorá sa zamerala v dvoch polohách d'alekohľadu v jednej sérii. Séria pozostávala zo 4x meranej osnova. Konfigurácia testového poľa odpovedala do istej miery zjednodušenému poľnému testu, pričom bola rozšírená o jeden cieľ a jednu skupinu merania.

Osnova cieľov bola vytvorená pomocou vhodne veľkých terčov v tvare kríža, vytlačených na papieri v čierno-bielej kombinácii (viď obr. 4-7). Terče boli dočasne stabilizované približne vo výške horizontu prístroja. O konfigurácii testového poľa vypovedá nasledujúci obrázok.



**Obr. 4-6: Konfigurácia testového poľa**



**Obr. 4-7: Použitý terč**

Meranie vykonal autor diplomovej práce. Priemerná teplota bola 23°C. Hodnoty relatívnej vlhkosti a atmosférického tlaku neboli sledované, ale dá sa predpokladať ich nemennosť, keďže meranie bolo uskutočnené v interiéri. Namerané hodnoty boli zapisované do vopred pripravených zápisníkov, zvlášť pre vodorovné smery a zvlášť pre zenitové uhly, ktoré sú obsahom *prílohy B*. Zápisníky boli vyhotovené podľa príkladov uvedených v norme ČSN ISO 8322-4 [6] (platnosť normy bola ukončená ku dňu 1.1. 2006), ktorú nahradila práve ČSN ISO 17123-3.

#### 4.4.2 Spracovanie a zhodnotenie výsledkov

Jedným z výsledkov je stredná chyba horizontálneho smeru meraného v dvoch polohách ďalekohľadu, vypočítaná podľa vzťahu

$$s_{HS} = \sqrt{\frac{\sum r^2}{\nu}} = \sqrt{\frac{\sum r^2}{12}}, \quad (4.3)$$

kde  $\nu = (4 - 1) * (5 - 1) = 12$ , pretože boli merané 4 skupiny a v osnove bolo 5 cieľov. V čitateli zlomku pod odmocninou vystupuje suma štvorcov opráv, ktorých výpočet je bližšie uvedený v norme [7].

Zo strednej chyby horizontálneho smeru sa ďalej jednoducho vypočíta stredná chyba horizontálneho uhlu, ako stredná chyba rozdielu dvoch smerov rovnakej presnosti

$$s_{HZ} = s_{HS} * \sqrt{2}. \quad (4.4)$$

Ďalším výsledkom je stredná chyba vertikálneho uhlu meraného v dvoch polohách ďalekohľadu, ktorá sa získa zo vzorca

$$s_V = \sqrt{\frac{\sum r^2}{\nu}} = \sqrt{\frac{\sum r^2}{15}}, \quad (4.5)$$

v ktorom  $\nu = (4 - 1) * 5 = 15$ . Štvorka zase značí počet meraných skupín a päťka počet cieľov v osnove. Výpočet opráv, ktoré figurujú v čitateli zlomku pod odmocninou, dokladuje daná norma [7].

Výsledné stredné chyby boli posúdené voči základnej strednej chybe udávanej výrobcom prostredníctvom  $\chi^2$ -testu. Testom sa overuje, že empirická stredná chyba  $s$  horizontálneho smeru, resp. zenitového uhla, meraného v dvoch polohách ďalekohľadu, je menšia, ako stredná chyba udávaná výrobcom ( $\sigma$ ).

Na hladine významnosti  $1 - \alpha = 0,95$  sa overuje platnosť nulovej hypotézy  $s \leq \sigma$ , ktorá je prijatá, ak platí

$$s \leq \sigma * \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2(\nu)}{\nu}}. \quad (4.6)$$

V prípade testovania  $s_{HS}$  podľa tabuliek rozdelenia  $\chi^2$  platí  $\chi_{0,95}^2(12) = 21,03$  a pri testovaní  $s_V$  je potom  $\chi_{0,95}^2(15) = 25,00$ . Výrobca udáva základnú strednú chybu smeru meraného v dvoch polohách 1,5 mgon.

**Tab. 4-6: Výsledky testovania uhlovej presnosti**

Stredná chyba	Hodnota [mgon]	Výsledok $\chi^2$ -testu
$s_{HS}$	$\pm 0,5$	$s_{HS} \leq \sigma * 1,32$
$s_V$	$\pm 0,3$	$s_V \leq \sigma * 1,29$

Dosiahnuté hodnoty stredných chýb, ktoré boli získané vlastným testovacím meraním, sú približne trojnásobne nižšie, ako udáva výrobca. Aj napriek priaznivému výsledku bude pri rozboroch presností používaná základná stredná chyba udávaná výrobcom.

## 5. PRAKTICKÉ MERANIE ŽERIAVOVÝCH DRÁH

### 5.1 Žeriavová dráha vo firme Thermal Trend spol. s r.o.

Zájmová žeriavová dráha sa nachádza v areály firmy Thermal Trend spol. s r.o., ktorá sídli v obci Starovičky, neďaleko mesta Hustopeče, v okrese Břeclav. Predmetom podnikania tejto firmy je strojárská výroba zameraná na výrobu vykurovacích registrov a radiátorov do sociálnych zariadení.



Obr. 5-1: Obec Starovičky [37]

Žeriavová dráha pre mostový žeriav bola inštalovaná v roku 2007 v novo pristavovanej hale. Je umiestnená na 12-tich pároch stĺpov oceľovej konštrukcie s odstupmi 6 m a šírkou 17 m (rozchod). Dráha je vo výške cca 8 m a nie je opatrená priečnou lávkou.



**Obr. 5-2: Žeriavová dráha vo firme Thermal Trend spol. s r.o.**

## 5.2 Použité prístroje a pomôcky

K meraniu žeriavovej dráhy boli okrem totálnej stanice Leica TCRP 1205+ R400, ktorej podrobná špecifikácia je obsahom kapitoly č. 3, použité ďalšie pomôcky:

- nivelačný prístroj Topcon AT-G1, v. č.: AV 1093



**Obr. 5-3: Nivelačný prístroj Topcon AT-G1 [38]**

**Tab. 5-1: Parametre nivelačného prístroja Topcon AT-G1 [23]**

Zväčšenie ďalekohľadu	32 x
Minimálne zaostrenie	1 m
Obraz	vzpriamený
Kilometrová chyba dvojitej nivelácie	$\pm 0,7$ mm

- 2 x upínacia doska pre upevnenie totálnej stanice, nivelačného prístroja alebo trojnožky s odrazovým hranolom na koľajnici

- mini hranol Leica GMP111 Basic (súčtová konštanta + 17,5 mm), v plastovom držiaku s libelou, vybavený špeciálnym kruhovým podstavcom, ktorý má v spodnej časti výrez pre nasadenie na danú šírku koľajnice (zákazková výroba)



**Obr. 5-4: Upínacia doska na koľajnici**



**Obr. 5-5: Mini hranol so špeciálnym podstavcom**

- odrazový hranol Leica GPR1 (súčtová konštanta 0,0 mm), trojnožka, tŕň s bajonetom
- laserový diaľkomer Leica Disto™ A3



**Obr. 5-6: Leica Disto™ A3 [39]**

**Tab. 5-2: Parametre laserového diaľkomeru Leica Disto™ A3 [18]**

Rozsah merania	0,05 m – 100 m
Najmenšia jednotka	1 mm
Presnosť merania až do 30 m	±1,5 mm
Trieda laseru	II

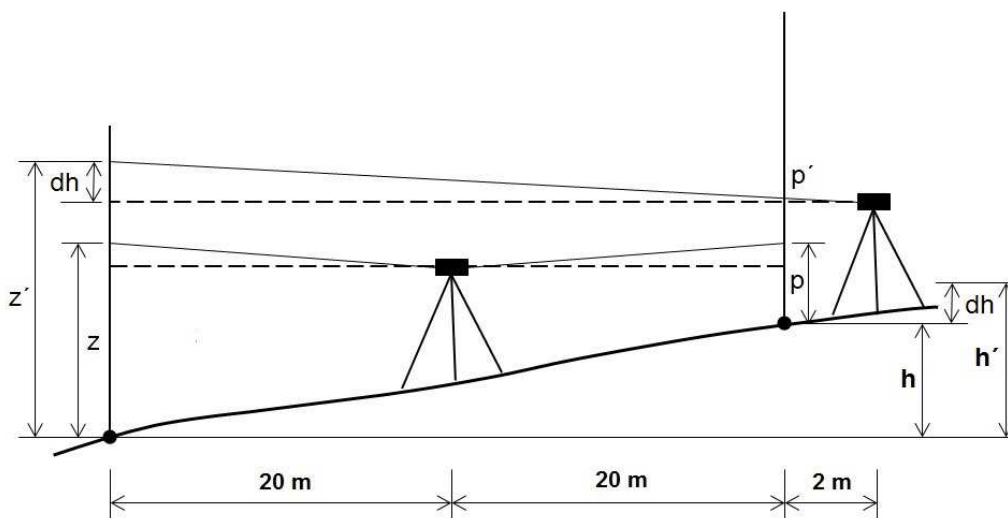
- pravítko s milimetrovým delením (metrový úsek hliníkovej nivelačnej laty)
- digitálny barometer, výškomer a teplomer Greisinger GTD 1100
- zvinovací meter, jamkovač a kladivo, svietidlo, rebrík



### 5.2.1 Skúška nivelačného prístroja

Výškové odchýlky sa pri metóde zámernej priamky určujú na princípe plošnej nivelácie. Prípadná chyba zo sklonu zámernej osi sa tu nevytlúči rozdielom čítaní vzad a vpred, ako je tomu pri postavení nivelačného prístroja uprostred nivelačnej zostavy. Pri tomto spôsobe je teda dôležité, aby bol prístroj precízne nastavený a rektifikovaný, resp. aby bola známa hodnota chyby z nevodorovnej polohy zámernej osi. Z tohto dôvodu bola vykonaná skúška nivelačného prístroja.

Do stredu spojnice dvoch nivelačných lát A a B vzdialených od seba 40 m, bol postavený nivelačný prístroj. Po urovnaní krabicovej libely sa realizovalo čítanie vzad  $z$  a následne i čítanie vpred  $p$ . Z rozdielu týchto dvoch čítaní bolo získané prevýšenie  $h$ , ktoré nie je zaťažené chybou zo sklonu zámernej priamky. Prístroj bol potom umiestnený čo najbližšie za latu B (2 m) a prečítalo sa čítanie vpred  $p'$ , vzápätí po ňom čítanie vzad  $z'$ . Z rozdielu týchto dvoch čítaní sa získalo prevýšenie  $h'$ , ktoré je pochybené o chybu  $dh$  spôsobenú sklonom zámernej osi [15].



Obr. 5-7: Schéma skúšky nivelačného prístroja

Porovnaním správneho a pochybeného prevýšenia bola zistená chyba  $dh$  na vzdialenosť 40 m. Vydelením tejto chyby dĺžkou zostavy (40 m) sa zistí chyba na jeden meter zámery. Celý postup bol opakovaný dvakrát a v oboch prípadoch bola zistená chyba  $dh = +3$  mm na vzdialenosť 40 m. Vzhľadom na tento výsledok skúšky nivelačného prístroja bola chyba uvažovaná pri určovaní prevýšení. Merané hodnoty a výsledky uvádza príloha C.

### 5.3 Podmienky a príprava merania

Po príchode do výrobnjej haly (11.4.2014, okolo 15:00) predchádzala vlastnému meraniu príprava, ktorej cieľom bolo poučiť sa o bezpečnosti práce v danej prevádzke, vyznačiť pozorované body na koľajniciach, nechať dostatok času na aklimatizáciu prístrojov a dohodnúť sa na postupoch merania.

Výrobná hala je pomerne dobre osvetlená prirodzeným osvetlením, kedy svetelné lúče prenikajú cez strešné okná. V prípade nutnosti umelého osvetlenia sú už na žeriavovej dráhe nepriaznivé svetelné podmienky pre optické meranie, nakoľko reflektory logicky nesmerujú do miest, kde sa obe vetvy dráhy nachádzajú. Bol predpoklad, že meranie bude prebiehať ešte aj vo večerných hodinách, a preto bol technický pracovník pohybujúci sa po koľajniciach vybavený čelovým svietidlom.

Priestor pod dráhou bol zaplnený rôznym výrobným materiálom či technikou a neumožňoval použitie vysokozdvížnej plošiny. Prístup na obe vetvy dráhy bol teda zabezpečený rebríkom, ktorý využíval merač aj počas merania pre svoje bezpečné postavenie. Keďže dráha nie je vybavená priechodnými lávkami, pohyb po koľajniciach bol možný iba po niekoľko centimetrov širokej nosnej konštrukcii jednotlivých koľajníc.



**Obr. 5-8: Postavenie merača na rebríku**

Pred zahájením merania bol most žeriava umiestnený do krajnej polohy. Následne boli vyznačené pozorované body na koľajnici, a to v miestach všetkých podporných stĺpov dráhy. V mieste pozorovaného bodu bol najprv pomocou zvinovacieho metra určený stred koľajnice, a potom za pomoci jamkovača a kladiva sa stabilizovala poloha vyrazením jamky do koľajnice. Body na koľaji A vyznačoval autor diplomovej práce a body na koľaji B p. Ing. Svoboda.

Dráhu podopiera celkovo 12 párov podpier, ale v mieste posledného páru na oboch koncoch dráhy sú umiestnené nárazníky. Celkovo tak bolo vyznačených 11 bodov na jednej koľaji. Body sa na koľaji A označovali číslom od č. 100 (počiatočný bod) po č. 110 (koncový bod). Na koľaji B analogicky od č. 200 až po č. 210. O orientácii jednotlivých koľají informuje *príloha H*.

Počiatočný bod na koľaji A sa zvolil vo vhodnej vzdialenosti od nárazníku tak, aby mal merač dostatočný priestor na obsluhu totálnej stanice a nivelačného prístroja. Táto vzdialenosť bola zvinovacím metrom zmeraná (0,468 m) a zaznamenaná do náčrtu. Rovnaká hodnota sa vytýčila od nárazníku na koľaji B, aby poloha počiatočného bodu na tejto koľaji bola na kolmici vzhľadom ku koľaji A. Predpokladalo sa, že nárazníky sú kolmé k pozdĺžnej ose dráhy.

Vyznačenie počiatočného bodu na koľaji B je jedna z odchýlok od správneho technologického postupu. Správne by sa mal postaviť teodolit (totálna stanica) na počiatočný bod koľaje A a zacieliť na koncovú značku na tejto koľaji. Vytýčením kolmice by sa získala poloha počiatočného bodu na koľaji B. Tento postup umožňuje kontrolu kolmosti čiel nárazníkov pomocou merania vzdialenosti od čela nárazníka po počiatočný bod. Na oboch koľajniciach by mala byť táto vzdialenosť rovnaká.

Kolmosť čiel nárazníkov v tomto prípade nebola predmetom kontroly.

## **5.4 Metóda zámernej priamky**

Pri tejto metóde bol zvolený taký postup, ktorý by eliminoval opakovaný pohyb technického pracovníka po koľaji v smere od počiatočného bodu po koncový a naopak. Dôraz bol kladený predovšetkým na bezpečnosť meračského personálu, a preto sa zvolený postup v niektorých krokoch vychýľuje od postupu uvedenom v [1].

Meranie bolo zahájené na koľaji A, kedy bol na počiatocnom bode (č. 100) na upínacej doske upevnený nivelačný prístroj. Vhodne sa zvolil pevný bod, na ktorom sa vykonalo čítanie vzad. Výška počiatocného bodu sa určila tak, že milimetrové pravítko bolo položené na koľajnicu vo vzdialenosti, ktorá sa blížila minimálnemu zaostreniu ďalekohľadu nivelačného prístroja.

V prvom rade boli teda merané výškové rozdiely v smere od počiatocného bodu po koncový. Na koncovom bode (č. 110) sa začalo zároveň s určovaním smerových pomerov. Zvislá ryska zámerného kríža bola nasmerovaná na tento bod a s prístrojom sa už ďalej v horizontálnom smere neotáčalo.

K určovaniu priečných odchýlok sa použilo rovnaké milimetrové pravítko, ktoré sa tento krát umiestňovalo vo vodorovnej polohe kolmo na koľaj. Na pozorované body sa pravítko vždy pokladalo číslom 20 centimetrovej stupnice tak, že 0 stupnice smerovala von z dráhy. V prípade, že sa prečítala hodnota menšia než 20 cm, tak z pohľadu merača bola koľaj vychýlená od zámernej priamky smerom doprava. Pri prečítaní väčšej hodnoty bola dráha vychýlená doľava.



**Obr. 5-9: Ukážka merania priečných odchýlok**



**Obr. 5-10: Ukážka merania výškových odchýlok**

Pokračovalo sa od koncového bodu a merali sa jednak priečne a jednak výškové odchýlky. Postup bol taký, že sa najprv zmerala priečna odchýlka, vzápätí sa pravítko postavilo zvislo na koľaj pre určenie výškového priebehu a potom opäť vodorovne, aby bolo vykonané druhé meranie priečnej odchýlky na jednom bode. Tento postup umožňoval určiť dvakrát priečnu a dvakrát výškovú odchýlku pri jednom pohybe pracovníka v smere od počiatočného bodu po koncový a naopak.

Meranie sa ukončilo na zvolenom pevnom bode, kedy sa opäť vykonalo čítanie vzad. Týmto sa skontrolovala stabilita nivelačného prístroja v priebehu merania. Pokračovalo sa určovaním výškových odchýlok na koľaji B. Nivelačný prístroj zostal stáť na počiatočnom bode koľaje A.

Opäť bol zvolený pevný bod (na koľaji B), na ktorom sa odčítalo čítanie vzad. Pri pohybe pracovníka v smere od bodu č. 201 po bod č. 210 sa určili výškové odchýlky prvýkrát a pri pohybe v opačnom smere druhýkrát. Kontrolným čítaním na zvolenom pevnom bode sa nivelačné meranie ukončilo.

Priečne odchýlky na koľaji B boli určované v priebehu merania žeriavovej dráhy priestorovou polárnou metódou, aby bol znova eliminovaný pohyb pracovníka po koľajnici. Zámerná priamka tu bola realizovaná zvislou ryskou zámerného obrazca totálnej stanice (viď podkapitola č. 5.5 Priestorová polárna metóda). Pravítko sa na pozorované body pokladalo číslom 80 centimetrovej stupnice, kedy 0 stupnice smerovala dovnútra dráhy.

Hodnoty čítaní na late boli opravené o chybu zo sklonu zámernej priamky, ktorá bola zistená pri skúške nivelačného prístroja (viď oddiel č. 5.2.1 Skúška nivelačného prístroja). Oprava bola zavedená na základe vzdialenosti medzi nivelačným prístrojom a pozorovaným bodom. Tieto dĺžky boli prevzaté z výsledkov merania priestorovej polárnej metódy.

**Rozchody** koľajnic boli určované pomocou laserového diaľkomeru. Merala sa vodorovná vzdialenosť medzi vnútornými zvislými stenami koľajnic vždy minimálne dvakrát z koľaje B na koľaj A. Merané vzdialenosti priemeroval technický pracovník priamo na mieste merania rozchodu a do zápisníka merania sa zaznamenali už výsledné priemerné hodnoty vzdialeností. K nameraným dĺžkam bola ešte pripočítaná hodnota ideálnej šírky koľajnice (0,05 m).

Po takto vykonanom meraní nebol most žeriavu posunutý do opačnej krajnej polohy. Z toho dôvodu nebolo možné kontrolne zmerať body v mieste posledného páru stĺpov. Pre potreby tejto diplomovej práce to ani nebolo nutné a preto táto odchýlka od technologického postupu bola prípustná.

**Tab. 5-3: Namerané hodnoty rozchodov koľajníc**

Medzi bodmi	Rozchod [m]
100 – 200	17,004
101 – 201	17,010
102 – 202	16,999
103 – 203	16,994
104 – 204	16,990
105 – 205	16,986
106 – 206	17,000
107 – 207	16,988
108 – 208	16,998
109 – 209	17,000
110 – 210	17,001

Odpisy ďalších nameraných údajov (vodorovné odchýlky a čítania z nivelácie) sú obsahom *prílohy D*.

#### **5.4.1 Smerový priebeh**

Smerový priebeh bol posúdený podľa normy [3]. Najväčšia tolerancia v bočnom smere je  $\pm 10$  mm pre celkovú dĺžku koľajnice a zároveň nesmie pozdĺžna stredová os koľajnice prekročiť priečnu úchylku  $\pm 1$  mm na dĺžke 2 m (v tomto prípade  $\pm 3$  mm na 6 m dĺžky).

**Tab. 5-4: Vodorovné odchýlky určené priamym meraním**

Koľaj A			Koľaj B		
Bod	Priečna odchýlka [mm]	Zmena odchýlky [mm]	Bod	Priečna odchýlka [mm]	Zmena odchýlky [mm]
100	0	-	200	0	-
101	-6	6	201	4	4
102	6	0	202	0	4
103	9	3	203	1	1
104	3	6	204	-9	10
105	0	3	205	-20	11
106	-2	2	206	-10	10
107	7	9	207	-7	3
108	1	6	208	-9	2
109	2	1	209	-5	4
110	0	2	210	0	5

Tolerancie boli prekročené. Najväčšia odchýlka dosahuje hodnotu 20 mm na koľaji B. Ostatné odchýlky od priamosti sú síce v rámci tolerancie  $\pm 10$  mm (pre celkovú dĺžku), ale tolerancia  $\pm 3$  mm na dĺžke 6 m je prekročená vo väčšine prípadov. V ďalšom oddiele bude vykonané analytické spracovanie pre získanie rektifikačných hodnôt.

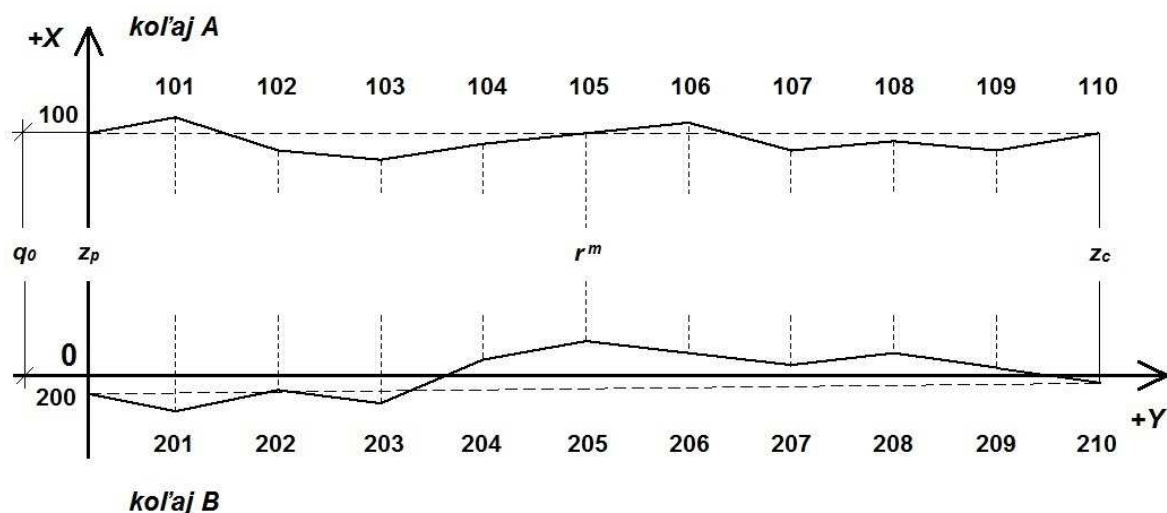
#### 5.4.2 Vyrovnanie smerovej deformácie

Smerové pomery zameranej žeriavovej dráhy boli vyrovnané metódou najmenších štvorcov (MNŠ) podľa Ing. Z. Nováka a Ing. J. Šroma [10]. Bude popísaný teoretický postup s názorným obrázkom konkrétnej situácie. Označenie veličín zostalo zachované.

Rovnobežnosť oboch koľají a zhodnosť ich rozchodu s osovou vzdialenosťou kolies žeriavového mostu sú dôležité k tomu, aby žeriav mohol bezporuchovo pracovať. Vyrovnanie smerových deformácií z týchto základných podmienok vychádza.

Je zavedený pravouhlý súradnicový systém tak, aby sa dal jednoznačne určiť vzťah bodov ŽD a aby sa z nameraných hodnôt dali jednoducho vypočítať súradnice všetkých zameriavaných podrobných bodov. Os Y je rovnobežná so zámernou priamkou ľavej koľaje (ľavá koľaj je v smere merania naľavo od pozdĺžnej osi koľají), ktorá je od počiatku súradníc vzdialená o hodnotu  $q_0$ . Veľkosť hodnoty  $q_0$  bola zvolená ako projektovaná šírka

rozchodu koľajníc (17 m). Os X prechádza počiatočnými bodmi zámerných priamok oboch koľají.



**Obr. 5-11: Schéma situácie**

*Poznámka:* Obr. 5-11 Nevyjadruje skutočný priebeh a nie je vykreslený v mierke. Slúži pre znázornenie umiestnenia osí súradnicového systému a pre zrozumiteľnejšiu interpretáciu ďalšieho výpočtu.

Vysvetlivky:

- $L_{O_i}, P_{O_i}$  merané úchyľky podrobných bodov od zámernej priamky
- $z_p$  meraný rozchod koľajníc v mieste stanovísk prístroja
- $z_c$  meraný rozchod koľajníc medzi cieľovými značkami
- $r^m$  meraný rozchod koľajníc medzi odpovedajúcimi si podrobnými bodmi
- $y_i$  staničenie i-teho bodu
- $d$  dĺžka dráhy medzi stanoviskom prístroja a koncovou cieľovou značkou

Súradnice x podrobných bodov ľavej koľaje sa vypočítajú podľa vzťahu

$$L_{x_i} = q_0 + L_{O_i} \quad (5.1)$$

a pravej koľaje

$$P_{x_i} = q_0 - z_p + \frac{z_p - z_c}{d} y_i + P_{O_i}. \quad (5.2)$$

*Poznámka:* V tomto prípade bolo staničenie  $y_i$  prevzaté z polárnej metódy, pri ktorej boli merané vzdialenosti medzi stanoviskom a i-tým bodom.



Rozchod koľajníc je možné vypočítať z rozdielu súradníc  $x$  odpovedajúcich si podrobných bodov.

$$r_i^v = L_{x_i} - P_{x_i} \quad (5.3)$$

V dôsledku chýb merania vznikne rozdiel medzi rozchodom meraným a vypočítaným, ktorý sa rozdelí tak, že  $1/3$  sa pripočíta k súradnici  $x$  ľavej koľaje (výsledkom je  $L_{x'_i}$ ),  $1/3$  sa odpočíta od súradnice  $x$  pravej koľaje (výsledkom je  $P_{x'_i}$ ) a  $1/3$  sa odpočíta od meraného rozchodu. Tým sa dosiahne toho, že

$$r_i^m = r_i^v. \quad (5.4)$$

Môže sa už prikrčiť k vlastnému vyrovnaniu. Všeobecný úsekový tvar priamky je daný vzťahom

$$x = ky + q, \quad (5.5)$$

kde  $q$  je úsek na osi  $X$  a  $k$  je smernica uvažovanej priamky.

Medzi súradnicami podrobného bodu  $x'_i$  a jemu odpovedajúcej súradnici vyrovnaného bodu  $X_i$  platí vzťah

$$X_i = x'_i + v_i, \quad (5.6)$$

z čoho po úprave [10] pre ľavú a pravú koľaj bude

$$L_{v_i} = dq + y_i dk + L_{l_i} \quad (5.7)$$

$$P_{v_i} = dq + y_i dk + P_{l_i} \quad (5.8)$$

Pre  $l$  platia rovnice

$$L_{l_i} = q_0 - L_{x'_i} \quad (5.9)$$

$$P_{l_i} = -P_{x'_i}. \quad (5.10)$$

Všeobecný tvar pretvorených rovníc oprav je

$$v_i = a_i dx + b_i dk + l_i, \quad (5.11)$$

pričom platí, že  $a = 1$ ,  $b = y$ ,  $dy = dk$  a  $dx = dq$ . Výpočet sumarizačných znakov sa ešte zjednoduší, ak sú úseky na osi  $Y$  medzi susednými bodmi rovnako dlhé. Potom je možné za  $b$  dosadiť  $b=1, 2, 3, \dots, i$ . Toto zjednodušenie bolo použité, nakoľko daná podmienka rovnakých medziľahlých vzdialeností bola splnená (rozdiel cca 0,7 m od 6 metrového odstupu, ktorý je medzi 0. a 1. priečnym rezom, sa vo výsledku neprejaví).

Rovnice opráv sa podrobia podmienke minima  $[vv] = \min$  a po vyjadrení derivácii vzniknú dve normálne rovnice

$$[aa]dq + [ab]dk + [al] = 0 \quad (5.12)$$

$$[ab]dq + [bb]dk + [bl] = 0. \quad (5.13)$$

K ich riešeniu je výhodne použiť determinant sústavy rovníc

$$D = [aa][bb] - [ab][ab]. \quad (5.14)$$

Vzťahy pre neznáme  $dq$  a  $dk$  budú

$$dq = \frac{[ab][bl] - [bb][al]}{D} \quad (5.15)$$

$$dk = -\frac{[aa][bl] - [ab][al]}{D}. \quad (5.16)$$

Celý výpočet sa kontroluje rovnicami

$$[v] = 0 \quad (5.17)$$

$$[al]dq + [bl]dk + [ll] = [vv]. \quad (5.18)$$

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené hodnoty vstupujúce do vyrovnania a výsledky vyrovnania smerovej deformácie. Tabuľka je v rozsiahlejšej úprave súčasťou *prílohy E*.

**Tab. 5-5: Výsledky vyrovnania smerovej deformácie (hodnoty sú v mm)**

$r = q_0=17000$					$z_p=17004$			$z_c=17001$			$z_p - z_c=3$		
Ľavá (koľaj A)						Rozchod		Pravá (koľaj B)					
Bod	$L_{O_i}$	$L_{x_i}$	$L_{x'_i}$	$L_{v_i}$	$X_i$	$r_i^m$	$r_i^p$	Bod	$P_{O_i}$	$P_{x_i}$	$P_{x'_i}$	$P_{v_i}$	$X_i$
100	0	17000	17001	-2	17000	17004	17003	200	0	-1	-2	1	-1
101	6	17006	17006	-6	17000	17010	17010	201	-4	-5	-5	4	0
102	-6	16994	16995	5	17000	16999	16998	202	0	-1	-2	2	0
103	-9	16991	16991	9	17000	16994	16994	203	-1	-2	-2	3	0
104	-3	16997	16997	3	17001	16990	16990	204	9	8	8	-7	1
105	0	17000	17002	-1	17001	16986	16984	205	20	19	17	-16	1
106	2	17002	17004	-3	17001	17000	16998	206	10	9	7	-5	1
107	-7	16993	16993	8	17002	16988	16988	207	7	6	6	-4	2
108	-1	16999	17001	1	17002	16998	16996	208	9	8	6	-4	2
109	-2	16998	17000	3	17002	17000	16998	209	4	3	1	1	2
110	0	17000	17000	3	17003	17001	17001	210	0	-1	-1	4	3
				$\Sigma$	21							$\Sigma$	-21

Metóda najmenších štvorcov vedie k najpravdepodobnejším hodnotám neznámych  $dq$  a  $dk$ , a tým aj k najmenším posunom koľají pri rektifikácii, čím sa najmenej porušia statické pomery nosných stĺpov [10].

### 5.4.3 Výškový priebeh

Výškové odchýlky jazdených plôch koľajníc sa v stanovených priečných rovinách vypočítajú z rozdielu relatívnych výšok vzhľadom k najvyššiemu bodu dráhy. V tomto prípade sa jednalo o dva body (č. 100 a 101), na ktorých bola nameraná najmenšia hodnota čítania (0,102 m). Z toho logicky vyplýva, že sa jedná o body s najväčšou výškou v rámci meraných profilov.

Výškový rozdiel medzi oboma koľajnicami v stanovených priečných rovinách bol určený z rozdielu prevýšení vzhľadom ku koľaji A. Ďalej sa určil sklon jednotlivých polí v promile (‰).

**Tab. 5-6: Výškové odchýlky a zmeny výšok jednotlivých polí**

Koľaj A				Koľaj B			
Bod	Výšková odchýlka [mm]	Zmena výšky [mm]	Sklon [‰]	Bod	Výšková odchýlka [mm]	Zmena výšky [mm]	Sklon [‰]
100	0	-	-	200	-9	-	-
101	0	0	0,00	201	-7	2	0,37
102	-4	4	0,67	202	-7	0	0,00
103	-8	4	0,67	203	-4	3	0,50
104	-5	3	0,50	204	-9	5	0,83
105	-5	0	0,00	205	-7	2	0,33
106	-5	0	0,00	206	-7	0	0,00
107	-4	1	0,17	207	-6	1	0,17
108	-2	2	0,33	208	-7	1	0,17
109	-2	0	0,00	209	-7	0	0,00
110	-4	2	0,33	210	-6	1	0,17

Najväčšia dovolená tolerancia výškovej úrovne hlavy koľajnice od teoretickej výšky (v tomto prípade od najvyššej výšky) je  $\pm 10$  mm. Výšková odchýlka v pozdĺžnom

smere koľajnice v každom bode meranej dĺžky 2 m nesmie prekročiť 2 mm (v tomto prípade nesmie prekročiť na dĺžku 6 m hodnotu 6 mm) [3].

Na koľaji A je najväčšia výšková odchýlka -8 mm a najväčší výškový rozdiel na dĺžku 6 m je 4 mm. Na koľaji B je maximálna hodnota výškovej odchýlky -9 mm a najväčšia výšková diferenciacia na vzdialenosť profilov je 3 mm.

**Tab. 5-7: Výškový rozdiel medzi koľajnicami (A oproti B)**

Medzi bodmi	Prevýšenie koľajnic [mm]
100 – 200	9
101 – 201	7
102 – 202	3
103 – 203	-4
104 – 204	4
105 – 205	2
106 – 206	2
107 – 207	2
108 – 208	5
109 – 209	5
110 – 210	1

Výškové úrovne oboch koľajnic môžu vykazovať rozdiel  $\pm 10$  mm [3]. Najväčší zistený rozdiel medzi koľajou A a B je 9 mm.

Zistené výškové odchýlky neprekračujú ani jednu z uvedených tolerancií, ktoré sú kladené na výškových priebeh. V prípade, že by toto kontrolné meranie malo slúžiť ako podklad pre rektifikáciu predmetnej dráhy, tak výšková rektifikácia by nebola nutná.

## 5.5 Priestorová polárna metóda

Meranie touto metódou bolo taktiež zahájené na koľaji A, kde bola totálna stanica postavená na počiatočnom bode č. 100. S upevňovacími doskami sa medzi metódami nehýbalo. Orientačným bodom bol bod č. 200 koľaje B, na ktorom bol umiestnený

odrazový hranol Leica GPR1. Celá sústava (odrazový hranol, trň a trojnožka) bola ponechaná na tomto bode dovtedy, kým sa neukončilo meranie na koľaji A.

Pomocou zvinovacieho metra sa precízne zmerala výška TS nad hornou plochou koľajnice, ďalej výška hranola Leica GPR1 pri jeho postavení nad bodom č. 200 a tiež výška mini hranola so špeciálnym podstavcom.

V totálnej stanici boli nastavené hodnoty aktuálnych atmosférických podmienok (teplota, vlhkosť a tlak) a v rámci EDM a ATR nastavenia boli zvolené položky, o ktorých informuje tab. 5-8. Pre meranie podrobných bodov sa použil mini hranol Leica GMP111 Basic, ktorý ma odlišnú hodnotu súčtovej konštanty ako odrazový hranol Leica GPR1. Z toho dôvodu musela byť obsluha TS obozretná a pri meraní správne meniť nastavenie hranola, aby nevznikla nežiaduca systematická chyba.

Systém ATR bol aktívny v priebehu celého merania a merač iba náhodne kontroloval cielenie cez ďalekohľad TS. K tomu, aby sa odrazový hranol nachádzal v zornom poli ďalekohľadu (podmienka fungovania systému ATR), bola použitá červená svetelná stopa laseru, ktorá meračovi uľahčovala hrubé manuálne cielenie, bez nutnosti pohľadu do okulára ďalekohľadu. Výhoda spočívala aj v pohodlnejšej a bezpečnejšej pozícii merača, pri jeho postavení na rebríku.

**Tab. 5-8: EDM a ATR nastavenie v priebehu merania ŽD**

<b>EDM typ</b>	Hranol (IR)
<b>EDM režim</b>	Standard
<b>Hranol</b>	Leica mini hranol*)
<b>Súčtová konštanta</b>	+17,5 mm
<b>Automatizácie</b>	ATR
<b>ATR nastavenie</b>	Normálne

\*) Výber hranola pre meranie podrobných bodov na koľajnici

Meranie teda začalo orientáciou na bod č. 200 v dvoch polohách ďalekohľadu. Medzi tým už bola obsluha hranola pripravená na prvom pozorovanom bode č. 101. Pri pohybe pracovníka na koniec dráhy sa zmerali všetky vyznačené podrobné body v prvej polohe ďalekohľadu. V smere jeho pohybu späť na začiatok dráhy sa zmerali pozorované body v druhej polohe ďalekohľadu. Pre kontrolu stability TS sa vykonalo meranie na orientačný bod.

Tříň s hranolom Leica GPR1 sa vybral s trojnožky a presunul sa na koľaj A na bod č. 100. Na jeho miesto sa do trojnožky upevnila TS. Meranie na koľaji B malo obdobný priebeh s tým rozdielom, že podrobné body boli odmerané v prvej a druhej polohe pri pohybe pracovníka v jednom smere od počiatočného bodu. Po tom, ako bola pohybom ruky merača signalizovaná registrácia meraných dát v prvej polohe, hranol sa zdvihol a znova položil na vyznačené miesto, aby mohlo prebehnúť meranie v druhej polohe. Takto sa postupovalo pri každom bode, až kým meranie nebolo ukončené na poslednom bode (č. 210). V závere sa ešte skontrolovala orientácia na bod č. 100.

Vzápätí sa vykonala kontrola urovnania prístroja do vodorovnej polohy a pokračovalo sa metódou zámernej priamky. Keďže technický pracovník bol na konci dráhy, mohlo byť zacielené na posledný pozorovaný bod, čím sa realizovala zámerná priamka na koľaji B. Pri presune pracovníka na začiatok dráhy boli zaznamenané čítania na stupnici pravítka pri jeho postupnom pokladaní na vyznačené body.

*Poznámka: Posledný odsek dopĺňa podkapitolu 5.4.*

### **5.5.1 Spracovanie meraných dát**

Zápisník merania bol získaný od vlastníka totálnej stanice vo formáte \*.ZAP. Pre spracovanie meraných údajov a ďalšie vybrané výpočty bol použitý software Groma v. 8.0 (ďalej len Groma), čo je geodetický systém pracujúci v prostredí Microsoft Windows. Je určený pre komplexné spracovanie geodetických dát od surových údajov prenesených z totálnej stanice až po výsledné zoznamy súradníc, výpočtové protokoly a kontrolnú kresbu.

Konštanta odrazového hranola bola vždy nastavená už pri meraní priamo v prístroji, a preto merané dĺžky nemuseli byť opravované o systematickú chybu tohto charakteru. Vo výpočtovom softwari boli šikmé vzdialenosti prepočítané na vodorovné, ďalej boli spracované opakované merania a obojsmerne merané dĺžky. Matematické korekcie zavádzané neboli (mierkový faktor bol rovný 1).

Vodorovné smery merané v dvoch polohách ďalekohľadu boli spriemerované a následne redukované na nulový smer. Zenitové uhly sa opravili o vplyv indexovej chyby.

Uvedené výpočtové operácie boli spracované automaticky bez zásahu užívateľa pomocou funkcie „Zpracování zápisníku“, ktorá sa nachádza v paneli „Měření“. Prípadné chyby v číslovaní bodov boli manuálne opravené. S takto spracovaným zápisníkom sa pracovalo ďalej bez ďalších úprav a editácií.

### 5.5.2 Výpočet pričných odchýlok

Priečne odchýlky boli určené nepriamo a **pre každú koľaj zvlášť**, aby mohli byť porovnané s odchýlkami určenými MZP. Postup výpočtu bol na oboch koľajniciach totožný. Do stanoviska prístroja (č. 100, resp. 200) bol umiestnený počiatok miestnej súradnicovej sústavy. Os +X prechádza najvzdialenejším pozorovaným bodom (č. 110, resp. 210) a os +Y dopĺňala systém na pravouhlý ľavotočivý. Súradnica X najvzdialenejšieho bodu je rovná meranej vodorovnej vzdialenosti. Do posledného bodu bola tiež vložená orientácia pri výpočte pravouhlých súradníc, čo znamenalo, že výsledné súradnice Y pozorovaných bodov sú rovné pričným odchýlkam. Znamienko „-“ značí bod naľavo od zámernej priamky a znamienko „+“ budú mať body, ktoré sa nachádzajú vpravo od priamky.



Obr. 5-12: Voľba umiestnenia súradnicového systému

**Tab. 5-9: Nepriamo určené priečne odchýlky**

Koľaj A			Koľaj B		
Bod	Priečna odchýlka [mm]	Zmena odchýlky [mm]	Bod	Priečna odchýlka [mm]	Zmena odchýlky [mm]
100	0	-	200	0	-
101	-6	6	201	3	3
102	5	9	202	1	2
103	10	5	203	1	0
104	5	5	204	-10	11
105	0	5	205	-19	9
106	-1	1	206	-9	10
107	10	11	207	-5	4
108	3	7	208	-8	3
109	4	1	209	-5	3
110	0	4	210	0	5

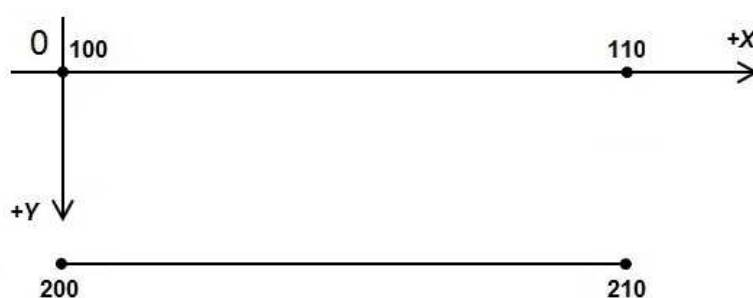
Vypočítané vodorovné odchýlky sa porovnávajú podľa tolerancií, ktoré sú v norme [3] stanovené pre priamosť koľajníc. Ako už bolo v diplomovej práci uvedené, najväčšia hodnota tolerancie v bočnom smere je  $\pm 10$  mm (pre celkovú dĺžku) a pozdĺžna os koľajnice vo vodorovnej rovine nesmie prekročiť bočnú odchýlku  $\pm 1$  mm na dĺžku 2 m (v tomto prípade  $\pm 3$  mm na 6 m).

Zistené odchýlky prekračujú povolená kritéria, podľa ktorých by nemusela byť dráha rektifikovaná.

### 5.5.3 Výpočet rozchodu zo súradníc podrobných bodov

Súradnice podrobných bodov boli určené v miestnom súradnicovom systéme, ktorého počiatok bol opäť vložený do stanoviska prístroja na koľaji A (bod č. 100). Kladná vetva osi X je spojnicou stanoviska prístroja a koncového bodu tejto koľaje. Os Y smeruje ku koľaji B a dotvára tak systém na pravouhlý ľavotočivý.





**Obr. 5-13: Súradnicový systém pre určenie rozchodu**

Výpočet prebehol v programe Groma. V prvom rade boli vypočítané súradnice podrobných bodov na koľaji A. Pomocou rajónu sa určila poloha bodu č. 200, ktorý slúžil ako stanovisko prístroja na koľaji B. Následne boli spočítané pozorované body aj na tejto koľaji. Protokoly o výpočte sú súčasťou *prílohy č. G*.

**Tab. 5-10: Súradnice podrobných bodov a rozchody vypočítané zo súradníc**

Bod	Y [m]	Bod	Y [m]	Profil	Rozchod [m]
100	0,000	200	17,004	0.	17,004
101	-0,006	201	17,007	1.	17,013
102	0,005	202	17,006	2.	17,001
103	0,010	203	17,006	3.	16,996
104	0,005	204	16,997	4.	16,992
105	0,000	205	16,988	5.	16,988
106	-0,001	206	16,998	6.	16,999
107	0,010	207	17,004	7.	16,994
108	0,003	208	17,001	8.	16,998
109	0,004	209	17,005	9.	17,001
110	0,000	210	17,010	10.	17,010

Rozdiel medzi prvým a posledným rozchodom je 6 mm. Na bode č. 210 sa zrejme prejavila chyba spôsobená nepresnosťou uhlového merania. Koľajnice sú v takom prípade rôznobežné. Jednou z možných optimalizácií je hodnotu rozdielu 6 mm úmerne rozdeliť na všetky rozchody podľa staničenia. Tým sa docieli zhodnosť rozchodov na začiatku a konci dráhy, z čoho vyplýva, že koľajnice budú rovnobežné.

#### 5.5.4 Trigonometrické určenie výšok

Výšky pozorovaných bodov boli určené trigonometricky. Výška počiatočného bodu č. 100 bola zvolená ako nulová. Výšky ostatných bodov budú vlastne relatívne výšky (prevýšenia) vzťahnuté k tomuto pevnému bodu.

V prvom rade sa určila priemerná relatívna výška stanoviska prístroja na koľaji B (bod č. 200) a to na základe obojsmerného merania zenitového uhlu a šikmej vzdialenosti. V programe Groma sa v rámci úlohy „Polární metoda dávkou“ vypočítali ako polohové súradnice, tak i výšky všetkých podrobných bodov. Korekcia výšok z vplyvu refrakcie nebola zavedená. Zoznam výšok je súčasťou výpočtového protokolu v *prílohe G*.

Výškové odchýlky boli opäť určené vzhľadom k vodorovnej rovine prechádzajúcej najvyšším bodom dráhy. V tomto prípade to bol č. 101, ktorého výška v rámci zvoleného výškového systému bola +0,005 m.

**Tab. 5-11: Výšky, výškové odchýlky a zmeny výšok jednotlivých polí**

Koľaj A					Koľaj B				
Bod	Výška [mm]	Výšková odchýlka [mm]	Zmena výšky [mm]	Sklon [%]	Bod	Výška [mm]	Výšková odchýlka [mm]	Zmena výšky [mm]	Sklon [%]
100	0	-5	-	-	200	-5	-10	-	-
101	5	0	5	0,93	201	-2	-7	3	0,57
102	0	-5	5	0,83	202	-3	-8	1	0,17
103	-5	-10	5	0,83	203	1	-4	4	0,67
104	-2	-7	3	0,50	204	-6	-11	7	1,17
105	-3	-8	1	0,17	205	-5	-10	1	0,17
106	-3	-8	0	0,00	206	-5	-10	0	0,00
107	-3	-8	0	0,00	207	-3	-8	2	0,33
108	-1	-6	2	0,33	208	-6	-11	3	0,50
109	-2	-7	1	0,17	209	-6	-11	0	0,00
110	-5	-10	3	0,50	210	-7	-12	3	0,50

**Tab. 5-12: Výškový rozdiel medzi koľajnicami (A oproti B)**

Medzi bodmi	Prevýšenie koľajnic [mm]
100 – 200	5
101 – 201	7
102 – 202	3
103 – 203	-6
104 – 204	4
105 – 205	2
106 – 206	2
107 – 207	0
108 – 208	5
109 – 209	4
110 – 210	2

Najväčšia výšková odchýlka na koľaji A je -10 mm (na bode č. 103 a 110). Na koľaji B sú odchýlky v hodnotách pod -10 mm až v 7 prípadoch. Maximálna výšková diferenciacia medzi profilmi je 7 mm, ktorá je na koľaji B medzi bodmi č. 203 a 204. Výškové úrovne oboch koľajnic vykazujú najväčší rozdiel 7 mm.

Ak sa aj pri tejto metóde porovnávajú výškové odchýlky s povolenými toleranciami podľa [3], tak dráha bude spĺňať toleranciu pre výškový rozdiel oboch koľajnic v priečnom smere (povolených je 10 mm). K zvyšným dvom autor diplomovej práce pristupuje s určitou dávkou zhovievavosti.

Tolerancia pre maximálny výškový rozdiel na dĺžku 6 m bola prekročená iba v jednom mieste (medzi bodmi č. 203 a 204) o 1 mm, čo je ešte v rámci možného 20%-ného navýšenia tolerancie. Podobne je možné pristupovať aj k výškovým odchýlkam od teoretickej výšky hlavy koľajnice, ktoré toleranciu pre nové dráhy prekračujú.

Pri takom prístupe by sa dráha nemusela vyrovnávať (s ohľadom na požiadavky objednávateľa).

## 5.6 Rozbor presnosti

V tejto podkapitole budú počítané rozbor presnosti pre obe metódy zamerania priestorových vzťahov danej ŽD. Výsledky rozborov budú porovnávané s toleranciami, ktoré sú stanovené v norme [3].

Medzné odchýlky sú v tejto norme uvádzané v tvare  $\pm\delta_{PAR}$  [12]. Horná i dolná medzná odchýlka parametru má rovnakú veľkosť a tolerancia môže byť vyjadrená ako

$$T = 2 * \delta_{PAR}. \quad (5.19)$$

Medzná odchýlka kontrolného merania bude podľa [2] počítaná nasledovne:

$$\delta_{MET} \leq 0,2 * T = 0,4 * \delta_{PAR}. \quad (5.20)$$

Požadovaná stredná chyba merania sa vypočíta podľa vzťahu

$$m_{MET} = \frac{\delta_{MET}}{t}, \quad (5.21)$$

kde  $t$  je koeficient spoľahlivosti.

Ako už bolo v predmetnej práci zmienené, v rozboroch presnosti sa použijú základné stredné chyby prístrojov, ktoré udáva výrobca. Značenie je prispôbené vlastným potrebám. Pre posúdenie presnosti metódy budú vždy uvažované najmenej výhodné konfigurácie. Do vzorcov budú dosadzované hodnoty meraných dĺžkových veličín zaokrúhľované smerom nahor na celé metre, uhlové veličiny na celé grády.

### 5.6.1 Presnosť určenia rozchodu

Najväčšia tolerancia  $\Delta s$  rozchodu ŽD, u ktorej má rozchod hodnotu 17 m, je daná vzťahom

$$\Delta s = \pm[3 + 0,25 * (s - 10)]mm = 4,75mm \quad (5.22)$$

Medzná chyba kontrolného merania rozchodu:

$$\delta_{sMET} = 0,3 * 2 * \Delta s = 2,85 mm. \quad (5.23)$$

Požadovaná stredná chyba rozchodu:

$$m_{sMET} = \frac{\delta_{sMET}}{t} = \frac{1,9}{2} = 1,43 \text{ mm.} \quad (5.24)$$

Pri **metóde zámernej priamky** sa pre meranie rozchodov použil laserový diaľkomer Leica Disto™ A3. Stredná chyba rozchodu je v tomto prípade závislá na presnosti dĺžkového merania. Výrobca udáva presnosť merania dĺžky 1,5 mm [18], ktorá bude ďalej označená ako  $m_{disto0}$ .

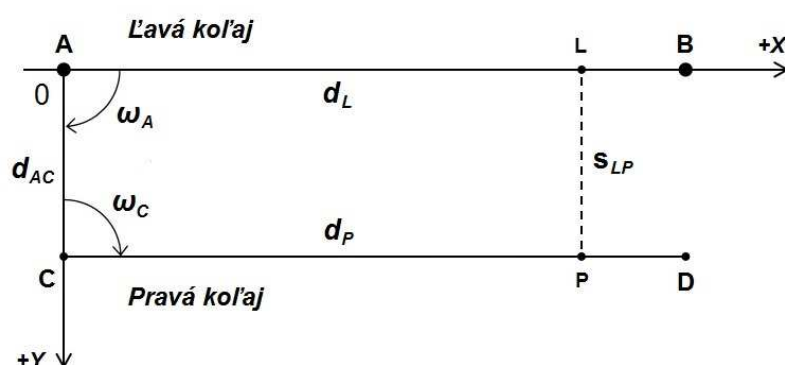
Dĺžky medzi dvoma odpovedajúcimi si bodmi boli merané vždy minimálne dvakrát a stredná chyba dvojitého merania je potom daná strednou chybou priemeru z dvoch meraní

$$m_{disto} = \frac{m_{disto0}}{\sqrt{2}} = \frac{1,5 \text{ mm}}{\sqrt{2}} = 1,1 \text{ mm.} \quad (5.25)$$

A keďže platí  $m_{disto} \leq m_{sMET}$ , je možné sa domnievať, že daným laserovým diaľkomerom bol rozchod určený s postačujúcou presnosťou.

Pri **polárnej metóde** bol rozchod koľajníc určený ako rozdiel súradníc Y dvoch odpovedajúcich si protíahlych bodov, ktoré boli zamerané polárnou metódou.

Uvažuje sa teda zjednodušený model, kedy je kladná vetva osi X miestnej súradnicovej sústavy vložená do spojnice počiatočného a koncového bodu ľavej koľaje. Počiatok je umiestnený do stanoviska prístroja (A). Úloha je ďalej založená na predpoklade, že súradnice známych bodov A a B sú bezchybné [13].



Obr. 5-14: Zjednodušený model úlohy

### 1) RP pre body ležiace na ľavej koľaji

Bod L na ľavej koľaji je určený ako priesečník kružnice a priamky danej orientovaným smerom. Kružnica má stred v danom bode A a jej polomer sa rovná meranej dĺžke  $d_L$ . Smer je orientovaný nepriamo vzhľadom k inému známemu bodu B pomocou meraného uhla  $\omega_L$ , ktorý má v tomto prípade hodnotu približne rovnú 0.

Všeobecné vzťahy pre výpočet relatívnych stredných chýb jednotlivých súradníc sú

$$m_x = \sqrt{d^2 * \sin^2 \omega * m_\omega^2 + \cos^2 \omega * m_d^2} \quad (5.26)$$

$$m_y = \sqrt{d^2 * \cos^2 \omega * m_\omega^2 + \sin^2 \omega * m_d^2}. \quad (5.27)$$

Pri  $\omega_L = 0^\circ$  vzťahy prechádzajú na zjednodušený tvar

$$m_{xL} = \sqrt{m_d^2} = m_l \quad (5.28)$$

$$m_{yL} = \sqrt{d_L^2 * m_\omega^2} = m_q. \quad (5.29)$$

V (5.29) je  $m_q$  relatívna stredná priečna chyba závislá na veľkosti meranej dĺžky a presnosti uhlového merania. Relatívna stredná pozdĺžna chyba  $m_l$  je daná iba presnosťou diaľkomeru totálnej stanice.

Predpokladajme bod (č. 110) s najväčšou hodnotou staničenia od počiatočného bodu, pri ktorom je  $d_L = 60$  m. Po dosadení do vzorcov (5.28) a (5.29) je potom  $m_{xL} = 1,0$  mm a  $m_{yL} = 2,0$  mm.

Poznámka:  $m_\omega = 21,2^{cc}$  (vychádza zo základnej strednej chyby smeru meraného v dvoch polohách ďalekohľadu, ktorú výrobca udáva  $15^{cc}$ )

### 2) RP pre body ležiace na pravej koľaji

Protiľahlý podrobný bod P na pravej koľaji je určený metódou dvojnásobného rajónu. V prvom rade sa vypočíta poloha počiatočného bodu C na pravej koľaji a potom druhým rajónom podrobný bod P.

Charakteristiky presnosti určenia bodu C v smere súradnicových osí sa opäť vypočítajú podľa vzorcov (5.26) a (5.27). Keďže podľa obr. 5-14 je  $\omega_A = 100^\circ$ , vzťahy potom prejdú na jednoduchší tvar

$$m_{xC} = \sqrt{d_{AC}^2 * m_{\omega}^2} \quad (5.30)$$

$$m_{yC} = \sqrt{m_d^2}. \quad (5.31)$$

V tomto prípade je zaujímavá relatívna stredná chyba  $m_{yC}$ , ktorá sa prejaví v presnosti rozchodu vypočítaného z  $y$ -ových súradníc.

Relatívna stredná chyba súradnice  $Y$  bodu  $P$  na pravej koľaji bude daná vzt'ahom

$$m_{yP} = m_{yC} + \sqrt{d_P^2 * m_{\omega}^2} = \sqrt{m_d^2 + d_P^2 * m_{\omega}^2}. \quad (5.32)$$

Keďže bod  $P$  by mal mať staničenie zhodné s bodom  $L$ , bude platiť  $d_L = d_P = d = 60$  m. Po dosadení je  $m_{yP} = 2,2$  mm.

**Stredná chyba rozchodu** bude v konečnom dôsledku určená ako stredná chyba rozdielu  $y$ -ových súradníc bodov  $L$  a  $P$ .

$$m_{SLP} = \sqrt{m_{yL}^2 + m_{yP}^2} = \sqrt{d_L^2 * m_{\omega}^2 + m_d^2 + d_P^2 * m_{\omega}^2} = \sqrt{2 * d^2 * m_{\omega}^2 + m_d^2}. \quad (5.33)$$

Po vyčíslení je stredná chyba rozchodu  $m_{SLP} = 3,0$  mm, pričom je zjavné, že chyba bude narastať s meranou vzdialenosťou. Vypočítaná stredná chyba určenia rozchodu prekračuje požadovanú.

Keďže presnosť rozchodu tu závisí najmä na presnosti uhlového merania TS, bolo by vhodné uvedený postup doplniť kontrolným meraním rozchodu laserovým diaľkomerom či pásmom. Minimálne medzi koncovými bodmi dráhy, aby bolo možné skontrolovať rovnobežnosť koľajníc. Ďalšou možnosťou ako zvýšiť presnosť rozchodu, je merať obe vetvy dráhy z oboch stanovísk prístroja alebo postupovať podľa [9].

### 5.6.2 Presnosť určenia priečnej odchýlky

Pre celkovú dĺžku koľajnice je najväčšia hodnota tolerancie v bočnom smere  $\pm 10$  mm. Medzná chyba kontrolného merania odchýlok od priamosti je

$$\delta_{qMET} = 0,4 * 10 = 4 \text{ mm}. \quad (5.34)$$

Požadovaná stredná chyba priechnej úchyly:

$$m_{qMET} = \frac{\delta_{qMET}}{t} = \frac{4}{2} = 2 \text{ mm.} \quad (5.35)$$

Pre vyjadrenie presnosti merania odchýlok **metódou zámernej priamky** je potrebné zohľadniť viac faktorov. Je potrebné podotknúť, že nasledujúce chyby majú náhodný charakter a sú spôsobené nedokonalosťou zmyslov merača. Podstatnú rolu tu hrá skúsenosť merača. Uvažuje sa:

- a) Stredná chyba z cielenia, ktorá sa vypočíta podľa empirického vzťahu

$$m_z = \frac{d * 185^{cc}}{Z}, \quad (5.36)$$

v ktorom  $d$  je vodorovná vzdialenosť a  $Z$  je zväčšenie ďalekohľadu. Zámerná priamka bola realizovaná zámerným obrazcom totálnej stanice (koľaj B) i nivelačného prístroja (koľaj A). Použije sa zväčšenie ďalekohľadu TS (30 x), pretože je menšie a  $d = 60$  m. Po dosadení je  $m_z = 0,6$  mm.

- b) Stredná chyba čítania stupnice  $m_{cs} = 1$  mm, ktorej hodnota bola určená odhadom.  
c) Stredná chyba stotožnenia nulového indexu pravítka s vyznačenou jamkou na koľajnici  $m_{oi}$ , odhadnutá na 0,3 mm.

Stredná chyba jedného merania úchyly metódou zámernej priamky bude podľa zákona hromadenia stredných chýb daná vzťahom

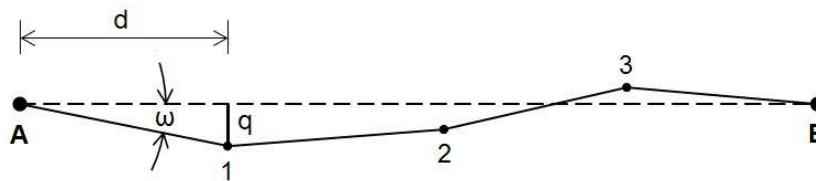
$$m_{q,MZP0} = \sqrt{m_z^2 + m_{cs}^2 + m_{oi}^2}. \quad (5.37)$$

Po dosadení jednotlivých stredných chýb je  $m_{q,MZP0} = 1,2$  mm. Každá odhýlka však bola odčítaná dvakrát a preto bude výsledná stredná chyba vypočítaná ako

$$m_{q,MZP} = \frac{m_{q,MZP0}}{\sqrt{2}} = 0,8 \text{ mm} \quad (5.38)$$

Pri **polárnej metóde** bola priečna odhýlka určená nepriamo voči priamke stabilizovanej počiatočným a koncovým bodom danej koľaje. Počítala sa pomocou meranej dĺžky  $d$  a meraného uhlu  $\omega$ .





**Obr. 5-15: Nepriame určenie priecnej odchýlky**

Stredná chyba takto určenej vodorovnej odchýlky sa vypočítaná už zo známeho vzťahu pre  $m_q$ . Najväčšiu hodnotu bude dosahovať pri najvzdialenejšom pozorovanom bode č. 110, resp. 210, kedy pre  $d = 60$  m je  $m_q = 2$  mm.

Chyba z prikladania hrotu hranola na vyznačený stred koľajnice nebola uvažovaná, nakoľko sa použil odrazový hranol so špeciálnym podstavcom (viď kapitola 5.2 Použité prístroje a pomôcky).

Presnosť nepriameho určenia vodorovných odchýlok od priamosti, pri dĺžke dráhy 60 m, je už na hranici požadovanej presnosti. S narastajúcou vzdialenosťou (60 m a viac) sa bude presnosť určenia priecnej odchýlky stále znižovať. Priame odčítanie odchýlok MZP je svojou presnosťou vyhovujúce.

### 5.6.3 Presnosť určenia výškových odchýlok

Najväčšia dovolená tolerancia výškovej hlavy koľajnice od teoretickej výšky žeriavovej dráhy je  $\pm 10$  mm. Medzná chyba kontrolného merania výšky je

$$\delta_{hMET} = 0,4 * 10 = 4 \text{ mm.} \quad (5.39)$$

Požadovaná stredná chyba výšky:

$$m_{hMET} = \frac{\delta_{hMET}}{t} = \frac{4}{2} = 2 \text{ mm.} \quad (5.40)$$

Stredná chyba prevýšenia určeného **niveláciou** je rovná strednej chybe rozdielu čítaní na stupnici late (alebo pravítka), ktorá je daná vzťahom

$$m_{h,niv0} = m_{cs} * \sqrt{2}, \quad (5.41)$$

kde  $m_{cs}$  je stredná chyba jedného čítania na late. Pri odhade tejto strednej chyby na hodnotu 1 mm bude stredná chyba jedného prevýšenia  $m_{h,niv} = 1,4$  mm. Pre dvakrát merané

prevýšenie bude stredná chyba vypočítaná podľa vzorca pre strednú chybu aritmetického priemeru

$$m_{h,niv} = \frac{m_{h,niv0}}{\sqrt{2}}. \quad (5.42)$$

Výšková odchýlka je vypočítaná ako rozdiel jednotlivých nameraných prevýšení od prevýšenia na najvyššom bode dráhy. Stredná chyba výškovej odchýlky na pozorovanom bode sa teda rovná strednej chybe rozdielu a v konečnom dôsledku je  $m_{\Delta h,niv} = 1$  mm.

Stredná chyba výšky, ktorá bola pri polárnej metóde určená **trigonometricky**, sa podľa [13] vypočíta zo vzorca

$$m_{h,trig} = \sqrt{\cot^2 z * m_d^2 + \frac{d^2}{\sin^4 z} * m_z^2 + m_{vp}^2 + m_{vc}^2}. \quad (5.43)$$

Vysvetlivky:

$z$	zenitový uhol
$m_z$	stredná chyba zenitového uhlu
$d$	vodorovná vzdialenosť
$m_d$	stredná chyba meranej vzdialenosti
$m_{vp}$	stredná chyba merania výšky prístroja
$m_{vc}$	stredná chyba merania výšky cieľa

Ďalekohľad bol pri meraní približne vo vodorovnej polohe, z čoho vyplýva, že  $z = 100^\circ$ . V takom prípade platí pre strednú chybu vzťah

$$m_{h,trig} = \sqrt{d^2 * m_z^2 + m_{vp}^2 + m_{vc}^2}. \quad (5.44)$$

Presnosť výšky bude najnižšia pre najvzdialenejšie body (č. 110, resp. 210), pri ktorých je  $d = 60$  m. Stredná chyba odmerania výšky prístroja a cieľa je odhadnutá na 0,5 mm. V takom prípade bude stredná chyba určenia výšky bodu  $m_{h,trig} = 1,6$  mm.

Výškové odchýlky boli vlastne určené odčítaním jednotlivých nameraných výšok od zvolenej porovnávacej roviny, ktorá prechádzala najvyšším bodom č. 101. Stredná chyba výškovej odchýlky pre najvzdialenejší bod (č. 110, resp. 210) sa potom vypočíta ako stredná chyba rozdielu dvoch veličín rôznej presnosti.

$$m_{\Delta h, trig} = \sqrt{m_{h, trig101}^2 + m_{h, trig110}^2} = \sqrt{0,8^2 + 1,6^2} = 1,7 \text{ mm.} \quad (5.45)$$

V prípade, že by sa výškové odchýlky počítali z rozdielu dvoch výšok s najhoršou presnosťou, jej stredná chyba by vo výsledku mala hodnotu 2,3 mm, ktorá prekračuje požadovanú.

Z uvedeného rozboru presnosti výškového priebehu je však zrejmé, že výškové odchýlky sú oboma metódami určené s dostatočnou presnosťou.

## 5.7 Porovnanie medzi metódami

Táto podkapitola sa zaoberá porovnaním jednotlivých geometrických parametrov, ktoré boli určené nezávisle dvoma metódami. Metóda zámernej priamky spolu s niveláciou, ktoré sú vnímané ako klasický spôsob merania priestorových vzťahov, budú pri porovnávaní slúžiť ako vzťažné.

### 5.7.1 Porovnanie priečných odchýlok

V prvom rade bola snaha porovnať **priečne odchýlky**, ktoré boli zistené priamym čítaním na stupnici pravítka pri metóde zámernej priamky, s priečnymi odchýlkami určenými nepriamo na základe uhlového a dĺžkového merania pri polárnej metóde.

V predchádzajúcich podkapitolách tejto diplomovej práce už bolo dokázané, že **vodorovné odchýlky nespĺňajú tolerancie** pre priamosť koľajníc ani pri jednej z použitých metód. Cieľom je zistiť rozdiely odchýlok medzi metódami a na základe nich posúdiť, do akej miery sa odlišuje automatické cielenie na hranol od optického čítania stupnice.

**Tab. 5-13: Porovnanie pričných odchýlok medzi metódami**

Koľaj A					Koľaj B				
Bod	Odchýlka [mm]				Bod	Odchýlka [mm]			
	MZP	Polárna metóda	Rozdiel	Zmena rozdielu		MZP	Polárna metóda	Rozdiel	Zmena rozdielu
100	0	0	0	-	200	0	0	0	-
101	-6	-6	0	0	201	4	3	1	1
102	6	5	1	1	202	0	1	-1	2
103	9	10	-1	2	203	1	1	0	1
104	3	5	-2	1	204	-9	-10	1	1
105	0	0	0	2	205	-20	-19	-1	2
106	-2	-1	-1	1	206	-10	-9	-1	0
107	7	10	-3	2	207	-7	-5	-2	1
108	1	3	-2	1	208	-9	-8	-1	1
109	2	4	-2	0	209	-5	-5	0	1
110	0	0	0	2	210	0	0	0	0

Najväčší rozdiel medzi metódami je na bode č. 107, ktorého hodnota je -3 mm a maximálna zmena rozdielu odchýlok medzi dvoma susednými bodmi má hodnotu 2 mm. Priemerný rozdiel odchýlok je -0,6 mm.

Pri posúdení priamosti koľajníc síce bolo oboma metódami preukázané vybočenie mimo stanovené tolerancie, ale **rozdiely medzi metódami** tieto medzné odchýlky geometrického parametru neprekračujú. A keďže sú rozdiely malé a v rámci tolerancií, tak na základe tejto úvahy je možné vyvodiť záver, že priamosť koľajníc bola oboma metódami zmeraná s porovnateľnou presnosťou.

Z rozdielov medzi metódami na koľaji A je zrejmé, že väčšina priamo určených odchýlok MZP je menšia. Na koľaji B sú odchýlky určené MZP poväčšine väčšie. Tento efekt môže byť prisúdený tomu, že vyznačenie bodov pozdĺžnej strednice bolo na oboch koľajniciach vykonané iným pracovníkom. Nakoľko bol stred koľajnice rozmeriavaný pomocou zvinovacieho metru, mohla vzniknúť systematická chyba z vyznačenia stredu ako na koľaji A, tak i na koľaji B. Ďalším možným vysvetlením môže byť vplyv systematickej chyby z prikladania nulového indexu pravítka na vyznačenú jamku v koľajnici.

Autor diplomovej práce z tohto hľadiska dáva väčšiu váhu meraniu na hranol pomocou systému ATR. Jednak sa presvedčil o spoľahlivosti tejto funkcie na základe vlastného testovania a jednak zohľadňuje fakt, že pri meraní ŽD bol použitý hranol so špeciálnym podstavcom, ktorý vyššie uvedené systematické chyby vylučuje. Výrez v jeho spodnej časti mal šírku zhodnú so šírkou danej koľajnice. Vďaka tomu bola excentricita postavenia hranola nad vyznačeným bodom eliminovaná na minimum.

Pri použití milimetrového pravítka bez jazdca (bez posuvnej značky) bolo priame odčítanie na väčšie vzdialenosti menej vhodné. Autor diplomovej práce (ako merač) s ťažkosťami odhadoval milimetre na stupnici a to aj pri relatívne dobrom osvetlení. Pri meranej dĺžke dráhy 60 m bola subjektívne stanovená hranica čitateľnosti milimetrových dielikov stupnice na cirka 30 m - 35 m.

Záverom vyvodeným z tohto pozorovania môže byť, že výsledky získané uhlovým meraním pomocou totálnej stanice budú spoľahlivejšie a hodnovernejšie aj na väčšie vzdialenosti. Vylúčia sa tak náhodné chyby, ktoré sú spôsobené ľudským faktorom pri optickom čítaní na stupnici pravítka. Systém ATR navyše znižuje vplyv meračských chýb z cielenia na stred hranola a zvyšuje rýchlosť pri meraní.

Ďalšou výhodou systému ATR je, že ak je aktívny spolu so systémom sledovania cieľa a vyhľadávania hranola, môže byť TS stanica ovládaná diaľkovo pomocou poľného ovládača z bezpečného postavenia na zemi. Pri žeriavových dráhach s priechodnou lávkou by dokonca mohla byť realizovaná priestorová polárna metóda jediným človekom, ktorý bude presúvať hranol na pozorované body a zároveň poľným ovládačom obsluhovať TS (tzv. „jednomužný systém“). Aplikácia takéhoto postupu pre dráhy bez priechodnej lávky bude z hľadiska bezpečnosti práce rizikovejšia.

Čas merania závisí predovšetkým na rýchlosti, s akou sa pohybuje personál obsluhujúci hranol či pravítko. Rýchlosť pohybu sa prispôsobuje vždy konkrétnym podmienkam. Ak je dráha vybavená priechodnou lávkou, pohyb je istejší, a teda i rýchlejší.

Pri absencii lávok sa musí dbať najmä na bezpečnosť pri práci. V takom prípade nehrá až takú významnú rolu spôsob cielenia (manuálne alebo pomocou ATR), pretože medzitým, kým dorazí pracovník k pozorovanému bodu, má merač čas na postupné zaostrenie obrazu. Počas doby, keď sa hranol správne umiestňuje na meraný bod a urovnáva do zvislej polohy, merač pomerne rýchlo stihne zacieliť na stred hranola. Po

urovnaní hranola stačí meračovi krátka chvíľa na jemné docielenie. To sa potvrdilo aj v tomto prípade, kedy meranie jednej koľajnice tou či onou metódou trvalo približne 20 minút.

### 5.7.2 Porovnanie rozchodov

Rozchod meraný laserovým diaľkomerom bol porovnaný s rozchodom, ktorý sa vypočítal z rozdielu súradníc bodov zameraných polárnou metódou.

**Tab. 5-14: Porovnanie rozchodov medzi metódami**

Rozchod [m]			
Medzi bodmi	Meraný	Vypočítaný	Rozdiel
100 – 200	17,004	17,004	0
101 – 201	17,010	17,013	-3
102 – 202	16,999	17,001	-2
103 – 203	16,994	16,996	-2
104 – 204	16,990	16,992	-2
105 – 205	16,986	16,988	-2
106 – 206	17,000	16,999	-1
107 – 207	16,988	16,994	-6
108 – 208	16,998	16,998	0
109 – 209	17,000	17,001	-1
110 – 210	17,001	17,010	-9

Stanovená tolerancia zmeny rozchodu  $\Delta s = \pm 4,75$  mm bola pri oboch metódach prekročená vo viacerých prípadoch.

Najväčší rozdiel medzi metódami je -9 mm na poslednom profile, kde sa zrejme prejavila chyba uhlového merania. Rozbor presnosti rozchodu vypočítaného zo súradníc predpokladal najhoršiu presnosť práve medzi dvojicou koncových bodov. Z tohto dôvodu je vhodné pri polárnej metóde merať rozchod kontrole nezávislou metódou aspoň na začiatku a na konci dráhy.

### 5.7.3 Porovnanie výškových odchýlok

Výšky z nivelácie a trigonometrického určenia boli vzťahované k úrovni na bode č. 100, ktorého výška bola položená nule. Takto získané **výškové odchýlky** umožňovali porovnať obe metódy (tab. 5-15). Prevýšenie koľajníc v jednotlivých priečných rovinách bolo tiež predmetom porovnávania (tab. 5-16).

Stanovené tolerancie pre výškový priebeh boli pri oboch metódach splnené. I keď pri trigonometrickom určení výškových odchýlok bola využitá možnosť 20%-ného navýšenia tolerancie.

**Tab. 5-15: Porovnanie výškových odchýlok medzi metódami**

Koľaj A				Koľaj B			
Bod	Výšková úchylka [mm]			Bod	Výšková úchylka [mm]		
	Nivelácia	Trigonometricky	Rozdiel		Nivelácia	Trigonometricky	Rozdiel
100	0	0	0	200	-9	-5	-4
101	0	5	-5	201	-7	-2	-5
102	-4	0	-4	202	-7	-3	-4
103	-8	-5	-3	203	-4	1	-5
104	-5	-2	-3	204	-9	-6	-3
105	-5	-3	-2	205	-7	-5	-2
106	-5	-3	-2	206	-7	-5	-2
107	-4	-3	-1	207	-6	-3	-3
108	-2	-1	-1	208	-7	-6	-1
109	-2	-2	0	209	-7	-6	-1
110	-4	-5	1	210	-6	-7	1

Čítania z nivelácie boli opravené o zistenú chybu sklonu zámernej osi. Výškové odchýlky medzi metódami boli porovnané aj bez opravy meraných čítaní (porovnanie nie je v diplomovej práci uvedené). Vo výsledku sa výškové diferencie medzi niveláciou a trigonometrickým určením zväčšili. Aj preto sa naďalej používali výsledky výškových odchýlok, ktoré boli vypočítané z opravených nivelačných čítaní.

Diferencie porovnávaných hodnôt, či už výškových odchýlok alebo prevýšení oboch koľají, neprekračujú povolené tolerancie. Je možné vyvodiť záver (úvaha je podobná ako pri porovnávaní priečných odchýlok), že obe metódy sú pre určenie výškového priebehu ŽD použiteľné a z hľadiska presnosti aj porovnateľné.

**Tab. 5-16: Porovnanie výškových rozdielov koľajníc (A oproti B)**

Prevýšenie koľajníc [mm]			
Medzi bodmi	Nivelácia	Trigonometricky	Rozdiel
100 – 200	9	5	4
101 – 201	7	7	0
102 – 202	3	3	0
103 – 203	-4	-6	2
104 – 204	4	4	0
105 – 205	2	2	0
106 – 206	2	2	0
107 – 207	2	0	2
108 – 208	5	5	0
109 – 209	5	4	1
110 – 210	1	2	-1

Znova je potrebné zdôrazniť, že pri dĺžke dráhy 60 m bolo čítanie na milimetrovej stupnici laty za hranicou rozlíšiteľnosti. Použitie digitálneho nivelačného prístroja by mohlo tento jav eliminovať pri zachovaní výhod metódy. Vyžadovalo by to však špeciálnu kódovú latu vhodnej dĺžky, keďže u väčšiny dráh je priestor medzi hornou úrovňou hlavy koľajnice a stropom haly relatívne malý.



## 6. ZÁVER

V rámci tejto diplomovej práce som zameral jednu žeriavovú dráhu. Predmetná dráha slúži pre pojazd mostového žeriavu, má rozchod 17 m a je uložená vo výške cca 8 m. Nie je vybavená priechodnou lávkou. Dráha bola meraná v 11-tich priečných rezoch s odstupmi 6 m, ktoré odpovedajú vzdialenostiam medzi stĺpmi. Pre určenie priestorových vzťahov dráhy som použil dve metódy merania.

Prvou z nich bola metóda zámernej priamky s priamym čítaním priečných odchýlok na milimetrovej stupnici pravítka. Pre určenie výškového priebehu dráhy sa použila nivelácia a rozchody boli merané pomocou laserového diaľkomeru.

Druhou bola priestorová polárna metóda s využitím robotickej totálnej stanice Leica TCRP 1205+ R400. Pri meraní bol aktívny systém automatického cielenia na hranol.

Oboma metódami bolo zistené, že predmetná žeriavová dráha je smerovo deformovaná a nespĺňa tolerancie, ktoré stanovuje norma ČSN 73 5130. Odchýlky som vyrovnal metódou najmenších štvorcov (podľa modelu Novák – Šrom). Výškový priebeh získaný z výsledkov nivelačného merania bol v rámci povolených tolerancií.

Prioritou bolo určiť odchýlky od priamosti koľajníc s využitím automatického cielenia na hranol. Výsledky som porovnal s priamym odčítaním na stupnici milimetrového pravítka. Rozdiely preukázali, že dosiahnuté odchýlky medzi jednotlivými metódami sú minimálne, a teda je možné ich považovať za rovnocenné.

Presnosť automatického cielenia na hranol som otestoval aj na základe vlastného výberového súboru merania, ktoré bolo realizované na pomerne krátke vzdialenosti (12 m a 4,5 m). Zistil som, že cielenie pomocou systému ATR je oproti manuálnemu zacieľovaniu presnejšie a rýchlejšie.

Využitie robotickej totálnej stanice pre meranie žeriavových dráh považujem z hľadiska zvýšenia efektivity práce za prínosné. Výsledky z merania žeriavovej dráhy môžu byť použité ako podklad pre jej rektifikáciu.

## 7. ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

### 7.1 Literárne zdroje

- [1] 984 311 MN/78. *Metodický návod pro určování prostorových vztahů jeřábových drah*. Praha: Český úřad geodetický a kartografický, 1978.
- [2] ČSN 73 0212. *Geometrická přesnost ve výstavbě: Kontrola přesnosti – Část 1: Základní ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [3] ČSN 73 5130. *Jeřábové dráhy*. 2. vydání. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [5] ČSN ISO 4306-1. *Jeřáby – Slovník – Část 1: Všeobecně*. 2. Vydání. 2007 *Všeobecně*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [6] ČSN ISO 8322-4 (730212). *Geometrická přesnost ve výstavbě. Určování přesnosti měřicích přístrojů – Část 4: Teodolity*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [7] ČSN ISO 17123-3 (730220). *Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřicích přístrojů – Část 3: Teodolity*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [8] HÁNEK, Pavel; BURIŠKOVÁ, Olga. Měření jeřábových drah totálními stanicemi. *Geodetický a kartografický obzor*. 1993, roč. 39, č. 1.
- [9] HÁNEK, Pavel; JIRÁSKOVÁ, Jitka. Znovu o měření jeřábových drah totálními stanicemi. *Geodetický a kartografický obzor*. 2000, roč. 46, č. 2.
- [10] NOVÁK, Zdeněk; ŠROM, Jaromír. Početní vyrovnání deformací jeřábové dráhy. *Geodetický a kartografický obzor*. 1963, roč. 9, č. 3.
- [11] *Směrnice na proměřování jeřábových drah geodetickými metodami*. Praha: Ústřední správa geodézie a kartografie, 1964.
- [12] PŘÍHODA, Martin. *Určení prostorových vztahů jeřábové dráhy*. Brno, 2013. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Alexej Vitula.
- [13] ŠVÁBENSKÝ, Otakar; VITULA, Alexej; BUREŠ, Jiří. *Inženýrská geodézie I: Základy inženýrské geodézie*. Brno: VUT v Brně, 2006.
- [14] ŠVÁBENSKÝ, Otakar; VITULA, Alexej; BUREŠ, Jiří. *Inženýrská geodézie II: Geodézie ve stavebních oborech*. Brno: VUT v Brně, 2007.

- [15] Vondrák, Jiří. *Gedodézie II: Geodetická cvičení II*. Brno: VUT v Brně, 2004.
- [16] WEIGEL, Josef. *Teorie chyb a vyrovnávací počet I: Základní druhy vyrovnání (1.část)*. Brno: VUT v Brně, 2004.

## 7.2 Internetové zdroje

### PDF publikácie:

- [17] HATALA, Ivan. *Testovanie systému automatizovaného cielenia (ATR)*. Studentská vědecká a odborná činnost. Akademický rok 2011/2012. SvF STU. Vedoucí práce Peter Kyrinovič. [on-line]. [cit. 16. 12. 2013]. Dostupné z <<http://www.fsv.cvut.cz/svoc/2012/vysledky/gk3.pdf>>
- [18] Leica Geosystems AG: *Leica DISTO<sup>TM</sup> A3: The original laser distance meter*. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, 2005. 743364a – 1.1.0. [on-line]. [cit. 5. 5. 2014]. Dostupné z <[http://ptd.leica-geosystems.com/downloads123/cp/general/a3/manuals/LeicaDISTO\\_A3\\_en.pdf](http://ptd.leica-geosystems.com/downloads123/cp/general/a3/manuals/LeicaDISTO_A3_en.pdf)>
- [19] Leica Geosystems AG: *Leica TPS1200+ Series: High performance Total Station*. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, 2009. 738582en – V.09 – RDV. [on-line]. [cit. 23. 4. 2014]. Dostupné z <[http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1200/brochures/Leica\\_TPS1200+\\_brochure\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1200/brochures/Leica_TPS1200+_brochure_en.pdf)>
- [20] Leica Geosystems AG: *Leica TPS1200+ User Manual*. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, 2008. 760423 – 6.0.0en. [on-line]. [cit. 15. 12. 2013]. Dostupné z <[http://www.surveyequipment.com/PDFs/TPS1200\\_User\\_Manual.pdf](http://www.surveyequipment.com/PDFs/TPS1200_User_Manual.pdf)>
- [21] Leica Geosystems AG: *Leica TPS1200+ White Paper*. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, 2007. 762676en – IX.07 – INT. [on-line]. [cit. 15. 12. 2013]. Dostupné z <[http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1200/white-tech-paper/TPS1200+\\_WhitePaper\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1200/white-tech-paper/TPS1200+_WhitePaper_en.pdf)>

- [22] PROCHÁZKA, Jaromír. *Sylabus přednášky č.10 z ING3: Aplikace IG v průmyslu*. Praha, 2014. [on-line]. [cit. 19. 3. 2014]. Dostupné z [http://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie/ing3/Sylabus\\_ING3\\_10.pdf](http://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie/ing3/Sylabus_ING3_10.pdf)
- [23] Topcon Corporation: *AT-G series auto levels*. Topcon Corporation. 2007. [on-line]. [cit. 6. 5. 2014]. Dostupné z <http://www.petersonenvironmental.com/ATGBroch.pdf>

#### **Odkazy na text:**

- [24] <http://www.gefos-leica.cz/cz/leica/produktyl/40/tps1200->, 17. 2. 2014
- [25] <http://www.gnss.sk/OLD/t.htm>, 21. 2. 2014
- [26] <http://www.gnss.sk/OLD/t7.htm>, 21. 2. 2014

#### **Odkazy na obrázky:**

- [27] <http://www.jass.cz/images/fotogalerie/foto/MJ6.JPG>, 10. 4. 2014
- [28] <http://www.jass.cz/images/fotogalerie/foto/MJ2.JPG>, 10. 4. 2014
- [29] [http://www.gigasro.cz/files/portalove\\_a\\_poloportalove\\_jeraby/specialni-jeraby-18.jpg](http://www.gigasro.cz/files/portalove_a_poloportalove_jeraby/specialni-jeraby-18.jpg), 10. 4. 2014
- [30] [http://img.directindustry.com/images\\_di/photo-g/topless-tower-cranes-16233-4022420.jpg](http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/topless-tower-cranes-16233-4022420.jpg), 10. 4. 2014
- [31] [http://gpprague.cz/eshop/images/jerab\\_uchyt.jpg](http://gpprague.cz/eshop/images/jerab_uchyt.jpg), 23. 3. 2014
- [32] [http://gpprague.cz/eshop/images/nuzky\\_jerab.jpg](http://gpprague.cz/eshop/images/nuzky_jerab.jpg), 23. 3. 2014
- [33] [http://gpprague.cz/eshop/images/Terc\\_jezdec\\_jerab.jpg](http://gpprague.cz/eshop/images/Terc_jezdec_jerab.jpg), 23. 3. 2014
- [34] [http://gpprague.cz/eshop/images/Pravitko\\_vertikal\\_jerab.jpg](http://gpprague.cz/eshop/images/Pravitko_vertikal_jerab.jpg), 23. 3. 2014
- [35] [http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty\\_leica/gps/viva/cs10+cs15\\_popisek.png](http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty_leica/gps/viva/cs10+cs15_popisek.png), 16. 2. 2014
- [36] [http://www.stavebnictvi3000.cz/img/articles/150x-fit/2007/12\\_kaspar\\_2.jpg](http://www.stavebnictvi3000.cz/img/articles/150x-fit/2007/12_kaspar_2.jpg), 17. 2. 2014
- [37] <http://mapy.cz/>, 3. 5. 2014
- [38] <http://im9.cz/sk/iR/importprodukt-orig/5a9/5a9e20bf04df4494f6b016698f34e93a.jpg>, 6. 5. 2014
- [39] <http://www.pewa.de/cosmoshop/pix/a/n/1134749743-25644.jpg>, 12. 5. 2014

## 8. ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 3-1: Schéma mostového žeriava .....	16
Obr. 3-2: Schéma portálového žeriava .....	16
Obr. 3-3: Schéma poloportálového žeriava .....	16
Obr. 3-4: Schéma vežového žeriava .....	16
Obr. 3-5: Príklad mostového žeriava .....	17
Obr. 3-6: Príklad portálového žeriava.....	17
Obr. 3-7: Príklad poloportálového žeriava .....	18
Obr. 3-8: Príklad vežového žeriava .....	18
Obr. 3-9: Upevňovacia doska .....	26
Obr. 3-10: Pravítko pre meranie výškových odchýlok.....	26
Obr. 3-11: Špeciálne nožnice s jamkovačom.....	26
Obr. 3-12: Vodorovné pravítko s jazdcom pre meranie vodorovných odchýlok .....	26
Obr. 2-13: Špeciálny prípravok pre odsadenie odrazového hranola.....	29
Obr. 4-1: Totálna stanica Leica z radu TPS1200+.....	33
Obr. 4-2: Poľný ovládač diaľkového ovládania Viva CS10 a CS15 .....	33
Obr. 4-3: ATR vysielateľ a prijímač.....	35
Obr. 4-4: Zjednodušená geometria .....	36
Obr. 4-5: ATR Hz a V odchýlky.....	37
Obr. 4-6: Konfigurácia testového poľa .....	42
Obr. 4-7: Použitý terč.....	42
Obr. 5-1: Obec Starovičky .....	45
Obr. 5-2: Žeriavová dráha vo firme Thermal Trend spol. s r.o. ....	46
Obr. 5-3: Nivelačný prístroj Topcon AT-G1 .....	46
Obr. 5-4: Upínacia doska na koľajnici.....	47
Obr. 5-5: Mini hranol so špeciálnym podstavcom.....	47
Obr. 5-6: Leica Disto™ A3 .....	47
Obr. 5-7: Schéma skúšky nivelačného prístroja .....	48
Obr. 5-8: Postavenie merača na rebríku.....	49
Obr. 5-9: Ukážka merania priečných odchýlok .....	51
Obr. 5-10: Ukážka merania výškových odchýlok .....	51
Obr. 5-11: Schéma situácie .....	55
Obr. 5-12: Voľba umiestnenia súradnicového systému.....	62
Obr. 5-13: Súradnicový systém pre určenie rozchodu.....	64
Obr. 5-14: Zjednodušený model úlohy .....	68
Obr. 4-15: Nepriame určenie priečnej odchýlky .....	72

## 9. ZOZNAM TABULIEK

Tab. 4-1: Uhlová presnosť prístrojov z radu TPS1200+ .....	32
Tab. 4-2: Vybrané technické parametre totálnej stanice Leica TCRP 1205+ R400.....	34
Tab. 4-3: Identifikačné údaje použitej totálnej stanice .....	35
Tab. 4-4: Nastavenie prístroja počas testovania ATR .....	38
Tab. 4-5: Výsledky testovania ATR .....	40
Tab. 4-6: Výsledky testovania uhlovej presnosti.....	44
Tab. 5-1: Parametre nivelačného prístroja Topcon AT-G1 .....	46
Tab. 5-2: Parametre laserového diaľkomeru Leica DistoTM A3 .....	47
Tab. 5-3: Namerané hodnoty rozchodov koľajníc .....	53
Tab. 5-4: Vodorovné odchýlky určené priamym meraním.....	54
Tab. 5-5: Výsledky vyrovnania smerovej deformácie (hodnoty sú v mm) .....	57
Tab. 5-6: Výškové odchýlky a zmeny výšok jednotlivých polí .....	58
Tab. 5-7: Výškový rozdiel medzi koľajnicami (A oproti B) .....	59
Tab. 5-8: EDM a ATR nastavenie v priebehu merania ŽD .....	60
Tab. 5-9: Nepriamo určené priečne odchýlky .....	63
Tab. 5-10: Súradnice podrobných bodov a rozchody vypočítané zo súradníc .....	64
Tab. 5-11: Výšky, výškové odchýlky a zmeny výšok jednotlivých polí.....	65
Tab. 5-12: Výškový rozdiel medzi koľajnicami (A oproti B) .....	66
Tab. 5-13: Porovnanie priečných odchýlok medzi metódami .....	75
Tab. 5-14: Porovnanie rozchodov medzi metódami.....	77
Tab. 5-15: Porovnanie výškových odchýlok medzi metódami.....	78
Tab. 5-16: Porovnanie výškových rozdielov koľajníc (A oproti B).....	79

## **10. ZOZNAM PRÍLOH**

### **10.1 Viazané prílohy**

Príloha A – Namerané hodnoty pre testovanie systému ATR .....	87
Príloha B – Namerané hodnoty pre testovanie presnosti uhlového merania .....	91
Príloha C – Skúška nivelačného prístroja .....	93
Príloha D – Odpis nameraných údajov pri MZP .....	94
Príloha E – Vyrovnanie smerovej deformácie pri MZP .....	95
Príloha F – Zápisník pre polárnu metódu .....	96
Príloha G – Protokoly o výpočte podrobných bodov .....	97

### **10.2 Voľné prílohy**

Príloha H – Grafické znázornenie priestorových vzťahov žeriavovej dráhy (3 x A4)	
Príloha I – Technická správa (2 x A4)	

Tab. A-1: Namerané hodnoty HS a V pri použití ATR na vzdialenosť 12 m

ATR na vzdialenosť 12 m								
i	HS [gon]			v <sub>HS</sub> [mgon]	V [gon]			v <sub>V</sub> [mgon]
	I. poloha	II. poloha	Priemer	Oprava	I. poloha	II. poloha	V <sup>l</sup> + i*)	Oprava
1	0,0149	200,0167	0,0158	-2	99,3845	300,6140	99,3853	-2
2	0,0150	200,0162	0,0156	0	99,3845	300,6140	99,3853	-2
3	0,0151	200,0161	0,0156	0	99,3845	300,6140	99,3853	-2
4	0,0151	200,0161	0,0156	0	99,3844	300,6139	99,3853	-2
5	0,0151	200,0159	0,0155	1	99,3846	300,6141	99,3853	-2
6	0,0151	200,0157	0,0154	2	99,3844	300,6140	99,3852	-1
7	0,0152	200,0163	0,0158	-2	99,3845	300,6139	99,3853	-2
8	0,0150	200,0159	0,0154	2	99,3847	300,6138	99,3855	-3
9	0,0154	200,0158	0,0156	0	99,3846	300,6142	99,3852	-1
10	0,0154	200,0161	0,0157	-1	99,3845	300,6141	99,3852	-1
11	0,0154	200,0162	0,0158	-2	99,3843	300,6139	99,3852	-1
12	0,0154	200,0160	0,0157	-1	99,3845	300,6139	99,3853	-2
13	0,0159	200,0161	0,0160	-4	99,3845	300,6141	99,3852	-1
14	0,0154	200,0160	0,0157	-1	99,3842	300,6138	99,3852	-1
15	0,0150	200,0159	0,0154	2	99,3842	300,6140	99,3851	0
16	0,0151	200,0159	0,0155	1	99,3843	300,6141	99,3851	0
17	0,0152	200,0158	0,0155	1	99,3844	300,6142	99,3851	0
18	0,0151	200,0156	0,0154	2	99,3845	300,6143	99,3851	0
19	0,0153	200,0160	0,0156	0	99,3843	300,6145	99,3849	2
20	0,0156	200,0155	0,0156	0	99,3845	300,6145	99,3850	1
21	0,0155	200,0156	0,0156	0	99,3846	300,6141	99,3853	-2
22	0,0155	200,0155	0,0155	1	99,3844	300,6142	99,3851	0
23	0,0156	200,0156	0,0156	0	99,3845	300,6143	99,3851	0
24	0,0155	200,0160	0,0157	-1	99,3845	300,6143	99,3851	0
25	0,0152	200,0159	0,0155	1	99,3844	300,6142	99,3851	0
26	0,0152	200,0160	0,0156	0	99,3841	300,6142	99,3850	1
27	0,0156	200,0155	0,0156	0	99,3844	300,6144	99,3850	1
28	0,0152	200,0158	0,0155	1	99,3840	300,6144	99,3848	3
29	0,0153	200,0160	0,0156	0	99,3844	300,6145	99,3850	2
30	0,0152	200,0158	0,0155	1	99,3843	300,6142	99,3851	0
	$\bar{x}_{HS}$	0,0156	$\Sigma$	0	$\bar{x}_V$	99,3851	$\Sigma$	0
	$s_{HS}$	0,0001			$s_V$	0,0001		

\*) i – indexová chyba



Tab. A-2: Namerané hodnoty HS a V pri manuálnom cílení na vzdialenosť 12 m

Manuálne cílenie na vzdialenosť 12m								
i	HS [gon]			$v_{HS}$ [mgon]	V [gon]			$v_V$ [mgon]
	I. poloha	II. poloha	Priemer	Oprava	I. poloha	II. poloha	$V^I + i^*$	Oprava
1	0,0170	200,0139	0,0155	0	99,3776	300,6226	99,3775	0
2	0,0166	200,0144	0,0155	0	99,3787	300,6232	99,3778	-3
3	0,0153	200,0138	0,0146	9	99,3769	300,6241	99,3764	11
4	0,0160	200,0133	0,0146	9	99,3778	300,6231	99,3774	2
5	0,0158	200,0143	0,0150	5	99,3775	300,6234	99,3771	5
6	0,0160	200,0136	0,0148	7	99,3784	300,6233	99,3776	-1
7	0,0158	200,0145	0,0151	4	99,3780	300,6224	99,3778	-3
8	0,0160	200,0146	0,0153	2	99,3778	300,6239	99,3770	5
9	0,0167	200,0132	0,0150	5	99,3776	300,6229	99,3774	1
10	0,0179	200,0145	0,0162	-7	99,3776	300,6235	99,3771	4
11	0,0151	200,0150	0,0150	5	99,3776	300,6237	99,3770	6
12	0,0153	200,0163	0,0158	-3	99,3791	300,6235	99,3778	-3
13	0,0160	200,0142	0,0151	4	99,3776	300,6227	99,3775	1
14	0,0178	200,0150	0,0164	-9	99,3772	300,6240	99,3766	9
15	0,0164	200,0138	0,0151	4	99,3783	300,6235	99,3774	1
16	0,0160	200,0146	0,0153	2	99,3786	300,6224	99,3781	-6
17	0,0174	200,0152	0,0163	-8	99,3794	300,6228	99,3783	-8
18	0,0180	200,0153	0,0166	-11	99,3778	300,6237	99,3771	4
19	0,0175	200,0163	0,0169	-14	99,3780	300,6238	99,3771	4
20	0,0166	200,0156	0,0161	-6	99,3788	300,6230	99,3779	-4
21	0,0162	200,0156	0,0159	-4	99,3780	300,6226	99,3777	-2
22	0,0125	200,0142	0,0133	22	99,3800	300,6233	99,3784	-9
23	0,0139	200,0144	0,0141	14	99,3795	300,6228	99,3784	-8
24	0,0152	200,0166	0,0159	-4	99,3782	300,6241	99,3771	4
25	0,0187	200,0152	0,0169	-14	99,3789	300,6232	99,3779	-4
26	0,0173	200,0139	0,0156	-1	99,3782	300,6232	99,3775	0
27	0,0172	200,0154	0,0163	-8	99,3780	300,6229	99,3776	-1
28	0,0162	200,0153	0,0157	-2	99,3788	300,6240	99,3774	1
29	0,0172	200,0144	0,0158	-3	99,3781	300,6236	99,3773	3
30	0,0161	200,0136	0,0148	7	99,3787	300,6231	99,3778	-3
	$\bar{x}_{HS}$	0,0155	$\Sigma$	0	$\bar{x}_V$	99,3775	$\Sigma$	0
	$S_{HS}$	0,0008			$S_V$	0,0005		

\*) i – indexová chyba

Tab. A-3: Namerané hodnoty HS a V pri použití ATR na vzdialenosť 4,5 m

ATR na vzdialenosť 4,5 m								
i	HS [gon]			$v_{HS}$ [mgon]	V [gon]			$v_V$ [mgon]
	I. poloha	II. poloha	Priemer	Oprava	I. poloha	II. poloha	$V^I + i^*$	Oprava
1	0,0151	200,0199	0,0175	-3	98,3877	301,6119	98,3879	3
2	0,0151	200,0196	0,0173	-1	98,3875	301,6114	98,3881	1
3	0,0152	200,0199	0,0176	-4	98,3877	301,6113	98,3882	0
4	0,0150	200,0198	0,0174	-2	98,3878	301,6113	98,3883	-1
5	0,0151	200,0200	0,0176	-4	98,3877	301,6114	98,3882	1
6	0,0145	200,0199	0,0172	0	98,3878	301,6117	98,3881	2
7	0,0150	200,0198	0,0174	-2	98,3874	301,6115	98,3880	2
8	0,0147	200,0200	0,0174	-2	98,3876	301,6112	98,3882	0
9	0,0145	200,0201	0,0173	-1	98,3874	301,6112	98,3881	1
10	0,0150	200,0201	0,0176	-4	98,3876	301,6112	98,3882	0
11	0,0144	200,0196	0,0170	2	98,3879	301,6114	98,3883	-1
12	0,0147	200,0202	0,0174	-2	98,3877	301,6111	98,3883	-1
13	0,0147	200,0200	0,0174	-2	98,3876	301,6113	98,3882	1
14	0,0143	200,0196	0,0169	3	98,3880	301,6114	98,3883	-1
15	0,0145	200,0198	0,0172	0	98,3876	301,6114	98,3881	1
16	0,0142	200,0200	0,0171	1	98,3874	301,6113	98,3881	2
17	0,0141	200,0203	0,0172	0	98,3878	301,6114	98,3882	0
18	0,0141	200,0197	0,0169	3	98,3878	301,6113	98,3883	-1
19	0,0142	200,0198	0,0170	2	98,3880	301,6115	98,3883	-1
20	0,0142	200,0197	0,0170	2	98,3880	301,6114	98,3883	-1
21	0,0147	200,0200	0,0174	-2	98,3879	301,6114	98,3883	-1
22	0,0144	200,0198	0,0171	1	98,3880	301,6114	98,3883	-1
23	0,0148	200,0202	0,0175	-3	98,3882	301,6113	98,3885	-2
24	0,0146	200,0197	0,0172	0	98,3880	301,6111	98,3885	-3
25	0,0140	200,0199	0,0170	2	98,3877	301,6115	98,3881	1
26	0,0143	200,0197	0,0170	2	98,3877	301,6115	98,3881	1
27	0,0142	200,0196	0,0169	3	98,3881	301,6113	98,3884	-2
28	0,0146	200,0202	0,0174	-2	98,3876	301,6117	98,3880	2
29	0,0148	200,0197	0,0173	-1	98,3882	301,6114	98,3884	-2
30	0,0141	200,0201	0,0171	1	98,3879	301,6113	98,3883	-1
	$\bar{x}_{HS}$	0,0172	$\Sigma$	0	$\bar{x}_V$	99,3882	$\Sigma$	0
	$S_{HS}$	0,0002			$S_V$	0,0001		

\*) i – indexová chyba

Tab. A-4: Namerané hodnoty HS a V pri manuálnom cílení na vzdialenosť 4,5 m

Manuálne cílenie na vzdialenosť 4,5 m								
i	HS [gon]			$v_{HS}$ [mgon]	V [gon]			$v_V$ [mgon]
	I. poloha	II. poloha	Priemer	Oprava	I. poloha	II. poloha	$V^I + i^*$	Oprava
1	0,0137	200,0141	0,0139	8	98,3776	301,6257	98,3760	5
2	0,0124	200,0127	0,0126	21	98,3804	301,6250	98,3777	-12
3	0,0161	200,0145	0,0153	-6	98,3757	301,6255	98,3751	14
4	0,0158	200,0139	0,0148	-1	98,3772	301,6225	98,3774	-8
5	0,0192	200,0132	0,0162	-15	98,3761	301,6235	98,3763	2
6	0,0161	200,0135	0,0148	-1	98,3784	301,6270	98,3757	8
7	0,0161	200,0130	0,0145	2	98,3784	301,6247	98,3769	-3
8	0,0174	200,0126	0,0150	-3	98,3802	301,6238	98,3782	-17
9	0,0163	200,0136	0,0149	-2	98,3787	301,6252	98,3768	-3
10	0,0207	200,0120	0,0164	-17	98,3783	301,6253	98,3765	0
11	0,0166	200,0144	0,0155	-8	98,3774	301,6245	98,3765	0
12	0,0165	200,0116	0,0140	7	98,3788	301,6265	98,3762	4
13	0,0148	200,0147	0,0147	0	98,3777	301,6258	98,3760	6
14	0,0163	200,0109	0,0136	11	98,3778	301,6239	98,3770	-5
15	0,0185	200,0142	0,0163	-16	98,3800	301,6248	98,3776	-11
16	0,0169	200,0130	0,0149	-2	98,3787	301,6264	98,3762	3
17	0,0159	200,0134	0,0146	1	98,3780	301,6259	98,3761	4
18	0,0161	200,0134	0,0147	0	98,3792	301,6256	98,3768	-3
19	0,0191	200,0136	0,0163	-16	98,3788	301,6267	98,3761	5
20	0,0152	200,0121	0,0136	11	98,3772	301,6241	98,3766	-1
21	0,0163	200,0128	0,0145	2	98,3796	301,6254	98,3771	-6
22	0,0153	200,0140	0,0146	1	98,3776	301,6258	98,3759	6
23	0,0166	200,0117	0,0141	6	98,3766	301,6240	98,3763	2
24	0,0158	200,0133	0,0145	2	98,3783	301,6268	98,3758	7
25	0,0160	200,0111	0,0135	12	98,3774	301,6244	98,3765	0
26	0,0175	200,0119	0,0147	0	98,3776	301,6248	98,3764	1
27	0,0160	200,0135	0,0147	0	98,3778	301,6222	98,3778	-13
28	0,0154	200,0120	0,0137	10	98,3767	301,6261	98,3753	12
29	0,0160	200,0139	0,0149	-2	98,3778	301,6256	98,3761	4
30	0,0173	200,0129	0,0151	-4	98,3788	301,6250	98,3769	-4
	$\bar{x}_{HS}$	0,0147	$\Sigma$	0	$\bar{x}_V$	99,3765	$\Sigma$	0
	$s_{HS}$	0,0009			$s_V$	0,0007		

\*) i – indexová chyba

Tab. B-1: Zápisník merania a výpočet presnosti horizontálneho smeru

Meranie vodorovných uhlov										
Dátum:		17.3. 2014								
Miesto:		FAST VUT Brno, miestnosť B150								
Meral:		Bc. Ján Chomjak								
Prístroj:		Leica TCRP 1205+ R400 výr. č.: 267211								
Podmienky:		teplota 23°C								
Skupina	Cieľ	I. poloha [gon]	II. poloha [gon]	I. poloha (reduk.) [gon]	II. poloha (reduk.) [gon]	Priemer skupiny [gon]	Priemer na stanovisku [gon]	<i>d</i> [mgon]	<i>v</i> [mgon]	<i>v</i> <sup>2</sup> [mgon <sup>2</sup> ]
1	A	0,0493	200,0481	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0	0,1	0,0225
	B	62,3191	262,3173	62,2698	62,2692	62,2695	62,2692	-0,3	-0,2	0,0264
	C	112,8437	312,8436	112,7944	112,7955	112,7950	112,7949	0,0	0,1	0,0
	D	297,9675	97,9669	297,9182	297,9188	297,9185	297,9183	-0,2	0,0	0,0
	E	330,1484	130,1471	330,0991	330,0990	330,0991	330,0988	-0,2	-0,1	0,01
								Σ d' = Σd/5	-0,7 -0,1	0,0
2	A	0,0499	200,0487	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0	-0,3	0,09
	B	62,3188	262,3175	62,2689	62,2688	62,2689	62,2692	0,3	0,0	0,00
	C	112,8445	312,8425	112,7946	112,7938	112,7942	112,7949	0,7	0,4	0,17
	D	297,9684	97,9665	297,9185	297,9178	297,9182	297,9183	0,2	-0,1	0,01
	E	330,1487	130,1470	330,0988	330,0983	330,0986	330,0988	0,3	0,0	0,00
								Σ d' = Σd/5	1,5 0,3	0,0
3	A	0,0505	200,0488	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0	-0,3	0,11
	B	62,3179	262,3190	62,2674	62,2702	62,2688	62,2692	0,4	0,1	0,00
	C	112,8454	312,8436	112,7949	112,7948	112,7949	112,7949	0,1	-0,3	0,07
	D	297,9683	97,9670	297,9178	297,9182	297,9180	297,9183	0,3	0,0	0,00
	E	330,1475	130,1477	330,0970	330,0989	330,0980	330,0988	0,9	0,5	0,28
								Σ d' = Σd/5	1,7 0,3	0,0
4	A	0,0500	200,0483	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0	0,5	0,23
	B	62,3190	262,3185	62,2690	62,2702	62,2696	62,2692	-0,4	0,1	0,00
	C	112,8455	312,8441	112,7955	112,7958	112,7957	112,7949	-0,7	-0,3	0,07
	D	297,9684	97,9673	297,9184	297,9190	297,9187	297,9183	-0,4	0,1	0,01
	E	330,1493	130,1484	330,0993	330,1001	330,0997	330,0988	-0,9	-0,4	0,17
								Σ d' = Σd/5	-2,4 -0,5	0,0
								Σ <i>v</i> <sup>2</sup> = 1,29 mgon <sup>2</sup>		
$s_{HS} = \sqrt{\frac{1,29}{12}} = 0,3 \text{ mgon}, \quad s_{HZ} = 0,3 * \sqrt{2} = 0,4 \text{ mgon}$										

Tab. B-2: Zápisník merania a výpočet presnosti zenitového uhlu

Meranie zenitových uhlov								
Dátum:		17.3. 2014						
Miesto:		FAST VUT Brno, miestnosť B150						
Meral:		Bc. Ján Chomjak						
Prístroj:		Leica TCRP 1205+ R400 výr. č.: 267211						
Podmienky:		teplota 23°C						
Skupina	Cieľ	I. poloha [gon]	II. poloha [gon]	I + (400 - II) [gon]	Priemer skupiny <i>m</i> [gon]	Priemer na stanovisku <i>M</i> [gon]	<i>v</i> [mgon]	<i>v</i> <sup>2</sup> [mgon <sup>2</sup> ]
1	A	95,3977	304,6019	190,7958	95,3979	95,3985	-0,6	0,32
	B	94,2137	305,7869	188,4268	94,2134	94,2137	-0,3	0,08
	C	95,2622	304,7359	190,5263	95,2632	95,2632	-0,1	0,01
	D	98,4301	301,5710	196,8591	98,4296	98,4297	-0,1	0,01
	E	98,4655	301,5368	196,9287	98,4644	98,4644	-0,1	0,01
Σ							-1,1	0,42
2	A	95,3979	304,6016	190,7963	95,3982	95,3985	-0,3	0,10
	B	94,2137	305,7860	188,4277	94,2139	94,2137	0,2	0,03
	C	95,2627	304,7366	190,5261	95,2631	95,2632	-0,2	0,04
	D	98,4300	301,5703	196,8597	98,4299	98,4297	0,2	0,04
	E	98,4652	301,5357	196,9295	98,4648	98,4644	0,3	0,11
Σ							0,2	0,31
3	A	95,3983	304,6007	190,7976	95,3988	95,3985	0,3	0,11
	B	94,2138	305,7864	188,4274	94,2137	94,2137	0,0	0,00
	C	95,2633	304,7369	190,5264	95,2632	95,2632	0,0	0,00
	D	98,4299	301,5710	196,8589	98,4295	98,4297	-0,2	0,04
	E	98,4651	301,5369	196,9282	98,4641	98,4644	-0,3	0,11
Σ							-0,2	0,26
4	A	95,3988	304,6008	190,7980	95,3990	95,3985	0,5	0,29
	B	94,2136	305,7861	188,4275	94,2138	94,2137	0,1	0,01
	C	95,2633	304,7362	190,5271	95,2636	95,2632	0,3	0,10
	D	98,4310	301,5715	196,8595	98,4298	98,4297	0,1	0,01
	E	98,4646	301,5356	196,9290	98,4645	98,4644	0,1	0,01
Σ							1,1	0,41
Σ <i>v</i> <sup>2</sup> =							1,39	mgon <sup>2</sup>
$s_v = \sqrt{\frac{1,39}{15}} = 0,3 \text{ mgon}$								

Tab. C-1: Odpis meraných údajov a výsledky skúšky

ZÁPISNÍK NA TECHNICKÚ A PLOŠNÚ NIVELÁCIU								
Číslo bodu		Čítanie na late			Nadmorská výška horizontu prístroja	Nadmorská výška bodu		Poznámka
v ťahu	stranou	vzad	vpred	stranou		v ťahu	určeného stranou	
							<b>Meral:</b>	<b>Bc. Ján Chomjak</b>
							<b>Prístroj:</b>	<b>Topcon AT-G1,</b>
								<b>výr. č. AV 1093</b>
							<b>Dátum:</b>	<b>13.4. 2014</b>
							<b>Počasie:</b>	<b>zamračené, bezvetrie</b>
A	B	0,783	0,858	<b>h=</b>	<b>-0,075</b>			20 m, 20m
A	B	0,763	0,841	<b>h' =</b>	<b>-0,078</b>			40 m, 2 m
				<b>dh=</b>	<b>0,003</b>			0,003 m / 40 m
								0,075 mm / 1 m
A	B	0,769	0,845	<b>h=</b>	<b>-0,076</b>			20 m, 20 m
A	B	0,728	0,807	<b>h' =</b>	<b>-0,079</b>			40 m, 2 m
				<b>dh=</b>	<b>0,003</b>			0,003 m / 40 m
								0,075 mm / 1 m

Tab. D-1: Namerané hodnoty vodorovných odchýlok

Koľaj A				Koľaj B			
Orientácia pravítka z pohľadu merača				Orientácia pravítka z pohľadu merača			
100 ←		200	→300	700 ←		800	→900
Bod	Čítanie na stupnici [mm]		Priemer [mm]	Bod	Čítanie na stupnici [mm]		Priemer [mm]
	1.	2.			1.	2.	
101	206	207	206	201	796	796	796
102	194	193	194	202	800	800	800
103	191	191	191	203	799	799	799
104	197	197	197	204	809	809	809
105	200	200	200	205	820	820	820
106	201	202	202	206	810	810	810
107	193	193	193	207	807	807	807
108	199	199	199	208	809	809	809
109	198	197	198	209	804	804	804
110	200	200	200	210	800	800	800

Tab. D-2: Namerané a opravené hodnoty čítaní pri nivelácii

Bod	Čítanie na stupnici [m]	Vzdialenosť od prístroja [m]	Oprava [mm]	Opravené čítanie [m]
100	0,102	1,1	0	0,102
101	0,102	5,3	0	0,102
102	0,105	11,3	1	0,106
103	0,109	17,3	1	0,110
104	0,105	23,3	2	0,107
105	0,105	29,3	2	0,107
106	0,104	35,3	3	0,107
107	0,103	41,3	3	0,106
108	0,100	47,3	4	0,104
109	0,100	53,3	4	0,104
110	0,102	59,3	4	0,106
200	0,110	17,0	1	0,111
201	0,108	17,8	1	0,109
202	0,107	20,4	2	0,109
203	0,104	24,3	2	0,106
204	0,109	28,9	2	0,111
205	0,107	33,9	2	0,109
206	0,106	39,2	3	0,109
207	0,105	44,7	3	0,108
208	0,105	50,3	4	0,109
209	0,105	56,0	4	0,109
210	0,103	61,7	5	0,108

Tab. E-1: Vyrovnanie smerovej deformácie

$r = q_0 = 17000$		$z_p = 17004$				$z_c = 17001$		$a$	$b$	$l$	$adq$	$bdk$	
<b>Ľavá (koľaj A)</b>						<b>Meraný rozchod</b>		1	0	-1	-1,86	0	<b>Ľavá</b>
Bod	$L_{O_i}$	$L_{x_i}$	$L_{x'_i}$	$L_{v_i}$	$X_i$	Profil	$r_i^m$	1	1	-6	-1,86	0,31	
100	0	17000	17001	-2	17000	100-200	17004	1	2	5	-1,86	0,62	
101	6	17006	17006	-6	17000	101-201	17010	1	3	9	-1,86	0,93	
102	-6	16994	16995	5	17000	102-202	16999	1	4	3	-1,86	1,24	
103	-9	16991	16991	9	17000	103-203	16994	1	5	-2	-1,86	1,55	
104	-3	16997	16997	3	17001	104-204	16990	1	6	-4	-1,86	1,85	
105	0	17000	17002	-1	17001	105-205	16986	1	7	7	-1,86	2,16	
106	2	17002	17004	-3	17002	106-206	17000	1	8	-1	-1,86	2,47	
107	-7	16993	16993	8	17002	107-207	16988	1	9	0	-1,86	2,78	
108	-1	16999	17001	1	17002	108-208	16998	1	10	0	-1,86	3,09	
109	-2	16998	17000	3	17002	109-209	17000	1	0	2	-1,86	0	<b>Pravá</b>
110	0	17000	17000	3	17003	110-210	17001	1	1	5	-1,86	0,31	
$\Sigma$				21		<b>Vypočítaný rozchod</b>		1	2	2	-1,86	0,62	
<b>Pravá (koľaj B)</b>						Profil	$r_i^v$	1	3	2	-1,86	0,93	
Bod	$P_{O_i}$	$P_{x_i}$	$P_{x'_i}$	$P_{v_i}$	$X_i$	100-200	17003	1	4	-8	-1,86	1,24	
200	0	-1	-2	1	-1	101-201	17010	1	5	-17	-1,86	1,55	
201	-4	-5	-5	4	0	102-202	16998	1	6	-7	-1,86	1,85	
202	0	-1	-2	2	0	103-203	16994	1	7	-6	-1,86	2,16	
203	-1	-2	-2	3	0	104-204	16990	1	8	-6	-1,86	2,47	
204	9	8	8	-7	1	105-205	16984	1	9	-1	-1,86	2,78	
205	20	19	17	-16	1	106-206	16998	1	10	1	-1,86	3,09	
206	10	9	7	-5	1	107-207	16988	[aa]	22	[bb]	770		
207	7	6	6	-4	2	108-208	16996	[ab]	110	[bl]	-183		
208	9	8	6	-4	2	109-209	16998	[al]	-23	[ll]	712,33		
209	4	3	1	1	2	110-210	17001	D	4840	dq	-0,50		
210	0	-1	-1	4	3					dk	0,31		
$\Sigma$				-21		<b>Kontrola výpočtu</b>							
								[al]dq + [bl]dk + [ll] = [vv]					
								[al]dq + [bl]dk + [ll] = 667,27					
								[vv] = 667,27					



## Zápisník merania pre polárnu metódu

## Príloha F

```

;Meral: Bc. Ján Chomjak
;Dátum: 11.04.2014
;Merané prístroje Leica TCRP 1205+ R400
;korekcia: 0 mm/km
9999
370000000
10000001
1
3
0
2
1 100 0.241
200 17.004 0.241 100.0000 100.0243 * 16:59
200 17.004 0.241 300.0005 299.9736 * 16:59
-1
101 5.326 0.058 399.8167 102.1259 * 17:02
101 5.354 0.058 399.8167 102.1207 * 17:03
102 11.353 0.058 399.9160 101.0229 * 17:04
103 17.339 0.058 399.9221 100.6879 * 17:05
104 23.339 0.058 399.8998 100.5023 * 17:06
105 29.339 0.058 399.8857 100.4017 * 17:06
106 35.334 0.058 399.8838 100.3337 * 17:07
107 41.333 0.058 399.9016 100.2853 * 17:08
108 47.322 0.058 399.8914 100.2461 * 17:09
109 53.330 0.058 399.8916 100.2201 * 17:10
110 59.330 0.058 399.8870 100.2013 * 17:11
110 59.331 0.058 199.8865 299.7970 * 17:12
109 53.327 0.058 199.8908 299.7783 * 17:13
108 47.334 0.058 199.8912 299.7523 * 17:14
107 41.331 0.058 199.9012 299.7129 * 17:15
106 35.324 0.058 199.8845 299.6647 * 17:15
105 29.327 0.058 199.8859 299.5964 * 17:16
104 23.336 0.058 199.9004 299.4958 * 17:17
103 17.337 0.058 199.9229 299.3102 * 17:17
102 11.341 0.058 199.9173 298.9737 * 17:18
101 5.355 0.058 199.8253 297.8786 * 17:19
200 17.004 0.241 100.0001 100.0234 * 17:20
200 17.004 0.241 300.0015 299.9723 * 17:21
/
1 200 0.241
100 17.004 0.241 299.9995 99.9864 * 17:41
100 17.004 0.241 100.0000 300.0100 * 17:41
-1
201 5.343 0.058 399.9244 102.1503 * 17:42
201 5.343 0.058 199.9291 297.8487 * 17:43
202 11.343 0.058 199.8979 298.9833 * 17:44
202 11.343 0.058 399.8965 101.0154 * 17:44
203 17.349 0.058 399.8959 100.6503 * 17:46
203 17.349 0.058 199.8973 299.3487 * 17:46
204 23.343 0.058 199.8685 299.4982 * 17:47
204 23.342 0.058 399.8677 100.5001 * 17:47
205 29.340 0.058 399.8522 100.3958 * 17:49
205 29.341 0.058 199.8518 299.6030 * 17:49
206 35.342 0.058 199.8774 299.6700 * 17:50
206 35.342 0.058 399.8775 100.3284 * 17:51
207 41.333 0.058 399.8872 100.2782 * 17:52
207 41.333 0.058 199.8865 299.7204 * 17:52
208 47.339 0.058 199.8830 299.7516 * 17:53
208 47.340 0.058 399.8839 100.2474 * 17:54
209 53.341 0.058 399.8886 100.2190 * 17:55
209 53.341 0.058 199.8884 299.7790 * 17:55
210 59.333 0.058 199.8939 299.8004 * 17:56
210 59.333 0.058 399.8945 100.1973 * 17:57
100 17.004 0.241 300.0015 99.9875 * 17:58
100 17.005 0.241 100.0014 300.0099 * 17:58
/
-2

```

**Výpočet podrobných bodov na koľaji A**

[1] POLÁRNÍ METODA DÁVKOU

=====

Orientace osnovy na bodě 100:

Bod	Y	X	Z
100	0.000	0.000	

Orientace:

Bod	Y	X	Z
110	0.000	59.330	

Bod	HZ	Směrník	V or.	Délka	v délky	v přev.	m0	Red.
110	299.8865	0.0000	0.0000	59.330	0.000			

Orientační posun : 100.1135g

Podrobné body

Polární metoda							
Bod	HZ	Z	Délka	Y	X		
200	0.0000	100.0254	17.004	17.004	-0.030		
101	299.8208	102.1211	5.352	-0.006	5.352		
102	299.9164	101.0246	11.346	0.005	11.346		
103	299.9223	100.6889	17.337	0.010	17.337		
104	299.8999	100.5033	23.337	0.005	23.337		
105	299.8856	100.4027	29.332	0.000	29.332		
106	299.8839	100.3345	35.329	-0.001	35.329		
107	299.9012	100.2862	41.332	0.010	41.332		
108	299.8911	100.2469	47.328	0.003	47.328		
109	299.8910	100.2209	53.329	0.004	53.329		

**Výpočet podrobných bodov na koľaji B**

[1] POLÁRNÍ METODA DÁVKOU

=====

Orientace osnovy na bodě 200:

Bod	Y	X	Z
200	0.000	0.000	

Orientace:

Bod	Y	X	Z
210	0.000	59.333	

Bod	HZ	Směrník	V or.	Délka	v délky	v přev.	m0	Red.
210	99.8945	0.0000	0.0000	59.333	0.000			

Orientační posun : 300.1055g

Podrobné body

Polární metoda							
Bod	HZ	Z	Délka	Y	X		
201	99.9270	102.1508	5.340	0.003	5.340		
202	99.8975	101.0161	11.342	0.001	11.342		
203	99.8969	100.6508	17.348	0.001	17.348		
204	99.8684	100.5010	23.342	-0.010	23.342		
205	99.8523	100.3964	29.340	-0.019	29.340		

**Protokoly o výpočtech podrobných bodov**

**Príloha G**

Bod	H <sub>Z</sub>	Z	dH	Délka	Y	X
206	99.8777	100.3292		35.342	-0.009	35.342
207	99.8871	100.2789		41.333	-0.005	41.333
208	99.8837	100.2479		47.340	-0.008	47.340
209	99.8888	100.2200		53.341	-0.005	53.341

**Výpočet súradníc podrobných bodov pre určenie rozchodu**

[1] POLÁRNÍ METODA DÁVKOU

Orientace osnovy na bodě 100:

Bod	Y	X	Z
100	0.000	0.000	0.000

Orientace:

Bod	Y	X	Z
110	0.000	59.330	-0.005

Bod	H <sub>Z</sub>	Směrník	V or.	Délka	v délky	v přev.	m0 Red.
110	299.8865	0.0000	0.0000	59.330	0.000	0.000	

Orientační posun : 100.1135g

Podrobné body

Polární metoda

Bod	H <sub>Z</sub>	Z	Délka	Y	X	Z
101	299.8208	102.1211	5.352	-0.006	5.352	0.005
102	299.9164	101.0246	11.346	0.005	11.346	0.000
103	299.9223	100.6889	17.337	0.010	17.337	-0.005
104	299.8999	100.5033	23.337	0.005	23.337	-0.002
105	299.8856	100.4027	29.332	0.000	29.332	-0.003
106	299.8839	100.3345	35.329	-0.001	35.329	-0.003
107	299.9012	100.2862	41.332	0.010	41.332	-0.003
108	299.8911	100.2469	47.328	0.003	47.328	-0.001
109	299.8910	100.2209	53.329	0.004	53.329	-0.002

[1] POLÁRNÍ METODA

Orientace osnovy na bodě 100:

Bod	Y	X	Z
100	0.000	0.000	0.000

Orientace:

Bod	Y	X	Z
110	0.000	59.330	

Bod	H <sub>Z</sub>	Směrník	V or.	Délka	v délky	v přev.	m0 Red.
110	299.8865	0.0000	0.0000	59.330	0.000		

Orientační posun : 100.1135g

Bod	H <sub>Z</sub>	Délka	Y	X
200	0.0000	17.004	17.004	-0.030

**Protokoly o výpočtech podrobných bodů**

**Príloha G**

[1] POLÁRNÍ METODA DÁVKOU

Orientace osnovy na bodě 200:

Bod	Y	X	Z
200	17.004	-0.030	-0.005

Orientace:

Bod	Y	X	Z
100	0.000	0.000	0.000

Bod	Hz	Směrník	V or.	Délka	v délky	v přev.	m0 Red.
100	0.0000	300.1123	0.0000	17.004	0.000	0.002	

Orientační posun : 300.1123g

Podrobné body

Polární metoda						
Bod	Hz	Z	Délka	Y	X	Z
201	99.9270	102.1508	5.340	17.007	5.310	-0.002
202	99.8975	101.0161	11.342	17.006	11.312	-0.003
203	99.8969	100.6508	17.348	17.007	17.318	0.001
204	99.8684	100.5010	23.342	16.997	23.312	-0.006
205	99.8523	100.3964	29.340	16.988	29.310	-0.005
206	99.8777	100.3292	35.342	16.998	35.312	-0.005
207	99.8871	100.2789	41.333	17.004	41.303	-0.003
208	99.8837	100.2479	47.340	17.001	47.310	-0.006
209	99.8888	100.2200	53.341	17.005	53.311	-0.006
210	99.8945	100.1985	59.333	17.010	59.303	-0.007