



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV GEODÉZIE**

INSTITUTE OF GEODESY

## **ANALÝZA SOUČASNÝCH METOD MĚŘENÍ PROSTOROVÉ POLOHY KOLEJE**

ANALYSIS OF CURRENT SURVEYING METHODS OF RAILWAY TRACK SPATIAL POSITION

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Tomáš Langar**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. JIŘÍ BUREŠ, Ph.D.**

**BRNO 2019**



# 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>	3646R003 Geodézie a kartografie (N)
<b>Pracoviště</b>	Ústav geodézie

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Tomáš Langar
<b>Název</b>	Analýza současných metod měření prostorové polohy koleje
<b>Vedoucí práce</b>	doc. Ing. Jiří Bureš, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2018
<b>Datum odevzdání</b>	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

---

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

ANDĚL J. – Matematická statistika, SNTL, Praha 1978

BŮHM J., RADOUCH V., HAMPACHER M. – Teorie chyb a vyrovnávací počet, GKP Praha, 1990

MICHALČÁK O., VOSIKA O., VESELÝ M., NOVÁK Z. – Inženýrská geodézie I, SNTL Praha 1985

MICHALČÁK O., VOSIKA O., VESELÝ M., NOVÁK Z. – Inženýrská geodézie II, ALFA Bratislava 1990, ISBN 80-05-00678-0

ŠVÁBENSKÝ O., VITULA A. - Inženýrská geodézie – návody do cvičení I., VUT v Brně, PC-DIR spol. s r.o., Brno 1993, ISBN 80-214-0499-X

KADNER S., SKALICKÝ J., NOVÁK Z., BIŇOVEC V. - Železniční geodézie a kartografie. NADAS, Praha 1986

SEDLÁČEK S. - Programový systém G-NET. Uživatelská příručka.

SŽDC – Předpisová řada M20

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Podílejte se na měření prostorové polohy koleje při výstavbě železniční tratě Břeclav – Znojmo. Popište používané současné geodetické metody měření prostorové polohy koleje. Analyzujte je z hlediska přesnosti měření. Za tím účelem vyhodnoťte naměřená data vybraného úseku a vyhotovte příslušnou dokumentaci prostorové polohy koleje. Zhodnoťte dosažené výsledky.

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

---

doc. Ing. Jiří Bureš, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá analýzou současných metod měření prostorové polohy koleje na železničním úseku, který se nachází mezi městy Břeclav – Znojmo. V úvodu práce je popsán historický vývoj železniční geodézie na našem území a stav železničního bodového pole v zahraničí. Dále je zmíněna metodická úprava měření ve stávajících předpisech pro železniční bodové pole v České republice. V následujících kapitolách naleznete dílčí etapy budování železničního bodového pole v daném úseku s analýzami přesnosti měření a s návrhem volby apriorní přesnosti měření pro zpracování výpočtů metodou nejmenších čtverců. V závěru práce je popsán výpočet prostorové polohy koleje s návrhem výpočetní služby pro jednotný způsob výpočtu dílčích etap železničního bodového pole.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

železniční bodové pole, metoda nejmenších čtverců, primární síť, sekundární síť, zajišťovací značka, prostorová poloha koleje

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deal with analysis of current surveying methods of railway track spatial position of the track section located between Břeclav and Znojmo. At the beginning of the work there is described historical development of railway geodesy in our country and conditions of railway geodetic points field abroad. Further there are mentioned rules for measurement of railway point fields in the Czech Republic. In the following chapter you will find sub-stages of building railway point fields in track section with analysis of accuracy measurement and a proposal of prior accuracy of measurement for computing with the least square method. In the end of the thesis there is described a calculation of parameters spatial track geometry with the suggestion of computing service for uniform way of calculating partial stages of railway geodetic point field.

## **KEYWORDS**

railway geodetic point field, the least squares method, primary control points, secondary control points, safety signs of trackage, spatial track geometry parameters

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Bc. Tomáš Langar *Analýza současných metod měření prostorové polohy koleje*. Brno, 2019.58s., 15 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Bureš, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Analýza současných metod měření prostorové polohy koleje* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 16. 5. 2019

---

Bc. Tomáš Langar  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Analýza současných metod měření prostorové polohy koleje* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 16. 5. 2019

---

Bc. Tomáš Langar  
autor práce

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Jiří Bureš, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady při zpracování a připomínky k diplomové práci. Dále mé poděkování patří Ing. Pavlu Roubalovi za poskytnuté rady a pomoc při zpracování.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>PŘEHLED O SOUČASNÉM STAVU PROBLEMATIKY ŽELEZNIČNÍHO BODOVÉHO POLE</b> .....	<b>11</b>
2.1	HISTORIE VÝVOJE ŽELEZNIČNÍHO BODOVÉHO POLE NA NAŠEM ÚZEMÍ .....	11
2.2	TRANSFORMACE ČESKÉ ŽELEZNICE .....	11
2.3	AKTUÁLNÍ STAV ŽELEZNIČNÍHO BODOVÉHO POLE .....	11
2.4	ŽELEZNIČNÍ GEODEZIE V ZAHRANIČÍ.....	12
2.4.1	Spolková republika Německo .....	12
2.4.2	Čínská lidová republika.....	13
2.4.3	Polsko .....	15
<b>3</b>	<b>METODICKÁ ÚPRAVA MĚŘENÍ ŽBP PRO ZAJIŠTĚNÍ PPK VE STÁVAJÍCÍCH PŘEDPÍSECH</b> .....	<b>16</b>
3.1	PRIMÁRNÍ BODOVÉ POLE .....	16
3.2	SEKUNDÁRNÍ BODOVÉ POLE .....	17
3.3	ZAJIŠŤOVACÍ ZNAČKY .....	18
<b>4</b>	<b>ANALÝZA SOUČASNÝCH METOD MĚŘENÍ PPK</b> .....	<b>19</b>
4.1	ANALÝZA MĚŘENÍ PRIMÁRNÍHO BODOVÉ POLE .....	19
4.1.1	Popis použitých metod měření, měřidel a dat .....	19
4.1.2	Stanovení vnitřní přesnosti měření GNSS .....	20
4.1.3	Transformace do původního ŽBP.....	21
4.1.4	Transformace jednotným klíčem ČUZK.....	22
4.2	ANALÝZA MĚŘENÍ SEKUNDÁRNÍHO BODOVÉ POLE .....	23
4.2.1	Popis použitých metod měření, měřidel a dat .....	23
4.2.2	Stanovení přesnosti apriorního modelu.....	24
4.2.3	Aplikace teoretického modelu přesnosti na řešený úsek.....	24
4.2.4	Nastavení parametrů výpočtu MNČ.....	25
4.2.4.1	Vliv volby apriorní přesnosti měřených veličin na výsledky vyrovnání.....	25
4.2.4.2	Porovnání výsledků apriorního modelu sekundární sítě s původními výsledky výpočtu.....	26
4.2.4.3	Výpočet metodou vetknutých polygonových pořadů .....	27
4.2.4.4	Vliv volby apriorních přesnosti měřených veličin na přesnost v příčném směru.....	28
4.2.5	Vliv změny polohy primární sítě .....	29
4.2.6	Porovnání výsledků výpočtu sekundární sítě při použití různého software .....	29
4.3	ANALÝZA MĚŘENÍ ZAJIŠŤOVACÍCH ZNAČEK .....	31
4.3.1	Popis použitých metod měření, měřidel a dat .....	31
4.3.2	Teoretický model apriorní přesnosti pro výpočet zajišťovacích značek.....	31
4.3.3	Porovnání výsledků původního výpočtu s teoretickým modelem.....	32
4.3.4	Vliv změny polohy bodů výchozí sítě na výpočet zajišťovacích značek.....	33
4.3.5	Vliv změny počtu opakovaného určení zajišťovacích značek.....	34
4.4	VÝŠKOVÉ MĚŘENÍ PRO URČENÍ BODŮ ŽBP .....	35
4.4.1	Popis použitých metod měření, měřidel a dat .....	35
4.4.2	Analýza výsledku výškového měření.....	36
4.4.3	Porovnání výšek získanými různými metodami měření.....	38
4.4.4	Vliv nesprávné délky laťového metru na výsledky měření.....	39
4.5	ANALÝZA MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ PROSTOROVÉ POLOHY KOLEJE .....	42
4.5.1	Popis použitých metod měření, měřidel a dat .....	42
4.5.2	Výpočet PPK v programovém prostředí Kokeš Rail.....	43
4.5.3	Analýza výsledků původního výpočtu PPK a vypočteného se zavedením apriorního modelu dle ČSN 73 6360–2.....	46
4.5.4	Ukázka dokumentace výsledků měření PPK .....	48
<b>5</b>	<b>NÁVRH VÝPOČETNÍ SLUŽBY</b> .....	<b>49</b>



5.1	ZÁSADY VÝPOČTU.....	49
5.2	KRITÉRIA POSOUZENÍ VÝSLEDKŮ .....	51
5.3	MODELOVÁ REALIZACE S VYUŽITÍM PROGRAMU G-NET MINI.....	51
<b>6</b>	<b>POROVNÁNÍ MEZNÍCH ODCHYLEK PPK DANÉ NORMOU ČSN 73 0420 A ČSN 73 6360-2 .....</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>54</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK .....</b>	<b>57</b>
9.1	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	57
9.2	SEZNAM TABULEK .....	58
<b>10</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>59</b>
10.1	TIŠTĚNÉ PŘÍLOHY.....	59
10.2	HIERARCHIE ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY.....	59

# 1 ÚVOD

Jedna z velkých součástí inženýrské geodézie je železniční geodézie, která jako taková se zabývá využitím geodetických metod a přístrojů při výstavbě, provozu, údržbě a rekonstrukci železničního svršku. Počátky železniční geodézie na našem území lze najít už na začátku 19. století, kdy začaly práce na trasování první koněspřežné dráhy na evropském kontinentu z Českých Budějovic do Lince. Bylo to 12 zeměměřičů, kteří tehdy působili při výkupu nemovitostí pro stavbu dráhy a vytyčili její trasu [7]. V současné době, při daných vysokých rychlostech na koridorových tratích jsou kladeny vysoké nároky na přesnost při určení prostorové polohy železniční infrastruktury (především koleje, ale i jiných objektů) a to jak při její stavbě, tak i při její provozní údržbě.

Cílem práce je analýza současných metod měření prostorové polohy koleje a s ní problematikou spojené geodetické měření železničního bodového pole (ŽBP). Analyzovaná data pocházejí z rekonstrukce části železniční tratě nacházející se na jihu Moravy, na které se autor podílel při studiu navazujícího magisterského studia v letech 2016-2017 jako brigádník u nejmenované firmy. Lokalita měřeného úseku a jméno firmy/firem bude v této práci anonymizováno, z důvodů neudělení souhlasu tuto skutečnost zveřejňovat.

V prvních dvou kapitolách se nachází přehled o současném stavu problematiky železniční geodézie, která se zabývá i historií budování ŽBP v České republice a pohled na ŽBP zřízovaného v zahraničí. Dále se analýza bude zabývat vyhodnocením jednotlivých částí ŽBP, které jsou body primární sítě (PS), sekundární sítě (SS), zajišťovacích značek (ZZ) a následně prostorovou polohou koleje (PPK) a souvisejícími nařízením s nimi spojenými. V dílčích kapitolách jsou odvozeny rozbory přesnosti, kterými se musí výpočty řídit a provedeny simulace na naměřených datech. Jako výpočetní program pro veškeré výpočty a vyrovnání sítí, byl zvolen G-net ver. 02.09 a pro zpracování PPK program Kokeš Rail ver. 13.13.

## **2 PŘEHLED O SOUČASNÉM STAVU PROBLEMATIKY ŽELEZNIČNÍHO BODOVÉHO POLE**

### **2.1 Historie vývoje železničního bodového pole na našem území**

Dříve se stabilizace bodů ŽBP realizovala přímo v ose koleje. Jelikož tratě vedly mnohdy v hlubokých údolích, podél řek anebo v rozsáhlých lesních porostech, měření probíhalo tzv. metodou osového polygonu v místním souřadnicové systému. Následné připojení na body České státní trigonometrické sítě bylo velice obtížné, často se přistupovalo k vetknutému polygonu. Počátkem 90. let přišel nástup technologie GNSS ale i to mělo své úskalí, a to především v nedostupnosti metodiky pro měření a nadhodnocení přesnosti. Ve většině případů byly zdrojem informací pouze prodejci daných GNSS aparatur. To se postupem času s rostoucími zkušenostmi zlepšovalo a zdokonalovaly se metody měření. Z důvodů rostoucích požadavků na kvalitu ŽBP byla vypracována metodika s požadavky na nově budovaná ŽBP. [15] [17] [20]

### **2.2 Transformace české železnice**

V roce 2002 začala probíhat transformace české železnice. V polovině roku 2008, a to 1. června, státní organizace Správa železniční dopravní cesty (SŽDC) odkoupila část podniku akciové společnosti České dráhy. Tímto krokem byla oddělena provozuschopnost a provozování dráhy od provozování drážní dopravy u drah ve vlastnictví státu. Státní organizace SŽDC se dělí na ředitelství a organizační jednotky. Geodeti jsou začleněni do úseku technického a modernizace dráhy. Základní působnost úseku technického je, mimo jiné, výkon činností hlavního geodeta dráhy (HGD) a dále organizační jednotky Správy železniční geodézie (SŽG) Praha a Olomouc, jejichž posláním je tvorba, údržba a správa železničního bodového pole (ŽBP), kompletní tvorba a údržba mapových děl na železnici a zajištění správy železničního katastru nemovitostí. Dále mezi jejich výkony práce patří správa prostorové polohy koleje, se správou systému staničení a zajišťují kontrolní geodetická měření. [15]

### **2.3 Aktuální stav železničního bodového pole**

Železniční bodové pole (ŽBP) je definováno jako polohový a výškový systém, k němuž je vztažena prostorová poloha koleje (ČSN 736360-2) a je tvořeno třemi stupni. A to primární bodové pole, které je budováno podél dráhy technologií GNSS v rozmezí 1–1,3 km, do něj se vkládá sekundární bodové pole pomocí polygonového pořadu a do ní se vkládá polární metodou nebo metodou přechodných stanovisek terciální soustava zajišťovacích značek [21]. Pro ŽBP, které mimo jiné zajišťuje reprodukovatelnost měření PPK, není využito státní bodové pole, protože nároky na ŽBP převyšují vlastnosti kladené na státní bodové pole. Pro účely správy prostorové polohy koleje a její tvorbu je vytvářen jeden referenční rámec ŽBP pro celou železniční síť (systém SŽDC-REF). Pro každou stavbu je vytvářen vlastní referenční rámec (lokální transformační klíč), který se vypočte pomocí bodů, pro které jsou známy souřadnice v systému ETRS-89 i S-JTSK, tzv. identických bodů. Pro transformaci je vždy použita 7-prvková Helmertova prostorová transformace. V praxi je návaznost staveb řešena individuálně. Kvalita mezi jednotlivými ŽBP je různorodá a je závislá na kvalitách zhotovitele a přístrojového vybavení. Problematika nenávaznosti jednotlivých liniových staveb, se objevuje zejména v případech, kdy těmito stavbami jsou sousední koleje, kde není dodržena projektová osová vzdálenost mezi sousedními kolejemi. Jak z uvedeného vyplývá, ŽBP v aktuální době tvoří množinu referenčních rámců úměrnou počtu staveb.[11]

## 2.4 Železniční geodezie v zahraničí

V této kapitole je popsáno, jak řeší určitou specifickou problematiku ohledně železničního bodového pole v níže vybraných státech. Předpisy a normy vztahující se k železniční geodézii jsou velice často interními záležitostmi daných zemí, proto nelze porovnat stejné věci u různých států.

### 2.4.1 Spolková republika Německo

Hlavní železniční koridory jako typický lineární objekt mají jednotlivé délky v Německu až několika stovek kilometrů a často prochází více než jedním referenčním systémem. Cílem německé železniční společnosti je použití vlastního homogenního referenčního rámce DB\_REF pro své geodetické účely. Tento referenční rámec (PS0) byl vypočítán z přibližně 7200 referenčních stanic umístěných podél železničních tratí, ve vzdálenostech 3–5 km od sebe s absolutní přesností  $\sigma_{abs\ PS0,3D} = 10\ mm$  a relativní přesností  $\sigma_{rel\ PS0,3D} = 5\ mm$ . [26]

Tato skutečnost nabídla možnost virtuálního zajištění prostorové polohy koleje a zrušení zajišťovacích značek. V důsledku toho odpadá správa asi 1 milionu zajišťovacích značek a udržuje se jen body referenčních stanic (cca 6000). Pro práci v systému v DB-REF vznikl měřicí systém GNBAHN obr. 1. Systém pracuje v režimu RTK a pracuje se softwarovou filtrací měřených dat, ve které se předpokládá spojitý průběh osy koleje a výsledná data GNSS jsou podle toho upravována. [11] [27]



Obrázek 1: GNSS RTK Data kolektor – GNBAHN [27]

Dále je německá železniční bodová síť rozdělena na 3 úrovně:

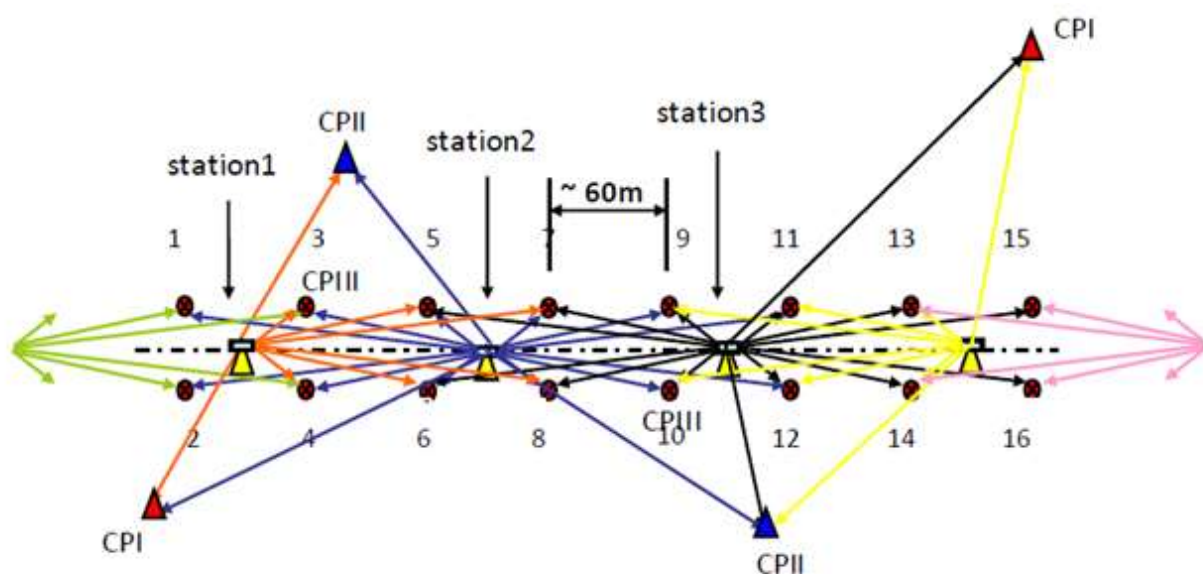
- PS1
  - body vložené do sítě PS0, o vzdálenostech mezi sebou do 1000 m.
  - Absolutní  $\sigma_{abs,PS1,3D} = 15 \text{ mm}$  a relativní  $\sigma_{rel,PS1,3D} = 10 \text{ mm}$  přesnost je vztažena k sousedním bodům PS0 a PS1.
  - Výšková přesnost musí odpovídat mezní odchylce  $2 + 4 \cdot \sqrt{R}$ , R = délka v kilometrech
  - Bod musí být kompatibilní pro měření metodou GNSS
  - Observace probíhá 2x, po dobu 30 minut
- PS2
  - Body pouze o polohových souřadnicích
  - Vzdálenost mezi body PS2, dle potřeby projektu
  - Relativní přesnost  $\sigma_{rel,PS2,2D} = 10 \text{ mm}$ , vzhledem k bodům PS0, PS1 a PS2
  - Měření obousměrně připojeným a orientovaným polygonovým pořadem
- PS3
  - Pouze výškové body
  - Vzdálenost mezi body PS3, dle potřeby projektu
  - Přesnost musí odpovídat mezní odchylce  $2 + 4 \cdot \sqrt{R}$  k bodům PS0, PS1 a PS3, R = délka v kilometrech
- PS4
  - Relativní polohová přesnost  $\sigma_{rel,PS4,2D} = 10 \text{ mm}$
  - Relativní výšková přesnost  $\sigma_{rel,PS4,1D} = 5 \text{ mm}$

#### 2.4.2 Čínská lidová republika

V posledních letech se rapidně rozrostla infrastruktura vysokorychlostních koridorů v Číně, kde vlaky dosahují rychlosti 250-300 km/h. V roce 2012 bylo v provozu více než 6900 km vysokorychlostních železnic a dalších 18000 km jich bylo ve výstavbě [24] Pro zajištění podmínek provozuschopnosti při těchto rychlostech musí být železniční bodové pole udržováno v milimetrových přesnostech. [25]. Bodové pole (control points) je zde rozděleno do 4 částí: [23]

- CP0
  - GNSS referenční síť, vzdálenost mezi body cca 50 km
- CPI
  - Primární síť – body měřené metodou GNSS v rozmezí cca 4 km mezi sebou.
  - Vždy je vytvořena dvojice bodů ve vzájemné viditelnosti do cca 800m.
- CPII
  - Sekundární síť – body měřené polygonovým pořadem vetknuté mezi body CPI.
  - Jsou rozmístěny ve vzdálenosti 400–600 m.
  - Relativní přesnost by měla být  $\leq 8 \text{ mm}$ .

- CPIII
  - Zajišťovací značky – vzájemné vzdálenosti mezi body jsou 150–200 m.
  - Měření bodů probíhá pomocí přechodných stanovisek.
  - Jsou doporučeny totální stanice s úhlovou přesností 1“ a délkovou přesností 1 mm+2ppm.
  - Při dané volbě přístrojového vybavení se měří ve 2 skupinách, přičemž relativní přesnost bodu CPIII by měla být  $\leq 1\text{mm}$ .



Obrázek 2: Schéma zaměření CPIII- Čína [25]

### 2.4.3 Polsko

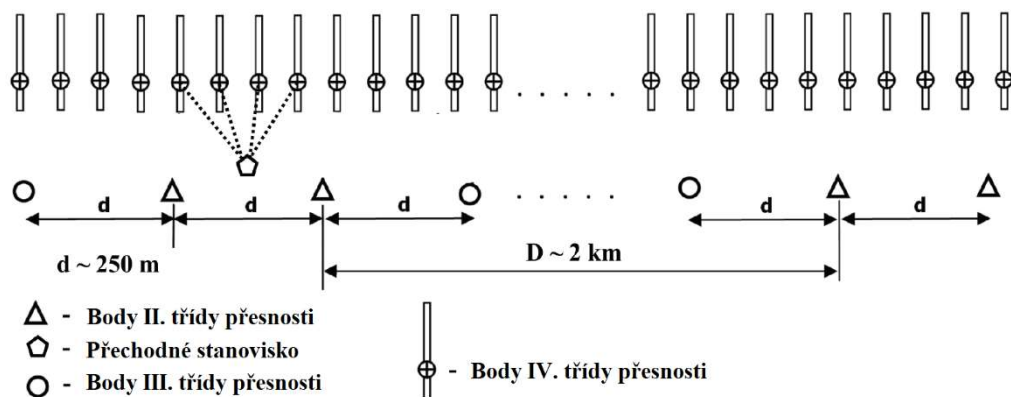
Geodetické měření na železnici v Polské republice je vztaženo k souřadnicovému systému PUWG2000 a výškovému systému Kronsztadt86. Polské železniční bodové pole se řídí především normami D-19 [28] a IG-7 [29], toto bodové pole je rozděleno na 4 třídy:

- I. Permanentní stanice systému ASG-EUPOS
- II. Body primární sítě – tyto body jsou měřeny GNSS – statickou metodou v minimální délce observace 40 minut, ve dvojici opakování. Body jsou rozmístěny vždy jako dvojice se vzájemnou vzdáleností 150–300 m a se zajištěním vzájemné viditelnosti. Tyto dvojice jsou rozmístěny od sebe 1,5 – 2,0 km. Stabilizace je provedena betonovými pilíři s nucenou centrací. Body primární sítě odpovídají horizontální přesnosti 0,010 m.
- III. Body sekundární sítě – body vložené mezi body primární sítě o vzájemné vzdálenosti 300–400 m. Měření probíhá pomocí obousměrně připojeného a oboustranně orientovaného polygonového pořadu s použitím trojpodstavcové soustavy ve dvou skupinách měření. Totální stanice by měla odpovídat úhlové přesnosti  $\pm 10''$  a délkové  $\pm 2 + 2ppm$



Obrázek 3: Rozmístění bodů II a III třídy. [30]

- IV. Zajišťovací značky – jsou rozmístěny ve vzdálenostech 50–140 m, které jsou měřeny přechodnými stanovisky v návaznosti na body II. a III. třídy.



Obrázek 4: Schéma zaměření IV třídy [30]

### 3 METODICKÁ ÚPRAVA MĚŘENÍ ŽBP PRO ZAJIŠTĚNÍ PPK VE STÁVAJÍCÍCH PŘEDPÍSECH

Proces budování ŽBP je tzv. třístupňové, toto opatření zajišťuje dostatečnou vnitřní přesnost liniové sítě. V prvním stupni je vytvořen projekt ŽBP, v kterém se

- Navrhne umístění bodů primární a sekundární sítě
- Druh její stabilizace
- Ochrana
- Ná vaznost do geodetických referenčních systémů
- Technologie měření a určení souřadnic včetně způsobu převodu do S-JTSK

V druhé fázi se v terénu vybudují měřické značky primární a sekundární sítě a ve třetí fázi jsou nejprve metodou GNSS zaměřeny body ŽBP primární sítě, kde jako geodetický základ pro určení těchto bodů je prostorová referenční síť SŽDC, označena jako SŽDC-REF. Převod souřadnic z ETRS89 do S-JTSK zajišťují, jak již bylo výše zmíněno, lokální transformační klíče vytvořených správcem ŽBP. Dále jsou oboustranně orientovanými polygonovými pořady zaměřeny geodetické body sekundární sítě a v poslední řadě jsou zaměřeny metodou přechodných stanovisek s navázáním na body PS a SS zajišťovací značky. [1] [4]

#### 3.1 Primární bodové pole

Místo pro stabilizace bodu PS musí být pečlivě vybráno, především se zřetelem na trvanlivost stability značky a její neměnnost polohy. Bod musí vyhovovat měření, jak terestrickému pomocí trojpodstavcové metody, tak satelitnímu, kde musí být zajištěn volný obzor nad elevačním úhlem  $10^\circ$  a absence překážek znemožňující příjem nebo způsobující multipath. Body jsou polohově určeny v systému S-JTSK, výškově v systému Balt po vyrovnání (Bpv) a prostorově v ETRS89 navázané na závazný prostorový referenční systém ČR. Vzdálenost mezi body PS je stanovena na 600 m až 1300 m. [1]

#### Požadavky na měření

Závazný geodetický základ pro návaznost do geodetických referenčních systémů S-JTSK a ETRS může být realizovaný

- a) připojením do sítě bodů permanentních stanic CZEPOS nebo sítě permanentních stanic TRIMBLE VRS NOW nebo TopNet
- b) Připojením do sítě bodů SŽDC-REF.

Přesnost bodů primární sítě v poloze je dána základní směrodatnou souřadnicovou odchylkou  $\sigma_{x,y} = 5 \text{ mm}$ . Druhy metod měření je uveden v následující tabulce.

Metoda	Počet družic >	GDOP ≤	Interval [s]	Délka observace [min.]
RTK	10	2.2	1	5
Rychlá statická metoda	-	4.4	10	15-20
Statická metoda	-	4.4	10	60

Tabulka 1: Druhy metod měření používána při měření primární sítě metodou GNSS

Optimální počet opakovaní měření je 3x, minimálně 2x, při nezávislém postavení družic.



### 3.2 Sekundární bodové pole

Body sekundární sítě (SS) jsou voleny rovnoměrně mezi body PS, tak aby byly využitelné k měření osy koleje a zajišťovacích značek. Vzdálenost mezi body polygonového je v rozmezí 120 m–250 m a vzdálenosti mezi sousedními body by měli být v poměru 1:2 do 2:1 [1]

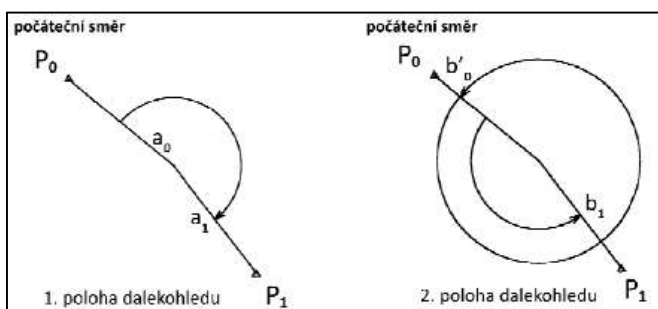
#### Požadavky na měření

Geodetickým základem pro určení bodů ŽBP terestrickými metodami jsou body určeny metodou GNSS a při navazujících úsecích původní body ŽBP. Doporučená přesnost totální stanice je:

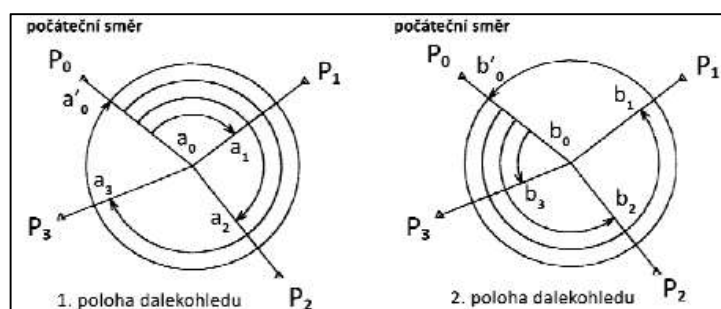
- Úhlová 1" (0,3 mgon)
- Délková 2+2ppm

Při použití přístrojového vybavení s jinými (horšími) přesnostmi je potřeba upravit počet skupin měření na tuto přesnost. Jako metoda měření se nejčastěji používá oboustranně orientovaný polygonový pořad, kde se vodorovné směry měří nejméně ve třech skupinách. Při zacílení na počáteční směr je nutné nastavit čtení horizontálního úhlu na 0,0000<sup>s</sup>, případné odchylky se zejména sledují před i po projetí kolejového vozidla v blízkosti bodu. Při zjištění rozdílu je nutné hodnotu horizontálního úhlu opravit na původní hodnotu.

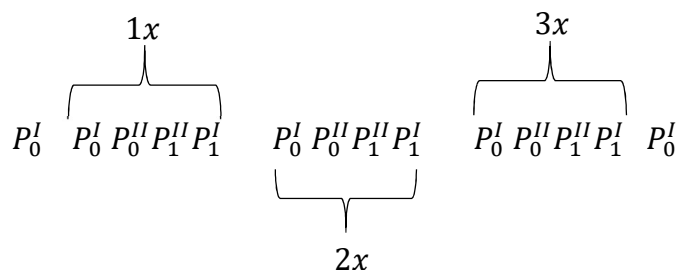
Uzávěr skupiny vypočtený z průměru obou řad měření u počátečního a zároveň koncového směru nesmí překročit 20<sup>cc</sup>. [1]



Obrázek 5: Schéma měření jedné skupiny v případě dvou měřených směrů [1]



Obrázek 6: Schéma měření jedné skupiny směrů (více jak 2 měřené směry) [1]



Obrázek 7: Postup měření ve třech skupinách přístroje

### 3.3 Zajišťovací značky

Nejpodrobnějším bodem ŽBP je zajišťovací značka, která je doplněna štítkem s popisem základních parametrů zajištění koleje Obr 8.

- Označení značky
- Hodnota definičního staničení (km)
- Vzdálenost osa koleje-značka (m)
- Výškový rozdíl niveleta-značka (mm)
- Vzdálenost k charakteristickému bodu koleje (m) a jeho označení
- Šipka udávající směr k charakteristickému bodu

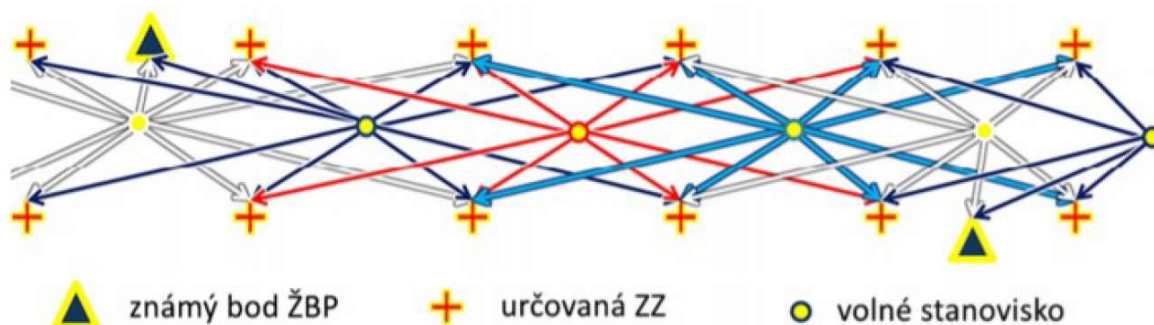
<b>TV 154</b>
<b>172,24258</b>
<b>o=3,082</b>
<b>v=-189</b>
<b>ZO+12,86</b>

Obrázek 8: Popis zajišťovací značky [5]

V přímém úseku by vzdálenost mezi dvěma značkami neměla přesáhnout 200 m, v oblouku vzdálenost mezi ZZ záleží na poloměru oblouku, toto rozmezí je mezi 30 až 100m. Přesnost ZZ nesmí přesáhnout 5 mm v příčné ani výškové odchylce. [8]

#### Požadavky na měření

Pro měření zajišťovacích značek je volena metoda postupného protínání. Měření probíhá z přechodných stanovisek ležících mezi dvěma páry ZZ, tak že polárně se zaměří vždy dva páry ZZ vzad i v před. Pokud v dané oblasti se nachází bod ŽBP nebo vytyčovací síť je nutno ho také zaměřit. Každá ZZ musí být zaměřena nejméně 3x, doporučuje se však 4x, z důvodu možnosti vyloučení odlehlého měření [1].



Obrázek 9: Schéma měření zajišťovacích značek [1]

## 4 ANALÝZA SOUČASNÝCH METOD MĚŘENÍ PPK

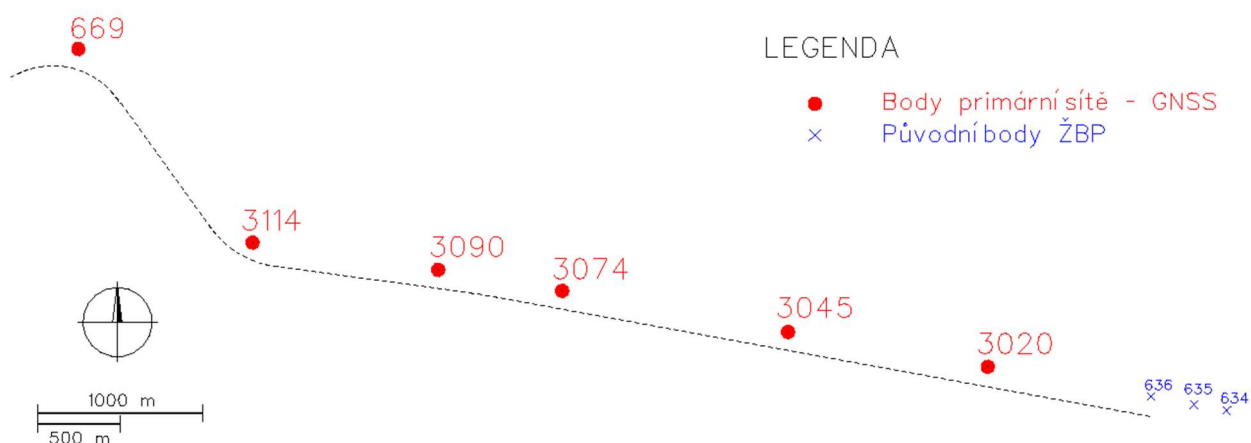
V následujících podkapitolách budou postupně analyzovány výsledky měření jednotlivých fází, které vedou k realizaci prostorové polohy koleje.

### 4.1 Analýza měření primárního bodové pole

Metoda měření primárního bodového pole s analýzou jeho vnitřní přesnosti a následnou transformací do SŽDC-REF.

#### 4.1.1 Popis použitých metod měření, měřidel a dat

Dle dostupných materiálů nejsou či nebyly v minulosti zřízeny primární body v nejbližším okolí stavby. Nejbližší bod primární sítě se nachází cca 2,3 km západním směrem od analyzovaného úseku. Z tohoto důvodu se přistoupilo k vybudování 6 nových bodů PS na polygonových bodech stávající sítě. Tyto body byly realizovány dvojicí měřením s minimálním časovým odstupem 2 hodin metodou GNSS-RTK s 300sekundovou observací a centrací na stativu.



Obrázek 10: Rozmístění bodů primární sítě a původních bodů ŽBP [Autor]

#### Přístrojové vybavení

Pro měření bylo využito kombinace aparatury Leica Viva CS10 a přijímače Leica GS08plus.

Statická a rychlá statická metoda – Post processing		
	Statická	Kinematická
Horizontální	3 mm + 0.5 ppm	-
Vertikální	6 mm + 0.5 ppm	-
V reálném čase		
Horizontální	5 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm
Vertikální	10 mm + 0.5 ppm	20 mm + 1 ppm

Tabulka 2: Přesnost přijímače Leica GS08 plus [31]



Obrázek 11: Leica CS10+GS08plus [31]

#### 4.1.2 Stanovení vnitřní přesnosti měření GNSS

Dle [10] je základní směrodatná souřadnicová odchylka ve dvou kolmých směrech souřadnicových os Y a X rovna

$$\sigma_{x,y(GPS)} = 5mm \quad (4.1)$$

základní směrodatná odchylka výsledku měření z 5 min. observace v horizontální rovině je stejná ve dvou kolmých směrech souřadnicových os

$$\sigma_{xi,yi(GPS)} = \sigma_{x,y(GPS)} \cdot \sqrt{2} = 7mm \quad (4.2)$$

mezní odchylka v jednotlivé souřadnici ve dvojici měření nesmí překročit v horizontální složce hodnotu

$$\delta_{xi,yi(GPS)dvojice} = \sigma_{xi,yi(GPS)} \cdot \sqrt{2} \cdot 2 = 20mm \quad (4.3)$$

Dále byla vypočtena střední souřadnicová chyba

$$m_{y,x} = \sqrt{\frac{m_y^2 + m_x^2}{2}} \quad (4.4)$$

a střední polohová chyba

$$m_p = \sqrt{m_y^2 + m_x^2} \quad (4.5)$$

Bod	dY [mm]	dX [mm]	dZ [mm]	Časový rozestup měření [h]	myx [mm]	mp [mm]
3020	-2	-7	14	2:14:01	5	7
3045	-1	2	7	2:14:10	2	2
3074	-3	-3	-4	2:12:28	3	4
3090	-2	-16	-36	2:11:57	11	16
3114	-2	-4	-26	2:11:13	3	4
669	-4	-1	-41	1:53:51	3	4

Tabulka 3: Vyhodnocení dvojic měření

Dle výše uvedených výsledků, žádný ze souřadnicových rozdílů nepřekračuje hodnotu  $\delta_{xi,yi(GPS)dvojice} = 20mm$ . Pro úplné popsání souboru měření byla dále vypočtena střední chyba jednoho měření z dvojic

$$m_y = \sqrt{\frac{\sum d_y^2}{2n}} = 1,8 mm \quad (4.6)$$

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum d_x^2}{2n}} = 5,3 mm \quad (4.7)$$

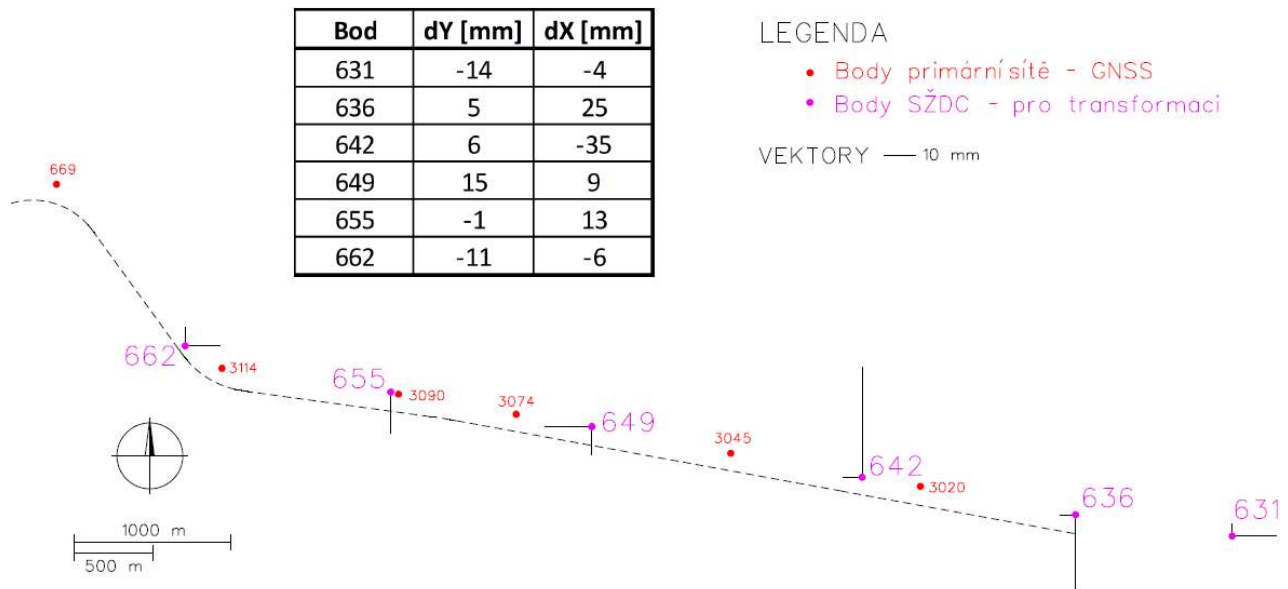
$$m_{x,y} = \sqrt{\frac{m_y^2 + m_x^2}{2}} = 3,9 \text{ mm} \quad (4.8)$$

a střední chyba aritmetického průměru

$$m = \frac{m_{x,y}}{\sqrt{2}} = 2,8 \text{ mm} \quad (4.9)$$

#### 4.1.3 Transformace do původního ŽBP

Pro každou stavbu je vytvořen nový lokální transformační klíč, který byl v tomto případě vytvořen na bodech stávajícího bodové pole, kdy souřadnice v systému S-JTSK byly převzaty z dokumentace a souřadnice v systému ETRS89 byly nově zaměřeny správcem ŽBP a to přibližně 2 roky před realizací stavby.

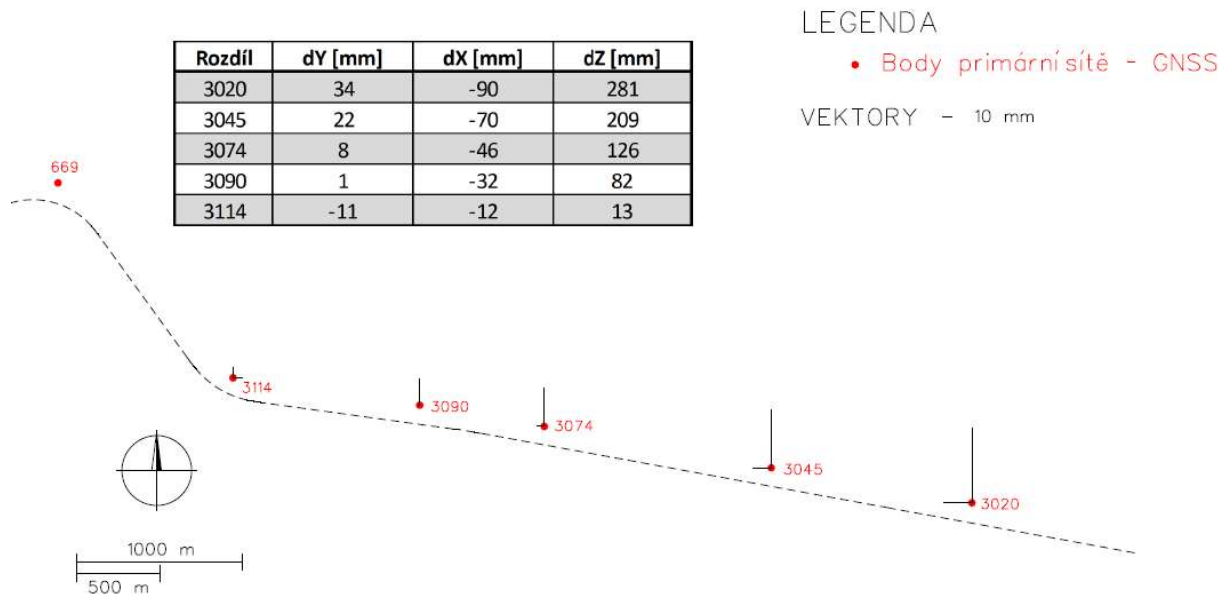


Obrázek 12: Schéma zbytkových chyb na identických bodech [Autor]

Na bodě 642 souřadnicová odchylka rovnoběžná s osou X (přibližně příčná hodnota ve směru koleje) dosahuje hodnoty -35 mm. Dle OŘ37 – Pokyny pro tvorbu lokální transformačních klíčů [4] kapitola 2, pokud polohové odchylky na identických bodech překračují hodnotu 0,030m, lze z důvodu minimalizace reziduí nerespektovat ustanovení uvedené ve vyhlášce č.31/1995 §12a, odst. 3 bod 9.11 přílohy. Dle této klauzule, byl výsledný lokální transformační klíč akceptován pro použití v daném úseku stavby.

#### 4.1.4 Transformace jednotným klíčem ČÚZK

Výsledné měření bylo exportováno jak lokálním transformačním klíčem, vytvořeném na již zmíněných bodech, tak jednotným transformačním klíčem ČÚZK verze CZ\_JT13. Níže uvedené porovnání těchto dvou klíčů nám ukazuje nejednotnost transformačních klíčů.



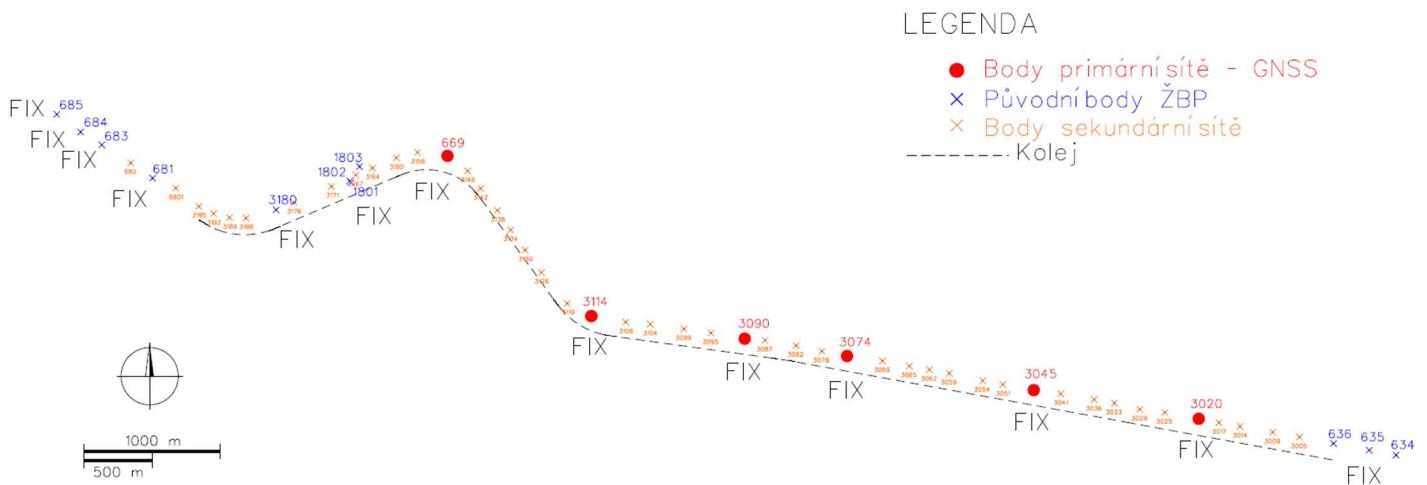
Obrázek 13: Souřad. rozdíly jednotného transf. klíče ČÚZK a lokálního klíče [Autor]

## 4.2 Analýza měření sekundárního bodové pole

V následujícím textu je popsáno měření a výpočet bodů sekundární sítě, dále je dán apriorní model přesnosti výpočtu, který je následně otestován na simulovaném úseku. Poté je provedena simulace vlivu změny polohy výchozí sítě na výpočet bodů sekundární sítě a porovnání výsledků výpočtu sekundární sítě různými software.

### 4.2.1 Popis použitých metod měření, měřidel a dat

Analyzovaný úsek byl na začátku a na konci navázán na stávající bodové pole ŽBP, dále při výpočtu jako fixní body sloužily body, z kterých byl zbudován přejezd a nástupiště v železniční zastávce a nově zřízené body primární sítě.



Obrázek 14: Výpočetní schéma bodů při výpočtu SS [Autor]

### Přístrojové vybavení

Pro měření polygonového pořadu byla použita totální stanice Leica TS12, tři dřevěné stativy, dva odrazné hranoly s trojnožkami.

Úhlová přesnost podle DIN 18 723	2" / 0.0006 g / 0.6mGon
Délková přesnost	±2 mm + 2 ppm/km
Dosah dálkoměru	3500 m
Dosah dálkoměru – bez hranol	400 m
Zvětšení dalekohledu	30x

Tabulka 4: Parametry Leica TS12 [32]



Obrázek 15: Leica TS12 [32]

#### 4.2.2 Stanovení přesnosti apriorního modelu

Dle [1] odstavec 5.3. je doporučena úhlová přesnost totální stanice na 1'' (0,3 mgon), délková na  $\pm(2+2\text{ppm})$ . Toto doporučení odpovídá teoretickému odvození dle [9], které vychází z přímého neorientovaného rovnostranného polygonového pořadu.

Požadovaná úhlová přesnost	Úhlová specifikace přístroje $\sigma_{\omega 0}$	
$\sigma_{\omega}$	1'' (0,3 mgon)	2'' (0,6 mgon)
0,3 mgon	min. $n=1$	min. $n=4$

Tabulka 5: Přehled počtu  $n$  opakování v kontextu požadovaného úhlové přesnosti [9]

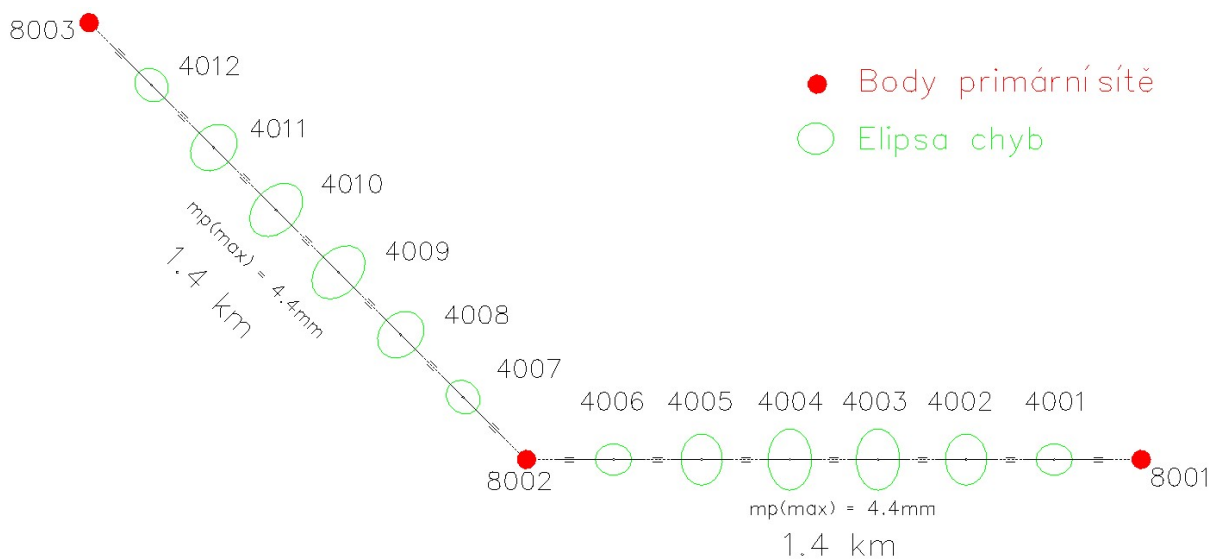
$$m_r^{IV} = \frac{6^{cc}}{\sqrt{4}} = 3^{cc} \quad (4.10)$$

Měření bylo realizováno dle kapitoly 4.2.1. přístrojem o úhlové přesnosti 2'' (0,6 mgon) a, dle tabulky 5, měření tedy proběhlo ve 4 skupinách.

#### 4.2.3 Aplikace teoretického modelu přesnosti na řešený úsek

Dle *kapitol 3.1 a 3.2* je stanovena vzdálenost mezi body PS na 600 až 1300 m a mezi body SS na 120 až 300 m. Pro ověření, zda výše zmíněný teoretický výpočetní model při volbě apriorní přesnosti měření (4.10)  $m_r = 0,0003^g$ ,  $m_s = 2 \text{ mm} + 2\text{ppm}$  vyhovuje podmínce, že směrodatná polohová odchylka vypočtených bodů SS nepřekračuje hodnotu  $\bar{m}_p = 0,005 \text{ m}$  [1].

Pro tuto analýzu byly vytvořeny dva vetknuté přímé rovnostranné polygonové pořady o limitní délce 1,4 km, kde vzdálenost mezi stanovisky je 200 m. První z pořadů je rovnoběžný se souřadnicovou osou Y systému JTSK a druhý je natočen pod úhlem 45°. Tento pořad byl vyrovnán dle metody nejmenších čtverců (MNC) v programu G-net.



Obrázek 16: Schéma výpočtu teoretického modelu [Autor]



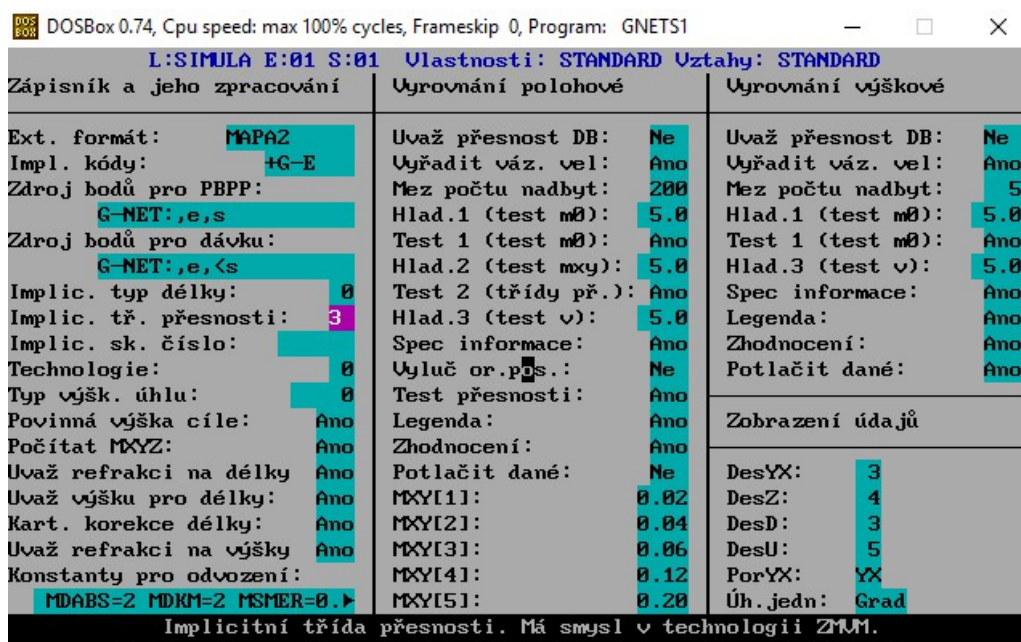
Bod	Šikmý úsek			Bod	Rovný úsek		
	mY [mm]	mX [mm]	mP [mm]		mY [mm]	mX [mm]	mP [mm]
4001	2	2.0	2.8	4001	2.1	1.8	2.8
4002	2.7	2.7	3.8	4002	2.4	3.0	3.8
4003	3.1	3.1	4.4	4003	2.5	3.6	4.4
4004	3.1	3.1	4.4	4004	2.5	3.6	4.4
4005	2.7	2.7	3.8	4005	2.4	3.0	3.8
4006	2	2.0	2.8	4006	2.1	1.8	2.8

Tabulka 6: Hodnoty středních chyb bodů teoretického modelu

Z výsledků výpočtu můžeme potvrdit že  $m_{p(\max)} < \bar{m}_p$ , a proto teoretický model pro následující výpočty můžeme použít.

#### 4.2.4 Nastavení parametrů výpočtu MNC

Výpočet bodů sekundární sítě byl proveden v programu G-net v02.09, který je vhodný pro výpočet sítí dle MNC. Program je naprogramován v prostřední DOS, a tedy ho je nutné spouštět přes DOSBox ver.074, který toto prostředí simuluje.



Obrázek 17: G-net, nastavení vlastností výpočtu [Autor]

##### 4.2.4.1 Vliv volby apriorní přesnosti měřených veličin na výsledky vyrovnání

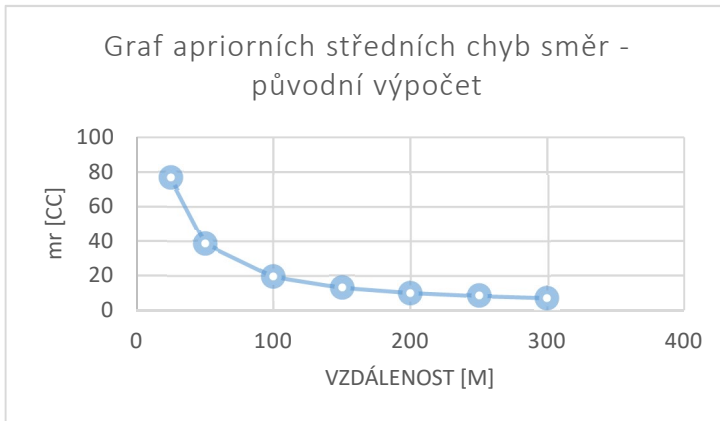
Při výpočtu sekundární sítě s použitím apriorního modelu přesnosti výpočtu sítě, byly totožně zvoleny fixní body výpočtu jako v případně původního výpočtu a apriorní střední chyby byly voleny dle přesnosti přístrojového vybavení a počtu skupin v kolika bylo měřeno viz kapitola 4.2.2.

$$m_r = 0,0003^g \quad m_s = 2 \text{ mm} + 2\text{ppm}$$

Z dostupných původních protokolů výpočtu polohového vyrovnání, je zřejmé že vstupující apriorní střední chyby byly voleny odlišně. Hodnoty apriorních středních chyb směrů jsou proměnlivé a jejich velikost se zmenšuje se zvětšující se vzdáleností viz vzorec (4.11). Je zde započtena nejistota centrace cíle.

$$m_{r(\text{Původní})} = \sqrt{(m_{\text{Odect}})^2 + \left(\frac{m_p}{s} \cdot \frac{200}{\pi}\right)^2} \quad (4.11)$$

$$m_p = 0,003m \quad m_{\text{Odect}} = 0,0003g$$



Typ	CB1	CB2	CB3	Hodnota	AprStr
10 S	9014	636	ST0002	315.8347	<u>68.2</u>
11 D	9014	1001		19.524	3.1
12 S	9014	1001	ST0002	122.9016	<u>97.9</u>
13 D	9014	1002		81.534	3.2
14 S	9014	1002	ST0002	134.4399	<u>23.6</u>
15 D	9013	636		83.192	3.2
16 S	9013	636	ST0003	366.8483	<u>23.2</u>
17 D	9013	1001		36.449	3.1
18 S	9013	1001	ST0003	376.6242	<u>52.5</u>
19 D	9013	1002		26.024	3.1
20 S	9013	1002	ST0003	181.4993	<u>73.4</u>

Obrázek 19: Graf vývoje středních chyb [Autor]

Obrázek 18: Ukázka z protokolu G-net/původní výpočet [Autor]

#### 4.2.4.2 Porovnání výsledků apriorního modelu sekundární sítě s původními výsledky výpočtu

Jako kritérium vyhovujícího výpočtu byla posuzována jednotková střední chyba aposteriorní  $m_0$  s její testovací kritickou hodnotou chí-kvadrátu. Oba parametry nám nabízí výsledný protokol z programu G-net.

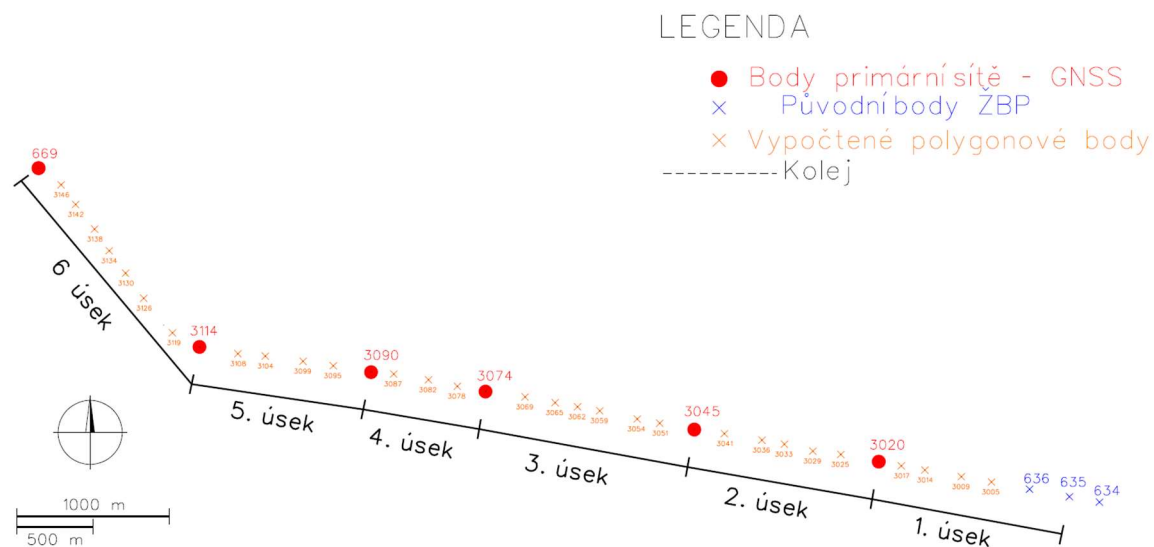
	Výpočet	$m_0$	Kritická hodnota	Vyhovuje
<b>S</b> uvážením nejistoty centrace cíle	Původní	0,8831	1,1285	Ano
<b>Bez</b> uvážením nejistoty centrace cíle	Apriorní $m_r^{IV} = 3^{cc}$	2,1056	1,1285	Ne

Tabulka 7: Porovnání aposteriorní střední chyby vůči její kritické hodnotě

U původního výpočtu byly odlišně voleny apriorní střední chyby směrů, tato skutečnost vedla k nesprávnému vyhodnocení výpočtu jako vyhovující. Souřadnicové rozdíly obou výsledků výpočtů, v analyzovaném úseku, se liší minimálně, a proto výsledné souřadnice sekundární sítě byly vzaty z výpočtu jednotlivých úseku mezi body PS měřené metodou GNSS-RTK.

#### 4.2.4.3 Výpočet metodou vetknutých polygonových pořadů

Výpočet byl rozdělen na 6 úseků mezi body PS. Jednotlivé úseky jsou vypočteny jako neorientované vetknuté pořady v programu G-net. Jednotková apriorní chyba aposteriorní ve všech případech vyhověla kritické chybě chí-kvadrát.



Obrázek 20: Schéma výpočtu po jednotlivých úsecích [Autor]

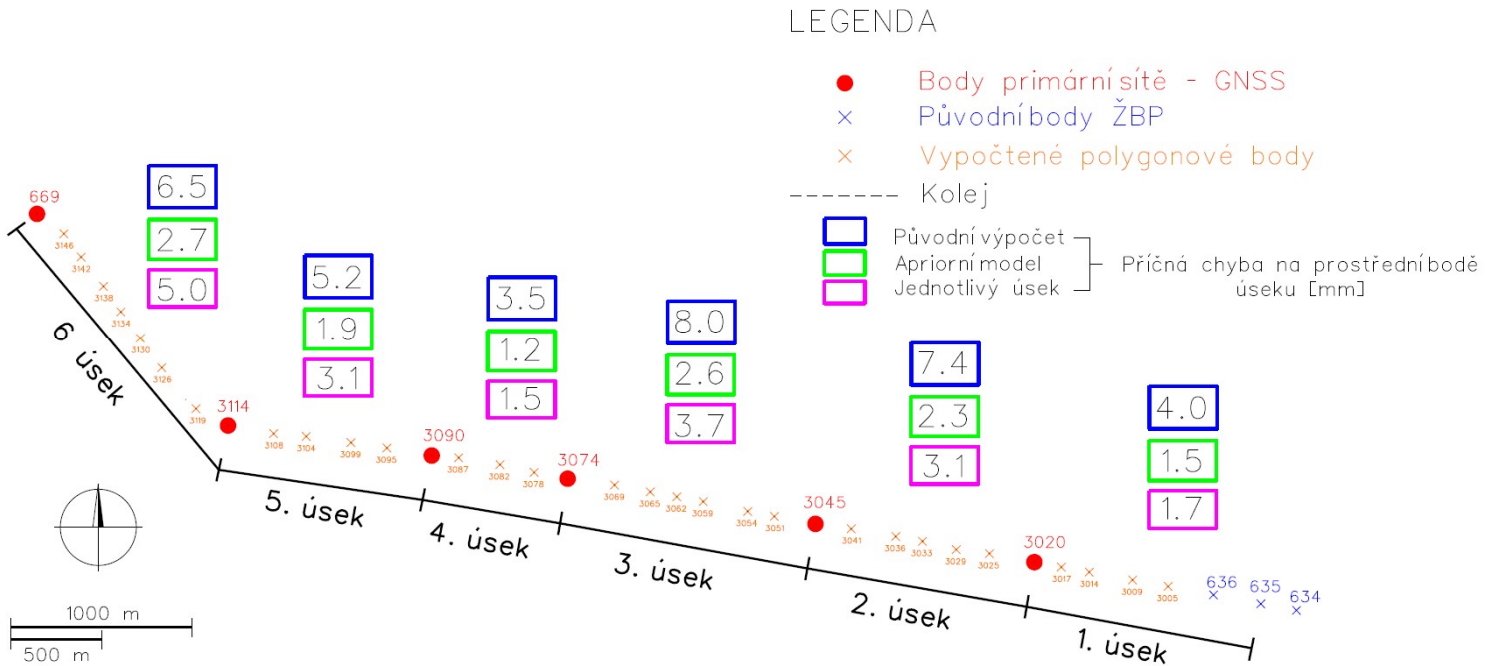
Úsek	m0	kritická	vyhovuje
1	1.0261	1.3923	Ano
2	0.8172	1.4176	Ano
3	0.5339	1.3923	Ano
4	0.6068	1.488	Ano
5	0.2151	1.4487	Ano
6	1.0346	1.3711	Ano

Tabulka 8: Vyhodnocení střední jednotkové aposteriorní chyby vůči její kritické hodnotě

Z výše uvedeného vyplývá že chyba se nejspíše nachází na konci měřeného úseku. Tato skutečnost nebyla dále rozebírána, a proto následná analýza výpočtu se vztahuje pouze po bod primární sítě 669.

#### 4.2.4.4 Vliv volby apriorních přesností měřených veličin na přesnost v příčném směru

Dle [9], je odvozeno, že maximální střední příčná chyba nabývá uprostřed měřeného úseku. Z výsledků výpočtu jednotlivých úseků vyplývá, že při nasazení apriorní přesnosti modelu, vedou výsledky střední příčné chyby na prostředním bodě počítaných úseků k jednoznačnému zlepšení.



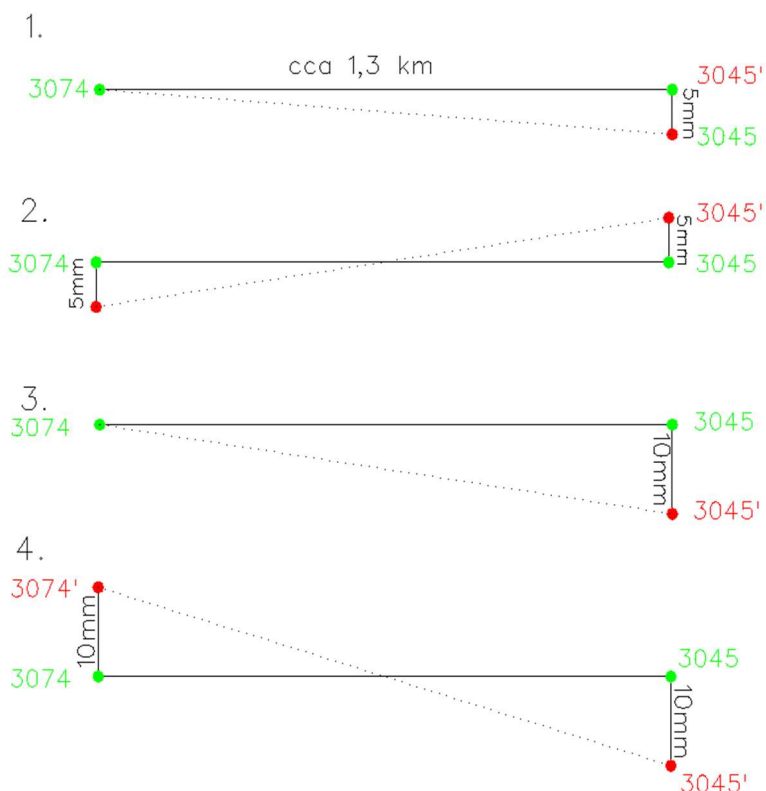
Obrázek 21: Porovnání středních příčných chyb v jednotlivých úsecích [Autor]

Tato skutečnost je způsobena tím, že nominální hodnoty apriorních středních chyb směrů, z nichž se počítají váhy a po sléze jednotlivé střední chyby pro jednotlivá měření, jsou menší než při uvažování apriorních středních chyb s vlivem centrace.

#### 4.2.5 Vliv změny polohy primární sítě

Při tomto kontrolním výpočtu byl vybrán 3.úsek o délce 1,3 km mezi body primární sítě 3045 a 3075. Na daném úseku byl simulován posun v příčném směru bodů primární sítě určené metodou GNSS o hodnotu jejich standartní příčné odchylky  $\sigma_{x,y(GNSS)} = 5 \text{ mm}$  a jejího dvojnásobku. Výpočet byl koncipován jako vetknutý neorientovaný polygonový pořad a byl vyrovnán dle MNČ s nasazením apriorní střední chyby směrů  $m_r = 3^{cc}$  a délek  $m_s = 2 + 2ppm$ .

1. Varianta	dY [mm]	dX [mm]
3051	0	-5
3054	0	-4
3059	-1	-3
3062	0	-3
3065	0	-2
3069	0	-2
2. Varianta	dY [mm]	dX [mm]
3051	-1	3
3054	0	2
3059	-1	0
3062	-1	1
3065	0	2
3069	0	4
3. Varianta	dY [mm]	dX [mm]
3051	0	-9
3054	0	-8
3059	0	-6
3062	0	-5
3065	0	-4
3069	0	-2
4. Varianta	dY [mm]	dX [mm]
3051	0	7
3054	0	5
3059	0	2
3062	0	1
3065	0	3
3069	0	6



Obrázek 22: Schéma rozložení simulovaných odchylek [Autor]

Obrázek 23: Odchylky SS z vlivu změny polohy výchozí sítě [Autor]

Z výsledků je patrné lineární vytrácení odchylek. Cílem tohoto postupu bylo ověření neměnnosti vypočtených bodů sekundárního bodového pole v mezích mezních odchylek souřadnicových rozdílů  $\pm 10 \text{ mm}$ , které jsou dány dle ČSN 73 0420-2 tabulka 16 [7].

#### 4.2.6 Porovnání výsledků výpočtu sekundární sítě při použití různého software

V této analýze byly vybrány 3 výpočetní programy, které jsou hojně rozšířeny při výpočtech v železniční geodézii, a to G-net v.02.09 [34], Kokeš/K-net(Gamma)/ v.13.13 [35], Groma v.11 [33] a v poslední řadě byl výpočet proveden ručně v programu Groma v.11. Výpočet byl proveden opět na 3. úseku mezi body 3045 a 3074 jako vetknutý neorientovaný polygonový pořad s identickým nastavením apriorních středních chyb směrů a délek u všech programů ( $m_r = 3^{cc}$ ,  $m_s = 2 + 2ppm$ ).

Program	Apriorní jednotková střední chyba	Aposteriorní jednotková střední chyba	Průměrná souřadnicová chyba
Kokeš /K-net(Gamma)	4	3.98	-
G-net	1	0.53	0.0030 m
Groma	1	1.11	0.0029 m

Tabulka 9: Porovnání apriorních aposteriorních jednotkových středních chyb

Při samotném výpočtu se vyskytli některé odlišnosti:

- Při výpočtu v programu K-net(Gamma)/Kokeš nelze nastavit jednotková střední chyba apriorní na hodnotu 1, jak bylo nastaveno ve zbylých výpočetních programech. Dle návodu se apriorní jednotková střední chyba zjišťuje automaticky na základě jednotkových středních chyb měření jdoucích do vyrovnání (směr a délka). Automaticky se tedy hodnota nastavila na hodnotu 4.
- V programu Groma a K-net(Gamma)/Kokeš je potřeba do vyrovnání vstupovat již se zpracovaným zápisníkem měření. Oproti programu G-net kde vstupují do vyrovnání všechny naměřené hodnoty.

BOD	G-net/vázaná síť		G-net/vázaná síť		G-net/vázaná síť		G-net/vázaná síť		G-net/vázaná síť	
	-		-		-		-		-	
	G-net/vázaná síť	Kokeš/vázaná síť	Groma/vázaná síť	Groma/manuálně	G-net/volná síť					
	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]	dY [mm]	dX [mm]
3051	0	0	3	-1	0	0	-1	0	2	-1
3054	0	0	5	-1	0	0	-1	0	1	-1
3059	0	0	7	-1	1	0	0	1	1	0
3062	0	0	6	-1	1	0	1	0	0	0
3065	0	0	2	0	0	0	0	0	-1	0
3069	0	0	2	0	0	0	0	1	-2	1

Tabulka 10: Analýza výsledků vyrovnání výpočetních programů

Výpočet v jednotlivých programech byl proveden jako vázaná síť, tj. při výpočtu neměnných (fixních) krajních bodů primární sítě. Následně byly vyrovnané souřadnice porovnány s vyrovnanými souřadnicemi programu G-net/vázaná síť.

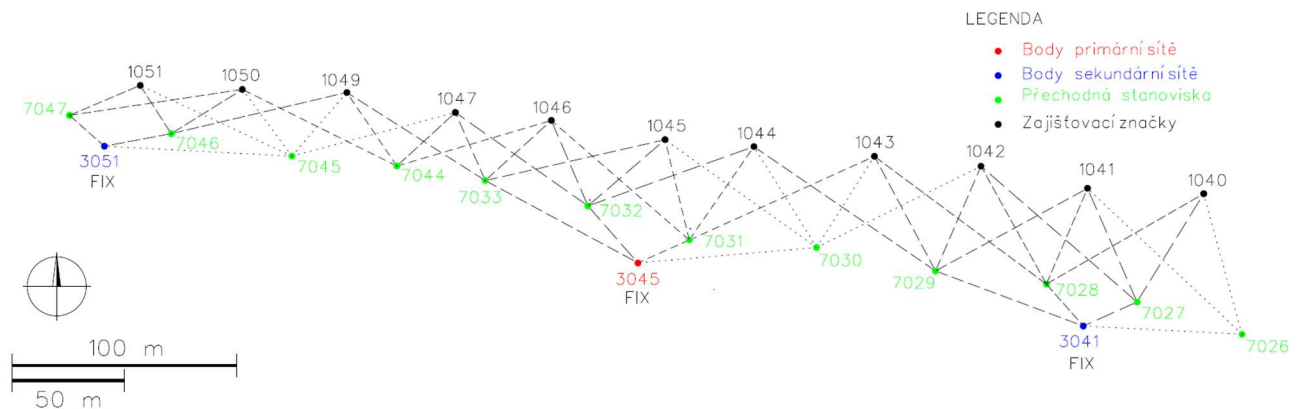
Z výsledků souřadnicových rozdílů v tabulce 11 si můžeme všimnouti značně odlišných výsledků u programu Kokeš/vázaná síť, a to v podélném směru, které uprostřed úseku nabývají hodnoty 7 mm. Při porovnání vzdáleností vypočtenou ze souřadnic fixních bodů a měřenou je difference vzdáleností 7 mm, která nám figuruje uprostřed úseku vypočteného programem Kokeš/vázaná síť. Tuto nesrovnalost se nepodařilo objasnit, z důvodů neznalosti detailů použitých algoritmů v tomto software.

### 4.3 Analýza měření zajišťovacích značek

V následující kapitole je popsán průběh měření zajišťovacích značek, jsou odvozena kritéria přesnosti, s kterými je potřeba měření provést. Dále je provedena simulace vlivu změny polohy bodů výchozí sítě na zajišťovací značky a simulace vlivu změny počtu opakovaní určení zajišťovací značky.

#### 4.3.1 Popis použitých metod měření, měřidel a dat

Měření zajišťovacích značek proběhlo v souladu s metodickým návodem (viz kapitola 3.3), tudíž jednotlivá zajišťovací značka byla zaměřena ze čtyř přechodných stanovišek. Výpočet zajišťovacích značek proběhl pouze po bod 3114 primární sítě, z důvodu že následující úsek byl zadán jiné firmě a data nebyla dodána.



Obrázek 24: Schéma výpočtu zajišťovacích značek [Autor]

#### 4.3.2 Teoretický model apriorní přesnosti pro výpočet zajišťovacích značek

Z předpisu [5], kde příčná odchylka mezi dvěma ZZ nesmí překročit hodnotu

$$\delta_{\Delta q} = 5mm \quad (4.12)$$

Dle [9] je odvozena apriorní přesnost vodorovného směru při délce záměry 100 m mezi zajišťovacími značkami s jakou je potřeba měřit:

Mezní odchylka v příčném směru jedné dílčí zajišťovací značky z dvojice

$$\delta_q = \frac{\delta_{\Delta q}}{\sqrt{2}} = 3,5mm \quad (4.13)$$

a z toho standardní odchylka v příčném směru získaná pomocí koeficientu spolehlivosti  $t = 2$

$$\sigma_q = \frac{\delta_q}{t} = 1,75mm \quad (4.14)$$

při uvážení standardní odchylky centrace přístroje a cíle do 0,5 mm bude standardní odchylka vodorovného směru měřeného na zajišťovací značku, při délce záměry  $S=100$  m

$$\sigma_r = \frac{\sigma_q}{S} = \frac{0,00175}{100} = 11^{cc} \quad (4.15)$$

Při uvážení přesnosti centrace přístroje a cíle je apriorní hodnota vodorovného směru

$$m_{r(ZZ)} = 10^{cc} \quad (4.16)$$

Střední chyba délky je volena  $m_s = 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$

### 4.3.3 Porovnání výsledků původního výpočtu s teoretickým modelem

Nejprve byl kontrolně vypočítán původní zápisník měření s původními souřadnicemi daných bodů PS a SS, z důvodu opakovatelnosti výpočtu. Při prozkoumání původního protokolu o polohovém vyrovnání ZZ, se opět objevují měnicí se apriorní chyby směřů, obdobně jako v kapitole 4.2.3.1. Jako kritérium vyhovujícího výpočtu byla porovnána jednotková střední chyba aposteriorní  $m_0$  s její kritickou hodnotou.

	Výpočet	$m_0$	Kritická hodnota	Vyhovuje
S uvážením nejistoty centrace cíle	Původní	0,4464	1,0365	Ano
Bez uvážení nejistoty centrace cíle	Apriorní $m_r = 10^{cc}$	1,0255	1,0488	Ano

Tabulka 11: Porovnání aposteriorní střední chyby vůči její kritické hodnotě

$$m_{0(\text{apost.})} = \sqrt{\frac{\sum vv}{n - k}} \quad (4.17)$$

Oba výpočty toto kritérium splňují. U původního výpočtu je jednotková střední chyba aposteriorní dokonce 2x menší než u výpočtu s nasazením apriorní přesnosti. Tento důsledek je způsoben volbou vyšších hodnot apriorních středních chyb směřů.

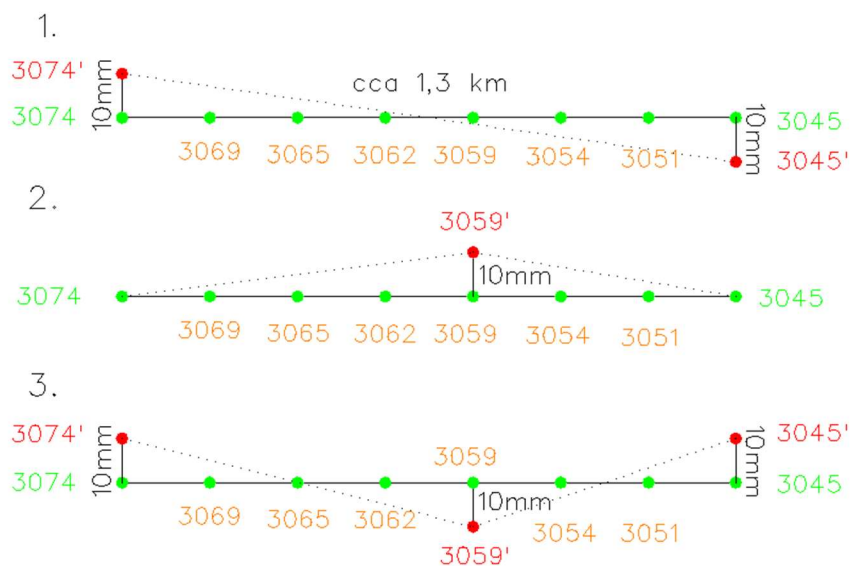
Dále byla porovnána střední polohová chyba jednotlivé zajišťovací značky uprostřed úseku mezi body, které jsou ve výpočtu neměnné (fixní body – primární síť, sekundární síť). Tato hodnota nemá překročit hodnotu danou (4.14). Všechny zajišťovací značky vyhovují tomuto kritériu.



#### 4.3.4 Vliv změny polohy bodů výchozí sítě na výpočet zajišťovacích značek

Na 3. úseku byla provedena simulace chyb na bodech primární a sekundární sítě. Tato simulace má za úkol otestovat robustnost a pevnost výpočtu modelu sítě zajišťovacích značek. Odchytky byly voleny 10 mm v různých směrech.

ZZ	1. Varianta	2. Varianta	3. Varianta
1044	-12	0	12
1045	-9	0	10
1046	-7	0	6
1047	-5	0	5
1049	3	1	3
1050	-1	0	1
1051	0	0	0
1052	0	-1	0
1053	0	-1	0
1054	0	0	0
1055	0	3	3
1056	0	6	-6
1057	0	9	-9
1058	0	10	-10
1059	0	10	-9
1060	0	7	-7
1061	0	4	3
1062	0	1	0
1063	0	0	0
1064	0	-1	0
1065	0	0	0
1066	0	1	0
1067	0	0	0
1068	-1	0	-1
1069	0	0	0
1070	1	0	1
1071	3	0	3
1072	5	0	5
1073	7	0	7
1075	12	0	12



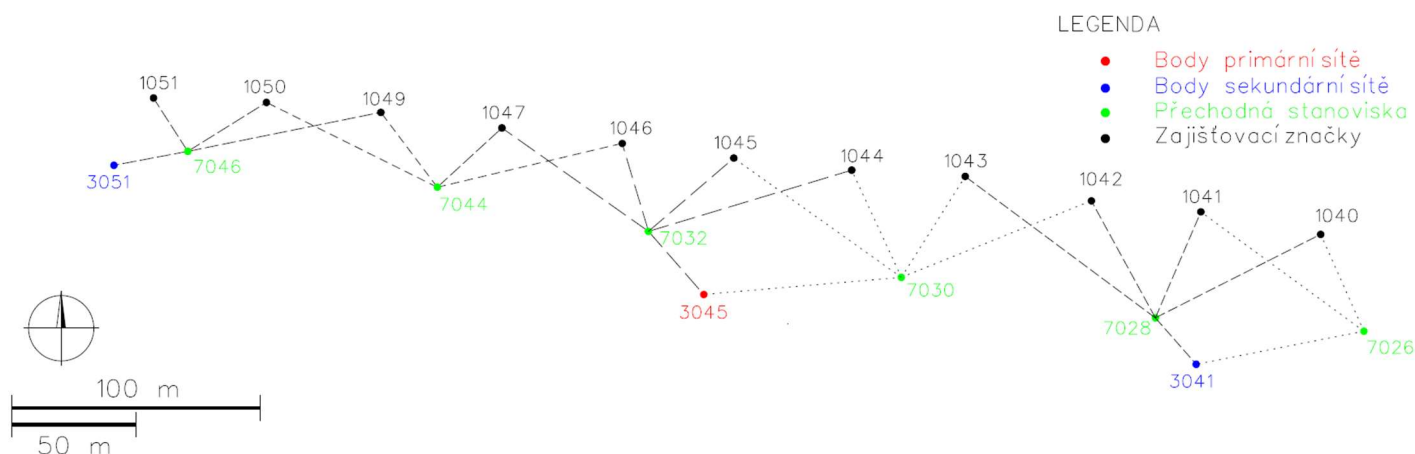
Obrázek 25: Schéma rozložení simulovaných odchylek [Autor]

Tabulka 12: Odchytky ZZ z vlivu změny polohy výchozí sítě [Autor]

Z výsledků je zřetelné lineární vytrácení odchylky polohy výchozí sítě na následujících 5 zajišťovacích značkách.

### 4.3.5 Vliv změny počtu opakovaného určení zajišťovacích značek

Měření ZZ metodou přechodných stanovisek ve 4 opakování (viz kapitola 3.3) je jak časově, tak fyzicky náročné. V následující simulaci je ze zápisníku měření ZZ vyloučeno každé druhé přechodné stanovisko, tak aby každá ZZ byla měřena pouze 2x. Následně je uskutečněna druhá simulace, kdy je vyloučeno každé třetí stanovisko, což má za důsledek, že polovina ZZ je měřena 2x a druhá polovina 3x. Výpočet byl proveden s nasazením apriorních středních chyb ( $m_{r(ZZ)} = 10^{cc}$ ,  $m_s = 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ ). Jako kritérium vyhovujícího výpočtu bude posuzována jednotková střední chyba aposteriorní  $m_0$  vůči její kritické hodnotě a zda střední příčná chyba nepřekročí hodnotu uvedenou ve vzorci (4.14)



Obrázek 26: Schéma s dvojitým měřením ZZ [Autor]

$m_{q(ZZi)} < \sigma_{q(ZZi)}$	Vyhovujících	Nevyhovujících	Úspěšnost
Originální měření – značka měřena 4x	108	0	100 %
Značka měřena 2x	88	20	78 %
Značka měřena 2x/3x	97	11	88 %

Tabulka 13: Vyhodnocení výsledků výpočtu ZZ při změně počtu určení

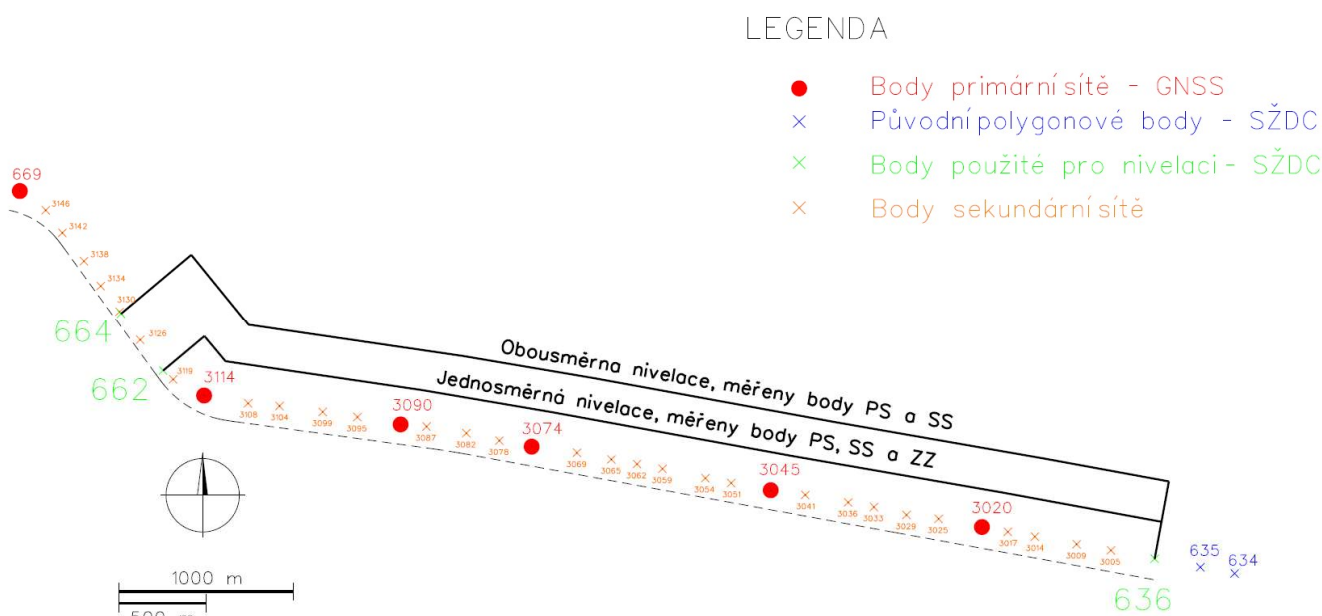
Ve všech případech jednotková střední chyba aposteriorní  $m_0$  nepřekročila kritérium kritické hodnoty. Z výše uvedené tabulky je patrné, že redukce počtu opakování měření při měření ZZ není možné, tudíž měření jednotlivé zajišťovací značky ze 4 přechodných stanovisek je opodstatněné.

#### 4.4 Výškové měření pro určení bodů ŽBP

V následující kapitole je popsán způsob zaměření výškové složky primární sítě, sekundární sítě a zajišťovacích značek. Tato měření jsou porovnávána s kritérii dány v OŘ37 a ČSN 730420-2. V kapitole 4.4.3. je provedeno praktické měření pro zjištění vlivu nesprávné délky laťového metru na měření.

##### 4.4.1 Popis použitých metod měření, měřidel a dat

Geodetickým základem pro nivelaci bodů ŽBP jsou všechny nivelační body ČSNS v okolí. V rámci analyzovaného úseku se v okolí žádný bod ČSNS nenacházel, a proto bylo výškové měření navázáno na původní ŽBP, konkrétně na body 636, 662 a 664. Pokud není v projektu ŽBP uvedeno jinak, je možné body PS, SS a ZZ nivelovat současně[or]. Měření PS a SS proběhlo 2x, jednou v rámci obousměrné nivelace mezi body 636 a 664, po druhé v rámci jednosměrné nivelace mezi body 636 a 662 při kterých byly měřeny i ZZ. Délka nivelačního pořadu je 6,125 km.



Obrázek 27: Schéma výškového měření [Autor]

##### Přístrojové vybavení

Pro měření nivelačních pořadů byl použit digitální nivelační přístroj Leica DNA 03, laminátová skládací kódová nivelační lať, dřevěný stativ a nivelační podložky.



Obrázek 28: Leica DNA03 + laminátová skládací lať [36]

Střední kilometrová chyba při měření na <b>standartní lat'</b>	1,0 mm
Střední kilometrová chyba při měření na <b>invarovou lat'</b>	0,3 mm
Střední kilometrová chyba při optickém měření	2,0 mm
Zvětšení dalekohledu	24x
Zorné pole	2°

Tabulka 14: Parametry přesnosti Leica DNA03 [36]

#### 4.4.2 Analýza výsledku výškového měření

Dle [1] by měly být výšky krajních bodů nivelovaných úseků ověřeny ze dvou bodů o známé výšce. V našem případě proběhlo ověření neměnnosti bodů kontrolním zaměřením 3 bodů původního ŽBP v průběhu obousměrné nivelace. Jejich výška byla porovnána s danou výškou z dokumentace. Podle vyhláška č. 31/1995 rozdíl výšek nesmí přesáhnout hodnotu

$$\Delta_{max} [mm] = 2,0 + 5,0\sqrt{R} \quad (4.18)$$

kde R je délka oddílu v kilometrech. Ve všech případech byla tato odchylka dodržena

Číslo bodu	Měřená výška [m]	Zadaná výška [m]	$\Delta$ [mm]	$\Delta_{max}$ [mm]	Vyhovuje
642	177,606	177,610	4	14	Ano
661	201,859	201,867	8	14	Ano
663	205,854	205,858	4	14	Ano

Tabulka 15 Výsledky měření pro ověření totožnosti a neměnnosti bodů

Dle [1] je stanovena odchylka obousměrné nivelace

$$\delta_{Tam-zpět} = 20 \cdot \sqrt{R} \quad (4.19)$$

Ve všech případech tato odchylka byla dodržena.

#### Posouzení obousměrného nivelačního pořadu

Směr	Vyhodnocení [m]	Mezi b. 636 a 664	Vyhodnocení [m]
636 > 664 (tam)	43.1492	Průměrné převýšení	43.1408
664 > 636 (zpět)	43.1324	Dané převýšení	43.1440
rozdíl	0.0168	rozdíl	0.0030
$\Delta = 20 \cdot \sqrt{R}$ [mm]	0.0500	$\Delta = 20 \cdot \sqrt{R}$ [mm]	0.0500
Vyhovuje	Ano	Vyhovuje	Ano

#### Posouzení jednosměrného nivelačního pořadu

Mezi b. 636 a 662	Vyhodnocení [m]
Měřené převýšení	41.1594
Dané převýšení	41.1740
rozdíl	0.0146
$\Delta = 20 \cdot \sqrt{R}$ [mm]	0.0660
Vyhovuje	Ano

Tabulka 16: Posouzení nivelačních pořadů

Výšky PS a SS byly určeny 2x v oboustranné nivelaci a 1x v jednostranné nivelaci současně se zaměřením ZZ. Výšky z oboustranné nivelace byly porovnány s výškami z jednostranné nivelace. Výsledné difference byly porovnány na kritérium dle (4.23), které je odvozeno s dosazením průměrné vzdálenosti mezi body SS. Toto kritérium souhlasí s ČSN 730420-2 tabulka 16 [7]. Žádná z hodnot toto kritérium nepřekročila

$$\delta_{Tam-zpět} = 20 \cdot \sqrt{R} \quad (4.20)$$

$$\delta_{Tam-zpět} = 20 \cdot \sqrt{0,2} = 9mm \quad (4.21)$$

$$\delta_{Tam} = \frac{\delta_{Tam-zpět}}{\sqrt{2}} = 6,3mm \quad (4.22)$$

$$H = \frac{\Delta H_{Tam} + \Delta H_{Zpět}}{2} \quad (4.23)$$

$$\delta_H = \frac{\delta_{Tam}}{\sqrt{2}} = 4,5 \approx 5mm \quad (4.24)$$

Výsledné výšky PS a SS byly získány váženým průměrem, přičemž výškám z oboustranné nivelace byla přidělena váha  $p = 2$  a výškám z jednostranné nivelace  $p = 1$ .

Dle [1] pokud jsou výšky ZZ určeny pouze jednosměrnou nivelací je nutné tyto výšky zkontrolovat s výsledky z terestrického měření. V [5] odstavec E.139 nesmí výšková odchylka na značce ze dvou měření překročit hodnotu (4.24)

$$\delta_{\Delta H(ZZ)} = 5mm \quad (4.25)$$

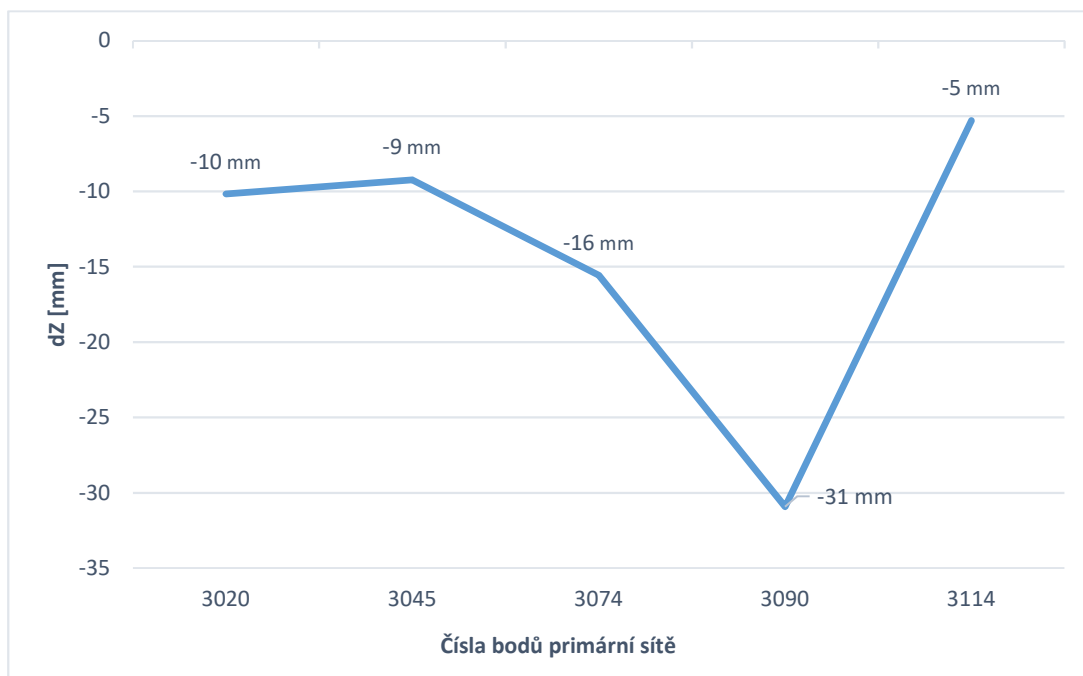
Dle tabulky 17 je toto kritérium splněno ve všech případech, a tedy výsledné výšky z nivelace zajišťovacích značek mohou být použity pro výpočet PPK

Počet	Vyhovujících	Nevyhovujících	Úspěšnost
114	114	0	100 %

Tabulka 17: Posouzení měření na hodnotu dle (4.24.)

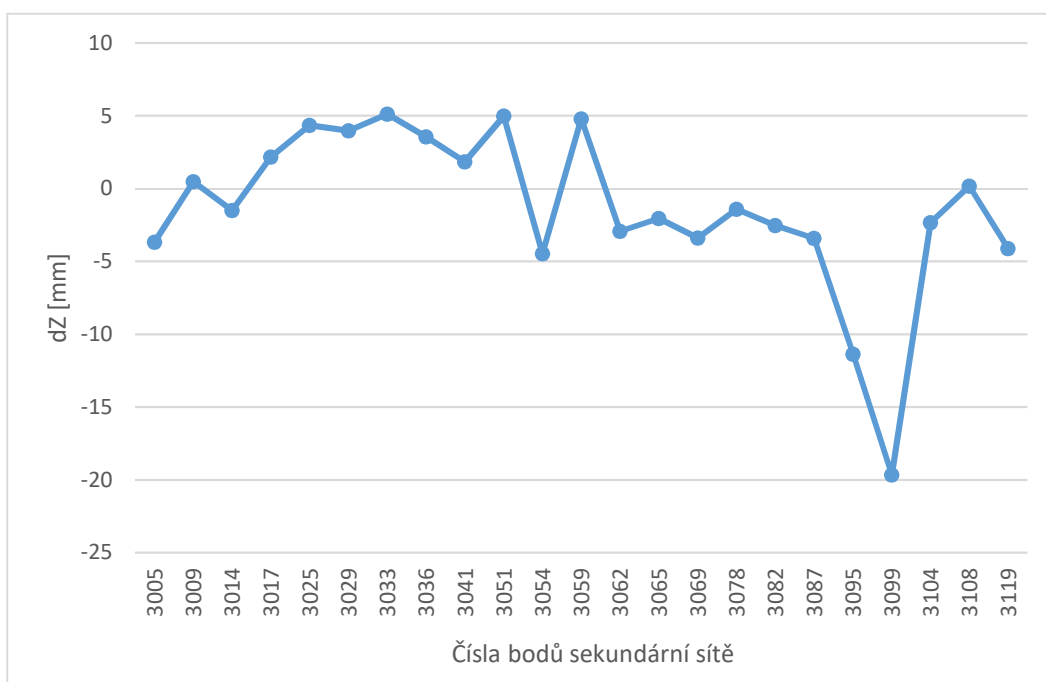
#### 4.4.3 Porovnání výšek získanými různými metodami měření

Při měření primární sítě metodou GNSS-RTK byly krom polohové složky, změřena i složka výšková. Porovnáním výšek získanými metodou GNSS a nivelací, si můžeme udělat relativní představu o přesnosti výškové složky GNSS v daném úseku měření. Výšky určené GNSS metodou byly nahrazeny výškami získanými z nivelace.



Obrázek 29: Graf rozdílů výšek PS měřených nivelací a technologií GNSS [Autor]

Během měření sekundární sítě pomocí metody polygonového pořadu v návaznosti na primární síť, byla metodou MNC určena taktéž výšková složka sekundární sítě. Toto měření bylo porovnáno z výsledků nivelace. Zjištěné rozdíly je možné přiřadit k nepřesnosti měření výšek polygonovým pořadem.

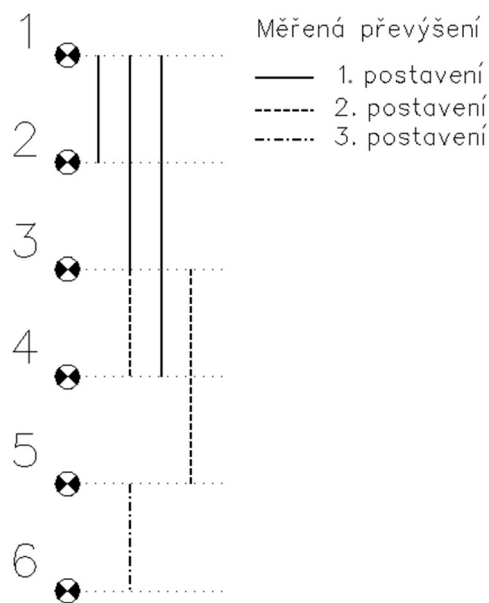


Obrázek 30: Graf rozdílů výšek SS měřených nivelací a trigo. metodou [Autor]

#### 4.4.4 Vliv nesprávné délky laťového metru na výsledky měření

Použitá skládací kódová nivelační lať, která byla použita pro nivelační měření analyzovaného úseku, byla otestována na výškové kalibrační základně Fakulty Stavební VUT. Tato základna umožňuje kalibraci nivelačních laťů až do 5 m délky a kalibrace probíhá na krátkou záměru, což umožňuje využít maximální přesnosti přístroje [37]. Pro tento účel byl použit přístroj stejného typu, jako při výškovém měření analyzovaného úseku.

##### Průběh měření



Tabulka 18: Schéma výškové kalibrační základny VUT FAST [Autor]

Měření probíhalo na 6 výškových značkách, které byly zaměřeny ze tří postavení přístroje. Odečet na laťi vždy proběhl 5x a před každým odečtem se lať nezávisle postavila na cílovou výškovou značku. Nejprve byla výšková základna zaměřena pomocí celistvé 3 m invarové laťe s kódovým čtením GPCL (v.č. 24349). Dále byla základna zaměřena zapůjčenou laťí GKNL (v.č. 1057) ve stejném sledu.

##### Vyhodnocení

Na každém bodě s danou laťí proběhlo 5 odečtů. Jednotlivé odečty byly otestovány pomocí McKayova testu, při známé střední chybě metody  $\bar{m} = 0,05 \text{ mm}$ , zdali se hodnoty nápadně neodchylují od průměrné hodnoty na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Podezřelá měření byla vyloučena z výpočtu. Následně byla pro každou lať vypočtena celková jednotková střední chyba (4.17), která byla otestována, zda se významně neliší od uvažované základní střední chyby metody  $\bar{m}$ .

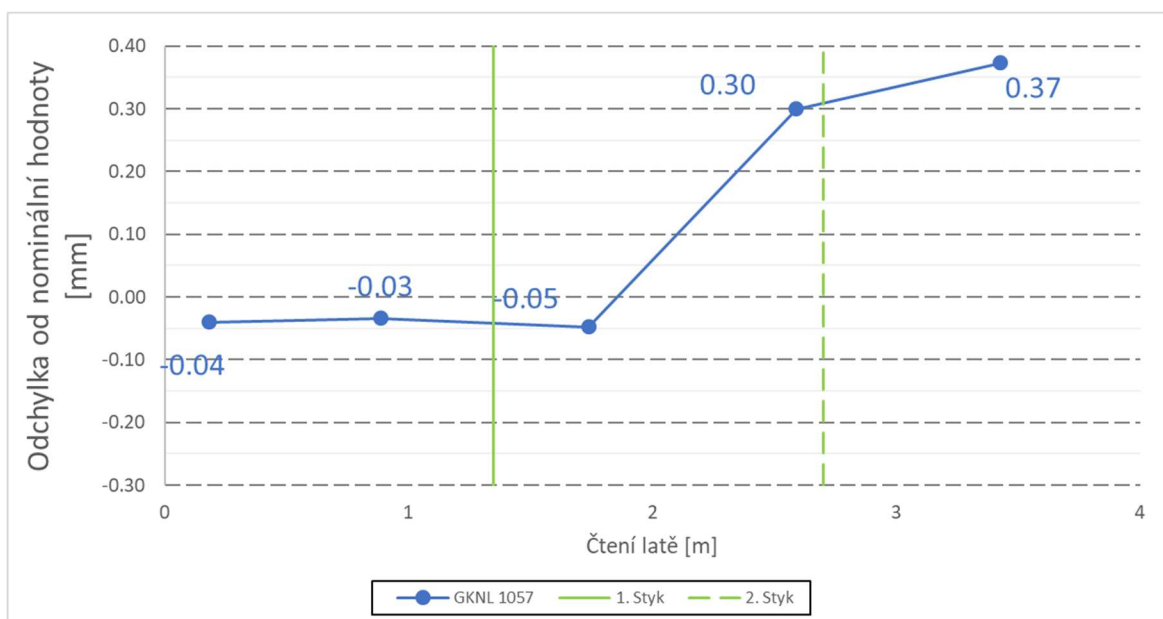
$$m = \sqrt{\frac{\sum vv}{n - k}} \quad (4.26)$$

Kde  $n$  je počet měření a  $k$  počet nutných měření. V následující tabulce si můžeme všimnout že ani jeden z výsledků nepřekračuje kritickou hodnotu.

Lať	Jednotková střední chyba [mm]	Kritická hodnota [mm]	Vyhovuje
Invarová lať VUT GPCL v.č. 24349	0,033	0,059	Ano
Laminátová lať GKNL v.č. 1057	0,027	0,064	Ano

Tabulka 19: Analýza středních chyb měření pro jednotlivé latě

Jelikož byla provedena nadbytečná měření při použití celistvé invarové latě GPCL, měření bylo vyrovnáno dle MNČ v programu G-net. Vyrovnané měření latí GPCL se prohlásilo za etalonážní a vůči němu byla porovnána měření s latí GKNL. Cílem testování bylo najít hodnoty odchylek, které se nachází nad jednotlivými styky dané latě.



Obrázek 31: Graf průběhu odchylek vůči jednotlivým stykům [Autor]

### Redukce zápisníku měření

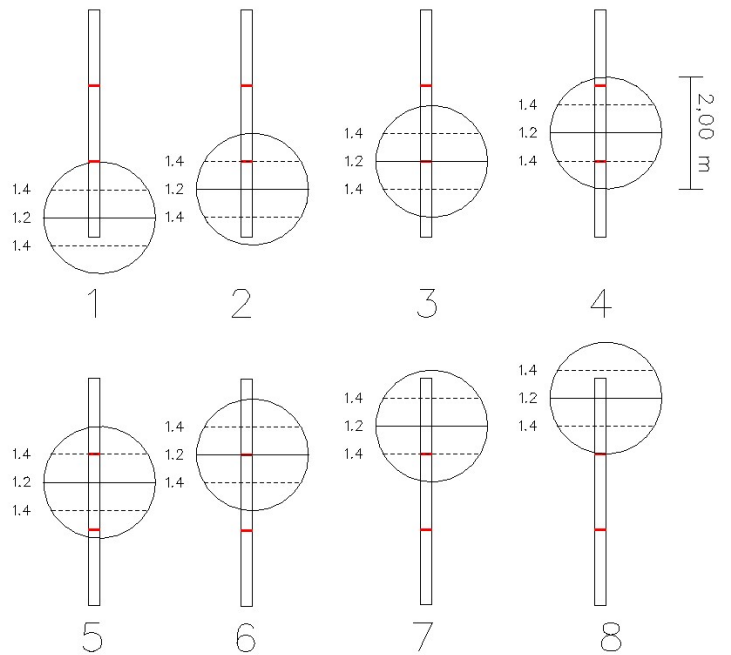
Nalezené odchylky ( $K1 = -0,05$  mm ,  $K2 = 0,37$  mm) nad jednotlivými styky testované latě, byly použity pro kalibraci zápisníku nivelačního měření z obousměrné nivelace, podle následujících pravidel dle [22]:

- Když je chyba na styku nad horní čtvrtinou zorného pole nebo na celém zorném polem, chyba nemá žádný vliv
- Když je chyba pod zorným polem, ovlivňuje měření celou svojí hodnotou
- Čím níž je chyba v zorném poli, tím víc působí na měření

Průměrná délka jedné záměry v nivelační sestavě vanalyzovaném úseku je 60m. Zorné pole nivelačního přístroje Leica DNA03 je dle dokumentace  $2^\circ$ . Tedy při jednotlivé záměře můžeme v zorném poli přístroje vidět cca 2 m nivelační latě. Dle této úvahy byla lať rozdělena na 8 úseků a zorné pole na jednotlivé čtvrtiny podle kterých se rozdělovali korekce.



	Interval [m]	Poměr Korekcí
1	0.00 - 0.35	$\theta$
2	0.35 - 0.85	1/4 K1
3	0.85 - 1.35	1/2 K1
4	1.35 - 1.85	3/4 K1 + 1/4 K2
5	1.85 - 2.20	K1 + 1/4 K2
6	2.20 - 2.70	K1 + 1/2 K2
7	2.70 - 3.20	K1 + 3/4 K2
8	3.20 - 4.00	K1 + K2



Obrázek 32: Rozdělení korekcí K1 a K2 na měřené převýšení [Autor]

Převýšení mezi nivelačními body 636 a 664 bylo vypočítané jak se zavedením korekcí tak i bez nich. Tyto výsledky byly porovnány s nominální hodnotou z dokumentace. Při zavedení korekce z nesprávné délky laťového metru došlo k jednoznačnému zlepšení odchylky od nominální hodnoty.

Odchylky od nominální hodnoty [mm]	
Měřené – bez korekce	3.2
Měřené – se zavedením korekcí	-0.1

Tabulka 20: Odchylky od nominální hodnoty bez/s zavedením korekcí

#### 4.5 Analýza měření a vyhodnocení prostorové polohy koleje

Prostorová poloha koleje je množina bodů osy koleje, v projektu jednoznačně určených polohopisnými souřadnicemi a nadmořskou výškou (S-JTSK, Bpv). Technologie měření PPK je založena na geodetickém měření konstrukčního uspořádání koleje (rozchod a vzájemné převýšení kolejnicových pásů), jehož výsledkem jsou podklady pro práci automatické strojní podbíječky [3]. Měření prostorové polohy koleje se provádí v několika fázích. V první fázi je provedeno první a další podbití při kterém je realizována úprava směrového a výškového uspořádání koleje pomocí automatické strojní podbíječky do projektované polohy osy koleje. (zdvih nivelety min. +10 mm až max. +50 mm, směrový posun max. 50 mm). Při větších hodnotách zdvihů a posunů, než jsou uvedené, je potřeba učinit několikanásobné podbití koleje. V druhé fázi je provedeno závěrečné podbití koleje před zřízením bezстыkové koleje. [6]

##### 4.5.1 Popis použitých metod měření, měřidel a dat

Poskytnutá měřená data jsou z druhé fáze, tedy před svařením a zřízením bezстыkové koleje. Měly by tedy odpovídat projektované prostorové poloze koleje v mezních odchylkách dané v ČSN 73 6360–2. Metoda měření se řídí předpisem M20/MP004 kapitola 4 [4]. Z každého přechodného stanoviska, je nutné zaměřit orientace na minimálně 4 vhodně rozložené ZZ do vzdálenosti 300 m. Sousední stanoviska mají vždy společnou orientaci. Měření podrobných bodů koleje probíhá kontinuálně v intervalu 10 m. Vzdálenost podrobných bodů od stanoviska nesmí překročit 150 m na každou stranu nebo délku k nejbližší orientaci. Návaznost jednotlivých měření je zabezpečena dostatečnými překryty podrobných bodů, jež se realizuje zaměřením tří po sobě jdoucích prahů z obou sousedních stanovisek. Následně se posoudí vůči sobě příčné odchylky a tyto body jsou využity při transformaci pro napojení jednotlivých stanovisek na sebe.

Měření PPK probíhalo pomocí kombinace automatizované robotické totální stanice Topcon GPT-9003A a měřícího vozíku GG-04.

Topcon GPT – 9003A	
Úhlová přesnost podle DIN 18 723	3" / 0.0010 g /1,0mGon
Délková přesnost	±(3 mm + 2 ppm/km)

Měřící vozík GG-04	
Rozchod	
Přesnost měření rozchodu	±0,2 mm
Rozsah měření	-25 mm až 50 mm
Příčný sklon	
Přesnost měření převýšení	±0,5 mm
Rozsah měření	± 350 mm

Tabulka 21: Parametry použitých přístrojů pro měření PPK

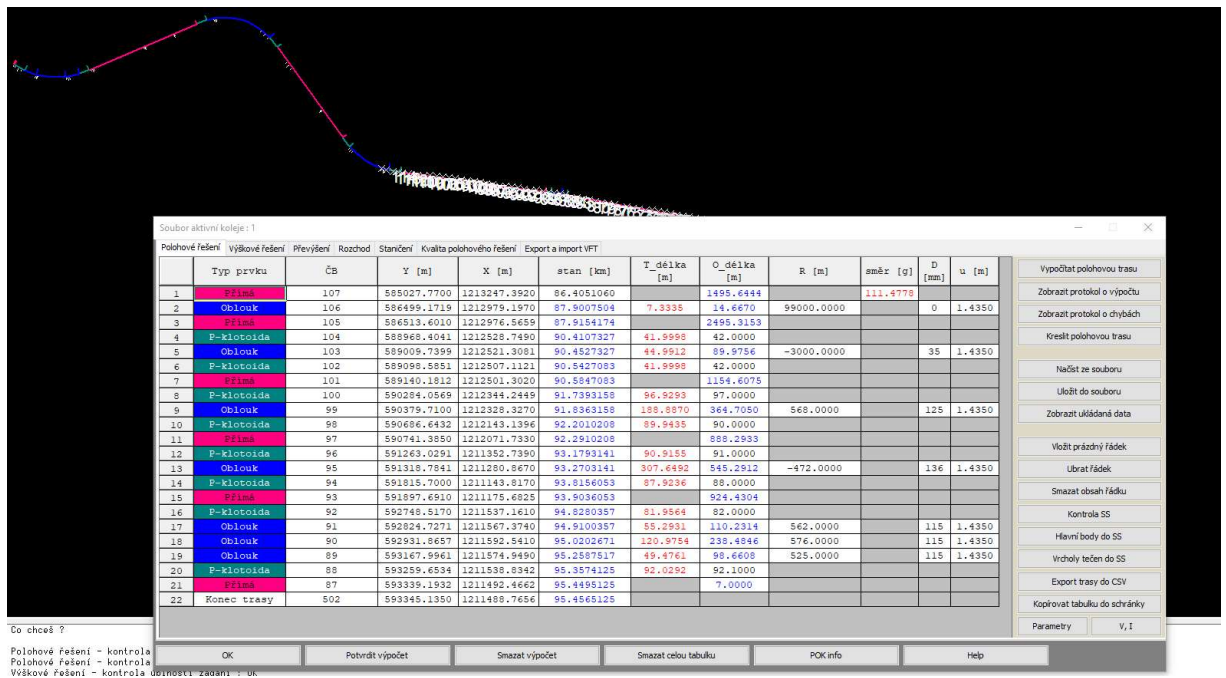


Obrázek 33: Topcon GPT-9003A [38] + Měřící vozík GG-04 [39]

Analyzovaný úsek měření je pouze po bod primární sítě 3114, dále měření probíhalo za pomoci jiné firmy a data nebyla poskytnuta.

#### 4.5.2 Výpočet PPK v programovém prostředí Kokeš Rail

Výpočet PPK proběhl v programu Kokeš ver.13 s nástavbou Rail, který umí zpracovat měření z totální stanice s kombinací dat z měřícího vozíku. Při založení projektu se do něj nahrají souřadnice ZZ, které slouží pro výpočet přechodných stanovisek. Dále je nutné nahrát do projektu projektované řešení koleje, vůči kterému se budeme měření počítat. Dané řešení bylo předáno od projektanta SŽDC a nainportováno do programu Kokeš/Rail ve formátu \*.vft.



Obrázek 34: Import projektu koleje, Kokeš/Rail [Autor]

Výpočet přechodných stanovisek při fixaci ZZ byl vypočten dle MNČ. Jednotlivá měření na ZZ byly posouzeny dle následujících kritérií [3], pokud některé z kritérií bylo překročeno, měření se vyloučilo.

- Oprava délky nesmí překročit 8 mm
- Oprava výšky nesmí překročit 6 mm
- Střední chyba orientačního posunu nesmí být větší jak 40<sup>cc</sup>
- Úhlová oprava v přepočtu k měřené délce nesmí být větší než 8 mm

Stanovisko

Měřená osnova

	ČB	Hz [g]	Vz [g]	SD [m]	VC [m]	o_u [cc]	o_d [mm]	o_h [mm]	d_Y [mm]	d_X [mm]	v	p
1	1	187.9952	100.7174	113.0640	0.100	3	3	-3	3	-1	✓	✓
2	1	187.9936	100.7180	113.0640	0.100	19	3	-1	3	-4	✓	✓
3	2	178.2674	101.7574	51.7420	0.100	-8	3	-6	3	1	✓	✓
4	2	178.2668	101.7576	51.7440	0.100	-2	1	-6	1	0	✓	✓
5	4	399.9178	100.7066	44.8690	0.100	7	0	-2	0	0	✓	✓
6	4	399.9184	100.7072	44.8690	0.100	1	0	-2	0	0	✓	✓
7	5	392.7566	100.2846	95.4260	0.100	-19	2	0	-3	-2	✓	✓
8	5	392.7538	100.2850	95.4270	0.100	9	1	0	-1	2	✓	✓
9	6	390.8798	100.1936	143.6060	0.100	-12	4	16	-5	-2	✓	✓
10	6	390.8784	100.1886	143.6080	0.100	2	2	4	-2	1	✓	✓

Střední chyby měření

a - délka [mm]	3
b - délka [mm]	2
m_směr [cc]	10

Vypočtené střední chyby

mxy [m]	0.0010
m_op [g]	0.0003
mz [m]	0.0043

Volné stanovisko

ČB	9001
Y [m]	585146.7643
X [m]	1213228.4690
Z [m]	166.6265
OP [g]	124.1047

Volné stanovisko MNČ  
 Volné stanovisko transformací  
 Pevné stanovisko

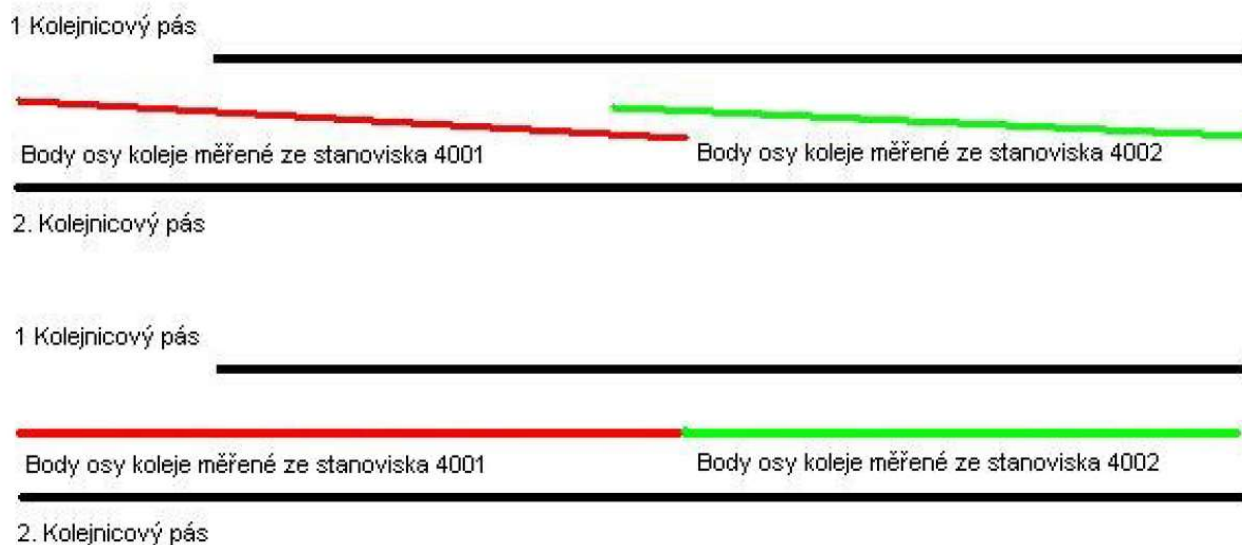
Výška stroje : 0

Načíst ze souboru  
Výpočet stanoviska  
Zobrazit stanovisko  
Uložit ST do souboru  
Zobrazit protokol  
Doplnit souřadnice  
Nahradiť souřadnice  
Vybrat SS pro uložení výpočtu  
Uložit orientační body do SS  
Zrušit obsah všech tabulek  
Nastavení zvyraznění  
Měření Souřadnice  
o\_u úhel o\_u délka  
OK Exit

Obrázek 35: Výpočet přechodového stanoviska, Kokeš/Rail [Autor]

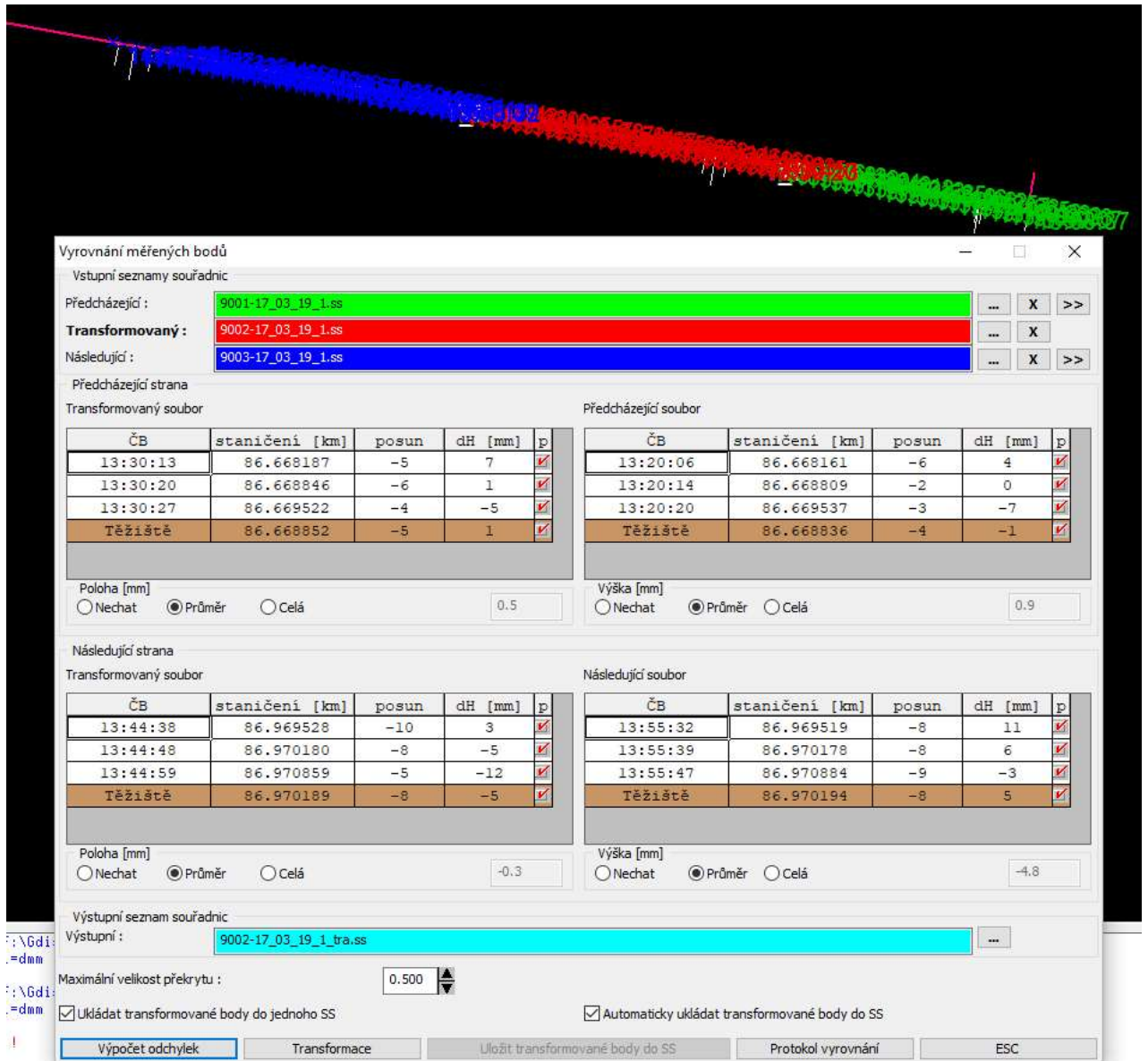
Po výpočtu souřadnic přechodných stanovisek se vypočtou souřadnice podrobných bodů pro každé měřené přechodné stanovisko.

Následně je potřeba vyrovnat vzájemně sousední stanoviska pomocí shodnostní transformace. Tato procedura zajistí návaznost osy mezi jednotlivými stanovisky.



Obrázek 36: Schéma transf. jednotlivých úseků pomocí shodnostní transf. [3]

Jako identické body jednotlivých stanovisek jsou voleny překrytové body na začátku a na konci jednotlivých úseků. Jako kritérium při vyrovnání sousedních stanovisek je posun mezi překrytovými body, který nesmí přesáhnout hodnotu 10 mm jak výškově, tak i polohově. Pokud některý z bodů překračuje hodnotu 10 mm vyloučí se výpočtu transformace. [3]



Obrázek 37: Transformace jednotlivých úseků Kokeš/Rail [Autor]

#### 4.5.3 Analýza výsledků původního výpočtu PPK a vypočteného se zavedením apriorního modelu dle ČSN 73 6360–2

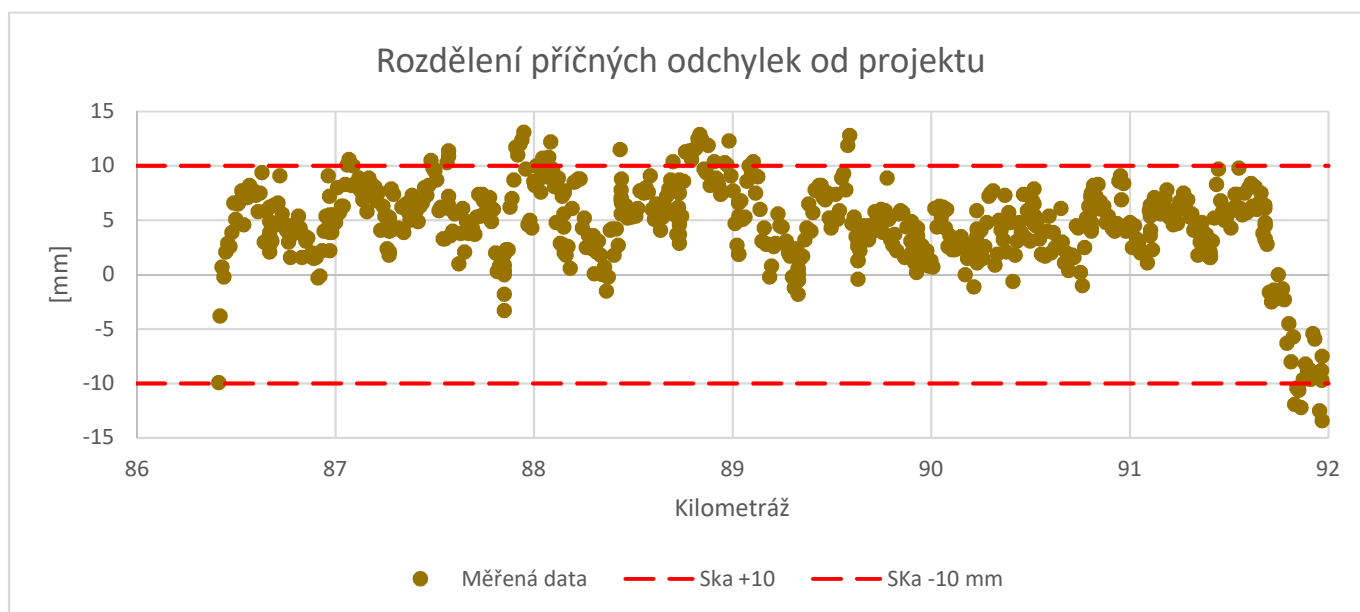
Výpočet PPK byl porovnán dle kritérii ČSN 736360-2 čl. 6.4.1.[8], kde absolutní příčná polohová odchylka SKa vůči projektované ose v příčném směru nesmí překročit hranici  $\pm 10$  mm při nově vloženém materiálu a s vložením užitého materiálu  $\pm 15$  mm. Absolutní výšková odchylka VKa nivelety temene nepřevýšeného kolejnicového pásu od její projektované hodnoty nesmí být při přejímce prací větší než  $+10$  mm, až  $-20$  mm.

#### Výsledky původního výpočtu PPK

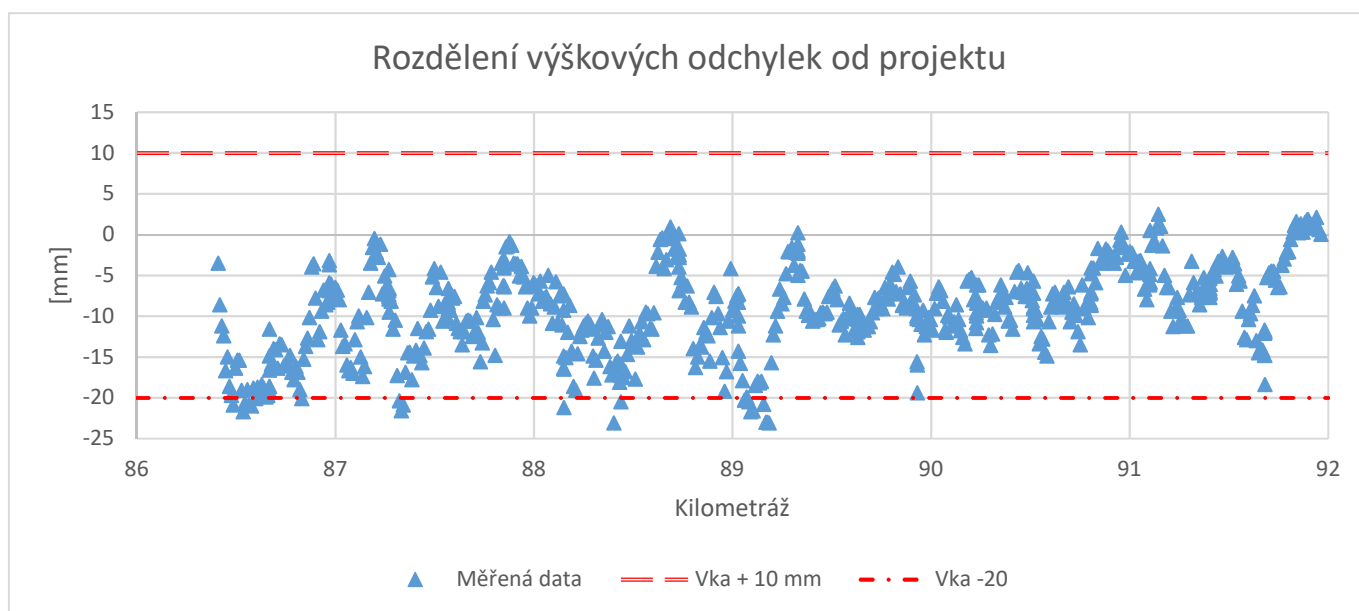
Následující vyhodnocení výsledku je z předaných dat, o stejném rozsahu jako při výpočtu PPK se zavedením apriorního modelu

Analýza příčné složky						
Počet vyhodnocovaných bodů	SKa > +10 mm	SKa < -10 mm	Nepřekračuje SKa $\geq \pm 10$ mm	Překračuje SKa $\geq \pm 10$ mm	Max. [mm]	Min. [mm]
648	33	6	94 %	6 %	13	-13
Analýza výškové složky						
Počet vyhodnocovaných bodů	Vka > 10 mm	Vka < -20 mm	Nepřekračuje VKa $\geq +10, -20$ mm	Překračuje VKa $\geq +10, -20$ mm	Max. [mm]	Min. [mm]
648	2	21	96 %	4 %	22	-23.1

Tabulka 22: Vyhodnocení odchylek při původním výpočtu



Obrázek 38: Rozdělení příčných odchylek od projektu [Autor]



Obrázek 39: Rozdělení výškových odchylek od projektu [Autor]

### Výsledky výpočtu PPK při zavedení apriorního modelu

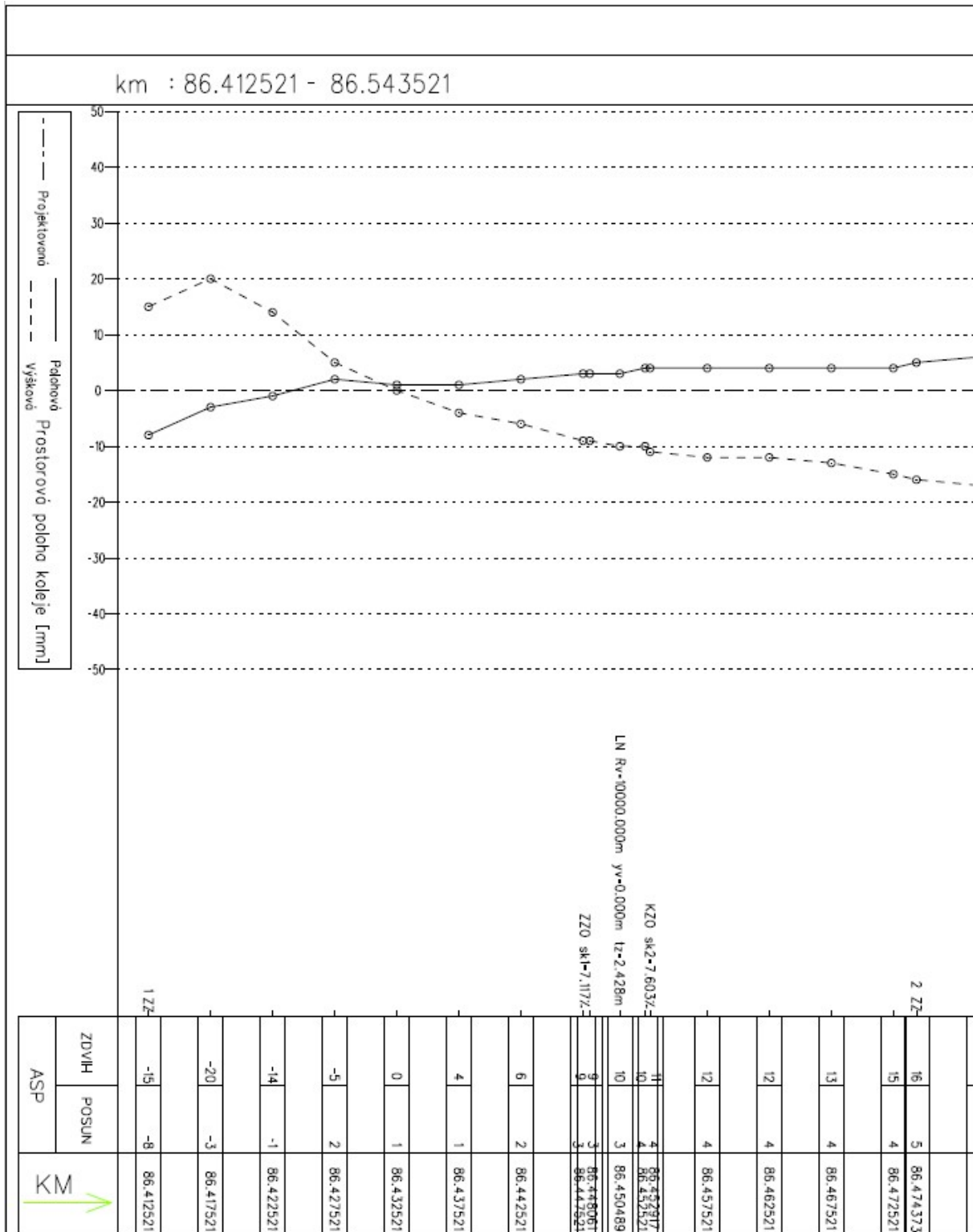
Analýza příčné složky						
Počet vyhodnocovaných bodů	SKa > +10 mm	SKa < -10 mm	Nepřekračuje SKa $\geq \pm 10$ mm	Překračuje SKa $\geq \pm 10$ mm	Max. [mm]	Min. [mm]
648	25	0	96 %	4 %	9	-16
Analýza výškové složky						
Počet vyhodnocovaných bodů	Vka > +10 mm	Vka < -20 mm	Nepřekračuje VKa $\geq +10, -20$ mm	Překračuje VKa $\geq +10, -20$ mm	Max. [mm]	Min. [mm]
648	2	24	96 %	4 %	21	-23

Tabulka 23: Vyhodnocení odchylek při zavedení apriorního modelu výpočtu

Z výsledku porovnání PPK z původního výpočtu a při výpočtu PPK se zavedením apriorního modelu přesnosti do výpočtu ŽBP plyne, že výsledky můžeme považovat za téměř identické. Zavedení apriorního modelu do výpočtu ŽBP, tak nemá signifikantní vliv na výpočet výsledné PPK oproti nastavení původního výpočtu.

#### 4.5.4 Ukázka dokumentace výsledků měření PPK

Výsledné vygenerované grafy z programu Kokeš Rail pro danou kolej graficky i číselně zobrazují průběh absolutní polohy koleje ve směru kilometráže. Samotné vygenerování se obvykle provádí v intervalu interpolace 5 m. V grafu jsou znázorněny pro lepší orientaci průběžné ZZ a hlavní body trasy. Kompletní grafy z průběhu části kilometráže jsou přiloženy v příloze č 7.



Obrázek 40: Grafické znázornění PPK vůči projektu



## 5 NÁVRH VÝPOČETNÍ SLUŽBY

V české republice máme dvě správy železniční geodézie, a to SŽG Olomouc a SŽG Praha, pod které spadají jednotlivé odborné oddělení na pracovištích SŽG. Tato pracoviště se starají mimo jiné o správu železničního bodového pole a prostorové polohy koleje ve svých teritoriích a kontrolují a přebírají vyhotovenou dokumentaci od jednotlivých zhotovitelů při rekonstrukci nebo výstavbě nových železničních úseků. Cílem návrhu výpočetní služby pro výpočet sekundárního bodového pole a zajišťovacích značek je zajištění jednotnosti výpočtu a následné vyhodnocení, zdali měření vyhovuje stanoveným kritériím přesnosti. Důraz při výpočtu se musí dávat především na správné nastavení apriorních středních chyb směrů a délek.



Obrázek 41: Působnost jednotlivých SŽG [Autor]

### 5.1 Zásady výpočtu

Následné schéma výpočtu bude koncipováno pro metodu nejmenších čtverců v programu G-net. Samotný výpočet začíná vstupem souřadnic sítě, převzatých ze stávající dokumentace ŽBP pro danou lokalitu, nebo nově vybudovaných bodů PS metodou GNSS dle kapitoly 3.1.

## Výpočet sekundární sítě

### Vstup:

- Seznam souřadnic primární sítě
- Zápisník měření sekundární sítě dle kap. 3.2, 4.2.2.

### Nastavení výpočtu

- Apriorní přesnost směru  $\bar{m}_r = 0,0003^g$
- Apriorní přesnost délek  $\bar{m}_s = 2 \text{ mm} + 2\text{ppm}$
- Matematické korekce (ze zobrazení, z nadm. výšky, z refrakce)
- Body primární sítě považované vyrovnáním za neměnné

### Výstup

- Seznam souřadnic sekundární sítě
- Protokol vyrovnání

## Výpočet zajišťovacích značek

### Vstup

- Seznam souřadnic primární sítě
- Seznam souřadnic sekundární sítě
- Zápisník měření zajišťovacích značek dle kap. 3.3, 4.3.2

### Nastavení výpočtu

- Apriorní přesnost směru  $\bar{m}_r = 0,0010^g$
- Apriorní přesnost délek  $\bar{m}_s = 2 \text{ mm} + 2\text{ppm}$
- Matematické korekce (ze zobrazení, nadm. výšky, z refrakce)
- Body primární a sekundární sítě považované vyrovnáním za neměnné

### Výstup

- Seznam souřadnic zajišťovacích značek
- Protokol vyrovnání

## 5.2 Kritéria posouzení výsledků

Jako jeden z hlavních parametrů, které je potřeba sledovat, je jednotková střední chyba aposteriorní, která musí být menší než její kritická hodnota chí-kvadrátu. Pokud není toto kritérium splněno, pak data obsahují odlehle hodnoty, které je potřeba na základě velikosti oprav vyloučit nebo přesnost měření neodpovídá zvoleným apriorním středním chybám. V tomto případě stojí za zvážení navýšení počtů skupin měření nebo zvolení přesnějšího přístroje.

$$m_{0(apost.)} = \sqrt{\frac{\sum vv}{n - k}} \quad (5.1)$$

$$m_{0(apost.)} \leq \chi_{1-\alpha}^2(n - k) \quad (5.2)$$

Při výpočtu SS a ZZ je nutno kontrolovat mezi jednotlivými fixními body střední polohovou chybu uprostřed měřeného úseku. U sekundární sítě nemá střední polohová chyba překročit hodnotu  $\bar{m}_{p(SS)} = 0,005 m$  dle kap. 4.2.3 a u ZZ hodnotu  $\bar{m}_{p(ZZ)} = 0,002 m$  dle kap. 4.3.2. Tímto zajistíme homogenitu mezi jednotlivými sítěmi.

## 5.3 Modelová realizace s využitím programu G-net mini

Program G-net, který disponuje polohovým a výškovým vyrovnáním obsahuje modul G-net mini. Pomocí tohoto modulu jde parametrizovat zadání výpočtu vyrovnání. Pro funkčnost programu je potřeba pouze 3 souborů: seznam souřadnic, zápisník měření a konfigurační soubor. V konfiguračním souboru by byly napevno nastavené parametry výpočtu sítě viz kap. 5.1. a pouze by se přidávaly soubory seznamů souřadnic a zápisníky měření. Tato služba by mohla fungovat online a zcela automaticky.

```
0 /technologie standart/
0 /pořadí souřadnic při čtené souboru/
3 /desetinná místa/
1 /-/
2 /měřeny šikmé délky/
0 /úhlové jednotky - grády/
1 /vliv refrakce na délky/
1 /vliv namd.výšky na délky/
1 /vliv zobrazení JTSK na délky/
1 /vliv refrakce na výšky/
100001 /skupinové číslo bodu, pouze u technologie ZMM/
0 /-/
0.0000 /indexová chyba/
0 /lineární člen opravy měř. vzdálenosti/
0 /absolutní člen opravy měř. vzdálenosti/
0.13 /Koefficient refrakce/
zapisnik_SS /Vstupní zápisník měření/
seznamSouradnic_PS /Vstupní seznam souřadnic/
```

Obrázek 42: Ukázka konfiguračního souboru G-net mini

## 6 POROVNÁNÍ MEZNÍCH ODCHYLEK PPK DANÉ NORMOU ČSN 73 0420 A ČSN 73 6360-2

Zajištění PPK se realizuje při všech obnovách železničního svršku. Toto zajištění se vztahuje k nejbližším zajišťovacím značkám, které jsou polohově a výškově určeny k nejbližším bodům primární a sekundární sítě, neboli vytyčovací sítě. Vytyčovací síť, která slouží k realizaci geometrické přesnosti koleje, musí svou relativní přesností odpovídat vytyčovacím odchyškám v následující tabulce dle ČSN 73 0420-2.

Návrhová rychlost 90–120 km/h	
Mezní vytyčovací odchyška souřadnice x,y HB osy	± 15 mm
Mezní vytyčovací odchyška souřadnicových rozdílů dx, dy HB	± 10 mm
Mezní vytyčovací výšková odchyška HVB	± 5 mm

Tabulka 24: Vytyčovací odchyšky HB trasy dle ČSN 73 0420-2

V [1] pro body primární sítě určené metodou GNSS je dána základní směrodatná souřadnicová odchyška  $\sigma_{x,y} = 5 \text{ mm}$  a její mezní odchyška dvojnásobkem. Toto kritérium odpovídá normě ČSN 73 0420-2.

Dále geometrická přesnost koleje musí odpovídat stavebním odchyškám prostorové polohy koleje s užitím nového materiálu dle ČSN 73 6360-2 a mezním vytyčovacím odchyškám svršku dráhy v ČSN 73 0420-2.

Absolutní příčná polohová odchyška osy koleje od projektované polohy	± 10 mm
Absolutní výšková odchyška nivelety nepřevýšeného kolej. pásu od projektované hodnoty	<+10 mm, -20 mm>

Tabulka 25: Stavební odchyšky dle ČSN 73 6360-2

Mezní vytyčovací příčná odchyška bodu vytyčení svršku dráhy pro rychlost 120–160 km/h Pro vzdálenost	
$d \leq 50 \text{ m}$	± 4 mm
$50 \text{ m} \leq d \leq 100 \text{ m}$	± 6 mm
$100 \text{ m} \leq d \leq 200 \text{ m}$	± 9 mm

Tabulka 26: Vytyč. odchyšky podrobného vytyčení svršku dráhy dle ČSN 7304020–2

Jelikož v normě ČSN 73 6360-2 jsou uvedeny stavební odchyšky je potřeba pro vzájemné porovnání s vytyčovacími odchyškami uvedené v normě ČSN 73 0420-2, převést tyto odchyšky na vytyčovací, dle vzorce 6.1

$$\delta x_M^2 = \delta x_{MM}^2 + \delta x_{MV}^2 \quad (6.1)$$

Kde  $\delta x_M^2$  je absolutní polohová stavební odchyška osy koleje od projektované polohy,  $\delta x_{MM}^2$  odchyška montáže a  $\delta x_{MV}^2$  vytyčovací odchyška. Současné kolejové stroje (podbiječky) a jejich technologie umožňují kolej usadit do prostorové polohy vzhledem k vytyčené geodetické značce s prostorovou přesností  $\delta x_{MM} = 1 - 2 \text{ mm}$ . Tato montážní odchyška v součtu kvadrátu odchyšek v (6.1) prakticky neovlivní celkovou hodnotu stavební odchyšky a hodnotu stavební odchyšky udávané v ČSN 73 6360-2 můžeme tedy považovat za hodnotu vytyčovací odchyšky. Z výše uvedeného plyne, že dané normy si při geodetických pracích při realizaci PPK odpovídají. [13]

## 7 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá analýzou současných metod měření prostorové polohy koleje, v úseku Břeclav – Znojmo. V první kapitole je popsán teoretický úvod do dané problematiky, s popsáním historie a vývoje v současnosti ohledně železničního bodového pole, a i náhled do dané problematiky v zahraničí. Následně je popsána metodická úprava postupů měření pro ŽBP a zajištění PPK ve stávajících předpisech.

V analýze měření primárního bodového pole, při porovnání jednotného transformačního klíče ČUZK a lokálního transformačního klíče vytvořeného na bodech stávajícího bodového pole je rozdíl mezi těmito klíči až 90 mm v přibližně příčném směru průběhu koleje. Ve výšce dokonce až 28 cm. Tato hodnota může naznačovat špatné navázání do souřadnicového systému JTSK v minulosti.

Dále byla nalezena nesrovnalost při výpočtu metodou MNČ, a to konkrétně při volbě apriorních středních chyb směrů a délek u původního výpočtu, která zohledňuje nejistotu centrace cíle. Do vyrovnání MNČ, by se mělo vstupovat s přesnostmi měřených veličin, které odpovídají použitým měřidlům (úhel a délka). I když je cíl mírně excentrický, úhel se na něj měří se stejnou přesností. Nejistota centrace cíle by měla být zajištěna tak, aby příliš neovlivňovala výsledek. Pokud se pracuje pouze s přesností měřených veličin bez zohlednění nejistoty centrace cíle, tak se to projeví ve výsledcích vyrovnání zpravidla zhoršením jednotkové střední chyby, což je určitý detektor kvality měření. V diplomové práci je navržen způsob volby apriorních středních chyb při jednotlivých výpočtech i s jeho aplikací.

Při analýze výpočtů stejného úseku různými výpočetními programy, se výsledky shodovaly až na modul K-net v programu Kokeš. Příčina problému v tomto programu se nepodařila nalézt, z důvodu neznalosti detailů použitých algoritmů v tomto software.

V analýze výpočtu zajišťovacích značek byl otestován vliv změny počtu opakování určení polohy zajišťovací značky, kdy se ověřuje způsob měření udávané v předpisu M20/MP007. Počet minimálně trojnásobného určení zajišťovací značky je opodstatněno pro dodržení dané přesnosti konstantně v celém úseku.

U výpočtu výškového měření byla provedena kalibrace použité nivelační latě na výškové kalibrační základně VUT FAST Brno a vypočtené korekce nad jednotlivými styky nivelační latě byly aplikovány pro výpočet daného pořadu. Systematická odchylka délky latě, zejména na stycích skládacích latí, může při větších převýšeních systematicky nepříznivě ovlivnit výsledné převýšení. Například při určení systematické odchylky 0,5mm na styku dvou latí, při převýšení 10 m, může vést k systematické odchylce 5 mm.

Na závěrečném výpočtu PPK s následným porovnáním výsledků původního výpočtu, byly souřadnicové rozdíly minimální, z čehož se dá usoudit, že při volbě apriorního modelu přesnosti nemá signifikantní vliv na finální výsledky PPK. V diplomové práci je také návrh funkční struktury výpočetní služby, která by byla realizovatelná přes web a zajistila by jednotný výpočet ŽBP.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SŽDC. SŽG Olomouc OŘ37 – Metodický návod pro budování a správu železničního bodového pole ve znění změny č. 3 [online]. Olomouc, 2016 ,31 [cit. 2019-05-07]. Dostupné na: <http://www.szdc.cz/o-nas/organizacni-jednotky-szdc/szg-olomouc/soubory/or37-z3.pdf>
- [2] SŽDC. SŽG Olomouc OŘ37: Příloha č. 4. Pokyny pro tvorbu lokálních transformačních klíčů ve znění změny č.1 [online]. Olomouc 1.9.2016,5 [cit. 2019-05-07]. Dostupné na: <https://www.szdc.cz/documents/50004227/50157786/or37-p4-z1.pdf/87dd6c24-1ecc-4ce5-bd56-2570ef3c9ba8?version=1.0>
- [3] Metodický pokyn pro měření prostorové polohy koleje: *SŽDC M20/MP004* [online]. 11.3.2016, 22 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://old.www.szdc.cz/dalsi-informace/dokumenty-a-predpisy.html?category=all&prescriptline=MP&sequencenumber=all&title=&effectivefrom=all&page=2>
- [4] Železniční bodové pole: *SŽDC M20/MP007* [online]. 1.4.2018, 34 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://old.www.szdc.cz/dalsi-informace/dokumenty-a-predpisy.html?category=all&prescriptline=MP&sequencenumber=all&title=&effectivefrom=all&page=2>
- [5] Předpis SŽDC S3 díl III – železniční svršek, *změna č.3*: [online]. 1.3.2019 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://old.www.szdc.cz/dalsi-informace/dokumenty-a-predpisy.html?category=Provozn%C4%9B-technick%C3%A9&prescriptline=S&sequencenumber=all&title=&effectivefrom=all>
- [6] Postup prací a jejich přejímek při směrové a výškové úpravě kolejí a výhybek. *SŽDC* [online]. 2018 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.szdc.cz/dodavatele-odberatele/technicke-pozadavky-na-vyrobky-zarizeni-a-technologie-pro-zdc/zeleznicni-svrsek/soubory-ke-stazeni/postup-praci?inheritRedirect=true>
- [7] ČSN 73 0420-2. Přesnost vytyčování staveb. Část 2: Vytyčovací odchylky. Český normalizační institut, 2002.
- [8] ČSN 73 6360-2. Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha. Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba. Český normalizační institut, 2009.
- [9] BUREŠ, Jiří. Analýza přesnosti prostorové polohy koleje a metod její realizace. In 13. mezinárodní konference „Geodézia a kartografia v doprave“. 1. Košice, Slovensko: Slovenská spoločnosť geodetov a kartografov, 2017. s. 1-8. ISBN: 978-80-89626-08-3.
- [10] BUREŠ, Jiří. Metodika budování a údržby Železničního bodového pole (ŽBP): technologiemi Globálních navigačních satelitních systémů (GNSS) v reálném čase s metrologickou návazností na geodetické referenční systémy ČR-finální verze. Vysoké učení technické v Brně Fakulta stavební, Ústav geodézie, 2015.
- [11] HAVLÍČEK, Radomír a Milan TALACKO. Prostorová poloha železniční osy koleje a metody jejího určení. In: XII. mezinárodní vědecká konference – sekce Geodézie a kartografie, AKTUÁLNÍ PROBLÉMY INŽENÝRSKÉ GEODÉZIE 2009: sborník referátů. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2009. –

- [12] HAVLÍČEK, Radomír. Zeměměřické činnosti na železnici v roce 2017. In: *Geodézie ve stavebnictví a průmyslu 2017*. ISBN 978-80-02-02722-5.
- [13] BUREŠ, Jiří a Jan SMETANA. Zajištění prostorové polohy a geometrických parametrů železniční koleje. In: *GEODÉZIA A KARTOGRAFIA V DOPRAVE, 9. mezinárodní konference v Trenčíně 5. a 6. září 2005*.
- [14] LOSKOT, Pavel a Jaroslav KOTOLAN. Referenční bodové pole na železnici. In: *Aktuální problémy inženýrské geodézie*. Český svaz geodetů a kartografů, 2008.
- [15] HAVLÍČEK, Radomír. Aktuální problémy inženýrské geodézie na železnici. In: *Aktuální problémy inženýrské geodézie*. Český svaz geodetů a kartografů, 2010.
- [16] TREJTNAR, Radek. Funkční a bezpečnostní parametry železniční koleje a jejich dokládání měření. In: *Měření v průmyslu*. 2018. ISBN 978-80-02-02781-2.
- [17] KOMÍNEK, K. a P. PRŮCHA. Železniční bodové pole. V: *Geodézia a kartografia v dopravě: 11. medzinárodná konferencia*. Skalica, 2011, s. 5.
- [18] VAVREČKA, L. a M. TALÁCKO. Správa prostorové polohy koleje u státní organizace SŽDC. In: *Geodézia a kartografia v dopravě: 11. medzinárodná konferencia*. Skalica, 2011.
- [19] HAVLÍČEK, R. Železniční geodézie v podmínkách státní organizace správa železniční dopravní cesty. V: *Geodézia a kartografia v dopravě: 11. medzinárodná konferencia*. Skalica, 2011, s. 5.
- [20] KOMÍNEK, Karel. Železniční bodové pole: Historie, současnost, budoucnost. SŽG Olomouc, 2013.
- [21] BUREŠ, Jiří. Návrh metodiky budování primárního železničního bodového pole technologií GNSS v reálném čase. In: *Geodézie ve stavebnictví a průmyslu*. 2016. ISBN 978-80-02-02656-3.
- [22] CZÍRIA, Kornél. *Vybudování výškové sítě s využitím elektronické nivelace*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. JIŘÍ BUREŠ, Ph.D.
- [23] TB 10101-2009. *Code for railway engineering survey*. Čínská lidová republika: www.chinesestandard.net, 2009.
- [24] WEI, Hui, Hongtao ZHU, Zhiyong WANG a Weijun WU. Center line coordinates survey for Existing Railway by 3-D Constraints Method. In: *TELKOMINIK*. 11. Universitas ahmad dahlan, 2013, s. 5. ISSN 2087-278X.
- [25] WANG, H.Y., F.Y. YANG, J.F. GAO, M. FIGUEIRA, R. MONTEMANNI, G. LODEWIJKS a J. RZEŚNY. Established Method of High-Speed Railway Survey Control Network. In: *MATEC Web of Conferences*. 2017, **124**. DOI: 10.1051/mateconf/201712401001. ISSN 2261-236X. Dostupné také z: <http://www.matec-conferences.org/10.1051/mateconf/201712401001>

- [26] 883.2000. DB\_REF-Festpunktfeld: Bautechnik, Leit-, Signal- u. Telekommunikationstechnik, Gleis- und Bauvermessung., 2017.
- [27] MILEV, Ivo a Lothar GRUENDIG. Rail Track Data Base of German Rail - the Future of Automated Maintenance. In: *INGEO 2004 and FIG Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying*. Bratislava, Slovakia, 2004, s. 8.
- [28] D-19. Instrukcja: O organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej. 2000.
- [29] IG-7. PKP polskie linie kolejowe S.A.: Standard techniczny określający zasady i dokładności pomiarów geodezyjnych dla zakładania wielofunkcyjnych znaków regulacji osi toru. 2012.
- [30] UZNANSKI, Andrzej. Kolejowa osnowa geodezyjna – przepisy oraz praktyka pomiarowa. In: *ZESZYTY NAUKOWO-TECHNICZNE SITK RP, ODDZIAŁ W KRAKOWIE*. KRAKOW, 2013, s. 10.
- [31] Leica Viva GS08. *Geotech* [online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <https://www.geotech.sk/Produkty/GPS-GNSS/Leica-GS08.html>
- [32] Leica TS12p Robotic Total Station . *leica-geosystems* [online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <https://leica-geosystems.com/products/total-stations/robotic-total-stations/leica-ts12p>
- [33] *Groma v.11* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.groma.cz/cz/>
- [34] *G-net v.02.09* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.gview.cz/dwnld/>
- [35] *Kokeš/K-net(Gamma)/ v.13.13* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [https://www.geoserver.cz/geodeticky-software/kokes/kokes\\_knet-621#popis](https://www.geoserver.cz/geodeticky-software/kokes/kokes_knet-621#popis)
- [36] *Leica DNA03* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.geoobchod.cz/digitalni-niv-pristroje-nivelacni-pristroj-digitalni-leica-dna-03-+-glevel-C-165-D-1777.html>
- [37] BUREŠ, Jiří. *Polní kalibrace elektronických měřicích systémů* [online]. Český svaz geodetů a kartografů SETKÁNÍ UŽIVATELŮ TOPCON A SOKKIA „VYSOČINA 2013“, Skalský Dvůr, 2013, 2013 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2019443/>
- [38] *Topcon GPT-9003A* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [https://www.geoserver.cz/zbozi\\_files/321/totalni-stanice-topcon-GPT-9000Info.pdf](https://www.geoserver.cz/zbozi_files/321/totalni-stanice-topcon-GPT-9000Info.pdf)
- [39] *Měřicí vozík GG-05* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [http://www.geotel.cz/clanky/18-merici\\_vozik\\_gg-05-cz.html](http://www.geotel.cz/clanky/18-merici_vozik_gg-05-cz.html)



## 9 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK

### 9.1 Seznam obrázků

Obrázek 1: GNSS RTK Data kolektor – GNBAHN [27].....	12
Obrázek 2:Schéma zaměření CPIII- Čína [25].....	14
Obrázek 3: Rozmístění bodů II a III třídy. [30].....	15
Obrázek 4: Schéma zaměření IV třídy [30].....	15
Obrázek 5: Schéma měření jedné skupiny v případě dvou měřených směrů [1] .....	17
Obrázek 6: Schéma měření jedné skupiny směrů (více jak 2 měřené směry) [1] .....	17
Obrázek 7: Postup měření ve třech skupinách přístroje .....	17
Obrázek 8: Popis zajišťovací značky [5] .....	18
Obrázek 9:Schéma měření zajišťovacích značek [1].....	18
Obrázek 10: Rozmístění bodů primární sítě a původních bodů ŽBP [Autor] .....	19
Obrázek 11:Leica CS10+GS08plus [31] .....	19
Obrázek 12: Schéma zbytkových chyb na identických bodech [Autor].....	21
Obrázek 13: Souřad. rozdíly jednotného transf. klíče ČÚZK a lokálního klíče [Autor].....	22
Obrázek 14: Výpočetní schéma bodů při výpočtu SS [Autor] .....	23
Obrázek 15: Leica TS12 [32] .....	23
Obrázek 16: Schéma výpočtu teoretického modelu [Autor] .....	24
Obrázek 17: G-net, nastavení vlastností výpočtu [Autor] .....	25
Obrázek 18: Ukázka z protokolu G-net/původní výpočet [Autor] .....	26
Obrázek 19: Graf vývoje středních chyb [Autor] .....	26
Obrázek 20: Schéma výpočtu po jednotlivých úsecích [Autor] .....	27
Obrázek 21: Porovnání středních příčných chyb v jednotlivých úsecích [Autor].....	28
Obrázek 22: Schéma rozložení simulovaných odchylek [Autor] .....	29
Obrázek 23: Odchylky SS z vlivu změny polohy výchozí sítě [Autor] .....	29
Obrázek 24:Schéma výpočtu zajišťovacích značek [Autor].....	31
Obrázek 25: Schéma rozložení simulovaných odchylek [Autor] .....	33
Obrázek 26: Schéma s dvojím měřením ZZ [Autor] .....	34
Obrázek 27: Schéma výškového měření [Autor].....	35
Obrázek 28: Leica DNA03 + laminátová skládací lať [36].....	35
Obrázek 29: Graf rozdílů výšek PS měřených nivelací a technologií GNSS [Autor].....	38
Obrázek 30: Graf rozdílů výšek SS měřených nivelací a trigo. metodou [Autor].....	38
Obrázek 31: Graf průběhu odchylek vůči jednotlivým stykům [Autor].....	40
Obrázek 32: Rozdělení korekcí K1 a K2 na měřené převýšení [Autor].....	41
Obrázek 33:Topcon GPT-9003A [38] + Měřicí vozík GG-04 [39] .....	43
Obrázek 34: Import projektu koleje, Kokeš/Rail [Autor].....	43
Obrázek 35: Výpočet přechodového stanoviska, Kokeš/Rail [Autor].....	44
Obrázek 36: Schéma transf. jednotlivých úseků pomocí shodnostní transf. [3].....	44
Obrázek 37: Transformace jednotlivých úseků Kokeš/Rail [Autor] .....	45
Obrázek 38: Rozdělení příčných odchylek od projektu [Autor] .....	46
Obrázek 39: Rozdělení výškových odchylek od projektu [Autor] .....	47
Obrázek 40: Grafické znázornění PPK vůči projektu.....	48
Obrázek 41:Působnost jednotlivých SŽG [Autor].....	49
Obrázek 42:Ukázka konfiguračního souboru G-net mini.....	51

## 9.2 Seznam tabulek

Tabulka 1: Druhy metod měření používaná při měření primární sítě metodou GNSS .....	16
Tabulka 2: Přesnost přijmače Leica GS08 plus [31] .....	19
Tabulka 3: Vyhodnocení dvojic měření .....	20
Tabulka 4: Parametry Leica TS12 [32] .....	23
Tabulka 5: Přehled počtu n opakování v kontextu požadovaného úhlové přesnosti [9] .....	24
Tabulka 6: Hodnoty středních chyb bodů teoretického modelu .....	25
Tabulka 7: Porovnání aposteriorní střední chyby vůči její kritické hodnotě .....	26
Tabulka 8: Vyhodnocení střední jednotkové aposteriorní chyby vůči její kritické hodnotě .....	27
Tabulka 9: Porovnání apriorních aposteriorních jednotkových středních chyb .....	30
Tabulka 10: Analýza výsledků vyrovnání výpočetních programů .....	30
Tabulka 11: Porovnání aposteriorní střední chyby vůči její kritické hodnotě .....	32
Tabulka 12: Odchyly ZZ z vlivu změny polohy výchozí sítě [Autor] .....	33
Tabulka 13: Vyhodnocení výsledků výpočtu ZZ při změně počtu určení .....	34
Tabulka 14: Parametry přesnosti Leica DNA03 [36] .....	36
Tabulka 15: Výsledky měření pro ověření totožnosti a neměnnosti bodů .....	36
Tabulka 16: Posouzení nivelačních pořadů .....	36
Tabulka 17: Posouzení měření na hodnotu dle (4.24.) .....	37
Tabulka 18: Schéma výškové kalibrační základny VUT FAST [Autor] .....	39
Tabulka 19: Analýza středních chyb měření pro jednotlivé latě .....	40
Tabulka 20: Odchyly od nominální hodnoty bez/s zavedením korekcí .....	41
Tabulka 21: Parametry použitých přístrojů pro měření PPK .....	42
Tabulka 22: Vyhodnocení odchylek při původním výpočtu .....	46
Tabulka 23: Vyhodnocení odchylek při zavedení apriorního modelu výpočtu .....	47
Tabulka 24: Vytyčovací odchylky HB trasy dle ČSN 73 0420-2 .....	52
Tabulka 25: Stavební odchylky dle ČSN 73 6360-2 .....	52
Tabulka 26: Vytyč. odchylky podrobného vytyčení svršku dráhy dle ČSN 7304020-2 .....	52

## 10 SEZNAM PŘÍLOH

### 10.1 *Tištěné přílohy*

**Příloha č. 1** – Protokol GNSS měření metodou RTK

**Příloha č. 2** – Protokol polohového vyrovnání programu G-net – Sekundární síť původní výpočet

**Příloha č. 3** – Protokol polohového vyrovnání programu G-net– Výpočet sekundární sítě s užitím apriorního modelu přesnosti

**Příloha č. 4** – Protokol o výpočtu výšek bodů primárního a sekundárního systému nivelací

**Příloha č. 5**– Protokol o výpočtu volného stanoviska MNČ a podrobných bodů při výpočtu PPK

**Příloha č. 6** - Protokol o vyrovnání měření (transformace) osy koleje

**Příloha č. 7** – Ukázka grafu vyhodnocení PPK

### 10.2 *Hierarchie elektronické přílohy*

#### 01\_PS\_GNSS

01\_Protokoly měření

02\_Transformační klíč

#### 02\_SS\_Polygon

01\_Původní výpočet

02\_Výpočet apriorní mode přesnosti

01\_Celkový výpočet

02\_Aplikace teoretického modelu

03\_Výpočet úseků

04\_Vliv změny polohy primární sítě

05\_Výpočet SS různými Software

#### 03\_ZZ

01\_Původní výpočet

02\_Výpočet apriorní model přesnosti

01\_Výpočet ZZ

02\_Vliv změny polohy bodů výchozí sítě

03\_Vliv změny opakovaného určení ZZ

#### 04\_Nivelace

01\_Vliv nesprávné délky laťového metru

02\_Zápisníky

#### 05\_PPK

01\_Záznam měření

02\_Výpočty

03\_Grafy

## Příloha č. 1 – Protokol GNSS měření metodou RTK

Protokol o GNSS/RTK observacích

=====

Informace o zakázce:

Název zakázky: GNSS\_BOR

Popis: -- ; --

Meric:

Datum a čas vytvoření: 24.05.2017; 12:10

Typ přístroje: CS10

Výrobní číslo: 2886210

Vypočteno schvaleným transformacním programem Leica SmartWorx Viva

s nastavením globální transformace bez volby identických bodů pro data porizena v období od 1.7.2012:

Volby programu:

Souradnicový systém: CZ\_JT13

Model geoidu: CZ\_Bpv10

Seznam bodů a GPS observací:

Bod	Trída	Podtr.	Y	X	H	H-ant	Obs	PDOP	Datum/čas	Mountp.
669	M	GNSS fixováno	591488.396	1211143.782	211.454	1.488	300	1.2	24.05.2017/14:01:58	MAX3C-GG
669	M	GNSS fixováno	591488.400	1211143.783	211.495	1.675	300	1.4	25.05.2017/12:08:07	MAX3C-GG
3020	M	GNSS fixováno	585977.608	1213069.809	172.703	1.317	300	1.3	24.05.2017/12:17:13	MAX3C-GG
3020	M	GNSS fixováno	585977.610	1213069.816	172.690	1.376	300	1.4	25.05.2017/10:03:12	MAX3C-GG
3045	M	GNSS fixováno	587187.409	1212859.291	179.914	1.288	300	1.2	24.05.2017/12:39:38	MAX3C-GG
3045	M	GNSS fixováno	587187.409	1212859.290	179.906	1.267	300	1.6	25.05.2017/10:25:28	MAX3C-GG
3074	M	GNSS fixováno	588556.624	1212609.928	186.777	1.535	300	1.3	24.05.2017/12:57:06	MAX3C-GG
3074	M	GNSS fixováno	588556.627	1212609.932	186.781	1.506	300	1.7	25.05.2017/10:44:38	MAX3C-GG
3090	M	GNSS fixováno	589307.459	1212482.426	189.021	1.543	300	1.5	24.05.2017/13:10:07	MAX3C-GG
3090	M	GNSS fixováno	589307.461	1212482.442	189.056	1.443	300	1.4	25.05.2017/10:58:10	MAX3C-GG
3114	M	GNSS fixováno	590432.900	1212317.075	200.887	1.449	300	1.3	24.05.2017/13:31:15	MAX3C-GG
3114	M	GNSS fixováno	590432.901	1212317.078	200.913	1.398	300	1.5	25.05.2017/11:20:02	MAX3C-GG
RTCM-Ref0053	RE	Fixní (Poz a H)	564260.030	1202928.582	182.622	-- --	--	--	24.05.2017/12:11:18	--
RTCM-Ref0092	RE	Fixní (Poz a H)	605502.763	1229886.462	208.018	-- --	--	--	24.05.2017/12:51:06	--

Legenda:

Trída: RE: Reference

PE: Dany bod

M: Jedno GPS měření

PR: Průměr z více měření

NA: Navigační pozice (bez korekce)

**Příloha č. 2** – Protokol polohového vyrovnání programu G-net – Sekundární síť původní výpočet (ukázka protokolu, zbylá část na příloženém CD)

Protokol o polohovém vyrovnání sítě

Str: 1

Lokalita: Původní výpočet sekundární sítě    Etapa: 1    Síť: 1    Datum: 02.06.2017

-----  
Rozbor vyrovnání polohové sítě  
-----

Počet veličin použitých ve vyrovnání: ..... 216

Počet nadbytečných veličin: ..... 80

Jednotková střední chyba aposteriori: ..... **0.8831**

Kritická hodnota chí-kvadrát pro test 1: ..... 1.1285

Pravděpodobnost, že na základě testu 1 bude

přesnost označena za nedodrženou neoprávněně: ..... 5.0 %

Počet podmínek pro regularizaci: ..... 0

Počet řádků matice lineárního modelu: ..... 216

Počet sloupců matice lineárního modelu: ..... 136

Defekt matice: ..... 0

Vypočtená hodnota počtu nadbytečných veličin: ..... 80.00002

Odhad jedn. stř. ch. při vyloučení podezřelého měření: ..... 0.8561

Index nejpodzřelejšího měření: ..... 205

Jednotková stř. ch. jen z délkových veličin: ..... 0.7568

Jednotková stř. ch. jen z nedélkových veličin: ..... 1.2514

Použitá standardní odchylka sigma ..... 0.8831

Na základě statistického testu 1 nelze přesnost měření prohlásit za nedodrženou (na hladině významnosti 5.0 %).

Informace o vyrovnání měřených veličin  
-----

Typ	CB1	CB2	CB3	Hodnota	AprStr	L	VNorm	Oprava	Apost	Vyrovnaná	FC
1 S	635	634	ST0001	399.9988	10.0	-3.4	-0.492	-3	5.4	399.9985	0.386 [1,44]
2 S	635	636	ST0001	200.3317	7.8	2.1	0.492	2	5.4	200.3319	0.211 [1,43]
3 S	636	635	ST0002	399.9994	7.8	0.0	0.779	3	6.0	399.9996	0.120 [1,61]
4 D	636	3005		254.889	3.8	0.2	0.386	1	2.1	254.890	0.375 [1,6]
5 S	636	3005	ST0002	199.9873	8.1	-0.0	-0.779	-3	6.2	199.9871	0.130 [1,62]
6 D	3005	636		254.890	3.8	-0.1	0.266	1	2.1	254.890	0.375 [1,8]
7 S	3005	636	ST0003	0.0008	8.1	-0.0	0.874	2	6.7	0.0010	0.064 [1,80]

8 D	3005	3009		199.620	3.6	-0.1	0.247	1	2.0	199.621	0.367	[1,7]
9 S	3005	3009	ST0003	199.4981	10.0	0.0	-0.874	-3	8.0	199.4977	0.101	[1,79]
10 D	3009	3005		199.620	3.6	0.2	0.382	1	2.0	199.621	0.367	[1,9]
11 S	3009	3005	ST0004	399.9995	10.0	0.0	0.963	3	8.4	399.9998	0.054	[1,98]
12 D	3009	3014		243.263	3.7	-0.1	0.276	1	2.1	243.264	0.373	[1,9]
13 S	3009	3014	ST0004	200.1072	8.4	-0.0	-0.963	-2	7.1	200.1071	0.037	[1,97]
14 D	3014	3009		243.263	3.7	0.2	0.372	1	2.1	243.264	0.373	[1,1]
15 S	3014	3009	ST0005	399.9995	8.4	14.0	0.862	1	7.2	399.9996	0.024	[1,116]
16 D	3014	3017		156.947	3.5	2.4	0.481	1	2.0	156.949	0.362	[1,1]
17 S	3014	3017	ST0005	199.8187	12.5	-31.2	-0.862	-3	10.5	199.8184	0.054	[1,115]
18 D	3017	3020		151.045	3.5	1.8	0.271	1	1.9	151.046	0.361	[1,1]
....												
212 S	683	684	ST0053	199.1504	10.9	0.0	-0.319	-2	6.5	199.1501	0.331	[1,1231]
213 D	683	682		249.900	3.7	2.8	0.978	3	1.6	249.903	0.511	[1,1]
214 S	683	682	ST0053	399.9981	8.2	1.7	0.319	1	6.0	399.9982	0.170	[1,1232]
215 S	684	683	ST0054	399.9985	10.9	2.2	0.303	2	6.2	399.9987	0.353	[1,1250]
216 S	684	685	ST0054	205.8757	9.3	-1.6	-0.303	-2	6.2	205.8755	0.237	[1,1249]

Písmeno v prvním sloupci rozlišuje typ veličiny: D-délka, S-Směr, A-Azimut, U-úhel

CB1, CB2, CB3 ... čísla bodu. U délek a azimutů nemá CB3 smysl.

U směrů CB3 označuje číslo osnovy směrů.

hodnota ..... hodnota měřené veličiny (jednotky jsou [g] nebo [m]).

AprStr ..... velikost apriorní střední chyby zadané v modelu sítě [cc nebo mm]

! ..... vyskytující se u veličiny označuje nejpodzřelejší veličinu.

> ..... vyskytující se u veličiny označuje opravy vybočující z testu 3.

Kritická hodnota testu 3 činí 1.96, a to při hladině významnosti 5.0 %.

L ..... velikost odchylky mezi hodnotou měřenou a odvozenou ze souřadnic [cc nebo mm]

VNorm ..... normalizovaná oprava (slouží k testování odlehlých hodnot, je bez rozměru)

Oprava ..... oprava [cc nebo mm]

Aposter ..... velikost střední chyby vyrovnané veličiny [cc nebo mm].

Vyrovnaná ..... vyrovnaná hodnota veličiny (jednotky jsou [g] nebo [m]).

FC ..... faktor přínosu veličiny pro vyrovnaní (bez rozměru).

FC = 1.0 - nepotřebná, 0.25 - normální potřeba, 0.0 - nezbytná veličina bez kontroly

Vyrovnané souřadnice bodů

-----

CB	Y [m]	X [m]	MY	MX	MP	HSmer	A	B	Třída
3005	585238.775	1213203.475	2.1	2.9	3.6	12	2.9	2.1	1
	0.001	0.002							

3009	585435.259	1213168.228	2.5	4.0	4.7	12	4.0	2.5	1
	0.003	0.005							
3014	585674.628	1213124.870	2.5	4.0	4.7	12	4.1	2.4	1
	0.004	0.011							
3017	585829.143	1213097.337	2.0	2.8	3.5	12	2.9	1.9	1
	0.002	0.005							
3025	586226.124	1213022.702	2.3	4.5	5.0	12	4.6	2.1	1
	0.000	0.011							
3029	586409.711	1213000.667	2.8	6.6	7.1	10	6.6	2.6	1
	-0.000	0.019							
3033	586596.037	1212955.227	3.0	7.4	8.0	11	7.5	2.8	1
	0.000	0.028							
3036	586743.817	1212928.622	2.8	6.7	7.3	10	6.8	2.6	1
	0.000	0.034							
3041	586989.703	1212886.145	2.1	3.6	4.2	9	3.6	2.1	1
	0.000	0.018							
3051	587414.220	1212817.973	2.2	4.4	4.9	11	4.4	2.1	1
	0.000	0.007							

CB ..... Číslo bodu

Y ..... Vyrovnaná souřadnice Y [m]

X ..... Vyrovnaná souřadnice X [m]

MY ..... Střední chyba v souřadnici Y [mm]

MX ..... Střední chyba v souřadnici X [mm]

MP ..... Střední polohová chyba [mm]

HlSmr..... Hlavní směr chybové elipsy (jižník osy A) [g]

A ..... Velikost hlavní poloosy chybové elipsy [mm]

B ..... Velikost vedlejší poloosy chybové elipsy [mm]

Třída ..... Třída přesnosti pro jednotlivý bod (optimisticky)

Test tříd přesnosti

Počet nových souřadnic v síti určených: ..... 82

Průměrná střední kvadratická souřadnicová chyba souboru bodů: .. 0.004

Třída přesnosti, pro níž celá síť vyhovuje: ..... 1

Počet bodů (procentuálně), jež mají střední chybu < základní: .. 41 (100.0 %)

Poměr průměrné střední chyby vůči základní: ..... 0.20

Základní střední chyba pro danou třídu přesnosti: ..... 0.0200

Kritická hodnota poměru středních chyb pro test 2: ..... 1.1269

Pravděpodobnost, že na základě testu 2 bude

síť zařazena do horší třídy přesnosti neoprávněně: ..... 5.0 %

**Příloha č. 3** – Protokol polohového vyrovnání programu G-net– Výpočet sekundární sítě s užitím apriorního modelu přesnosti ( ukázka protokolu, zbylá část na příloženém CD)

Protokol o polohovém vyrovnání site

Str: 1

Lokalita: Výpočet sekundární sítě s užitím apriorního modelu přesnosti

Etapa: 1 Sit: 1 Datum:

06/12/18

-----  
Rozbor vyrovnání polohové site

Pocet velicin pouzitych ve vyrovani: ..... 216

Pocet nadbytecnych velicin: ..... 80

Jednotkova stredni chyba aposteriori: ..... **2.1056**

Kriticka hodnota chi-kvadrat pro test 1: ..... 1.1285

Pravdepodobnost, ze na zaklade testu 1 bude

presnost oznacena za nedodrzenou neopravnene: ..... 5.0 %

Pocet podminek pro regularizaci: ..... 0

Pocet radku matice linearniho modelu: ..... 216

Pocet sloupcu matice linearniho modelu: ..... 136

Defekt matice: ..... 0

Vypoctena hodnota poctu nadbytecnych velicin: ..... 79.99998

Odhad jedn. str. ch. pri vyloucení podezreleho mereni: ..... 2.0552

Index nejpodzrelejsiho mereni: ..... 207

Jednotkova str. ch. jen z delkovych velicin: ..... 1.5278

Jednotkova str. ch. jen z nedelkovych velicin: ..... 3.6126

Pouzita standardni odchylka sigma ..... 1.0000

Na zaklade statistického testu 1 se presnost mereni poklada za nedodrzenou (na hladine vyznamnosti 5.0 %).

Informace o vyrovnání měřených velicin

-----

	CB1	CB2	CB3	hodnota	AprStr	L	VNorm	Oprava	Apost	Vyrovnana	FC
1 S	635	634	ST0001	399.9988	3.0	-2.8	-1.299	-3	2.1	399.9985	0.293 [1,18]
2 S	635	636	ST0001	200.3317	3.0	2.8	1.299	3	2.1	200.3320	0.293 [1,17]
3 S	636	635	ST0002	399.9994	3.0	-0.0	1.900	3	2.6	399.9997	0.149 [1,35]
4 D	636	3005		254.8892	2.51	0.17	0.511	1.0	1.57	254.8902	0.375 [1,36]
5 S	636	3005	ST0002	199.9873	3.0	-0.0	-1.900	-3	2.6	199.9870	0.149 [1,36]
6 D	3005	636		254.8895	2.51	-0.14	0.352	0.7	1.57	254.8902	0.375 [1,54]
...											

Kritická hodnota testu 3 činí 1.96, a to při hladině významnosti 5.0 %.

L ..... velikost odchylky mezi hodnotou měřenou a odvozenou ze souřadnic [cc nebo mm]



VNorm ..... normalizovana oprava (slouzi k testovani odlehlych hodnot, je bez rozmeru)

Oprava ..... oprava [cc nebo mm]

Aposter ..... velikost stredni chyby vyrovnane veliciny [cc nebo mm].

Vyrovnaná ..... vyrovnana hodnota veliciny (jednotky jsou [g] nebo [m]).

FC ..... faktor prinosu veliciny pro vyrovnani (bez rozmeru).

FC = 1.0 - nepotrebna, 0.25 - normalni potreba, 0.0 - nezbytna velicina bez kontroly

Vyrovnane souradnice bodu

-----

CB	Y [m]	X [m]	MY	MX	MP	HlSmer	A	B	Trida
3005	585238.775	1213203.476	1.6	1.2	1.9	112	1.6	1.1	1
	0.001	0.002							
3009	585435.259	1213168.228	1.9	1.5	2.4	111	1.9	1.5	1
	0.003	0.006							
3014	585674.628	1213124.871	1.8	1.4	2.3	111	1.8	1.4	1
	0.004	0.011							
3017	585829.143	1213097.337	1.5	0.9	1.7	112	1.5	0.9	1
	0.002	0.005							

...

CB ..... Cislo bodu

Y ..... Vyrovnana souradnice Y [m]

X ..... Vyrovnana souradnice X [m]

MY ..... Stredni chyba v souradnici Y [mm]

MX ..... Stredni chyba v souradnici X [mm]

MP ..... Stredni polohova chyba [mm]

HlSmer..... Hlavni smer chybove elipsy (jiznik osy A) [g]

A ..... Velikost hlavni poloosy chybove elipsy [mm]

B ..... Velikost vedlejsi poloosy chybove elipsy [mm]

Trida ..... Trida presnosti pro jednotlivy bod (optimisticky)

Tyto hodnoty nejsou spolehlive, protoze neni dodrzena presnost mereni

Test trid presnostiPocet novych souradnic v siti urceny: ..... 82

Prumerna stredni kvadraticka souradnicova chyba souboru bodu: .. 0.002

Trida presnosti, pro niz cela sit vyhovuje: ..... 1

Pocet bodu (procentualne), jez maji stredni chybu < zakladni: .. 41 (100.0 %)

Pomer prumerne stredni chyby vuci zakladni: ..... 0.09

Zakladni stredni chyba pro danou tridu presnosti: ..... 0.0200

Kriticka hodnota pomeru strednich chyb pro test 2: ..... 1.1269

Pravdepodobnost, ze na zaklade testu 2 bude

siti zarazana do horsi tridy presnosti neopravnene: ..... 5.0 %

**Příloha č. 4 – Protokol o výpočtu výšek bodů primárního a sekundárního systému nivelací**  
 (ukázka protokolu, zbylá část na přiloženém CD)

Číslo bodu		Č e n í n a t i			Nadmořská výška horizontu stroje	N a d m o ř s k á v ý š k a b o d u		P o z n á m k a
přesta- vového	bočního	vzad +	vpřed -	bočně -		přestavového	určeného bočně	
		-1.1						
636		1.8279				164.5490		
1		-1.1	0.3560			166.0208		
1		1.5284						
1005		-1.1	1.9664			165.5827		
1005		2.5231						
2		-1.1	1.0311			167.0746		
2		1.6870						
1009		-1.1	1.7216			167.0399		
1009		2.3313						
3		-1.1	0.2604			169.1107		
3		1.7460						
1014		-1.1	1.4402			169.4164		
1014		2.6881						
1017		-1.1	1.1809			170.9235		
1017		2.6612						
1020		-1.1	0.5947			172.9899		
1020		2.4866						
5		-1.1	0.4828			174.9935		
5		1.9920						
1025		-1.1	0.5770			176.4084		
1025		1.9983						
	642			0.8006	178.4066		177.6060	
1029		-1.1	0.8093			177.5973		
1029		1.8896						
1033		-1.1	1.3511			178.1357		
1033		1.8661						
7		-1.1	0.8449			179.1568		
7		1.1471						
1036		-1.1	1.9966			178.3072		
1036		1.9415						
8		-1.1	0.7793			179.4693		
8		1.1390						
1041		-1.1	2.1905			178.4177		
1041		2.6928						
1045		-1.1	0.9822			180.1282		
1045		1.9495						
9		-1.1	1.2427			180.8349		
9		1.7310						
1051		-1.1	0.6920			181.8738		
1051		1.2133						
1054		-1.1	1.6836			181.4034		
1054		2.4147						
10		-1.1	1.3457			182.4723		
10		1.7310						
1059		-1.1	1.6619			182.5413		
1059		2.0451						
1062		-1.1	1.3635			183.2228		

Číslo bodu		Čtení na lati			Nadmořská výška horizontu stroje	Nadmořská výška bodu		Poznámka
přestavového	bočního	vzad +	vpřed -	bočně -		přestavového	určeného bočně	
1065		-1.1	1.1893			183.8898		
1065		2.1893						
1069		-1.1	0.3534			185.7255		
1069		2.0637						
1		-1.1	1.0174			186.7717		
1		1.3533						
1074		-1.1	1.1994			186.9255		
1074		1.0170						
2		-1.1	1.5540			186.3884		
2		1.4973						
4000		-1.1	1.5070			186.3786		
4000		1.4777						
1078		-1.1	1.0985			186.7577		
1078		1.0988						
3		-1.1	1.6658			186.1906		
3		2.0020						
1082		-1.1	1.6334			186.5591		
1082		1.8321						
1085		-1.1	1.2347			187.1564		
1085		1.9185						
1087		-1.1	1.7422			187.3326		
1087		2.6975						
1090		-1.1	0.8762			189.1538		
1090		2.5854						
1093		-1.1	0.8252			190.9139		
1093		2.0167						
1095		-1.1	1.1602			191.7703		
1095		2.6457						
1098		-1.1	0.3579			194.0580		
1098		1.8740						
1099		-1.1	1.1074			194.8245		
1099		2.3835						
1101		-1.1	0.6853			196.5226		
1101		2.6236						
1104		-1.1	1.7735			197.3725		
1104		1.8618						
1108		-1.1	0.6712			198.5630		
1108		2.6574						
1112		-1.1	0.7272			200.4931		
1112		2.1972						
1114		-1.1	1.7722			200.9180		
1114		1.7721						
1116		-1.1	0.3897			202.3003		
1116		1.9059						
1119		-1.1	0.1401			204.0660		
1119		1.8291						
4		-1.1	0.1542			205.7408		

Číslo bodu		Čtení na lati			Nadmořská výška horizontu stroje	Nadmořská výška bodu		Poznámka
přestavového	bočního	vzad +	vpřed -	bočně -		přestavového	určeného bočně	
1126		-1.1	0.9235			206.4242		
664		1.7066						
664			0.4377			207.6930		
		95.9002	52.7510		L = 6.084	164.5490	dH dH měřené rozdíl	
		-52.7510				-207.6982		
		43.1492				43.1440		
						-43.1492		
						-0.0052		

**Příloha č. 5–** Protokol o výpočtu volného stanoviska MNČ a podrobných bodů při výpočtu PPK  
(ukázka protokolu, zbylá část na příloženém CD)

Volné stanovisko MNČ

Korekce měřených délek

- lineární člen : neuvažuje se
- absolutní člen : neuvažuje se
- vliv refrakce na délky : ANO ; koeficient refrakce : 0.13000
- vliv nadmořské výšky na délky : ANO
- vliv zobrazení na délky : ANO

Korekce výšek a převýšení

- vliv refrakce na výšky : ANO

Střední chyby měření

m\_ směr [cc] a - délka [mm] b - délka [mm]  
10 3 2

Orientační body

ČB	Y [m]	X [m]	Z [m]	VC [m]	Hz [g] [cc]	Vz [g] [mm]	SD [m] [mm]	o_u [mm]	o_d [mm]	o_h	d_Y	d_X
1	585035.7510	1213249.8270	165.2490	0.100	187.9952	100.7174	113.0640	3	3	-1	3	-1
1	585035.7510	1213249.8270	165.2490	0.100	187.9936	100.7180	113.0640	19	3	0	3	-4
2	585095.0800	1213230.3950	165.0920	0.100	178.2674	101.7574	51.7420	-8	3	-4	3	1
2	585095.0800	1213230.3950	165.0920	0.100	178.2668	101.7576	51.7440	-2	1	-4	1	0
4	585188.4700	1213211.9390	166.0260	0.100	399.9178	100.7066	44.8690	7	0	-1	0	0
4	585188.4700	1213211.9390	166.0260	0.100	399.9184	100.7072	44.8690	1	0	0	0	0
5	585238.8560	1213203.4940	166.0990	0.100	392.7566	100.2846	95.4260	-19	2	2	-3	-2
5	585238.8560	1213203.4940	166.0990	0.100	392.7538	100.2850	95.4270	9	1	2	-1	2
6	585286.4010	1213194.9840	166.1040	0.100	390.8798	100.1936	143.6060	-12	4	17	-5	-2
6	585286.4010	1213194.9840	166.1040	0.100	390.8784	100.1886	143.6080	2	2	6	-2	1

Stanovisko

ČB Y [m] X [m] Z [m] VS [m] OR posun [g]  
9001 585146.7643 1213228.4690 166.6247 0.000 124.1047

Vypočtené střední chyby

mxy [m] mz [m] m\_op [g]  
0.0010 0.0022 0.0003

Výpočet podrobných bodů s projektem

Korekce měřených délek

- lineární člen : neuvažuje se
- absolutní člen : neuvažuje se
- vliv refrakce na délky : ANO ; koeficient refrakce : 0.13000
- vliv nadmořské výšky na délky : ANO
- vliv zobrazení na délky : ANO

Korekce výšek a převýšení

- vliv refrakce na výšky : ANO

Měření	ČB	Hz [g]	Vz [g]	SD [m]	VC [m]	D [m]	u [m]
Souřadnice	ČB	Y [m]	X [m]	Z [m]			
Nastavení	ČB	od_HR [m]	výš_HR [m]	red_D [m]	red_V [m]	směr [g]	
Měření	13:08:37	185.4315	100.4814	114.2680	0.9230	-0.0030	1.4340
Souřadnice	13:08:37	585033.9253	1213246.2613	164.8386			
Nastavení	13:08:37	-0.0350	0.9230	0.7539	0.9229	11.4778	
Měření	13:09:07	185.3086	100.4788	107.2100	0.9230	-0.0010	1.4320
Souřadnice	13:09:07	585040.8723	1213245.0013	164.8962			
Nastavení	13:09:07	-0.0350	0.9230	0.7516	0.9230	11.4778	
Měření	13:09:36	185.1063	100.4928	97.6130	0.9230	-0.0020	1.4370
Souřadnice	13:09:36	585050.3188	1213243.2838	164.9468			
Nastavení	13:09:36	-0.0350	0.9230	0.7548	0.9230	11.4778	
Měření	13:10:02	184.8507	100.5027	87.7060	0.9230	-0.0010	1.4350
Souřadnice	13:10:02	585060.0709	1213241.5054	165.0097			
Nastavení	13:10:02	-0.0350	0.9230	0.7531	0.9230	11.4778	
Měření	13:10:23	184.5326	100.5130	77.8390	0.9230	-0.0010	1.4350
Souřadnice	13:10:23	585069.7857	1213239.7369	165.0749			
Nastavení	13:10:23	-0.0350	0.9230	0.7531	0.9230	11.4778	
Měření	13:10:42	184.1296	100.5206	68.1830	0.9230	-0.0020	1.4360
Souřadnice	13:10:42	585079.2950	1213238.0045	165.1445			
Nastavení	13:10:42	-0.0350	0.9230	0.7543	0.9230	11.4778	
Měření	13:11:05	183.5588	100.5280	57.9870	0.9230	-0.0020	1.4350
Souřadnice	13:11:05	585089.3397	1213236.1732	165.2211			
Nastavení	13:11:05	-0.0350	0.9230	0.7538	0.9230	11.4778	
Měření	13:11:23	182.8174	100.5418	48.5510	0.9230	-0.0020	1.4360
Souřadnice	13:11:23	585098.6418	1213234.4791	165.2887			
Nastavení	13:11:23	-0.0350	0.9230	0.7543	0.9230	11.4778	
Měření	13:12:07	181.6618	100.5532	38.7040	0.9230	0.0000	1.4360

Souřadnice	13:12:07	585108.3592	1213232.7103	165.3655			
Nastavení	13:12:07	-0.0350	0.9230	0.7530	0.9230	11.4778	
-----							
Měření	13:12:25	179.4998	100.5864	28.1220	0.9230	0.0000	1.4360
Souřadnice	13:12:25	585118.8263	1213230.8010	165.4427			
Nastavení	13:12:25	-0.0350	0.9230	0.7530	0.9230	11.4778	
-----							
Měření	13:12:42	174.7076	100.6481	17.5490	0.9230	-0.0010	1.4360
Souřadnice	13:12:42	585129.3561	1213228.8831	165.5231			
Nastavení	13:12:42	-0.0350	0.9230	0.7536	0.9230	11.4778	
-----							
Měření	13:13:06	159.9730	100.8154	8.3140	0.9230	-0.0020	1.4360
Souřadnice	13:13:06	585138.8457	1213227.1537	165.5953			
Nastavení	13:13:06	-0.0350	0.9230	0.7543	0.9230	11.4778	
-----							
Měření	13:13:46	50.1790	100.4147	4.1560	0.9230	-0.0010	1.4350
Souřadnice	13:13:46	585148.5327	1213225.3888	165.6747			
Nastavení	13:13:46	-0.0350	0.9230	0.7531	0.9230	11.4778	
-----							
Měření	13:14:10	6.0086	99.7668	12.0240	0.9230	-0.0010	1.4350
Souřadnice	13:14:10	585157.6020	1213223.7326	165.7458			
Nastavení	13:14:10	-0.0350	0.9230	0.7531	0.9230	11.4778	
-----							
Měření	13:14:35	397.6838	99.6510	21.5030	0.9230	-0.0010	1.4360
Souřadnice	13:14:35	585167.1530	1213221.9946	165.8196			
Nastavení	13:14:35	-0.0350	0.9230	0.7536	0.9230	11.4778	
-----							
Měření	13:14:53	394.2774	99.6126	32.0400	0.9230	-0.0020	1.4350
Souřadnice	13:14:53	585177.6096	1213220.0883	165.8968			
Nastavení	13:14:53	-0.0350	0.9230	0.7538	0.9230	11.4778	
-----							
Měření	13:15:13	392.6708	99.5937	41.7180	0.9230	-0.0030	1.4350
Souřadnice	13:15:13	585187.1728	1213218.3462	165.9681			
Nastavení	13:15:13	-0.0350	0.9230	0.7544	0.9229	11.4778	
-----							
Měření	13:16:03	391.5923	99.5764	52.3560	0.9230	-0.0020	1.4350
Souřadnice	13:16:03	585197.6660	1213216.4332	166.0503			
Nastavení	13:16:03	-0.0350	0.9230	0.7538	0.9230	11.4778	
-----							
Měření	13:16:21	390.8890	99.5645	62.7980	0.9230	0.0000	1.4350
Souřadnice	13:16:21	585207.9562	1213214.5572	166.1316			
Nastavení	13:16:21	-0.0350	0.9230	0.7525	0.9230	11.4778	
-----							
Měření	13:16:40	390.3786	99.5591	73.4980	0.9230	-0.0020	1.4360
Souřadnice	13:16:40	585218.4951	1213212.6359	166.2111			
Nastavení	13:16:40	-0.0350	0.9230	0.7543	0.9230	11.4778	
-----							

## Příloha č. 6 - Protokol o vyrovnaní měření (transformace) osy koleje

(ukázka protokolu, zbylá část na přiloženém CD)

Protokol vyrovnaní měření - transformace

// Rail 17.09.1 17.03.2019 21:09:51

Soubory pro vyrovnaní měření :

Předcházející : f:\gdisk\sdílena\diplomka\rail\dipl5\9001-17\_03\_19\9001-17\_03\_19\_1.ss

Transformovaný : f:\gdisk\sdílena\diplomka\rail\dipl5\9002-17\_03\_19\9002-17\_03\_19\_1.ss

Následující : f:\gdisk\sdílena\diplomka\rail\dipl5\9003-17\_03\_19\9003-17\_03\_19\_1.ss

Výstupní : f:\gdisk\sdílena\diplomka\rail\dipl5\9002-17\_03\_19\9002-17\_03\_19\_1\_tra.ss

-----  
Body překrytu : transformovaný - předcházející soubor (levá strana)

-----  
ČB staničení [km] posun [mm] dH [mm] použit  
13:30:13 86.668187 -5 7 o  
13:30:20 86.668846 -6 1 o  
13:30:27 86.669522 -4 -5 o  
Těžiště 86.668852 -5 1 o  
ČB staničení [km] posun [mm] dH [mm] použit  
13:20:06 86.668161 -6 4 o  
13:20:14 86.668809 -2 0 o  
13:20:20 86.669537 -3 -7 o  
Těžiště 86.668836 -4 -1 o

Způsob transformace

Poloha : průměr , hodnota : 0.5 [mm]

Výška : průměr , hodnota : 0.9 [mm]

-----  
Body překrytu : transformovaný - následující soubor (pravá strana)

-----  
ČB staničení [km] posun [mm] dH [mm] použit  
13:44:38 86.969528 -10 3 o  
13:44:48 86.970180 -8 -5 o  
13:44:59 86.970859 -5 -12 o  
Těžiště 86.970189 -8 -5 o  
ČB staničení [km] posun [mm] dH [mm] použit  
13:55:32 86.969519 -8 11 o  
13:55:39 86.970178 -8 6 o  
13:55:47 86.970884 -9 -3 o  
Těžiště 86.970194 -8 5 o

-----  
Způsob transformace

Poloha : průměr , hodnota : -0.3 [mm]

Výška : průměr , hodnota : -4.8 [mm]

-----  
Maximální velikost překrytu : 0.5000 [m]  
-----