



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

# URČENÍ VÝŠEK BODŮ PLOŠNÉ NIVELAČNÍ SÍTĚ V AREÁLU FAST VEVEŘÍ

DETERMINATION OF BENCH-MARK HEIGHTS IN THE FAST VEVEŘI LOCAL LEVELING NETWORK

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Peško

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.

BRNO 2023

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav geodézie  
Student: **Tomáš Peško**  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.**  
Akademický rok: 2022/23  
Studijní program: B0532A260001 Geodézie a kartografie

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Určení výšek bodů plošné nivelační sítě v areálu FAST Veverří

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Nastudování měřického postupu přesné nivelace, nastudování obsluhy elektronického nivelačního přístroje. Zaměření nivelačních bodů v areálu FAST Veverří metodou přesné nivelace, výškové připojení do ČSNS, vyrovnání měření metodou MNČ a výpočet výšek.

### Cíle a výstupy bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je určit výšky bodů plošné nivelační sítě v areálu FAST Veverří. Výstupem práce bude mimo jiné přehledka nivelačních bodů, jejich výšky a geodetické údaje o bodech.

### Seznam doporučené literatury a podklady:

1. Vyhláška č. 31/1995 Sb. (prováděcí k zákonu 200/1994 Sb.).
2. ČSN ISO 17123-2 Část 2: Nivelační přístroje
3. Návod pro správu geodetických základů, ČÚZK, Praha 2015
4. Metodický návod pro budování, obnovu a údržbu výškových bodových polí ve znění Dodatku č. 1/88 ze dne 29. 7. 1988 č.j. ČÚGK 2702/88-21
5. Metodický návod pro práce v základním výškovém bodovém poli. Zeměměřický úřad, Praha 2003.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 30. 11. 2022

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Bureš, Ph.D.  
vedoucí ústavu

---

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.  
vedoucí práce

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.  
děkan

## ABSTRAKT

Predmetom tejto bakalárskej práce je určenie nadmorských výšok bodov plošnej nivelačnej siete v areáli FAST Veveří. Teoretická časť sa zaoberá teóriou určovania výšok. Praktická časť popisuje použitú výbavu, jej prípravu na meranie, meračské práce, ktorými boli určované body prepojené so vzťažnými bodmi ČSNS a spracovanie nameraných údajov. Výsledkami práce sú vyrovnané nadmorské výšky bodov, ktoré poslúžili ako podklad pre tvorbu geodetických údajov a prehľadiek nivelačnej siete.

## KLÍČOVÁ SLOVA

určovanie výšok, presná nivelácia, nivelačná sieť, vyrovnanie, metóda najmenších štvorcov

## ABSTRACT

The theme of this bachelor thesis is determination of bench-mark heights in the FAST Veveří local levelling network. Theoretical part deals with the theory of determination of heights. Practical part describes used equipment, it's preparation for measurement, measuring methods used to connect points with unknown heights to reference points from ČSNS and processing of measured data. Results of this thesis are equalized heights of the points which served as a base for documentation of levelling points and schematics of the levelling network.

## KEYWORDS

determination of heights, precise levelling, levelling network, equalization, least squares method

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PEŠKO, Tomáš. *Určení výšek bodů plošné nivelační sítě v areálu FAST Veveří*. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Určení výšek bodů plošné nivelační sítě v areálu FAST Veverí* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2023

---

Tomáš Peško  
autor

## POĎAKOVANIE

Týmto by som sa chcel poďakovať vedúcemu mojej bakalárskej práce doc. Ing. Radovanovi Machotkovi, Ph.D. za poskytnutú pomoc a rady pri meraní a spracovaní zadanej úlohy, a Lukášovi Poštulkovi za spoluprácu pri meraní. Ďalej ďakujem spolužiakom, ktorí si našli čas a obetovali nám kúsok svojho dňa, keď sme pri meraní potrebovali figuranta navyše.



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>GEODETICKÉ ZÁKLADY PRE URČOVANIE VÝŠOK</b> .....	<b>12</b>
2.1	Výškové bodové pole.....	12
2.2	Záväzný referenčný systém Bpv.....	12
<b>3</b>	<b>METÓDY MERANIA VÝŠOK</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Geometrická nivelácia</b> .....	<b>14</b>
3.1.1	Technická nivelácia.....	15
3.1.2	Presná nivelácia.....	16
3.1.3	Veľmi presná a zvlášť presná nivelácia.....	16
<b>3.2</b>	<b>Trigonometrické určovanie výšok a prevýšení</b> .....	<b>17</b>
<b>3.3</b>	<b>Metódy GNSS</b> .....	<b>17</b>
<b>3.4</b>	<b>Hydrostatická nivelácia</b> .....	<b>18</b>
<b>3.5</b>	<b>Barometrické určovanie výšok</b> .....	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>PRÍPRAVNÉ PRÁCE</b> .....	<b>19</b>
<b>4.1</b>	<b>Rekognoskácia terénu</b> .....	<b>19</b>
<b>4.2</b>	<b>Prístrojová výbava a pomôcky</b> .....	<b>19</b>
4.2.1	Digitálny nivelačný prístroj Leica DNA03.....	19
4.2.2	Invarové nivelačné laty Leica GPCL3.....	20
4.2.3	Teodolit Zeiss Theo 015B.....	20
<b>4.3</b>	<b>Kontrola výbavy pred meraním</b> .....	<b>20</b>
4.3.1	Kontrola nivelačného prístroja.....	20
4.3.2	Kontrola lát.....	20
<b>5</b>	<b>MERAČSKÉ PRÁCE</b> .....	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>Geodetické základy použité pri meraní</b> .....	<b>22</b>
<b>5.2</b>	<b>Metodika merania</b> .....	<b>22</b>
<b>5.3</b>	<b>Rozloženie nivelačných ťahov</b> .....	<b>23</b>

<b>6</b>	<b>POSÚDENIE PRESNOSTI MERANIA.....</b>	<b>25</b>
6.1	Odchýlky medzi prevýšeniami obojsmerne meraných oddielov.....	25
6.2	Posúdenie uzáverov uzavretých ťahov.....	25
6.3	Stredná kilometrová chyba jednotková obojsmernej nivelácie .....	27
6.4	Stredná chyba obojsmernej nivelácie pre celý ťah .....	27
<b>7</b>	<b>SPRACOVANIE DÁT.....</b>	<b>29</b>
7.1	Export a úprava dát.....	29
7.1.1	Export dát z nivelačného prístroja.....	29
7.1.2	Oprava chýb z latového metra.....	29
7.2	Vyrovnanie merania .....	30
7.2.1	Parametre vyrovnaní a približné hodnoty.....	31
7.2.2	Funkčné vzťahy a rovnice opráv .....	33
7.2.3	Pretvorené rovnice opráv a váhy .....	34
7.2.4	Aplikácia MNC .....	36
7.2.5	Riešenie normálnych rovníc.....	37
7.2.6	Charakteristiky kvality merania .....	37
7.3	Overenie výšky pripojovacieho bodu .....	38
<b>8</b>	<b>VÝSTUPY PRÁCE .....</b>	<b>39</b>
8.1	Geodetické údaje.....	39
8.2	Prehľadky nivelačnej siete VUT FAST.....	39
<b>9</b>	<b>ZÁVER.....</b>	<b>40</b>
<b>10</b>	<b>ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV.....</b>	<b>41</b>
<b>11</b>	<b>ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK.....</b>	<b>43</b>
11.1	Zoznam obrázkov .....	43
11.2	Zoznam tabuliek .....	43
<b>12</b>	<b>ZOZNAM PRÍLOH .....</b>	<b>44</b>
<b>13</b>	<b>ZOZNAM SKRATIEK .....</b>	<b>45</b>

# 1 ÚVOD

Táto bakalárska práca popisuje meračské a výpočtové práce pri určovaní nadmorských výšok bodov plošnej nivelačnej siete v areáli Veveří, Fakulty stavební VUT v Brně. Úvodná teoretická časť začína rozpisom geodetických základov ČR, používaných pre výškové merania. Ďalej sa zaoberá stručným opisom najrelevantnejších metód merania výšok.

Po nej nasleduje časť zaoberajúca sa meračskými prácami. Popisuje sa v nej použitá prístrojová výbava, jej príprava na meranie a metodika merania. Namerané údaje sú v nej podrobené testovaniu presnosti podľa kritérií pre III. rád ČSNS.

Výpočtová časť bola v súlade so zadaním vypracovaná vo forme vyrovnania metódou najmenších štvorcov (MNČ). Súčasťou merania boli aj dva nadbytočné body ČSNS, ktoré boli vyrovnané a poslúžili na overenie výšky pripojovacieho bodu v súlade s predpismi pre nivelačné ťahy III. rádu.

Výstupmi práce sú určené výšky bodov plošnej nivelačnej siete, prehľadky bodov a geodetické údaje o určených bodoch.

## 2 GEODETICKÉ ZÁKLADY PRE URČOVANIE VÝŠOK

Geodetickým základom pre výškové merania na území Českej republiky je výškové bodové pole, ktorého obsah je stanovený v bode 1.3 prílohy vyhlášky č. 31/1995 Sb. Výšky týchto bodov sú povinne určené vo výškovom systéme Balt po vyrovnaní a to na základe nariadenia vlády č. 116/1995 Sb.

### 2.1 VÝŠKOVÉ BODOVÉ POLE

Rovnako ako všetky ostatné body geodetických základov, aj výškové bodové pole spadá pod správu Zememeračského úradu Českej republiky (ZÚ). Možno ho rozdeliť na základné (ZVBP) a podrobné (PVBP) výškové bodové pole. Alternatívne sa možno stretnúť s označením podľa súčasne platného Návodu pre správu geodetických základov z roku 2015. V tomto sú v prílohe č. 2 body ZVBP označované ako body Českej štátnej nivelačnej siete (ČSNS) a body PVBP ako body Českej podrobnej nivelačnej siete (ČPNS). [1] [4]

#### a) Základné výškové bodové pole (ZVBP)

**Základné nivelačné body** – Jedná sa o 12 bodov so skalnou stabilizáciou. Chránené sú kamenným pomníkom a ich výška je určená metódou veľmi presnej nivelácie. Slúžia na zaistenie ČSNS a ich použitie je povolené len so súhlasom ZÚ.

**Body nivelačných sietí I. rádu** – Sieť I. rádu pozostáva z nivelačných ťahov zoskupených do polygónov, tvoriacich nivelačné oblasti I. rádu. Merania v nej sú uskutočňované metódou veľmi presnej nivelácie.

**Body nivelačných sietí II. rádu** – Sieť II. rádu tvoria nivelačné ťahy vložené do oblastí I. rádu. Tieto tvoria polygóny ohraničujúce nivelačné oblasti II. rádu a rovnako ako rád I. sa merajú veľmi presnou niveláciou.

**Body nivelačných sietí III. rádu** – Tvorené sieťou nivelačných polygónov III. rádu vložených do oblastí II. rádu. Práce v tejto sieti sa vykonávajú metódou presnej nivelácie.

#### b) Podrobné výškové bodové pole (PVBP)

**Body nivelačných sietí IV. rádu** – Budované a udržiavané presnou niveláciou.

**Plošné nivelačné siete** – Budované metódou presnej nivelácie v mestách a areáloch, podľa miestnej potreby.

**Stabilizované body technických nivelácií** – Body zo sietí meraných technickou niveláciou.

Ďalšou skupinou sú zvláštne nivelačné siete (ZNS). Tie sú podľa potreby budované a pravidelne premeriavané, v oblastiach so špecifickými podmienkami, ako sú napríklad poddolované územia. K roku 2023 obsahuje výškové bodové pole približne 125 400 bodov. [13]

### 2.2 ZÁVÄZNÝ REFERENČNÝ SYSTÉM BPV

Záväzným referenčným systémom pre výškové merania v ČR je systém Baltský – po vyrovnaní (Bpv). Zavedený bol v rokoch 1952 -1957. Predchádzal mu systém Jadranský, s ktorým

bolo možné vo výnimočných prípadoch pracovať až do roku 2000. Počas nemeckej okupácie v rokoch 1938 – 1945 sa prešlo na systém Normal – Null, ale po vojne sa všetky v ňom uskutočnené merania previedli do Jadranského systému. [17]

Systém Bpv je podľa nariadenia vlády č. 116/1995 Sb., definovaný nasledovnými technickými parametrami:

- Východiskovým bodom systému, ktorým je nula stupnice mareografu v Kronštade, predstavujúca strednú hladinu Baltského mora.
- Súborom normálnych výšok z medzinárodného vyrovnania nivelačných sietí, medzi vtedajšími socialistickými štátmi.

Systém Bpv využíva takzvané Molodenského normálne výšky. Takouto výškou, sa rozumie vzdialenosť pozdĺž ťažnice normálneho tiažového poľa, medzi bodom na povrchu zeme a kvazigeoidom. Vyjadruje ich vzťah:

$$H = \frac{1}{\gamma_{m,N}} \int g * dh$$

Kde: (1)

$\gamma_{m,N}$  stredná hodnota normálneho tiažového zrýchlenia

$g$  tiažové zrýchlenie na zemskom povrchu namerané pozdĺž nivelačného ťahu

$dh$  element meraného nivelačného prevýšenia

Teória normálnych výšok je komplexná téma, ktorá však vzhľadom na pomerne malý rozsah merania nebola vyžadovaná ako súčasť tejto práce. Hoci nebude ďalej rozoberaná, je potrebné si uvedomiť, že normálne prevýšenia, sú výsledkom nie len nivelačného, ale aj gravimetrického merania. Konkrétne sa jedná o nivelačné prevýšenia opravené o normálnu ortometrickú korekciu a vplyv tiažových anomálií. Pri presných niveláciách na dlhšie vzdialenosti je teda nutné byť oboznámený a pracovať aj s týmito vplyvmi. [5] [9]

### 3 METÓDY MERANIA VÝŠOK

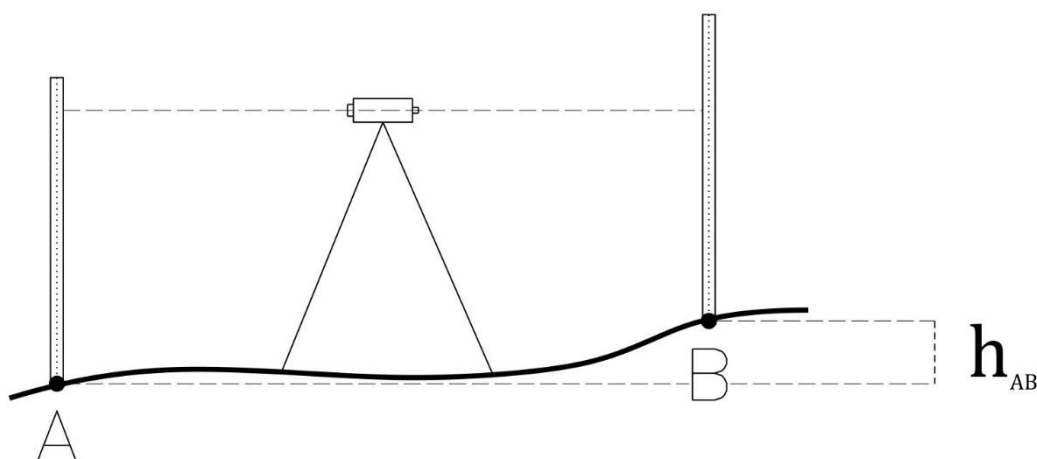
Schopnosť spoľahlivo určiť výšku bodu, alebo prevýšenie medzi viacerými bodmi je základným predpokladom akéhokoľvek pokročilého stavebného zámeru. Je teda zrejmé, že princíp nivelácie v rôznych podobách bol známi už pred tisíckami rokov. Plynutím vekov boli metódy obohacované o nové poznatky a technológie, a vyústili tak do našich súčasných možností. Najrelevantnejšími metódami používanými v súčasnosti sú:

- Geometrická nivelácia
- Trigonometrické určovanie výšok a prevýšení
- Metódy GNSS
- Hydrostatická nivelácia
- Barometrické určovanie výšok

#### 3.1 GEOMETRICKÁ NIVELÁCIA

Prenášanie a určovanie výšok skrz vodorovnú rovinu je najjednoduchší a pravdepodobne najstarší spôsob práce s výškami. Pri geometrickej nivelácii sa vodorovná rovina realizuje zámernou osou ďalekohľadu nivelačného prístroja. Nivelačný prístroj sa spravidla umiestňuje doprostred vzdialenosti medzi dvoma bodmi A a B, aby sa obmedzil vplyv nevodorovnosti jeho zámernej osi. Cielenie na prvý bod (A) na stupnici sa nazýva zámera vzad, cielenie na bod B zámera vpred. Rozdiel hodnoty odčítanej z lavy pri čítaní vzad ( $z$ ) a hodnoty z čítania vpred ( $p$ ), je hodnota výškového rozdielu medzi bodmi A a B. Táto hodnota sa označuje ako prevýšenie  $h_{AB}$ .

$$h_{AB} = z - p \quad (2)$$



Obr. č. 1 Niveláčna zostava

Takýto celok, sa označuje ako nivelačná zostava. V prípade väčšej vzdialenosti, alebo viacerých bodov, je nutné použiť viacero na seba naväzujúcich zostáv, takzvaný nivelačný ťah. V tomto prípade sa prevýšenie medzi bodmi A a B počíta, ako rozdiel súm čítaní vzad a vpred.

$$h_{AB} = \sum_{i=1}^n z_i - \sum_{i=1}^n p_i \quad (3)$$

Zostava, alebo skupina po sebe nasledujúcich zostáv medzi dvoma nivelačnými bodmi sa nazýva nivelačný oddiel. Meranie nivelačného ťahu možno prerušiť, a neskôr obnoviť, len na konci oddielu. V prípade dlhších nivelačných ťahov sa tiež zvykne pracovať s pojmom nivelačný úsek. Toto je ľubovoľná časť nivelačného ťahu, ktorá však tak isto musí začínať a končiť na nivelačnom bode.

Nivelačné ťahy sa štandardne merajú v dvoch smeroch. Meranie z prvého bodu na posledný sa označuje ako smer „tam“, meranie z posledného bodu znova na prvý je takzvaný smer „späť“.

V závislosti od dosahovanej presnosti môžeme geometrickú niveláciu zo stredy rozdeliť na:

- Technickú niveláciu (TN)
- Presnú niveláciu (PN)
- Veľmi presnú niveláciu (VPN)
- Zvlášť presnú niveláciu (ZPN)

Nasledujúce body sú bližšie venované jednotlivým druhom geometrickej nivelácie. Parametre prístrojov a lát sú popisované pre optické prístroje s vizuálnym odčítaním z latovej stupnice. Jednotlivé technické parametre však všeobecne platia aj pre prístroje digitálne. [5] [16]

### 3.1.1 Technická nivelácia

V technickej praxi sa jedná o najpoužívanejšiu metódu pri určovaní a vytyčovaní výšok. Pre nivelačné prístroje používané pre tento druh nivelácie sa požaduje odchýlka kilometrovej obojsmernej nivelácie o hodnote 5 mm. Ďalej sa u nich vyžaduje minimálne šesťnásobné zväčšenie d'alekohľadu a citlivosť nivelačnej libely, alebo kompenzátora 60"/2 mm. Nivelačné laty pre TN by mali byť vybavené krabicovou libelou, aj keď pri menej presných meraniach sa dá zaobísť bez nej. Laty zvyknú byť delené po 0,01 m a dlhé 2 – 4 m. Na rozdiel od presnejších nivelácií je taktiež možné používať praktickejšie, ale menej presné, teleskopické laty.

Dĺžka zámer sa pri meraní krokuje a za ideálnych podmienok môže dosahovať vzdialenosti až 80m.

Presnosť technickej nivelácie sa posudzuje podľa medznej odchýlky daného a nameraného prevýšenia:

$$\Delta h = 40 * \sqrt{R} \quad (4)$$

Kde R je dĺžka nivelačného ťahu v km a výsledná medzná odchýlka bude vyjadrená v mm.

V prípade dodržania všetkých kritérií na vybavenie, použitie celistvých lát a trvalo stabilizovaného pripojovacieho bodu, možno použiť prísnejší vzťah uvedený nižšie. [18]

$$\Delta h = 20 * \sqrt{R} \quad (5)$$

### 3.1.2 Presná nivelácia

Jedná sa o štandardnú metódu merania pre získanie presných výsledkov. Používaná pre údržbu bodových polí, alebo v inžinierskej geodézii. Nižšie popísaná metodika je usporiadaná pre prácu v ČSNS, konkrétne pre ťahy III. a IV. rádu. Pre menej náročné úkony, ako je predmet tejto práce, sa však môže do oprávnenej miery prispôbovať ich účelu.

Od nivelačných prístrojov pre PN sa vyžaduje konštantná dĺžka ďalekohľadu. Maximálna odchýlka na kilometer obojsmernej nivelácie má hodnotu 1,5 mm. Ideálne zväčšenie ďalekohľadu je 30x a citlivosť nivelačnej libely (alebo kompenzátora) do  $10''/2$  mm. Prístroje sú ďalej vybavené optickým mikrometrom so strednou chybou menšou než 0,1 mm. Mikrometer, v závislosti od číslovania stupnice laty, umožňuje jej čítanie na 0,1 mm, alebo 0,05 mm. Na rozdiel od TN sa prístroj musí stavať na statív s celistvými nohami.

Laty musia byť tiež celistvé, s dvomi stupnicami vzájomne posunutými o konštantu (štandardne 60650, alebo 59250). Stupnica ďalej býva číslovaná po 10 mm, alebo 5 mm, a jej stuha musí byť z teplotne málo rozťažného materiálu, ako je invar. Pre presné meranie je taktiež zásadné poznať priemernú odchýlku jedného latového metra zistenú komparáciou laty v laboratóriu. Pre zaistenie presnosti merania a ochranu brúsených pätičiek lát, je ďalej nutné používať ťažké nivelačné podložky.

Jednotlivé zámery môžu dosiahnuť maximálnu dĺžku 50 m. Ich dĺžka sa rozmeriava pásmom s presnosťou na 0,1 m a musia prechádzať viac ako 0,5 m nad terénom.

Spôsob čítania lát pracuje s ich dvojistou stupnicou. Označme stupnice ako ľavú (l) a pravú (p). Začína sa čítaním na zadnú ľavú stupnicu, odčítajú sa obe predné stupnice, a končí sa čítaním na pravú zadnú stupnicu ( $l_z$   $l_p$   $p_p$   $p_z$ ). Tento, na prvý pohľad nepraktický postup, slúži na odhalenie systematickej chyby z pohybu prístroja a nivelačných podložiek.

Pri meraní viac ako jednej zostavy sa štandardne používajú dve laty a oddiel sa rozdeľuje na párný počet zostáv. Takýto oddiel sa začína, aj končí tou istou latou. Pri meraní v opačnom smere sa laty vymenia.

V závislosti od požiadaviek na presnosť je nutné zvážiť vplyvy atmosférických javov na meranie. Refrakcia, korekcia z tepelnej rozťažnosti stupnice laty a priame slnečné svetlo sú javy s citelným dopadom na PN, hoci pri TN sú bežne zanedbávané. Pri dlhých meraniach začína tiež hrať úlohu zakrivenie zeme, vlnenie zemskej kôry a tiažové pole zeme.

Presnosť merania v rámci ČSNS sa posudzuje podľa parametrov pre III., alebo IV. rád. Mimo ČSNS neexistujú žiadne jednotné parametre, a je teda nutné dbať na pravidlá vyrovnávacieho počtu a konkrétne požiadavky na dané meranie. [5] [16] [18]

### 3.1.3 Veľmi presná a zvlášť presná nivelácia

Tieto dve metódy sa od TN a PN odlišujú hlavne prísnejším postupom merania sústredeným na minimalizáciu systematických chýb pri meraniach na dlhé vzdialenosti. Je pri nich nutné zavádzať korekcie z atmosférických a tiažových javov a dbať na najlepší stav prístroja a lát. Merania v smeroch tam a späť musia byť vykonávané v iné dni a inú dennú dobu. Pri prácach v ČSNS sa ich presnosť posudzuje rovnakými parametrami, ako pri PN, avšak konštanty vo výpočtových vzťahoch sú značne prísnejšie.

Veľmi presná nivelácia nachádza hlavné využitie pri prácach v ČSNS I. a II. rádu. Najväčšia prípustná dĺžka zámery je 40 m a jej minimálna výška nad zemou 0,8 m.

Zvlášť presná nivelácia slúži na najpresnejšie úkony v inžinierskej geodézii. Najväčšia prípustná dĺžka zámery je 35 m, s výškou 0,8 m nad zemou. Ďalej sa zavádzajú dodatočné opatrenia pre dosiahnutie maximálnej možnej presnosti, ako je napríklad postupnosť merania nivelačných úsekov, alebo iný postup čítania nivelačných lát.[4] [16]

## 3.2 TRIGONOMETRICKÉ URČOVANIE VÝŠOK A PREVÝŠENÍ

Jedná sa o bežnú metódu používanú pri geodetických činnostiach. Využitie nachádza naprieč všetkými geodetickými prácami, od mapovaní polohopisov, až po úlohy vyššej geodézie. Založená je na základných goniometrických vzťahoch v pravouhlom trojuholníku. Prevýšenie medzi stanoviskom a cieľovým bodom sa určuje na základe vodorovnej, alebo šikmej vzdialenosti, zenitového uhla a výšok prístroja a cieľa. Za použitia moderných totálnych staníc, schopných okamžitého merania dĺžky, sa jedná o vysoko efektívnu a rýchlu metódu. Oproti geometrickej nivelácii ďalej umožňuje meranie na veľké vzdialenosti a na veľmi strmé zámery. Toto však zároveň vedie k väčšiemu vplyvu zakrivenia zeme, refrakcie, ťažnicových odchýlok, alebo zbiehavosti normál. Ďalej použitie totálnej stanice s elektronickým diaľkomerom vnáša do merania vlastné systematické chyby, ktoré je pri presnom meraní nutné odstrániť.

Za predpokladu dobrých podmienok, veľmi presného merania a zavedenia všetkých korekcií, je možné dosiahnuť presnosť trigonometricky určeného prevýšenia 1 mm. V bežnej technickej praxi by pri správnom postupe, nemala stredná chyba takéhoto prevýšenia prekročiť 1-2 cm. [8]

## 3.3 METÓDY GNSS

Meranie metódami GNSS sa v dnešnej dobe teší veľkej popularite. V dennodennej praxi je najčastejšie používaná metóda RTK (Real Time Kinematic). Metóda umožňuje skoro okamžité určenie polohy bodu a opravu meraných veličín o korekcie z blízkej referenčnej stanice, alebo virtuálnej referenčnej stanice. Presnosť tejto metódy sa pohybuje v rámci centimetrov. Statické metódy merania umožňujú dosiahnutie vyššej presnosti, avšak sú časovo náročné a stále nedosahujú kvalitu presných nivelačných meraní. Určovanie výšky týmito metódami je ďalej spravidla menej presné, ako nimi určená poloha. Vysvetľujú to atmosférické javy, deformácie zemského povrchu a fakt, že všetky družice použité pri určovaní výšky sa budú vždy nachádzať nad horizontom. Ďalej presné meranie výšok vyžaduje znalosť priebehu kvazigeoidu. Súčasne používaným modelom pre územie ČR je Podrobný kvazigeoid QGZÚ-2013. Stredná chyba jeho výškovej anomálie je 1 cm, ale pre pohraničné a horské oblasti môže vystúpiť až na 3 cm. Z teórie výšok vyplýva, že tieto chyby sa priamo prenášajú do chýb nadmorských výšok určených nad kvazigeoidom.

Výrobcovia moderných aparátúr, napríklad spoločnosť Trimble, uvádzajú maximálnu presnosť určenia výšky 1,5 cm. Z vyššie uvedených dôvodov, je však rozumné predpokladať strednú chybu dosahujúcu 3-4 cm. [8] [9] [19]

### **3.4 HYDROSTATICKÁ NIVELÁCIA**

Hydrostatická nivelácia je založená na fyzikálnych vlastnostiach kvapalín, ktorých povrch vždy zaujíma tvar hladinovej plochy. Slúži k nej takzvaná hydrostatická súprava, ľudovejšie označovaná, ako hadicová vodováha. V základe sa jedná o dve, hadicou spojené nádoby, naplnené vodou. Pre geodetické účely môžu byť dodatočne vybavené indikačnou ihlou, a libelou. Po tom, čo sa nádoby umiestnia na body, sa do nich skrz uzáver vpustí vzduch, voda sa prispôsobí hladinovej ploche a odčítaním stupníc sa určí prevýšenie. Pri štandardnom použití sa presnosť pohybuje okolo 3-5 mm. S kvalitnou aparátúrou, presným postupom a pri vylúčení systematických chýb možno dospieť až ku presnosti 0,1 mm. Vďaka nemotornej povahe tejto metódy, sa však skoro vždy uprednostňuje technická, alebo presná nivelácia.

Jej spoľahlivý a automatický princíp však nachádza využitie na miestach, kde sa vyžaduje sústavné a presné meranie, bez aktívneho dozoru. Ako príklad možno uviesť sledovanie posunov na priehradách, alebo v elektrárnach. [8]

### **3.5 BAROMETRICKÉ URČOVANIE VÝŠOK**

Barometrická nivelácia spočíva v meraní barometrického (astrostatického) tlaku vzduchu, vyjadreného v pascaloch (Pa). Ten sa vplyvom tiaže zemskej atmosféry znižuje s rastúcou nadmorskou výškou. Prevýšenie dvoch bodov sa pri tejto metóde určuje z rozdielu na nich nameraného barometrického tlaku.

Presnosť Barometrickej nivelácie sa v závislosti od použitého prístroja pohybuje okolo 1-7 m. Túto nízku presnosť však kompenzuje poskytovaním okamžitých výsledkov. Hoci teda nepatrí do repertoára presných geodetických metód, nachádza využitie v iných odvetviach, napríklad v letectve. [8]

## 4 PRÍPRAVNÉ PRÁCE

### 4.1 REKOGNOSKÁCIA TERÉNU

Dňa 9. 6. 2022 bola vykonaná rekognoskácia areálu fakulty za sprievodu vedúceho práce. V rámci nej bola overená identita a stav bodov plošnej nivelačnej siete, ktoré boli rozdelené medzi študentov. Ako predmet tejto práce bolo stanovených 14 bodov stabilizovaných vnútri areálu Veveří.

### 4.2 PRÍSTROJOVÁ VÝBAVA A POMÔCKY

Samotné meranie bolo vykonané pomocou nasledujúcich prístrojov a pomôcok poskytnutých ústavom geodézie fakulty stavebnej:

- Digitálny nivelačný prístroj Leica DNA03
- Pár invarových nivelačných lát Leica GPCL3
- Drevený statív s pevnými nohami
- Nivelačné podložky pod laty a štyri operné tyče pre ich stabilnejšie držanie
- Meračské pásmo
- Teodolit Zeiss Theo 015B

#### 4.2.1 Digitálny nivelačný prístroj Leica DNA03

Jedná sa o digitálny nivelačný prístroj zo série Leica DNA, ktorej súčasťou je ešte model DNA10. DNA10 je podľa výrobcu určený len pre technickú niveláciu. DNA03, ako presnejší z tejto dvojice, je použiteľný aj pre niveláciu presnú a veľmi presnú. V užívateľskej príručke uvádza výrobca štandardnú odchýlku pre obojsmernú niveláciu za použitia invarovej laty  $\pm 0,3$  mm/km. Počas merania ďalej zaznamenáva vzdialenosť jednotlivých čítaní na laty so štandardnou odchýlkou 5 mm/10 m. [10]

Technical data			
<b>Height measurements</b>		Opening angle	2°
Standard deviation per km double run (ISO 17123-2):		Field of view	3.5m at 100m
Electronic measurement	<b>DNA03</b> <b>DNA10</b>	Min. target distance	0.6m
with invar staff	0.3mm 0.9mm	Multiplication constant	100
with standard staff	1.0mm 1.5mm	Addition constant	0
Optical measurement	2.0mm 2.0mm	<b>Level sensitivity</b>	
<b>Distance measurement</b>		Circular level	8'/2mm
Standard deviation	5mm/10m	<b>Compensator</b>	
<b>Distance measuring range for electronic measurements</b>		Magnet damped pendulum compensator with electronic range control.	
Staff lengths $\geq$ 3m	1.8m - 110m	Slope angle	$\pm 10'$
Recommendation for 3m invar staffs	1.8m - 60m	Centering accuracy	<b>DNA03</b> <b>DNA10</b>
Staff lengths = 2.7m	1.8m - 100m	Standard deviation	0.3" 0.8"
Staff lengths = 1.82m/ 2m	1.8m - 60m	<b>Display</b>	
<b>Measuring time single measure</b>	typically 3 sec.	LC display	8 lines of 24 characters, 144 x 64 pixels
<b>Telescope</b>		Lighting	economic/ permanent/ circular level only
Magnification	24x		
Free objective diameter	36mm		

Obr. č. 2 Technické parametre Leica DNA03

## 4.2.2 Invarové nivelačné laty Leica GPCL3

Pri meraní bola ďalej použitá dvojica pevných lát Leica GPCL3, konkrétne čísla 26353 a 26346. Podľa manuálu od výrobcu sú laty dlhé 3,05 m a vážia 4,9 kg. Laty disponujú kódovými stupnicami, a kruhovými libelami s citlivosťou 12"/2 mm. Spolu s latami nám bola poskytnutá kópia ich kalibračného listu z VÚGTK, na základe ktorej bola neskôr počítaná oprava z odchýlky latového metra a teplotnej rozťažnosti lát. [11]

## 4.2.3 Teodolit Zeiss Theo 015B

Tento starší, ale spoľahlivý optický teodolit bol použitý pri kontrole zvislosti nivelačných lát pred meraním.

## 4.3 KONTROLA VÝBAVY PRED MERANÍM

### 4.3.1 Kontrola nivelačného prístroja

Pred meraním bola v priestore pred budovou B vykonaná skúška nivelačného prístroja na zostave dlhej 24 metrov.

### 4.3.2 Kontrola lát

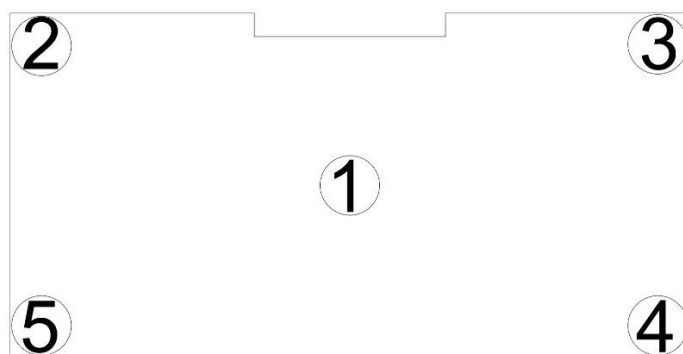
Pred meraním bola u lát skontrolovaná nutnosť rektifikácie libely a výskyt chyby z nekolmosti nulovej plochy (pätky) a osi laty. U lát sa taktiež objavujú chyby z nenulovej hodnoty pätky, nerovnosti laty a nesprávnej dĺžky latového metra. Nenulová hodnota pätky sa vylučuje postupom merania. Nerovnosť vzniká predovšetkým u starších a zle opatrovaných lát. Najjednoduchšie sa o nej presvedčiť napnutím nite pozdĺž laty, ale významnej nerovnosti si možno všimnúť aj pri rektifikácii libely. Nesprávna dĺžka latového metra sa odhaľuje pri kalibrácii a opravuje pri spracovaní merania.

Rektifikácia libely bola vykonaná na oboch latách. Lata držaná v zvislej polohe bola postavená na nivelačnú podložku na pevnom povrchu a 14 metrov od nej bol postavený teodolit Theo 015B. Cieľom na spodok a na vrch zvislých lát (takzvaným „optickým prevažovaním“) boli zistené odchýlky uvedené v Tab. 1. V súlade s nimi boli libely na latách zrektifikované.

Tab. 1 Namerané odchýlky zvislo postavených lát

LATA	NÁKLON (z pohľadu merača)	
26346	15 mm vpravo	5 mm vzad
26353	5 mm vľavo	5 mm dopredu

Kolmost' nulových plôch na osi lát bola overená predpísaným spôsobom. Lata bola postavená na stabilizovanú nivelačnú značku, na ktorej bola presúvaná tak, aby pri každom čítaní stála na inej časti pätky (vid'. Obr. č. 3). V prípade, že by rozdiel medzi krajnými hodnotami presiahol 0,2 mm je nutné nechať latu obrúsiť, prípadne ju úplne vyradiť. Namerané hodnoty sú zaznamenané v Tab. 2. [6]



Obr. č. 3 Schéma pätky pri kontrole jej kolmosti

Tab. 2 Čítania na latách namerané pri testovaní kolmosti pätky

	<b>26346 [m]</b>	<b>26353 [m]</b>
<b>1</b>	1,28210	1,28207
<b>2</b>	1,28201	1,28204
<b>3</b>	1,28213	1,28217
<b>4</b>	1,28211	1,28214
<b>5</b>	1,28203	1,28201
<b>1</b>	1,28209	1,28211
<b>Maximálny rozdiel</b>	0,12 mm	0,16 mm

## **5 MERAČSKÉ PRÁCE**

### **5.1 GEODETICKÉ ZÁKLADY POUŽITÉ PRI MERANÍ**

Podľa metodické návodu pre práce v ZVBP musia byť nivelačné ťahy obojstranne pripojené na body ťahov vyššieho, alebo rovnakého rádu.

Pre účely tejto práce bolo zvolené pripojenie na bod ČSNS II. rádu Kij-7.2f. Okrem overenia totožnosti pomocou miestopisov, je však nutné preveriť nemennosť výšky použitých bodov pomocou nezávislého, kontrolného merania. Pre tento účel boli použité body Kij-7.2c a Kij-7.2d. Výšky týchto troch bodov boli pôvodne určené v roku 2008 v rámci prvého odbočného ťahu s počiatkom v bode Kij-7.2 na budove finančného úradu na Štefánikovej ulici. [5]

### **5.2 METODIKA MERANIA**

Meranie bolo vykonané metódou presnej, geometrickej nivelácie zo stredy. V súlade s pokynmi vedúceho práce bola použitá iba jedna z dvojice kódových, invarových lát (číslo 26353). Z dôvodu odstránenia chyby z nenulovej hodnoty pätky laty sa vyžaduje, aby sa každý oddiel začínal a končil tou istou latou, z čoho vyplýva zásada párneho počtu nivelačných zostáv pre každý oddiel. Použitie jedinej laty teda oprávňuje nepárny počet zostáv v niektorých oddieloch.

Ako je spomenuté v bode 3.1.2, pri presnej nivelácii musí byť zámerna vedená minimálne 0,5 m nad zemou. Účelom tohto opatrenia je zabrániť čítaniu laty príliš blízko terénu, kde je najväčšia refrakcia. Digitálny nivelačný prístroj však na rozdiel od ľudského oka nečíta jedínú hodnotu na úrovni zámernej osy. Prístroj registruje uhol  $2^\circ$  v ktorom prečíta zobrazenú časť kódu na late a podľa nej určuje čítanie. V prípade, že je zámerna moc dlhá a do záberu sa dostane nižšia časť laty, môže refrakcia ovplyvniť spodnú časť obrazu a tým aj kvalitu čítania, aj keď zámerná os ďalekohľadu prechádza viac ako 0,5 m nad terénom. Pre potreby práce bola preto vedúcim stanovená maximálna dĺžka zámery 20 m, miesto štandardne uvádzaných 50 m.

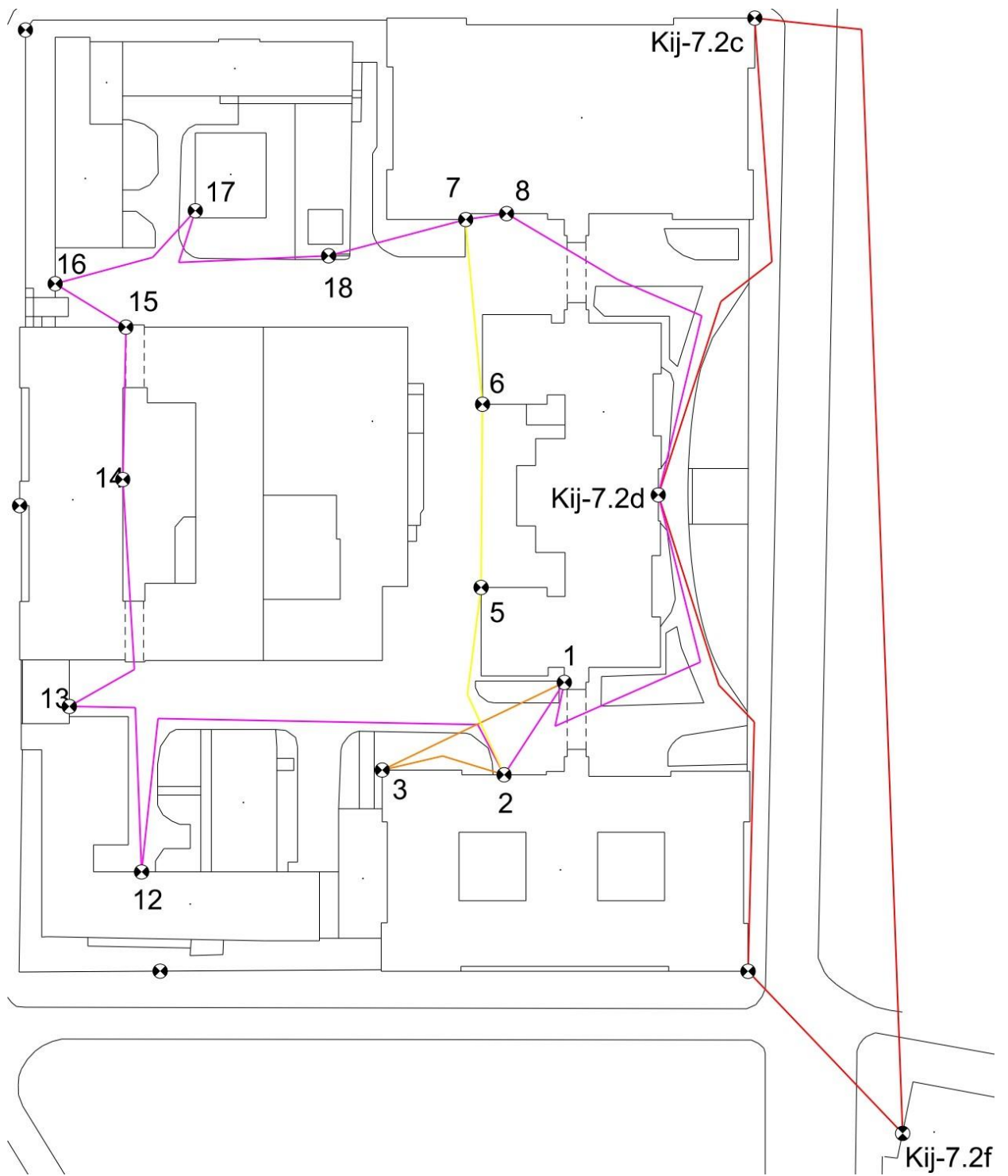
Všetky ťahy boli merané v smeroch TAM aj SPÄŤ. V Metodickom návode pre práce v ZVBP, v prílohe č. 1, sa pre presnú niveláciu uvádza, že oba smery merania môžu byť vykonané v ten istý deň, ale v inú dennú dobu. Dôvodom tejto podmienky je vplyv vlnenia zemskej kôry na dlhé nivelačné ťahy. Pri konzultácií s vedúcim práce sa však dospelo ku záveru, že pre nivelačný ťah v nami plánovanom rozsahu je vplyv tejto zásady na presnosť merania zanedbateľný. [5]



*Obr. č. 4 Prebiehajúce meračské práce*

### **5.3 ROZLOŽENIE NIVELAČNÝCH ŤAHOV**

Na Obr. č. 5 na ďalšej strane je zakreslená schéma zobrazujúca približný priebeh meraní. Pre zameranie bodov vnútri areálu Veverí bol použitý uzavretý nivelačný ťah, vedený z bodu Kij-7.2d, na budove A. Z tohoto ťahu boli vynechané tri body. Bod 3 sa nachádza na rohu budovy B a je zakrytý stromom. Jeho zahrnutie v pôvodnom ťahu by ho značne skomplikovalo a preto bol zameraný nivelačným ťahom votknutým medzi body 1 a 2. Body 6 a 5 by pôvodný ťah tak isto predĺžili a skomplikovali, kvôli čomu boli zamerané ťahom votknutým medzi body 7 a 2. Na záver bolo meranie doplnené o štvrtý nivelačný ťah, spájajúci bod Kij-7.2f so zvyškom merania a bodom Kij-7.2c. Tento ťah bol pôvodne zameraný za účelom overenia výšky bodu Kij-7.2d. Pre homogenitu výšok určených touto prácou a prácou určujúcou výšky bodov v areáli Žižkova, však bolo stanovené, že všetky výšky majú byť vzťahnuté k bodu Kij-7.2f. Vo výpočtovej časti sú preto merania spracované formou jedného uzavretého ťahu s počiatkom v bode Kij-7.2f.



Obr. č. 5 Schéma merania

## 6 POSÚDENIE PRESNOSTI MERANIA

Podľa súčasného, aj bývalého návodu pre správu ZVBP sú pre posúdenie presnosti merania stanovené štyri kritériá, bližšie rozoberané v bodoch 6.1, 6.2, 6.3 a 6.4. Na základe pokynu vedúceho práce, boli tieto kritériá posudzované podľa požiadaviek pre nivelačné ťahy III. rádu, ktorým aj vyhovel. [4] [5]

### 6.1 ODCHÝLKY MEDZI PREVÝŠENIAMÍ OBOJSMERNE MERANÝCH ODDIELOV

Odchýlky v prevýšení oddielov, medzi meraním v smere tam a späť, sú pre ťahy III. rádu posudzované podľa nasledujúceho vzťahu:

$$3,00 * \sqrt{R} \quad (6)$$

R je dĺžka oddielu v kilometroch a 3,00 je konštanta používaná pre ťahy III. rádu. Medzné hodnoty vychádzajúce zo vzťahu sú vyjadrené v milimetroch a pre všetky oddiely v meraní boli splnené (viď Tab. 3).

### 6.2 POSÚDENIE UZÁVEROV UZAVRETÝCH ŤAHOV

Pre presnosť uzáverov platí podobný vzťah ako pre rozdiely prevýšení obojsmerného merania.

$$3,00 * \sqrt{F} \quad (7)$$

Premenná F je taktiež dĺžkou vyjadrenou v kilometroch, tentoraz sa však jedná o dĺžku celého obvodu uzavretého ťahu. Vložené ťahy sa pre účel tohto posúdenia berú ako ťahy uzavreté, ktoré tvorí celá dĺžka vloženého ťahu a časť obvodu ťahu pôvodného, ktorú vložený oddeľuje od zvyšku. V Tab. 4 možno vidieť posúdenie uzáverov štyroch meraných ťahov.

V Tab. 5 je spočítaná odchýlka uzáveru pre zjednotený uzavretý nivelačný ťah s počiatkom na bode Kij-7.2f, prechádzajúci celým areálom.

Tab. 3 Posúdenie odchýlok obojsmerného merania v jednotlivých oddieloch

hi	Body	R [km]	$\Delta h$ . [mm]	$\Delta_{max}$ [mm]	výsledky
	7.2f				
1		0.16504	0.06	1.22	SPLNENÉ
	7.2d				
2		0.06760	0.01	0.78	SPLNENÉ
	1				
3		0.02360	0.02	0.46	SPLNENÉ
	2				
4		0.09703	0.12	0.93	SPLNENÉ
	12				
5		0.03337	0.01	0.55	SPLNENÉ
	13				
6		0.04497	0.08	0.64	SPLNENÉ
	14				
7		0.02847	0.07	0.51	SPLNENÉ
	15				
8		0.021500	0.14	0.44	SPLNENÉ
	16				
9		0.03667	0.19	0.57	SPLNENÉ
	17				
10		0.05162	0.11	0.68	SPLNENÉ
	18				
11		0.02992	0.13	0.52	SPLNENÉ
	7				
12		0.00690	0.03	0.25	SPLNENÉ
	8				
13		0.09874	0.39	0.94	SPLNENÉ
	7.2d				
14		0.10178	0.18	0.96	SPLNENÉ
	7.2c				
15		0.24067	0.08	1.47	SPLNENÉ
	7.2f				
	2				
16		0.01898	0.23	0.41	SPLNENÉ
	3				
17		0.03822	0.11	0.59	SPLNENÉ
	1				
	7				
18		0.03560	0.07	0.57	SPLNENÉ
	6				
19		0.03712	0.01	0.58	SPLNENÉ
	5				
20		0.03933	0.13	0.59	SPLNENÉ
	2				

Tab. 4 Zhodnotenie uzáverov nivelačných ťahov

7.2d		7.2f		2		7	
F [km]	0.54038	F [km]	0.50749	F [km]	0.08079	F [km]	0.45558
Uzáver [mm]	0.17	Uzáver [mm]	0.14	Uzáver [mm]	0.15	Uzáver [mm]	0.31
U. max [mm]	2.21	U. max [mm]	2.14	U. max [mm]	0.85	U. max [mm]	2.02
SPLNENÉ		SPLNENÉ		SPLNENÉ		SPLNENÉ	

Tab. 5 Zhodnotenie uzáveru kompletného ťahu

Kompletný ťah	
F [km]	1.04788
Uzáver [mm]	0.03
U. max [mm]	3.07
SPLNENÉ	

### 6.3 STREDNÁ KILOMETROVÁ CHYBA JEDNOTKOVÁ OBOJSMERNEJ NIVELÁCIE

Pre niveláciu, kde  $n_R$  je počet oddielov a  $\rho^2$  sú ich rozdiely z obojsmerne meraných prevýšení, sa táto chyba spočíta ako:

$$m_0 = \frac{1}{2} * \sqrt{\frac{1}{n_R} * \sum \frac{\rho^2}{R}} \quad (8)$$

Jej medzná hodnota sa pre nivelačné ťahy III. rádu vypočíta zo vzťahu:

$$0,60 + \frac{1,06}{\sqrt{n_R}} \quad (9)$$

Výsledné hodnoty  $m_0$  a  $m_{0MAX}$  sú zobrazené v Tab. 6

### 6.4 STREDNÁ CHYBA OBOJSMERNEJ NIVELÁCIE PRE CELÝ ŤAH

Vypočíta sa podľa nižšie uvedeného vzorca, kde L je dĺžka ťahu v km. Jej výsledná hodnota je tiež vyčíslená v Tab. 6 na ďalšej strane.

$$m_L = m_0 * \sqrt{L} \quad (10)$$

Tab. 6 Stredná chyba jedného kilometra a celého ťahu

Stredná km chyba jednotková pre obojsmernú niveláciu		
$m_0 =$	0.33	[mm]
Medzná hodnota $m_0$		
$m_{0\text{ MAX}} =$	0.84	[mm]
Stredná chyba obojsmernej nivelácie pre celý ťah		
$m_L =$	0.37	[mm]

## 7 SPRACOVANIE DÁT

### 7.1 EXPORT A ÚPRAVA DÁT

Na začiatok je potrebné pre zrozumiteľnosť práce uviesť, že určované nivelačné body boli pre prehľadnosť údajov behom meračských prác a spracovania číslované od tisícky (1001, ..., 1018). Pre šetrenie operačnej pamäte boli taktiež výšky po dobu celého výpočtu zredukované o 250 m.

#### 7.1.1 Export dát z nivelačného prístroja

Nivelačný prístroj Leica DNA03 ponúka možnosť exportu meraných údajov vo formáte GEO serial interface (GSI), bežnom pre zariadenia spoločnosti Leica. Užívateľ má na výber medzi variantami GSI8 a GSI16. Dáta sú ukladané znakmi ASCII a štruktúrované tak, aby jednému meraniu pripadal jeden riadok. V každom riadku sa v závislosti od druhu merania môže nachádzať niekoľko blokov dát. Dĺžka týchto blokov je jediným rozdielom medzi formátmi GSI8 a GSI16 (viď Obr. č. 6). V prípade nivelácie sa požadované dáta nachádzajú v treťom bloku, začínajúc čítaním vzad, čítaním vpred a končiac dĺžkou zostavy. Dáta vyexportované vo formáte GSI8 boli kompletne zredukované o nepotrebné údaje a prevedené na metre.

```
110024+00007.2D 32...8+00956311 331.28+00043538 390...+00000003 391.28+00000001
110025+00000001 32...8+00924900 332.28+00184538 390...+00000003 391.28+00000002
110026+00000001 573..8+00031412 574..8+01881211 83..28+25046800

110024+000000000007.2D 32...8+0000000000956311 331.28+000000000043538 390...+00000000000003 391.28+00000000000001
110025+0000000000000001 32...8+0000000000924900 332.28+000000000184538 390...+00000000000003 391.28+00000000000002
110026+0000000000000001 573..8+000000000031412 574..8+000000001881211 83..28+000000025046800

7.2D      0.43538
1         1.84538
1         18.81211
```

Obr. č. 6 Zhora na dol: 1. nivelačná zostava vo formáte GSI8, 1. nivelačná zostava vo formáte GSI16 a merané údaje prevedené na metre

#### 7.1.2 Oprava chýb z latového metra

Nasledovalo odstránenie poslednej chyby nivelačnej laty a to nesprávnej dĺžky latového metra. V kalibračnom liste z VÚGTK boli pre použité laty uvedené nasledovné odchýlky:

Dĺžka priemerného latového metra laty č. 26346: 1m - 20 $\mu$ m

Dĺžka priemerného latového metra laty č. 26353: 1m - 11 $\mu$ m

Tieto hodnoty boli zistené v laboratórnych podmienkach so stabilnou teplotou 20,1°C  $\pm$  0,5°C. Pre kompletnú opravu chyby z latového metra je preto potrebné rátať aj s jeho teplotnou rozťažnosťou. Správna dĺžka latového metra sa počíta podľa vzorca na nasledujúcej strane.

$$L_t = 1 m + a + b * (t - t_0) \quad (11)$$

$a$  = Odchýlka od správnej dĺžky

$b$  = Lineárny koeficient teplotnej rozťažnosti materiálu

$t$  = Teplota pri meraní

$t_0$  = Laboratórna teplota pri určovaní dĺžky latového metra

Priemerná odchýlka od správnej dĺžky metra laty 26353 je -11  $\mu\text{m}$ . Lineárny koeficient teplotnej rozťažnosti invaru je 0,12  $\mu\text{m}$  a teplota vzduchu sa behom meračských prác pohybovala v rozsahu 19°C-30°C. Presné hodnoty pre výpočtové práce boli stiahnuté z referenčnej stanice TUBO, ktorá poskytuje meteorologické dáta pre každú minútu dňa. Nanešťastie v tretí deň merania došlo k výpadku stanice a dáta boli miesto toho stiahnuté z meteorologickej stanice na Kravej hore. Na Obr. č. 7 je zobrazený oddiel medzi bodmi Kij-7.2d a určeným bodom 1. Merané údaje sú usporiadané, majú priradený približný čas merania, z neho vyplývajúcu teplotu pri meraní a vypočítanú priemernú dĺžku latového metra. Tento postup sa však od bežnej praxe odlišuje. Štandardne sa opravy zavádzajú pre prevýšenia jednotlivých oddielov na základe priemernej teploty.

bod	čítania	číslo zostavy	t [°]	meter	opravené	výšky	prevýšenia
11:00			27.84000	0.999998			
7.2D	0.43538				0.43538	1.87800	
1	1.84538	1			1.84538	0.46800	-1.41000
1	1.33149				1.33149		
2	1.25549	2			1.25549	0.54400	0.07600
2	1.46373				1.46373		
1001	1.12476	3			1.12476	0.88297	0.33897

Obr. č. 7 Oprava meraných údajov o nesprávnu dĺžku latového metra

## 7.2 VYROVNANIE MERANIA

Pre vyrovnanie bola zvolená metóda vyrovnania sprostredkujúcich veličín. Prevýšenia v jednotlivých oddieloch z obojsmerného merania boli pre použitie vo vyrovnaní spriemerované. Zvolená bola maticová metóda výpočtu v programoch Excel a Scilab. Na Obr. č. 8 na ďalšej strane je uvedený skript použitý pre výpočet normálnych rovníc a charakteristík presnosti. Matice a výrazy použité v skripte sú bližšie vysvetlené v bodoch 7.2.3 - 7.2.6.

```

1 N=A'*P*A
2 Y=A'*P*lc
3 dx=-inv(N)*Y
4 v=A*dx+lc
5 K=N*dx+Y
6 m02=(v'*P*v)/4
7 c11=m0na2*inv(P)
8 CLL=m0na2*(A*inv(N)*A')
9 CXX=m0na2*inv(N)

```

Obr. č. 8 Výpočtový skript pre program Scilab

### 7.2.1 Parametre vyrovnania a približné hodnoty

Do vyrovnania vstupuje 20 meraných prevýšení (vo vzťahoch značených  $n$ ). 16 z toho je nutných pre výpočet výšok určovaných bodov ( $k$ ), zvyšné 4 sú nadbytočné.

Určovanými hodnotami sú redukované, nadmorské výšky bodov 1001, 1002, 1003, 1005, 1006, 1007, 1008, 1012, 1013, 1014, 1015, 1016, 1017 a 1018. Medzi určované hodnoty ďalej patria nadmorské výšky bodov Kij-7.2c a Kij-7.2d, ktoré budú po vyrovnaní použité pri overení správnosti výšky bodu Kij-7.2f. Približné hodnoty neznámych, boli vypočítané zo spriemerovaných prevýšení, medzi jednotlivými oddielmi a spolu s dĺžkami jednotlivých oddielov, boli zostavené do Tab. 7 na nasledujúcej strane.

Tab. 7 Približné hodnoty určovaných veličín, priemerné hodnoty meraných prevýšení a dĺžky jednotlivých oddielov

$h_i$	Body	H [m]	h [m]	d [m]
	7.2f	0.162		
1			1.71691	165.038
	7.2d	1.87891		
2			-0.99502	67.601
	1001	0.88388		
3			0.16321	23.600
	1002	1.04709		
4			3.84048	97.026
	1012	4.88757		
5			0.06680	33.371
	1013	4.95437		
6			-0.25131	44.974
	1014	4.70307		
7			0.15273	28.473
	1015	4.85580		
8			0.44136	21.498
	1016	5.29717		
9			-0.41229	36.668
	1017	4.88488		
10			-2.29709	51.617
	1018	2.58778		
11			-1.54655	29.917
	1007	1.04123		
12			-0.02675	6.903
	1008	1.01448		
13			0.86459	98.737
	7.2d	1.87891		
14			-1.21090	101.782
	7.2c	0.66801		
15			-0.50615	240.672
	7.2f	0.162		
	1002	1.04709		
16			0.97268	18.975
	1003	2.01977		
17			-1.13603	38.216
	1001	0.88388		
	1007	1.04123		
18			-0.05083	35.597
	1006	0.99040		
19			0.03412	37.117
	1005	1.02452		
20			0.02225	39.325
	1002	1.04709		

## 7.2.2 Funkčné vzťahy a rovnice opráv

Ďalším krokom vyrovnania je zostaviť funkčné vzťahy medzi vyrovnanými meraniami a vyrovnanými neznámymi. Každý z týchto vzťahov predstavuje meranú veličinu, vyjadrenú rovnicou zloženou z neznámých. Funkčné vzťahy možno všeobecne vyjadriť v tvare:

$$l_i^{\wedge} = f_i(x_1^{\wedge}; x_2^{\wedge}; \dots; x_k^{\wedge}); \text{ pre } i = \langle 1; n \rangle \quad (12)$$

Kde  $l_i^{\wedge}$  sú vyrovnané hodnoty meraní (prevýšenia) a  $x_1^{\wedge} \dots x_k^{\wedge}$  sú vyrovnané neznáme (nadmorské výšky určovaných bodov).

V maticovej podobe sa funkčné vzťahy zapisujú nasledovne:

$$l^{\wedge} = f(x^{\wedge T}) \quad (13)$$

Príklad výsledných funkčných vzťahov:

$$\begin{aligned} h_1^{\wedge} &= H_{7.2d}^{\wedge} - H_{7.2f}^{\wedge} \\ &\vdots \\ &\vdots \\ h_{16}^{\wedge} &= H_{1003}^{\wedge} - H_{1002}^{\wedge} \\ &\vdots \\ &\vdots \\ h_{20}^{\wedge} &= H_{1002}^{\wedge} - H_{1005}^{\wedge} \end{aligned}$$

Z funkčných vzťahov možno ľahko vyjadriť rovnice opráv, ktoré opisujú opravu ako rozdiel vyrovnanej hodnoty a hodnoty získanej meraním:

$$v_i = l_i^{\wedge} - l_i = f_i(x_1^{\wedge}; x_2^{\wedge}; \dots; x_k^{\wedge}) - l_i \quad (14)$$

Rovnice opráv v maticovej podobe majú tvar:

$$v = f(x^{\wedge T}) - l \quad (15)$$

### 7.2.3 Pretvorené rovnice opráv a váhy

Linearizáciou rovníc opráv možno dostať pretvorené rovnice opráv.

K tomuto je potrebné, si najprv zdefinovať vyrovnané neznáme, ako súčet približných neznámych  $x_j^0$  a prírastkov  $dx_j$ .

$$\hat{x}_j = x_j^0 + dx_j; \text{ pre } j = \langle 1; k \rangle \quad (16)$$

Na základe tohto vzťahu sa rovnice opráv upravujú do tvaru:

$$v_i = f_i(x_1^0 + dx_1; \dots; x_k^0 + dx_k) - l_i \quad (17)$$

Na záver sa použije Taylorov rozvoj, v ktorom predpokladáme, že rozdiel medzi  $\hat{x}_j$  a  $x_j^0$  je tak malý, že môžeme pracovať s predpokladom  $\hat{x}_j = x_j^0$ :

$$\begin{aligned} v_i &= f_i(x_1^0; \dots; x_k^0) + \frac{\partial f_i}{\partial x_1^0} dx_1 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial x_k^0} dx_k - l_i \\ v_i &= l_i^0 + \frac{\partial f_i}{\partial x_1^0} dx_1 + \dots + \frac{\partial f_i}{\partial x_k^0} dx_k - l_i \end{aligned} \quad (18)$$

Všeobecný tvar výsledných pretvorených rovníc opráv:

$$v_i = a_i dx_1 + b_i dx_2 + \dots + k_i dx_k + l_i' \quad (19)$$

V maticovom zápise majú podobu:

$$v = A dx + l_i' \quad (20)$$

Okrem matice prírastkov  $dx$  vystupujú v pretvorených rovniciach opráv, ešte dve ďalšie matice.

Matica  $A$  je takzvanou „maticou plánu“, tvorenou jednotlivými funkčnými vzťahmi, postupne derivovanými podľa neznámych.

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1^0} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_k^0} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1^0} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_k^0} \end{pmatrix} \quad (21)$$

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1

Obr. č. 9 Matica A

Matica  $l'_i$  predstavuje rozdiel medzi hodnotami meraných veličín vypočítaných z funkčných vzťahov  $l_i^0$  a nameranými hodnotami  $l_i$ . Vo výpočtovom skripte je však značená ako matica lc, keďže použitie apostrofu v Scilabe značí transponovanú maticu.

Merané Prevýšenia	Vypočítané prevýšenia	$l'$
1.71691	1.71691	0.00000
-0.99502	-0.99502	0.00000
0.16321	0.16321	0.00000
3.84048	3.84048	0.00000
0.06680	0.06680	0.00000
-0.25131	-0.25131	0.00000
0.15273	0.15273	0.00000
0.44136	0.44136	0.00000
-0.41229	-0.41229	0.00000
-2.29709	-2.29709	0.00000
-1.54655	-1.54655	0.00000
-0.02675	-0.02675	0.00000
0.86459	0.86443	-0.00017
-1.21090	-1.21090	0.00000
-0.50615	-0.50601	0.00014
0.97268	0.97268	0.00000
-1.13603	-1.13588	0.00015
-0.05083	-0.05083	0.00000
0.03412	0.03412	0.00000
0.02225	0.02257	0.00031

Obr. č. 10 Porovnanie meraných a vypočítaných prevýšení a výsledná matica  $l'$

Pre korektný výsledok vyrovnania je ďalej nutné zahrnúť váhy jednotlivých meraní. Pre geometrickú niveláciu zo stredu ich možno získať použitím vzorca:

$$p_i = \frac{1}{d_i} \tag{22}$$

Kde  $d_i$  je dĺžka daného nivelačného oddielu spriemerovaná z obojsmerného merania. Vypočítané váhy jednotlivých meraní boli následne v Exceli zostavené do matice váh P.



V maticovej forme použitej pri výpočte má zápis normálnych rovníc podobu:

$$A^T P A dx + A^T P l' = 0 \quad (25)$$

Pre kratší zápis sa  $A^T P A$  zvykne označovať ako matica  $N$ , a  $A^T P l'$  ako matica  $Y$ .

$$N dx + Y = 0 \quad (26)$$

### 7.2.5 Riešenie normálnych rovníc

Existuje mnoho metód riešenia normálnych rovníc. Pre maticový výpočet je prirodzené použiť metódu inverznú, kde sa matica prírastkov vyjadrí ako:

$$dx = -N^{-1}Y \quad (27)$$

Výsledné prírastky sa skontrolovali ich spätným dosadením do normálnych rovníc (vo výpočtovom skripte značené ako matica  $K$ ). Pomocou prírastkov možno vypočítať opravy meraných veličín, dosadením do pretvorených rovníc opráv z bodu 7.2.3.

Vyrovnané merania a neznáme sa následne dosadia do pôvodných funkčných vzťahov pre poslednú kontrolu. Je však nutné mať na vedomí, že touto kontrolou sa overuje iba správnosť samotného výpočtu. Chyby pri zostavení funkčných vzťahov sa touto skúškou neodhalia.

### 7.2.6 Charakteristiky kvality merania

Po ukončení vyrovnaní prichádza na rad kvalitatívne hodnotenie merania a jeho výsledkov. Základom kvalitatívneho hodnotenia je aposteriorná stredná chyba  $m_0^{apo}$ , v maticovej podobe vypočítaná podľa vzťahu:

$$m_0^{apo} = \sqrt{\frac{v^T P v}{n - k}} \quad (28)$$

Prostredníctvom tejto strednej chyby možno vypočítať nasledovné matice stredných chýb:

Stredné chyby pôvodného merania

$$Cll = (m_0^{apo})^2 P^{-1} = \begin{pmatrix} m_{l_1}^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & m_{l_n}^2 \end{pmatrix} \quad (29)$$

Stredné chyby vyrovnaných neznámych (vo výpočtovom skripte značené CXX)

$$CX^{\wedge}X^{\wedge} = (m_0^{apo})^2 N^{-1} = \begin{pmatrix} m_{x_1}^2 & \cdots & m_{x_1 x_k}^{\wedge} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{x_k x_1}^{\wedge} & \cdots & m_{x_k}^2 \end{pmatrix} \quad (30)$$

Stredné chyby vyrovnaných meraní (vo výpočtovom skripte značené CLL)

$$Cl^{\wedge}l^{\wedge} = (m_0^{apo})^2 AN^{-1}A^T = \begin{pmatrix} m_{l_1}^2 & \cdots & m_{l_1 l_n}^{\wedge} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{l_n l_1}^{\wedge} & \cdots & m_{l_n}^2 \end{pmatrix} \quad (31)$$

### 7.3 OVERENIE VÝŠKY PRIPOJOVACIEHO BODU

Vyrovnané prevýšenia medzi bodmi Kij-7.2c a Kij-7.2d boli porovnané s prevýšeniami z výšok uvedených v nivelačných údajoch na portáli ČÚZK.

Tab. 8 Porovnanie daných a nameraných prevýšení medzi použitými bodmi ČSNS

	Meranie		ČÚZK		
	H [m]	h [m]	h [m]	H [m]	
7.2d	1.8790			1.8780	7.2d
		1.7170	1.7160		
7.2f	0.1620			0.1620	7.2f
		0.5061	0.5070		
7.2c	0.6681			0.6690	7.2c

Pre vyhodnotenie ich rozdielu bol použitý vzťah na určenie maximálnych odchýlok kontrolne meraných oddielov pre III. rád, uvedený v bode 5.4 Metodického návodu pro práce v ČSNS. [5]

$$2,0 + 3,0 * \sqrt{R} \quad (32)$$

Kde R je dĺžka oddielu v kilometroch a výsledná odchýlka je vyjadrená v milimetroch. Výsledky výpočtu sú uvedené v Tab. 9 a spĺňajú požadované kritériá.

Tab. 9 Posúdenie odchýlok daných a meraných prevýšení

	$\Delta h$ [mm]	R [km]	$\Delta_{max}$ [mm]	$\Delta_{max} > \Delta h$
7.2d				
	0.9507	0.1650	3.2187	SPLNENÉ
7.2f				
	0.9172	0.2407	3.4717	SPLNENÉ
7.2c				

## **8 VÝSTUPY PRÁCE**

Hlavnými výstupmi práce sú tabuľka určovaných výšok, prehľadky nivelačnej siete a geodetické údaje o určovaných bodoch.

### **8.1 GEODETICKÉ ÚDAJE**

Pre tvorbu geodetických údajov bol použitý program MicroStation CONNECT Edition. Podľa pokynov vedúceho boli tieto dokumenty vyhotovené po vzore nivelačných údajov pripojovacieho bodu Kij-7.2f, tak ako sú poskytované z ČÚZK. Údaje obsiahnuté v dokumentoch boli prehodnotené s ohľadom na požiadavky na prácu a možnosti merania. Geodetické údaje, ktoré sú výsledkom tejto práce preto neobsahujú tiažové údaje, ktoré sú štandardne uvádzané v pravom dolnom rohu dokumentu. Zemepisná dĺžka, šírka a súradnice Y a X v S-JTSK boli určené približne pomocou geoportálu ČÚZK. Miestopisy boli nakreslené formou vektorizácie rastrových snímok Mapy technického využitia územia mesta Brno. V priestore pre miestopis a jeho detail, bolo ďalej vyhradené miesto pre fotografiu určovaného bodu. Primárnym účelom týchto snímok však nie je lokalizácia bodu, ale potvrdenie jeho identity a okamžité odhalenie prípadného poškodenia. Z tohoto dôvodu boli body snímané z malej vzdialenosti.

### **8.2 PREHĽADKY NIVELAČNEJ SIETE VUT FAST**

Rovnako ako miestopisy, aj prehľadky nivelačnej siete boli kreslené na podklade brnenskej Mapy technického využitia územia. Prehľadka areálu Veverí obsahuje zákres a výšky všetkých 14 bodov, ktoré boli predmetom tejto práce.

Na pokyn vedúceho bola vyhotovená taktiež druhá, kompletná prehľadka. Táto zobrazuje všetky body nivelačnej siete FAST a ich výšky. Body po obvode areálu Veverí a vnútri areálu Žižkova obsiahnuté v tejto prehľadke však neboli predmetom tejto práce. Geodetické údaje o týchto bodoch a informácie o určovaní ich výšok bude možné nájsť v bakalárskej práci Lukáša Poštulku. Ten vo svojich výstupoch taktiež uvedie výsledky dosiahnuté v tejto práci.

## 9 ZÁVER

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo určenie výšok nivelačných bodov v areáli FAST Veveří pre účely výuky. Meranie malo byť vykonané metódou presnej geometrickej nivelácie zo stredu. Metodika merania sa mala orientovať podľa požiadaviek na nivelačné ťahy III. rádu. Spôsobom popísaným v práci boli niektoré kritériá, hlavne postup merania, pred začatím upravené vedúcim.

Stav všetkých bodov bol overený rekognoskáciou. Po obdržaní výbavy bola vykonaná jej kompletná revízia formou skúšky nivelačného prístroja, rektifikácie libely a kontroly kolmosti nulových plôch lát na ich osy. V súlade so stanovenou metodikou bol následne zameraný uzavretý nivelačný ťah, podľa potreby doplnený o dva votknuté ťahy.

Spracovanie započalo opravou meraných dát o odchýlku latového metra a tepelnú rozťažnosť invarového pásu. Merané hodnoty boli taktiež podrobené posúdeniu presnosti pre nivelačné ťahy III. rádu, podľa bodu 5.1, odstavca 6, Metodického návodu pre práce v ZVBP . Pre vyrovnanie meraní bola použitá metóda najmenších štvorcov, prostredníctvom sprostredkujúcich veličín. Súčasťou vyrovnaní boli aj kontrolné body ČSNS, ktorých namerané a vyrovnané vzájomné prevýšenia boli porovnané s hodnotami z ČÚZK.

Po splnení požadovaných kritérií boli na základe vyrovnaných hodnôt vyhotovené geodetické údaje o bodoch. Ďalej boli vyhotovené prehľadky a výsledné výšky nivelačných bodov boli formálne usporiadané do výslednej tabuľky.

## 10 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] Vyhláška č. 31/1995 Sb., kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-31?text=31%2F1995>
- [2] Nařízení vlády č. 116/1995 Sb., kterým se stanoví geodetické referenční systémy, státní mapová díla závazná na celém území státu a zásady jejich používání. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-116>
- [3] ČSN ISO 17123-2 Část 2: Nivelační přístroje
- [4] Návod pro správu geodetických základů, ČÚZK, Praha 2015. Dostupné z: [https://www.cuzk.cz/Predpisy/Resortni-predpisy-a-opatreni/Navody-CUZK/Navod\\_pro\\_spravu\\_geodetickyh\\_zakladu\\_151086722-\(1.aspx](https://www.cuzk.cz/Predpisy/Resortni-predpisy-a-opatreni/Navody-CUZK/Navod_pro_spravu_geodetickyh_zakladu_151086722-(1.aspx)
- [5] Metodický návod pro práce v základním výškovém bodovém poli, Zeměměřický úřad, Praha 2003
- [6] SVOBODA, Jaroslav. Nivelace: určeno inženýrům a technikům zabývajícím se nivelací v praxi. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1953. Řada theoretické literatury
- [7] BÖHM, Josef. Přesná nivelace: k přednáškám z geodesie vyšší. Brno: Vojenská technická akademie Antonínka Zápotockého, 1952.
- [8] NEVOSÁD, Zdeněk a Josef VITÁSEK. Geodézie III. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1774-9.
- [9] KURUC, Michal. Využití permanentních sítí GNSS pro určování výšek. Brno, 2013. 102 s., 2 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Weigel, CSc. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=186929](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=186929)
- [10] Leica Geosystems AG, 2006. Leica DNA03/DNA10 User Manual: Version 2.0. Heinrich-Wild-Strasse, Heerbrugg, Switzerland. Dostupné z: <https://image.tigersupplies.com/Manuals/LEI744671-20141216012249320.pdf>
- [11] Leica Geosystems AG, 2007. GPLe2N/GPLe3N, GPCL2/GPCL3: user manual. Printed in Germany. Dostupné z: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK Ewi0u5Tzrtv-AhXCc EDHUZDDWEQFnoECAoQAQ&url=https%3A%2F%2Fleica-geosystems.com%2F-%2Fmedia%2Ffiles%2Fleicageosystems%2Fproducts%2Fmanuals%2F520quickguides%2Fdna\\_levelling\\_staffs\\_ml-gplx-1\\_gple2n\\_gple3n\\_gpcl2\\_gpcl3\\_um.ashx%3Ffla%3Den%26hash%3D3D8D055F4711A517E6F9F1A30BE00336&usg=AOvVaw2S59d\\_wpR-yAaTAo1qwHjl](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK Ewi0u5Tzrtv-AhXCc EDHUZDDWEQFnoECAoQAQ&url=https%3A%2F%2Fleica-geosystems.com%2F-%2Fmedia%2Ffiles%2Fleicageosystems%2Fproducts%2Fmanuals%2F520quickguides%2Fdna_levelling_staffs_ml-gplx-1_gple2n_gple3n_gpcl2_gpcl3_um.ashx%3Ffla%3Den%26hash%3D3D8D055F4711A517E6F9F1A30BE00336&usg=AOvVaw2S59d_wpR-yAaTAo1qwHjl)
- [12] Informace o geodetických základech. ČÚZK [online]. Praha, 2023 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://cuzk.cz/Zememericvi/Geodeticke-zaklady-na-uzemi-CR/Informace-o-geodetickyh-zakladech./Informace-o-geodetickyh-zakladech.aspx>

- [13] ZEMĚMĚŘICKÝ ÚŘAD: Databáze bodových polí. ČÚZK [online]. Praha, 2023 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <http://nivelace.cuzk.cz>
- [14] ZEMĚMĚŘICKÝ ÚŘAD: Základní nivelační body. ČÚZK [online]. Praha, 2023 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: [http://nivelace.cuzk.cz/\\_znb.aspx](http://nivelace.cuzk.cz/_znb.aspx)
- [15] WEIGEL, Josef, 2020. GE28\_Teoretická geodézie 1 - Přednášky: Přesná nivelace 1. část.
- [16] WEIGEL, Josef, 2020. GE28\_Teoretická geodézie 1 - Přednášky: Přesná nivelace 2. část.
- [17] ŠTRONER, Martin. Geodézie 3: Téma č. 1: Úvod do problematiky výškových měření. Výškové systémy. Katedra speciální geodézie – ČVUT, Praha. Dostupné z: [https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GD3/gd3\\_pred\\_1.pdf](https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GD3/gd3_pred_1.pdf)
- [18] ŠTRONER, Martin. Geodézie 3: Téma č. 2: Geometrická nivelace. Katedra speciální geodézie – ČVUT, Praha. Dostupné z: [https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GD3/gd3\\_pred\\_2.pdf](https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GD3/gd3_pred_2.pdf)
- [19] ČÚZK. Podrobný kvazigeoid QGZÚ-2013. ČÚZK [online]. [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(yxfx2jkqjrxury3cbjxan2s\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=bodpole&metadataID=CZ-CUZZK-QGZU&head\\_tab=sekce-02-gp&menu=275](https://geoportal.cuzk.cz/(S(yxfx2jkqjrxury3cbjxan2s))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=bodpole&metadataID=CZ-CUZZK-QGZU&head_tab=sekce-02-gp&menu=275)

## 11 ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK

### 11.1 ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. č. 1	Nivelačná zostava.....	14
Obr. č. 2	Technické parametre Leica DNA03.....	19
Obr. č. 3	Schéma pätky pri kontrole jej kolmosti.....	21
Obr. č. 4	Prebehajúce meračské práce.....	23
Obr. č. 5	Schéma merania .....	24
Obr. č. 6	Zhora na dol: 1. nivelačná zostava vo formáte GSI8, 1. nivelačná zostava vo formáte GSI16 a merané údaje prevedené na metre.....	29
Obr. č. 7	Oprava meraných údajov o nesprávnu dĺžku latového metra .....	30
Obr. č. 8	Výpočtový skript pre program Scilab .....	31
Obr. č. 9	Matica A.....	35
Obr. č. 10	Porovnanie meraných a vypočítaných prevýšení a výsledná matica l'.....	35
Obr. č. 11	Matica váh, P.....	36

### 11.2 ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1	Namerané odchýlky zvislo postavených lát.....	20
Tab. 2	Čítania na latách namerané pri testovaní kolmosti pätky .....	21
Tab. 3	Posúdenie odchýlok obojsmerného merania v jednotlivých oddieloch.....	26
Tab. 4	Zhodnotenie uzáverov nivelačných ťahov (výšky bodov sú redukované).....	27
Tab. 5	Zhodnotenie uzáveru kompletného ťahu .....	27
Tab. 6	Stredná chyba jedného kilometra a celého ťahu .....	28
Tab. 7	Približné hodnoty určovaných veličín, priemerné hodnoty meraných prevýšení a dĺžky jednotlivých oddielov .....	32
Tab. 8	Porovnanie daných a zmeraných prevýšení medzi použitými bodmi ČSNS.....	38
Tab. 9	Posúdenie odchýlok daných a meraných prevýšení.....	38

## **12 ZOZNAM PRÍLOH**

### 01\_ Tabulky výsledkov

01.1\_ Výsledné prevýšenia

01.2\_ Výsledné výšky

### 02\_ Prehľadky nivelačnej siete

02.1\_ Prehľadka bodov plošnej nivelačnej siete FAST

02.2\_ Prehľadka bodov plošnej nivelačnej siete FAST v areáli Veverí

### 03\_ Nivelačné údaje

03.1\_ Nivelačné údaje pre bod 1

03.2\_ Nivelačné údaje pre bod 2

03.3\_ Nivelačné údaje pre bod 3

03.4\_ Nivelačné údaje pre bod 5

03.5\_ Nivelačné údaje pre bod 6

03.6\_ Nivelačné údaje pre bod 7

03.7\_ Nivelačné údaje pre bod 8

03.8\_ Nivelačné údaje pre bod 12

03.9\_ Nivelačné údaje pre bod 13

03.10\_ Nivelačné údaje pre bod 14

03.11\_ Nivelačné údaje pre bod 15

03.12\_ Nivelačné údaje pre bod 16

03.13\_ Nivelačné údaje pre bod 17

03.14\_ Nivelačné údaje pre bod 18

## 13 ZOZNAM SKRATIEK

ČÚZK – Český úrad zememeračský a katastrálny  
ZÚ – Zememeračský úrad  
Bpv – Výškový systém Baltský – po vyrovnaní  
ZVBP – Základné výškové bodové pole  
PVBP – Podrobné výškové bodové pole  
ČSNS – Česká štátna nivelačná sieť  
ČPNS – Česká podrobná nivelačná sieť  
ZNS – Zvláštne nivelačné siete  
TN – Technická nivelácia  
PN – Presná nivelácia  
VPN – Veľmi presná nivelácia  
ZPN – Zvlášť presná nivelácia  
GNSS – Globálne navigačné satelitné systémy  
RTK – Real time kinematic  
MNČ – Metóda najmenších štvorcov