



Zemědělská  
fakulta  
Faculty  
of Agriculture

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

# JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Katedra krajinného managementu

## Diplomová práce

Testování optických a elektronických geodetických přístrojů  
podle norem řady ČSN ISO 17123

Autor práce: Bc. Matěj Uhlíř

Vedoucí práce: Ing. Pavel Hánek, Ph.D.

České Budějovice  
2021

## Zadání diplomové práce

Jméno studenta: Matěj Uhlíř

Obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Název práce: Testování optických a elektronických geodetických přístrojů podle norem řady ČSN ISO 17123

Vedoucí práce: Ing. Pavel Hánek, Ph.D.

Rozsah: 30 - 50 stran textu

### Zadání:

Cílem práce je zkouška vybraných geodetických přístrojů podle metodik stanovených v řadě mezinárodních norem, které jsou do českého systému převzaty s označením ČSN ISO 17123 Optika a optické přístroje. Postup ověření přesnosti přístrojů bude provedeno pro dva vybrané přístroje, jednu totální stanici a jeden nivelační přístroj. Pro oba přístroje budou provedeny testy tak, jak jsou předepsány a požadovány v příslušných normách.

### Doporučená literatura:

ČSN ISO 17123-1 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – část 1: Teorie

ČSN ISO 17123-2 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – část 2: Nivelační přístroje

ČSN ISO 17123-3 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – část 3: Teodolity

ČSN ISO 17123-4 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – část 4: elektrooptické dálkoměry (EDM)

ČSN ISO 17123-5 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – část 5: elektrooptické tachymetry

ISO 9849:2017 Optics and optical instruments – Geodetic and surveying instruments - Vocabulary

Český úřad zeměměřický a katastrální: Metrologický řád resortu ČÚZK, č. j. ČÚZK 1558/2009-22

Zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii, který byl novelizován zákonem č. 20/1993 Sb., zákonem č. 119/2000 Sb., zákonem č. 13/2002 Sb., zákonem č. 137/2002 Sb., zákonem č. 226/2003 Sb., zákonem č. 444/2005 Sb., zákonem č. 481/2008 Sb., zákonem č. 223/2009 Sb., zákonem č. 155/2010 Sb., zákonem č. 18/2012 Sb., zákonem č. 85/2015 Sb., zákonem č. 264/2016 Sb., zákonem č. 183/2017 Sb.

Vyhláška č. 264/2000 Sb. o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a o jejich označování, která byla novelizovaná vyhláškou č. 424/2009 Sb.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne .....

.....

Podpis

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá testováním přesnosti nivelačního přístroje Sokkia C320 podle normy ČSN ISO 17123-2: Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – Část 2: Nivelační přístroje. Dále se zabývá testováním přesnosti totální stanice Trimble M3 DR5 podle normy ČSN ISO 17123-5: Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – část 5: Elektronické tachymetry. V teoretické části se snažím popsat metody testování přístrojů podle norem. Dále se zde věnuji popisu základního vybavení pro měření a způsobů jejich použití. V praktické části se zabývám popisem, výpočty a vysvětlením průběhu samotného testování výše uvedených přístrojů. V závěru prezentuji celkové shrnutí a výstupy jednotlivých měření testování.

**Klíčová slova:** ČSN ISO 17123-2, ČSN ISO 17123-5, testování, nivelace, nivelační přístroj, Sokkia C320, totální stanice, Trimble M3 DR5

## **Abstract**

This diploma thesis deals with testing the accuracy of the Sokkia C320 leveling device according to the standard ČSN ISO 17123-2: Optics and optical devices - Field procedures for testing geodetic and measuring devices - Part 2: Leveling devices. It also deals with testing the accuracy of the total station Trimble M3 DR5 according to the standard ČSN ISO 17123-5: Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and measuring instruments - part 5: Electronic tachometers. In the theoretical part I try to describe the methods of testing devices according to standards.

I also describe the basic equipment for measurement and methods of their use. In the practical part I deal with the description, calculations and explanation of the actual testing of the above devices. In the end, I present a general summary and outputs of individual measurement measurements.

**Keywords:** ČSN ISO 17123-2, ČSN ISO 17123-5, testing, leveling, leveling device, Sokkia C320, total station, Trimble M3 DR5

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Pavlu Hánkovi za odborné vedení diplomové práce a za podporu, trpělivost při jejím vytváření. Dále patří poděkování mé rodině a přátelům, kteří mě při zpracování této práce podporovali.

## Obsah

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Úvod.....  | 10 |
| 2     | Literární řešerše.....                                       | 11 |
| 2.1   | ČSN ISO 17123-1 .....  | 11 |
| 2.1.1 | Rozdělení normy .....  | 11 |
| 2.2   | Část 2: Niveláční přístroje.....                             | 12 |
| 2.2.1 | Zjednodušená metodika testování.....                         | 12 |
| 2.2.2 | Úplná metodika testování.....                                | 12 |
| 2.2.3 | Statistické test .....                                       | 13 |
| 2.3   | Nivelace.....  | 13 |
| 2.3.1 | Geodetická nivelace ze středu.....                           | 14 |
| 2.3.2 | Technická nivelace.....                                      | 14 |
| 2.3.3 | Přesná nivelace.....   | 15 |
| 2.3.4 | Velmi přesná nivelace a zvlášť přesná nivelace .....         | 15 |
| 2.4   | Niveláční přístroje .....                                    | 15 |
| 2.4.1 | Libelové niveláční přístroje.....                            | 16 |
| 2.4.2 | Kompenzátorové (automatické) niveláční přístroje.....        | 18 |
| 2.4.3 | Laserové niveláční přístroje .....                           | 18 |
| 2.5   | Zkouška a rektifikace niveláčních přístrojů .....            | 19 |
| 2.5.1 | Podmínka kolmosti osy krabicové libely ( $L' \perp V$ )..... | 19 |
| 2.5.2 | Podmínka kolmosti nitkového kříže ( $H \perp V$ ) .....      | 19 |
| 2.5.3 | Podmínka rovnoběžnosti ( $Z \parallel L$ ).....              | 20 |
| 2.6   | Niveláční lať.....   | 21 |
| 2.7   | Niveláční podložka.....                                      | 21 |
| 2.8   | Část 5: Elektronické tachymetry .....                        | 22 |
| 2.8.1 | Zjednodušený postup zkoušky .....                            | 22 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.8.2 | Úplný postup zkoušky.....                                     | 22 |
| 2.8.3 | Statistický test .....  | 23 |
| 2.9   | Tachymetrie.....  | 23 |
| 2.9.1 | Nítková tachymetrie .....                                     | 24 |
| 2.9.2 | Tachymetrie s elektronickým(digitálním) tachymetrem.....      | 25 |
| 2.10  | Tachymetr .....   | 25 |
| 3     | Metodika .....  | 27 |
| 3.1   | Cíl práce .....   | 27 |
| 3.2   | Materiál .....  | 27 |
| 3.2.1 | Popis území .....   | 27 |
| 3.2.2 | Pomůcky k testování dle normy ČSN ISO 17123-2 .....           | 29 |
| 3.2.3 | Pomůcky k testování dle normy ČSN ISO 17123-5 .....           | 32 |
| 3.3   | Metody.....   | 36 |
| 3.3.1 | Měřický postup zjednodušeného testování .....                 | 37 |
| 3.3.2 | Početni zpracování zjednodušeného testování .....             | 38 |
| 3.3.3 | Měřický postup úplného testování .....                        | 39 |
| 3.3.4 | Početni zpracování úplného testování.....                     | 40 |
| 3.3.5 | Statistický test a) .....                                     | 41 |
| 3.3.6 | Statistický test b).....                                      | 42 |
| 3.3.7 | Statistický test c) .....                                     | 42 |
| 3.3.8 | Měřický postup zjednodušené zkoušky totální stanice .....     | 43 |
| 3.3.9 | Početni zpracování zjednodušené zkoušky totální stanice.....  | 44 |
| 4     | Výsledky a diskuze .....                                      | 45 |
| 4.1   | Výsledky testování dle normy ČSN ISO 17123-2 .....            | 45 |
| 4.1.1 | Výsledky zjednodušeného testování nivelačního přístroje ..... | 45 |
| 4.1.2 | Výsledky úplného testování nivelačního přístroje .....        | 46 |
| 4.1.3 | Výsledky statistických testů.....                             | 48 |



|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.2   | Výsledky testování dle normy ČSN ISO 17123-5 .....  | 48 |
| 4.2.1 | Výsledek zjednodušené zkoušky totální stanice ..... | 48 |
| 5     | Závěr .....   | 51 |
|       | Seznam použité literatury .....                     | 53 |
|       | Seznam obrázků .....                                | 58 |
|       | Seznam tabulek .....                                | 59 |

---

# 1 Úvod

Tato práce pojednává o testování vybraných geodetických přístrojů podle metodik stanovených v řadě mezinárodních norem, které jsou do českého systému převzaty s označením ČSN ISO 17123 Optika a optické přístroje. Norma obsahuje veškeré postupy zkoušek u různých druhů přístrojů. Norma také zjišťuje, zda testovaný přístroj odpovídá svojí přesností výrobcem stanovenou odchylkou.

Postup ověření přesnosti přístrojů bude provedeno pro dva vybrané přístroje, jednu totální stanici a jeden nivelační přístroj. Pro oba přístroje budou provedeny testy tak, jak jsou předepsány a požadovány v příslušných normách.

Pro ověření přesnosti byly vybrány normy ČSN ISO 17123-2 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – Část 2: Nivelační přístroje a ČSN ISO 17123-5 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů - Část 5: Elektronické tachymetry. Normy definují metodiku zjednodušeného a úplného testování.

Úplné a zjednodušené testování probíhalo u nivelačního přístroje Sokkia 320. Nivelační přístroj byl podroben zkouškám a výsledky byly porovnány s hodnotami udávanými výrobcem. Pro zkoušku byla vybudována vlastní testovací přímka.

Testování probíhalo u totální stanice Trimble M3 DR5, pro kterou byl zvolen zjednodušený postup zkoušky. Pro testování bylo potřeba vybudovat vlastní testovací trojúhelník. Výsledky testování byly porovnány s hodnotami udávanými výrobcem.

---

## 2 Literární rešerše

### 2.1 ČSN ISO 17123-1

Jedná se o mezinárodní normu převzatou v anglickém jazyce. Název normy je Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů. Norma ISO 17123 specifikuje terénní postupy, které mají být použity při určování a vyhodnocování přesnosti geodetických přístrojů a jejich pomocného vybavení při použití ve výstavbě a geodetických měřeních. V první řadě jsou tyto zkoušky míněny jako terénní kontrola vhodnosti určitých přístrojů pro daný úkol a také ke splnění nároků dalších norem. Nejsou navrhovány jako zkoušky pro akceptační nebo výkonostní hodnocení. Tyto terénní postupy byly vyvinuty speciálně pro okamžité použití bez potřeby speciálního příslušenství a jsou záměrně vytvořeny tak, aby minimalizovaly vliv atmosféry.

Norma byla vydána v roce 2005 a nahrazuje normu ČSN ISO 8322, která určovala Geometrickou přesnost ve výstavbě určování přesnosti měřících přístrojů z roku 1994.

ISO (Mezinárodní organizace pro normalizaci) je celosvětovou federací národních normalizačních orgánů (členů ISO). Mezinárodní normy obvykle připravují technické komise ISO. Každý člen ISO, který se zajímá o předmět, pro který byla vytvořena technická komise, má právo být v této technické komisi zastoupen. Práce se zúčastňují také vládní i nevládní organizace, s nimiž ISO navázala pracovní styk. ISO úzce spolupracuje s mezinárodní elektrotechnickou komisí (IEC) ve všech záležitostech normalizace v elektrotechnice.

#### 2.1.1 Rozdělení normy

ISO 17123 sestává z následujících částí pod hlavním titulem Optika a optické přístroje Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů:

- Část 1: Teorie
- Část 2: Nivelační přístroje
- Část 3: Teodolity
- Část 4: Elektrooptické dálkoměry
- Část 5: Elektronické tachymetry
- Část 6: Rotační lasery
- Část 7: Optické provažovací přístroje (ČSN ISO 17123-1).

---

## 2.2 Část 2: Nivelační přístroje

Norma v plném znění ČSN ISO 17123-2 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – Část 2: Nivelační přístroje. Norma řeší postup testování nivelačních přístrojů v terénu bez rozlišení přístroje.

Skládá se z dvou částí (postupů):

- Zjednodušená metodika testování (vhodná pro přístroje používané ve stavební činnosti – přístroje nižší přesnosti)
- Úplná metodika testování (vhodná pro přístroje určené pro přesnou nivelaci, aplikace v inženýrské geodezii – přístroje vyšší přesnosti)

(ČSN ISO 17123-2).

### 2.2.1 Zjednodušená metodika testování

Metodika je určena na zjištění přesnosti optického nivelačního přístroje používaného na plošnou nivelaci a na úlohy v běžné stavební praxi s možností používání nerovných délek záměr.

Pro výběr měřické základny (testovací přímka ohraničená body A a B) je potřeba snížení vlivu refrakce na minimum. Pro provedení zkoušky se doporučuje vybrat zhruba vodorovné území. Terén by měl být kompaktní, povrch homogenní a je potřeba se vyhnout silnicím pokrytým asfaltem nebo betonem (Ježko, 2012).

Postup závisí na stanovení výškového rozdílu mezi dvěma body vzdálenými od sebe asi 60 m, což je přijato jako skutečná hodnota. Rozdíl mezi naměřeným výškovým rozdílem při nesterénně dlouhých záměrech (přístroj postavený v 1/6 vzdálenosti od bodu A, resp. 5/6 vzdálenosti od bodu B) a hodnotou přijatou jako správnou při stejně dlouhých záměrech (přístroj postavený ve středě mezi body A a B) označuje, zda přesnost splňuje danou povolenou odchylku s ohledem na účel měřické úlohy.

### 2.2.2 Úplná metodika testování

Úplné testování slouží pro nejlepší míru přesnosti určitého stroje a jeho příslušenství v polních podmínkách. Při testování je důležité dodržet stejné délky záměr (max. odchylka 10%). Doporučené délky záměr jsou 30 m. Délky záměr větší než 30 m mohou být použity, pokud to vyžaduje specifický projekt nebo k určení přesnosti měření přístroje na jednotlivé vzdálenosti. Jedná se o normální postup pro polní zkoušení přístrojů, které budou použity pro přesnější měření.

Podmínky na území, kde bude probíhat realizovaná zkouška, jsou stejné jako

---

při zjednodušené metodice testování. V případě, že na přístroj svítí přímé sluneční světlo, je potřeba přístroj chránit např. slunečníkem. Nejlepší je měření provádět v ranních hodinách nebo za oblačného počasí.

### 2.2.3 Statistické test

Statistické testy se doporučují pouze při úplné metodice testování. Pomocí testů vyhodnotíme výsledky zkoušek, zda odpovídají dané odchylce či nikoliv.

Poskytují odpovědi na tři otázky:

- a) Odpovídá, zda testované přístroje odpovídají přesnosti udávanou výrobcem (směrodatná odchylka udávaná výrobcem  $\delta$ )?
- b) Touto statistickou otázkou se určí, zda pro experimentální odchylky stanovené ze dvou rozdílných souborů měření jsou rovny. Za předpokladu, že oba vzorky mají stejným počtem stupňů volnosti,  $v$ .

experimentální směrodatné odchylky, lze získat ze:

- dvou vzorků měřených jedním nivelačním přístrojem s jiným měřičem
  - dvou vzorků měření se jedním nivelačním přístrojem, ale v jiném čase
  - dvou vzorků měření s různými nivelačními přístroji
- c) Je rozdíl  $\delta$  dvojice nivelačních latí rovna nule?

Pro všechny následující statistické testy je úroveň spolehlivosti  $1 - \alpha = 0,95$  a podle vzorového měření se předpokládá, že počet stupňů volnosti je  $v = 38$  (ČSN ISO 17123-2).

**Tabulka 2.1: Zařazení statických testů podle hypotézy (vlatní)**

| otázky | nulová hypotéza           | alternativní hypotéza        |
|--------|---------------------------|------------------------------|
| a)     | $s \leq \delta$           | $s > \delta$                 |
| b)     | $\delta = \tilde{\delta}$ | $\delta \neq \tilde{\delta}$ |
| c)     | $\delta = 0$              | $\delta \neq 0$              |

## 2.3 Nivelace

Nivelace se užívá ve stavebnictví k vyměření vodorovné roviny (nivelety) při zakládání staveb. V geodézii se užívá ke stanovení nadmořské výšky trasováním od bodu se známou výškou. Pro výšková měření se používá výškový systém tzv. Balt po vyrovnání (Bpv.), který je tvořen body I. až IV. Řádu (Ratiborský, 2005).

---

Body nivelační sítě (nivelační značky) jsou nejčastěji čepové nebo hřebové a jsou stabilizovány ve zdivu budov ve výšce 0,8 m nebo ve formě kamenu či značky zapuštěné svisle do kamenu. Na nivelační značky se při měření staví patka nivelační latě, na které se nachází stupnice pro odečítání výšky.

V praxi se dnes používají tyto způsoby nivelace:

- Geometrická nivelace ze středu (slouží ke zjištění převýšení mezi dvěma body)
- Plošná nivelace (pro zjištění převýšení – výšek, pokud máme více bodů)
- Hydrostatická nivelace (pro specializované práce)

(Novotný, 1995).

### **2.3.1 Geodetická nivelace ze středu**

Je jednou z nejčastěji používanou metodou pro určení výšky bodu. Jde o měřický postup, kterým se určí převýšení mezi body. Je-li známa nadmořská výška v příslušném výškovém systému alespoň jednoho z nich, je možné vypočítat u dalších zaměřených bodů jejich nadmořskou výšku (Cimbálník a Mervart, 1999).

U bodů, u kterých zjišťujeme převýšení, jsou postaveny nivelační latě. Nivelační přístroj se postaví přibližně doprostřed mezi počáteční bod A a zaměřovaný bod B. Na body je umístěna nivelační lať. Jedná se o metodu velmi přesnou, časově náročné může být stabilizace stroje a připojení na výškové bodové pole, jinak je tato metoda velmi rychlá (Veselý, 2014).

Podle dosahované přesnosti výsledků měření se geometrická nivelace dělí na:

- Technickou nivelaci (TN)
- Přesnou nivelaci (PN)
- Velmi přesnou nivelaci (VPN)
- Zvlášť přesnou nivelaci (ZPN)

(Čada, 2012).

### **2.3.2 Technická nivelace**

Technická nivelace se řídí Směrnicí pro technickou nivelaci. Používá se v běžné stavební praxi, pro určení nadmořských výšek bodů v podrobném výškovém bodovém poli, při vytyčování zemních prací, při měření výškových profilů, při vytyčování výškových úrovní stavebních děl, ale i při mapování zastavěných území městského typu (Maršík a Maršíková, 2002).

---

### 2.3.3 Přesná nivelace

Použije se při měření výšek ve výškovém bodovém poli, hlavně v pořadech III. a IV. Řádu, ale i při speciálních pracích vyšší přesnosti spadající do oblasti inženýrské geodézie. Niveláčnický přístroj s minimálně 24násobným zvětšením, niveláčnická libelou o citlivosti alespoň 20,6''/2 mm (koincidenční libela 41''/2 mm) nebo kompenzátořem odpovídající přesnosti (pro měření niveláčnických pořadů III. Řádu). Každý pořad se nivuluje dvakrát (tam a zpět v jinou denní dobu). Při použití páru dvou latí musí být sudý počet sestav. Stativy se používají pevné a niveláčnické podložky těžké litinové nebo niveláčnické hřeby (Maršík a Maršíková, 2005).

### 2.3.4 Velmi přesná nivelace a zvlášť přesná nivelace

Technologie měření se příliš neliší od přesné nivelace (PN), jen kritéria přesnosti jsou přísnější. Velmi přesná nivelace (VPN) se používá pro práce ve výškovém poli, zejména niveláčnických sítích I. a II. řádu. Zvlášť přesná nivelace (ZPN) pak při výškovém určení výškových indikačních bodů i při speciálních pracích s vysokými nároky na dosaženou přesnost (Schenk, 2005). Používají se nejpřesnější niveláčnické přístroje libelové i kompenzátořové (Blažek a Jandourek, 1991).

## 2.4 Niveláčnické přístroje

Niveláčnické přístroje slouží a sloužily k urovnání záměrné přímky (resp. K urovnání vodorovné roviny). Mohli používat principu spojených nádob či ustálené vodní hladiny (známo ve starověku). Giovanni Branca z Říma využil v roce 1629 k nivelaci hadicovou vodovahu a později roku 1849 Geiger ve Stuttgartu přispěl k rozšíření montáží gumových hadic.

Na přelomu 19. a 20. století se vyráběly niveláčnické přístroje se svisle položenými skleněnými válci spojenými mosaznou trubicí upevňovanou na stativ. Záměra byla tvořena průzory posunutými na úroveň hladiny v obou válcích. Ve 20. století vznikalo několik přesných hydrostatických systémů pro pozorování svislých posunů staveb, které byly i digitalizovány ([surveyinginstruments.org](http://surveyinginstruments.org)).

Optické niveláčnické přístroje se používají k určení převýšení jednoho bodu, vzhledem k druhému bodu, pomocí vodorovných světelných paprskových svazků. V zásadě jsou niveláčnické přístroje složeny z dalekohledu a libely, jelikož jsou osy vzájemně rovnoběžné. To znamená, že při srovnání libely je záměrná osa dalekohledu také vodo-

---

rovná. Nivelační přístroje jsou charakteristické citlivou libelou a pohyblivostí její bublinky a přiblížení dalekohledu. Tyto veličiny jsou vzájemně provázány určitými vztahy (Kepřt, 1951).

Nivelační přístroje můžeme rozdělit podle přesnosti (střední jednotkové kilometrové chyby obousměrné nivelace  $m_0$ ):

- Velmi přesné nivelační přístroje (VPN)  
 $m_0 \leq 0,3 \text{ mm}$  ;
- Přesné nivelační přístroje (PN)  
 $0,3 \text{ mm} \leq m_0 \leq 1,5 \text{ mm}$  ;
- Technické nivelační přístroje (TN)  
 $1,5 \text{ mm} \leq m_0 \leq 5 \text{ mm}$  ;
- Nivelační přístroje s nižší přesností (NP)  
 $m_0 > 5 \text{ mm}$  .

(Čada, 2012).

Při vývoji se prosadil typ s pevným dalekohledem a s ním spojenou nivelační libelou. Ta byla sledována zrcátkem, později byl obraz konců libely převeden do dalekohledu. Od 60. let je libela nahrazena kompensátorem. V současnosti je čtení digitalizováno užitím kódových latí. Ostatní typy zanikly a byly nahrazeny modernějšími přístroji (Hánek a Švejda, 2002).

Rozdělení nivelačních přístrojů:

- Libelové nivelační přístroje
- Kompenzátorové (automatické) nivelační přístroje
- Laserové nivelační přístroje

#### **2.4.1 Libelové nivelační přístroje**

Nejpoužívanější přístroj s pevným dalekohledem a pevnou nivelační libelou s elevačním spojením nosníku a dalekohledu. Jedná se o starší typ stroje, vyrobeného před rokem 1950, ale některé firmy pokračovaly ve výrobě i nadále. Současné používání a výroba libelového nivelačního přístroje je na sestupu (Blažek a Skořepa, 2004).

Základní rozdělení:

- Mechanické součásti
  - šrouby (stavěcí, rektifikační, elevační)



- 
- ustanovky (hrubá, jemná)
  - nosná zařízení (stativ, trojnožka)
  - Optické části a odečítací pomůcky
    - dalekohled
    - index
    - vernier

**Stavěcí šrouby** obsahují soustavu tří šroubů, pomocí kterých se nivelační přístroj horizontuje. Princip používání stavěcích šroubů je v otáčení dvou šroubů najednou, a to směrem od sebe či ven (nikdy se netočí oběma šrouby stejným směrem, např. po směru hodinových ručiček). Třetím šroubem se točí samostatně dokud nevedeme libelu do vodorovného stavu. Stavěcí šrouby mají povrch většinou z černého plastu. Samotný vnitřek šroubu zůstal kovový nebo je tvořen kombinací kovu a plastu

**Hrubé ustanovky** slouží k zamezení pohybu přístroje v dané poloze (fixaci) a hrubému zacílení. Utahují se otočením o 180 stupňů a povolují otočením na opačnou stranu. Pokud nebudou při čtení hodnot utahené, stačí menší síla a dojde k vychýlení přístroje z požadované pozice.

**Jemné ustanovky**, jejichž úkolem je jemné docílení na cíl. Díváním se skrz dalekohled stroje snažíme zacílit pomocí ryskového kříže na požadovaný cíl (stupnice nivelační latě). Toto docílení provádíme jedním šroubem, který se dá otáčet v obou směrech a měnit tak horizontální polohu dalekohledu (Ratiborský, 2005).

**Stativ** se skládá ze dvou částí, a sice ze tří výsuvných nohou a hlavy, na které je umístěn šroub sloužící k upevnění podložky s přístrojem. Nedílnou součástí je popruh, jenž má sloužit k pohodlnému přenášení, kdy jsou nohy stativu složené k sobě. Dnes se používají nejčastěji hliníkové stativy. Jejich výhodou je lehkost a nevýhodou křehkost. Výsuv nohou je umožněn povolením šroubů a následným vysunutím. Konce nohou stativu jsou ocelové, špičaté, s malým stupátkem pro správné zašlápnutí stativu do podkladu tak, aby se nehýbal (archiwum.allegro.pl).

**Trojnožka** (podložka) je spojovací článek mezi přístrojem a stativem. Podložka má trojúhelníkový tvar a jsou zde umístěny stavěcí šrouby a také krabicová libela. Podložka má ve vnitřním prostoru tři otvory, do kterých se umísťují malé trnože přístroje. Pomocí utahovacího šroubu, kterým se pootočí o 180 stupňů. Podložka se ke stativu připevňuje pomocí šroubu se závitem, ten se nachází na hlavě stativu a zašroubuje se do otvoru na spodní straně podložky (geoshop.cz).

---

**Dalekohled** se skládá z objektivu, okuláru a záměrného (ryskového) kříže. Umožňuje zacílení na nivelační lať. Zvětšení se pohybuje v intervalu 5 – 25x.

**Index** nachází se na neotáčivé části. Je odečítací pomůcka pro hrubé odečítání. Vodorovný kruh je opatřen stupnicí, která je rozdělena zpravidla po 1° nebo 1 gonu, ale může být i hrubší, například po pěti nebo deseti stupních nebo gonech.

**Vernier** x. Nachází se na otočné části přístroje, v bezprostřední blízkosti hlavní stupnice a dotýká se jí. Vernier je doplňková odečítací pomůcka ve tvaru malé destičky s podrobnější stupnicí, odečítací lupou a destičkou pro případné přisvícení. Slouží k podrobnému čtení dílků na hlavní stupnici, ze které je odečítáno – např. index (Novotný, 1995).

#### **2.4.2 Kompenzátorové (automatické) nivelační přístroje**

Snaha konstruktérů o odstranění pracného nastavování záměrné přímky do vodorovné polohy ručním urovnáním nivelační libely. Kompenzátor převzal a nahradil funkci libely, elevačního šroubu a lidské ruky. Tento problém byl úspěšně vyřešen počátkem 50. let, a to konstrukcí automatického nivelačního přístroje se zcela novým konstrukčním prvkem – kompenzátořem (kyvadlem). Tento prvek samočinně nastaví hrubé urovnání přístroje podle krabicové libely. Mezi kompenzátorové přístroje patří i digitální nivelační přístroj (Cimbálník a Mervart, 1999).

#### **2.4.3 Laserové nivelační přístroje**

Řady výrobců se pokusila o nahrazení světelného paprsku realizující záměrnou přímku viditelným paprskovým laserem (červená laserová dioda). Laserové nivelační přístroje se vyznačují vysokou přesností a díky samonivelační funkci i velmi snadnou obsluhou. Využití tohoto druhu přístrojů je především ve stavebnictví a inženýrské geodezii. Při delších záměrech je nedílnou součástí přístroje odečítací zařízení na lati (čidlo), které umožní určit střed paprsku (divergence je 20-30 mm/200 m) s přesností 0,5-2,5 mm podle délky záměry (Blažek a Skořepa, 2004).

Z konstrukčního hlediska je možné laserové nivelační přístroje rozdělit na:

- Kompaktní (zdroj a dalekohled tvoří jediný celek)
- Aditivní (do okuláru běžného nivelačního přístroje se vhodným způsobem přivádí světlo z laseru)
- Rotující (přístroje s rotujícím laserovým paprskem; vodorovnou záměru lze sledovat současně na více latích vybavených detektory; přesnost je 0,8

---

až 3 mm/100 m, dosah 200 až 300 m; efektivní je jejich využití při různých běžných i speciálních stavebních pracích).

## 2.5 Zkouška a rektifikace nivelačních přístrojů

Nivelační přístroje musí splňovat geometrické podmínky vzájemné polohy hlavních os. Základními osami nivelačního přístroje jsou: vertikální osa (osa alhidády) V, záměrná osa dalekohledu Z, osa nivelační libely L, osa pomocné krabicové libely L', osa nivelační rysky na nitkovém kříži H (Čada, 2012).

Nivelační přístroje obvykle zkoušíme před zahájení sezóny, před zahájením technické nivelace zvýšené přesnosti, nebo před měřením většího rozsahu.

Existují tři nejpoužívanější geometrické podmínky, které zvládne každý sám přezkoušet a následně seřídit přístroj (Hánek a Maršíková, 2007).

### Podmínky geodetické přesnosti libelového nivelačního přístroje:

- Osa krabicové libely L' má být kolmá k vertikální ose přístroje (ose alhidády) V ( $L' \perp V$ )
- vodorovné vlákno nitkového kříže dalekohledu H má být kolmé k vertikální ose přístroje (ose alhidády) V ( $H \perp V$ )
- osa nivelační libely L má být rovnoběžná se záměrnou přímkou Z ( $Z \parallel L$ ) (Čada, 2012).

#### 2.5.1 Podmínka kolmosti osy krabicové libely ( $L' \perp V$ )

Provedeme horizontaci nivelačního přístroje prostřednictvím nivelační libely (přístroj se horizontuje ve dvou na sebe kolmých směrech stavěcími šrouby). Poté nivelačním přístrojem otočíme o 180 stupňů, a pokud se bublina libely nevychýlí, je přístroj horizontován. Tudiž je podmínka splněna. Pokud se bublinka vychýlila, tak není splněna podmínka. Polovinu odchylky opravíme stavěcími šrouby a druhá polovina elevačním šroubem. Po urovnání nivelační libely je třeba ještě opravit výchylku bubliny pomocné krabicové libely jejími rektifikačními šroubky.

#### 2.5.2 Podmínka kolmosti nitkového kříže ( $H \perp V$ )

Vodorovná ryska záměrného kříže dalekohledu má být kolmá k ose otáčení nivelačního přístroje. Pro ověření, zda nivelační přístroj splňuje tuto podmínku, zaměříme levým okrajem nivelační rysky dalekohledu na zřetelný bod. Jemnou vodorovnou ustanovkou posunujeme dalekohled směrem k pravému okraji nivelační rysky. Pokud

se ryska odchýlí od zvoleného bodu, je třeba provést rektifikaci. Rektifikace se provede pootočením clonky nitkového kříže. Doporučuje se však rektifikaci přenechat zaškolenému mechanikovi (Maršík a Maršíková, 2002).

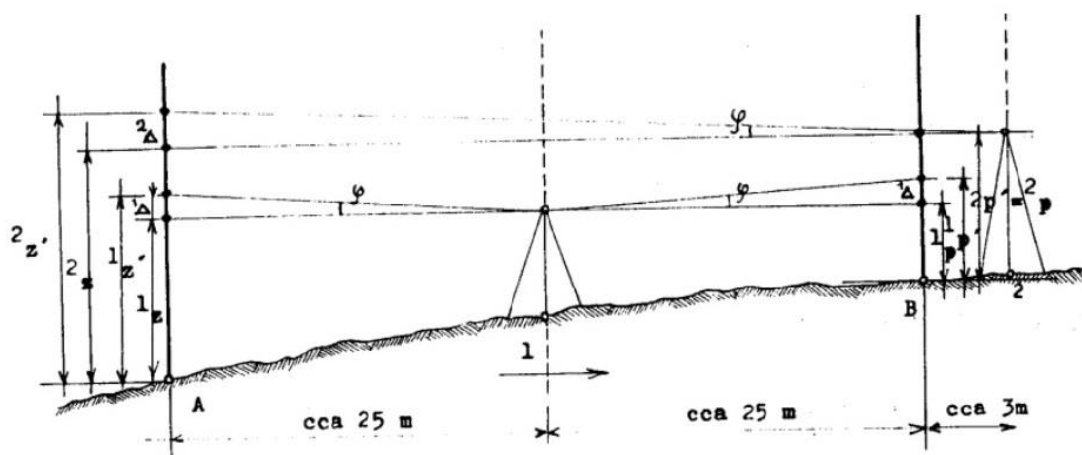
### 2.5.3 Podmínka rovnoběžnosti (Z||L)

Pokud osa nivelační libely není rovnoběžná se záměrnou přímkou dalekohledu, porušuje měření základní geodetickou podmínku nivelace. Taková záměrná přímka není vodorovná ani při přesně stabilizované nivelační libele (Švec, 2006). Zkoušku provádíme v mírně svažitém terénu ve vzdálenosti 40 až 60 m, zvolíme dva výškově zajištěné (nivelačními podložkami) body A a B, jejichž převýšení nepřesahuje 2 m. Na tyto body

se svisle postaví nivelační latě. Doprostřed mezi oba body se postaví nivelační přístroj, kterým se po provedení jeho přípravy k měření odečtou na nivelačních latích hodnoty  ${}^1z'$  a  ${}^1p'$ . Z těchto hodnot získáme správný výškový rozdíl  $\Delta^1H_{AB}$ , i když osa Z bude svírat s vodorovnou přímkou úhel  $\varphi$ . Přístroj je umístěn uprostřed mezi latěmi a čtení jsou pochybena o stejnou hodnotu  $1\Delta$ .

Platí vzorec:

$$\Delta^1H_{AB} = {}^1z - {}^1p = {}^1z' - 1\Delta - ({}^1p' - 1\Delta) = {}^1z' - {}^1p'$$



Obrázek 2.1: Zkouška rovnoběžnosti nivelačního přístroje (kgm.zcu.cz)

Poté nivelační přístroj přemístíme na stanoviště 2 co nejbližší k lati na bodě B, abychom mohli dobře zaostřit dalekohled na tuto lat. Po provedení přípravy přístroje k měření odečteme na bližší lati hodnotu, kterou lze vzhledem k malé vzdálenosti považovat za správnou ( ${}^2p^t = {}^2p$ ) (Čada, 2012).

Pro čtení na vzdálenější lati platí:

---

$$^2Z = ^2p^t + \Delta^1H_{AB}$$

Pokud se čtení liší od této hodnoty, nastavíme elevačním šroubem nivelační rysku na vypočtenou hodnotu. Tím se vychýlí bublina nivelační libely. Tuto výchylku opravíme rektifikačními šroubky libely. Zbytkovou chybu po rektifikaci odstraníme geometrickou nivelací ze středu (Streibl a Puklová, 1989).

## 2.6 Nivelační lať

Nivelační lať používáme jako odečítací pomůcku pro nivelační přístroj při geodetické nivelaci. Vyrábí se ze dřeva, kovu a laminátu. Nivelační lať je zkomponována ze tří výsuvných částí. Po úplném vysunutí je manipulace s latí nesnadná, zvláště udržet lať v rovině podle libely (Švec, 2006).

Délka latě a materiál z kterého je vyrobena se liší podle typu práce. Pro přesnou nivelaci se používají latě o délce dva nebo tři metry, jejíž stupnice je vyrobena z invaru. Pro obvyklé nivelační práce jsou latě dlouhé od dvou do pěti metrů a jsou vyrobeny nejčastěji z hliníku, ale i ze dřeva (nivelo.cz).

Stupnice nivelačních latí pro přesnou nivelaci je dělena po pěti milimetrech. Pro běžné práce jsou stupnice centimetrové, s možností odečtu milimetrů. Číslování je na lati značeno po decimetrech, a to od patky nivelační latě. Pro současné digitální nivelační přístroje se vyrábí lať se speciální stupnicí (čárovým kódem) (geoobchod.cz).

## 2.7 Nivelační podložka

Nivelační podložka slouží jako příslušenství pro nivelační lať. Pokud lať není stavěna na měřičském bodě, kamenném mezníku či nivelační značce, staví se právě na nivelační podložku. Podložka má na horní straně jeden nebo dva výčnělky, jež mají tvar kruhového vrchlíku. Na tyto výčnělky se staví patka nivelační latě (Maršík a Maršíková, 2002).

Nejběžnější tvar podložky je trojúhelníkový a kulatý. Podložka je opatřena držátkem pro snadné přenášení. Její váha se pohybuje okolo dvou kilogramů a barva podložky se také může různě lišit. Nejčastější používaná barva je žlutá, černá nebo oranžová (Novotný, 1995).

---

## 2.8 Část 5: Elektronické tachymetry

Norma obsahuje ČSN ISO 17123-5 Optika a optické přístroje - Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů - Část 5: Elektronické tachymetry. Tato část specifikuje zkouškové postupy, zaměřené na určování a odhad přesnosti elektronických tachymetrů a pomocného vybavení. Zkoušky se provádí pro měření ve stavebnictví a geodezii.

Cílem těchto zkoušek je ověření vhodnosti jednotlivých přístrojů na příslušnou úlohu a splnění požadavků dalších norem. Postupy jsou určeny na zkoušení přístrojů v terénu bez potřeby dalších zařízení. Jsou navrženy tak aby byl minimalizován vliv atmosférických podmínek na výsledném testu.

Skládá se z dvou částí (postupů):

- Zjednodušený postup zkoušky (vhodná pro přístroje nižší přesnosti)
- Úplný postup zkoušky (vhodná pro přístroje v inženýrské geodezii – přístroje vyšší přesnosti)

### 2.8.1 Zjednodušený postup zkoušky

Zjednodušený postup zkoušky je založený na omezeném počtu měření. Testování spočívá v měření souřadnic X, Y, Z. z důvodů atmosférické refrakce přesnost souřadnic X a Y může být rozdílná než přesnost souřadnic Z. Proto jsou přesnosti počítané samostatně. Zjednodušený postup není zcela prokazatelně přesný. Touto zkouškou určíme střední odchylku.

Testovací pole je tvořeno do trojúhelníkového tvaru, přičemž každý roh je označen jako stanoviště S1, S2, S3 a jsou zde umístěné trojnožky. Délky stran závisí od dané úlohy či práce (např. 100 až 200 metrů) a výška se volí v závislosti na terénu.

### 2.8.2 Úplný postup zkoušky

Tento postup je založený na měření souřadnic na testovacím poli. Střední odchylka měření souřadnic jednotlivých bodů je určena pomocí metody nejmenších čtverců. Výsledkem testování přesnosti je střední odchylka jednou měřené souřadnice v dvou polohách dalekohledu, které vyhodnotíme podle statistických testů. Testovací pole je tvořeno stejně jako v zjednodušeném postupu zkoušky.

Před měřením je potřebné přístroj aklimatizovat. Všechny souřadnice musí být měřeny v jednom dni. Měření realizujeme v třech sériích ( $i=1,2,3$ ), každá série obsahuje měření na každém stanovišti  $S_j$  ( $j=1,2,3$ ), při stejné obměně stanovištěk v každé

---

sérii (např.  $S1 \rightarrow S2 \rightarrow S3 \rightarrow S1 \rightarrow S2 \dots$ ). Na každém stanovisku je nutné zavést atmosférické korekce a použít stejný odrazný hranol (ČSN ISO 17123-5).

### 2.8.3 Statistický test

Statistický testy jsou použitelné pouze pro úplný postup zkoušky. Na vyhodnocení výsledků musí být vykonané statistické testování, použití střední odchylky, měřených souřadnic na testovacím trojúhelníku (Ježko, 2011).

Statistický test odpovídá na otázky:

- a) Je vypočítána střední odchylka  $s$  menší anebo rovna, jako příslušná hodnota střední odchylky  $\sigma$ , stanovená výrobcem, nebo menší jiná dopředu stanovená střední odchylka  $\sigma$ ?
- b) Rovnají se dvě střední odchylky  $s$  a  $\tilde{s}$  určené na jiném vzorku měření? Předpokládá se, že oba vzorky mají stejný stupeň volnosti  $v$ ?

Střední odchylka  $s$  a  $\tilde{s}$  můžeme získat:

- Ze dvou vzorků údajů měření stejným přístrojem, ale jiným měřičem.
- Ze dvou vzorků údajů měření stejným přístrojem, ale měřeném v odlišném čase.
- Ze dvou vzorků údajů naměřenými různými přístroji.

Pro všechny následující statistické testy je úroveň spolehlivosti  $1 - \alpha = 0,95$  a stupeň volnosti pro souřadnice X a Y je  $v_{XY} = 24$  a pro souřadnice Z  $v_Z = 15$  (ČSN ISO 17123-5).

**Tabulka 2.2: Zařazení statických testů podle hypotézy (zdroj: vlastní)**

| otázky | nulová hypotéza           | alternativní hypotéza        |
|--------|---------------------------|------------------------------|
| a)     | $s \leq \delta$           | $s > \delta$                 |
| b)     | $\delta = \tilde{\delta}$ | $\delta \neq \tilde{\delta}$ |

## 2.9 Tachymetrie

Tachymetrie je jednou ze základních metod mapování. (Nevosád a Vitásek, 2000). Tachymetrie je geodetická metoda měření vhodná k zaměřování terénního reliéfu zemského povrchu sloužící k současnému určování polohopisu a výškopisu. Poloha se určuje pomocí podrobných bodů ze sítě tachymetrických stanovisek v prostoru polárních souřadnic (vodorovným úhlem a délkou). Výšku podrobných bodů určíme trigonometricky ze změřeného svislého úhlu a délky (Keprt, 1951).

---

Tato metoda má nižší přesnost oproti ortogonální metodě nebo nivelaci, ale plně vyhovuje pro většinu požadavků technické praxe. Předností je účelnost a hospodárnost postupu. (Pokorná, 1984)

Metoda slouží k budování výškopisných a polohopisných plánů. Měření slouží jako podklad k tvorbě map a k řešení úkolů technického projektování. Znázorňování terénního reliéfu pomocí kótování, vrstevnicemi, šrafováním, stínováním, barevným tónováním na plánech a mapách (Čada, 2012).

Podrobné body se volí tak, aby vystihovaly průběh terénu a zároveň všechny body polohopisu. V terénu se zaměřují vždy charakteristické křivky terénu. Pokud je jich v terénu nedostatek, doplňují se pravidelnou sítí bodů.

Umístění podrobných bodů:

- Na hranách (meze, příkopy, úvozy, náspy)
- Na tvarových čarách (hřbetnice, údolnice)
- Na charakteristických bodech v terénu (vrchol, střed sedla, na spočinku)
- Na vybraných bodech polohopisného měření (dno vstupní šachty, výška toku, výška výtoku, hladina a dno vodního toku)
- Jiné předměty měření dle požadavku odběratele (výšky prvních podlaží stavebního objektu, výšky prostorů)

(Blažek a Skořepa, 2009)

K tachymetrickému měření se používají přístroje nazývané se jako tachymetry. Přístroj tachymetr slouží k měření délek, vodorovných a svislých úhlů. Tachymetrem je každý teodolit vybavený svislým kruhem a dálkoměrnými ryskami (Kepřt, 1951). V dnešní době se používá totální stanice nebo jiné druhy měření (GPS, laserové 3D skenování povrchu).

### **2.9.1 Nitková tachymetrie**

Nitková tachymetrie je historická metoda, při které se používá nitkový tachymetr a tachymetrická (nivelační) lať sloužící k měření délek. Kromě klasického nitkového tachymetru lze použít i tachymetr autoredukční, který přímo určí vodorovné vzdálenosti, nebo tachymetr diagramový, který přímo stanoví vodorovné vzdálenosti a převýšení (Ryšavý, 1955).

Předem se volí a zaměří síť stanovisek. Úhly se při budování měřické sítě měří ve dvou polohách délky s přesností na centimetry. Stanoviska se volí na maximální vzdálenost nitkového tachymetru (cca 150 m). Po zaměření sítě stanovisek se vypočte



---

jejich poloha (pravoúhlé souřadnice Y, X) a výška.

Po zcentralizování a horizontaci přístroje se na jednom ze stanovisek nastaví čtení nuly vodorovného kruhu. Poté se tachymetrická lat' postupně staví na podrobné body. Je třeba přečíst na lati potřebné údaje, určení vzdálenosti (horní, střední, dolní nit), přečíst vodorovný a svislý úhel. Samozřejmě je nutné vést měřický náčrt. Do náčrtu postupně zakreslujeme stanoviska a podrobné body, přičemž jsou všechny očíslované. Pak je potřeba spočítat zápisník (Čada, 2012).

### **2.9.2 Tachymetrie s elektronickým(digitálním) tachymetrem**

Jedná se o moderní metodu, která používá totální stanici s odrazným hranolem. Vyznačuje se vysokou přesností měření. Postup měření je stejný jak při nitkové tachymetrii. Měření je rychlejší, snazší a výstup je v digitálně formě. Měříme na hranol a v totální stanici lze nastavit výstupní data ve tvaru vodorovný úhel, vodorovná vzdálenost, a převýšení. Ruční zapisování odpadá, ale ruční náčrt slouží jako kontrola výstupních digitálních dat (Hánek, 2011).

## **2.10 Tachymetr**

Zásluhou Ignazia Porro v Itálii po roce 1823 vznikla a rychle se rozšířila tachymetrie. Zejména pro potřeby trasování drah. Měření a výpočty byli velmi komplikované. Civilní inženýr J. Moinot a pařížský mechanik Richer běžný teodolit doplnili nitkovým dálkoměrem. Tachymetr byl pak nazýván teodolit minutové přesnosti, často jen se segmentem výškového kruhu a se čtením kruhů verniery jen na 1 místě. V tomto pojetí je shodný s tzv. univerzálním nivelačním přístrojem 19. století, který se stal nejrozšířenější pomůckou 3D mapování velkých a středních měřítek ([surveyinginstruments.org](http://surveyinginstruments.org)).

Až do roku 1971 se kombinoval elektronický dálkoměr s optickým teodolitem. Roku 1971 byl do geodetické praxe uveden první elektronický přístroj, který automaticky určoval úhly i délky. Označení těchto přístrojů je v literatuře rozdílné. Používají se názvy jako digitální, číslicový, kompaktní, přesný elektronický či elektronický tachymetr. Výrobci používají označení totální stanice (Hánek, 2011).

Dnešní přístroje mají oproti dřívějším tachymetrům řadu předností. Vysokou přesnost, velkou rychlostí měření, ukládání měřických údajů do paměti, řadu programů a softwarů na zpracování výsledků atd. (Nevosád a Vitásek, 2004).

---

Zdrojem proudu pro elektronické tachymetry jsou interní baterie s různým napětím a kapacitou. Ke čtení úhlů se používají inkrementální či kódové kruhy nebo je také možné použití dynamického či elektroindukčního systému. K měření délek se používají světelné dálkoměry s přesností měřené délky v rozsahu středních chyb od  $1\text{mm} + 1\text{ppm} \cdot s$  až  $5\text{mm} + 5\text{ppm} \cdot s$  s dosahem od 500 m do 5 km, výjimečně do 15 km. Přístroje se horizontují pomocí dvojsového kompenzátoru a krabicové libely. K centraci přístroje se používá optické olovnice vestavěné do alhidády či trojnožky. Nejnovější přístroje mají i laserový paprsek vyzařovaný ve směru vertikální osy. Elektronické tachymetry jsou vybaveny dvěma páry ustanovek. Měřené veličiny a další informace se zobrazují na jednom či dvojici displejů. K registraci měřených veličin a dalších doplňujících informací jsou přístroje vybaveny pevnou pamětí či paměťovou kartou. Registrovaná data lze samozřejmě při měření prohlížet a případně také editovat.

Elektronické tachymetry mohou mít vestavěné programy umožňující zpracování přímo měřených veličin, souřadnicové úlohy a další výpočty. Samozřejmostí je převod polárních souřadnic na pravoúhlé a výpočet převýšení. V případě měření nadbytečného počtu veličin jsou přístroje schopny počítat průměry, odhady přesnosti, případně i provést vyrovnání. Následující kancelářské práce jsou tak sníženy na minimum. V současnosti se již vyrábějí přístroje, které vytvářejí mapy přímo v terénu (deltag.cz).

---

## 3 Metodika

### 3.1 Cíl práce

Cílem práce je zkouška vybraných geodetických přístrojů podle metodik stanovených v řadě mezinárodních norem, které jsou do českého systému převzaty s označením ČSN ISO 17123 Optika a optické přístroje. Postup ověření přesnosti přístrojů bude provedeno pro dva vybrané přístroje, jednu totální stanici a jeden nivelační přístroj. Pro oba přístroje budou provedeny testy tak, jak jsou předepsány a požadovány v příslušných normách.

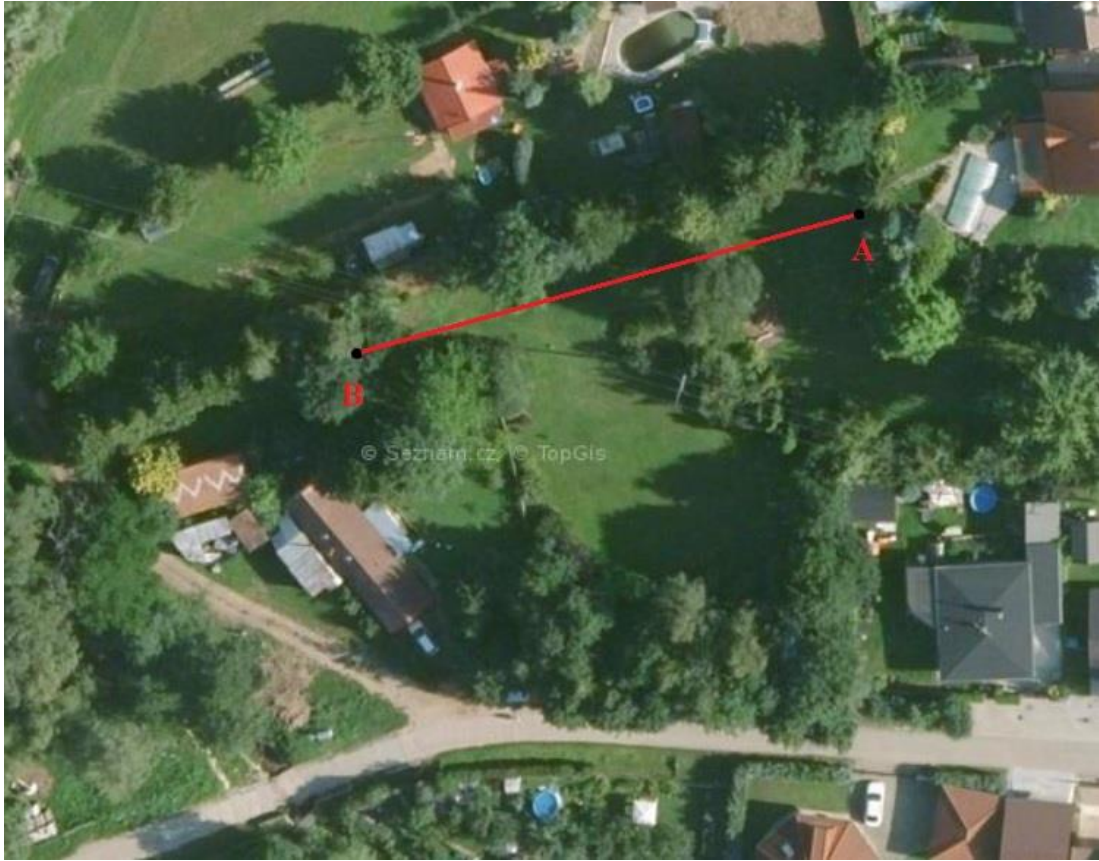
Hlavními důvody, proč se provádí testování přístrojů, jsou, aby se zjistila přesnost přístrojů a abychom mohli porovnat, zda skutečná přesnost odpovídá přesnosti udávané výrobcem. Také se provádí kvůli většině zakázek, u kterých je daná přesnost zaměřená a je důležité vědět, zda přístroj odpovídá této přesnosti a je vhodný pro zakázku. Měřický i početní postup testování je prováděn podle normy, kde je postup přesně stanoven a je aktuálně používán. Proto je nutno testování provádět podle přesně stanovené normy, aby nedocházelo k odlišným výsledkům přesnosti.

V tomto případě probíhalo testování nivelačního přístroje Sokkia C320 podle České technické normy ČSN ISO 17123-2: – Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – Část 2: Nivelační přístroje a testování totální stanice Trimble M3 DR5 podle normy ČSN ISO 17123-5 - Optika a optické přístroje - Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů - Část 5: Elektronické tachymetry.

### 3.2 Materiál

#### 3.2.1 Popis území

Zkouška přístrojů probíhala v katastrálním území Vidov. Vidov je vzdálený asi 5 kilometrů jižně od Českých Budějovic. Pro zkoušku nivelačního přístroje Sokkia C320 byla zvolena zahrada (obr. 3.2), kde byla zkonstruována testovací přímka ve vzdálenosti 60 metrů. Testovací přímka je označena body A a B a je zkonstruována podle normy ČSN ISO 17123-2. Test proběhl dopoledne 3. 4. 2021 za mírně zataženého počasí o teplotě 14 °C.



**Obrázek 3.1: Zkonstruování testovací přímky AB pro test nivelačního přístroje (Mapy.cz)**

Na obrázku 3.3 je zobrazeno testovací pole ve tvaru trojúhelníka, které bylo konstruované na louce vedle toku řeky Malše. Louka je rovná, tudíž ideální pro testování. Zkouška proběhla v odpoledních hodinách 23. 3. 2021 za oblačného počasí při teplotě 6 °C. Toto testovací pole bylo konstruováno dle normy ČSN ISO 17123-5 a testovali jsme totální stanici Trimble M3 DR5.



Obrázek 3.2: Zkonstruování testovacího trojúhelníka v terénu pro test totální stanice (Mapy.cz)

### 3.2.2 Pomůcky k testování dle normy ČSN ISO 17123-2

#### Sokkia C320

Jedná se o nivelační přístroj od japonského výrobce Sokkia, který poskytuje přesné a jednoduché zacílení, odolnost vůči vibracím i nepříznivým pracovním podmínkám. Nivelační přístroj je vybaven rychlým magneticky odolným kompenzátorem. Poté, co je nivelační přístroj zhruba urovnán pomocí krabicové libely, je záměrná přímka přesně urovnána do vodorovné roviny automatickým kompenzátorem. Automatický kompenzátor zajišťuje stabilitu a přesnost i při změně atmosférických podmínek, při vibracích a mechanických šocích. Nivelační přístroj je vybaven horizontálním kruhem pro měření úhlů. Horizontální kruh umožňuje přímé odečítání po 1 gradu (gonu) a je popsán každých 10 gradů ve směru hodinových ručiček. Výrobce stanoví odchylka obousměrné nivelace je 2 mm na 1 km. Veškeré technické parametry nivelačního přístroje jsou uvedené níže (tab. 3.1).



Obrázek 3.3: Nivelační přístroj Sokkia 320 použitý při testování (Sokkia.com)

Tabulka 3.1: Technické parametry Sokkia 320 (vlastní)

|                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| Délka měření na lať (max) | 215 mm                |
| Objektiv                  | 32 mm                 |
| Zvětšení dalekohledu      | 24x                   |
| Zorné pole                | 1° 25' (2.5m na 100m) |
| Minimální délka zaostření | 0.3m                  |
| Násobná konstanta         | 100                   |
| Součtová konstanta        | 0                     |
| Pracovní rozsah           | ±15'                  |
| Přesnost                  | 0.5"                  |
| Standardní odchylka/1km   | ±2.0 mm               |
| Průměr hor. kruhu         | 103 mm                |
| Dělení hor. kruhu         | 1° (1gon)             |

### Nivelační lať

Při testování byly použity dvě nivelační latě. První NL15 je nivelační hliníková teleskopická lať s maximální délkou 5 metrů. Přední strana má E dělení a zadní milimetrové dělení s odečtem seshora. Druhá je teleskopická hliníková nivelační lať TD24 od firmy Trimble. Přední strana latě je opatřena čárovým kódem a druhá strana klasickým E dělením. Maximální délka latě je 4 metry. Každá lať má jednu krabicovou libelu. Ke zkoušce byly použity pouze strany s E dělením (nivelo.cz).



Obrázek 3.4: Teleskopická nivelační lať 5 m (nivelo.cz)

### Stativ

Hliníkový stativ s třemi nohama. Vysouvací nohy jsou opatřené rychloupínacími páčkami pro lepší stabilizaci přístroje. Stativ je zhotoven z lehké hliníkové konstrukce. Stativ byl použit při změně horizontace při zkoušce. Slouží k postavení přístroje a spojuje se pomocí uchycovacího šroubu.



Obrázek 3.5: Hliníkový stativ (archiwum.allegro.pl)

---

## Nivelační podložka

Je vyrobena z kovu a natřená žlutou barvou. Na vrchu podložky se nachází pouze jeden výstupek, na který se staví nivelační lať. Při měření byly použity dvě železné podložky, které označovali bod A a B. Nivelační podložka se též nazývá žába.



Obrázek 3.6: Nivelační podložky (vlastní)

Dalšími pomůckami použitými při testování jsou pásma a zápisník. Pásmo, pomocí kterého je sestavena testovací přímka AB k dodržení vzdálenosti nivelačního přístroje od bodů A a B v obou sériích měření. Další pomůckou je zápisník, ve kterém jsou uvedeny všechny záměry a následně jsou z těchto záznamů vypočteny výsledky.

### 3.2.3 Pomůcky k testování dle normy ČSN ISO 17123-5

#### Trimble M3 DR5

Jedná se o lehkou, kompaktní a výkonnou totální stanici. Vzhledem ke své malé a lehké konstrukci je snadné a rychlé ji přemísťovat. Se dvěma za provozu vyměnitelnými bateriemi s dlouhou životností je totální stanice schopna pracovat nepřetržitě až 26 hodin. To nabízí uživatelům možnost vyměnit baterii, pokud dochází energie, bez nutnosti vypnutí přístroje. Přístroj může používat bezhranového měření na vzdálenost 300 metrů, čímž se dá ušetřit spousta času. Přístroj má dva dotykové displeje a vedle umístěnou klávesnici, se kterou jde též ovládat totální stanici ([geomaticsjc.lboro.ac.uk](http://geomaticsjc.lboro.ac.uk)). Veškeré technické parametry jsou uvedené níže (tab. 3.2).





**Obrázek 3.7: Totální stanice Trimble M3 DR5 (aimil.com)**

**Tabulka 3.2: Technické parametry Trimble M3 DR5 (vlastní)**

| <b>Měření délek</b>   |                              |
|---|------------------------------|
| bez hranolu   | 1,5 m až 300 m               |
| na hranol   | 1,5 m až 3000 m              |
| <b>přesnost (směrodatná odchylka dle normy ISO 17123-4)</b> |                              |
| bez hranolu   | $\pm(2 + 2 \text{ ppm} * D)$ |
| na hranol   | $\pm(3 + 2 \text{ ppm} * D)$ |
| <b>doba měření</b>  |                              |
| bez hranolu: normální režim                                 | 0,8 vteřiny                  |
| přesný režim  | 1,5 vteřiny                  |
| na hranol: normální režim                                   | 1,0 vteřiny                  |
| přesný režim  | 1,8 vteřiny                  |
| <b>měření úhlů</b>  |                              |
| přesnost (vodorovná a zenitová)                             | 5"/1,5 mgon                  |
| <b>kompensátor</b>  |                              |
| rozsah  | $\pm 3,5'$                   |
| <b>dalekohled</b>   |                              |
| zorné pole  | 1°20'                        |
| rozlišovací schopnost                                       | 3"                           |
| minimální vzdálenost zaostření                              | 1,5 m                        |
| <b>všeobecné technické parametry</b>                        |                              |
| citlivost kruhové libely                                    | 10'/2 mm                     |
| ustanovky   | nekonečné                    |
| centrovač   | optický                      |
| hmotnost přístroje  | 4,2 kg                       |

### **Odrasný hranol**

Odrasný hranol je používán jako cílový terč pro zaměření bodu dálkoměrem totální stanice. Nejčastěji je odrazný hranol přišroubován na výtyčku při měření orientace či podrobných bodů. Odrasný hranol umožňuje přesné zacílení pomocí vyznačených středových rysek. V testování byl uchycen do trojnožky, která byla přišroubovaná k stativu. Odrasný hranol je koutový odražeč, který vrací laserový paprsek zpět do dálkoměru totální stanice (fce.vutbr.cz).



**Obrázek 3.8: Odrazný hranol používaný při testování (vlastní)**

### **Trojnožka**

Trojnožka je spojovací článek mezi přístrojem a stativem. Podložka má trojúhelníkový tvar a jsou zde umístěny stavěcí šrouby a také krabicová libela. Při testování byly použity tři trojnožky. Podložka má ve vnitřním prostoru tři otvory, do kterých se umísťují malé trnože přístroje. Trojnožka se ke stativu připevňuje pomocí šroubu se závitem, který se nachází na hlavě stativu a zašroubuje se do otvoru na spodní straně trojnožky. Do trojnožky se dá umístit odrazný hranol.



**Obrázek 3.9: Trojnožka (geobchod.cz)**

Další pomůckou použitou při testování je stativ. Ke zkoušce byly zapotřebí tři stativy, které tvořily testovací trojúhelník. Stativ je popsán v kapitole 3.2.2 a je zobrazen výše (obr. 3.6).

### **3.3 Metody**

Metody testování probíhají v laboratořích, které jsou téměř nedotčené povětrnostními venkovními podmínkami. Jsou velice nákladné, proto nejsou dostupné pro většinu uživatelů přístrojů. V laboratorních podmínkách se dá dosáhnout mnohem vyšší přesnosti než v polních podmínkách. Proto je důležité provádět testování v co nejlepších podmínkách v polním prostředí.

Zkoušky provádíme tak, aby nebyly výsledky ovlivněny meteorologickými podmínkami a gradientem teploty. Naplánujeme zkoušku tak, aby probíhala pod zataženou oblohou. Zvláštní pozornost je třeba věnovat aktuálním povětrnostním podmínkám v době měření a typu povrchu, nad kterým provádíme měření.

Testování provádíme podle normy ČSN ISO 17123-2. Norma popisuje dva různé terénní postupy zkoušky nivelačního přístroje, podle kterých budeme postupovat. Zkoušky provádíme s nivelačním přístrojem Sokkia C320. Další testování provádíme podle normy ČSN ISO 17123-5, při kterém testujeme zjednodušenou zkoušku totální stanice Trimble M3 DR5.

### 3.3.1 Měřický postup zjednodušeného testování

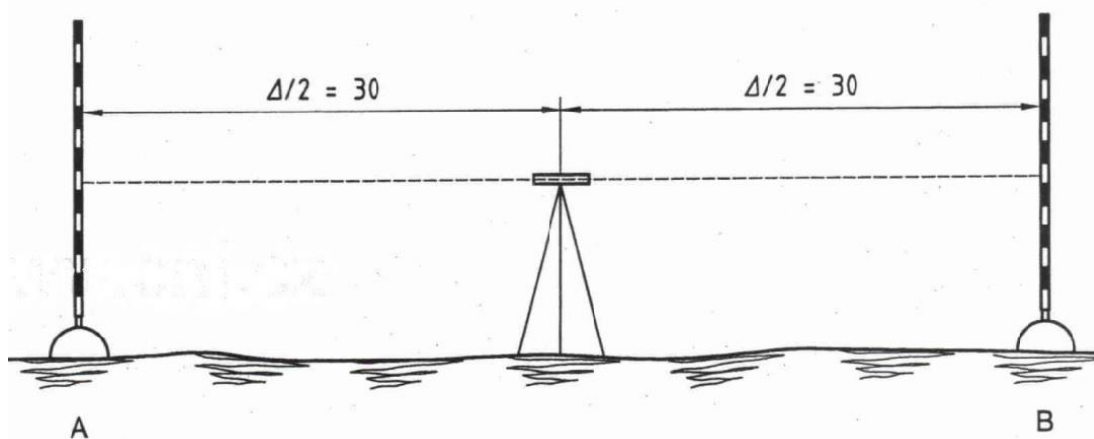
Postup se používá na plošnou nivelaci a na úlohy v běžné stavební praxi. Měření s možností používání různých délek záměr (např. na staveništi). Na realizaci zkoušky je vhodné vybrat vodorovné území s kompaktním terénem, přičemž je dobré se vyhnout betonovým a asfaltovým cestám.

Zjednodušený postup zkoušky je založen na omezeném počtu měření. To znamená, že není možné získat směrodatnou odchylku. Pokud je nutné přesnější posouzení přesnosti v polních podmínkách, doporučuje se kompletní postup zkoušky.

Zjednodušený postup testování poskytuje odhad, zda přesnost daného zařízení je ve stanovené mezní odchylce podle ČSN ISO 4463-1.

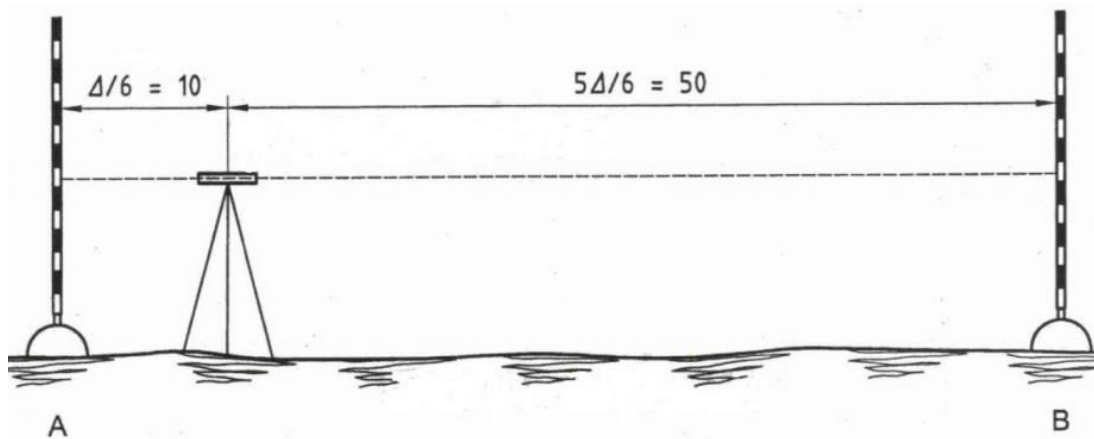
Před zahájením měření je potřeba nechat nivelační přístroj temperovat na okolní teplotu. Potřebný čas je až 2 minuty na 1 stupeň Celsia teplotního rozdílu.

Provádějí se dvě sady měření. V první sadě je nivelační přístroj umístěn ve středu mezi body A a B vzdálenými od sebe 60 metrů. Toto umístění minimalizuje vliv refrakce a nevodorovnost záměrné osy. První série se skládá z deseti párů hodnot, obsahující při každém měření jedno čtení zpět,  $x_{A,j}$ , na nivelační lať na bodě A, a jedno čtení vpřed,  $x_{B,j}$ , na nivelační lať na bodě B ( $j=1, \dots, 10$ ). Mezi každou dvojicí hodnot musí být přístroj přestaven do trochu jiné polohy. Po pěti měřeních musí být čtení zpět a vpřed otočeno a provedeno dalších pět měření.



Obrázek 3.10: První postavení přístroje pro zjednodušené testování, vzdálenost je v metrech (ČSN ISO 17123-2)

V druhé sérii měření musí být stroj postaven přibližně ve vzdálenosti 10 metrů od bodu A a 50 metrů od bodu B. Další deset měření musí být provedeno stejným způsobem, jako je definováno u první sady měření.



Obrázek 3.11: Druhé postavení přístroje pro zjednodušené testování, vzdálenost je v metrech (ČSN ISO 17123-2)

### 3.3.2 Početní zpracování zjednodušeného testování

$$d_j = x_{A,j} - x_{B,j}; \quad j = 1, \dots, 20$$

Kde  $d_j$  je rozdíl mezi čtením zpět,  $x_{A,j}$  na bod A, čtením vpřed,  $x_{B,j}$  na bod B.

$$\bar{d}_1 = \frac{\sum_{j=1}^{10} d_j}{10}$$

Kde  $\bar{d}_1$  je průměrná hodnota převýšení,  $d_j$ , z prvního souboru měření.

Hodnota  $\bar{d}_1$  představuje skutečný výškový rozdíl čtením na latích mezi body A a B.

$$r_j = \bar{d}_1 - d_j; \quad j = 1, \dots, 10$$

Kde  $r_j$  je zbytek z odpovídajícího měřeného výškového rozdílu,  $d_j$ , z první sady měření mezi body A a B.

Jako aritmetická kontrola slouží, že součet zbytků z první sady měření je nula (s výjimkou chyby ze zaokrouhlení).

$$\sum_{j=1}^{10} r_j = 0$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{10} r_j^2}{v}}$$

Kde

$$\sum_{j=1}^{10} r_j^2$$

Je součet druhých mocnin rozdílů  $r_j$  z první sady měření

$$v = 10 - 1 = 9 \quad \text{odpovídá počtu stupňů volnosti}$$

---

$s$  je experimentální směrodatná odchylka výškového rozdílu,  $d_j$ , odvozená z první sady měření.

$$\overline{d_2} = \frac{\sum_{j=11}^{20} d_j}{10}$$

Kde  $\overline{d_2}$  je průměrná hodnota převýšení,  $d_j$ , z druhé sady měření.

Rozdíl  $|\overline{d_1} - \overline{d_2}|$  musí být v rámci dovolené odchylce  $\pm p$  (v souladu s normou ISO 4463-1) pro míněnou měřickou úlohu. Pokud není  $p$  uvedeno, musí být rozdíl  $|\overline{d_1} - \overline{d_2}| < 2,5 * s$ , kde  $s$  je vypočítaná experimentální směrodatná odchylka.

V případě, že rozdíl  $|\overline{d_1} - \overline{d_2}|$  je příliš velký, indikuje to o nespolehlivosti měření při velkých délkách záměr (50 metrů), která vyplývá z chyby ze čtení na lati, chyby z refrakce a chyby ze sklonu záměrné přímky.

V takovém případě je třeba:

- Zkontrolovat chybu ze sklonu záměrné přímky podle pokynů výrobce.
- Zredukovat maximální délky záměr.

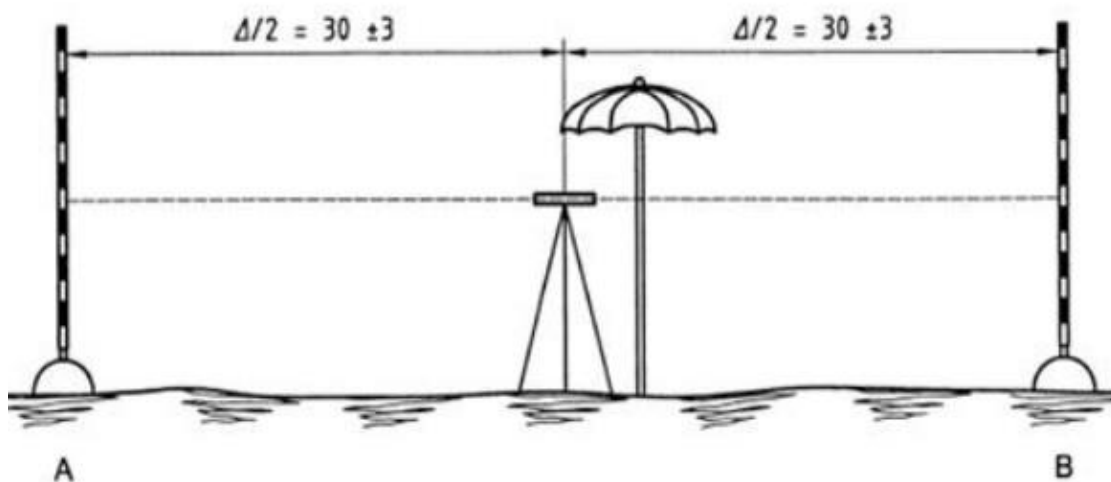
### 3.3.3 Měřický postup úplného testování

Úplný postup testování nivelačního přístroje se používá pro určení nejlepší míry přesnosti konkrétního stroje v polních podmínkách. Tato míra přesnosti se používá pro vyjádření experimentální směrodatné odchylky obousměrné nivelace na 1 km. Nejlepší je provádět zkoušku v ranních hodinách nebo za oblačného počasí. Stroj by neměl být oslněn slunečním zářením, proto je potřeba ho chránit (např. slunečníkem).

Před testováním je důležité nechat temperovat přístroj, přičemž norma udává 2 minuty na 1 stupeň celsia teplotního rozdílu. Stabilizují se dva body (A a B) ve vzdálenosti 60 metrů od sebe. Nivelační přístroj se postaví doprostřed mezi body ( $\frac{\Delta}{2} = 30 \text{ m} \pm 3 \text{ m}$ ). Maximální dovolená odchylka je 10 % při stejné délce záměr. Na bodech A a B budou postaveny nivelační latě, které budou fixovány nebo umístěny ve stabilní poloze, kvůli přesnosti měření.

Při měření se realizují dvě série měření. První série se skládá z 20 párů odčítání a přičítání. Spočívá v postupném měření jedno čtení zpět,  $x_{A,j}$ , na bodě A, a jedno čtení vpřed,  $x_{B,j}$ , na bodě B ( $j=1, \dots, 20$ ). Mezi všemi páry měření je za potřebí přístroj zvednout, položit na mírně odlišné místo (změnit polohu stroje) a znovu urovnat do vodorovné polohy. Po deseti párech měření musí být čtení otočeno a provedeno dalších

deset měření. Po dvaceti měření je zapotřebí prohodit nivelační latě z bodů A a B. Stejným postupem probíhá druhá série měření o dalších 20 párů měření.



Obrázek 3.12: Postavení přístroje pro úplné testování, vzdálenost je v metrech (ČSN ISO 17123-2)

### 3.3.4 Početní zpracování úplného testování

$$d_j = x_{A,j} - x_{B,j}; \quad j = 1, \dots, 40$$

Kde  $d_j$  je rozdíl mezi čtením zpět,  $x_{A,j}$  na bod A, čtením vpřed,  $x_{B,j}$  na bod B.

$$\bar{d}_1 = \frac{\sum_{j=1}^{20} d_j}{20}$$

Kde  $\bar{d}_1$  je průměr z výškových rozdílů,  $d_j$ , z prvního souboru měření.

Hodnota  $\bar{d}_1$  představuje skutečný výškový rozdíl čtením na latích mezi body A a B.

$$\bar{d}_2 = \frac{\sum_{j=21}^{40} d_j}{20}$$

Kde  $\bar{d}_2$  je průměrná hodnota převýšení,  $d_j$ , z druhého souboru měření.

Rozdíl mezi průměrnými hodnotami převýšení:

$$\delta = \bar{d}_1 - \bar{d}_2$$

Je to indikátor rozdílů v začátku dělení stupnice nivelační latě.

Výpočet oprav:

$$r_j = \bar{d}_1 - d_j; \quad j = 1, \dots, 20$$

$$r_j = \bar{d}_2 - d_j; \quad j = 21, \dots, 40$$

Kde  $r_j$  je opravná hodnota příslušného naměřeného výškového rozdílu, mezi body A a B.



---

Jako počáteční kontrola slouží suma upravená v obou měření, která by se v každé sérii měla rovnat nule (s výjimkou chyb ze zaokrouhlení).

$$\sum_{j=1}^{20} r_j = 0$$

$$\sum_{j=21}^{40} r_j = 0$$

$$\sum_{j=1}^{40} r_j^2 = \sum_{j=1}^{20} r_j^2 + \sum_{j=21}^{40} r_j^2$$

Kde  $\sum_{j=1}^{40} r_j^2$  je součet druhých mocnin počátečních hodnot  $r_j$ .

$$v = 2 * (20 - 1) = 38$$

Kde  $v$  je počet stupňů volnosti.

Experimentální směrodatná odchylka  $s$ , platí pro výškový rozdíl měření na vzdálenost 60 metrů:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{v}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r_j^2}{38}}$$

$$s_{ISO-LEV} = \frac{s}{\sqrt{2}} * \sqrt{\frac{1000 \text{ m}}{60 \text{ m}}} = s * 2,89$$

Kde  $s_{ISO-LEV}$  je experimentální směrodatná odchylka obousměrné nivelace na 1 km (chyba při měření tam a zpět).

### 3.3.5 Statistický test a)

Tímto testem zjistíme, jestli testované přístroje splňují přesnost měření, kterou uvádí výrobce. Tedy výpočtem určená výběrová směrodatná odchylka  $s$  odpovídá základní směrodatné odchylce  $\delta$  určené výrobcem daného přístroje. Nulová hypotéza se nezamítá, pokud je splněna následující podmínka:

$$s \leq \delta * \sqrt{\frac{x_{1-\alpha}^2(v)}{v}}$$

$$s \leq \delta * \sqrt{\frac{x_{0,95}^2(38)}{38}}$$

$$x_{0,95}^2(38) = 53,38$$

---

$$s \leq \delta * \sqrt{\frac{53,38}{38}}$$

$$s \leq \delta * 1,19$$

Pokud není splněna podmínka, zamítá se nulová hypotéza.

### 3.3.6 Statistický test b)

Pokud proběhlo měření dvou různých sad měření, test porovnává experimentální odchylky,  $s$  a  $\tilde{s}$ , patří-li do stejného souboru měření.

$$\frac{1}{F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v, v)} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v, v)$$

$$\frac{1}{F_{0,975}(38,38)} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{0,975}(38,38)$$

$$F_{0,975}(38,38) = 1,91$$

$$0,51 \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq 1,91$$

Zda podmínka platí, potvrdíme nulovou hypotézu. V opačném případě je nulová hypotéza vyvrácena a nahrazena alternativní.

### 3.3.7 Statistický test c)

Hypotéza o rovnosti průměrných hodnot  $\bar{d}_1$  a  $\bar{d}_2$ , nulová hypotéza je potvrzena, pokud následující podmínka platí:

$$|\delta| \leq s_\delta * t_{1-\frac{\alpha}{2}}(v)$$

$$|\delta| \leq s_\delta * t_{0,975}(38)$$

$$s_\delta = \frac{s}{\sqrt{10}}$$

$$t_{0,975}(38) = 2,02$$

$$|\delta| \leq \frac{s}{\sqrt{10}} * 2,02$$

$$\leq s * 0,64$$

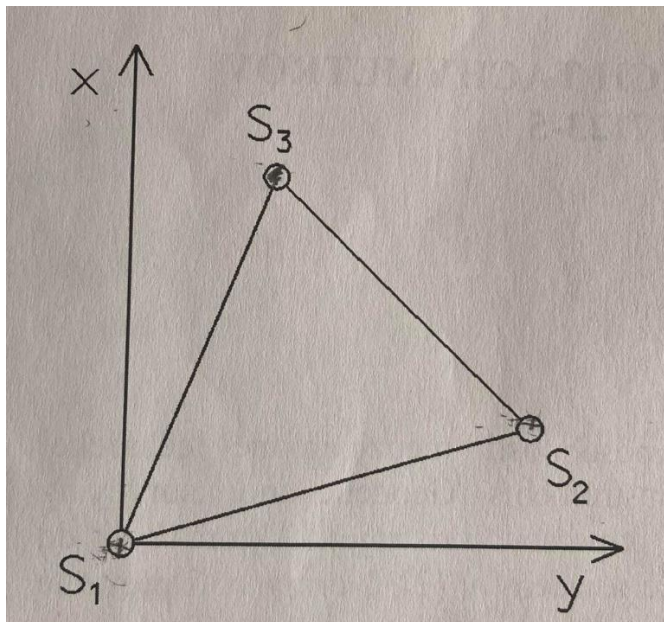
V opačném případě je nulová hypotéza zamítnuta a je přijata alternativní hypotéza.

Počet stupňů volnosti odpovídá kritické hodnotě  $\chi_{1-\alpha}^2(v)$ ,  $F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v, v)$  a  $t_{1-\frac{\alpha}{2}}(v)$

se mění v závislosti na analyzování jiným počtem měření.

### 3.3.8 Měřický postup zjednodušené zkoušky totální stanice

Testovací pole je tvořeno trojúhelníkem, přičemž v každém rohu trojúhelníka jsou umístěny stativy (obr. 3.5). Délky stran se určí podle dané úlohy, pro které je testování prováděno (např. 100 až 200 metrů). Výšky se stanovují v závislosti na terénu.



Obrázek 3.13: Umístění stativů v testovacím poli (vlastní)

Před měřením je potřeba nechat temperovat totální stanici, zadat atmosférický tlak, stupně celsia a přístrojové korekce. Měření má být vykonáno v jednom dni. Stanovisko S1 se nachází v počátku libovolného lokálního souřadnicového systému, specifikovaného souřadnicemi X, Y, Z. Nulové čtení na horizontálním kruhu definuje osu X.

Z každého stanoviska  $S_j$  ( $j=1,2,3$ ) jsou zaměřené souřadnice ostatních dvou bodů v lokálním souřadnicovém systému. Výsledky z měření ze stanoviska S1 jsou použité jako souřadnice stanoviska S2, i pro S3 v následujícím měření s orientací vždy na bod S1 (uvedeno v tab. 3.2). Měření probíhá ve dvou polohách dalekohledu s použitím odrazivých hranolů. Na každém stanovisku je potřebné zavést atmosférické korekce.

Zjednodušený postup zkoušky začíná na stanovisku S1 zadáním jeho souřadnic (1000, 2000, 300) s libovolnou orientací. Po určení souřadnic dalších dvou stanic S2 a S3 (jenom v jedné poloze) následuje přesun na stanovisko S2 a vložení souřadnic stanoviska S2 určených z měření S1 (orientace zpět na S1). Podobný postup probíhá i na stanovisku S3.

**Tabulka 3.3: Schéma testování pro zjednodušený postup zkoušky (ČSN ISO 17123-5)**

| Stanovisko | Cíl  | X (m)            | Y (m)            | Z (m)            |
|------------|--|------------------|------------------|------------------|
| S1         | Souřadnice: libovolné (např. 1000,2000,300), orientace: libovolná  |                  |                  |                  |
|            | S2   | X <sub>2,1</sub> | Y <sub>2,1</sub> | Z <sub>2,1</sub> |
|            | S3   | X <sub>3,1</sub> | Y <sub>3,1</sub> | Z <sub>3,1</sub> |
| S2         | Souřadnice: (X <sub>2,1</sub> ,Y <sub>2,1</sub> ,Z <sub>2,1</sub> ), orientace: zpět na S1 (1000,2000,300) |                  |                  |                  |
|            | S3   | X <sub>3,2</sub> | Y <sub>3,2</sub> | Z <sub>3,2</sub> |
|            | S1   | X <sub>1,1</sub> | Y <sub>1,1</sub> | Z <sub>1,1</sub> |
| S3         | Souřadnice: (X <sub>3,1</sub> ,Y <sub>3,1</sub> ,Z <sub>3,1</sub> ), orientace: zpět na S1 (1000,2000,300) |                  |                  |                  |
|            | S1   | X <sub>1,2</sub> | Y <sub>1,2</sub> | Z <sub>1,2</sub> |
|            | S2   | X <sub>2,2</sub> | Y <sub>2,2</sub> | Z <sub>2,2</sub> |

### 3.3.9 Početní zpracování zjednodušené zkoušky totální stanice

Z naměřených hodnot byl vypočítán poloviční rozdíl souřadnicových rozdílů pomocí těchto vztahů.

Souřadnicové přírůstky jsou vypočteny následovně:

$$d_1 = X_{1,1} - X_{1,2}$$

$$d_2 = X_{2,1} - X_{2,2}$$

$$d_3 = X_{3,1} - X_{3,2}$$

$$d_4 = Y_{1,1} - Y_{1,2}$$

$$d_5 = Y_{2,1} - Y_{2,2}$$

$$d_6 = Y_{3,1} - Y_{3,2}$$

$$d_7 = Z_{1,1} - Z_{1,2}$$

$$d_8 = Z_{2,1} - Z_{2,2}$$

$$d_9 = Z_{3,1} - Z_{3,2}$$

Poloviční rozdíl z maximálního přírůstku souřadnic

$$d_{x,y} = \frac{1}{2} \max |d_i|; \quad i = 1, \dots, 6$$

$$d_z = \frac{1}{2} \max |d_i|; \quad i = 7, 8, 9$$

Poloviční rozdíl  $d_{x,y}$ ,  $d_z$  musí být v rozmezí mezní odchylky  $\pm p_{x,y}$ ,  $\pm p_z$  (v souladu s ISO 4463-1). Jestli  $\pm p_{x,y}$ ,  $\pm p_z$  nejsou stanoveny, tak  $d_{x,y}$ ,  $d_z$  musí splnit podmínku  $d_{x,y} \leq 2,5 * s_{Iso-tach-X,Y}$ ,  $d_z \leq 2,5 * s_{Iso-tach-Z}$ . Tyto odchylky se dají určit z úplného postupu zkoušky stejným přístrojem.

## 4 Výsledky a diskuze

### 4.1 Výsledky testování dle normy ČSN ISO 17123-2

Zde jsou uvedené výsledky zkoušky pro nivelační přístroj Sokkia 320.

#### 4.1.1 Výsledky zjednodušeného testování nivelačního přístroje

Výsledky testování nivelačního přístroje Sokkia 320. Hodnoty  $x_{A,j}$  a  $x_{B,j}$  jsme získali při měření. Z těchto hodnot se následně vypočítal rozdíl  $d_j$ . Následně byla vypočtena hodnota  $\overline{d}_1$ . Pomocí těchto dvou hodnot se zjistilo  $r_j$  a  $r_j^2$ , kde je součet druhých mocnin rozdílů  $r_j$  z první sady měření. Dále se vypočetly hodnoty  $\overline{d}_2$ ,  $v$ ,  $s$ .

Tabulka 4.1: Měřené hodnoty a vypočítaných hodnot zjednodušeného testování nivelačního přístroje (vlastní)

| j      | $x_{A,j}$ | $x_{B,j}$ | $d_j$ | $r_j$ | $r_j^2$ | j      | $x_{A,j}$ | $x_{B,j}$ | $d_j$ |
|--------|-----------|-----------|-------|-------|---------|--------|-----------|-----------|-------|
| 1      | 1602      | 1280      | 322   | 2,5   | 6,25    | 11     | 1589      | 1265      | 324   |
| 2      | 1591      | 1269      | 322   | 2,5   | 6,25    | 12     | 1580      | 1254      | 326   |
| 3      | 1579      | 1253      | 326   | -1,5  | 2,25    | 13     | 1560      | 1234      | 326   |
| 4      | 1565      | 1240      | 325   | -0,5  | 0,25    | 14     | 1564      | 1240      | 324   |
| 5      | 1570      | 1245      | 325   | -0,5  | 0,25    | 15     | 1583      | 1259      | 324   |
| 6      | 1570      | 1245      | 325   | -0,5  | 0,25    | 16     | 1584      | 1260      | 324   |
| 7      | 1592      | 1269      | 323   | 1,5   | 2,25    | 17     | 1610      | 1285      | 325   |
| 8      | 1585      | 1260      | 325   | -0,5  | 0,25    | 18     | 1627      | 1302      | 325   |
| 9      | 1588      | 1262      | 326   | -1,5  | 2,25    | 19     | 1638      | 1313      | 325   |
| 10     | 1600      | 1274      | 326   | -1,5  | 2,25    | 20     | 1649      | 1326      | 323   |
| součet | 15842     | 12597     | 3245  | 0     | 22,5    | součet | 15984     | 12738     | 3246  |

Tabulka 4.2: Další vypočítané hodnoty zjednodušeného testování nivelačního přístroje (vlastní)

|                  |        |
|------------------|--------|
| $\overline{d}_1$ | 324,50 |
| $\overline{d}_2$ | 324,60 |
| $v$              | 9,00   |
| $s$              | 1,58   |

Vypočtená experimentální směrodatná odchylka je 1,58 mm. Pro zjištění spolehlivosti měření na dlouhou (50 m) vzdálenost se zjišťuje rozdíl  $|\overline{d}_1 - \overline{d}_2|$ , který vchází

0,1 mm. Pokud test odpovídá  $|\bar{d}_1 - \bar{d}_2| < 2,5 * s$  přístroj je plně spolehlivý. Po dosažení do vzorce  $0,1 < 3,95$  je podmínka splněna, a tudíž je přístroj spolehlivý.

Díky zjednodušenému testování bylo zjištěno, že nivelační přístroj odpovídá normě a dané přesnosti. Tudíž není nutno nějak poupravovat přesnost přístroje a je aktuálně schopný pokračovat v měření.

#### 4.1.2 Výsledky úplného testování nivelačního přístroje

Výsledky testování nivelačního přístroje Sokkia 320. Hodnoty  $x_{A,j}$  a  $x_{B,j}$  jsme získali při měření. Z těchto hodnot se následně vypočítal rozdíl  $d_j$ . Následně byla vypočtena hodnota  $\bar{d}_1$  a  $\bar{d}_2$ . Pomocí těchto dvou hodnot se zjistilo  $r_j$  a  $r_j^2$ , Dále se vypočetly hodnoty  $\delta$ ,  $s$ ,  $s_{ISO-LEV}$ . Při výpočtu bylo postupováno tak, jak je určeno v metodice a normě ČSN ISO 17123-2. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v následujících třech tabulkách.

Tabulka 4.3: Měřené a vypočítané hodnoty úplného testování (vlastní)

| j      | $x_{A,j}$ | $x_{B,j}$ | $d_j$ | $r_j$ | $r_j^2$ |
|--------|-----------|-----------|-------|-------|---------|
| 1      | 1247      | 1570      | -323  | -0,7  | 0,49    |
| 2      | 1274      | 1600      | -326  | 2,3   | 5,29    |
| 3      | 1275      | 1600      | -325  | 1,3   | 1,69    |
| 4      | 1293      | 1619      | -326  | 2,3   | 5,29    |
| 5      | 1309      | 1633      | -324  | 0,3   | 0,09    |
| 6      | 1320      | 1645      | -325  | 1,3   | 1,69    |
| 7      | 1330      | 1655      | -325  | 1,3   | 1,69    |
| 8      | 1340      | 1664      | -324  | 0,3   | 0,09    |
| 9      | 1348      | 1672      | -324  | 0,3   | 0,09    |
| 10     | 1357      | 1681      | -324  | 0,3   | 0,09    |
| 11     | 1328      | 1650      | -322  | -1,7  | 2,89    |
| 12     | 1305      | 1630      | -325  | 1,3   | 1,69    |
| 13     | 1290      | 1614      | -324  | 0,3   | 0,09    |
| 14     | 1270      | 1592      | -322  | -1,7  | 2,89    |
| 15     | 1252      | 1577      | -325  | 1,3   | 1,69    |
| 16     | 1241      | 1564      | -323  | -0,7  | 0,49    |
| 17     | 1228      | 1550      | -322  | -1,7  | 2,89    |
| 18     | 1212      | 1534      | -322  | -1,7  | 2,89    |
| 19     | 1201      | 1522      | -321  | -2,7  | 7,29    |
| 20     | 1183      | 1505      | -322  | -1,7  | 2,89    |
| součet | 25603     | 32077     | -6474 | 0,00  | 42,2    |

**Tabulka 4.4: Měřené a vypočítané hodnoty úplného testování (vlastní)**

| j      | $x_{A,j}$ | $x_{B,j}$ | $d_j$ | $r_j$ | $r_j^2$ |
|--------|-----------|-----------|-------|-------|---------|
| 21     | 1506      | 1181      | 325   | -0,85 | 0,7225  |
| 22     | 1559      | 1234      | 325   | -0,85 | 0,7225  |
| 23     | 1579      | 1254      | 325   | -0,85 | 0,7225  |
| 24     | 1613      | 1290      | 323   | 1,15  | 1,3225  |
| 25     | 1600      | 1275      | 325   | -0,85 | 0,7225  |
| 26     | 1587      | 1262      | 325   | -0,85 | 0,7225  |
| 27     | 1570      | 1245      | 325   | -0,85 | 0,7225  |
| 28     | 1559      | 1234      | 325   | -0,85 | 0,7225  |
| 29     | 1583      | 1259      | 324   | 0,15  | 0,0225  |
| 30     | 1570      | 1246      | 324   | 0,15  | 0,0225  |
| 31     | 1575      | 1251      | 324   | 0,15  | 0,0225  |
| 32     | 1562      | 1239      | 323   | 1,15  | 1,3225  |
| 33     | 1541      | 1217      | 324   | 0,15  | 0,0225  |
| 34     | 1555      | 1230      | 325   | -0,85 | 0,7225  |
| 35     | 1572      | 1248      | 324   | 0,15  | 0,0225  |
| 36     | 1563      | 1240      | 323   | 1,15  | 1,3225  |
| 37     | 1577      | 1253      | 324   | 0,15  | 0,0225  |
| 38     | 1561      | 1238      | 323   | 1,15  | 1,3225  |
| 39     | 1579      | 1255      | 324   | 0,15  | 0,0225  |
| 40     | 1602      | 1279      | 323   | 1,15  | 1,3225  |
| součet | 31413     | 24930     | 6483  | 0,00  | 12,55   |

**Tabulka 4.5: Další vypočtené hodnot úplného testování (vlastní)**

|               |         |
|---------------|---------|
| $\bar{d}_1$   | -323,70 |
| $\bar{d}_2$   | 324,15  |
| $\delta$      | -0,45   |
| s             | 1,20    |
| $s_{ISO-LEV}$ | 3,47    |

Výpočet rozdílu aritmetického průměru výškových rozdílů z první a druhé série měření ( $\delta = \bar{d}_1 - \bar{d}_2$ ) je  $\delta = -0,45$  mm. Součet druhých mocnin zbytkových hodnot se rovná 54,75 mm. Po výpočtu směrodatné odchyly, která je 1,2 mm se vypočetla experimentální směrodatná odchyly obousměrné nivelace na vzdálenost 1 km  $s_{ISO-LEV} = 3,47$  mm.

---

### 4.1.3 Výsledky statistických testů

Níže uvádím výpočty jednotlivých statistických testů a zhodnocení, zda byly splněny podmínky přesnosti.

Test a) Uvádí, zda vypočtená směrodatná odchylka  $s$  odpovídá základní směrodatné odchylce  $\delta$  určené výrobcem. Výrobcem stanovená odchylka obousměrné nivelace nivelačního přístroje Sokkia 320 je 2 mm na 1 km.

$$s \leq \delta * 1,19$$

$$1,2 \leq 2 * 1,19$$

$$1,2 \leq 4,76$$

Po dosazení výsledků do vzorečků bylo zjištěno, že odchylka odpovídá nulové hypotéze.

Test b) Nelze stanovit, protože nejsou k dispozici dvě rozdílné sady měření.

Test c) Hypotéza o rovnosti průměrných hodnot.

$$|\delta| \leq s * 0,64$$

$$0,45 \leq 0,768$$

Z testu můžeme usoudit, že indexová chyba dvojice použitých latí se rovná nule a odpovídá nulové hypotéze.

Po vyhodnocení výsledků bylo zjištěno, že nivelační přístroj splňuje kilometrovou směrodatnou odchylku obousměrné nivelace udávanou výrobcem 2 mm. Směrodatná kilometrová odchylka obousměrné nivelace přístroje byla určena na 1,2 mm, což vyhovuje požadavkům na přesnost měření. Podle statistického testu C z obou měření vyplývá, že počátky latí jsou vzájemně rovny. Bylo zjištěno, že nivelační přístroj Sokkia 320 odpovídá míře přesnosti udávané výrobcem.

## 4.2 Výsledky testování dle normy ČSN ISO 17123-5

Zde jsou uvedené výsledky zkoušky pro totální stanici Trimble M3 DR5.

### 4.2.1 Výsledek zjednodušené zkoušky totální stanice

Zjednodušený postup zkoušky začíná na stanovisku S1 zadáním jeho souřadnic.

Po určení zbylých dvou stanovisek S2 a S3, následuje měření z bodu S2 na body S1 a S3. Stejným způsobem se postupuje na stanovisku S3. Z výsledných dvou měření vznikly tabulky se souřadnicemi X, Y, Z. Při následných výpočtech vznikly další dvě tabulky s výsledky. Z naměřených hodnot byl vypočítán poloviční rozdíl souřadnicových rozdílů  $d_{x,y}$  a  $d_z$ .



**Tabulka 4.6: Změřené hodnoty prvního testování totální stanice (vlastní)**

| Stanovisko | Cíl | X (m)    | Y (m)    | Z (m)   |
|------------|-----|----------|----------|---------|
| S1         |     | 1000     | 2000     | 300     |
|            | S2  | 1031,101 | 2070,189 | 300,097 |
|            | S3  | 1047,443 | 1958,64  | 299,503 |
| S2         |     | 1031,101 | 2070,189 | 300,097 |
|            | S3  | 1047,465 | 1958,665 | 299,506 |
|            | S1  | 1000,007 | 1999,996 | 300,002 |
| S3         |     | 1047,443 | 1958,64  | 299,503 |
|            | S1  | 1000,006 | 2000,001 | 300,004 |
|            | S2  | 1031,095 | 2070,172 | 300,102 |

**Tabulka 4.7: Vypočítané hodnoty z prvního testování totální stanice (vlastní)**

| Souřadnicové rozdíly(m) |        | $ d_i $ (m) | $ d_{x,y} $ (m) |
|-------------------------|--------|-------------|-----------------|
| $d_1$                   | 0,001  | 0,028       | 0,014           |
| $d_2$                   | 0,006  |             |                 |
| $d_3$                   | -0,022 |             |                 |
| $d_4$                   | -0,005 |             |                 |
| $d_5$                   | 0,017  |             |                 |
| $d_6$                   | -0,025 | $ d_i $ (m) | $ d_z $ (m)     |
| $d_7$                   | -0,002 | 0,01        | 0,005           |
| $d_8$                   | -0,005 |             |                 |
| $d_9$                   | -0,003 |             |                 |

Maximální dovolená odchylka byla stanovena pouze pro potřeby této diplomové práce. Výsledné charakteristiky přesnosti  $d_{x,y}$  a  $d_z$  byly porovnány s maximální dovolenou odchylkou, která má hodnotu 10 mm. Hodnota přesnosti  $d_z = 5 \text{ mm}$  je v maximální dovolené odchylce. Při porovnání odchylky s výslednou přesností přístroje  $d_{x,y} = 14 \text{ mm}$  jsme došli k závěru, že hodnota překračuje dovolenou maximální odchylku. Proto bylo nutné provést druhé testování, zda totální stanice opravdu měří špatně, zda bude nutné nechat přístroj seřídít a zda bude nutné provést úplný test totální stanice.

Druhé testování totální stanice probíhalo úplně stejně jako v předešlém testování. Zaměřili se body S1, S2, S3 ze všech základů a vznikla druhá tabulka. Znovu proběhl výpočet polovičního rozdílu souřadnicových rozdílů  $d_{x,y}$  a  $d_z$ .

**Tabulka 4.8: Změřené hodnoty druhého testování totální stanice (vlastní)**

| Stanovisko | Cíl | X (m)    | Y (m)    | Z (m)   |
|------------|-----|----------|----------|---------|
| S1         |     | 1000     | 2000     | 300     |
|            | S2  | 939,932  | 1952,191 | 300,115 |
|            | S3  | 977,077  | 2058,613 | 299,51  |
| S2         |     | 939,932  | 1952,191 | 300,115 |
|            | S3  | 977,065  | 2058,617 | 299,528 |
|            | S1  | 1000     | 2000,001 | 300,034 |
| S3         |     | 977,077  | 2058,613 | 299,86  |
|            | S1  | 1000,001 | 2000,001 | 300,017 |
|            | S2  | 939,935  | 1952,19  | 300,113 |

**Tabulka 4.9: Vypočítané hodnoty z druhého testování totální stanice (vlastní)**

| Souřadnicové rozdíly(m) |        | $ d_i $ (m) | $ d_{x,y} $ (m) |
|-------------------------|--------|-------------|-----------------|
| $d_1$                   | -0,001 | 0,005       | 0,0025          |
| $d_2$                   | -0,003 |             |                 |
| $d_3$                   | 0,012  |             |                 |
| $d_4$                   | 0      |             |                 |
| $d_5$                   | 0,001  |             |                 |
| $d_6$                   | -0,004 | $ d_i $ (m) | $ d_z $ (m)     |
| $d_7$                   | 0,017  | 0,001       | 0,0005          |
| $d_8$                   | 0,002  |             |                 |
| $d_9$                   | -0,018 |             |                 |

Po porovnání maximální dovolené odchylky s výslednou přesností přístroje  $d_{x,y} = 2,5 \text{ mm}$  a  $d_z = 0,5 \text{ mm}$ . Dospělo se k závěru, že přístroj nebude potřebovat seřídít, a že muselo v prvním testování dojít k nepatrné chybě při měření. Při druhém testování totální stanice Trimble M3 DR5 bylo prokázáno, že vyhovuje podle provedeného testu požadavků stanovených v normě ČSN ISO 17123-5. Přístroj může být nadále používán pro potřeby výuky geodézie na JU ZF.

---

## 5 Závěr

Testování dle normy ČSN ISO 17123 je nutné provádět aspoň jednou do roka. Díky testování můžeme zjistit, zda přístroj odpovídá přesnosti udávanou výrobcem. Pokud přístroj neprojde testováním, je možné ho seřídít nebo nechat opravit profesionálem. Kdyby nebylo prováděno testování, je možné, že přístroj neměří stanovené úlohy zcela přesně. U některých zakázek je stanovena maximální dovolená odchylka, pro kterou se vybírá vhodný přístroj, který svojí odchylkou nepřekračuje maximální dovolenou odchylku zakázky.

V práci je názorně vidět, jak funguje propojení teorie normy ČSN ISO 17123 v praxi. Ostatně tuto normu propagují a názorně prezentují i různí odborníci. Norma a její závěry při testování geodetických přístrojů jsou publikovány v různých časopisech a odborné literatuře.

V první části této práce se pojednává o testování nivelačního přístroje dle normy ČSN ISO 17123-2. Zde proběhly terénní postupy pro zkoušení geodetických přístrojů. Norma rozděluje zkoušky na dvě části, zjednodušené testování a úplné testování. K testování byl použit nivelační přístroj Sokkia 320, který byl zapůjčený od Jihočeské univerzity.

Zjednodušená zkouška nivelačního přístroje proběhla podle postupu uvedeného v normě ČSN ISO 17123-2. V první půlce zkoušky bylo potřeba zjistit dvacet záměr pomocí terénního měření. Z těchto hodnot byly následně vypočítány rozdíly průměrných hodnot převýšení a experimentální směrodatná odchylka. Porovnáním těchto hodnot se došlo k závěru, že nivelační přístroj odpovídá přesnosti normy, a tudíž není nutno přístroj nějakým způsobem seřídít.

Při úplném testování proběhlo terénní měření, při kterém bylo zjištěno čtyřicet záměr. V následujícím testování proběhly výpočty. Vypočtené hodnoty byly následně zasazeny do statistických testů. Po vyhodnocení výsledků bylo zjištěno, že nivelační přístroj splňuje kilometrovou směrodatnou odchylku obousměrné nivelace udávanou výrobcem 2 mm. Podle statistického testu C z obou měření vyplývá, že počátky latí jsou vzájemně rovny. Bylo zjištěno, že nivelační přístroj odpovídá míře přesnosti udávanou výrobcem. Po vyhodnocení obou testů bylo zjištěno, že nivelační přístroj Sokkia 320 odpovídá přesnosti danou normou ČSN ISO 17123-2.

V druhé části diplomové práce byla použita norma ČSN ISO 17123-5, podle které jsme testovali totální stanici Trimble M3 DR5 zapůjčenou z Jihočeské univerzity.

---

V této části bylo řešeno zjednodušené testování elektronických tachymetrů. Tachymetry jsou v dnešní době nahrazeny totálními stanicemi.

Nejprve proběhlo terénní měření, které bylo ještě jednou opakováno. Zjištěné souřadnice z terénního měření byly použity pro výpočty. Výsledné charakteristiky přesnosti  $d_{x,y}$  a  $d_z$  byly porovnány s maximální dovolenou odchylkou. Maximální dovolená odchylka byla stanovena pouze pro kritéria této diplomové práce. Z prvního měření jsme zjistili, že výsledná hodnota přesahuje maximální dovolenou odchylku. Následným porovnáním druhého měření jsme zjistili, že výsledky nepřesahují maximální dovolenou odchylku. Druhé měření nám potvrdilo, že přístroj nebude potřebovat seřídít, a že při prvním testování muselo dojít k chybě při měření. Při testování totální stanice Trimble M3 DR5 bylo prokázáno, že její přesnost vyhovuje dle normy ČSN ISO 17123-5. Přístroj může být nadále používán pro potřeby výuky geodézie na JU ZF.

---

## Seznam použité literatury

### Cítace knihy

1. BLAŽEK, R. a JANDOUREK, J. (1991). *GEODEZIE Úpravy měřených veličin a výškopis*, ČVUT, Praha. ISBN 80-01-00611-5.
2. BLAŽEK, R. a SKOŘEPA, Z. (2004). *GEODÉZIE*, ČVUT, Praha. ISBN 80-01-03100-4.
3. CIMBÁLNÍK, M. a MERVART, L. (1999). *Vyšší geodézie. 1*, ČVUT, Praha. ISBN 80-01-01597-1
4. CIMBÁLNÍK, M. a MERVART, L. (1999). *Vyšší geodézie. 2*, ČVUT, Praha. ISBN 80-01-01628-5
5. HÁNEK, P. MARŠÍKOVÁ, M. (2007). *Geodézie pro obor pozemkové úpravy a převody nemovitostí*, JČU, České Budějovice. ISBN 978-80-7040-971-8.
6. HÁNEK, P. (2011). *Vývoj měřické techniky a metod*, Consult, Praha. ISBN 80-903482-8-9.
7. HÁNEK, P. (2011). *Data z dějin zeměměřictví: 25 tisíc let oboru*, Klaudian, Praha. ISBN 978-80-902524-4-8.
8. KEPRT, E. (1951). *Konstrukce geodetických strojů*, VŠTDEB, Brno.
9. MARŠÍK, Z. a MARŠÍKOVÁ, M. (2002). *Geodezie II*, JČU, České Budějovice. ISBN 80-7040-546-5.
10. MARŠÍK, Z. a MARŠÍKOVÁ, M. (2005). *Speciální a vyšší geodézie*, JČU, České Budějovice. ISBN 80-7040-768-9.
11. MARŠÍK, Z. a MARŠÍKOVÁ, M. (2007). *Dějiny zeměměřičství a pozemkových úprav v Čechách a na Moravě v kontextu světového vývoje.*, Libri, Praha. ISBN 978-80-7277-318-6.
12. NEVOSÁD, Z. a VITÁSEK, J. (2000). *Geodézie III*, VUTIUM, Brno. ISBN 80-214-1774-9.
13. NEVOSÁD, Z. a VITÁSEK, J. (2004). *Geodézie II*, VUTIUM, Brno.
14. NOVOTNÝ, M. (1995). *Geodézie a kartografie I. 2. dopl.*, JČU, České Budějovice. ISBN 80-704-0135-4.
15. POKORNÁ, M. et al. (1984). *Geodézie pro stavební fakulty*, ČVUT, Praha.
16. RATIBORSKÝ, J. (2005). *Geodézie 10*, České technické nakladatelství, Praha. ISBN 80-01-03332-5.

- 
17. RYŠAVÝ, J. (1955). *Geodesie II*, Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
  18. SCHENK, J. (2005). *Geodézie*, Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava. ISBN 80-248-0782-3.
  19. STREIBL, J. a PUKLOVÁ, J. (1989). *Geodézie - Přístroje, výpočty a rýsování*, České vysoké učení technické, Praha.
  20. ŠVEC, M. (2006). *Stavební geodézie 10*, České vysoké učení technické, Praha. ISBN 80-01-03403-8.
  21. VESELÝ, J. (2014). *Měřická dokumentace historických staveb pro průzkum v památkové péči*, NPÚ, Praha. ISBN 978-80-86516-79-0.

---

### **Cítace článku ve sborníku (časopise)**

22. JEŽKO, J. (2011). Testovanie elektronických tachymetrov podľa STN ISO 17123-5. *Slovenský geodet a kartograf*, Roč. **16**(1), 5-9.
23. JEŽKO, J. (2012). Niektoré výsledky z testovania optických nivelačných prístrojov podľa STN ISO 17123-2:2010. *Geodetický a kartografický obzor*, Roč. **16**(2), 4-9.
24. JEŽKO, J. (2012). Niektoré výsledky z testovania optických nivelačných prístrojov podľa STN ISO 17123-2:2010. *Geodetický a kartografický obzor*, Roč. **58**(2), 21-25.

### **Příspěvek ve sborníku na konferenci**

25. HÁNEK, P. a ŠVEJDA, A. (2002). *Přístroje stavební geodézie 2. poloviny 19. a počátku 20. století. In: Sborník konference 38. geodetické informační dny. Spolek zeměměřičů, Brno. pp. 7–12.*

### **Cítace normy**

26. ČSN ISO 17123-1. (2005). *Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments — Part 1: Theory [Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – část 1: Teorie]*. Praha: Český normalizační institut.
27. ČSN ISO 17123-2. (2005). *Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments — Part 2: Levels [Optika a optické přístroje - Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů - Část 2: Nivelační přístroje]*. Praha: Český normalizační institut.
28. ČSN ISO 17123-5. (2005). *Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments — Part 5: Total stations [Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – část 5: elektrooptické tachymetry]*. Praha: Český normalizační institut.

---

## Citace webových zdrojů

### – Bez uvedeného autora

29. surveyinginstruments.org (2018). *Nivelační přístroj*. [online] [cit. 6. 12. 2020]. Dostupné z: <https://www.surveyinginstruments.org/eshop/instrument/default/2?obj=cat>
30. aimil.com (2015). *Trimble M3 Total Station*. [online] [cit. 11. 12. 2020]. Dostupné z: <https://www.aimil.com/products/trimble-m3-total-station>
31. deltag.cz (2014). *Totální stanice Trimble M3*. [online] [cit. 11. 12. 2020]. Dostupné z: [https://www.deltag.cz/data/geodeticke-pristroje/trimble\\_M3.pdf](https://www.deltag.cz/data/geodeticke-pristroje/trimble_M3.pdf)
32. geomaticsjc.lboro.ac.uk (2010). *Trimble M3*. [online] [cit. 11. 12. 2020]. Dostupné z: [http://geomaticsjc.lboro.ac.uk/Trimble/TrimbleM3DR\\_UG\\_1B.pdf](http://geomaticsjc.lboro.ac.uk/Trimble/TrimbleM3DR_UG_1B.pdf)
33. geoobchod.cz (2019). *DIGITÁLNÍ NIV. LAŤ*. [online] [cit. 5. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.geoobchod.cz/cs/digitalni-niv-lat-5m-leica/product>
34. niveloc.cz (2012). *Nivelační lať NL15-0 s délkou 5 m a pouzdrém Niveloc*. [online] [cit. 5. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.niveloc.cz/cz/late-nivelacni-a-laserove/nivelacni-lat-bt-15-0-s-delkou-5-m/>
35. surveyinginstruments.org (2018). *tachymetry*. [online] [cit. 27. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.surveyinginstruments.org/eshop/instrument/default/5?obj=cat>
36. archiwum.allegro.pl (2018). *Stativ*. [online] [cit. 14. 3. 2021]. Dostupné z: <https://archiwum.allegro.pl/oferta/topcon-at-b4a-niwelator-optyczny-gwar-5lat-zestaw-i7276923178.html>
37. geoshop.cz (2014). *Trojnožka s optickým centrovačem*. [online] [cit. 15.3. 2021]. Dostupné z: <https://www.geoshop.cz/vsechny-produkty/geodezie/trojnozky-a-adaptery/trojnozka-s-optickym-centrovacem-%5BK365%5D?ItemIdx=1>
38. mapy.cz (2021). *Základní mapy testovacího pole*. [online] [cit. 2. 4. 2021]. Dostupné z: <https://mapy.cz/z-kladni?x=14.4937335&y=48.9261600&z=16&source=muni&id=252>
39. sokkia.com.sg (2005). *Instrukce a návod pro používání nivelačního přístroje*. [online] [cit. 14. 3. 2021]. Dostupné z: [https://sokkia.com.sg/products/automatic/uploads/C300\\_310\\_320\\_331.pdf](https://sokkia.com.sg/products/automatic/uploads/C300_310_320_331.pdf)



- 
40. fce.vutbr.cz (2009). *Měřické pomůcky*. [online] [cit. 3. 4. 2021]. Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/ged/stavari/pomucky/hranol.html>
- **S uvedeným autorem**
41. Čada, V. (2012). *11.5. Metody nivelace*. [online] kgm.zcu.cz [cit. 11. 12. 2020]. Dostupné z: <https://kgm.zcu.cz/studium/gen1/html-old/ch11s05.html>
42. Čada, V. (2012). *11. geometrická nivelace*. [online] kgm.zcu.cz [cit. 11. 12. 2020]. Dostupné z: <https://kgm.zcu.cz/studium/gen1/html/ch11.html>
43. Čada, V. (2012). *11.3. Zkoušky a rektifikace nivelačních přístrojů*. [online] kgm.zcu.cz [cit. 7. 1. 2021]. Dostupné z: <https://kgm.zcu.cz/studium/gen1/html/ch11s03.html>

---

## Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 2.1: Zkouška rovnoběžnosti nivelačního přístroje (kgm.zcu.cz).....   | 20 |
| Obrázek 3.1: Zkonstruování testovací přímky AB pro test nivelačního přístroje (Mapy.cz) .....                      | 28 |
| Obrázek 3.2: Zkonstruování testovacího trojúhelníka v terénu pro test totální stanice (Mapy.cz) .....              | 29 |
| Obrázek 3.3: Nivelační přístroj Sokkia 320 použitý při testování (Sokkia.com) .....                                | 30 |
| Obrázek 3.4: Teleskopická nivelační lať 5 m (nivelo.cz) .....  | 31 |
| Obrázek 3.5: Hliníkový stativ (archiwum.allegro.pl) .....  | 31 |
| Obrázek 3.6: Nivelační podložky (vlastní) .....  | 32 |
| Obrázek 3.7: Totální stanice Trimble M3 DR5 (aimil.com).....   | 33 |
| Obrázek 3.8: Odrazný hranol používaný při testování (vlastní) .....  | 35 |
| Obrázek 3.9: Trojnožka (geoobchod.cz).....   | 36 |
| Obrázek 3.10: První postavení přístroje pro zjednodušené testování, vzdálenost je v metrech (ČSN ISO 17123-2)..... | 37 |
| Obrázek 3.11: Druhé postavení přístroje pro zjednodušené testování, vzdálenost je v metrech (ČSN ISO 17123-2)..... | 38 |
| Obrázek 3.12: Postavení přístroje pro úplné testování, vzdálenost je v metrech (ČSN ISO 17123-2).....              | 40 |
| Obrázek 3.13: Umístění stativů v testovacím poli (vlastní).....  | 43 |

---

## Seznam tabulek

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 2.1: Zařazení statických testů podle hypotézy (vlastní) .....   | 13 |
| Tabulka 2.2: Zařazení statických testů podle hypotézy (zdroj: vlastní).....   | 23 |
| Tabulka 3.1: Technické parametry Sokkia 320 (vlastní) .....   | 30 |
| Tabulka 3.2: Technické parametry Trimble M3 DR5 (vlastní) .....   | 34 |
| Tabulka 3.3: Schéma testování pro zjednodušený postup zkoušky (ČSN ISO 17123-5)<br>.....                            | 44 |
| Tabulka 4.1: Měřené hodnoty a vypočítaných hodnot zjednodušeného testování<br>nivelačního přístroje (vlastní) ..... | 45 |
| Tabulka 4.2: Další vypočítané hodnoty zjednodušeného testování nivelačního přístroje<br>(vlastní) .....             | 45 |
| Tabulka 4.3: Měřené a vypočítané hodnoty úplného testování (vlastní) .....  | 46 |
| Tabulka 4.4: Měřené a vypočítané hodnoty úplného testování (vlastní) .....  | 47 |
| Tabulka 4.5: Další vypočtené hodnot úplného testování (vlastní).....  | 47 |
| Tabulka 4.6: Změřené hodnoty prvního testování totální stanice (vlastní).....                                       | 49 |
| Tabulka 4.7: Vypočítané hodnoty z prvního testování totální stanice (vlastní).....                                  | 49 |
| Tabulka 4.8: Změřené hodnoty druhého testování totální stanice (vlastní).....                                       | 50 |
| Tabulka 4.9: Vypočítané hodnoty z druhého testování totální stanice (vlastní).....                                  | 50 |