

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH
BUDĚJOVICÍCH**

Zemědělská fakulta

**Katedra pozemkových úprav
Obor Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Ověření vybraných nivelačních přístrojů dle normy ČSN ISO
17123-2, s ohledem na dodržení nutnosti použití justovaných
přístrojů při měření pro pozemkové úpravy**

Autor bakalářské práce:

Anna Mikolášová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Hánek, Ph.D.

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta zemědělská

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Anna MIKOLÁŠOVÁ**
Osobní číslo: **Z11043**
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Ověření vybraných nivelačních přístrojů dle normy ČSN ISO 17123-2, s ohledem na dodržení nutnosti použití justovaných přístrojů při měření pro pozemkové úpravy.**
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

Zásady pro vypracování:

Cíle práce:

Základní rozdělení nivelačních přístrojů.

Zkouška vybraných nivelačních přístrojů podle metodiky stanovené v ČSN ISO 17123-2: 2005

Optika a optické přístroje - Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů

- Část 2: Nivelační přístroje.

Krátce definovat právní rámec ověření měřidel

Posouzení výsledků testů digitálního a opticko-mechanického přístroje podle kritérií uvedených v ČSN ISO 17123-2.

Provedení statistických testů přesnosti obou přístrojů .

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-35 stran textu**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

Zákon ČR č.505/1990 Sb. O metrologii ve znění zákona č. 119/2000 Sb, zákona č. 13/2002 Sb., zákona č. 137/2002 Sb., zákona č. 226/2003 Sb., zákona č. 444/2005 Sb., zákona č. 481/2008 Sb., zákona č.223/2009 Sb., zákona č. 155/2010 Sb., zákona č. 18/2012 Sb.

ČSN ISO 17123-2 Optika a optické přístroje - Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů - Část 2: Nivelační přístroje, Praha, ČNI 2005.

ČSN ISO 10012: Systémy managementu měření - požadavky na procesy měření a měřicí vybavení. Praha, ČNI 2003.

Metrologický řád resortu ČÚZK, č.j. ČÚZK 1558/2009-22 s účinností od 1.9. 2009

DEUMLICH, F. - STEIGER, R.: Instrumentenkunde der Vermessungstechnik. 9. vydání, Heidelberg, Wichmann Verlag 2002.

JEŽKO J.: Niektoré výsledky z testovania optických nivelačných prístrojov podľa STN ISO 17123-2:2010. GaKO 100, 2012, č. 2, s. 21-25.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Hánek, Ph.D.**
Katedra krajinného managementu

Datum zadání bakalářské práce: **4. března 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2014**



prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13
370 05 České Budějovice

L.S.



doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 15. března 2013

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě fakultou - elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů

V Českých Budějovicích dne 29.3.2014

.....
Anna Mikolášová

Na tomto místě bych chtěla poděkovat Ing.Pavlu Hánkovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, cenné rady a připomínky.

Dále bych chtěla poděkovat rodině za jejich podporu v průběhu celého studia a mému bratrovi za pomoc při měřických pracích související s touto bakalářskou prací.

Abstrakt:

Cílem bakalářské práce je ověřit přesnost nivelačních přístrojů podle normy ČSN-ISO 17123-2: Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – Část 2: Nivelační přístroje. Testovány jsou dva nivelační přístroje, a to Sokkia C320 (v.č. 322821) a Trimble DiNi 22 (v.č. 05-3240). Teoretická část je zaměřena na popsání základních nivelačních metod, nivelačních přístrojů a dalšího potřebného vybavení. V praktické části jsou provedeny dva způsoby měření, zjednodušený a kompletní postup zkoušky. Získané údaje jsou početně zpracovány a porovnány s údaji stanovenými výrobcem pomocí statistických testů.

Abstract:

The aim of this thesis was to verify the accuracy of the leveling devices according to PN-ISO 17123-2 Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - Part 2: Levels. Tested were two levels - Sokkia C320 (SN 322821) and Trimble DiNi 22 (SN 05-3240). The theoretical part focuses on describing the basic methods of leveling, leveling devices and other necessary equipment. The experiment with two methods of measuring was performed in the practical part – simplified test and complete procedure test. The obtained data were numerically processed and compared with the data specified by the manufacturer, using statistical tests.

1.	ÚVOD	9
2.	NIVELAČNÍ PŘÍSTROJE A JEJICH PŘÍSLUŠENSTVÍ	9
2.1.	LIBELOVÉ NIVELAČNÍ PŘÍSTROJE	9
2.2.	KOMPENZÁTOROVÉ (AUTOMATICKÉ) NIVELAČNÍ PŘÍSTROJE	10
2.3.	LASEROVÉ NIVELAČNÍ PŘÍSTROJE	11
2.4.	ZKOUŠKA A REKTIFIKACE NIVELAČNÍCH PŘÍSTROJŮ	11
2.4.1.	<i>Zkouška rovnoběžnosti</i>	11
2.4.2.	<i>Zkouška krabicové libely</i>	12
2.4.3.	<i>Zkouška ryskového kříže</i>	13
2.5.	NIVELAČNÍ LATĚ	14
2.6.	NIVELAČNÍ PODLOŽKY	14
2.7.	SOKKIA C320	15
2.8.	TRIMBLE DIŇI 22	16
3.	NIVELACE	17
3.1.	GEOMETRICKÁ NIVELACE ZE STŘEDU	17
3.2.	VELMI PŘESNÁ NIVELACE A ZVLÁŠŤ PŘESNÁ NIVELACE	17
3.3.	PŘESNÁ NIVELACE	18
3.4.	TECHNICKÁ NIVELACE	18
3.5.	ZÁSADY SPRÁVNÉHO POSTUPU PŘI TN	18
4.	GEODETICKÉ PRÁCE PŘI PROVÁDĚNÍ POZEMKOVÝCH ÚPRAV	20
5.	ZÁKLADY TEORIE CHYB	21
5.1.	CHYBY A PŘESNOST NIVELAČNÍCH PRACÍ	21
5.2.	HRUBÉ CHYBY	21
5.3.	NEVYHNUTELNÉ CHYBY	22
5.4.	SYSTEMATICKÉ CHYBY:	22
5.4.1.	<i>Chyba ze zakřivení horizontu</i>	22
5.4.2.	<i>Chyba ze sklonu záměrné přímky</i>	22
5.4.3.	<i>Chyba ze svislé složky refrakce</i>	23
5.4.4.	<i>Chyba z nesprávné hodnoty délky laťového metru</i>	24
5.4.5.	<i>Chyba z nesvislé polohy latě</i>	24
5.5.	NAHODILÉ CHYBY	25
5.5.1.	<i>Chyba z nepřesného urovnání nivelační libely</i>	25
5.5.2.	<i>Chyba ze změny výšky přístroje a latě</i>	25
5.5.3.	<i>Chyba ze čtení laťové stupnice</i>	25
5.5.4.	<i>Chyba z nestejnomyšerného dělení laťové stupnice a nekolmosti</i>	26
5.5.5.	<i>Chyba z přeoštění dalekohledu (paralaxy ryskového kříže a vibrace)</i>	26
5.6.	CHARAKTERISTIKY PŘESNOSTI	26
5.6.1.	<i>Směrodatná odchylka</i>	26
5.6.2.	<i>Směrodatná odchylka metody</i>	27
5.6.3.	<i>Směrodatná odchylka jednoho určitého pozorování</i>	27
5.7.	ZÁKLADY VYROVNÁVACÍHO POČTU	27
5.8.	KLASIFIKACE CHYB	28
5.8.1.	<i>Náhodná chyba</i>	28
5.8.2.	<i>Míra přesnosti měření</i>	28
5.8.3.	<i>Největší přípustná chyba</i>	29
5.8.4.	<i>Největší přípustná střední chyba</i>	29
5.8.5.	<i>Relativní chyba</i>	30
6.	ČSN ISO 17123-2	30
6.1.	POŽADAVKY NA MĚŘENÍ	30
6.2.	ZJEDNODUŠENÝ POSTUP ZKOUŠKY	30
6.3.	VÝSLEDKY ZJEDNODUŠENÉHO POSTUPU ZKOUŠKY	34

6.4.	KOMPLETNÍ POSTUP ZKOUŠKY	35
6.5.	VÝSLEDKY KOMPLETNÍHO POSTUPU ZKOUŠKY	39
6.6.	STATISTICKÉ TESTY	41
6.6.1.	<i>Test a)</i>	41
6.6.2.	<i>Test b)</i>	42
6.6.3.	<i>Test c)</i>	42
6.7.	VÝSLEDKY STATISTICKÝCH TESTŮ	43
7.	ZÁVĚR	45
	POUŽITÁ LITERATURA	47
	SEZNAM PŘÍLOH	48

1. Úvod

Geodezie je věda, která se zabývá určováním tvaru a velikosti Země a jejích částí a jejich znázorňováním. Základními úkony při tom jsou měření, výpočty a zobrazování. Řecký původ slova geodezie ukazuje, že jde o jeden z nejstarších vědních oborů. Geodézie stejně jako ostatní vědní disciplíny prochází postupným vývojem, a tak zároveň se zvyšováním nároků na preciznost, kvalitu a usnadnění provádění geodetických prací dochází ke zlepšování parametrů měřících přístrojů.

Cílem bakalářské práce je ověřit přesnost nivelačních přístrojů podle normy ČSN-ISO 17123-2: Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – Část 2: Nivelační přístroje. Testovány jsou dva nivelační přístroje z majetku Katedry krajinného managementu Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, a to Sokkia C320 (v.č. 322821) a Trimble DiNi 22 (v.č. 05-3240), které jsou používány pro výuku studentů.

Teoretická část je zaměřena na popsání základních nivelačních metod, nivelačních přístrojů a dalšího potřebného vybavení. V praktické části budou provedeny dva způsoby měření, zjednodušený a kompletní postup zkoušky. Získané údaje budou početně zpracovány a porovnány s údaji stanovenými výrobcem pomocí statistických testů.

2. Nivelační přístroje a jejich příslušenství

2.1. Libelové nivelační přístroje

Jedná se zpravidla o starší typy přístrojů, většinou vyrobené před rokem 1950, i když některé firmy pokračovaly ve výrobě i po tomto datu (např. Zeiss NI 021A). Všeobecně je výroba i použití tohoto druhu přístroje na ústupu. Z používaných přístrojů našel největší uplatnění přístroj s pevným dalekohledem a pevnou nivelační libelou s elevačním spojením nosníku a dalekohledu.

Jeho základními součástmi jsou:

1. trojnožka s ložiskem a stavěcími šrouby
2. otáčivá podložka (alhidáda) se svislým čepem, uloženým v ložisku trojnožky a s nízkou vidlicí pro dalekohled

3. dalekohled, jehož osa (záměrná - Z) je zhruba kolmá k ose alhidády V

4. nivelační libela

Otáčivý pohyb podložky kolem svislé osy V (osy alhidády, dané osou svislého čepu) je ovládán ustanovkou s hrubým a jemným pohybem. Dalekohled s vnitřním zaostřováním, uložený ve vidlici, je na jedné straně pohyblivě spojen s podložkou, kloubem, na druhé straně s elevačním šroubem. Otáčením tohoto šroubu lze v určitém rozmezí měnit polohu záměrné přímky Z ve svislé rovině a nastavit ji za pomoci nivelační libely (její osy) do žádané vodorovné polohy. Pro rychlé (přibližné) uvedení osy V do svislé polohy (a tím osy Z do přibližně vodorovné polohy) je alhidáda vybavena pomocnou krabicovou libelou s nižší citlivostí.

U většiny přesnějších přístrojů tohoto typu s nivelační libelou urovnává tzv. koincidenčním způsobem, kdy obrazy obou konců libely jsou opticky převedeny tak, aby je bylo možno pozorovat od okuláru nebo přímo v zorném poli dalekohledu. Kvalitu těchto nivelačních přístrojů charakterizuje kromě mechanických částí:

- zvětšení dalekohledu $20x < z < 40x$
- citlivost a druh nivelační libely $20'' - 60''$
- úprava ryskového kříže (jednoduchý nebo ve tvaru klínu)
- optický mikrometr s planparalelní deskou (nasaditelný, nebo součástí přístroje) umožňuje číst na laťové stupnici s přesností $1/100$ nejmenšího dílku

2.2. Kompenzátorové (automatické) nivelační přístroje

Po celá desetiletí bylo snahou konstruktérů odstranit pracné nastavování záměrné přímky do vodorovné polohy prostřednictvím ručního urovnávání nivelační libely a tím podstatně zrychlit (případně i zpřesnit) měřický úkon. Tato snaha o vytvoření kvalitativně nového typu nivelačního přístroje byla úspěšně vyřešena počátkem 50. let konstrukcí tzv. automatického nivelačního přístroje se zcela novým konstrukčním prvkem – kompenzátozem (kyvadlem), který nahradil a převzal funkci nivelační libely, elevačního šroubu a lidské ruky. Tento prvek po hrubém urovnání přístroje podle krabicové libely nastaví samočinně (v tzv. kompenzačním intervalu, který je zpravidla menší než 0,6g) záměrnou Z do vodorovné polohy bez nutnosti urovnání nivelační libely na základě působení zemské tíže, která uvede kyvadlo do potřebné polohy. Mezi kompenzátorové přístroje patří i digitální nivelační přístroj.

2.3. Laserové nivelační přístroje

V poslední době se pokusila řada výrobců nahradit světelný paprsek realizující záměrnou přímkou viditelným paprskem laserovým (nejčastěji užívaný zdroj – červená laserová dioda).

Po rozložení tohoto paprsku do roviny lze realizovat též viditelnou záměrnou rovinu.

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 20-30mm/200m) s přesností 0,5-2,5mm podle délky záměry.

Z konstrukčního hlediska rozlišujeme laserové nivelační přístroje:

- a) kompaktní (laserový zdroj a dalekohled tvoří jediný celek)
- b) aditivní (do běžných typů nivelačního přístroje se přivádí světlovody laserové světlo)
- c) rotující (po rozložení laserového paprsku do roviny lze sledovat viditelný paprsek na více laticích – případně vybavených detektory – najednou). Přesnost je 0,8-3,0mm/100m podle délky záměry. Efektivní je zejména využití při stavebních pracích (např. v tubusech mostů).

[1]

2.4. Zkouška a rektifikace nivelačních přístrojů

Každý nivelační přístroj musí splňovat určité geometrické podmínky, které je nutno čas od času přezkoušet. Obvykle děláme přezkoušení nivelačních přístrojů před zahájením sezóny, před měřením většího rozsahu nebo před zahájením technické nivelace zvýšené přesnosti. Zde uvedeme tři nejdůležitější geometrické podmínky, které si může každý uživatel sám přezkoušet, případně i seřídít (rektifikovat):

- a) záměrná přímkou dalekohledu Z musí být rovnoběžná s osou nivelační libely L ($Z \parallel L$),
- b) rovina krabicové libely L' musí být kolmá na vertikální osu nivelačního přístroje V ($L' \perp V$)
- c) vodorovná ryska záměrného kříže dalekohledu H musí být kolmá k vertikální ose přístroje V ($H \perp V$)

2.4.1. Zkouška rovnoběžnosti.

Není-li osa nivelační libely rovnoběžná se záměrnou přímkou dalekohledu, dochází při měření k porušení základní podmínky geometrické nivelace. Záměrná přímkou v takovém případě není vodorovná ani při přesně urovnané libele. Není-li záměrná přímkou dalekohledu rovnoběžná s osou nivelační libely, je při urovnané libele záměrná přímkou odkloněna od vodorovné roviny o konstantní úhel ε . Zkoušku provedeme následovně: nivelační přístroj postavíme přesně doprostřed mezi dva pomocné body AB , vzdálené od sebe asi 60 až 100 m.

Pomocné body AB dočasně stabilizujeme např. nivelačními podložkami. Nivelační lať postavíme co nejlépe svisle na bod A a na její stupnici přečteme čtení vzad. Protože je záměrná přímka nevodorovná, nečteme veličinu z , ale \bar{z} . Po přestavení nivelační latě na bod B nečteme vpřed veličinu p , ale \bar{p} . Převýšení bodů h_{AB} bylo správně určeno i přesto, že záměrná přímka je odkloněna, neboť $h_{AB}=(z-p)=(\bar{z}-\bar{p})$

Potom přestavíme nivelační přístroj do přímky AB co nejbliže za bod B, tj. v takové vzdálenosti, aby bylo možno ještě dobře zaostřit na stupnici nivelační latě. Předpokládejme, že úhel odklonu ε záměrné přímky od vodorovné je malý. Potom čtení na lati \bar{b} je rovné čtení b , které by nastalo při vodorovné záměře ($\bar{b}=b$). Po přestavení nivelační latě na bod A čteme na stupnici údaj \bar{a} , který je pochyben od správného čtení a o chybu Δ , kterou snadno vypočítáme: $\Delta=\bar{a}-b-(\bar{z}-\bar{p})$

Stejným způsobem můžeme přezkoušet i správnou funkci kompenzátoru u nivelačních přístrojů, které nemají nivelační libelu, ale kompenzátor.

Nivelační libely bývají vybaveny tzv. rektifikačními šroubky, kterými je možno nerovnoběžnost záměrné přímky a osy libely rektifikovat (seřídít, opravit). Při postavení nivelačního přístroje za bodem B skloníme záměrnou přímku o úhel ε elevačním šroubem nivelačního přístroje. Vodorovná plocha záměrné přímky nastane, když na nivelační lati postavené na bodě A čteme veličinu $a=\bar{a}-\Delta$. Potom rektifikačními šroubky libely seřídíme libelu do rovnovážné polohy (bublina libely uprostřed stupničky na libele). Celý postup, měření, výpočty i rektifikaci pro kontrolu ještě zopakujeme.

Není-li možno z nějakých důvodů nivelační přístroj rektifikovat, a u přístrojů s kompenzátozem tento případ obvykle nastává, je takový přístroj pro technickou nivelaci i přesto použitelný. Musíme však přísně dodržovat zásadu geometrické nivelace ze středu. Jsou-li záměra vzad a záměra vpřed v jedné přestavě nivelačního přístroje stejné, je možno správně určit převýšení přestavových bodů. Je však nemožné nebo alespoň obtížné, použít nerektifikovaný přístroj pro tzv. plošnou nivelaci.

2.4.2. Zkouška krabicové libely.

Podstatnou součástí krabicové libely je nádobka, jež je v horní části uzavřena sféricky zbroušeným sklem. Střed libely je dán myšleným středem soustředných kroužků vyznačených na víčku libely. Nejmenší kroužek mívá poloměr rovný poloměru bubliny. Libela je urovnána tehdy, splývá-li střed bubliny se středem kroužků.

[2]

Rovina krabicové libely musí být kolmá ke svislé ose (ose otáčení) nivelačního přístroje. Odchylku (chybu nekolmosti) zjistíme následujícím postupem: stavěcími šrouby v trojnožce nivelačního přístroje urovnáme bublinu krabicové libely co nejpečlivěji do středu kroužků. Jestliže při otáčení přístroje kolem svislé osy bublina mění svou polohu, není rovina libely kolmá na točnou (svislou) osu nivelačního přístroje. Krabicové libely bývají vybaveny rektifikačními šroubky. Natočíme nivelační přístroj tak, aby spojnice dvou rektifikačních šroubků libely byla rovnoběžná se spojnicí dvou stavěcích šroubů. Těmito dvěma stavěcími šrouby urovnáme bublinu co nejpečlivěji do středu. Potom otočíme nivelační přístroj o 180° (200°) a zjištěnou výchylku bubliny z jedné poloviny odstraníme stejnými dvěma stavěcími šrouby a z druhé poloviny rektifikačními šroubky libely. Nyní může bublina ještě vykazovat odchylku ve směru kolmém ke spojnicí dvou stavěcích šroubů. Tuto odchylku odstraníme z poloviny třetím stavěcím šroubem a z druhé poloviny třetím rektifikačním šroubkem krabicové libely. Celý postup pro kontrolu ještě opakujeme.

Rektifikace krabicové libely je důležitá jak u libelových, tak u kompenzátorových nivelačních přístrojů. Správně seřízené krabicová libela zkrátí dobu urovnání nivelační libely u libelových nivelačních přístrojů. U kompenzátorových nivelačních přístrojů se může stát při špatně rektifikované krabicové libele, že kompenzátor nedokáže urovnat záměrnou přímku do vodorovné roviny, neboť rozsah kompenzátorů nebývá velký.

2.4.3. Zkouška ryskového kříže

Vodorovná ryska záměrného kříže dalekohledu má být kolmá k ose otáčení nivelačního přístroje. Je-li otočná osa přístroje urovnána do svislé polohy, musí být vodorovná ryska ryskového kříže skutečně vodorovná. Výchylku zjistíme velice snadno. Zamíříme dalekohled na dostatečně vzdálený bod (několik metrů) a co nejpřesněji zaostříme. Zacílíme na bod (jednoznačně identifikovatelný předmětový bod) tak, aby bod byl při jednom (např. levém) okraji zorného pole dalekohledu právě na vodorovné rýsce ryskového kříže. Otáčíme-li jemnou ustanovkou měla by vodorovná ryska stále procházet tímto bodem. Zjištěnou odchylku je možno u některých nivelačních přístrojů rektifikovat, doporučuje se však tuto rektifikaci přenechat zaškolenému mechanikovi. Není-li možno tuto rektifikaci vůbec provést, potlačíme chybu měření tím vzniklou tehdy, jestliže stupnici na nivelační lati čteme vždy v těsné blízkosti svislé rysky ryskového kříže.

[3]

2.5. Nivelační latě

Vyrábějí se v různém provedení a úpravě v závislosti na požadované přesnosti odečtení délkové metrické stupnice. Jako materiál se používá dobře vyschlé dřevo, lehký kov nebo kombinace dřeva a plechového či invarového pásu (nejčastěji). Bývají opatřeny jedním nebo dvěma držadly, případně opěrkami pro snazší udržení ve svislé poloze, která se kontroluje u přesnějších latí krabicovou libelou. Nejčastější rozměry – délka 1,7; 2; 3; 4m, 5m, šířka kolem 10cm. Průřez latě je volen tak, aby byla zaručena dostatečná tuhost latě. Změna délky nastává změnou vlhkosti, teploty a napínací síly. Dělení laťové stupnice bývá nejčastěji centimetrové, pro přesnější práce půlcentimetrové, případně čárkový kód. Dílky se vyznačují buď silnějšími čárkami (u přesných latí) – stupnice čárkové, nebo se jednotlivé centimetrové dílky zbarvují černě (červeně) a bíle – stupnice „éčkové“ a šachovnicové. Na stupnici jsou číslovány nejčastěji decimetrové, výjimečně též centimetrové dílky. Číslice musí být dostatečně velké a velmi zřetelné, aby byly na dálku dobře čitelné. Bývají vzpřímené i převrácené (podle druhu použitého dalekohledu). Pro přesnější práce se latě opatřují dvěma vzájemně posunutými stupnicemi (o známou konstantu) s jemnějším půlcentimetrovým dělením na napnutém invarovém pásu. Patka latě je kovová, u přesnějších latí bývá vybroušena do roviny vždy kolmo k ose latě. Pro běžné technické práce nižší přesnosti se používají též latě skládací, zásuvné a sklopné o délce 3 až 5m se zmíněnou E stupnicí a kováním s důlkem zamezujícím sklouznutí latě z podložky.

Používáním digitálních nivelačních přístrojů přichází konstrukce speciálních nivelačních latí s čárovým kódem. Čárový kód je umístěn na invarovém pásu. Princip odečítání čárkového kódu značně zrychluje samotné měření. Čtení je automaticky odečítáno a dále zapisováno na paměťové médium umístěné v přístroji.

2.6. Nivelační podložky

Nemá-li být nivelovaný výškový rozdíl ovlivněn chybou z nepevného postavení latě ve svislém směru (neúnosný povrch), nelze stavět nivelační lať přímo na terén, ale je třeba použít tzv. nivelační podložky. Používá se několik typů přizpůsobených požadované přesnosti.

Ploché podložky

Používají se nejvíce pro běžné nivelační práce. Bývají trojúhelníkového tvaru ze silného plechu a jedním nahoře zakulaceným výstupkem a jsou opatřené držadlem. Pro přesnější práce se uplatní masivnější litinové podložky rovněž trojúhelníkového tvaru s jedním, nebo se

dvěma výstupky, nebo kruhového tvaru s jedním výstupkem. Spodní část podložky se třemi hroty se zatlačí botou do země.

Hřebové podložky

Používají se pro práce vyšší přesnosti v méně únosném terénu. Mají polokulovitý výčnělek, prstenec a kuželovitý či jehlanovitý dřík. K zatlučení do země palicí se používá zvláštní objímka, která se nasazuje na prstenec, aby se zamezilo poškození vrchlíku. K vytažení hřebu slouží kovové oko.

[1]

2.7. Sokkia C320

Sokkia C320 (obr. č. 1) je optický nivelační přístroj, který je vybaven rychlým, magneticky odolným kompenzátorem. Poté, co je přístroj přibližně urovnán pomocí krabicové libely, je záměrná přímka přesně urovnána do roviny automatickým kompenzátorem. Přístroj má jednoduchý horizontální kruh pro měření úhlů a dálkoměrné rysky k odečtení přibližné vzdálenosti na lati. Horizontální kruh umožňuje přímé odečítání po 1 gradu a je popsán každých 10 gradů ve směru hodinových ručiček. Výrobcem udávaná standardní odchylka obousměrné nivelace na 1 km je 2 mm.

[4]

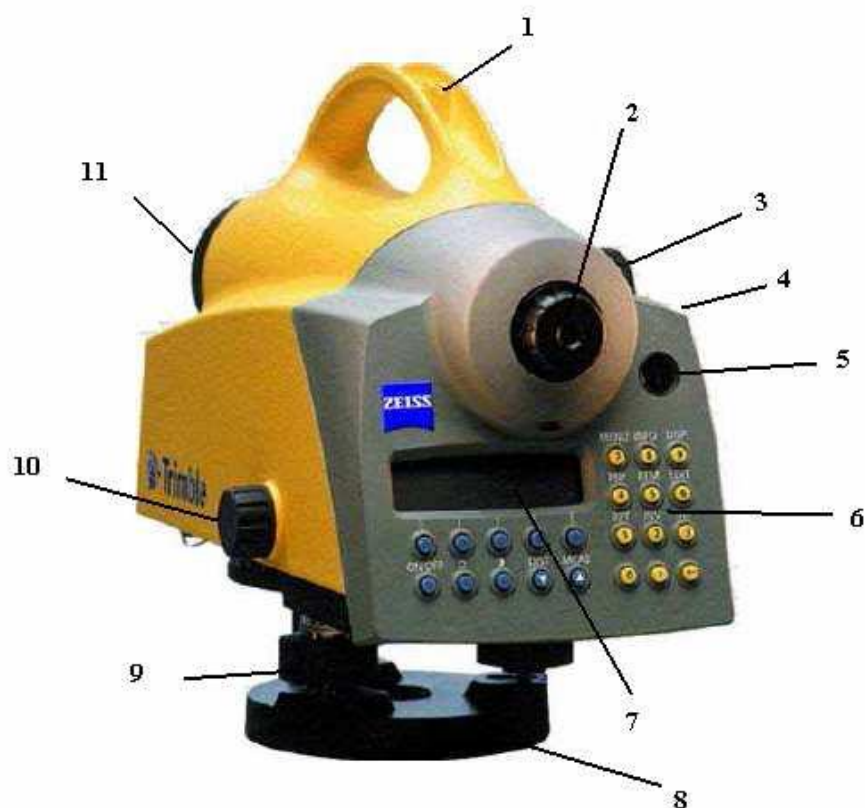


Obr. č. 1 (zdroj: Instrukce a návod pro používání nivelačního přístroje, nivelační přístroj C320,C300,C410)

2.8. Trimble DiNi 22

Digitální nivelační přístroj Trimble DiNi (obr. č. 2) na měření výšek a převýšení je odolný proti vodě a prachu (index ochrany IP 55), proto ho lze použít i při práci ve vlhkém prostředí či v náročných podmínkách. Podsvícený displej a osvětlená bublina libely umožňují měření i v podmínkách s nižší viditelností (v šeru). Přístroj vyžaduje menší viditelné zorné pole (30 cm), díky čemuž lze měřit větší výškové rozdíly mezi jeho stanoviskem a latí na jedno přestavení. Jeho součástí je interní paměť, která dokáže zaznamenat 30 tisíc datových řádků a přenést je do počítače. Má kompenzátor s možností urovnání do 15'. Při použití latě s přesnou invarovou kódovou stupnicí je maximální kilometrová přesnost měření tohoto přístroje $\pm 0,7$ mm. Uživatel má možnost volby dělení horizontálního kruhu na stupně nebo grady. Přístroj je vybaven Li-ion baterií s životností tří pracovních dnů bez podsvícení a jeho hmotnost (včetně baterie) je 3,5 kg.

[5]



Obr. č. 2 Popis přístroje (zdroj: Návod k přístroji Trimble DiNi 12/12T/22)

Popis přístroje:

- 1 Kolimátor
- 2 Okulár
- 3 Zaostrovací šroub
- 4 Kryt rektifikačních šroubů krabicové libely
- 5 Okno pro krabicovou libelu
- 6 Klávesnice
- 7 Displej, 4 řádky
- 8 Podložka
- 9 Stavěcí šrouby
- 10 Nekonečná horizontální ustanovka
- 11 Objektiv s integrovanou sluneční clonou

3. Nivelace

3.1. Geometrická nivelace ze středu

se rozlišuje podle způsobu měření, ale zejména podle požadované přesnosti výsledku, na tři hlavní typy: velmi přesná nivelace, přesná nivelace a technická nivelace. Velmi přesná nivelace a přesná nivelace se používají především při měření v celostátních výškových sítích, nebo při speciálních geodetických pracích. Nejčastěji používaným druhem geometrické nivelace ze středu je tzv. technická nivelace, v odborné literatuře nebo v technologických předpisech často označována zkratkou TN.

3.2. Velmi přesná nivelace a zvlášť přesná nivelace

Velmi přesná nivelace (VPN) se používá pro práce ve výškovém poli, zejména nivelačních 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 (přesné měření vertikálních posunů, určování náklonů, pilířů, sledování vertikálních pohybů zemské kůry apod.). Používají se nejpřesnější nivelační přístroje libelové i kompenzátorové. Technologie měření se příliš neliší od přesné nivelace (PN), jen kriteria přesnosti jsou přiměřeně přísnější.

3.3.Přesná nivelace

Používá se při určování nadmořských výšek ve výškovém bodovém poli, zejména nivelačních sítích III. a IV. řádu a v PNS, ale i při speciálních pracích vyšší přesnosti spadající do oblasti inženýrské geodézie (např. měření deformací stavebních objektů).

Zvětšení dalekohledu má být alespoň 24 násobné, citlivost nivelační libely alespoň 20,6'' (41'' v koincidenční úpravě) nebo kompenzátor odpovídající přesnosti. Stativy se používají pevné, nivelační podložky těžké litinové nebo nivelační hřeby. Každý pořad PN se niveluje dvakrát – tam a zpět v jinou denní dobu. Při použití páru dvou latí musí být sudý počet sestav. Záměry se rozměřují pásmem s přesností 0,1 m. Další požadavky se uvádějí v závislosti na požadované přesnosti.

[6]

3.4.Technická nivelace

se nejvíce používá v běžné stavební praxi, při vytyčování výškových úrovní stavebních děl, při vytyčování zemních prací, při měření výškových profilů, ale i při mapování, zejména zastavěných území městského typu, atd.

3.5.Zásady správného postupu při TN

Soupravu přístrojů a pomůcek pro technickou nivelaci tvoří nivelační přístroj se stativem, jedna až dvě nivelační latě, jedna až dvě nivelační podložky a v případě potřeby i měřický slunečník. Nivelační přístroj používaný pro TN musí mít dalekohled se zvětšením minimálně šestnáctinásobným, nivelační libelu s citlivostí 60'' nebo automatické urovnávací zařízení (kompenzátor) se stejnou výkonností. Nivelační latě se používají dva až čtyři metry dlouhé, ale ať už jsou celistvé, rozkládací, zasouvací nebo sklápěcí, vždy musí být rovné (neprohnuté), se zřetelnou stupnicí (měřítkem) s dělením zpravidla po 0,01 metru. Na spodním konci latě má být pevná rovná patka (kovová) zajišťující stálý počátek stupnice. Latě musí být vybavená malou krabicovou libelou (i odnímatelnou) umožňující urovnání latě do svislé polohy.

Před zahájením vlastního měření je vždy potřeba zkontrolovat správnou funkci nivelačního přístroje a dobrý stav nivelačních latí, zejména libel na nich upevněných.

Nejdůležitější zásadou správného pracovního postupu při technické nivelaci je měření ze středu. To znamená, že nivelační přístroj postavíme doprostřed mezi dva body, jejichž převýšení máme změřit, ať už jsou to body pevné nebo pomocné. Délka záměry vzad i vpřed

je však omezená a je ovlivněna několika aspekty. Optimální délka záměr je ovlivněna především tvarem terénu, tj. převýšením mezi dvěma nejbližšími (sousedními) body, atmosférickými podmínkami jako např. viditelností, vibrací ovzduší apod., a v neposlední řadě i samotným měřičem, např. jeho tělesnou výškou nebo i jeho zručností. Nejkratší možná záměra je určena možností zaostření dalekohledu nivelačního přístroje, což bývá u běžných přístrojů 1,5 až 2 metry. Nedoporučuje se, aby při technické nivelaci byla délka záměry delší než 120 m. Měřič musí dbát také na to, aby záměra neprobíhala těsně nad terénem (méně než 30 cm), neboť v nejnižších vrstvách atmosféry se často vyskytuje značná refrakce (lom světelných paprsků), což může nepříznivě ovlivnit přesnost výsledku měření. Ve svažitém terénu se může stát, že jedna záměra je na spodní konec latě, a záměra ve směru opačném na horní konec latě. Při záměře na horní konec latě je třeba dbát na to, aby pomocník držel lať co nejlépe svisle, neboť nesvislost latě v této poloze způsobuje chybu v určení převýšení. Jak již byla řečeno, nejdůležitější zásadou je měření ze středu, tj. záměra vzad a záměra vpřed musí být stejně dlouhé. Při technické nivelaci stačí délku záměr odkrokovat, zatímco při přesné nivelaci se záměry rozměřují pásmem.

Při nivelaci nesmí být podceňována ani bezpečnost práce, tedy ani stanovisko přístroje, ani postavení latě nesmí být na takovém místě, kde by byla ohrožena bezpečnost měřiče nebo jeho pomocníků (např. při měření podél komunikací, na okraji strmého srázu apod.).

Při měření převýšení pevných (stabilizovaných bodů se staví nivelační lať pokud možno středem její patky přímo na stabilizační znak, ať už je to kovová nivelační značka, kamenný nebo plastový mezník, kovová trubka či jiná pevná značka. Pro dočasné označení pomocných (přestavových) bodů se používají nivelační podložky, tzv. žabky. Podložka musí být do země řádně zašlápnutá, aby byla pevná a nepohnula se při otáčení latě. Měřič zajistí pevné postavení přístroje zašlápnutím nohou stativu do terénu. Při měření na komunikacích nebo jiném pevném povrchu se doporučuje umístit nohy stativu do spár nebo otvůrků v pevném povrchu.

Lať se staví vždycky tak, aby číslování stupnice vzrůstalo od terénu směrem vzhůru, tj. aby nula stupnice byla vždy dole bez ohledu na to, zda čísla na lati jsou vzpřímená či obrácená. Jsou-li používány při měření současně dvě latě, musí být kresba stupnic na obou latích stejná. Ani v tomto případě však není zaručeno, že nula stupnice je na obou latích stejně daleko od konce (od patky) latě. Proto musí být v každém úseku nivelačního pořadu, tj. v každé části pořadu mezi dvěma pevně označenými (stabilizovanými) body, sudý počet sestav. Jinými slovy to znamená, že na koncovém bodě pořadu (i úseku) musí být postavena tatáž lať jako na počátečním bodě. Pochopitelně je nutno, aby postavení latí bylo pravidelně střídáno.

Při určování nadmořských výšek nových pevných bodů připojujeme každý nivelační pořad vždy na státní nivelační síť. To znamená, že nivelační měření zahájíme při postavení latě na nivelační značku státní sítě. Ukončit můžeme nivelační pořad buď na téže značce nebo na jiné značce státní nivelační sítě, podle toho co je výhodnější z hlediska hospodárnosti prací. Avšak ukončíme-li pořad na téže značce, musíme dalším měřením ověřit spolehlivost oné značky. Dalším měřením se rozumí nivelační pořad vložený mezi tuto značku a jinou značku státní nivelační sítě. Při vložení nivelačního pořadu mezi dvě značky státní nivelační sítě považujeme spolehlivost obou značek za prokázanou, jestliže naměřené převýšení souhlasí (v toleranci) s rozdílem nadmořských výšek obou nivelačním značek.

Při měření se doporučuje přístroj chránit před slunečními paprsky měřickým slunečníkem. Nedoporučuje se měřit v době největší refrakce, tj. asi hodinu po východu a hodinu před západem slunce. Dále se nedoporučuje měřit v době největší vibrace (chvění) vzduchu, což bývá v poledních hodinách. Také se nedoporučuje měřit při silném větru.

[3]

4. Geodetické práce při provádění pozemkových úprav

Pozemkovými úpravami se ve veřejném zájmu prostorově a funkčně uspořádávají pozemky, scelují se nebo se dělí, přičemž se zabezpečuje jejich přístupnost. Jejich hranice se vyrovnávají tak, aby byly vytvořeny podmínky pro racionální hospodaření vlastníků půdy. V těchto souvislostech se k nim uspořádávají vlastnická práva a s nimi související věcná břemena. Současně se jimi zajišťují podmínky pro zlepšení životního prostředí, ochranu a zúrodnění půdního fondu, vodní hospodářství a zvýšení ekologické stability krajiny. Výsledky pozemkových úprav slouží pro obnovu katastrálního operátu a jako závazný podklad pro územní plánování.

[7]

V průběhu pozemkových úprav jsou prováděny zeměměřické práce, které jsou nezbytné pro vytvoření návrhu pozemkových úprav. V území, které je řešeno pozemkovou úpravou, se provádí podrobné zaměření polohopisu a výškopisu, zaměřují se prvky potřebné pro návrh pozemkových úprav jako drenážní šachty, závlahové hydranty, vodní prameny, povrchové odvodnění, meze, podzemní vedení, dřeviny rostoucí mimo les, sjezdy, propustky, dráhy soustředěného odtoku pozemkové vody, oplocení a konstrukce trvalých porostů, cesty. Výsledky zeměměřických činností, které tvoří podklad pro návrh pozemkových úprav.

[8]

Při provádění geodetických prací, a to nejen v pozemkových úpravách, by měl být vždy použit rektifikovaný přístroj. Ověření se provádí obvykle jednou ročně v odborné dílně doporučené výrobcem nebo prostřednictvím akreditované kalibrační laboratoře, např. kalibrační laboratoř VÚGTK.

5. Základy teorie chyb

5.1. Chyby a přesnost nivelačních prací

Jako základní charakteristika přesnosti nivelačních prací se stanovuje střední kilometrová chyba obousměrné nivelace m_0 (převýšení určeného tam a zpět na vzdálenost 1km). Charakterizuje způsob (druh) nivelace ZPN, VPN, PN a (popř. TN). Určuje se jako aposteriorní hodnota z rozsáhlých souborů výsledků měření při dodržení předepsané technologie. Stanovuje se též jako apriorní hodnota udaná výrobcem při dodržení určitých technologických zásad pro možnost analýzy rušivých vlivů elementárních chyb zejména statistického charakteru.

Stejně jako při měření geometrických parametrů při určování polohy (směrů, úhlů, délek) jsou i nivelační práce provázeny možným výskytem hrubých a téměř vždy řadou nevyhnutelných chyb, které mohou mít systematický či nahodilý charakter. Jedná se o názorný příklad klasifikace měřických chyb, který je obecněji popsán v předmětu teorie chyb a vyrovnávací počet.

5.2. Hrubé chyby

Jejich výskyt je při nivelaci poměrně častý, zejména u méně zkušených měřičů. Ale i zkušený měřič se v důsledku monotónnosti a neustálého opakování stále stejného měřického postupu snadno unaví a při sníženém soustředění dopustí hrubé chyby. Dokud nebudou rozšířeny nejmodernější nivelační přístroje a automatickým odečítáním lať na principu čárového kódu, je třeba se vyvarovat jejich výskytu zvýšenou pečlivostí a soustředěností celé nivelační skupiny.

Nejčastějšími příčinami vzniku hrubých chyb je např. záměna směru číslování laťové stupnice, opomenutí urovnání nivelační libely u libelových nivelačních přístrojů, nebo krabicové libely u automatických nivelačních přístrojů, záměna výstupku na podložce, posun podložky, obrácená lať (nejčastěji na připojovacím bodě) nebo odečtení podle dálkoměrné rysky.

5.3. Nevyhnutelné chyby

Provázejí nivelační měření prakticky vždy i při maximální pečlivosti. V souladu s obecnou klasifikací měřických chyb je dělíme na dvě skupiny:

- a) systematické – jsou stálého znaménka
- b) nahodilé – mají různá znaménka

[1]

5.4. Systematické chyby:

Jsou následkem jednostranně působících příčin a při stejných podmínkách mají vždy stejné znaménko. Systematické chyby stejného charakteru ovlivňují výsledek opakovaných měření vždy v jednom smyslu, je proto nutné jejich včasné rozeznání a zavedení příslušných oprav. Tyto opravy se zjišťují nejčastěji porovnáním přístrojů a pomůcek s přesnými laboratorními zařízeními (tzv. kalibrace). Podle zjištěných rozdílů se pak výsledky měření opraví.

[9]

5.4.1. Chyba ze zakřivení horizontu

Po urovnání nivelační libely (ustálení kompenzátoru v kompenzačním intervalu) by měla být záměrná přímka Z totožná se skutečným horizontem přístroje a ne s horizontem zdánlivým, jak je tomu v skutečnosti. Zanedbáním tohoto rozdílu vzniká v každém čtení chyba

$$c_1 = \frac{s^2}{2R}$$

kde s je délka záměry, R je poloměr Země 6380km.

Její velikost je nepatrná (0,2mm/50m), projeví se pouze při nivelaci kupředu a částečně při nestejně dlouhých záměrech, zatímco při geometrické nivelaci ze středu se její vliv na měřené převýšení beze zbytku vyloučí (měřickou metodou).

5.4.2. Chyba ze sklonu záměrné přímky

a) u libelových přístrojů je způsobena nepřesnou rektifikací přístroje (nesplněním podmínky $L \parallel Z$). Vliv této chyby se plně uplatní při nivelaci kupředu a částečně při nestejně délce záměr, zatímco při geometrické nivelaci ze středu se její vliv na měřené převýšení zcela vyloučí při stejně dlouhých záměrech vzad a vpřed. Není proto tak nebezpečná a lze ji téměř beze zbytku eliminovat měřickým postupem. Naprosto přesná rektifikace je obtížně dosažitelná a ještě

hůře udržitelná, je jí však třeba často kontrolovat při některých speciálních pracích (např. měření deformací stavebních objektů), kdy bývá často porušena stejná délka záměr v důsledku četných překážek nivelačního měření. Při vyšších nárocích na přesnost je pak nutno opravit měřená převýšení početně zjištěnou korekcí.

b) u přístrojů s automatickým urovnáním záměrné přímky, kde je způsobena nedokonalou funkcí kompenzátoru, chybnou justáží, případně i nepřesnou horizontací – je nazývána chybou z kompenzace a výsledkem je „šikmý horizont“ – nevodorovnost záměrné přímky Z. Tato chyba se nedá vyloučit stejnou délkou záměr. Je to chyba, která se těžko identifikuje a v případě, že se urovnává krabicová libela vzhledem k trojnožce stále stejným způsobem, může zejména při pořadové nivelaci dojít ke značnější systematické chybě. Její vliv lze do jisté míry zmenšit vhodným měřickým postupem – důsledným urovnáváním krabicové libely v každé sestavě vždy na záměru vzad (dokývnutí kompenzátoru v kompenzačním intervalu se střídá – došlo k pootočení dalekohledu přibližně o přímý úhel, vzhledem k předchozí sestavě). U moderních nivelačních přístrojů nedosahuje větší velikosti a uplatňuje se spíše při velmi přesných pracích (VPN, ZPN).

5.4.3. Chyba ze svislé složky refrakce

Působením vlivu refrakce (v mikroklimatu v blízkosti zemského povrchu se používá názvu nivelační refrakce) dochází k podobné situaci jako ad 5.4.1. Velikost této chyby je v přímé závislosti především na vertikálním teplotním gradientu (změně teploty s výškou nad terénem). Je-li terén přibližně vodorovný, nebo je-li vertikální teplotní gradient konstantní, vyloučí se tato chyba při geometrické nivelaci ze středu měřickou metodou. Je-li však při pořadové nivelaci ve svažitém terénu systematicky velký rozdíl mezi velikostí čtení vzad a vpřed, může dojít ke značné systematické chybě. Velké teplotní změny jsou zejména při ohřevu nebo ochlazování vzduchových vrstev od zemského povrchu. Tento jev je navíc provázen vibrací, která sice znepříjemňuje čtení, ale svědčí naopak o promíchávání vzduchových vrstev (snižování teplotního gradientu) a tím i o zmenšování této chyby. Technologické postupy různých druhů nivelace se brání této chybě stanovením minimální výšky záměry nad terénem a doporučením vhodných observačních podmínek. Přesné nivelační práce je nejvhodnější provádět při zatažené obloze a mírném větru. Nevhodné jsou naopak podmínky při jasném a bezvětrném počasí se silným slunečním svitem (letní hodiny kolem poledne).

5.4.4. Chyba z nesprávné hodnoty délky laťového metru

Stupnice nivelační lať má být přesným délkovým měřítkem. Působením vlivu vnějšího prostředí, především změnami teploty a vlhkosti na materiál, z něhož je vyrobena stupnice, ale i změnou napínaví síly, se délka laťového metru mění. Pro malou velikost se chyba uplatňuje pouze u přesných nivelačních měření, a to zejména při velkých převýšeních.

Liší-li se nominální vyznačená hodnota od hodnoty zjištěné při komparaci jen o 0,05mm (což je u invarových latí běžné), znamená to při převýšení 600m (např. v horském údolí) systematickou chybu 30mm. Zjištěná hodnota délky laťového metru se vynásobí hodnotou nivelačního převýšení, a to se početně opraví v zápisníku měřených převýšení. Běžnou polní komparací lze dosáhnout určení délky laťového metru s přesností 0,02mm tj. 12mm v předchozím případě. Tato chyba je i u nejpřesnějších druhů nivelace základním limitujícím faktorem uplatnění geometrické nivelace v horském terénu. Přesnost určení délky laťového metru se nedá zvýšit ani přesnější komparací v laboratoři či měřením na srovnávací výškové základně, protože je provedena za jiných podmínek než vlastní měření a zjištěná hodnota délky laťového metru se zpravidla změní převozem latí.

Jinou příčinou vzniku této chyby může být neztotožnění nuly (počátku stupnice) s vodorovnou rovinou procházející patkou lať – tzv. indexová chyba lať. Při nivelaci s jednou laťí není nebezpečná, při přesné pořadové nivelaci s párem latí se vyloučí měřickým postupem (rozměřením nivelačního oddílu na sudý počet sestav, pravidelným střídáním latí a při měření zpět výměnou latí).

5.4.5. Chyba z nesvislé polohy lať

Nivelační lať má být v okamžiku odečtení postavena přesně svisle. Vybočení ve směru kolmém na záměru je snadno poznatelné podle svislé rysky ryskového kříže a pomocník jej na pokyn měřiče opraví. Ve směru záměru je však vybočení prakticky nepoznatelné a svislost lať je zcela závislá na kvalitě práce měřických pomocníků. Při urovnání lať do svislé polohy pouze „od oka“ může její odklon od svislice nabývat hodnot 0,5° až 2,5°. Ve čtení vznikne systematická chyba, která má vždy kladné znaménko.

Tato chyba může dosáhnout poměrně značné hodnoty – nárůst nejen s úhlem odklonu, ale i s velikostí čtení na lať. Proto je třeba při přesnějších pracích pečlivě urovnávat rektifikovanou krabicovou libelu a při běžných technických pracích, kdy krabicová libela často chybí, poučít měřické pomocníky, aby kontrolovali svislost podle olovnice, rohů budov nebo alespoň kýváním ve směru záměru (odečte se nejmenší hodnota ve svislé poloze lať).

[1]

5.5. Nahodilé chyby

Jsou charakteru jak osobního (nedokonalost lidských smyslů), tak přístrojového a materiálového (drobné konstrukční nedokonalosti optických a mechanických částí přístrojů a pomůcek). Na jejich vzniku se často podílí i působení vnějších podmínek, zejména povětrnostních. Společné znaky nahodilých chyb je možno při větším počtu měření téže veličiny shrnout takto:

- aritmetický průměr hodnot chyb s rostoucím počtem měření se blíží k nule;
- kladná a záporná znaménka odchylek jsou rozložena téměř rovnoměrně;
- malé chyby se v řadě měření vyskytují nejčastěji.

[9]

5.5.1. Chyba z nepřesného urovnání nivelační libely (též zbytková náhodná složka chyby činnosti kompenzátoru)

I při koincidenčním způsobu urovnání lze libelu urovnat maximálně s přesností přibližně 1/10 její citlivosti. Je-li tedy běžný nivelační přístroj vybaven libelou s citlivostí 40", urovná se záměra (s využitím koincidence) do vodorovné polohy s chybou 4" tj. asi 1mm na 50m. Zbytková kompenzační chyba u moderních přístrojů zdaleka těchto hodnot nedosahuje.

5.5.2. Chyba ze změny výšky přístroje a latě

Je způsobena zapadáním nohou stativu přístroje a nivelační podložky v málo únosném terénu (též asfaltová silnice v letních měsících při silnějším slunečním svitu), respektive jejich vytlačováním (jílovité půdy, drny). Chybu se snažíme eliminovat těmito opatřeními: použitím kompenzátorových nivelačních přístrojů zkracujeme dobu měření nivelační sestavy, nohy stativu i podložky dobře zašlapujeme – nesmí „pružit“ – u přesných prací často nezbyvá jiná možnost, než v kritických místech odkopnout drn či zarazit pod nohy stativu dřevěné kolíky. Měřický postup (např. u VPN) je možno s ohledem na výskyt této chyby upravit na z_1, p_1, p_2, z_2 (důležitá je nejenom rychlost, ale i pravidelné, rovnoměrné tempo měření).

5.5.3. Chyba ze čtení laťové stupnice

Závisí především na délce záměry, zvětšení dalekohledu, velikosti a tvaru laťového dílku, paralaxe ryskového kříže, použití a parametrech optického mikrometru, chvění vzduchu (vibraci) apod. V podstatě jde o chyby lineární interpolace (resp. koincidence odečítací

pomůcky). Lze ji ovlivnit především volbou optimální délky záměry (u invarových latí s optickým mikrometrem 30 až 40m) a vhodnou technologií (minimální výška záměry nad terénem), resp. volbou vhodných observačních podmínek.

5.5.4. Chyba z nestejnoměrného dělení laťové stupnice a nekolmosti (případně nerovinnosti patky latě)

Tyto chyby mají podobný charakter jako chyby ze čtení laťové stupnice, jsou však u přesných invarových latí hluboko pod úrovní této chyby. Všechny tyto chyby jsou převážně nahodilého charakteru, i když je nutné zejména při pracích vysoké přesnosti připustit ještě zbytkové (plně neeliminované) systematické složky těchto chyb.

5.5.5. Chyba z přestření dalekohledu (paralaxy ryskového kříže a vibrace)

Projevuje se především při nepřesném rozměření sestav – kratší záměry je nutno rozměřit přesněji ($10\text{m} \pm 0,05\text{m}$), než delší ($40\text{m} \pm 0,5\text{m}$) – a při záměrech v blízkosti terénu v nevhodných observačních podmínkách.

[1]

5.6. Charakteristiky přesnosti

5.6.1. Směrodatná odchylka

se téměř výhradně využívá jako charakteristika přesnosti měření. Z určitého souboru pozorování ji lze vypočítat jako tzv. výběrovou směrodatnou odchylku s (ve starší terminologii střední kvadratickou chybu m) kvadratickým průměrem:

$$s = \sqrt{\frac{[\mathcal{E}\mathcal{E}]}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n}},$$

kde ε_i jsou skutečné chyby měření: $\varepsilon_i = X - l_i$ (X = skutečná hodnota, l_i = měřená hodnota). Chyby větších hodnot se tedy projeví více.

Při praktickém měření obvykle skutečnou hodnotu X měřené veličiny neznáme. Za její nejpravděpodobnější odhad \bar{x} je považován za jistých předpokladů aritmetický průměr měřených hodnot. Rozdíly průměrné hodnoty \bar{l} a jednotlivých měření l_i jsou nazývány opravami v_i . Z nich se počítá:

$$s = \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}}.$$

5.6.2. Směrodatná odchylka metody

(též: základní směrodatná odchylka) je vztažena s využitím tzv. věty o střední hodnotě k nekonečně velkému (základnímu) souboru pozorování, prováděných tímž postupem a vybavením: $\sigma = \sqrt{E(\varepsilon^2)}$. V praxi se aproximuje hodnotou s , získanou z velkého, ale konečného počtu měření. (Např. kilometrová chyba technické nivelace.) Slouží k rozborům přesnosti.

5.6.3. Směrodatná odchylka jednoho určitého pozorování

(tzv. jednotková chyba) je charakteristikou přesnosti základního měřického výkonu. Její určení u přístrojů je dáno mezinárodní normou, číselně je uváděna v obchodních nabídkách a materiálech výrobců a prodejců. (Např. směrodatná odchylka měření směru ve 2 polohách.) Slouží k rozborům přesnosti.

[10]

5.7. Základy vyrovnávacího počtu

Měření, jako poznávací proces, je porovnání určité základní fyzikální jednotky s veličinou určovanou. Jedná se o zjištění kvantitativní stránky určovaných veličin a výsledkem měření je vyjádření dané veličiny (délky, úhlu, výšky, výměry apod.) tzv. jednotkovou veličinou. Opakovaným měřením téže veličiny se však nedostane stejný výsledek, ale hodnoty nepatrně se od sebe liší. Tyto malé diference jsou výsledkem jednak nedokonalostí našich smyslů a přístrojů (např. zacílení, náhodnost odhadu), jednak jsou způsobeny stále se měnícími atmosférickými a fyzikálními podmínkami (chvění vzduchu, složení vzduchových vrstev-atmosférická refrakce, změna teploty, atd.). Je tedy každé měření, i měření provedené s maximální pečlivostí, zatíženo nevyhnutelnou měřickou chybou, projevující se změnou číselných výsledků. Platí důležitá zásada potvrzená praxí:

Při stejné metodě i pečlivosti měření se při opakovaných měřeních téže veličiny uplatní různé malé chyby, jejichž velikost i znaménko se může náhodně měnit od pozorování k pozorování. Je proto i výsledek měření náhodný.

Chyby vyplývající z měření se nazývají měřické a způsobují porušení funkční a geometrické závislosti, nebo různost výsledků opakovaných měření.

Úkolem vyrovnávacího počtu je:

- a) určit vyrovnanou hodnotu z opakovaných měření jakožto nejpravděpodobnější odhad neznámé skutečné hodnoty měřené veličiny.,
- b) posoudit přesnost měření a spolehlivost výsledku měření,
- c) stanovit kritéria pro vyloučení podezřelých a nespolehlivých měření (hrubých chyb a chyb příliš vybočujících z řady měření).

5.8. Klasifikace chyb

5.8.1. Náhodná chyba

Náhodná (skutečná) chyba je nevyhnutelná chyba závislá na náhodném střetnutí různých hodnot a znamének elementárních chyb. Vyskytuje se při každém měření. Jednotlivé náhodné chyby nejsou podřízeny žádným funkčním vztahům nebo zákonům, výskyt náhodných chyb má charakter náhodného jevu ve smyslu počtu pravděpodobnosti a matematické statistiky. Střední hodnota náhodné chyby je nulová $E(\varepsilon)=0$. Jinými slovy náhodná chyba je odchylka naměřené veličiny l od skutečné hodnoty měřené veličiny X a značí se ε

$$\varepsilon = X - l \quad l + \varepsilon = X$$

Mezi tyto poznatelné chyby patří např. chyba ze zaokrouhlování, chyba v uzávěru trojúhelníku, chyba v převýšení v uzavřeném obrazci apod.

5.8.2. Míra přesnosti měření

Měří-li se táž fyzikální veličina různými přístroji nebo metodami, dá se předpokládat, že se dosažené výsledky měření budou pohybovat v různě velkém variačním oboru. Např. při měření téže délky nitkovým dálkoměrem se vzájemná měření budou lišit v decimetrech, běžným způsobem pásmem se budou lišit v cm a při přesném měření v mm.

Každé metodě měření (podle druhu přístroje a metody) přísluší při stejné kvalitě práce určitý variační obor možných výsledků měření, neboli základní soubor chyb. Šířka základního souboru chyb charakterizuje přesnost použité metody. Čím menší jsou rozdíly naměřených hodnot (po vyloučení systematických chyb), tím větší se dá předpokládat přesnost měření a spolehlivost výsledku. Je třeba zde rozlišovat ale vnitřní a skutečnou přesnost metody.

Přesnost měření je třeba vyjádřit jedním číslem, neboli tzv. měrnou chybou, která by charakterizovala celý soubor možných chyb. Jako nejvhodnější charakteristika přesnosti se používá střední (kvadratická) chyba m daná jako odmocnina z průměrného čtverce chyb

$$m = \sqrt{\frac{1}{n}(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 + \dots + \varepsilon_n^2)} = \sqrt{\frac{[\mathcal{E}\mathcal{E}]}{n}}$$

Při porovnávání dvou souborů se středními chybami m_1 a m_2 je přesnější ten soubor, který je určen s menší střední chybou vypočtenou však z dostatečně velkého počtu měření n_1 a n_2 . Příliš malý soubor chyb (malé n) je závislý na náhodných hodnotách jednotlivých chyb a nemůže poskytnout spolehlivé informace o přesnosti metody. Spolehlivou charakteristiku přesnosti metody podává základní střední chyba souboru, která je určena z velkého počtu pozorování, tedy pro $\bar{m} = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{[\mathcal{E}\mathcal{E}]}{n}}$

$$\bar{m} = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{[\mathcal{E}\mathcal{E}]}{n}}$$

jenž se uvádí v měřických instrukcích nebo prospektech přístrojů. Hodnota empirické střední chyby m by se neměla mnoho lišit od hodnoty \bar{m} , neboť pak by bylo možno soudit na malou pečlivost konaných měření nebo na abnormálně nepříznivé podmínky.

5.8.3. Největší přípustná chyba

Největší přípustná chyba ε_m se v praxi stanoví jako 2 až 3 násobek základní střední chyby, neboť výskyt chyby ε_m je málo pravděpodobný a považuje se za omyl nebo za hrubou chybu, způsobenou malou pečlivostí práce nebo volbou nesprávné metody nebo přístroje. Není-li známa základní střední chyba souboru měření m , je možno ji nahradit empirickou střední chybou m určenou z většího počtu pozorování.

5.8.4. Největší přípustná střední chyba

Je-li předem známa základní hodnota střední chyby m , charakterizující přesnost metody, je

$$\text{možno stanovit pro empirickou střední chybu } m = \sqrt{\frac{[\mathcal{E}\mathcal{E}]}{n}}$$

$$\text{její kritické meze } m_m = \bar{m} \left(1 + \sqrt{\frac{2}{n}} \right)$$

5.8.5. Relativní chyba

Relativní chyba je poměr chyby k celkové velikosti dané veličiny $\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_i}{l_i}$

Je bezrozměrná a vyjadřuje chybu celého souboru veličin.

[11]

6. ČSN ISO 17123-2

6.1. Požadavky na měření

Před zahájením měření je důležité, aby měřič zjistil, zda je přesnost měřického vybavení vhodná pro zamýšlenou měřickou úlohu. Používáme stativy a nivelační latě, které doporučuje výrobce. Výsledky těchto testů jsou ovlivněny meteorologickými podmínkami, zejména gradientem teploty. Zatažená obloha a nízká rychlost větru zaručují nejpříznivější povětrnostní podmínky. Je třeba vzít v úvahu konkrétní podmínky, které se mohou lišit v závislosti na tom, kde jsou úkoly prováděny. Zvláštní pozornost je třeba věnovat aktuálním povětrnostním podmínkám v době měření a typu povrchu, nad kterým provádíme měření. Podmínky vybrané pro zkoušku by měly odpovídat těm očekávaným, v kterých budeme měřickou úlohu skutečně provádět. Testy prováděné v laboratořích by poskytly výsledky, které jsou téměř nedotčeny povětrnostními vlivy, ale náklady na tyto testy jsou velmi vysoké a proto nejsou dostupné pro většinu uživatelů. Navíc při laboratorních testech je dosažena mnohem vyšší přesnost, než jakou lze získat v polních podmínkách.

Tato část ČSN ISO 17123 popisuje dva různé terénní postupy. Provozovatel zvolí postup, který je vhodný pro požadavky konkrétního projektu.

6.2. Zjednodušený postup zkoušky

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

Takto definovaný zkušební postup je obvykle určen pro kontrolu přesnosti optických přístrojů, které se používají pro nivelační úlohy, kde je běžnou praxí měření na nestejně dlouhé vzdálenosti, např. budování staveniště.

Tento zjednodušený způsob je založen na omezeném počtu měření. Znamená to, že není možné získat směrodatnou odchylku. Pokud je nutné přesnější posouzení přesnosti v polních

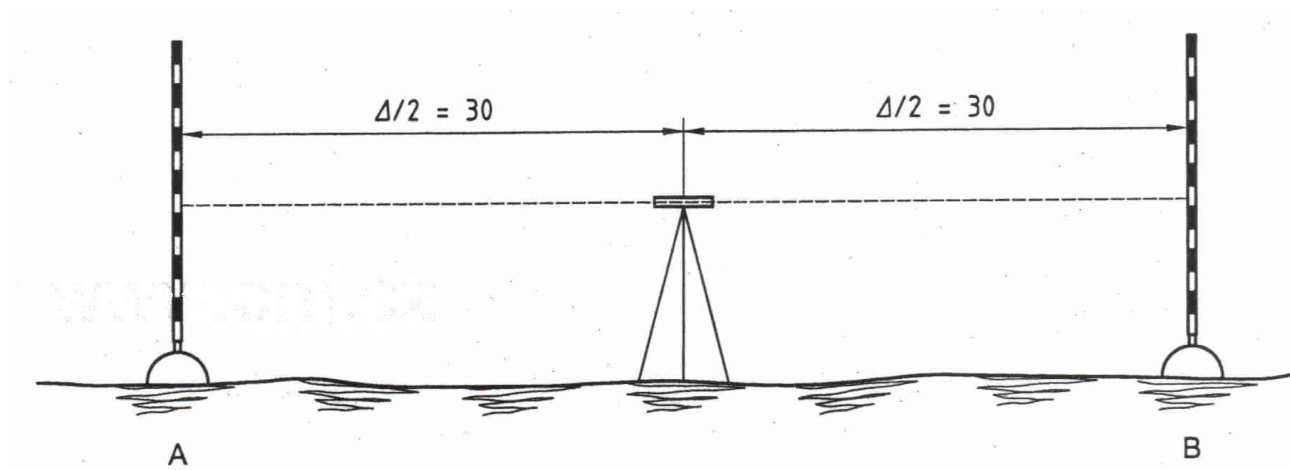
podmínkách, doporučuje se kompletní postup zkoušky. Postup závisí na stanovení výškového rozdílu mezi dvěma body, vzdálenými od sebe asi 60m, což je přijato jako skutečná hodnota. Rozdíl mezi naměřeným výškovým rozdílem při nestejně dlouhých záměrách a hodnotou přijatou jako správnou při stejně dlouhých záměrách označuje, zda přesnost splňuje danou povolenou odchylku s ohledem na účel měřické úlohy.

Měření

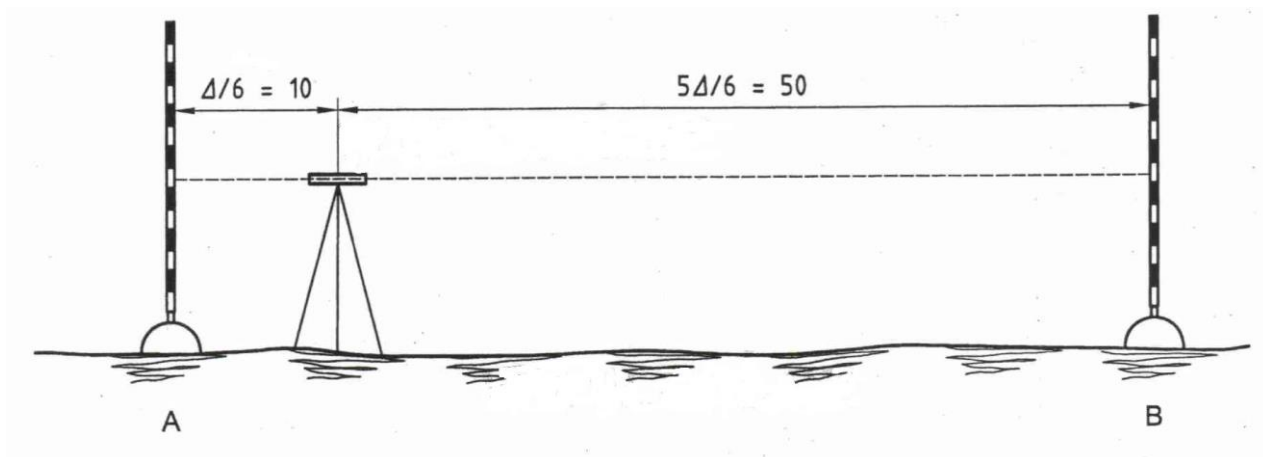
Před zahájením měření je třeba nechat přístroj temperovat na teplotu okolí. Potřebný čas je asi 2 minuty na teplotní rozdíl 1 stupeň Celsia. Kromě toho musí také měřič před zkouškou zkontrolovat chybu ze sklonu záměrné přímky.

Provádějí se dvě sady měření. V první sadě je přístroj umístěn přibližně ve stejné vzdálenosti mezi nivelačními body A a B (viz obr. č. 3). Toto umístění minimalizuje vliv refrakce a nevdorovnost záměrné osy. První sada 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.

V druhé sadě měření musí být stroj postaven přibližně ve vzdálenosti 10m od bodu A a 50 m od bodu B (viz obr. č. 4). Dalších deset měření musí být provedeno stejným způsobem jako je definováno u první sady měření.



Obr. č. 3: První postavení stroje pro zjednodušený postup zkoušky, vzdálenosti jsou udány v metrech (zdroj: ČSN ISO 17123-2)



Obr. č. 4: Druhé postavení stroje pro zjednodušený postup zkoušky, vzdálenosti jsou udány v metrech (zdroj: ČSN ISO 17123-2)

Výpočet

$$d_j = x_{A,j} - x_{B,j}; \quad j=1, \dots, 20 \quad (6.1)$$

kde d_j je rozdíl mezi čtením zpět, $x_{A,j}$, a čtením vpřed, $x_{B,j}$.

$$\bar{d}_1 = \frac{\sum_{j=1}^{10} d_j}{10} \quad (6.2)$$

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

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

$$r_j = \bar{d}_1 - d_j; \quad j=1, \dots, 10 \quad (6.3)$$

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).

$$\sum_{j=1}^{10} r_j = 0 \quad (6.4)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{10} r_j^2}{v}} \quad (6.5)$$

kde

$$\sum_{j=1}^{10} r_j^2 \quad \text{je součet druhých mocnin rozdílů } r_j \text{ z první sady měření}$$

$v=10-1=9$ odpovídá počtu stupňů volnosti

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

$$\overline{d}_2 = \frac{\sum_{j=11}^{20} d_j}{10} \quad (6.6)$$

kde d_2 je aritmetický průměr výškových rozdílů, d_j , z druhé sady měření.

Rozdíl $|\overline{d}_1 - \overline{d}_2|$ musí být ve stanovené přípustné odchylce $\pm p$ (v souladu s normou ISO 4463-

1) pro zamýšlenou měřickou úlohu. Pokud není p uvedeno, musí být rozdíl $|\overline{d}_1 - \overline{d}_2| < 2,5*s$,

kde s je vypočtená experimentální směrodatná odchylka.

V případě, že rozdíl $|\overline{d}_1 - \overline{d}_2|$ je příliš velký, svědčí to o nespolehlivosti měření na dlouhou vzdálenost (50m), která vyplývá z chyby ze čtení na lati, chyby z refrakce a chyby ze sklonu záměrné přímky.

V tomto případě:

- zkontrolujte chybu ze sklonu záměrné přímky podle pokynů výrobce;
- zkraťte maximální vzdálenost.

[12]

6.3. Výsledky zjednodušeného postupu zkoušky

Digitální nivelační přístroj DiNi22:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
j	$x_{A,j}$	$x_{B,j}$	d_j	r_j	r_j^2	j	$x_{A,j}$	$x_{B,j}$	d_j
	mm	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm
1	2564,2	1354,8	1209,4	-0,16	0,0256	11	2894,0	1684,5	1209,5
2	2549,3	1340,2	1209,1	0,14	0,0196	12	2903,8	1695,0	1208,8
3	2519,0	1309,6	1209,4	-0,16	0,0256	13	2917,8	1709,0	1208,8
4	2504,1	1295,0	1209,1	0,14	0,0196	14	2930,2	1720,8	1209,4
5	2483,8	1274,6	1209,2	0,04	0,0016	15	2941,5	1732,3	1209,2
6	2484,7	1275,3	1209,4	-0,16	0,0256	16	2911,1	1701,9	1209,2
7	2469,0	1259,9	1209,1	0,14	0,0196	17	2893,9	1684,9	1209,0
8	2481,2	1272,1	1209,1	0,14	0,0196	18	2908,2	1699,0	1209,2
9	2492,9	1283,6	1209,3	-0,06	0,0036	19	2917,9	1708,7	1209,2
10	2505,8	1296,5	1209,3	-0,06	0,0036	20	2929,6	1720,2	1209,4
	25054	12961,6	12092,4	0,00	0,164		29148	17056,3	12091,7

Vypočtená experimentální směrodatná odchylka dle (6.5) je 0,13mm. Rozdíl $|\bar{d}_1 - \bar{d}_2|$ je 0,07mm. Pro zjištění spolehlivosti měření na nestejně dlouhé vzdálenosti je dána podmínka $|\bar{d}_1 - \bar{d}_2| < 2,5*s$, kde s je vypočtená experimentální směrodatná odchylka. Po dosažení hodnot z našeho měření dostaneme nerovnost $0,07 < 0,325$, která je pravdivá, takže podmínka je splněna.

Sokkia C320:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
j	$x_{A,j}$	$x_{B,j}$	d_j	r_j	r_j^2	j	$x_{A,j}$	$x_{B,j}$	d_j
	mm	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm
1	2450	1240	1210	-0,6	0,36	11	2025	814	1211
2	2433	1223	1210	-0,6	0,36	12	2041	831	1210
3	2451	1242	1209	0,4	0,16	13	2019	808	1211
4	2470	1261	1209	0,4	0,16	14	1993	784	1209
5	2490	1281	1209	0,4	0,16	15	2044	834	1210
6	2424	1215	1209	0,4	0,16	16	1977	766	1211
7	2445	1236	1209	0,4	0,16	17	1994	786	1208
8	2467	1258	1209	0,4	0,16	18	2009	798	1211
9	2475	1265	1210	-0,6	0,16	19	2030	821	1209
10	2500	1290	1210	-0,6	0,36	20	2040	830	1210
	24605	12511	12094	0	2,4		20172	8072	12100

Vypočtená experimentální směrodatná odchylka dle (6.5) je 0,51mm. Rozdíl $|\bar{d}_1 - \bar{d}_2|$ je 0,60mm. Pro zjištění spolehlivosti měření na nestejně dlouhé vzdálenosti je dána podmínka $|\bar{d}_1 - \bar{d}_2| < 2,5*s$, kde s je vypočtená experimentální směrodatná odchylka. Po dosazení hodnot z našeho měření dostaneme nerovnost $0,60 < 1,29$, která je pravdivá, takže podmínka je splněna.

6.4. Kompletní postup zkoušky

Kompletní zkušební postup je třeba použít pro určení nejlepší míry přesnosti určitého stroje a jeho příslušenství v polních podmínkách a vyžaduje stejné délky záměr (maximální odchylka 10%). Jedná se o normální postup pro polní zkoušení strojů, které mají být použity pro přesnější měření, např. inženýrské stavitelství.

Doporučené délky záměr jsou 30m. Délky záměr větší než 30 m mohou být použity, pokud to vyžaduje specifický projekt, nebo k určení přesnosti měření přístroje na jednotlivé vzdálenosti.

Kompletní zkušební postup je založen pouze na stejných délkách záměr. Sklon záměrné přímky nelze tímto způsobem zjistit. Chyba ze sklonu záměrné přímky ale nemá vliv na směrodatnou odchylku.

Takto definovaný postup v ČSN ISO17123 je určen pro stanovení míry přesnosti pro užívání konkrétního stroje. Tato míra přesnosti se používá pro vyjádření experimentální směrodatné odchylky obousměrné nivelace na 1 km.

Statistické testy by měly být použity k určení zda experimentální směrodatná odchylka s , patří do stejného souboru pozorování jako teoretická směrodatná odchylka přístroje a , zda dva testované vzorky pocházejí ze stejného souboru měření a zda je indexová chyba nivelačních latí rovna nule.

Pro udržení minimálního vlivu refrakce by měla být vybrána přibližně vodorovná zkušební plocha. Dva nivelační body A a B, musí být zřízeny přibližně 60 m od sebe. Pro zajištění spolehlivých výsledků musí být nivelační latě ve stabilní pozici a spolehlivě fixovány během celé zkoušky včetně opakování měření.

Terén by měl být kompaktní a s jednotným povrchem. Pokud svítí slunce, musí být přístroj zastíněn, například slunečníkem.

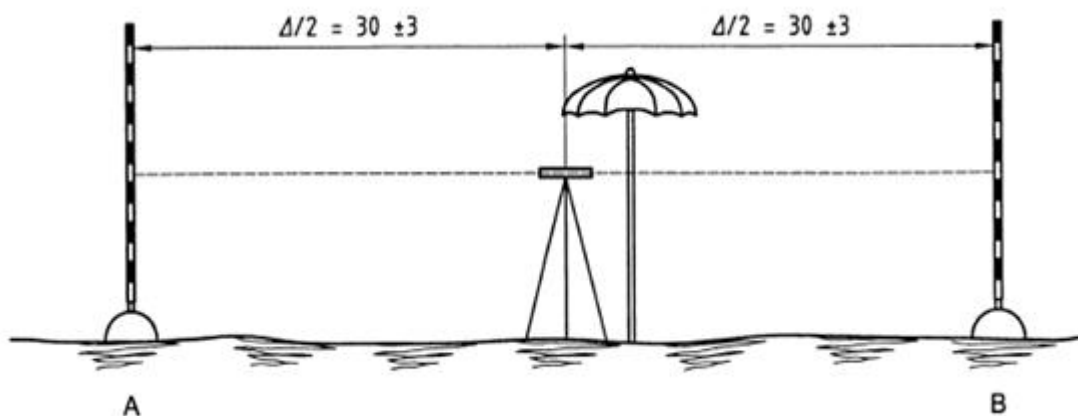
Stroj musí být postaven přibližně do stejné vzdálenosti mezi nivelační body, A a B ($A/2=30\text{m} \pm 3\text{m}$), pro snížení vlivu refrakce a nevodorovnosti záměrné osy (viz. obr. č. 5).

Měření

Před zahájením měření je třeba nechat přístroj temperovat na teplotu okolí. Potřebný čas je asi 2 minuty na teplotní rozdíl 1 stupeň Celsia. Kromě toho musí také měřič před zkouškou zkontrolovat chybu ze sklonu záměrné přímkou.

Při samotném provádění zkoušky se provádějí dvě sady měření. První sada se skládá z dvaceti párů hodnot, obsahující při každém měření jedno čtení zpět, $x_{A,j}$, na nivelační latě na bodě A, a jedno čtení vpřed, $x_{B,j}$, na nivelační latě na bodě B ($j=1, \dots, 20$). Mezi každou dvojicí hodnot musí být přístroj přestaven do trochu jiné polohy. Po deseti měření musí být čtení zpět a vpřed otočeno a provedeno dalších deset měření.

Potom musí být nivelační latě v bodech A a B vyměněny a postup se opakuje ještě dvacetkrát stejným způsobem jako u první sady měření.



Obr. č. 5: Konfigurace základny pro úplný test, vzdálenosti jsou udány v metrech (zdroj: ČSN ISO 17123-2)

Výpočet:

$$d_j = x_{A,j} - x_{B,j}; \quad j=1, \dots, 40 \quad (6.7)$$

kde d_j je rozdíl mezi čtením zpět, $x_{A,j}$, a čtením vpřed, $x_{B,j}$.

$$\bar{d}_1 = \frac{\sum_{j=1}^{20} d_j}{20} \quad (6.8)$$

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

$$\bar{d}_2 = \frac{\sum_{j=21}^{40} d_j}{20} \quad (6.9)$$

kde \bar{d}_2 je aritmetický průměr výškových rozdílů, d_j , z druhé sady měření.

Rozdíl:

$$\delta = \bar{d}_1 - \bar{d}_2 \quad (6.10)$$

Zbytek se vypočte takto:

$$r_j = \bar{d}_1 - d_j; \quad j=1, \dots, 20 \quad (6.11)$$

$$r_j = \bar{d}_2 - d_j; \quad j=21, \dots, 40 \quad (6.12)$$

kde r_j je zbytková hodnota z měřeného výškového rozdílu mezi nivelačními body A a B.

Jako aritmetická kontrola slouží, že součet zbytků ze sady 1 a sady 2 je nulový (s výjimkou chyby ze zaokrouhlení).

$$\sum_{j=1}^{20} r_j = 0 \quad (6.13)$$

$$\sum_{j=21}^{40} r_j = 0 \quad (6.14)$$

$$\sum_{j=1}^{40} r^2_j = \sum_{j=1}^{20} r^2_j + \sum_{j=21}^{40} r^2_j \quad (6.15)$$

kde $\sum_{j=1}^{40} r^2_j$ je součet druhých mocnin zbytkových hodnot r_j .

$$v = 2 \times (20 - 1) = 38 \quad (6.16)$$

kde v je počet stupňů volnosti.

Experimentální směrodatná odchylka s , platí pro výškový rozdíl měřený na vzdálenost 60m.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r^2_j}{v}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r^2_j}{38}} \quad (6.17)$$

$$s_{ISO-LEV} = \frac{s}{\sqrt{2}} \times \sqrt{\frac{1000m}{60m}} = s \times 2,89 \quad (6.18)$$

kde $s_{ISO-LEV}$ je experimentální směrodatná odchylka obousměrné nivelace na 1 km.

[12]

6.5. Výsledky kompletního postupu zkoušky

Digitální nivelační přístroj DiNi22:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
j	$x_{A,j}$	$x_{B,j}$	d_j	r_j	r_j^2	j	$x_{A,j}$	$x_{B,j}$	d_j	r_j	r_j^2
	mm	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	mm	mm
1	2564,2	1354,8	1209,4	-0,18	0,0324	21	1275,3	2484,7	-1209,40	0,21	0,046225
2	2549,3	1340,2	1209,1	0,12	0,0144	22	1259,9	2469,0	-1209,10	-0,09	0,007225
3	2519,0	1309,6	1209,4	-0,18	0,0324	23	1272,1	2481,2	-1209,10	-0,09	0,007225
4	2504,1	1295,0	1209,1	0,12	0,0144	24	1283,6	2492,9	-1209,30	0,12	0,013225
5	2483,8	1274,6	1209,2	0,02	0,0004	25	1296,5	2505,8	-1209,30	0,12	0,013225
6	2514,1	1304,9	1209,2	0,02	0,0004	26	1304,8	2514,0	-1209,20	0,02	0,000225
7	2538,6	1329,4	1209,2	0,02	0,0004	27	1315,3	2524,4	-1209,10	-0,08	0,007225
8	2556,3	1347,1	1209,2	0,02	0,0004	28	1326,7	2535,8	-1209,10	-0,08	0,007225
9	2573,3	1363,9	1209,4	-0,18	0,0324	29	1340,1	2549,5	-1209,40	0,22	0,046225
10	2589,0	1379,9	1209,1	0,12	0,0144	30	1347,7	2556,7	-1209,00	-0,19	0,034225
11	2600,4	1391,4	1209,0	0,22	0,0484	31	1357,5	2566,9	-1209,40	0,22	0,046225
12	2607,0	1398,1	1208,9	0,32	0,1024	32	1364,2	2573,4	-1209,20	0,02	0,000225
13	2600,1	1390,7	1209,4	-0,18	0,0324	33	1370,6	2579,9	-1209,30	0,12	0,013225
14	2580,2	1371,0	1209,2	0,02	0,0004	34	1383,5	2592,7	-1209,20	0,01	0,000225
15	2566,7	1357,6	1209,1	0,12	0,0144	35	1387,6	2596,9	-1209,30	0,12	0,013225
16	2552,3	1343,0	1209,3	-0,08	0,0064	36	1396,1	2605,1	-1209,00	-0,18	0,034225
17	2538,8	1329,2	1209,6	-0,38	0,1444	37	1405,9	2614,7	-1208,80	-0,39	0,148225
18	2525,3	1316,1	1209,2	0,02	0,0004	38	1388,5	2597,8	-1209,30	0,12	0,013225
19	2509,6	1300,4	1209,2	0,02	0,0004	39	1372,5	2581,5	-1209,00	-0,18	0,034225
20	2496,2	1287,0	1209,2	0,02	0,0004	40	1366,1	2575,3	-1209,20	0,02	0,000225
	50968,3	26783,9	24184,4	0,00	0,4920		26814,5	50998,2	-24183,70	0,00	0,4855

Rozdíl aritmetických průměrů výškových rozdílů z první a druhé sady měření dle (6.10) je 0,03 mm. Součet druhých mocnin zbytkových hodnot dle (6.15) je 0,98 mm. Podle 6.17 vypočteme směrodatnou odchylku $s = 0,16$ mm a z ní podle 6.18 vypočteme směrodatnou odchylku obousměrné nivelace na 1 km $s_{\text{ISO-LEV}} = 0,46$ mm.

Sokkia C320:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
j	$x_{A,j}$	$x_{B,j}$	d_j	r_j	r_j^2	j	$x_{A,j}$	$x_{B,j}$	d_j	r_j	r_j^2
	mm	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	mm	mm
1	2450	1240	1210	-0,50	0,25	21	1215	2424	-1209,00	-0,70	0,49
2	2433	1223	1210	-0,50	0,25	22	1236	2445	-1209,00	-0,70	0,49
3	2451	1242	1209	0,50	0,25	23	1258	2467	-1209,00	-0,70	0,49
4	2470	1261	1209	0,50	0,25	24	1265	2475	-1210,00	0,30	0,09
5	2490	1281	1209	0,50	0,25	25	1290	2500	-1210,00	0,30	0,09
6	2498	1288	1210	-0,50	0,25	26	1250	2460	-1210,00	0,30	0,09
7	2478	1267	1211	-1,50	2,25	27	1239	2449	-1210,00	0,30	0,09
8	2457	1248	1209	0,50	0,25	28	1220	2431	-1211,00	1,30	1,69
9	2442	1233	1209	0,50	0,25	29	1170	2379	-1209,00	-0,70	0,49
10	2427	1218	1209	0,50	0,25	30	1213	2422	-1209,00	-0,70	0,49
11	2411	1202	1209	0,50	0,25	31	1228	2438	-1210,00	0,30	0,09
12	2389	1181	1208	1,50	2,25	32	1235	2446	-1211,00	1,30	1,69
13	2411	1203	1208	1,50	2,25	33	1247	2456	-1209,00	-0,70	0,49
14	2425	1216	1209	0,50	0,25	34	1257	2468	-1211,00	1,30	1,69
15	2444	1234	1210	-0,50	0,25	35	1264	2474	-1210,00	0,30	0,09
16	2458	1248	1210	-0,50	0,25	36	1258	2467	-1209,00	-0,70	0,49
17	2447	1237	1210	-0,50	0,25	37	1246	2455	-1209,00	-0,70	0,49
18	2435	1225	1210	-0,50	0,25	38	1233	2444	-1211,00	1,30	1,69
19	2449	1238	1211	-1,50	2,25	39	1220	2429	-1209,00	-0,70	0,49
20	2462	1252	1210	-0,50	0,25	40	1186	2395	-1209,00	-0,70	0,49
	48927	24737	241901	0,00	13,0000		24730	48924	-24194,00	0,00	12,20

Rozdíl aritmetických průměrů výškových rozdílů z první a druhé sady měření (6.10) je 0,20 mm. Součet druhých mocnin zbytkových hodnot (6.15) je 25,20 mm. Podle 6.17 vypočteme směrodatnou odchylku $s = 0,81\text{mm}$ a z ní podle 6.18 vypočteme směrodatnou odchylku obousměrné nivelace na 1 km $s_{\text{ISO-LEV}} = 2,35\text{ mm}$.

6.6. Statistické testy

Statistické testy se doporučují a provádějí pouze pro kompletní postup zkoušky.

Pro interpretaci výsledků mohou být statistické testy použity, tak aby odpověděli na následující otázky:

a) Odpovídá výpočtem určená výběrová směrodatná odchylka s základní směrodatné odchylce σ určené výrobcem daného přístroje?

b) Patří experimentální směrodatné odchylky stanovené ze dvou různých sad měření, do stejného souboru pozorování, za předpokladu, že oba vzorky mají stejný počet stupňů volnosti, ν ?

Příčemž experimentální směrodatné odchylky, lze získat ze:

- dvou vzorků měření se stejným strojem, ale jiným měřičem
- dvou vzorků měření se stejným přístrojem v jiném čase
- dvou vzorků měření s jinými stroji

c) Je indexová chyba 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 $\nu=38$.

6.6.1. Test a)

Nulová hypotéza udává, zda výpočtem určená výběrová směrodatná odchylka s odpovídá základní směrodatné odchylce σ určené výrobcem daného přístroje. Nulová hypotéza není zamítnuta pokud je splněna následující podmínka:

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha}(\nu)}{\nu}} \quad (6.19)$$

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(38)}{38}} \quad (6.20)$$

$$\chi^2_{0,95}(38) = 53,38 \quad (6.21)$$

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{53,38}{38}} \quad (6.22)$$

$$s \leq \sigma \times 1,19 \quad (6.23)$$

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

6.6.2. Test b)

V případě dvou různých sad měření test ukazuje zda experimentální směrodatné odchylky, s a \tilde{s} , patří do stejného souboru pozorování. Odpovídající nulová hypotéza není zamítnuta, pokud je splněna následující podmínka:

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2}(\nu, \nu)} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{1-\alpha/2}(\nu, \nu) \quad (6.24)$$

$$\frac{1}{F_{0,975}(38,38)} \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq F_{0,975}(38,38) \quad (6.25)$$

$$F_{0,975}(38,38) = 1,91 \quad (6.26)$$

$$0,52 \leq \frac{s^2}{\tilde{s}^2} \leq 1,91 \quad (6.27)$$

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

6.6.3. Test c)

Hypotéza o rovnosti průměrů hodnot \bar{d}_1 a \bar{d}_2 (nulová hypotéza pro δ) není zamítnuta, pokud je splněna následující podmínka:

$$|\delta| \leq s_\delta \times t_{1-\alpha/2}(\nu) \quad (6.28)$$

$$|\delta| \leq s_\delta \times t_{0,975}(38) \quad (6.29)$$

$$s_\delta = \frac{s}{\sqrt{10}} \quad (6.30)$$

$$t_{0,975}(38) = 2,02 \quad (6.31)$$

$$|\delta| \leq \frac{s}{\sqrt{10}} \times 2,02 \quad (6.32)$$

$$|\delta| \leq s \times 0,64 \quad (6.33)$$

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

Počet stupňů volnosti, tedy odpovídající kritické hodnoty $\chi^2_{1-\alpha}(\nu)$, $F_{1-\alpha/2}(\nu, \nu)$ a $t_{1-\alpha/2}(\nu)$ se mění, pokud je analyzován jiný počet měření.

[12]

6.7. Výsledky statistických testů

Číselné hodnoty statistických testů pro stroj Sokkia C320:

Test a)

Dosazením hodnoty $S_{ISO-LEV}$ do (6.23) dostaneme nerovnost:

$$2,35 \leq 2,38 .$$

Nerovnost je splněna, proto nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu.

Test c)

Z (6.10) dostaneme výběrovou směrodatnou odchylku $s = 0,20$ mm, kterou dosadíme do (6.33) a dostaneme nerovnost:

$$0,20 \leq 2,02.$$

Z uvedených hodnot a především ze statistického testu a vyplývá, že experimentálně určená směrodatná odchylka odpovídá směrodatné kilometrové odchylce, kterou udává výrobce přístroje ($\sigma = 2,0$ mm). Z testu c můžeme usoudit, že indexová chyba dvojice použitých latí se rovná nule.

Číselné hodnoty statistických testů pro stroj DiNi 22:

Test a)

Dosazením hodnoty $S_{ISO-LEV}$ do (6.23) dostaneme nerovnost:

$$0,46 \leq 1,55 .$$

Nerovnost je splněna, proto nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu.

Test c)

Z (6.10) dostaneme výběrovou směrodatnou odchylku $s = 0,03$ mm, kterou dosadíme do (6.33) a dostaneme nerovnost:

$$0,03 \leq 0,29$$

Nerovnost je splněna, proto nemůžeme zamítnout nulovou hypotézu.

Z uvedených hodnot a především ze statistického testu a vyplývá, že experimentálně určená směrodatná odchylka odpovídá směrodatné kilometrové odchylce, kterou udává výrobce přístroje ($\sigma = 1,3$ mm). Z testu c můžeme usoudit, že indexová chyba dvojice použitých latí se rovná nule.

Porovnání obou přístrojů podle statistického testu b)

Porovnání přístrojů vychází z testu statistické hypotézy o rovnosti směrodatných odchylek. Po dosazení číselných hodnot do (3.11) dostáváme tuto nerovnost:

$$0,52 \leq 0,04 \leq 1,91$$

která neplatí, proto zamítáme nulovou hypotézu a přijímáme alternativní hypotézu. Z toho plyne, že soubor měřený digitálním přístrojem DiNi 22 a Sokkia C320 nepatří do stejného souboru pozorování, tj. přístroje by nebylo možné například v etapových měřeních zaměňovat.

7. Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabývala ověřováním nivelačních přístrojů podle normy ČSN-ISO17123-2 Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů – Část 2: Nivelační přístroje. Testován byl optický nivelační přístroj Sokkia C320 a digitální nivelační přístroj DiNi 22. Byly provedeny dva způsoby ověření, zjednodušený způsob a kompletní způsob.

Zjednodušený postup zkoušky je založen na menším počtu měření. Postup závisí na stanovení výškového rozdílu mezi dvěma body, vzdálenými od sebe asi 60m, což je přijato jako skutečná hodnota. Rozdíl mezi naměřeným výškovým rozdílem při nestejně dlouhých záměrech a hodnotou přijatou jako správnou při stejně dlouhých záměrech označuje, zda přesnost splňuje danou povolenou odchylku s ohledem na účel měřické úlohy. Pro zjištění spolehlivosti měření na nestejně dlouhé vzdálenosti je dána podmínka $|\overline{d}_1 - \overline{d}_2| < 2,5*s$, kde s je vypočtená experimentální směrodatná odchylka. Tuto podmínku oba nivelační přístroje splňují, proto mohou být použity pro měření na nestejně dlouhé vzdálenosti, např. na stavenišťích apod.

Kompletní zkušební postup je třeba použít pro určení nejlepší míry přesnosti určitého stroje a jeho příslušenství v polních podmínkách a vyžaduje stejné délky záměr. Toto je normální postup pro polní zkoušku nivelačních přístrojů, které mají být použity pro přesnější měření, např. inženýrské stavitelství.

Statistické testy byly použity k určení, zda experimentální směrodatná odchylka patří ke stejnému souboru pozorování jako teoretická směrodatná odchylka, zda dva testované datové soubory (sady měření) patří do stejného souboru pozorování a zda je indexová chyba nivelačních latí rovna nule.

Zkušební postup uvedený v této části ČSN ISO 17123 je určen pro stanovení míry přesnosti pro užívání konkrétního stroje. Tato míra přesnosti se používá pro vyjádření experimentální směrodatné odchylky obousměrné nivelace na 1 km. U obou strojů byly podmínky splněny a proto z uvedených hodnot a především ze statistického testu a vyplývá, že experimentálně určené směrodatné odchylky odpovídají směrodatným kilometrovým odchylkám, které udávají výrobci nivelačních přístrojů. Ze statistického testu c můžeme usoudit, že indexová chyba dvojice použitých latí se v obou případech rovná nule. Statistickým testem b bylo zjišťováno, že experimentální směrodatné odchylky, stanovené ze dvou různých vzorků měření, nepatří do stejného souboru pozorování. Z provedených testů bylo také zjištěno, že

testovaný digitální přístroj DiNi 22 má menší výběrovou směrodatnou odchylku obousměrné nivelace na 1 km než testovaný klasický nivelační přístroj Sokkia C320.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BLAŽEK, Radim, SKOŘEPA, Zdeněk: GEODÉZIE 30 Výškopis. ČVUT, Praha 1997. 93 s.
- [2] STREIBL, Jiří, PUKLOVÁ, Jitka. Geodézie - Přístroje, výpočty a rýsování. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 1989. 208 s.
- [3] MARŠÍK, Zbyněk, MARŠÍKOVÁ, Magdalena: Geodezie II. JU ZF, České Budějovice 2002. 123 s. ISBN 80-7040-546-5
- [4] Sokkia, Instrukce a návod pro používání nivelačního přístroje, nivelační přístroj C320,C300,C410
- [5] Zeiss-Trimble, Návod k přístroji Trimble DiNi 12/12T/22,
- [6] BLAŽEK, Radim, JANDOUREK, Jan. GEODEZIE Úpravy měřených veličin a výškopis. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 1991, 164 s. ISBN 80-01-00611-5
- [7] Zákon České republiky č. 139/2002 Sb., o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech a o změně zákona č.229/1991 Sb., o úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku, ve znění pozdějších předpisů
- [8] Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 13/2014 Sb., o postupu při provádění pozemkových úprav a náležitostech návrhu pozemkových úprav, v platném znění
- [9] NOVOTNÝ, Miroslav. GEODÉZIE A KARTOGRAFIE I. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 1995, 73 s., ISBN 80-7040-135-4
- [10] HÁNEK, Pavel, HÁNEK, Pavel, MARŠÍKOVÁ, Magdalena. Geodézie pro obor Pozemkové úpravy a převody nemovitostí. České Budějovice : Jihočeská univerzita, 2007. 88 s. ISBN 978-80-7040-971-8.
- [11] RATIBORSKÝ, Jan. Geodézie 10. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2000. 234 s. ISBN 80-01-02198-X.
- [12] ČSN ISO 17123-2. Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments. 2005

Seznam příloh

Příloha 1 Nivelační zápisníky (6xA4)

Příloha 1 Nivelační zápisníky

Zápisník pro technickou a plošnou nivelaci

Str.:

Číslo bodu	Čtení na lati			Nadmožská výška horizontu stroje	Nadmožská výška bodu		Poznámka
	přestavového	božného			přestavového	určeného božně	
1	2450		1240				2.11.2013
2	2433		1223				SOKKIA C 320 No: 322 827
3	2457		1242				ZATAŽENO, 10°C, 11:00
4	2470		1261				MĚŘIL: ANNA MIKOLAJČOVÁ
5	2490		1287				
6	2498		1288				
7	2478		1267				
8	2457		1248				
9	2442		1233				
10	2427		1218				
11	2411		1202				
12	2389		1181				
13	2411		1203				
14	2425		1216				
15	2444		1234				
16	2458		1248				
17	2447		1237				
18	2435		1225				
19	2449		1238				
20	2462		1252				

Zápisník pro technickou a plošnou nivelaci

Str.:

Číslo bodu		Čtení na lati			Nadmořská výška horizontu stroje	Nadmořská výška bodu		Poznámka
		přes- vového	bočního	vrad +		vřed -	bočné -	
21		1215						2.11. 2013
				2424				
22		1236						JOLKA C 320
				2445				NO: 322 827
23		1258						BATAŘEK 10°C
				2467				
24		1265						MĚŘIL: ANNA MIKOLAJOVA
				2475				
25		1290						
				2500				
26		1250						
				2460				
27		1239						
				2449				
28		1220						
				2431				
29		1170						
				2379				
30		1213						
				2422				
31		1224						
				2438				
32		1235						
				2446				
33		1247						
				2456				
34		1257						
				2468				
35		1264						
				2474				
36		1258						
				2467				
37		1246						
				2455				
38		1233						
				2444				
39		1220						
				2429				
40		1186						
				2395				

Zápisník pro technickou a plošnou nivelaci

Str.:

Číslo bodu	Čtení na lati			Nadmořská výška horizontu stroje	Nadmořská výška bodu		Poznámka
	přestavového	bočného	bočného		přestavového	určeného bočně	
	vad +	vřed -	bočné -				
1	2450	1240					2.11.2013
2	2433	1223					POKKA C 520 No: 322 821
3	2457	1242					ZATAŽENO, 10°C, 9:00
4	2470	1261					MĚŘIL: ARNA MIKOLAJOVA
5	2490	1281					
6	2424	1215					
7	2445	1236					
8	2467	1258					
9	2475	1265					
10	2500	1290					
11	2025	874					
12	2041	837					
13	2079	808					
14	1993	784					
15	2044	834					
16	1977	766					
17	1994	786					
18	2009	798					
19	2030	821					
20	2040	830					

Zápisník pro technickou a plošnou nivelaci

Str.:

Číslo bodu	Čtení na lati			Nadmořská výška horizontu stroje	Nadmořská výška bodu		Poznámka
	přestavového	božného			přestavového	určeného božně	
	vzad +	vpřed -	božně -				
1	25642	13578					TRIMBLE D.N. 22. (V.C. 05-3240)
2	25493	13402					JASNO, 12°C, 10.30
3	25790	13096					MĚČIL: ANNA MIKOLAJOVA
4	25047	12980					
5	24838	12776					
6	25747	13049					
7	25386	13294					
8	25563	13471					
9	25733	13639					
10	25890	13799					
11	26004	13914					
12	26070	13987					
13	26007	13907					
14	25802	13710					
15	25667	13576					
16	25523	13430					
17	25388	13292					
18	25253	13161					
19	25096	13004					
20	24962	12870					

Zápisník pro technickou a plošnou nivelaci

Str.:

Číslo bodu	Čtení na latí			Nadmořská výška horizontu stroje	Nadmořská výška bodu		Poznámka
	přesta- vového	bočného			přestavového	určeného bočně	
	vřad +	vřad -	bočné -				
21		12753					TRIMBLE D.I.V. 22.
			24847				(U.Č. 05-3240)
22		12599					
			24690				JASNO, 12°
23		12721					
			24812				MEŽIL ANNA MIKOLAJČOVÁ
24		12836					
			24929				
25		12965					
			25038				
26		13048					
			25740				
27		13153					
			25244				
28		13267					
			25358				
29		13401					
			25495				
30		13477					
			25567				
31		13535					
			25669				
32		13642					
			25734				
33		13706					
			25799				
34		13835					
			25927				
35		13876					
			25969				
36		13967					
			26057				
37		14059					
			26147				
38		13885					
			25938				
39		13725					
			25815				
40		13667					
			25753				

Zápisník pro technickou a plošnou nivelaci

Str.:

Číslo bodu	Čtení na lati			Nadmořská výška horizontu stroje	Nadmořská výška bodu		Poznámka	
	přestavového	bočného			vad +	vřed -		bočné -
1		25642						
			13548					
2		25493						
			13402					
3		25790						
			13096					
4		25041						
			12950					
5		24838						
			12746					
6		24847						
			12753					
7		24690						
			12599					
8		24812						
			12721					
9		24929						
			12836					
10		25058						
			12965					
11		28940						
			16845					
12		29038						
			16950					
13		29128						
			17040					
14		29302						
			17200					
15		29445						
			17323					
16		29117						
			17019					
17		28939						
			16849					
18		29082						
			16940					
19		29129						
			17027					
20		29296						
			17202					