

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta stavební**

**Studijní program: Geodézie a kartografie**

**Studijní obor: Geodézie a kartografie**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Tvorba programu pro opravu měření digitálního nivelačního  
přístroje na základě výstupu jeho systémové kalibrace**

Development of a software for digital level measurement correction according  
the output of its system calibration

Vedoucí diplomové práce: Ing. Zdeněk VYSKOČIL, Ph.D.

Katedra geomatiky, ČVUT v Praze

Praha, červen 2017

Bc. Pavla CHUMANOVÁ



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Chumanová</u>	Jméno: <u>Pavla</u>	Osobní číslo: <u>396897</u>
Zadávací katedra: <u>katedra geomatiky</u>		
Studijní program: <u>Geodézie a kartografie</u>		
Studijní obor: <u>Geodézie a kartografie</u>		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Tvorba programu pro opravu měření digitálního nivelačního přístroje na základě výstupu jeho systémové kalibrace.</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Development of a software for digital level measurement correction according the output of its system calibration.</u>	
Pokyny pro vypracování: 1. Analýza struktury datových výstupů použitých digitálních nivelačních přístrojů. 2. Vytvořte uživatelské programové prostředí pro načtení výstupu z programu DLSC (systémová kalibrace digitálního nivelačního přístroje). 3. Vytvořte program pro opravu souboru měření DNP na základě kalibrace. 4. Vytvořte program pro generování nivelačního zápisníku z datového souboru DNP.	
Seznam doporučené literatury: 1. M. Virius: Programování v C++ 2. Leica Geosystems: GSI ONLINE for Leica TPS and DNA 3. Trimble: Trimble DiNi Digital Level	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Zdeněk Vyskočil, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>13.10.2016</u> Termín odevzdání diplomové práce: <u>21.5.2017</u>	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Tvorba programu pro opravu měření digitálního nivelačního přístroje na základě výstupu jeho systémové kalibrace“ jsem vypracovala samostatně, podle pokynů vedoucího práce Ing. Zdeňka Vyskočila, Ph.D. Veškerá použitá literatura a další podkladové informační zdroje, ze kterých jsem čerpala, uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne .....

.....  
Bc. Pavla CHUMANOVÁ

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala panu Ing. Zdeňku Vyskočilovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce a jeho odborné rady a připomínky. Dále bych chtěla velice poděkovat panu Janu Šilhavému za jeho ochotný přístup a rady při řešení problémů u vzniku programu, Ing. Mariji Zípkové, Ing. Elišce Beránkové, Ing. Darje Gáborové a Ing. Lukáši Vaisovi za psychickou podporu. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině, spolužákům a kamarádům, kteří mě při psaní diplomové práce podporovali.

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá tvorbou programu na opravování nivelačního měření na základě výstupů jeho systémové kalibrace. V úvodní části je pozornost věnována struktuře datových formátů, které tvoří výstupy z digitálních nivelačních přístrojů. Jedná se o formát GSI, který je využíván přístroji firmy Leica a formátu DAT, který je výstupem přístrojů firmy Trimble. Dále je v práci zmínka o systémové kalibraci a dvou možných využitelných způsobech oprav nivelačního měření, a to buď opravou pomocí vypočteného měřítka nivelačního přístroje a lati, nebo zavedení opravy určené při provádění systémové kalibrace pro každou měřenou záměru zvlášť. Ve druhé polovině diplomové práce je popsána tvorba programu a jeho uživatelský manuál. Na konci je provedeno testování, zda je nutné zavádět výstupy ze systémové kalibrace do měření nivelačních pořadů. Výsledkem je tedy program, který načítá soubory ve formátu GSI a DAT a opravuje jejich nivelační měření o výstupy ze systémové kalibrace a generuje nivelační zápisník.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Nivelační měření, systémová kalibrace, software, formát GSI a DAT

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the creation of a software, which repairs leveling data based on the outputs of the system calibration. In the first part the thesis focuses on the structure of the data formats that make up the outputs of digital levels. This is the GSI format, which is used on products from Leica company and DAT format, which is the output equipment from Trimble. The thesis further mentions the system calibration and two possible repair methods of leveling data. It can be repaired either by using the calculated scaling leveling instrument and lath or by introducing a correction for the implementation of system calibration for each measured separately intent. There is the creation of the program and its user manual described in the second part of the thesis. At the end when the testing is done, it is necessary to implement the outputs from the system calibration to leveling measurement programs. The result is a program that retrieves GSI format files and DAT and corrects the leveling of the outputs from the system calibration and generates leveling block.

## **KEYWORDS**

Leveling data, system calibration, software, GSI and DAT format

# Obsah

1. Úvod.....	9
1.1 Cíle diplomové práce .....	10
2. Navázání na předchozí absolventské práce .....	11
3. Analýza struktury datových výstupů použitých nivelačních přístrojů.....	12
3.1 Formát GSI.....	12
3.1.1 Typ formátu GSI-8 .....	14
3.1.2 Formát GSI-8 – měřické programy.....	16
3.2 Formát DAT .....	18
4. Systémová kalibrace .....	22
4.1 Význam systémové kalibrace nivelačních měřidel .....	22
4.2 Horizontální komparátor .....	23
4.3 Postup systémové kalibrace .....	24
4.4 Zpracování měření a výpočet měřítka .....	24
4.5 Oprava nivelačního měření pomocí absolutních naměřených odchylek .....	25
5. Vznik programu .....	27
6. Uživatelský manuál programu.....	29
6.1 Volba datového formátu .....	29
6.2 Načtení a zavření souboru.....	30
6.3 Výběr ze seznamu nivelačního měření .....	30
6.4 Informace o zvoleném nivelačním pořadu.....	31
6.5 Volba opravy nivelačního měření .....	31
6.5.1 Oprava měřítkem.....	32
6.5.2 Oprava z výstupu kalibrace .....	33
6.6 Uložení dat .....	34
6.7 Ukázka typu výstupů PDF a CSV .....	35
7. Testování nivelačního měření.....	39
7.1 Určení vlivu výstupů z kalibrace na nivelační pořad .....	39
7.2 Zhodnocení výsledků.....	41
7.3 Grafy .....	42

7.4 Testování oprav pomocí stabilního převýšení mezi dvěma body .....	47
7.5 Zhodnocení výsledků .....	48
8. Závěr .....	49
Použité zdroje .....	53
Seznam obrázků .....	54
Seznam tabulek .....	56
Seznam příloh .....	57
Elektronická příloha .....	58





---

# 1. Úvod

Doba, ve které žijeme, je velmi rychlá. Všechny technologie jdou svými funkcemi kupředu, a co je dnes aktuální, je zítra již zastaralé. Uživatelé si žádají pracovat s programy a s přístroji, které mají jednoduché ovládání, jsou kvalitní, finančně nenáročné a snadno dostupné. Při dokončení mé bakalářské práce na téma „Systémové kalibrace digitálních nivelačních přístrojů a analýza přesnosti“ vznikl nápad na vytvoření programu, který by opravoval elektronické výsledky nivelačního měření pomocí výstupů jeho systémové kalibrace.

Nivelační přístroje pro přesnou nivelaci, se kterými jsou měřeny v geodézii výškové rozdíly v terénu, mohou dosahovat velmi přesných výsledků. Společně s přístroji získáváme i informaci o jejich přesnosti. Tento údaj se ale postupem času, kdy přístroj používáme k měření, mění kvůli jeho opotřebování a dochází tak k postupnému snížení přesnosti zjišťované veličiny. Proto se po určitém časovém úseku musejí dávat pravidelně nivelační přístroje ke kalibraci a stanovovat tak opravy k udávaným hodnotám výrobcem. Geodetické firmy získají k nivelačnímu přístroji kalibrační protokol a mohou tak deklarovat přesnost dosaženého výsledku.

V dnešní době se při měření digitálním nivelačním přístrojem prakticky již nesetkáme s papírovou formou nivelačního zápisníku. Všechny výstupy měření jsou exportovány v určitém zvoleném formátu elektronicky do počítače. Stejný případ je i u výstupu textového souboru z provedené systémové kalibrace, čímž se dostáváme k problematice, kterým se zabývá tato práce.

Diplomová práce pojednává o vytvoření programu, který by opravoval měření z digitálního nivelačního přístroje na základě výstupu jeho systémové kalibrace. Data z nivelačních měření byla použita pro tři různé digitální přístroje, se kterými je možné se běžně setkat při výuce na ČVUT. Byly vybrány tyto typy nivelačních přístrojů: Leica NA 3003 a Leica DNA03, u kterých jsou měřená data exportována ve formátu GSI a přístroj Trimble DiNi 12, u kterého jsou měřená data exportována ve formátu DAT.



V úvodní části této práce bude ve zkratce navázáno na předchozí absolventské práce, ze kterých jsem měla možnost vycházet a čerpat potřebné informace. Dále zde bude analyzována struktura datových formátů, které byly používány v diplomové práci. To znamená stručné představení a popsání použitých výstupů surových naměřených dat, které byly vyexportovány z digitálních nivelačních přístrojů do počítače.

V další části bude popsána systémová kalibrace a dva možné způsoby na opravu nivelačního měření. Dále bude popsána tvorba programu na opravu výsledků nivelačního měření, uživatelský manuál vytvořeného programu a popis jeho funkcí. Na konci bude provedeno testování, zda je nutné zavádět opravu výsledku systémové kalibrace do nivelačního měření.

Nejsem si vědoma toho, že by byl někde vytvořen obdobný program, který by současně zpracovával a opravoval výstupy z nivelačního měření o výstupy ze systémové kalibrace. Z řad vyučujících vím, že po takovém programu volají a byl by o něj velký zájem. Myslím si tedy, že zvolení tohoto tématu k diplomové práci bude zajímavá zkušenost a přínos jak pro mě, tak pro okolí, které by jej mohlo používat.

## **1.1 Cíle diplomové práce**

Pro svoji diplomovou práci jsem si vytyčila tyto cíle:

- Navázání na předchozí absolventské práce, ze kterých jsem měla možnost vycházet a čerpat potřebné informace.
- Analýza struktury datových výstupů použitých digitálních nivelačních přístrojů
- Vytvoření uživatelského programového prostředí pro načtení výstupu z programu DLSC (systémové kalibrace digitálního nivelačního přístroje)
- Vytvoření programu pro opravu souboru měření DNP na základě kalibrace
- Vytvoření programu pro generování nivelačního zápisníku z datového souboru DNP



---

## **2. Navázání na předchozí absolventské práce**

Diplomová práce navazuje na problematiku mé bakalářské práce (2014), která zkoumala kalibraci zvolených nivelačních přístrojů a nivelačních latí s čárovým kódem. Byla prováděna systémová kalibrace a určováno u nich měřítko jednotlivých přístrojů s latí pro zavedení opravy. Dále byl sledován vliv na kalibraci při změně kroků na úseku lati, zjišťována přesnost čtení digitálních nivelačních přístrojů při opakovaném měření na stejnou výšku a určována správná funkčnost kompenzátorů při použití naklápěcího zařízení.

Dalším zdrojem informací pro mě byla bakalářská práce Ing. Jaromíra Rokuska, která pojednávala o zpracování nivelačních měření ve formátu Leica GSI.

Použití těchto zdrojů mi ulehčilo tvorbu a psaní této diplomové práce a pomohlo mi vyvarovat se problémům, které by mohly u tvorby programu nastat. Z výsledků testů, které byly provedeny v bakalářské práci, bylo zvoleno vhodné nastavení vstupních dat do programu systémové kalibrace a s těmito výstupy pak bylo dále nakládáno v této práci.



## 3. Analýza struktury datových výstupů použitých nivelačních přístrojů

Výsledky z nivelačních měření je vždy potřeba zapsat a uložit do určitého datového formátu, to znamená přenést naměřená data z paměti nivelačního přístroje do počítače ve vhodném a čitelném formátu. Jelikož existují různé typy digitálních nivelačních přístrojů, které vyrábí různé firmy zabývající se výrobou geodetických přístrojů, existují tak i různé typy datových formátů, do kterých lze zapsat nivelační měření. Tyto datové formáty si vyvíjejí firmy samostatně, což znamená, že si jednotlivě mezi sebou neodpovídají a nejsou stejné. Pokud by chtěl uživatel zpracovávat nivelační měření v takto uložených formátech sám, je nutné, aby byl seznámen s tím, jakým způsobem jsou měření zapsána a uložena z přístroje do počítače. Ve většině případech se totiž jedná o nesrozumitelné a nečitelné formáty souborů, které se skládají z různých kódů a zkratk. Tento problém se snaží vyřešit firmy tím, že je společně s datovým formátem vyvinut i příslušný software, který je určen k jeho zpracování. Tento software ale bývá zpoplatněn a nedodává se v základním příslušenství k přístroji. V našem případě byly zvoleny dva typy formátů, a to formát GSI a formát DAT z toho důvodu, že se s těmito formáty lze setkat při výuce ve škole. V této kapitole proto dojde k jejich stručnému představení.

### 3.1 Formát GSI

GSI neboli Geo Serial Interface je datový formát, který je vytvořen společností Leica Geosystems a je nainstalován tedy ve všech nivelačních přístrojích, které tato firma vyrobila. Ke zpracování nivelačních měření, která jsou uložena v tomto formátu, byl vyvinut společností Leica Geosystems software. Jedná se o placený software s názvem Leica Geo Office (LGO). Pokud si tento software uživatel není schopen zakoupit, pak bude velmi těžce zpracovávat měřená data zapsaná ve formátu GSI. Zpracování takového souboru by bylo možné snad jen ručně s otevřeným návodem, ve kterém by bylo popsáno, co který kód a číslo v souboru znamenají. Ve formátu GSI jsou data ukládána do řádků (neboli vět) a ty jsou rozděleny dále na slova. Věta pak může vypadat například takto:



```
110003+00009001 32...8+02969436 331.28+00147252 390...+00000002 391.28+00000006
```

Obr. 3. 1: Formát GSI-8 – uložení znaků ve větě

Tato věta je složená z pěti slov a každé slovo obsahuje dvě části. První část je utvořena ze šesti znaků před znaménkem „+“ nebo „-“ a osmi znaků za znaménkem (jedná se o typ GSI-8). GSI formát může být ukládán dvěma způsoby. První způsob je GSI-8 a druhý je GSI-16. Pokud bychom měli GSI-16, pak by za znaménkem „+“ nebo „-“ bylo uvedeno 16 znaků (viz Obr. 3.2).

```
*110633+00000000000000101 32...8+0000000002446649 331.28+000000000145279
```

Obr. 3. 2: Formát GSI-16 – uložení znaků ve větě

Pro typ GSI-8 je charakteristické mít uvedeno 16 znaků ve slově a pro typ GSI-16 je charakteristické mít uvedeno 24 znaků ve slově. Počet znaků ve slově je vždy stejný. Největším rozdílem mezi těmito dvěma typy je tedy počet znaků ve slově a znak „\*“ na začátku řádku u formátu GSI-16 (viz Obr. 3.3 a Obr. 3.4).

```
|<---slovo 1--->|<---slovo 2 --->|<---slovo 3--->|  
1234567890123456 (16 charakteristických znaků)  
  
110001+0000A110 32...8+02505387 330.08+00125972  
110002+0000A111 32...8+02637586 330.08+00143031  
110003+0000A112 32...8+02594636 330.08+00163780
```

Obr. 3. 3: Formát GSI-8 – ukázka slova v řádku

```
|<----- slovo 1----->|<----- slovo 2 ----->|<----- slovo 3----->|  
123456789012345678901234 (24 charakteristických znaků)  
  
*110004+0000000000000001 32...8+0000000003417147 331.08+000000000147534  
*110005+0000000000000P355 32...8+0000000003417147 333.08+0000000000269405  
*110006+0000000000000P355 83..08+0000000041269345
```

Obr. 3. 4: Formát GSI-16 – ukázka slova v řádku

Pro soubory s nivelačním měřením použitým v této diplomové práci byl využíván pouze typ GSI-8.



### 3.1.1 Typ formátu GSI-8

```
410001+?......2
110002+00009001 83..58+00000000
110003+00009001 32...8+02969436 331.28+00147252 390...+00000002 391.28+00000006
110004+00000001 32...8+03080488 332.28+00128678 390...+00000003 391.28+00000006
110005+00000001 32...8+03081071 336.28+00128694 390...+00000003 391.28+00000005
110006+00009001 32...8+02969898 335.28+00147248 390...+00000002 391.28+00000003
110007+00000001 571.28+00000020 572.28+00000020 573..8-00111112 574..8+06050447 83..28+00018564
11008+00000001 32...8+01769652 331.28+00239597 390...+00000002 391.28+00000002
110009+00000002 32...8+01746019 332.28+00044797 390...+00000004 391.28+00000005
110010+00000002 32...8+01745284 336.28+00044802 390...+00000003 391.28+00000002
110011+00000001 32...8+01769550 335.28+00239596 390...+00000002 391.28+00000002
110012+00000002 571.28+00000006 572.28+00000026 573..8-00087162 574..8+09565699 83..28+00213362
110013+00000002 32...8+01864809 331.28+00234962 390...+00000002 391.28+00000003
110014+00000003 32...8+01945580 332.28+00060224 390...+00000003 391.28+00000002
110015+00000003 32...8+01945086 336.28+00060232 390...+00000002 391.28+00000003
110016+00000002 32...8+01865122 335.28+00234971 390...+00000002 391.28+00000000
110017+00000003 571.28-00000000 572.28+00000025 573..8-00167530 574..8+13375998 83..28+00388100
```

Obr. 3. 5: Měřená data ve formátu GSI-8

Jak je uvedeno v odstavci výše, ve formátu GSI jsou data ukládána do řádků (vět) a ty jsou rozděleny na slova (viz Obr. 3.5). První tři znaky ve slově před znaménkem popisují, o jakou měřenou nebo zadanou veličinu se ve slově jedná a určují význam jednotlivých slov. Tato informace je ukryta ve dvou nebo třímístných kódech. Na čtvrté pozici je vždy umístěna nula nebo tečka. Tyto znaky jsou prázdné a nic neznamenají. Na páté pozici je informace o tom, zda byla hodnota měřená nebo zadaná a zda byla měřená nebo zadaná s korekcí ze zakřivení Země nebo bez korekce. Na šesté pozici je informace o tom, v jakých jednotkách byla hodnota měřena a na kolik desetinných míst je uvedena. Měřené hodnoty nejsou uvedeny s desetinnou tečkou, a proto je tato informace důležitá pro další zpracovávání. Poté následuje znaménko „+“ nebo „-“, které informuje o tom, zda hodnota nabývá kladné nebo záporné velikosti. Zbývající znaky ve slově obsahují naměřená data. Pro větší přehlednost byla vytvořena tabulka s jednotlivými vysvětlivkami, jaká hodnota se nachází na určité pozici:



Tab. 3. 1: Tabulka s hodnotami, které mohou být na určité pozici v řádku

<b>Pozice 1 - 3</b>	Číselný kód určující význam vět
<b>Pozice 4</b>	Prázdná pozice (0 nebo .)
<b>Pozice 5</b>	Informace o způsobu určení hodnoty a zavedení korekce ze zakřivení Země
	0 = měřená hodnota, bez korekce zakřivení
	1 = zadaná hodnota, bez korekce zakřivení
	2 = měřená hodnota, s korekcí zakřivení 5 = zadaná hodnota, s korekcí zakřivení
<b>Pozice 6</b>	Jednotky, počet desetinných míst
	6 = metry, 4 desetinná místa
	1 = stopy, 3 desetinná místa
	0 = metry, 3 desetinná místa
	7 = stopy, 4 desetinná místa
8 = metry, 5 desetinných míst	
<b>Pozice 7</b>	Kladná nebo záporná hodnota (+ nebo -)
<b>Pozice 8 - 15</b>	Naměřená data
<b>Pozice 16</b>	Mezera

Kódy umístěné na pozici 1 – 3, které mohou být dvoumístné nebo trojmístné přinášejí informaci o významu věty, jestli se jedná například o číslo bodu, čtení na lati vzad, čtení na lati vpřed, atd. Pro lepší představu byla vytvořena tabulka s vybranými kódy, které jsou využity v našem programu. Nejedná se tedy o výpis všech kódů, ale jen o výpis vybraných kódů (zbytek kódů lze snadno dohledat zde [3]):

Tab. 3. 2: Tabulka s vybranými kódy v souboru GSI

<b>Kód</b>	<b>Vysvětlení kódu</b>
11	Číslo bodu
32	Vodorovná vzdálenost od přístroje k lati
331	Čtení na lati vzad
332	Čtení na lati vpřed
335	2. čtení na lati vzad
336	2. čtení na lati vpřed
333	Čtení na lati bočně
41	Označení začátku nového měření – spuštění programu nivelace
574	Celková délka pořadu
83	Výška bodu (měřená nebo nastavená na počátku měření)



### 3.1.2 Formát GSI-8 – měřické programy

Mezi poslední důležité informace, které mohou být získány z formátu GSI, patří informace o zvoleném postupu čtení záměr v nivelačním pořadu. Ještě před tím, než začneme měřit nivelační pořad, musí být v nastavení určen měřicí program. V nabídce měřících programů je na výběr z více možností, ale v našem případě použijeme pouze program s klasickým postupem měření „VZAD-VPŘED“ a program „VZAD-VPŘED-VPŘED-VZAD“, díky kterému jsou odečítány na jednom stanovisku hodnoty dvakrát, jak na lati vzad, tak i na lati vpřed. Protože jsou typy měřících programů v manuálu označeny anglicky, i v této práci budou označeny obdobným způsobem. Nejedná se tedy o měřicí program „VZAD-VPŘED“, ale o „BACKSIGHT-FORESIGHT“, kde je pro označení používána zkratka „BF“. A dále se nejedná o měřicí program „VZAD-VPŘED-VPŘED-VZAD“, ale o „BACKSIGHT-FORESIGHT-FORESIGHT-BACKSIGHT“, kde je pro označení používána zkratka „BFFB“. Informace o zvoleném typu měřického programu je obsažena vždy na první řádce ze souboru započatého nového nivelačního měření (řádek začínající kódem 41) v hodnotě posledního znaku (viz Tab. 3.3).

Tab. 3. 3: Rozdíl mezi kódy označující měřický program „BF“ nebo „BFFB“

Kód	Vyvětlení kódu
410000+?.....1	měřický program BF
410000+?.....2	měřický program BFFB

Při provádění nivelačního měření (metodou přesné, velmi přesné nebo zvláště přesné nivelace) v České státní nivelační síti je předepsaný postup měření, který ukládá, že první záměra na lať musí být měřena na bod, který je v postupu měření označen jako měření „VZAD“. Nelze proto použít jiné měřické metody, jejichž první záměra by byla měřena na lať, která je postavena na bodě „VPŘED“ [3].





Ukázka z GSI souboru nivelačního měření postupem BF:

```
410631+?......1
110632+00000101 83..58+00000000
110633+00000101 32...8+02446649 331.28+00145279 390...+00000002 391.28+00000004
110634+00000102 32...8+02372738 332.28+00149234 390...+00000003 391.28+00000004
110635+00000102 573..8+00073912 574..8+04819387 83..28-00003955
110636+00000102 32...8+02897812 331.28+00132725 390...+00000002 391.28+00000004
110637+00000103 32...8+02265634 332.28+00150579 390...+00000003 391.28+00000004
110638+00000103 573..8+00706090 574..8+09982833 83..28-00021810
110639+00000103 32...8+02771729 331.28+00156542 390...+00000002 391.28+00000002
110640+00000104 32...8+02211414 332.28+00148091 390...+00000002 391.28+00000002
110641+00000104 573..8+01266404 574..8+14965976 83..28-00013358
110642+00000104 32...8+00666255 331.28+00154007 390...+00000002 391.28+00000001
110643+00004003 32...8+00267307 333.28+00175167 390...+00000002 391.28+00000000
110644+00004003 83..28-00034518
110645+00004004 32...8+00909859 333.28+00186109 390...+00000004 391.28+00000002
110646+00004004 83..28-00045460
110647+00004005 32...8+00846729 333.28+00184657 390...+00000002 391.28+00000002
110648+00004005 83..28-00044009
```

Obr. 3. 6: Ukázka souboru GSI-8 měřená nivelačním programem „BF“

Ukázka z GSI souboru nivelačního měření postupem BFFB:

```
410095+?......2
110096+00008002 83..58+00000000
110097+00008002 32...8+02923416 331.28+00129839
110098+00000018 32...8+02982856 332.28+00159756
110099+00000018 32...8+02983033 336.28+00159759
110100+00008002 32...8+02922174 335.28+00129856
110101+00000018 571.28-00000015 572.28-00000015 573..8-00060149 574..8+05905740 83..28-00029910
110102+00000018 32...8+02967071 331.28+00139119
110103+00000019 32...8+02970653 332.28+00151970
110104+00000019 32...8+02969734 336.28+00151988
110105+00000018 32...8+02967327 335.28+00139102
110106+00000019 571.28+00000035 572.28+00000021 573..8-00063144 574..8+11843132 83..28-00042779
110107+00000019 32...8+02982420 331.28+00153397
110108+00000020 32...8+02971851 332.28+00152542
110109+00000020 32...8+02972905 336.28+00152527
110110+00000019 32...8+02980536 335.28+00153378
110111+00000020 571.28+00000005 572.28+00000025 573..8-00054044 574..8+17796988 83..28-00041927
```

Obr. 3. 7: Ukázka souboru GSI-8 měřená nivelačním programem „BFFB“





Z Obr. 3.8 je vidět, jakým způsobem je vyexportovaný soubor rozčleněn a uspořádán. První řádek obsahuje informaci s názvem souboru, druhý a třetí řádek informaci o použitých jednotkách, atd. V tomto případě nemusí být popisován celý soubor, jako tomu bylo u formátu GSI. Je to z toho důvodu, že orientace v něm je velmi snadná a z obrázku snadno odvoditelná. Spuštění programu nivelace a současný začátek měření nivelačního pořadu je uveden na řádku číslo devatenáct s názvem „Pocatek poradu“ společně s typem zvoleného měřicího programu „ZV“. Díky českým popiskům zde není označen způsob postupu měření anglicky jako u formátu GSI („BF“), ale česky „ZV“ („vzad-vpřed“). Jednotlivá měření nivelačních záměr jsou poté postupně ukládána do následujících řádků. Boční záměry jsou zde označeny názvem „Vlozene zamery“, konec měření bočních záměr jako „Konec vlozených zamer“ a ukončení měření nivelačního pořadu jako „Konec poradu“.

Také v tomto souboru se setkáme s určitými kódy, které nás informují, jaký typ měřené veličiny je na řádku obsažen. V tomto souboru nejsou kódy vyjádřeny číselně, jako je tomu u formátu GSI, ale jsou utvořeny a označeny písmeny. Pro snadnější orientaci byla vyhotovena tabulka s uvedením kódu a jeho vysvětlením (nejedná se opět o výpis všech kódů, ale jen o vybraný seznam, se kterým se setkáváme nejčastěji):

Tab. 3. 4: Tabulka s vybranými kódy v souboru DAT

<b>Kód</b>	<b>Vysvětlení kódu</b>
Rb	Čtení na lati vzad
Rf	Čtení na lati vpřed
Rz	Boční záměra
HD	Délka záměry
Db	Celková délka záměr vzad v rámci nivel. pořadu
Df	Celková délka záměr vpřed v rámci nivel. pořadu
Sh	Výškový rozdíl nivelačního pořadu
Z	Výška bodu



Měřicí programy jsou zde obdobné jako u datového formátu GSI. V tomto případě je rozdíl pouze v jejich značení, kde u formátu GSI je používána anglická zkratka „BF“ a „BFFB“ a u formátu DAT je v tomto případě používána česká zkratka „ZV“ a „ZVVZ“. Obě zkratky ale znamenají stejné označení pro postup nivelačního měření u zvoleného typu programu. Při exportování měřených dat z přístroje může být použita jak česká verze výstupu měření, tak anglická verze výstupu měření s anglickým označením použitého typu měřického programu [4].

#### Ukázka z DAT souboru nivelačního měření postupem ZV:

For M5 Adr	19 TO	Pocatek poradu	ZV	33						
For M5 Adr	20 KD1	101 3		33					Z	100.00000 m
For M5 Adr	21 KD1	101 3	12:32:422	33 Rb	1.37938 m	HD	5.97 m			
For M5 Adr	22 TO	Vlozene zamery		33						
For M5 Adr	23 KD1	4	DD 12:33:162	33 Rz	0.35247 m	HD	4.07 m	Z		101.02691 m
For M5 Adr	24 KD1	2	DD 12:33:572	33 Rz	0.35599 m	HD	5.46 m	Z		101.02339 m
For M5 Adr	25 TO	Konec vlozenych zamer		33						
For M5 Adr	26 KD1	102 4124	12:34:262	33 Rf	1.38945 m	HD	5.87 m			
For M5 Adr	27 KD1	102 4124	12:34:28	33				Z		99.98993 m
For M5 Adr	28 KD1	102 4124	12:37:422	33 Rb	1.37133 m	HD	9.27 m			
For M5 Adr	29 TO	Vlozene zamery		33						
For M5 Adr	30 KD1	5	DD 12:38:502	33 Rz	0.33467 m	HD	2.72 m	Z		101.02659 m
For M5 Adr	31 TO	Konec vlozenych zamer		33						
For M5 Adr	32 KD1	103 4124	12:39:412	33 Rf	1.36628 m	HD	8.96 m			
For M5 Adr	33 KD1	103 4124	12:39:41	33				Z		99.99498 m
For M5 Adr	34 KD1	103 4124	12:41:142	33 Rb	1.36752 m	HD	5.99 m			
For M5 Adr	35 KD1	104 4124	12:42:052	33 Rf	1.37475 m	HD	6.08 m			
For M5 Adr	36 KD1	104 4124	12:42:05	33				Z		99.98775 m
For M5 Adr	37 KD1	104 4124	12:43:512	33 Rb	1.37028 m	HD	4.14 m			
For M5 Adr	38 TO	Vlozene zamery		33						
For M5 Adr	39 KD1	6	DD 12:44:222	33 Rz	0.31299 m	HD	4.84 m	Z		101.04504 m
For M5 Adr	40 KD1	7	DD 12:45:002	33 Rz	0.30909 m	HD	4.53 m	Z		101.04894 m
For M5 Adr	41 TO	Konec vlozenych zamer		33						

Obr. 3. 9: Ukázka souboru DAT měřená nivelačním programem „ZV“



Ukázka z DAT souboru nivelačního měření postupem ZVVZ:

For M5 Adr	1234 TO	Pocatek poradu	ZVVZ	71					
For M5 Adr	1235 KD1	506 4110		71				Z	0.00000 m
For M5 Adr	1236 KD1	506 4110	11:41:322	71 Rb	1.81566 m	HD	11.28 m		
For M5 Adr	1237 KD1	1 4124	11:42:152	71 Rf	1.21111 m	HD	10.23 m		
For M5 Adr	1238 KD1	1 4124	11:42:242	71 Rf	1.21113 m	HD	10.23 m		
For M5 Adr	1239 KD1	506 4110	11:42:532	71 Rb	1.81567 m	HD	11.28 m		
For M5 Adr	1240 KD1	1 4124	11:42:53	71				Z	0.60455 m
For M5 Adr	1241 KD1	1 4124	11:46:302	71 Rb	1.48920 m	HD	18.57 m		
For M5 Adr	1242 KD1	2 4124	11:46:582	71 Rf	1.32153 m	HD	19.45 m		
For M5 Adr	1243 KD1	2 4124	11:47:132	71 Rf	1.32145 m	HD	19.46 m		
For M5 Adr	1244 KD1	1 4124	11:47:322	71 Rb	1.48929 m	HD	18.57 m		
For M5 Adr	1245 KD1	2 4124	11:47:32	71				Z	0.77231 m
For M5 Adr	1246 KD1	2 4124	11:49:332	71 Rb	1.38383 m	HD	15.22 m		
For M5 Adr	1247 KD1	3 4124	11:50:032	71 Rf	1.37707 m	HD	14.86 m		
For M5 Adr	1248 KD1	3 4124	11:50:112	71 Rf	1.37706 m	HD	14.86 m		
For M5 Adr	1249 KD1	2 4124	11:50:302	71 Rb	1.38383 m	HD	15.22 m		
For M5 Adr	1250 KD1	3 4124	11:50:31	71				Z	0.77907 m
For M5 Adr	1251 KD1	3 4124	11:56:142	71 Rb	1.54869 m	HD	15.85 m		
For M5 Adr	1252 KD1	507 4124	11:57:232	71 Rf	1.42657 m	HD	16.01 m		
For M5 Adr	1253 KD1	507 4124	11:57:392	71 Rf	1.42659 m	HD	16.01 m		
For M5 Adr	1254 KD1	3 4124	11:57:542	71 Rb	1.54867 m	HD	15.85 m		
For M5 Adr	1255 KD1	507 4124	11:57:55	71				Z	0.90117 m
For M5 Adr	1256 KD1	507 4124		71 Sh	0.90117 m	dx	0.00000 m	Z	0.90117 m
For M5 Adr	1257 KD2	507 4124	4	71 Db	60.910 m	Df	60.560 m	Z	0.90117 m
For M5 Adr	1258 TO	Konec poradu		71					

Obr. 3.10: Ukázka souboru DAT měřená nivelačním programem „ZVVZ“



## 4. Systémová kalibrace

Součástí této diplomové práce je i zavedení opravy ke čtení nivelačního měření. Jedna z možností opravy je pomocí vypočtených měřítek k jednotlivým nivelačním přístrojům a latím a druhá možnost je zavedení hodnoty opravy určené přímo ve výstupu kalibrace. Měřítka i oprava nivelačního měření pomocí absolutních naměřených odchylek byla tedy vypočtena na základě kalibračního protokolu, který je výstupem z provedené systémové kalibrace. Protože kalibrace a její výsledky také vstupují určitým způsobem do této práce, je vhodné alespoň částečně zmínit, jak a na čem je systémová kalibrace prováděna a jak jsou určovány hodnoty měřítka a zavádění opravy absolutními naměřenými odchylkami. Podobná problematika byla řešena v mé bakalářské práci, a tak bylo čerpáno z velké části právě tam [2].

### 4.1 Význam systémové kalibrace nivelačních měřidel

Postupem času se staly geodetické přístroje plně elektronické, automatizované a efektivnější. Tento vývoj snížil potřebu využívání zastaralých optických přístrojů. Z důvodu snahy o zachování vysoké přesnosti měřidel, provádí výrobce jejich kalibraci a ukládá specifické parametry přístroje tak, aby mohly být správně opravovány měřené veličiny. Obecně si není uživatel vědom tolerovaných nedokonalostí mechanických částí přístroje a ve většině případech o nich ani vědět nechce. Proto je nutné si nechávat kalibrovat měřidla v určitých pravidelných časových intervalech a zajišťovat, aby údaje uváděné přístrojem byly konzistentní s jiným měřením. Kalibrace měřidel znamená určování metrologických charakteristik přístroje a stanovování správnosti údajů uváděným přístrojem. Je zjišťována jeho spolehlivost a určováno, zda je možné se na přístroj spolehnout. Při systémové kalibraci je kalibrován nivelační přístroj současně s latí. K opravě měření je potřeba znát délku laťového metru, proto je současně kalibrována i nivelační lať. U digitálního nivelačního přístroje je nejisté, zda bude průběh délky laťového metru přenesen přesně do prováděného měření. Z toho důvodu je kalibrováno systémově a kalibruje se vlastně čtení nivelačního přístroje. Výsledkem kalibrace je kalibrační protokol se zjištěnými hodnotami.



## 4.2 Horizontální komparátor

Pro provádění systémové kalibrace nivelačních měřidel má fakulta stavební k dispozici vlastní horizontální komparátor. Tento komparátor je umístěn v suterénu fakulty stavební ČVUT v laboratoři katedry geomatiky, kde jsou téměř stálé atmosférické podmínky kontrolované atmosférickým čidlem.

Součástí komparátoru je zrcadlo s určitým sklonem, na kterém je zobrazován úsek kalibrované nivelační lati. Na tento obraz je poté prováděno automatické odečítání digitálním nivelačním přístrojem. Kromě zrcadla je součástí také velmi přesný interferometr a ocelová kolejová dráha. Kolejová dráha je vybavena dvěma úzkými kolejnicemi, po kterých je pohybováno kalibrovanou nivelační latí společně s odrazným hranolem interferometru díky krokovému motoru. Celý průběh systémové kalibrace je řízen pomocí softwaru DLSC, jehož výstupem je kalibrační protokol v textovém formátu (viz Obr. 4.1). V prvním sloupečku je registrováno měření pomocí nivelačního přístroje, ve druhém měření pomocí interferometru a ve třetím jsou zobrazeny opravy měření vypočtené systémovou kalibrací.

```
Observations:
-----
h_level      d_laser      residuals    temperature_Air  pressure  humidity  temperature_Mat1  temperature_Mat2
[mm]         [mm]         [um]         [deg C]         [hPa]    [%]       [deg C]           [deg C]
-----
499.98       113.586      -24          0.0             0.0      0.0      0.0              0.0
499.99       113.586      -14          0.0             0.0      0.0      0.0              0.0
520.04       133.636      -15          0.0             0.0      0.0      0.0              0.0
520.05       133.637      -5           0.0             0.0      0.0      0.0              0.0
540.10       153.672      10           0.0             0.0      0.0      0.0              0.0
540.08       153.671      -10          0.0             0.0      0.0      0.0              0.0
560.18       173.713      49           0.0             0.0      0.0      0.0              0.0
560.14       173.712      10           0.0             0.0      0.0      0.0              0.0
580.21       193.746      46           0.0             0.0      0.0      0.0              0.0
580.21       193.747      45           0.0             0.0      0.0      0.0              0.0
600.22       213.787      15           0.0             0.0      0.0      0.0              0.0
600.24       213.787      35           0.0             0.0      0.0      0.0              0.0
620.25       233.828      5            0.0             0.0      0.0      0.0              0.0
620.25       233.827      5            0.0             0.0      0.0      0.0              0.0
```

Obr.4. 1: Ukázka výstupu ze systémové kalibrace



### 4.3 Postup systémové kalibrace

Ještě předtím, než byl spuštěn kalibrační program DLSC a započato měření, bylo nutné v systému nastavit některé vstupní hodnoty. Jednalo se o počáteční a koncovou pozici latě, na které byla odečítána počáteční a koncová čtení, a tak určen úsek, na kterém byla lať kalibrována. V našem případě bylo zvoleno počáteční čtení na hodnotě 500 mm a koncové čtení měřeného úseku na lati bylo zvoleno 2 500 mm.

Dále byla nastavena velikost kroku kalibrace, což byla vzdálenost, o kterou byla lať vždy posunuta mezi jednotlivými etapami měření. Jako nejvhodnější velikost kroku byla pomocí různých testů určena hodnota 20 mm, kdy je provedeno měření dostatečného počtu hodnot kalibrací za krátký čas. Kromě velikosti kroku 20 mm byla pro zajímavost provedena kalibrace i s délkou kroku 10 mm, která byla také použita do zpracování diplomové práce.

Pro vysvětlení tedy byla na počátku odečtena hodnota 500 mm a dále probíhalo odečítání po 20 mm (520 mm, 540 mm, 560 mm, atd.) nebo 10 mm (510 mm, 520 mm, 530 mm, atd.) až do pozice latě, kde bylo odečteno 2 500 mm. Před každou kalibrací byly zjištěny a zaznamenány do paměti systému hodnoty teploty, tlaku a vlhkosti. Docházelo tedy k opravě měření o atmosférické korekce, které by jinak měly vliv na přesnost výsledků. Systémová kalibrace byla pro přístroj s latí opakována vždy 2krát a výsledné zjištěné měřítko systému pak bylo určeno jako aritmetický průměr ze dvou odpovídajících si předešlých čtení.

### 4.4 Zpracování měření a výpočet měřítka

Odečítané hodnoty na stejném místě lati byly pomocí digitálního nivelačního přístroje (první sloupeček – h\_level) a interferometru (druhý sloupeček – d\_laser) uloženy dvakrát (viz Obr. 4.1). Dvojitá čtení a uložení je provedeno z kontrolních důvodů. Může tím být zkontrolováno například to, zda nedošlo během kalibrace k neočekávanému posunu lati na komparátoru nebo k nějakému jinému nenadálému problému. Z toho důvodu musel být ve výpočtu nejprve vypočten aritmetický průměr měřených hodnot, které si odpovídají:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{2}(x_i + x_{i+1}), \bar{x}_{ii} = \frac{1}{2}(x_{i+1} + x_{i+2}), \dots \text{atd.}$$

$x_i$  – naměřená hodnota,  $i = 1$





V dalším kroku byly od sebe odečítány vypočtené hodnoty průměrů jak pro průměry z nivelačního přístroje, tak pro průměry z interferometru:

$$h_i = \overline{x_{i+1}} - \overline{x_i}, h_{ii} = \overline{x_{i+2}} - \overline{x_{i+1}}, \dots,$$

kde  $i = 1$ .

Odchylka byla počítána pomocí vzájemného odečtení získaných hodnot:

$$\text{odchylka} = \text{interferometr} - \text{nivelační přístroj}$$

Soubory bodů s vypočtenými odchylkami byly prokládány regresní přímkou. Jednalo se o lineární regresi, kdy byla hledána vhodná křivka, u které by součet druhých mocnin odchylek byl co nejmenší. Byly tedy hledány koeficienty regresních přímek s předpisem:  $y = a \cdot x + b$ . Zjištěná data byla aproximována polynomem  $n$ -tého stupně pomocí MNČ (metody nejmenších čtverců). Ve výpočtu byla zahrnuta data odečtených výšek na nivelační lati, vypočtené výškové odchylky a polynom prvního stupně. Z naměřených hodnot byla nakonec vypočtena měřítka  $m$  pro nivelační přístroje s lati.

#### **4.5 Oprava nivelačního měření pomocí absolutních naměřených odchylek**

Kromě opravy nivelačního měření pomocí měřítka je zde možnost použití ještě druhého způsobu. Pro tento postup je využit první a třetí sloupeček z Obr. 4.1. Jak už je napsáno v odstavci výše, tak v prvním sloupečku jsou uvedena měřená převýšení na lati pomocí nivelačního přístroje a ve třetím sloupečku jsou určeny opravy systémovou kalibrací k jednotlivým nivelačním záměrům. Při kalibraci byly odečítány hodnoty na stejném místě lati vždy dvakrát, a proto musel být nejdříve vypočten průměr odpovídajících si hodnot:

$$\overline{x_i} = \frac{1}{2}(x_i + x_{i+1}), \overline{x_{ii}} = \frac{1}{2}(x_{i+1} + x_{i+2}), \dots \text{atd.}$$

$x_i$  – naměřená hodnota,  $i = 1$

K nivelačním měřením v zápisníku je poté vyhledáváno jeho nejbližší čtení na lati v kalibračním protokolu. Když je toto čtení nalezeno a je totožné, pak je hodnota opravy ze stejného řádku přičtena k měření nivelačním přístrojem v terénu. Pokud je toto čtení nalezeno, ale není totožné, což znamená, že v terénu byla naměřena hodnota například



530,01 mm a v kalibračním protokolu tato hodnota není zaznamenána. Nejbližší hodnoty jsou 520,05 mm a 540,09 mm, hodnoty oprav těchto dvou kalibračních čtení musí být vyinterpolovány. Vyinterpolovaná hodnota opravy je poté přičtena k nivelačnímu měření.

Kalibrační protokol je vyhotovován pro každý nivelační přístroj s latí zvlášť. Při přesných nivelačních měřeních musí být používány 2 nivelační latě, které jsou navíc při postupu měření střídány. Na tuto skutečnost je nutné dávat pozor při zavádění opravy k jednotlivým nivelačním čtením. Máme totiž k dispozici dva kalibrační protokoly k dvojici používaných latí. Nelze tedy určit opravu nebo měřítko například pro lať „vzad“ a touto hodnotou opravovat všechna čtení „vzad“, když dochází ke střídání latí v nivelačním pořadu. Stejná situace nastává u latic „vpřed“.



---

## 5. Vznik programu

V této kapitole bude popsáno, jaký programovací jazyk a jaké vývojové prostředí bylo zvoleno pro vznik programu na opravu měření digitálního nivelačního přístroje na základě jeho systémové kalibrace.

Jako programovací jazyk byl zvolen jazyk C++. Bylo to z toho důvodu, protože s tímto jazykem mám největší zkušenosti a v dnešní době je zařazen mezi jedny z nejpoužívanějších programovacích jazyků.

Jako vývojové prostředí bylo zvoleno multiplatformní vývojové prostředí Qt Creator, a to z toho důvodu, že má první zkušenost s vývojovým prostředím byla právě s tímto. Vybráno bylo také proto, že prakticky s žádným jiným vývojovým prostředím nepřicházím do kontaktu. Velkou výhodou bylo také to, že program Qt Creator je spustitelný na různých typech operačních systémů (Windows, Linux, atd.) a některé verze tohoto programu jsou k dostání i legálně zdarma. Qt creator je předurčen k tvorbě programů Qt GUI aplikací, tedy aplikací s grafickým uživatelským rozhraním.

Na začátku diplomové práce bylo rozhodnuto, že součástí vytvořeného programu bude uživatelské prostředí, ve kterém bude možnost načtení nivelačních měření z digitálních přístrojů a načtení výstupu ze systémové kalibrace. Dále pak bylo určeno, aby pomocí výsledků z kalibračního protokolu byla možná oprava souboru měření digitálním nivelačním přístrojem a následné vygenerování nivelačního zápisníku s opravenými hodnotami měření.

Pro tvorbu programu této diplomové práce byla použita verze Qt 5.6.0.



```
QStringList list = line.split(QRegExp("\\s+"),QString::SkipEmptyParts);
if(list.size()>=2){

    bool isDoubleHL = false;
    bool isDoubleDL = false;
    list[0].toDouble(&isDoubleHL);
    list[1].toDouble(&isDoubleDL);

    if(isDoubleHL && isDoubleDL){

        h_level << list[0].toDouble();
        d_laser << list[1].toDouble();

        qDebug()<<h_level.last()<<d_laser.last();

    }
}
}else if(find == true && line.contains(QRegExp("\\s+"))){

    qDebug()<<"vektor ma tolik prvku "<<h_level.size();

    list_h_level << h_level;
    list_d_laser << d_laser;

    h_level.clear();
    d_laser.clear();

    find = false;

}
}
qDebug()<<"pocet vektoru "<<list_h_level.size();

QVector<double> vektor_meritek;
```

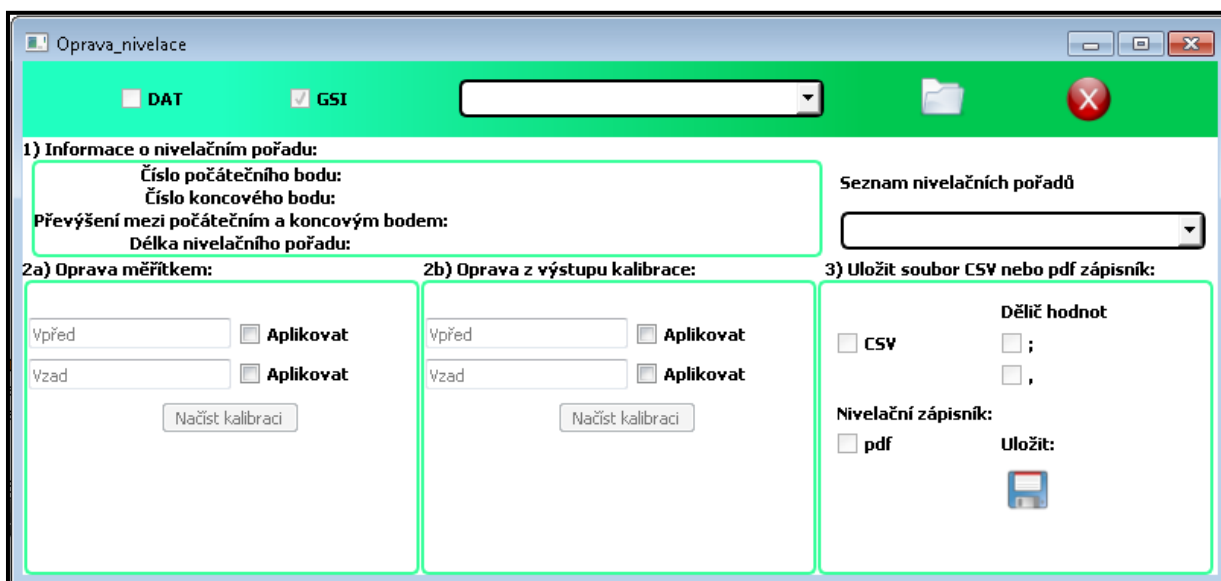
Obr. 5. 1: Ukázka části zdrojového kódu z vytvořeného programu



## 6. Uživatelský manuál programu

V této kapitole je představen vytvořený program na opravu souboru nivelačního měření na základě výstupů jeho systémové kalibrace. Je zde popsán uživatelský manuál a jeho jednotlivé funkce pro snazší manipulaci s ním.

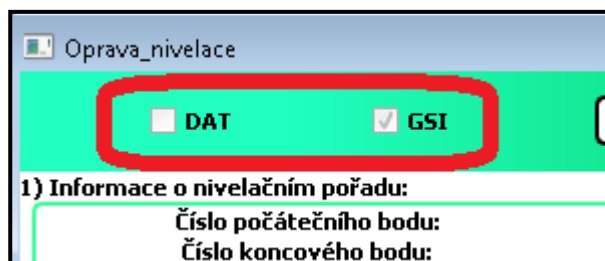
Po spuštění programu je načteno jeho uživatelské grafické rozhraní (viz Obr. 6.1). Jeho rozložení bylo voleno tak, aby ovládání programu a pohybování se v něm bylo co nejjednodušší a nejintuitivnější.



Obr. 6. 1: Uživatelské grafické rozhraní programu

### 6.1 Volba datového formátu

Jako první je nutná volba datového formátu otevíraného souboru. Typ datového formátu je zvolen zaškrtnutím check boxu. V nabídce jsou pouze dva typy, a to formát GSI a formát DAT (viz Obr. 6.2). Po vybrání jednoho z nich program nabídne soubory pouze ve zvoleném formátu.

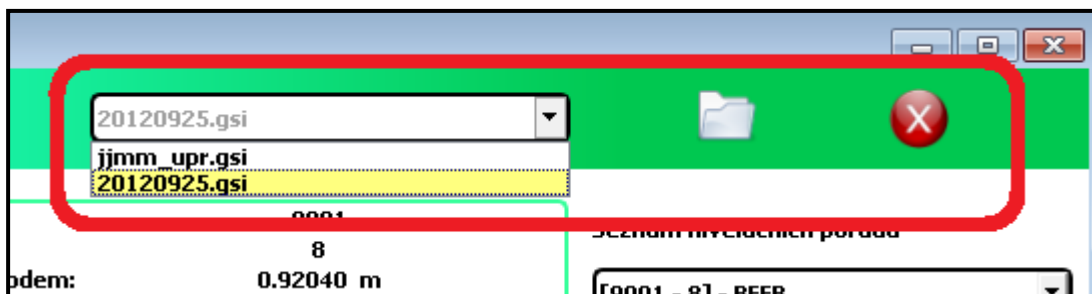


Obr. 6. 2: Volba datového formátu



## 6.2 Načtení a zavření souboru

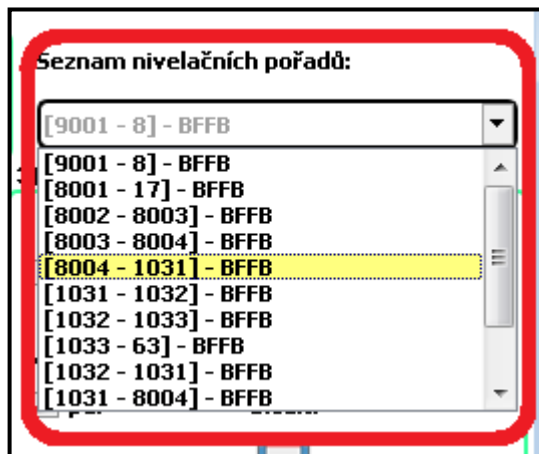
Soubor v počítači, který chceme otevřít, je vybrán pomocí stisknutelného tlačítka „vybrat soubor“ v grafickém uživatelském rozhraní s ikonou složky. Dojde k otevření dialogového okna, kde si vyhledáme tento soubor ve složce, ve které ho máme uložený. Pokud chceme již načtený soubor zavřít, musíme kliknout na tlačítko „zavřít soubor“ s odpovídající ikonou. V programu může být otevřeno více souborů s nivelačním měřením. Ve výběrovém poli (ComboBoxu) je možné šipkou vyrolovat všechny načtené soubory a jednoduše si požadovaný soubor vybrat.



Obr. 6. 3: Načtení, zavření a výběr souboru

## 6.3 Výběr ze seznamu nivelačního měření

Po otevření vybraného souboru s měřením je ve druhém výběrovém poli v grafickém rozhraní načten seznam nivelačních pořadů. Tyto pořady jsou označeny číslem počátečního a koncového nivelačního bodu a zvoleným měřickým programem, tedy „BF“ nebo „BFFB“. Otevřený soubor může obsahovat více nivelačních pořadů. Ve výběrovém poli je možné šipkou, obdobně jako v odstavci 6.2, vyrolovat všechny nivelační pořady, které jsou měřeny v tomto souboru a jednoduše si požadovaný pořad vybrat. Měřické postupy, které umí program rozpoznat, jsou pouze dva, a to „BF“ a „BFFB“. Pokud jsou nivelační pořady měřeny jiným typem měřického postupu, dojde k tomu, že je program ignoruje a přeskočí.



Obr. 6. 4: Výběr ze seznamu nivelačních pořadů

## 6.4 Informace o zvoleném nivelačním pořadu

Aby byly uživateli poskytnuty základní informace o vybraném nivelačním pořadu okamžitě po načtení souboru do programu a nemusel kvůli náhledu ukládat jednotlivá měření do zvoleného formátu, je k dispozici stručný výpis základních údajů. Jedná se o seznam s údaji o čísle počátečního a koncového bodu nivelačního pořadu, o hodnotě převýšení mezi těmito body a délce nivelačního pořadu.

<b>1) Informace o nivelačním pořadu:</b>	
Číslo počátečního bodu:	8002
Číslo koncového bodu:	8003
Převýšení mezi počátečním a koncovým bodem:	-0.03194 m
Délka nivelačního pořadu:	474.58209 m

Obr. 6. 5: Informace o nivelačním pořadu

## 6.5 Volba opravy nivelačního měření

Dalším krokem je možnost zavedení opravy nivelačního měření na základě výstupů ze systémové kalibrace. Na výběr je ze dvou typů zavedených oprav, a to buď pomocí vypočteného měřítka kalibrace, nebo pomocí určených oprav z výsledků kalibrace.

U obou případů je nutné zmínit, že načtení kalibračního protokolu pro lať „vzad“ nebo lať „vpřed“ do příslušného pole (LineEditu) neznamená, že by například vypočtená oprava



pro lať „vzad“ opravovala pouze čtení „vzad“ na lati, která byla postavena na začátku nivelačního pořadu na bodě označeným „vzad“. To stejné platí i pro lať, která byla postavena na začátku měření na bodě „vpřed“ a její vypočtené opravě. Nivelační latě jsou během měření střídány, a proto musí být střídány i jednotlivé opravy. Pro přehlednost je v polích naznačeno, kam má být načítán kalibrační protokol pro lať „vpřed“ a kam pro lať „vzad“.

The screenshot shows a software window titled "Délka nivelačního pořadu" with a value of "174.58288". It is divided into two main sections:

- 2a) Oprava měřítkem:** Contains two text input fields labeled "Vpřed" and "Vzad". Each field has a small square checkbox to its right, both labeled "Aplikovat". Below these fields is a button labeled "Načíst kalibraci".
- 2b) Oprava z výstupu kalibrace:** Contains two text input fields labeled "Vpřed" and "Vzad". Each field has a small square checkbox to its right, both labeled "Aplikovat". Below these fields is a button labeled "Načíst kalibraci".

A red rectangular border highlights the entire content area of the window.

Obr. 6. 6: Volba opravy nivelačního měření

### 6.5.1 Oprava měřítkem

V grafickém rozhraní programu je tato oprava označena jako 2a) Oprava měřítkem. Pro výpočet měřítka nejdříve kurzorem myši klikneme do příslušného pole (LineEditu). Je jedno, zda je první vypočteno měřítko pro lať „vzad“ nebo pro lať „vpřed“. Stisknutím tlačítka „Načíst kalibraci“ je vyvoláno dialogové okno pro otevření textového souboru ze systémové kalibrace. Po vybrání souboru je vypočteno a zobrazeno měřítko v příslušném poli. Pokud textový soubor kalibrace obsahuje více naměřených etap, dochází k vypočtení měřítek všech etap a poté k jejich zprůměrování. Následně je vypočtená hodnota měřítka zobrazena ve zvoleném poli. Stejný postup určení měřítka je i pro druhou nivelační lať. Oprava je poté provedena označením zaškrťovacího check boxu s názvem „Aplikovat“, kdy je měřítkem opraveno čtení pro celý nivelační pořad.





2a) Oprava měřítkem:

1.00000222 = vpřed  Aplikovat

1.00005220 = vzad  Aplikovat

Načíst kalibraci

Obr. 6. 7: Oprava pomocí měřítek

### 6.5.2 Oprava z výstupu kalibrace

Druhý způsob opravy je v programu označen jako 2b) Oprava z výstupu kalibrace. Opět jsou zde dvě pole pro načtení textového souboru. Umístěním kurzoru do příslušného pole a stisknutím tlačítka „Načíst kalibraci“ je vyvoláno dialogové okno. Po vybrání textového souboru dojde v programu k jeho otevření. Označením zaškrtnutí check boxu s názvem „Aplikovat“ jsou pak k jednotlivým nivelačním záměrům vyhledávány v kalibračním protokolu jejich odpovídající velikosti čtení. Pokud je takové čtení nalezeno, je přiřazena odpovídající velikost opravy určená v kalibraci k nivelačnímu měření v terénu. Tento postup je obdobný jak pro lať „vzad“, tak pro lať „vpřed“.

2b) Oprava z výstupu kalibrace:

vpřed nacteno  Aplikovat

vzad nacteno  Aplikovat

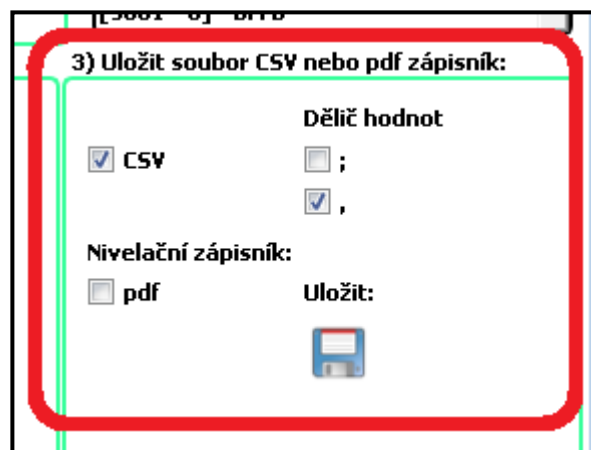
Načíst kalibraci

Obr. 6. 8: Oprava z výstupu kalibrace



## 6.6 Uložení dat

Na konec je v programu možnost uložení jednotlivých nivelačních měření buď ve formátu CSV, nebo v podobě nivelačního zápisníku ve formátu PDF. Formát CSV byl zvolen z toho důvodu, že při zpracovávání úloh při studiu na ČVUT byly nejvíce využívány programy Matlab a Microsoft Excel, které jsou s tímto formátem schopny pracovat. Formát CSV je jednoduchý formát, ve kterém jsou hodnoty odděleny čárkami a uloženy v řádcích. V českém jazyce jsou ovšem čárkou oddělena desetinná místa v číslech, a proto je nutné použít jiný typ oddělovače hodnot. Nejčastěji je používán středník. V programu je možnost uložení dat ve formátu CSV jak s použitím oddělovače čárky, tak s použitím oddělovače středníku. Podobná struktura uložených dat je i zde [7], kde bylo při psaní této práce čerpáno a odkud byly získávány užitečné rady a nápady. Zpracovaná měření je možné uložit bez zavedených oprav z kalibrace nebo s jejich zavedením. Uložení souboru je poté provedeno kliknutím na ikonu diskety a vybráním si místa v počítači, kam má být vygenerovaný soubor uložen.



Obr. 6. 9: Volba výstupního formátu a uložení



## 6.7 Ukázka typu výstupů PDF a CSV

Zápisník nivelačního měření								
Číslo Bodu		Čtení na lati			Nadm. výška horizontu přístroje	Nadmořská výška bodu		Poznámky
Přestavový	Boční	Vzad +	Vpřed -	Bočně -		Přestavový	Určeného bočně	
101		1.43691 m			1.43691 m			Převýšení mezi poč. a konc. bodem: -0.00030 m
			1.51564 m			-0.07873 m		Délka pořadu: 498.86651 m
		1.37733 m			1.2986 m			
			1.51654 m			-0.21794 m		
		1.58411 m			1.36617 m			
			1.49936 m			-0.13320 m		
		1.52849 m			1.39529 m			
	4003			1.74007 m			-0.34478 m	
	4004			1.84950 m			-0.45421 m	
	4005			1.83500 m			-0.43971 m	
			1.55152 m			-0.15622 m		
		1.65916 m			1.50294 m			
			1.55045 m			-0.04752 m		
		0.17548 m			0.12796 m			
			2.63994 m			-2.51198 m		
		0.14828 m			-2.3637 m			
			2.48559 m			-4.84929 m		
		0.64475 m			-4.20454 m			
			1.48716 m			-5.69170 m		
		1.27473 m			-4.41697 m			
			1.49929 m			-5.91626 m		
		1.51442 m			-4.40184 m			

Obr. 6. 10: Ukázka vytvořeného nivelačního zápisníku s hodnotami měřeními metodou“BF“



## Zápisník nivelačního měření

Číslo bodu		Čtení na lati			Nadm. výška horizontu přístroje		Poznámky
		Vzad +	Vpřed -	Bočně -	Přestavový	Boční	
9001		1.47252 m					Převýšení mezi poč. a konc. bodem: 0.92040 m
			1.28694 m				Délka pořadu: 383.02100 m
			1.28694 m		0.18564 m		
		1.47248 m					
		2.39596 m					
			0.44802 m				
			0.44802 m		2.13362 m		
		2.34962 m					
		2.34971 m					
			0.60232 m				
			0.60232 m		3.88100 m		
		2.43642 m					
		2.43639 m					
			0.61546 m				
			0.61546 m		5.70198 m		
		1.88711 m					
		1.88713 m					
			0.91564 m				
			0.91564 m		6.67346 m		
		0.93351 m					

Obr. 6. 11: Ukázka vytvořeného nivelačního zápisníku s hodnotami měření metodou „BFFB“



Jednotky měření: metry							
číslo bodu vzad	výška bodu	délka záměry	čtení na lati vzad	číslo bodu vpřed	výška bodu	délka záměry	čtení na lati vpřed
101	0	24,60999	1,43691	3	-0,07873	25,9071	1,51564
3	-0,07873	23,69389	1,37733	103	-0,21794	25,6488	1,51654
103	-0,21794	24,56922	1,58411	104	-0,1332	25,2488	1,49936
104	-0,1332	6,51303	1,52849	105	-0,15622	6,04826	1,55152
105	-0,15622	27,10004	1,65916	106	-0,04752	23,75241	1,55045
106	-0,04752	5,48934	0,17548	4	-2,51198	3,51014	2,63994
4	-2,51198	6,93904	0,14828	5	-4,84929	4,73463	2,48559
5	-4,84929	3,71225	0,64475	206	-5,6917	4,06564	1,48716
206	-5,6917	25,46728	1,27473	205	-5,91626	25,0432	1,49929
205	-5,91626	22,73773	1,51442	204	-5,83828	17,71653	1,43644
204	-5,83828	26,52936	1,47398	203	-5,64923	23,93863	1,28494
203	-5,64923	22,89274	1,50593	202	-5,04289	25,04036	0,89959
202	-5,04289	26,59395	2,30993	201	-2,94176	23,43091	0,2088
201	-2,94176	5,7903	2,51886	6	-1,13037	6,24443	0,70746
6	-1,13037	3,25973	2,25349	101	-0,0003	2,63879	1,12342
číslo bodu měř. bočně	číslo bodu vzad	výška bodu bočně	délka záměry	čtení na lati vpřed			
4003	104	-0,34478	3,00135	1,74007			
4004	104	-0,45421	8,59206	1,84950			
4005	104	-0,43971	8,09076	1,83500			

Obr. 6. 12: Ukázka uloženého souboru ve formátu CSV s hodnotami měřeními klasickou metodou „BF“



Jednotky měření: metry											
číslo bodu vzad	výška bodu	1. čtení na lati vzad	délka záměry	2. čtení na lati vzad	délka záměry	číslo bodu vpřed	výška bodu	1. čtení na lati vpřed	délka záměry	2. čtení na lati vpřed	délka záměry
9001	0	1,47252	29,69436	1,47248	29,69898	1	0,18564	1,28678	30,80488	1,28694	30,81071
1	0,18564	2,39596	17,6955	2,34962	18,64809	2	2,13362	0,44797	17,46019	0,44802	17,45284
2	2,13362	2,34971	18,65122	2,43642	20,41695	3	3,881	0,60224	19,4558	0,60232	19,45086
3	3,881	2,43639	20,41936	1,88711	14,73289	4	5,70198	0,61539	18,3826	0,61546	18,38322
4	5,70198	1,88713	14,72958	0,93351	25,57975	5	6,67346	0,91563	15,45584	0,91564	15,45974
5	6,67346	0,93358	25,57447	0,50951	27,44399	6	5,3587	2,24844	25,77968	2,30168	26,90481
6	5,3587	0,50936	27,43346	0,09821	38,48937	7	3,56636	2,30187	26,8935	2,7441	36,09704

Obr. 6. 13: Ukázka uloženého souboru ve formátu CSV s hodnotami měření metodou „BFFB“



## 7. Testování nivelačního měření

Na závěr bylo rozhodnuto, že by bylo vhodné otestovat, zda je nutné zavádět opravy z výstupů systémové kalibrace do nivelačního měření. Byly uskutečněny dva testy. Prvním byl prakticky otestován vytvořený program. Výsledkem bylo určení vlivu výstupů z kalibrace na zvolený fiktivní nivelační pořad o různých délkách a různých převýšeních. U druhého testu bylo měřeno převýšení mezi dvěma body v různých úsecích na nivelačních latích. Tímto testem byla sledována změna velikosti převýšení ve změněných výškách bez zavedení opravy z kalibrace a s jejím zavedením.

### 7.1 Určení vlivu výstupů z kalibrace na nivelační pořad

Pro tento test byl použit digitální nivelační přístroj Leica DNA 03 (v.č. 340080) a šest nivelačních latí s čárovým kódem NEDO GPC L3 (v.č. 27187, 29732, 29703, 27200, 27185 a 27183). Tyto latě jsou tři metry dlouhé, určené pro digitální měření, které vyžaduje metoda velmi přesné nivelace. Všechny nivelační latě byly dvakrát zkalibrovány na komparátoru. Velikost kroku kalibrace byla zvolena 10 mm a 20 mm. To znamená, že vzdálenost mezi jednotlivými měřeními na lati byla pro první kalibraci vždy posunuta o 10 mm a u druhé kalibrace byla vždy posunuta o 20 mm. Výstupem těchto kalibrací je kalibrační protokol, pomocí kterého byly určovány a vypočteny hodnoty měřitek pro přístroj s jednotlivými nivelačními latěmi (viz Tab.7.1):

Tab. 7. 1: Měřítka nivelačních latí NEDO GPC L3

Výrobní číslo nivelační latě	Měřítko
27187	0,999970
29732	1,000006
29703	0,999996
27200	1,000010
27185	1,000015
27183	1,000083

Pro naše testování byly použity dvě nivelační latě s největšími hodnotami určeného měřítka. Jedná se tedy o nivelační latě NEDO GPC L3 (v.č. 27187 a 27183).



Další částí tohoto testu bylo vymyslet fiktivní nivelační pořady o různých délkách a různých převýšeních, které by co nejvíce simulovaly případy měřených pořadů v terénu. Výsledkem pak bylo zkoumání vlivu výstupů kalibrace na tyto fiktivní nivelační pořady. Délky jednotlivých nivelačních pořadů byly zvoleny 1, 2, 3 a 5 km s možným převýšením 10, 20, 30 a 50 m. Aby tyto pořady mohly být zpracovány ve vytvořeném programu, musely být zapsány a uloženy ve formátu GSI. Pro ulehčení práce s vymyšlením převýšení mezi jednotlivými body ve fiktivních pořadech, byl použit skript v programu Matlab. Tento skript umožňoval zvolení si požadovaného počtu sestav a převýšení pořadu a sestavy. Z těchto parametrů pak generoval náhodná čísla (převýšení mezi body), ze kterých byla odvozována jednotlivá čtení na lati [8]. Při sestavování fiktivního měření do formátu GSI byly dodržovány zásady pro velmi přesnou nivelaci (např. délky záměr v pořadech nebyly delší než 40 m, počet sestav v pořadu byl vždy sudý počet a minimální výška záměry nad terénem neklesla pod 0,500 m).

Po sestavení souborů měření ve formátu GSI byly jednotlivé nivelační pořady vypočteny nejprve bez zavedení opravy, poté byly opraveny o vypočtenou hodnotu měřítka a nakonec byly opraveny o hodnoty určené ze systémové kalibrace a porovnány (viz Tab. 7.2):





Tab. 7. 2: Testování vlivu výstupů z kalibrace na nivelační pořady

<b>Převýšení / délka pořadu</b>	<b>10 m / 1 km</b>	<b>20 m / 1 km</b>	<b>30 m / 1 km</b>	<b>50 m / 1 km</b>
<b>Oprava měřítkem [m]</b>	9,99977	19,99956	29,99940	49,99872
<b>Rozdíl [m]</b>	0,00023	0,00044	0,00060	0,00128
<b>Oprava chybou z kalibrace [m]</b>	9,99981	19,99965	29,99955	49,99893
<b>Rozdíl [m]</b>	0,00019	0,00035	0,00045	0,00107
<hr/>				
<b>Převýšení / délka pořadu</b>	<b>10 m / 2 km</b>	<b>20 m / 2 km</b>	<b>30 m / 2 km</b>	<b>50 m / 2 km</b>
<b>Oprava měřítkem [m]</b>	9,99963	19,99951	29,99914	49,99838
<b>Rozdíl [m]</b>	0,00037	0,00049	0,00086	0,00162
<b>Oprava chybou z kalibrace [m]</b>	9,99970	19,99962	29,99937	49,99857
<b>Rozdíl [m]</b>	0,00030	0,00038	0,00063	0,00143
<hr/>				
<b>Převýšení / délka pořadu</b>	<b>10 m / 3 km</b>	<b>20 m / 3 km</b>	<b>30 m / 3 km</b>	<b>50 m / 3 km</b>
<b>Oprava měřítkem [m]</b>	9,99957	19,99931	29,99901	49,99806
<b>Rozdíl [m]</b>	0,00043	0,00069	0,00099	0,00194
<b>Oprava chybou z kalibrace [m]</b>	9,99965	19,99944	29,99919	49,99822
<b>Rozdíl [m]</b>	0,00035	0,00056	0,00081	0,00178
<hr/>				
<b>Převýšení / délka pořadu</b>	<b>10 m / 5 km</b>	<b>20 m / 5 km</b>	<b>30 m / 5 km</b>	<b>50 m / 5 km</b>
<b>Oprava měřítkem [m]</b>	9,99936	19,99921	29,99892	49,99508
<b>Rozdíl [m]</b>	0,00064	0,00079	0,00108	0,00492
<b>Oprava chybou z kalibrace [m]</b>	9,99941	19,99936	29,99907	49,99525
<b>Rozdíl [m]</b>	0,00059	0,00064	0,00093	0,00475

## 7.2 Zhodnocení výsledků

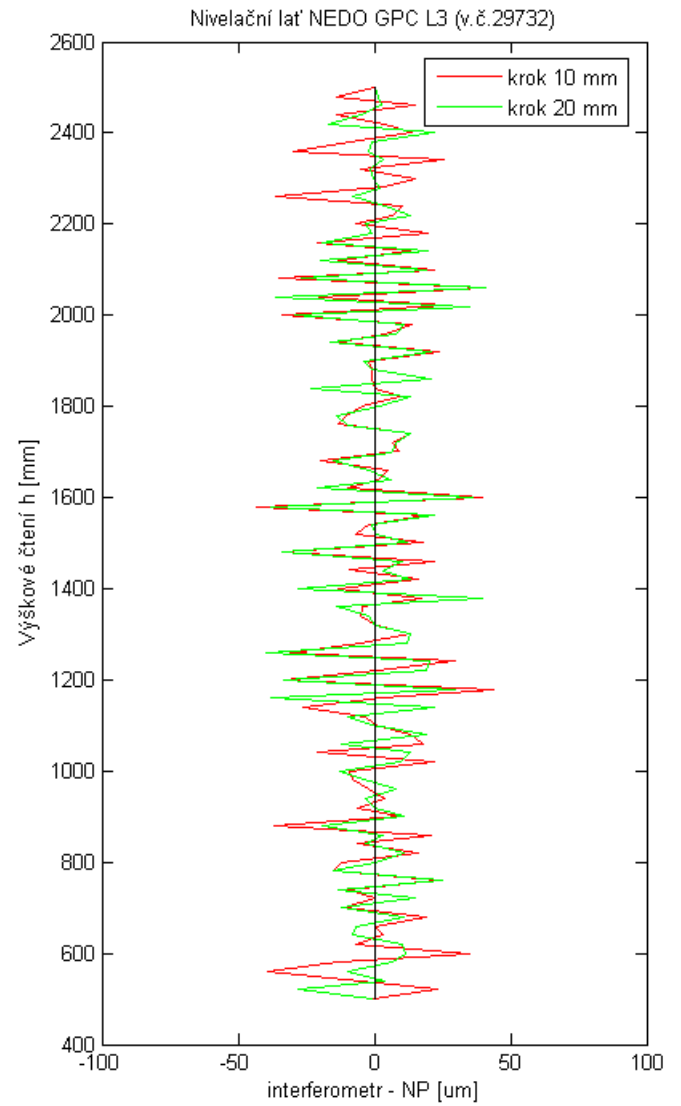
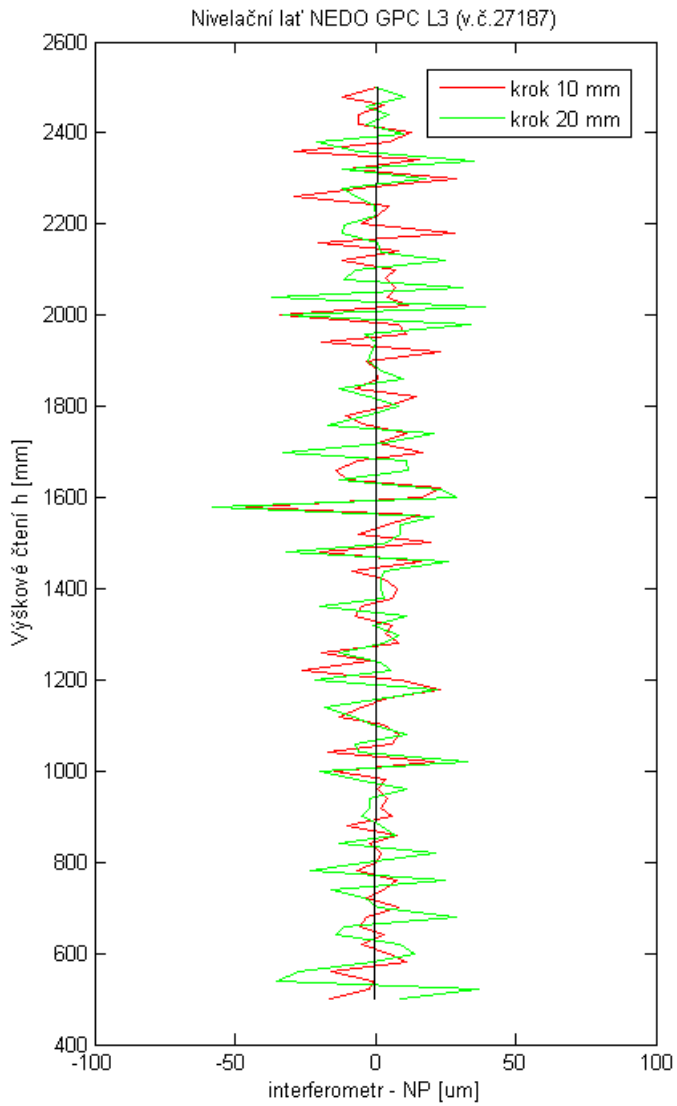
Z výsledků testování jednotlivých nivelačních pořadů je patrné, že čím je měřen delší nivelační pořad s větším převýšením, tím je zaváděna větší oprava do jeho výpočtu. Odpověď na otázku, zda je nutné zavádět opravy do hodnot nivelačního měření je tedy taková, že pokud jsou výsledky měření požadovány s co nejvyšší přesností, tak je nutné tuto opravu zavést. Z provedeného testu vyplývá, že u nivelačních pořadů s celkovou délkou od 3 km a převýšením od 30 m mezi počátečním a koncovým bodem pořadu je nutné zavádět opravu z kalibrace, protože se výsledné hodnoty mohou lišit již v řádech milimetrů.



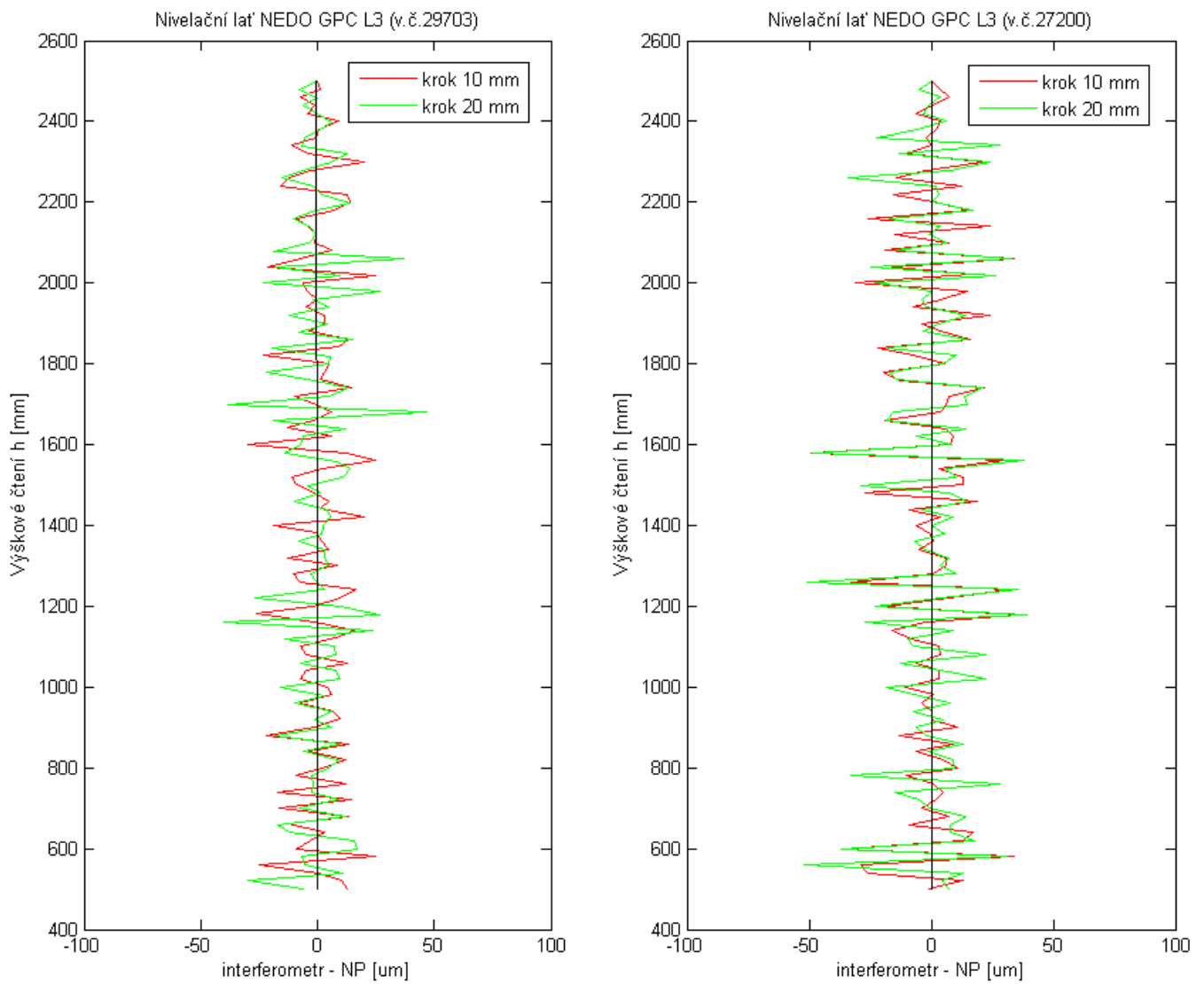
Pro zajímavost byly u fiktivních nivelačních pořadů použity a otestovány další latě, které byly také zkalibrovány, ale jejich měřítka dosahovala menších hodnot, než u použitých nivelačních latí NEDO GPC L3 (v.č. 27187 a 27183). U takto opravených nivelačních pořadů se velikost převýšení, bez ohledu na celkovou délku a převýšení pořadu, lišila pouze v řádu setin milimetrů. Z toho důvodu nebyly zařazeny do testování, jelikož zavedení oprav do výpočtu nebylo nutné.

### 7.3 Grafy

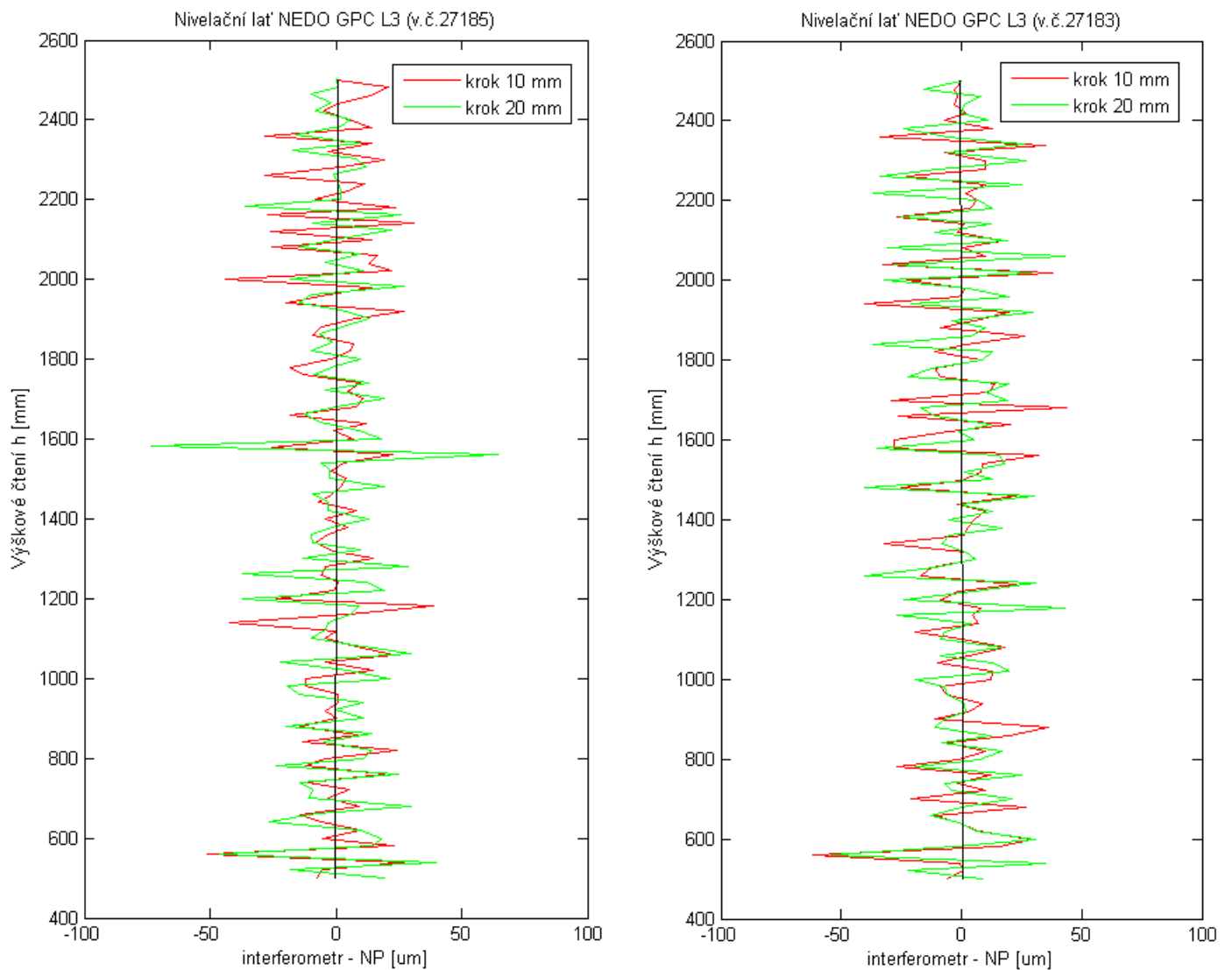
Pro lepší přehlednost a porovnání byly v programu Matlab vytvořeny grafy jednotlivých kalibrací. Do grafu byla na osu x vynesena vypočtená výšková odchylka a na osu y výška odečtená nivelačním přístrojem na lati. Pro každou lať byla prováděna kalibrace dvakrát a to jednou s délkou kroku 10 mm a podruhé s délkou kroku 20 mm. V grafu výškových odchylek byly tyto délky kroku od sebe odlišeny různými barvami a odchylky byly proloženy odpovídající regresní přímkou. Koeficienty regresní přímky byly vypočteny pro každou kalibraci zvlášť, ale pro lepší orientaci v grafu byly tyto regresní přímky zprůměrovány a vyneseny do grafu jen ty zprůměrované. V dolní části grafu u popisu x-ové osy byla použita zkratka NP, která znamená nivelační přístroj.



Obr. 7. 1: Graf výškových odchylek nivelačních latí NEDO GPC L3 (v.č.27187 a 29732)

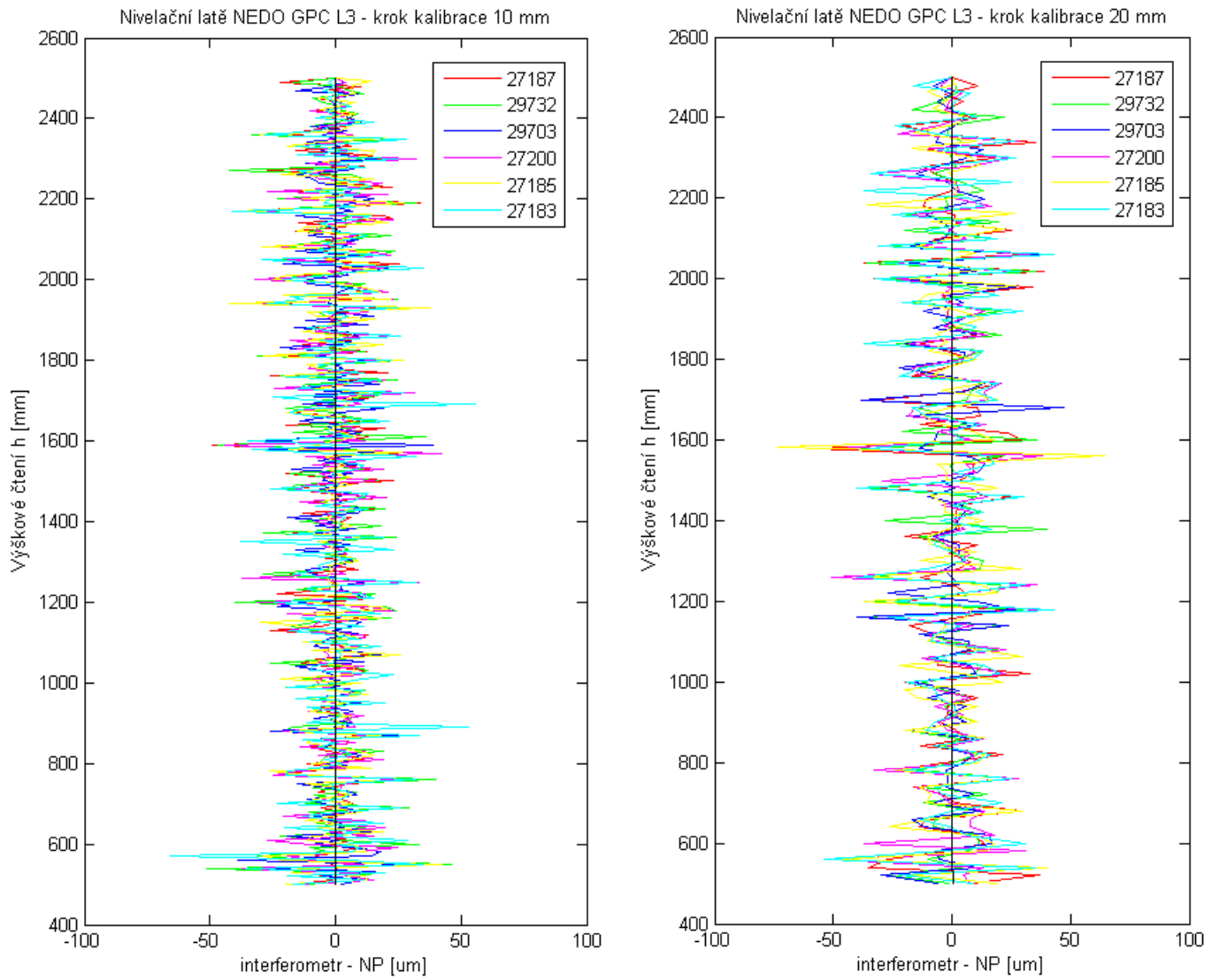


Obr. 7. 2: Graf výškových odchylek nivelačních latí NEDO GPC L3 (v.č.29703 a 27200)



Obr. 7. 3: Graf výškových odchylek nivelačních lať NEDO GPC L3 (v.č.27185 a 27183)

Protože byly pro kalibraci použity dvě různé délky kroků (10 mm a 20 mm) pro každou lať zvlášť, byly pro zajímavost vytvořeny ještě další dva grafy, ve kterých jsou znázorněny výsledky kalibrací se stejnými délkami kalibračních kroků.



Obr. 7. 4: Graf výškových odchylek pro krok kalibrace 10 mm a 20 mm



## 7.4 Testování oprav pomocí stabilního převýšení mezi dvěma body

Testování oprav pomocí stabilního převýšení mezi dvěma body bylo prováděno ve školní laboratoři. Na začátek a konec laboratoře byly umístěny nivelační značky, na které byly připevněny nivelační latě NEDO GPC L3 (v.č. 27187 a 27183). Mezi těmito latěmi byl umístěn nivelační přístroj LEICA DNA 03 (v.č. 340080) na teleskopickém stativu. Test byl navržen tak, aby byly z jednoho stanoviska odečítány hodnoty měření na co největším úseku nivelační lati. K tomuto úkolu nám pomohl teleskopický stativ, který byl po každém odečtení nivelační sestavy na lati zvednut o 1 – 2 cm výše. Tímto způsobem byla určována hodnota převýšení mezi dvěma body se změnou výškou přístroje. Převýšení, která byla realizována ze čtení na lať po celé její délce, by si měla odpovídat, jelikož nedocházelo ke změně polohy bodů, na kterých byly latě postaveny. Jako měřický program byl zvolen klasický postup měření „BFFB“. U obou latí byla provedena kalibrace, a tak mohl být také sledován vliv zavedené kalibrační opravy na výsledné převýšení. Převýšení mezi dvěma body bylo vypočteno bez zavedených oprav, poté bylo měření opraveno o určenou hodnotu měřítek a nakonec bylo měření opraveno o hodnoty odpovídajících oprav ze systémové kalibrace. Nejdříve byla převýšení zprůměrována, a tak byla určena správná hodnota převýšení, která by měla vycházet při každém měření stejná. Z důvodu různých vlivů nepřesností přístroje, latě i měřiče se výsledky jednotlivých převýšení od sebe odchylovaly. Byly určeny kategorie rozptylu výsledků měření a do nich vypočteny četnosti velikostí odchylek (oprav od průměru). Toto testování bylo prováděno jak pro převýšení vypočtené bez zavedených oprav, tak se zavedením opravy měřítkem a následně s opravami zjištěnými ze systémové kalibrace. Předpokladem tohoto testu bylo, že zavedením oprav do měření by se počet kategorií rozptylu odchylek měl zmenšovat a četnost hodnot převýšení blízkých správné hodnotě převýšení by se měla zvětšovat. Výsledky testování byly seřazeny v přehledné tabulce (viz Tab. 7.3):

Tab. 7. 3: Četnost výskytu odchylek v měření

Kategorie	Četnost výskytu odchylek v měření		
	Bez zavedení opravy	Se zavedením měřítka	Se zavedením opravy z kalibrace
0,000 - 0,020 [mm]	28	48	61
0,021 - 0,040 [mm]	27	27	17
0,041 - 0,060 [mm]	23	5	2
> 0,061 [mm]	3	1	1



## 7.5 Zhodnocení výsledků

Jako správné převýšení mezi dvěma body byla vypočtena hodnota 0,00817 m. Od této hodnoty pak byla odečítána jednotlivá vypočtená převýšení, zjišťovány opravy od průměru a podle toho odchylky rozdělovány do zvolených kategorií. Testování prokázalo, že po zavedení opravy do výpočtu se četnost hodnot převýšení, které jsou rovny správné hodnotě, a nebo jsou blízké správné hodnotě převýšení, zvětšuje. Z výsledků testu je patrné, že zavedením oprav do výpočtu dochází ke zpřesnění zjišťovaného převýšení. V Tab. 7.3 je jasně vidět, že například v kategorii s rozptylem odchylek od 0,00 do 0,02 mm četnost hodnot převýšení vzrostla přibližně o polovinu se zavedením oprav z počtu 28 převýšení na 61 v této kategorii. Jedná se však pouze o rozdíly maximálně v řádech setin milimetrů, a proto je vhodné zvážit, zda je v tomto případě nutné opravu zavádět. Z mého pohledu zavádění opravy v rámci měření jednoho převýšení nemá takový význam jako při zavádění oprav v nivelačním pořadu, kde se rozdíly pohybují již v řádech milimetrů.

Kromě testování oprav pomocí stabilního převýšení mezi dvěma body byla také testována stabilita čtení nivelačního přístroje. Přístroj byl umístěn na neměnném stanovisku (bez změny výšky) a na totožném místě lati bylo opakovaně odečítáno nivelační čtení. Opakovaně vypočtená převýšení byla porovnána a z výsledku jejich rozdílů, který se lišil v řádech setin milimetrů, byla prokázána stabilita čtení nivelačního přístroje.





---

## 8. Závěr

Na začátku diplomové práce jsem si zvolila tyto cíle:

- Navázání na předchozí absolventské práce, ze kterých jsem měla možnost vycházet a čerpat potřebné informace.
- Analýza struktury datových výstupů použitých digitálních nivelačních přístrojů
- Vytvoření uživatelského programového prostředí pro načtení výstupu z programu DLSC (systémové kalibrace digitálního nivelačního přístroje)
- Vytvoření programu pro opravu souboru měření DNP na základě kalibrace
- Vytvoření programu pro generování nivelačního zápisníku z datového souboru DNP

První cíl byl splněn díky využití předchozích prací, zejména mé bakalářské práce a bakalářské práce pana Ing. Jaromíra Rokuska. Z těchto dostupných podkladů jsem měla možnost čerpat různé informace a náměty, a tak jsem mohla porozumět a zpracovávat vytyčené cíle diplomové práce s lepšími výsledky.

Druhý cíl byl také splněn. V úvodní části diplomové práce je popsána struktura datových formátů souborů, které jsou výstupem měření z digitálních nivelačních přístrojů použitých v této práci. Jedná se o formát GSI, který ve svých přístrojích používá firma Leica jako výstupní formát s měřenými daty a formát DAT, který pro výstup měřených dat využívají přístroje značky Trimble.

V této práci byla dále zmíněna systémová kalibrace, protože program má opravovat nivelační měření na základě jejich výstupů. Nivelační měření může být opravováno dvěma způsoby. První způsob spočívá v opravě čtení celého nivelačního pořadu vypočtenými měřítka. Tato měřítka jsou dvě. Jedno je určeno pro lať „vzad“ a druhé je určeno pro lať „vpřed“. Druhý způsob je oprava nivelačního měření pomocí absolutních naměřených odchylek získaných z kalibračního protokolu. V textovém souboru kalibračního protokolu



jsou uvedeny jednotlivé měřené výšky na lati při kalibraci a k nim zjištěné opravy. Ke čtením na lati v terénu jsou tedy hledány odpovídající čtení na lati z provedené kalibrace. Když jsou tato čtení nalezena nebo si jsou velmi blízká, je zavedena hodnota opravy k měřeným nivelačním záměrům v terénu. Protože jsou latě při měření pravidelně střídány, musí být dáván pozor právě při zavádění oprav měření. Vypočtené opravy musí být přiřazeny k měřeným záměrům na odpovídající latě.

Zbylé tři cíle byly také splněny. V programu je vytvořeno grafické uživatelské prostředí, které při spuštění načítá výstupy ze systémové kalibrace. Z těchto výstupů je možné zvolit mezi dvěma způsoby oprav nivelačního měření. Může být zvolen způsob opravy měření pomocí určených měřítek nivelačních přístrojů s latí nebo zavedením hodnot oprav určených přímo při kalibraci pro jim odpovídající nivelační záměry. Tím byl splněn další cíl diplomové práce na vytvoření programu, kterým by byly opravovány výstupy měření z digitálních nivelačních přístrojů na základě systémové kalibrace.

Posledním cílem bylo vytvoření programu na generování nivelačního zápisníku z datového souboru digitálních nivelačních přístrojů. Ve vytvořeném programu lze uložit nivelační měření ve formě zápisníku ve formátu pdf. Tento zápisník je možný uložit jak pro hodnoty bez zavedených oprav, tak pro opravené měřené hodnoty. Kromě tohoto zápisníku lze uložit měření i ve formátu CSV, aby data mohla být dále zpracovávána.

Mojí snahou bylo vytvoření jednoduchého programu na opravu nivelačního měření pro běžně používané přístroje na ČVUT. Nakonec se ukázalo, že tvorba tohoto programu zase tak jednoduchá nebyla. V programu byly odstraněny všechny chyby, na které se postupem času přicházelo, ale nemyslím si, že by došlo k nalezení a odstranění všech možných problémů. V určitých případech program přestal sám od sebe fungovat a došlo k jeho samovolnému vypnutí. Po jeho novém spuštění program pracoval zas již normálně. Program je spustitelný i bez nainstalovaného Qt creatoru v počítači. Je nutné pouze nechat všechny knihovny ve složce tak, jak jsou na DVD v příloze.

V průběhu tvorby byl zjištěn problém při načítání souboru GSI s měřením z nivelačního přístroje Leica NA3003. Jedná se o starší verzi formátu GSI a v některých případech docházelo k ukončení programu při načtení tohoto typu souborů. Po otevření souboru v programu Notepad++ bylo zjištěno, že na některých řádcích je o jeden znak méně, než ve



zbylém souboru. Ve všech případech šlo o chybějící číslo nula v prvních šesti znacích na řádku s tím, že tato anomálie nastávala nahodile. Zkusila jsem to tedy opravit ručně a znovu načíst a tento problém zmizel.

Na závěr bylo provedeno dvojí testování programu. Prvním testem měl být určen vliv výstupů z kalibrace na nivelační pořad. Jako testovací přístroj byl zvolen Leica DNA03 (v.č. 340080) se šesti nivelačními latěmi NEDO GPC L3 (v.č. 27187, 29732, 29703, 27200, 27185 a 27183). Nivelační přístroj společně s latěmi byl zkalibrován na horizontálním komparátoru s velikostí kroku kalibrace 10 mm a 20 mm. Výsledkem kalibrací byl kalibrační protokol, pomocí kterého byly vypočteny hodnoty měřitek pro přístroj s jednotlivými nivelačními latěmi. Do testování byly použity pouze dvě latě s největšími zjištěnými hodnotami měřitek a to NEDO GPC L3 (v.č.27187) s měřítkem 0,999970 a NEDO GPC L3 (v.č.27183) s měřítkem 1,000083. Dále byly vymyšleny fiktivní nivelační pořady o celkových délkách 1, 2, 3 a 5 km s možným převýšením 10, 20, 30 a 50 m ve formátu GSI. Sestavení souboru GSI podléhalo dodržování pravidel pro měření metodou velmi přesné nivelace. Takto vzniklé nivelační pořady byly nejdříve vypočteny bez zavedených oprav, poté byly opraveny o určená měřítka a následně byly opraveny o absolutní naměřené odchylky ze systémové kalibrace a porovnány. Z výsledků testování pořadů bylo zjištěno, že čím byl měřen delší nivelační pořad s větším převýšením, tím by měla být zaváděna větší oprava do jeho výpočtu. Pro nivelační pořady s celkovou délkou od 3 km a s převýšením od 30 m mezi počátečním a koncovým bodem pořadu je nutné, aby byla zaváděna oprava z kalibrace. Rozdíly vypočtených převýšení nivelačního pořadu bez zavedené opravy a se zavedenou opravou se mohou lišit již v řádech milimetrů. Pro zajímavost byly fiktivní nivelační pořady otestovány také s opravami ostatních zkalibrovaných nivelačních latí, u kterých určená měřítka dosahovala menších hodnot. Rozdíly vypočtených převýšení nivelačního pořadu bez zavedené opravy a se zavedenou opravou se lišily pouze v řádech setin milimetrů a zavedení oprav do výpočtu tak nebylo nutné.

Druhým testem bylo testování oprav pomocí stabilního převýšení mezi dvěma body. V laboratoři byly proti sobě umístěny nivelační latě použité v prvním testu a mezi ně byl postaven nivelační přístroj upevněný na teleskopickém stativu. Přístrojem bylo čtením na latě „vpřed“ a „vzad“ určováno převýšení mezi body. Po každém odečtení nivelační sestavy



byl přístroj zvednut o 1 – 2 cm výše. Všechna vypočtená převýšení by si měla v tomto testu odpovídat, ale nebylo tomu tak. Proto byla zavedena oprava z kalibrace a byl sledován vliv zavedených oprav na hodnoty převýšení. Nejdříve byly převýšení vypočteny bez zavedených oprav, poté se zavedením hodnoty měřítka a nakonec se zavedením zjištěných oprav ze systémové kalibrace. Jednotlivá převýšení byla zprůměrována a určena tak správná hodnota převýšení, která by měla vycházet vždy stejná. Protože tomu tak nebylo, byly určeny opravy od průměru. Podle velikosti jejich rozptylu byly zvoleny kategorie a do nich podle četnosti rozděleny převýšení s odchylkami. Z výsledků testování pak bylo určeno, že po zavedení oprav do výpočtu četnost hodnot, které byly rovny správné hodnotě a nebo byly blízké správné hodnotě převýšení, zvětšovala a docházelo ke zpřesňování určovaného převýšení. Například v kategorii s rozptylem odchylek od 0,00 do 0,02 mm, tedy v okolí správné hodnoty, četnost hodnot převýšení vzrostla z počtu 28 převýšení na 61 v rámci této kategorie. I když docházelo ke zpřesnění výsledku převýšení, velikosti rozdílů se pohybovaly pouze v řádech setin milimetrů. Spolu s tímto testem byla testována i stabilita čtení nivelačního přístroje. Přístrojem s konstantní výškou bylo opakovaně odečítáno na urovnaných nivelačních latí. Rozdíly hodnot opakovaně určených převýšení na totožném místě nivelační lati se lišily v řádech setin milimetrů a tím byla prokázána stabilita čtení nivelačního přístroje.

Kromě možnosti ukládání nivelačního měření ve formátu pdf a CSV byl také požadavek, aby program uměl ukládat data ve stejném formátu, jako je načel, tedy GSI a DAT. I přes pokusy se tento úkol nepodařilo splnit z důvodu programovací náročnosti. Doplnění programu o tuto funkci by mohlo být například provedeno v nějaké další diplomové práci jako námět pro studenty, kteří by měli zájem o pokračování a rozšíření programu s touto problematikou.



## Použité zdroje

- [1] VIRIUS, Miroslav. *Programovací jazyk C++*. Praha: ČVUT, 2016.
- [2] CHUMANOVÁ, Pavla. *Systémová kalibrace digitálních nivelačních přístrojů a analýza přesnosti*. Praha, 2014. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Vyskočil, Ph.D.
- [3] LEICA GEOSYSTEMS. *GSI ONLINE for Leica TPS and DNA*. Switzerland: Leica Geosystems, 2002.
- [4] TRIMBLE. *Trimble DiNi Digital Level - User Guide*. USA, 2007.
- [5] LEICA GEOSYSTEMS. *Digital levels NA2002/NA3003 V3.3*. Switzerland: Leica Geosystems, 1997.
- [6] ČEPEK CSc., Prof. Ing. Aleš. *Programovací jazyk C++*. Praha, 2014.
- [7] ROKUSEK, Jaromír. *Zpracování nivelačních měření ve formátu Leica GSI*. Praha, 2014. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Prof. Ing. Aleš Čepeck, CSc.
- [8] Random Vectors with Fixed Sum. *The MathWorks, Inc.* [online]. United States, 1994. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/9700-random-vectors-with-fixed-sum?focused=5064802&tab=function>
- [9] *Qt creator manual* [online]. The Qt Company, 2016. Dostupné z: <http://doc.qt.io/qtcreator/>
- [10] Polynomial fitting in C++. *Vili Petek - Senior Software Engineer* [online]. Canada, Vancouver: GeneratePress - WordPress, 2017. Dostupné z: <http://vilipetek.com/2013/10/17/polynomial-fitting-in-c-not-using-boost/>
- [11] Ikony použité v programu. *IconArchive* [online]. 2017. Dostupné z: <http://www.iconarchive.com/>
- [12] CSV. *WIKIPEDIE* [online]. 2016. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/CSV>



## Seznam obrázků

Obr. 3. 1: Formát GSI-8 – uložení znaků ve větě.....	13
Obr. 3. 2: Formát GSI-16 – uložení znaků ve větě.....	13
Obr. 3. 3: Formát GSI-8 – ukázka slova v řádku.....	13
Obr. 3. 4: Formát GSI-16 – ukázka slova v řádku.....	13
Obr. 3. 5: Měřená data ve formátu GSI-8 .....	14
Obr. 3. 6: Ukázka souboru GSI-8 měřená nivelačním programem „BF“ .....	17
Obr. 3. 7: Ukázka souboru GSI-8 měřená nivelačním programem „BFFB“ .....	17
Obr. 3. 8: Měřená data ve formátu DAT .....	18
Obr. 3. 9: Ukázka souboru DAT měřená nivelačním programem „ZV“ .....	20
Obr. 3.10: Ukázka souboru DAT měřená nivelačním programem „ZVVZ“ .....	21
Obr. 4. 1: Ukázka výstupu ze systémové kalibrace .....	23
Obr. 5. 1: Ukázka části zdrojového kódu z vytvořeného programu .....	28
Obr. 6. 1: Uživatelské grafické rozhraní programu .....	29
Obr. 6. 2: Volba datového formátu .....	29
Obr. 6. 3: Načtení, zavření a výběr souboru.....	30
Obr. 6. 4: Výběr ze seznamu nivelačních pořadů.....	31
Obr. 6. 5: Informace o nivelačním pořadu .....	31
Obr. 6. 6: Volba opravy nivelačního měření .....	32
Obr. 6. 7: Oprava pomocí měřitek .....	33
Obr. 6. 8: Oprava z výstupu kalibrace .....	33
Obr. 6. 9: Volba výstupního formátu a uložení .....	34
Obr. 6. 10: Ukázka vytvořeného nivelačního zápisníku s hodnotami měřeními metodou“BF“.....	35
Obr. 6. 11: Ukázka vytvořeného nivelačního zápisníku s hodnotami měřeními metodou „BFFB“ .....	36



---

Obr. 6. 12: Ukázka uloženého souboru ve formátu CSV s hodnotami měřeními klasickou metodou „BF“ .....	37
Obr. 6. 13: Ukázka uloženého souboru ve formátu CSV s hodnotami měřeními metodou „BFFB“ .....	38
Obr. 7. 1: Graf výškových odchylek nivelačních latí NEDO GPC L3 (v.č.27187 a 29732) .....	43
Obr. 7. 2: Graf výškových odchylek nivelačních latí NEDO GPC L3 (v.č.29703 a 27200) .....	44
Obr. 7. 3: Graf výškových odchylek nivelačních latí NEDO GPC L3 (v.č.27185 a 27183) .....	45
Obr. 7. 4: Graf výškových odchylek pro krok kalibrace 10 mm a 20 mm.....	46



---

## Seznam tabulek

Tab. 3. 1: Tabulka s hodnotami, které mohou být na určité pozici v řádku.....	15
Tab. 3. 2: Tabulka s vybranými kódy v souboru GSI.....	15
Tab. 3. 3: Rozdíl mezi kódy označující měřický program „BF“ nebo „BFFB“ .....	16
Tab. 3. 4: Tabulka s vybranými kódy v souboru DAT .....	19
Tab. 7. 1: Měřítka nivelačních latí NEDO GPC L3.....	39
Tab. 7. 2: Testování vlivu výstupů z kalibrace na nivelační pořady .....	41
Tab. 7. 3: Četnost výskytu odchylek v měření .....	47





# Seznam příloh

Elektronická příloha



## **Elektronická příloha**

- Testovací data nivelačního měření ve formátu GSI a DAT, kalibrační protokoly ve formátu TXT a výpočetní skripty v programu MATLAB
- DVD s vytvořeným programem na opravu nivelačního měření