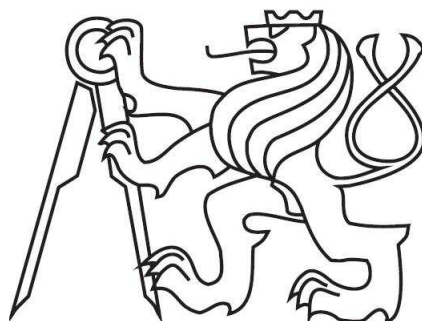


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Určení rovinnosti desky

Vedoucí práce: Ing. Rudolf Urban, Ph.D.

Katedra speciální geodézie



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE



Fakulta stavební
Tháškurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE


I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Toulová</u>	Jméno: <u>Iva</u>	Osobní číslo: <u>396894</u>
Zadávající katedra: <u>Katedra speciální geodézie</u>		
Studijní program: <u>Geodézie a kartografie</u>		
Studijní obor: <u>Geodézie a kartografie</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Určení rovinnosti desky.</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Determining of plate flatness.</u>	
Pokyny pro vypracování: Praktické zaměření rovinnosti desky v diskrétních bodech s využitím různých měřických metod. Apriorní rozbory přesnosti měřických metod v porovnání s výslednou přesností získanou z měřického experimentu. Srovnání metod z hlediska použitelnosti v praxi. Proložení zaměřených diskrétních bodů na desce rovinou a určení odchylek od roviny. Porovnání výsledných odchylek od rovinnosti jednotlivých měřických metod.	
Seznam doporučené literatury: Urban, R.: Geodetické práce při měření posunů a přetvoření stavebních objektů. 1. vyd. Praha. CTU Publishing House, 2015. Štroner, M. - Hampacher, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 1. vyd. Praha: CTU Publishing House, 2011. 313 s. ISBN 978-80-01-04900-6. Braun, J. - Štroner, M. - Třasák, P.: Experimentální určení přesnosti záměry při nivelaci. Geodetický a kartografický obzor. 2012, roč. 58/100, č. 10, s. 226-236. ISSN 0016-7096.	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Rudolf Urban, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>22.2.2016</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>20.5.2016</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 nutně 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>	
<u>24.2.2016</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma „Určení rovinnosti desky“ jsem vypracovala samostatně. Použitou literaturu a prameny uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne

Podpis

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Rudolfu Urbanovi, Ph. D. za cenné rady a konzultace. Dále bych také ráda poděkovala slečně Bc. Michaelle Mocové a panu Bc. Lukášovi Vaisovi za pomoc při měření této práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá určením rovinnosti desky pěti různými metodami měření. U prvních dvou metod byl použit digitální a optický nivelační přístroj. U zbylých třech byla použita prostorová polární metoda s manuálním a automatickým cílením na minihranol a manuálním cílením na odrazný štítek. Měřeno bylo ve dvou dnech v laboratoři na fakultě stavební ČVUT v Praze. V rámci práce bylo provedeno zaměření sto bodů desky ve dvou etapách. Přesnost jednotlivých metod byla stanovena z dvojího zaměření. V rámci zpracování byly naměřené hodnoty proloženy rovinou a z rozdílů odchylek od roviny byly znovu stanoveny přesnosti jednotlivých metod. Pro porovnání byly výsledky zaměření jednotlivých metod výškově srovnány pomocí robustního váženého průměru a zpracovány obdobně jako odchylky od proložené roviny.

Abstract

This diploma thesis deals with the determination of flatness plate of five different methods of measurement. The first two methods were used digital levelling and optical levelling instrument. The remaining free measurements used the spatial polar method with manual and automatic targeting at precision prism and manual targeting at reflecting target. The measurements were performed over two days in the laboratory at the Faculty of Civil Engineering in Prague. For the purpose of the paper, hundred points of the plate were measured in two phases. The accuracy of each method was established on the basis of double measurement. When processing the measured values interspersed a plane and out of the differences between the deviations from the plane the accuracy of each method was re-established. For comparison the results of different methods measurements were compared in terms of height using robust weighted average, and treated similarly as deviations from the fitted plane.

Klíčová slova

Dřevěná deska, Trimble S8, prostorová polární metoda, automatické cílení, manuální cílení, digitální nivelační přístroj, optický nivelační přístroj.

Keywords

Wooden plate, Trimble S8, spatial, polar method, automatic targeting, manual targeting, digital level instrument, optical level instrument.

OBSAH

1	Úvod	10
2	Experiment	11
3	Dřevěná deska	13
4	Přístrojové vybavení.....	16
4.1	Totální stanice Trimble S8	16
4.1.1	Odrazný hranol Leica GMP 111 Basic	18
4.1.2	Odrazný štítek Leica.....	19
4.2	Digitální nivelační přístroj Trimble DiNi 12T	19
4.2.1	Kódovaný pruh invarové latě	20
4.3	Optický nivelační přístroj Spectra precision optical AL 120	20
4.3.1	Cílové zařízení pro optický nivelační přístroj	21
5	Vlastní měření	22
5.1	Totální stanice Trimble S8	22
5.1.1	Minihranol Leica GMP 111	22
5.1.1.1	Automatické cílení.....	23
5.1.1.2	Manuální cílení	24
5.1.2	Odrazný štítek Leica.....	25
5.2	Digitální nivelační přístroj Trimble DiNi 12T	26
5.2.1	Testovací měření	26
5.2.2	Měření desky	28
5.3	Optický nivelační přístroj Spectra precision optical AL 120	29
6	Zpracování měření.....	30
6.1	Totální stanice Trimble S8 – automatické cílení na hranol	30
6.2	Totální stanice Trimble S8 – odrazný štítek	36
6.3	Totální stanice Trimble S8 – manuální cílení na hranol.....	39
6.4	Digitální nivelační přístroj Trimble DiNi 12T	42

6.5	Optický nivelační přístroj Spectra precision optical AL 120	46
6.6	Testování směrodatných odchylek	48
7	Metoda robustního odhadu : L_1 -norma	51
7.1	Odhady pomocí L_p -normy	51
7.2	Použití L_1 normy.....	53
7.2.1	Trimble S8 – štítek vs. Trimble S8 – automatické cílení na hranol	57
7.2.2	Trimble S8 – štítek vs. Trimble S8 – manuální cílení na hranol.....	57
7.2.3	Trimble S8 – štítek vs. digitální nivelační přístroj	58
7.2.3.1	Vrácení vyloučených hodnot – Digitální nivelační přístroj.....	59
7.2.4	Trimble S8 – štítek vs. optický nivelační přístroj	61
7.2.4.1	Vrácení vyloučených hodnot – Optický nivelační přístroj.....	62
8	Proložení bodů rovinou	63
8.1	Proložení obecnou rovinou.....	63
8.2	Vyrovňovací rovina s nejmenšími odchylkami ve směru osy z	66
8.2.1	Totální stanice Trimble S8 – odrazný štítek.....	74
8.2.2	Totální stanice Trimble S8 – automatické cílení na hranol.....	77
8.2.3	Totální stanice Trimble S8 – manuální cílení na hranol	79
8.2.4	Digitální nivelační přístroj Trimble DiNi 12T	81
8.2.5	Optický nivelační přístroj Spectra precision optical AL 120.....	83
9	Porovnání metod, chybové modely	85
9.1	Porovnání odchylek od vyrovnané roviny jednotlivých metod.....	85
9.2	Chybový model – rozdíly odchylek od vyrovnané roviny	86
9.3	Chybový model – rozdíly převýšení srovnaných do jedné výšky	90
9.4	Porovnání chybových modelů	93
10	Vyrovňování směrodatných odchylek.....	95
10.1	Chybový model: rozdíly odchylek od vyrovnané roviny	95
10.2	Chybový model: rozdíly převýšení srovnané do jedné výšky.....	100

10.3	Porovnání směrodatných odchylek jednotlivých metod.....	101
11	Závěr.....	103
12	Seznam použitých zdrojů	105
13	Použité zkratky	105
14	Seznam obrázků	106
15	Seznam tabulek	107
16	Seznam grafů.....	110
17	Obsah přiloženého CD	111

1 Úvod

V inženýrské geodézii je mnoho případů, kde je nutné měření relativní rovinnosti. Jedním z nich je určení rovinnosti desky, na které jsou uložena ložiska mostní konstrukce. V takovémto případě se měření provádí ve výrobní hale, kde je deska umístěna do obecné roviny, která je téměř vodorovná. Relativní rovinnost je třeba v praxi určovat s vysokou přesností a proto je ze všeho nejdůležitější volba vhodné metody měření. Nejčastějšími metodami jsou prostorová polární metoda využívající totální stanice a nivelace. S těmito metodami lze dosáhnout jedné z nejvyšších přesností měření. Pro zaměření větších ploch lze také použít laserové skenování a metody fotogrammetrie. Laserové skenování je jedna z nejrychlejších metod měření avšak tato metoda nedosahuje pro měření rovinnosti tak vysoké přesnosti jako u prostorové polární metody či nivelace (nehledě k použitelnosti metody v omezeném prostoru). V praxi se tedy využívá laserové skenování zpravidla pro méně přesné práce v jednotkách mm (typicky pro stanovení průhybů stropů, podlah či jiných stavebních prvků). Metody fotogrammetrie také nejsou pro tento typ prací zcela vhodné. Pro přesné fotogrammetrické vyhodnocení je nutné měřené body vhodně signalizovat a také vhodně nasnímat, což se pro omezený prostor mostního ložiska jeví velmi obtížné.

Přesnost jednotlivých metod pro měření relativní rovinnosti je velmi rozdílná. Z tohoto důvodu bylo cílem této diplomové práce otestovat několik metod měření a posoudit dosažené přesnosti mezi nimi. Abychom dosáhly přesnosti na desetiny milimetrů, byla volena prostorová polární metoda s využitím totální stanice a nivelace. U prostorové polární metody byla vzdálenost stanoviska a desky, u které byla určována rovinnost, cca 3 metry. Z tohoto důvodu byly voleny dva odrazné cíle a dva druhy cílení (automatické a manuální). Právě cílení na takto malou vzdálenost mělo největší vliv na přesnost měření. U nivelace byly testovány dva nivelační přístroje (digitální a optický) se speciálními cíly, díky kterým mělo být dosaženo vysoké přesnosti.

2 Experiment

Cílem této diplomové práce je určení relativní rovinnosti desky. Při měření v praxi se používá několik způsobů měření a hlavním problémem je dosažitelná přesnost. Pro tuto diplomovou práci bylo k testování vybráno pět metod měření. Za tímto účelem byla vyrobena dřevěná deska se sto body, která je blíže popsána v kapitole 3.

Proměření byla nejprve vybrána prostorová polární metoda, pro jejíž zaměření byla zvolena velmi přesná totální stanice Trimble S8 High Precision. Celkem byla tato metoda rozdělena na tři dílčí v závislosti na volbě cílů a cílení. Prvním z použitých cílů byl minihranol Leica, na který bylo cíleno manuálně měřičem (první metoda) a automaticky totální stanicí (druhá metoda). Druhým cílem byl odrazný štítek, který byl upevněn na speciální válec s krabicovou libelou a na který bylo cíleno pouze manuálně měřičem (třetí metoda). Vzdálenost totální stanice od desky byla při těchto třech metodách cca 3 metry a měřeno bylo ve dvou etapách. Při měření prostorové polární metody na minihranol s automatickým cílením bylo vždy měřeno ve dvou polohách dalekohledu a indexová chyba byla tedy určována na všech bodech desky. U manuálního cílení bylo v obou polohách dalekohledu měřeno pouze na rohových bodech desky a průměrná indexová chyba byla počítána z těchto čtyř měření.

Při čtvrté metodě měření byl použit přesný digitální nivelační přístroj Trimble DiNi 12T jímž bylo cíleno na speciální kódový pruh invarové latě. Tento kódovaný pruh byl izolační páskou upevněn na vodováhu a pomocí ní stabilizován do svislé polohy. Měření i touto metodou bylo prováděno ve dvou etapách a vzdálenost od desky byla i zde cca 3 metry.

U poslední metody měření byl volen optický nivelační přístroj Spectra AL 120, kterým bylo cíleno na část kovového metru upevněného na lati s krabicovou libelou, pomocí níž byl uváděn do svislé polohy. Převýšení zde bylo odhadováno měřičem na 0,1 milimetry a i zde bylo měřeno ve dvou etapách se vzdáleností od desky cca 3 metry.

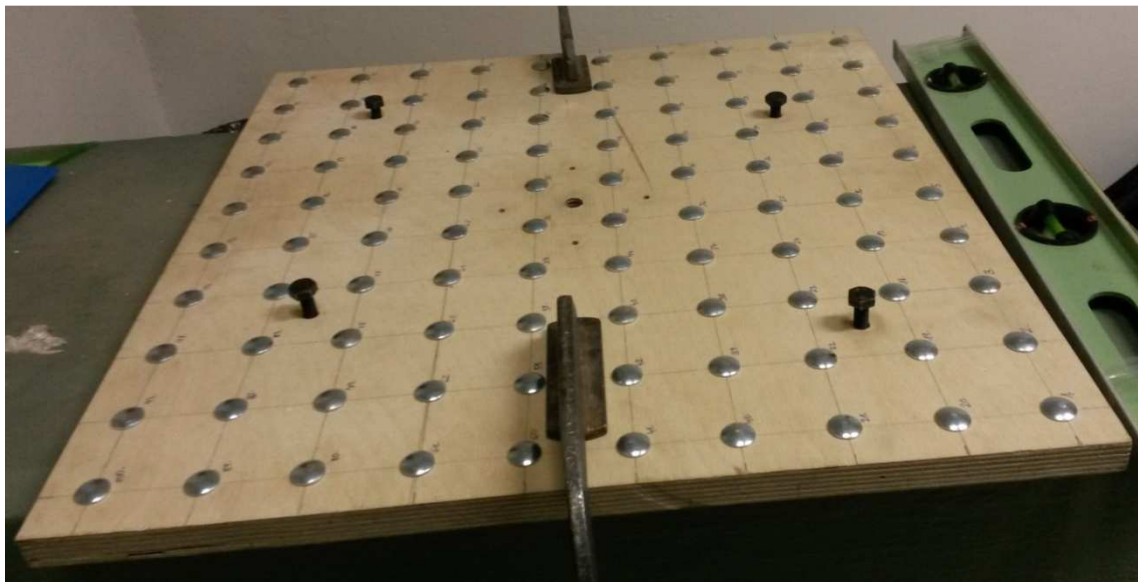
Zpracování a výpočet dat naměřených těmito metodami byl rozdělen do několika částí. Přesnost jednotlivých metod byla nejprve stanovena z dvojího zaměření. Pro určení relativní rovinnosti desky byly použity dvě metody výpočtu proložení (obecná rovina a vyrovnávací rovina). Pro srovnání měřických metod byly zvoleny dva postupy. První postup bylo naměřenými hodnotami na jednotlivých bodech proložit rovinu a vypočítat odchylky od této roviny, které lze pro jednotlivé metody navzájem porovnat. Druhým postupem bylo pomocí

robustní metody stanovit průměrný výškový posun každé měřické metody a následně tyto metody výškově srovnat pro stanovní rozdílů.

Z těchto rozdílů byl stanoven chybový model a znovu vypočítány přesnosti jednotlivých metod. Dále bylo provedeno porovnání trojího výpočtu přesnosti jednotlivých metod (z rozdílů, z rovin a z posunu) a případné zjištění systematických chyb.

3 Dřevěná deska

Pro účely měření této diplomové práce byla z masivního dřeva vyrobena deska se 100 body ve čtvercové síti 5 x 5 cm (Obr. 1). Rozměry desky byly 500 x 500 x 12 mm. Na Obr. 2 je znázorněn detail desky.



Obr. 1: Rovinná deska



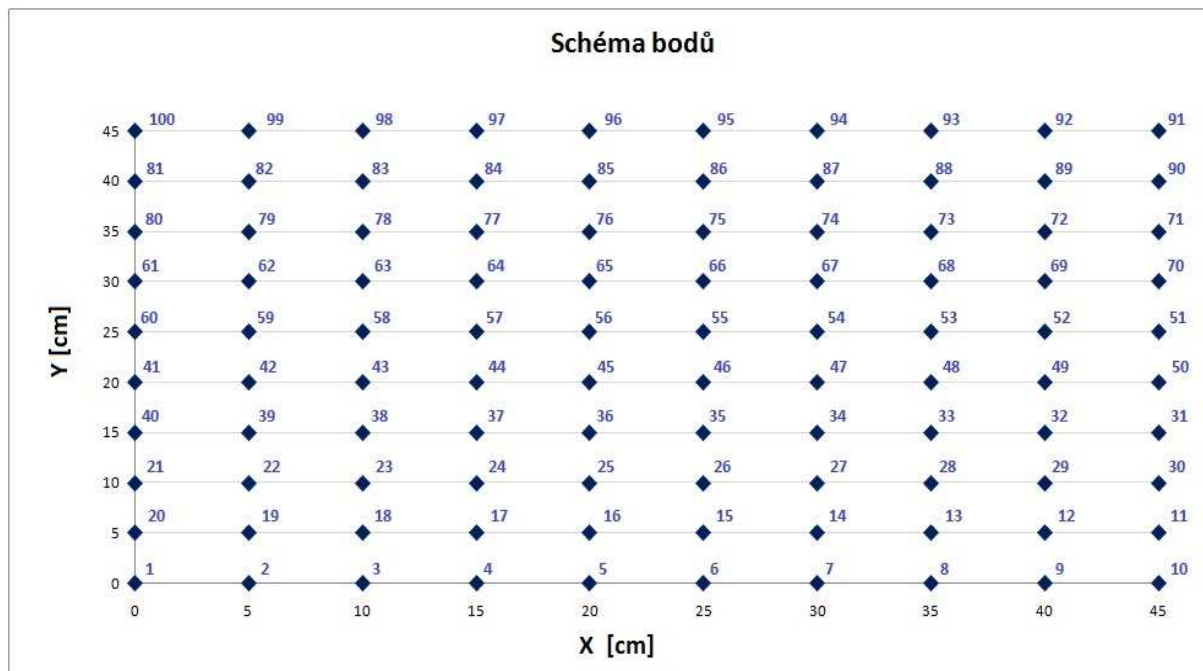
Obr. 2: Detail desky

Body desky byly stabilizovány ocelovými šrouby s kulovým vrchlíkem pro jednoznačné výškové přiřazení. (Obr. 3).



Obr. 3: Stabilizace bodu – ocelový šroub

Na Obr. 4 je znázorněno schéma bodů desky i se zvoleným souřadnicovým systémem: kladná osa x byla vložena do spojnice bodů 1, 10 a kladná osa y do spojnice bodů 1, 100. Polohové souřadnice bodů jsou znázorněny v Tab. 1.



Obr. 4: Schéma bodů rovinné desky

Tab. 1: Polohové souřadnice bodů desky

Číslo bodu	X [cm]	Y [cm]	Číslo bodu	X [cm]	Y [cm]	Číslo bodu	X [cm]	Y [cm]	Číslo bodu	X [cm]	Y [cm]
1.	0	0	26.	25	10	51.	45	25	76.	20	35
2.	5	0	27.	30	10	52.	40	25	77.	15	35
3.	10	0	28.	35	10	53.	35	25	78.	10	35
4.	15	0	29.	40	10	54.	30	25	79.	5	35
5.	20	0	30.	45	10	55.	25	25	80.	0	35
6.	25	0	31.	45	15	56.	20	25	81.	0	40
7.	30	0	32.	40	15	57.	15	25	82.	5	40
8.	35	0	33.	35	15	58.	10	25	83.	10	40
9.	40	0	34.	30	15	59.	5	25	84.	15	40
10.	45	0	35.	25	15	60.	0	25	85.	20	40
11.	45	5	36.	20	15	61.	0	30	86.	25	40
12.	40	5	37.	15	15	62.	5	30	87.	30	40
13.	35	5	38.	10	15	63.	10	30	88.	35	40
14.	30	5	39.	5	15	64.	15	30	89.	40	40
15.	25	5	40.	0	15	65.	20	30	90.	45	40

16.	20	5	41.	0	20	66.	25	30	91.	45	45
17.	15	5	42.	5	20	67.	30	30	92.	40	45
18.	10	5	43.	10	20	68.	35	30	93.	35	45
19.	5	5	44.	15	20	69.	40	30	94.	30	45
20.	0	5	45.	20	20	70.	45	30	95.	25	45
21.	0	10	46.	25	20	71.	45	35	96.	20	45
22.	5	10	47.	30	20	72.	40	35	97.	15	45
23.	10	10	48.	35	20	73.	35	35	98.	10	45
24.	15	10	49.	40	20	74.	30	35	99.	5	45
25.	20	10	50.	45	20	75.	25	35	100.	0	45

Deska byla umístěna a upevněna dvěma truhlářskými svěrkami na betonový pilíř v laboratoři na Fakultě stavební ČVUT v Praze, kde probíhalo měření této diplomové práce. Pomocí čtyř rektifikačních šroubů (černé šrouby na Obr. 1) a vodováhy byla deska přibližně urovnána do vodorovné polohy.

4 Přístrojové vybavení

Pro měření byly použity tyto pomůcky: totální stanice Trimble S8, nivelační přístroj Spectra precision optical AL120 a Trimble DiNi 12T, odrazný minihranol Leica GMP 111 Basic, odrazný štítek Leica, kódovaný pruh nivelační latě, metr, barometr Greisinger GPB 2300, teploměr Greisinger GFTH95 a stativ.

Barometr a teploměr

Při měření byly zaznamenávány atmosférické vlivy v laboratoři na Fakultě stavební ČVUT v Praze (tlak a teplota). Teplota byla měřená kalibrovaným teploměrem Greisinger GFTH95 a tlak barometrem Greisinger GPB 2300 (Obr. 5). Naměřené hodnoty (Tab. 2) byly poté vkládány do totální stanice Trimble S8, která z těchto hodnot počítala fyzikální korekce.



Obr. 5: Barometr a teploměr

Tab. 2: Naměřené atmosférické vlivy

Datum měření:	Tlak:	Teplota:
20. 1. 2016	980 hPa	22°C
1. 2. 2016	989 hPa	24°C

4.1 Totální stanice Trimble S8

Totální stanice Trimble S8 High Precision je jedna z nejvyspělejších automatizovaných a robotických totálních stanic firmy Trimble. Pro účely této diplomové práce byla tato totální stanice zapůjčena z katedry speciální geodézie FSv ČVUT v Praze s výrobním číslem 98111877 a rokem výroby 2014. Základní parametry a přesnosti v hranolovém módu této totální stanice jsou shrnuty v Tab. 3. Tato diplomová práce byla měřena pouze v hranolovém módu. Totální stanice a její příslušenství jsou zobrazeny na Obr. 6 a Obr. 7.



Obr. 6: Totální stanice Trimble S8 High Precision



Obr. 7: Příslušenství totální stanice Trimble S8

Tab. 3: Parametry Trimble S8 High Precision

Dalekohled	
Zvětšení dalekohledu	30x
Rozsah ostření	1,5 m - ∞
Rychlost měření délek na hranol	
Standard	2 s
Tracking	0,4 s

Čas proložení z I. do II. polohy	3,2 s
Rychlost otočení o 200 gon	3,2 s
Ustanovky	Servo pohon, nekonečné ustanovky
Přesnost měření délek na hranol	
Standard	$\pm (1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$
Standardní odchylka dle ISO 17123-4	$\pm (0,8 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$
Tracking	$\pm (5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$
Přesnost měření úhlů na hranol	
Přesnost (směrodatná odchylka dle DIN 18723)	1" (0,3 mgon)
Čtení úhlu (nejmenší dílek) standard	1" (0,1 mgon)
Čtení úhlu (nejmenší dílek) tracking	2" (0,5 mgon)

4.1.1 Odrazný hranol Leica GMP 111 Basic

Pro účely této diplomové práce byl použit minihranol pro přesná měření na kratší vzdálenosti Leica GMP 111 Basic s výrobním číslem 641615 a rokem výroby 2009. Součástí tohoto hranolu je krabicová libela, pomocí níž byl minihranol uváděn do svislé polohy. Pro přesné přiřazení tyče s minihranolem na bod byl vyroben speciální adaptér. Ten měl ploché dno a pomocí závitů byl připevněn na tyč. Součtovou konstantu hranolu udává výrobce +17,5 mm. Naměřené délky tedy byly o tuto hodnotu zvětšeny. Přístroje Leica mají obecně odsazeny dálkoměry o hodnotu +34,4 mm, kterou také udává výrobce. Pokud se měří s jinými přístroji než firmy Leica, v našem případě Trimble, je třeba naměřenou vzdálenost upravit o -34,4 mm. Při měření této diplomové práce byla tedy v totální stanici Trimble S8 nastavována součtová konstanta -16,9 mm (-34,4 mm + 17,5 mm). Mini hranol je zobrazen na Obr. 8.



Obr. 8: Minihranol Leica GMP 111 Basic

4.1.2 Odrazný štítek Leica

Při měření byl použit i jeden odrazný štítek Leica 2 cm x 2 cm, který byl nalepen na ocelový válec (Obr. 9). Tento válec byl pomocí izolační pásky spojen se sázečí krabicovou libelou. Poté byla provedena kalibrace této krabicové libely. Celý systém byl usazen do trnu Topcon na trojnožku s libelou a byl urovnán. Pomocí rektifikačních šroubů byla poté sázečí libela přilepená k přípravku rektifikována. Součtovou konstantu štítku udává výrobce $\pm 0,0$ mm a při měření délek byla i tato součtová konstanta nastavována do totální stanice Trimble S8.



Obr. 9: Odrazný štítek Leica, válec, krabicová libela

4.2 Digitální nivelační přístroj Trimble DiNi 12T

Tento nivelační přístroj byl také zapůjčen z vybavení katedry speciální geodézie FSv ČVUT v Praze. Přístroj byl vyroben v roce 2004 s výrobním číslem 701882 (Obr. 10). Směrodatnou odchylku kilometrovou udává výrobce 0,3 mm pro typ latě kódová, invarová. Z testování Ing. Jaroslava Brauna [1] byla při délce záměry 5 m směrodatná odchylka kilometrová dána hodnotou 0,014 mm. Při měření této diplomové práce nebyla délka záměry 5 m překročena a směrodatná odchylka kilometrová byla tedy z části pro výpočty převzata.



Obr. 10: Trimble DiNi 12T

4.2.1 Kódovaný pruh invarové latě

Pro účely této diplomové práce byl z vybavení katedry speciální geodézie FSv ČVUT v Praze zapůjčen kódovaný pruh invarové latě. Ten byl pomocí izolační pásky připevněn na vodováhu (Obr. 11). Na takto upevněný kódovaný pruh bylo měřeno digitálním nivelačním přístrojem Trimble DiNi 12T.



Obr. 11: Kódovaný pruh

4.3 Optický nivelační přístroj Spectra precision optical AL 120

Optický nivelační přístroj Spectra precision optical AL 120 (Obr. 12) s výrobním číslem 812052 byl pro účely této diplomové práce též zapůjčen z katedry speciální geodézie FSv ČVUT v Praze. Je to snadno ovladatelný a spolehlivý přístroj s magneticky tlumeným kompenzátorem. Parametry tohoto nivelačního přístroje udává výrobce: zvětšení dalekohledu dvacetinásobné, směrodatná odchylka kilometrová 2,5 mm a nejkratší zaostření 0,6 m.



Obr. 12: Spectra precision optical AL 120

4.3.1 Cílové zařízení pro optický nivelační přístroj

Při měření optickým nivelačním přístrojem Spectra precision optical AL 120 byla jako cíl zvolena část kovového metru. Tato část metru byla pomocí izolační pásky připevněna na tyč odrazného hranolu Leica GMP 111 (Obr. 13) a pomocí něj také urovnávána do svislého směru.



Obr. 13: Část kovového metru na výtyčce

5 Vlastní měření

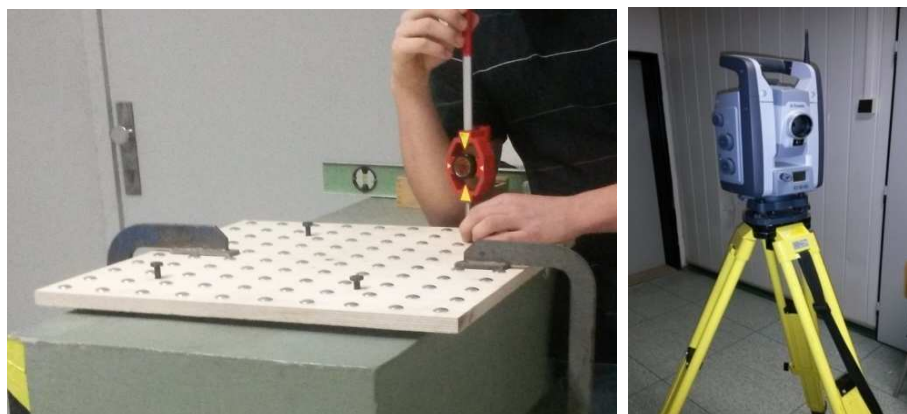
Jak již bylo zmíněno, tak měření této diplomové práce probíhalo v laboratoři na fakultě stavební ČVUT v Praze ve dnech 20. 1. 2016 a 1. 2. 2016. Cílem této práce bylo zaměřit všech 100 bodů dřevěné desky několika způsoby. Měřeno bylo vždy ze stanoviska vzdáleného od desky 2 – 3 metry na jednotlivé body desky za pomoci totální stanice a nivelačních přístrojů. Celkem bylo měřeno 5 způsoby ve dvou etapách. Měření po oba dva dny probíhalo vždy stejně. Z katedry speciální geodézie byly v den měření výše zmíněné pomůcky zapůjčeny a přepraveny do laboratoře, kde po příchodu byly vyndány z ochranných obalů a krabic, aby se přizpůsobily teplotě v laboratoři.

5.1 Totální stanice Trimble S8

Jedním ze způsobu měření této diplomové práce bylo zaměření vodorovných směrů, zenitových úhlu a šikmých délek pomocí totální stanice Trimble S8 třemi metodami v závislosti na volbě cílů a cílení. Při první metodě byl použit odrazný štítek a manuální cílení. U zbývajících dvou metod byl použit odrazný minihranol a metody se lišily automatickým a manuálním cílením. Jednotlivé metody jsou popsány dále v této diplomové práci. Šikmé délky byly zobrazovány na 0,1mm, vodorovné směry a zenitové úhly na 0,1 mgon. Před započítí měření byla v přístroji založena nová zakázka a v ní byla provedena potřebná nastavení. Nastaveny byly například atmosférické vlivy (viz výše) pro výpočet korekcí, podle zvoleného odrazného systému součtové konstanty atd. Zaměřeno bylo vždy všech 100 bodů desky ve dvou etapách. Mezi etapami byl časový odstup 1,5 hodiny. Všechna naměřená data byla registrována do paměti totální stanice, aby nemusela být zapisována do příslušného zápisníku. Po skončení měření byla registrovaná data exportována z paměti přístroje na přenosný disk.

5.1.1 Minihranol Leica GMP 111

Prvním odrazným systémem byl zvolen minihranol Leica GMP 111, na který bylo cíleno totální stanicí Trimble S8. Měření probíhalo dvěma způsoby (automatické a manuální cílení), při kterých byl minihranol vždy umístěn na jednotlivé body desky. Na Obr. 14 je zachycen průběh měření.



Obr. 14: Průběh měření totální stanicí na minihranol

5.1.1.1 Automatické cílení

Při prvním způsobu měření totální stanicí Trimble S8 na minihranol Leica bylo využito automatického cílení této totální stanice na odrazný systém. Měření na každém bodě probíhalo v I. a II. poloze dalekohledu a byly měřeny vodorovné směry, zenitové úhly a šikmá délky. Příklad takto naměřených dat je vidět v Tab. 4.

Tab. 4: Příklad naměřených dat - Trimble S8 automatic

MĚŘENÁ DATA - 1. etapa						
Číslo bodu	I. Poloha			II. Poloha		
	Vodorovný směr	Zenitový úhel	Šikmá délka	Vodorovný směr	Zenitový úhel	Šikmá délka
	[gon]	[gon]	[m]	[gon]	[gon]	[m]
1	69,95038	108,78489	2,3069	269,95794	291,17018	2,3069
2	71,28446	108,76963	2,3137	271,29564	291,19094	2,3136
3	72,65327	108,73515	2,3229	272,66620	291,22337	2,3231
4	73,98719	108,68874	2,3340	273,99986	291,26548	2,3337
.
.
100	68,31077	107,37062	2,7475	268,32216	292,59317	2,7478
MĚŘENÁ DATA - 2. etapa						
Číslo bodu	I. Poloha			II. Poloha		
	Vodorovný směr	Zenitový úhel	Šikmá délka	Vodorovný směr	Zenitový úhel	Šikmá délka
	[gon]	[gon]	[m]	[gon]	[gon]	[m]
1	69,88930	108,78498	2,3064	269,90205	291,16436	2,3065
2	71,29326	108,76681	2,3135	271,30712	291,18266	2,3130
3	72,63898	108,73437	2,3228	272,65391	291,21986	2,3229
4	73,99605	108,69468	2,3331	274,00783	291,26050	2,3331
.
.
100	68,29652	107,36750	2,7482	268,30805	292,59218	2,7482

5.1.1.2 Manuální cílení

U druhého způsobu měření totální stanicí Trimble S8 na minihranol, bylo na tento hranol cíleno manuálně měřičem. Pro zkrácení doby měření, bylo v každé etapě měřeno pouze v I. poloze dalekohledu. Pro výpočet průměrné indexové chyby a následného opravení všech zenitových úhlu o tuto chybu, bylo na rohových bodech desky 1, 10, 91 a 100 měřeno v obou polohách dalekohledu (Tab. 6). Ukázka naměřených dat je zobrazena v Tab. 5.

Tab. 5: Příklad naměřených dat - Trimble S8 manuál

MĚŘENÁ DATA - 1. etapa				MĚŘENÁ DATA - 2. etapa			
Číslo bodu	I. Poloha			Číslo bodu	I. Poloha		
	Vodorovný směr	Zenitový úhel	Šikmá délka		Vodorovný směr	Zenitový úhel	Šikmá délka
	[gon]	[gon]	[m]		[gon]	[gon]	[m]
1	14,50815	109,63558	2,0359	1	14,49933	109,63514	2,0364
2	16,04058	109,59088	2,0464	2	16,07150	109,58190	2,0478
3	17,54590	109,52348	2,0606	3	17,55344	109,52032	2,0621
4	18,99610	109,43932	2,0773	4	19,00889	109,44688	2,0771
·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·
100	11,62212	107,92783	2,4697	100	11,62431	107,92844	2,4706

Tab. 6: Příklad naměřených dat - Trimble S8 manuál - I. a II. poloha dalekohledu

MĚŘENÁ DATA - 1. etapa						
Číslo bodu	I. Poloha			II. Poloha		
	Vodorovný směr	Zenitový úhel	Šikmá délka	Vodorovný směr	Zenitový úhel	Šikmá délka
	[gon]	[gon]	[m]	[gon]	[gon]	[m]
1	14,50815	109,63558	2,0359	214,5082	290,3644	2,0359
10	27,37379	108,95582	2,1890	227,3738	291,0441	2,1893
91	22,50867	107,49424	2,5985	222,5087	292,5057	2,5989
100	11,62212	107,92783	2,4697	211,6222	292,0721	2,4697
MĚŘENÁ DATA - 2. etapa						
Číslo bodu	I. Poloha			II. Poloha		
	Vodorovný směr	Zenitový úhel	Šikmá délka	Vodorovný směr	Zenitový úhel	Šikmá délka
	[gon]	[gon]	[m]	[gon]	[gon]	[m]
1	14,49933	109,63514	2,0364	214,4994	290,3692	2,0367
10	27,36312	108,95525	2,1898	227,3632	291,0474	2,1900
91	22,51692	107,49780	2,5996	222,5170	292,5021	2,6000
100	11,62431	107,92844	2,4706	211,6243	292,0715	2,4715

5.1.2 Odrazný štítek Leica

Druhým odrazným systémem byl zvolen odrazný štítek Leica, na který bylo totální stanicí Trimble S8 cíleno manuálně měřičem. Měřeno bylo pouze v I. poloze dalekohledu ve dvou etapách, kromě bodů 1, 10, 91 a 100. Na tyto rohové body desky bylo cíleno ve dvou polohách dalekohledu pro určení průměrné indexové chyby. Průběh měření je zachycen na Obr. 15. Ukázka naměřených dat je zobrazena v Tab. 7 a Tab. 8.



Obr. 15: Průběh měření totální stanicí na odrazný štítek Leica

Tab. 7: Příklad naměřených dat - Trimble S8 štítek

MĚŘENÁ DATA - 1. etapa				MĚŘENÁ DATA - 2. etapa			
Číslo bodu	I. Poloha			Číslo bodu	I. Poloha		
	Vodorovný směr	Zenitový úhel	Šikmá délka		Vodorovný směr	Zenitový úhel	Šikmá délka
	[gon]	[gon]	[m]		[gon]	[gon]	[m]
1	14,51669	109,07584	2,0347	1	14,48816	109,07480	2,0345
2	16,04729	109,02877	2,0467	2	16,01591	109,02497	2,0474
3	17,57624	108,96910	2,0595	3	17,47691	108,96472	2,0609
4	19,01568	108,89044	2,0775	4	18,99446	108,89121	2,0767
.
.
.
100	11,55404	107,45873	2,4701	100	11,60945	107,46187	2,4707

Tab. 8: Příklad naměřených dat - Trimble S8 štítek - I. a II. poloha dalekohledu

MĚŘENÁ DATA - 1. etapa						
Číslo bodu	I. Poloha			II. Poloha		
	Vodorovný směr	Zenitový úhel	Šikmá délka	Vodorovný směr	Zenitový úhel	Šikmá délka
	[gon]	[gon]	[m]	[gon]	[gon]	[m]
1	14,51669	109,07584	2,0347	214,5167	290,9298	2,0337
10	27,35723	108,42817	2,1893	227,3573	291,5718	2,1889
91	22,42192	107,05506	2,5981	222,4220	292,9449	2,5982
100	11,55404	107,45873	2,4701	211,5541	292,5412	2,4707
MĚŘENÁ DATA - 2. etapa						
Číslo bodu	I. Poloha			II. Poloha		
	Vodorovný směr	Zenitový úhel	Šikmá délka	Vodorovný směr	Zenitový úhel	Šikmá délka
	[gon]	[gon]	[m]	[gon]	[gon]	[m]
1	14,48816	109,0748	2,0345	214,4882	290,9251	2,0343
10	27,33816	108,44877	2,1845	227,3382	291,5528	2,1842
91	22,50138	107,04878	2,6015	222,5014	292,9546	2,6019
100	11,60945	107,46187	2,4707	211,6095	292,5402	2,4702

5.2 Digitální nivelační přístroj Trimble DiNi 12T

Dalším ze způsobu měření této diplomové práce bylo měření převýšení digitálním nivelačním přístrojem Trimble DiNi 12T. Jak bylo uvedeno výše, tímto přístrojem bylo měřeno převýšení na pruh kódované invarové latě, který byl postupně umisťován na jednotlivé body desky.

5.2.1 Testovací měření

Před samotným měřením bodů desky, ještě proběhlo testovací měření. To tvořilo dva dílčí experimenty a jeho účelem bylo zjištění přesnosti přiřazení latě na bod. Při prvním experimentu byl pruh kódované invarové latě umístěn svisle na jeden bod a pevně upevněn pomocí izolační pásky ke dřevěné bedně, aby byla zajištěna jeho stabilita po dobu měření (viz Obr. 16). Na takto upevněný pruh kódované invarové latě bylo digitálním nivelačním přístrojem měřeno třicetkrát. Urovnání latě tedy proběhlo pouze na začátku měření. Při druhém experimentu byl pruh kódované latě urovnáván do svislé polohy při každém měření. Měřeno a urovnáváno bylo třicetkrát po sobě. Všechna naměřená data jsou zobrazena v Tab.9.



Obr. 16: Upevněný pruh kódované invarové latě

Tab. 9: Naměřená data testovacího měření

Číslo měření	Naměřená převýšení s 1x urovnáním kódovaným pruhem		Naměřená převýšení s 30x urovnáním kódovaným pruhem	
	Naměřená převýšení [m]	Vodorovná délka [m]	Naměřená převýšení [m]	Vodorovná délka [m]
1	0,32514	2,78	0,32497	2,78
2	0,32514	2,78	0,32496	2,78
3	0,32515	2,78	0,32507	2,78
4	0,32515	2,78	0,32499	2,78
5	0,32515	2,78	0,32505	2,78
6	0,32515	2,78	0,32504	2,78
7	0,32515	2,78	0,32504	2,78
8	0,32515	2,78	0,32511	2,78
9	0,32514	2,78	0,32509	2,78
10	0,32515	2,78	0,32506	2,78
11	0,32515	2,78	0,32509	2,78
12	0,32515	2,78	0,32505	2,78
13	0,32514	2,78	0,32505	2,78
14	0,32514	2,78	0,32504	2,78
15	0,32514	2,78	0,32505	2,78
16	0,32515	2,78	0,32503	2,78
17	0,32514	2,78	0,32502	2,78
18	0,32514	2,78	0,32503	2,78
19	0,32515	2,78	0,32508	2,78

20	0,32514	2,78	0,32502	2,78
21	0,32514	2,78	0,32504	2,78
22	0,32514	2,78	0,32501	2,78
23	0,32514	2,78	0,32509	2,78
24	0,32514	2,78	0,32506	2,78
25	0,32514	2,78	0,32501	2,78
26	0,32514	2,78	0,32504	2,78
27	0,32515	2,78	0,32508	2,78
28	0,32514	2,78	0,32507	2,78
29	0,32514	2,78	0,32504	2,78
30	0,32514	2,78	0,32497	2,78

5.2.2 Měření desky

Po tomto testovacím měření bylo měřeno digitálním nivelačním přístrojem na všech 100 bodech desky ve dvou etapách. Příklad naměřených převýšení je zobrazena v Tab. 10.

Tab. 10: Příklad naměřených dat - Digitální nivelační přístroj

MĚŘENÁ DATA			
1. etapa		2. etapa	
Číslo bodu	Naměřená převýšení [m]	Číslo bodu	Naměřená převýšení [m]
1	0,32571	1	0,32575
2	0,32598	2	0,32600
3	0,32608	3	0,32610
4	0,32609	4	0,32598
5	0,32589	5	0,32587
6	0,32590	6	0,32580
7	0,32571	7	0,32578
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
98	0,32569	98	0,32569
99	0,32560	99	0,32568
100	0,32587	100	0,32575

5.3 Optický nivelační přístroj Spectra precision optical AL 120

Posledním ze způsobů, bylo měření převýšení pomocí optického nivelačního přístroje Spectra precision optical AL 120. Jak již bylo zmíněno výše, odečítání bylo prováděno na metru upevněného na výtyčku. Metr je dělený po milimetrech a převýšení bylo podle měřiče odhadováno na 0,1 mm. Jedná se o nejhrubší odečítání z výše popsaných metod. Ukázka naměřených dat je zobrazena v Tab. 11.

Tab. 11: Příklad naměřených dat - Optický nivelační přístroj

MĚŘENÁ DATA			
1. etapa		2. etapa	
Číslo bodu	Naměřená převýšení	Číslo bodu	Naměřená převýšení
	[m]		[m]
1	3,6461	1	3,6461
2	3,6462	2	3,6462
3	3,6467	3	3,6464
4	3,6461	4	3,6462
5	3,6461	5	3,6462
6	3,6460	6	3,6461
7	3,6460	7	3,6462
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
98	3,6459	98	3,6460
99	3,6459	99	3,6459
100	3,6460	100	3,6460

6 Zpracování měření

Zpracování naměřených dat bylo prováděno ve výpočetním programu Microsoft Excel. Pro každou metodu byl připraven výpočetní skript, do kterého byla naměřená data vložena. Postup zpracování pro jednotlivé metody je popsán níže.

6.1 Totální stanice Trimble S8 – automatické cílení na hranol

Při měření prostorové polární metody, bylo všech sto bodů desky měřeno ve dvou polohách dalekohledu. Z takto naměřených dat bylo nutné na všech bodech vypočítat indexové chyby a pomocí nich opravit zenitové úhly:

- *Výpočet indexové chyby:*

$$i = \frac{400 - (\zeta_1 + \zeta_2)}{2}. \quad (1)$$

Kde: i = indexová chyba,

ζ_1, ζ_2 = zenitový úhel v I. a II. poloze dalekohledu.

- *Výpočet opraveného zenitového úhlu:*

$$\zeta = \zeta_1 + i. \quad (2)$$

Kde: ζ = opravený zenitový úhel,

i = indexová chyba,

ζ_1 = zenitový úhel v I. poloze dalekohledu.

- *Výpočet průměrné šikmé délky:*

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2}{2}. \quad (3)$$

Kde: \bar{s} = průměrná šikmá délka,

s_1, s_2 = šikmá délka v I. a II. poloze dalekohledu.

Z takto upravených naměřených dat bylo dále počítáno převýšení a směrodatná odchylky převýšení:

▪ **Výpočet převýšení:**

$$h = \cos(\zeta) * \bar{s} . \quad (4)$$

Kde: h = převýšení,
 \bar{s} = průměrná šikmá délka,
 ζ = opravený zenitový úhel.

▪ **Výpočet směrodatné odchytky převýšení**

Směrodatná odchytka převýšení byla vypočtena pomocí zákona hromadění směrodatných odchylek (ZHSO). Ze vzorce (4) je zřejmé, že přesnost určení převýšení závisí na přesnosti měřených délek a zenitových úhlů. Parciálním derivováním vzorce (4) a zavedením skutečných chyb jako diferenciálu byl získán vzorec pro skutečnou chybu převýšení.

$$\varepsilon_h = \cos(\zeta) * \varepsilon_{\bar{s}} - \bar{s} * \sin(\zeta) * \varepsilon_{\zeta} . \quad (5)$$

Kde: ε_h = skutečná chyba převýšení,
 $\varepsilon_{\bar{s}}$ = skutečná chyba šikmé délky,
 ε_{ζ} = skutečná chyba zenitového úhlu,
 \bar{s} = průměrná šikmá délka,
 ζ = opravený zenitový úhel.

Přechodem na směrodatné odchytky byl získán vzorec pro kvadrát směrodatné odchytky převýšení:

$$\sigma_h^2 = (\cos(\zeta))^2 * \sigma_{\bar{s}}^2 + \bar{s}^2 * (\sin(\zeta))^2 * \sigma_{\zeta}^2 . \quad (6)$$

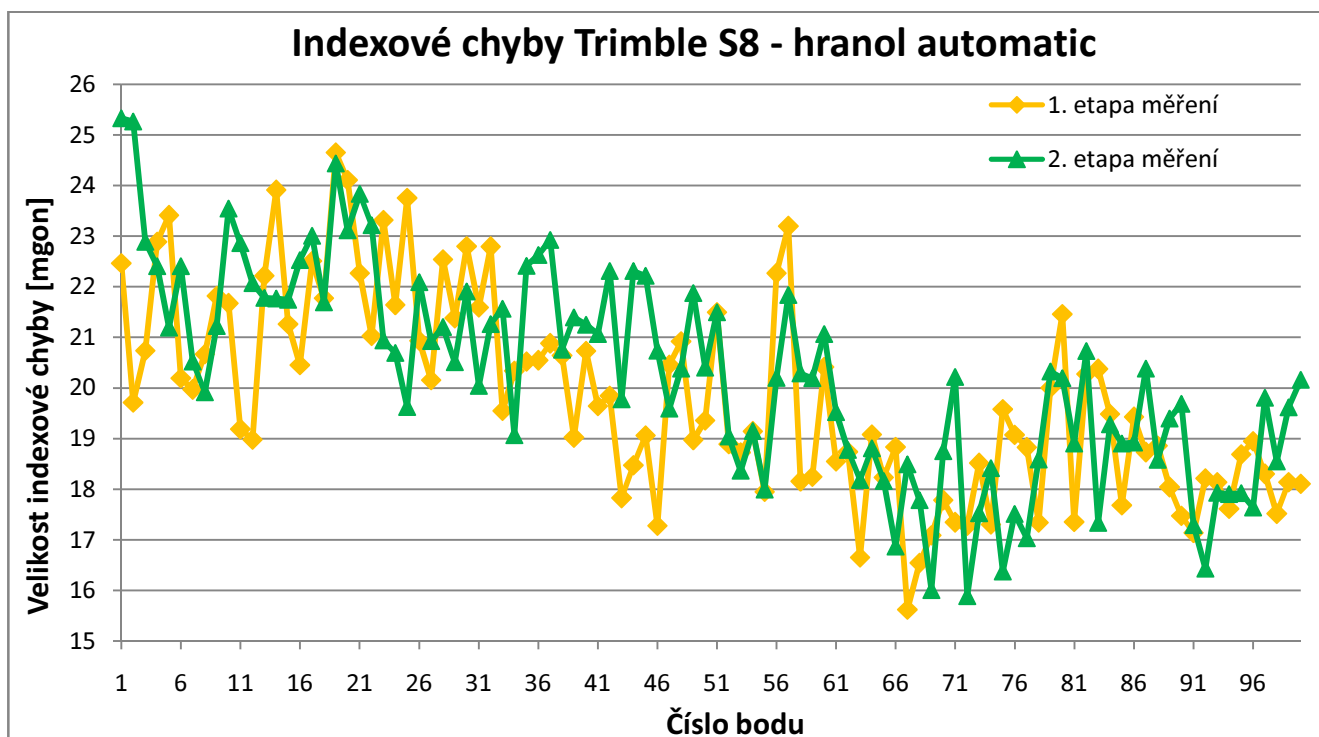
Kde: σ_h = směrodatná odchytky převýšení,
 $\sigma_{\bar{s}}$ = směrodatná odchytky šikmé délky (Trimble S8 = $\pm 0,8$ mm + 1 ppm),
 σ_{ζ} = směrodatná odchytky zenitového úhlu (Trimble S8 = 0,3 mgon),
 \bar{s} = průměrná šikmá délka,
 ζ = opravený zenitový úhel.

Podle výše uvedeného postupu byla zpracována měření v I. a II. poloze dalekohledu obou etap měření této metody. Ukázka zpracování dat se nachází v Tab. 12.

Tab. 12: Ukázka zpracování dat - Trimble S8 automatic

ZPRACOVANÁ DATA – 1. etapa					
Zpracování I. a II. polohy					
Číslo bodu	Indexová chyba	Opravený zenitový úhel	Průměrná šikmá délka	Převýšení	Sm. od. převýšení
	[gon]	[gon]	[m]	[m]	[mm]
1	0,022465	108,807355	2,30690	-0,31813	0,11
2	0,019715	108,789345	2,31365	-0,31841	0,11
3	0,020740	108,75589	2,32300	-0,31849	0,11
4	0,022890	108,71163	2,33385	-0,31837	0,11
.
.
.
98	0,017515	107,349625	2,76170	-0,31812	0,093
99	0,018140	107,367290	2,75420	-0,31802	0,093
100	0,018105	107,388725	2,74765	-0,31818	0,094
ZPRACOVANÁ DATA – 2. etapa					
Zpracování I. a II. polohy					
Číslo bodu	Indexová chyba	Opravený zenitový úhel	Průměrná šikmá délka	Převýšení	Sm. od. převýšení
	[gon]	[gon]	[m]	[m]	[mm]
1	0,025330	108,810310	2,30645	-0,31818	0,11
2	0,025265	108,792075	2,31325	-0,31846	0,11
3	0,022885	108,757255	2,32285	-0,31852	0,11
4	0,022410	108,717090	2,33310	-0,31847	0,11
.
.
.
98	0,01855	107,34681	2,76315	-0,31817	0,093
99	0,01962	107,36493	2,75540	-0,31806	0,093
100	0,02016	107,38766	2,74820	-0,31820	0,094

Vypočtené indexové chyby na jednotlivých bodech desky v obou etapách měření jsou znázorněny v Grafu č. 1.



Graf č. 1: Indexové chyby: Trimble S8 - hranol automatic

Z Grafu č. 1 lze vyčíst, že maximální indexová chyba činila 25,3 mgon na bodě č. 1 v 2. etapě měření a naopak minimální indexová chyba byla 15,6mgon na bodě č. 67 v 1. etapě. Většina indexových chyb se pohybuje v rozmezí 17 mgon až 23mgon (což činí na vzdálenost cca 2,5 metrů 0,66 mm až 0,90 mm).

Dále následovalo porovnání 1. a 2. etapy měření podle následujícího postupu. Výsledky jsou pak zobrazeny v Tab. 13.

▪ **Rozdíl převýšení:**

$$\Delta h = h_1 - h_2 \quad (7)$$

Kde: Δh = rozdíl převýšení,

h_1, h_2 = převýšení v 1. a 2. etapě.

▪ **Mezní rozdíl převýšení:**

$$\Delta_M = up * \sqrt{\sigma_{h1}^2 + \sigma_{h2}^2} \quad (8)$$

Kde: Δ_M = mezní rozdíl převýšení,

σ_{h1}, σ_{h2} = směrodatná odchylka převýšení v 1. a 2. etapě,

up = koeficient spolehlivosti = 2.

▪ **Podmínka:**

$$\Delta h \leq \Delta_M \quad (9)$$

Kde: Δ_M = mezní rozdíl převýšení,
 Δh = rozdíl převýšení.

Pokud nebyla podmínka splněna, byl rozdíl převýšení Δh považován za odlehlý a následně vyloučen.

Tab. 13: Porovnání 1. a 2. etapy Trimble S8 - automatic

Porovnání 1. a 2. etapy					
Číslo bodu	Převýšení 1. etapy	Převýšení 2. etapy	Rozdíl převýšení Δh	Mezní rozdíl Δ_M	Porovnání s mezní hodnotou $\Delta h \leq \Delta_M$
	[m]	[m]	[mm]	[mm]	
1	-0,31813	-0,31818	0,044	0,31	ano
2	-0,31841	-0,31846	0,043	0,31	ano
3	-0,31849	-0,31852	0,029	0,31	ano
4	-0,31837	-0,31847	0,096	0,31	ano
5	-0,31833	-0,31838	0,043	0,31	ano
6	-0,31819	-0,31828	0,095	0,31	ano
7	-0,31808	-0,31819	0,107	0,31	ano
.
.
.
98	-0,31812	-0,31817	0,046	0,26	ano
99	-0,31802	-0,31806	0,037	0,26	ano
100	-0,31818	-0,31820	0,018	0,26	ano
Maximální rozdíl převýšení: 0,16 mm			Minimální rozdíl převýšení: -0,12 mm		

Všechny vypočtené rozdíly převýšení splňovaly podmínku $\Delta h \leq \Delta_M$ a nebylo tedy nutné žádný rozdíl vyloučit. Z těchto rozdílů byly podle níže popsaného postupu vypočteny tyto směrodatné odchylky (Tab. 14).

▪ **Výpočet směrodatné odchylky rozdílů převýšení:**

$$\sigma_{\Delta h} = \sqrt{\frac{\sum \Delta h^2}{n}} \quad (10)$$

Kde: $\sigma_{\Delta h}$ = směrodatná odchylka rozdílů převýšení,
 Δh = rozdíl převýšení,
 n = počet měření = 100.

- **Výpočet směrodatné odchylky jednoho měření:**

$$\sigma_{1 \text{ měření}} = \frac{\sigma_{\Delta h}}{\sqrt{2}}. \quad (11)$$

Kde: $\sigma_{\Delta h}$ = směrodatná odchylka rozdílů převýšení,

$\sigma_{1 \text{ měření}}$ = směrodatná odchylka jednoho měření.

- **Výpočet směrodatné odchylky jedné polohy dalekohledu**

$$\sigma_{1 \text{ polohy}} = \sigma_{1 \text{ měření}} * \sqrt{2} = \sigma_{\Delta h}. \quad (12)$$

Kde: $\sigma_{\Delta h}$ = směrodatná odchylka rozdílů převýšení,

$\sigma_{1 \text{ měření}}$ = směrodatná odchylka jednoho měření,

$\sigma_{1 \text{ polohy}}$ = směrodatná odchylka jedné polohy dalekohledu.

Tab. 14: Směrodatné odchylky: Trimble S8 - hranol automatic

Sm. odchylka rozdílů převýšení [mm]	0,065
Sm. odchylka jednoho měření [mm]	0,046
Sm. odchylka jedné polohy [mm]	0,065
n = počet měření	100

Pro porovnávání jednotlivých metod měření mezi sebou byl na závěr zpracování naměřených dat vypočten průměr převýšení a jeho směrodatná odchylka (Tab. 15).

- **Výpočet průměrného převýšení**

$$h_{\emptyset} = \frac{h_{1.etapa} + h_{2.etapa}}{2}. \quad (13)$$

Kde: h_{\emptyset} = průměrné převýšení,

h_i = převýšení naměřené v 1. nebo 2. etapě.

Směrodatná odchylka průměrného převýšení byla vypočtena pomocí zákona hromadění směrodatných odchylek (ZHSO). Parciálním derivováním vzorce (13) a zavedením skutečných chyb jako diferenciálu byl získán vzorec pro skutečnou chybu průměrného převýšení.

$$\varepsilon_{h_{\emptyset}} = \frac{1}{2} * \varepsilon_{h_{1.etapa}} + \frac{1}{2} * \varepsilon_{h_{2.etapa}}. \quad (14)$$

Kde: $\varepsilon_{h_{\emptyset}}$ = skutečná chyba průměrného převýšení,

$\varepsilon_{h_i.etapa}$ = skutečná chyba převýšení v 1. nebo 2. etapě.

Přechodem na směrodatné odchytky byl získán vzorec pro kvadrát směrodatné odchytky průměrného převýšení:

$$\sigma_{h\emptyset}^2 = \left(\frac{1}{2} * \sigma_{h1.etapa}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} * \sigma_{h2.etapa}\right)^2 . \quad (15)$$

Kde: $\sigma_{h\emptyset}$ = směrodatná odchytky průměrného převýšení,

$\sigma_{i.etapa}$ = směrodatná odchytky převýšení v 1. nebo 2. etapě.

Tab. 15: Ukázka zpracovaných dat: Trimble S8 - hranol automatic

Číslo bodu	Průměrné převýšení	Sm. odchytky průměrného převýšení	Číslo bodu	Průměrné převýšení	Sm. odchytky průměrného převýšení
	[m]	[mm]		[m]	[mm]
1	-0,318154	0,078	96	-0,317583	0,065
2	-0,318436	0,078	97	-0,317854	0,066
3	-0,318506	0,078	98	-0,318146	0,066
4	-0,318420	0,078	99	-0,318037	0,066
5	-0,318355	0,077	100	-0,318190	0,066

6.2 Totální stanice Trimble S8 – odrazný štítek

Zpracování této metody probíhalo odlišně. U této metody bylo měření ve dvou polohách dalekohledu prováděno pouze na 4 bodech. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny výše v Tab. 8. Indexová chyba byla vypočtena podle vzorce (1) pouze na těchto čtyřech bodech. Ze čtyř indexových chyb byl vypočten průměr:

- **Výpočet průměru indexové chyby**

$$i_{\emptyset} = \frac{(i_1+i_{10}+i_{91}+i_{100})}{4} . \quad (16)$$

Kde: i_i = indexová chyba na příslušném bodě,

i_{\emptyset} = průměrná indexová chyba.

Výsledky výpočtu jsou zobrazeny v Tab. 16.

Tab. 16: Zpracování zenitových úhlů, indexové chyby: Trimble S8 - štítek

1. ETAPA		
Číslo bodu	Součet zenitových úhlů v I. a II. poloze	Indexová chyba
	[gon]	[mgon]
1	400,00563	-2,815
10	399,99997	0,015
91	399,99996	0,02
100	399,99993	0,035
Průměrná indexová chyba i_ϕ		-0,69
2. ETAPA		
Číslo bodu	Součet zenitových úhlů v I. a II. poloze	Indexová chyba
	[gon]	[mgon]
1	399,99990	0,05
10	400,00156	-0,78
91	400,00335	-1,675
100	400,00204	-1,02
Průměrná indexová chyba i_ϕ		-0,86

Z Tab. 16 je patrné, že indexová chyba v 1. etapě na bodě č. 1 dosahuje oproti ostatním hodnotám v této etapě vysoké hodnoty (na vzdálenost cca 2,5 metrů je 0,11 mm). Proložení dalekohledu z I. do II. polohy bylo prováděno motorizovaně totální stanicí a následně bylo cílení ve II. poloze dalekohledu zkontrolováno měřičem. Pokud nebylo přístrojem zacíleno správně, pak bylo pomocí jemných ustanovek cílení upraveno měřičem. K takovému opravení měřičem došlo právě na bodě č. 1, neboť na ostatních bodech bylo totální stanicí ve II. poloze dalekohledu zacíleno správně. Vysoká hodnota indexové chyby byla tedy přiřazována k manuálnímu docílení měřičem a ponechána ve výpočtu.

O takto vypočtenou průměrnou indexovou chybu byly opraveny zenitové úhly na všech sto bodech v obou etapách.

▪ **Výpočet opraveného zenitového úhlu**

$$\zeta = \zeta_1 + i_\phi . \quad (17)$$

Kde: ζ = opravený zenitový úhel,

i_ϕ = průměrná indexová chyba,

ζ_1 = zenitový úhel v I. poloze dalekohledu.

Následoval výpočet převýšení a jeho směrodatné odchylky podle vzorce (4) a (6). Ukázka takto zpracovaných dat je zobrazena v Tab. 17.

Tab. 17: Ukázka zpracování dat: Trimble S8 – štítek: 1. etapa

Číslo bodu	Opravený zenitový úhel	Naměřená šikmá délka	Převýšení	Sm. odchylka převýšení
	[gon]	[m]	[m]	[mm]
1	109,07515	2,0347	-0,289070	0,11
2	109,02808	2,0467	-0,289276	0,11
3	108,96841	2,0595	-0,289174	0,11
4	108,88975	2,0775	-0,289160	0,11
.
.
.
98	107,39239	2,4931	-0,288847	0,093
99	107,42387	2,4810	-0,288664	0,094
100	107,45804	2,4701	-0,288712	0,094

Dále následovalo porovnání 1. a 2. etapy měření podle postupu popsané výše (vzorce (7) -(11)). Výsledky jsou zobrazeny v Tab. 18.

Tab. 18: Porovnání 1. a 2. etapy Trimble S8 - štítek

Porovnání 1. a 2. etapy					
Číslo bodu	Převýšení 1. etapy	Převýšení 2. etapy	Rozdíl převýšení Δh	Mezní rozdíl Δ_M	Porovnání s mezní hodnotou $\Delta h \leq \Delta_M$
	[m]	[m]	[mm]	[mm]	
1	-0,28907	-0,28900	-0,07	0,32	ano
2	-0,28928	-0,28928	0,00	0,32	ano
3	-0,28917	-0,28925	0,08	0,32	ano
4	-0,28916	-0,28910	-0,06	0,32	ano
5	-0,28898	-0,28899	0,01	0,31	ano
6	-0,28893	-0,28899	0,06	0,31	ano
7	-0,28879	-0,28891	0,12	0,31	ano
.
.
98	-0,28885	-0,28882	-0,03	0,26	ano
99	-0,28866	-0,28876	0,10	0,27	ano
100	-0,28871	-0,28893	0,22	0,27	ano
Maximální rozdíl převýšení: 0,25 mm			Minimální rozdíl převýšení: -0,16 mm		

Všechny vypočtené rozdíly převýšení splňovaly podmínku $\Delta h \leq \Delta_M$. Z těchto rozdílů byly podle vzorců (10) - (11) vypočteny následující směrodatné odchylky (Tab. 19).

Tab. 19: Směrodatné odchylky: Trimble S8 - odrazný štítek

Sm. odchylka rozdílů převýšení [mm]	0,078
Sm. odchylka jednoho měření [mm]	0,055
n = počet měření	100

Na závěr zpracování naměřených dat byl pro následné porovnání jednotlivých metod měření mezi sebou vypočten průměr převýšení a jeho směrodatná odchylka (Tab. 20) podle vzorců (13) - (15).

Tab. 20: Ukázka zpracovaných dat: Trimble S8 - štítek

Číslo bodu	Průměrné převýšení	Sm. odchylka průměrného převýšení	Číslo bodu	Průměrné převýšení	Sm. odchylka průměrného převýšení
	[m]	[mm]		[m]	[mm]
1	-0,318154	0,078	..	..	..
2	-0,318436	0,078	96	-0,317583	0,065
3	-0,318506	0,078	97	-0,317854	0,066
4	-0,318420	0,078	98	-0,318146	0,066
5	-0,318355	0,077	99	-0,318037	0,066
..	..	..	100	-0,318190	0,066

6.3 Totální stanice Trimble S8 – manuální cílení na hranol

Zpracování dat naměřených touto metodou probíhalo stejně jako u metody popsané v kapitole 6.2. Z měření zenitových úhlu na čtyřech bodech ve dvou polohách dalekohledu byly vypočteny indexové chyby (1), průměrná indexová chyba (Tab. 21) a následně opravený zenitový úhel (vzorce (16) a (17)).

Tab. 21: Zpracování zenitových úhlů, indexové chyby: Trimble S8 - hranol manuál

1. ETAPA		
Číslo bodu	Součet zenitových úhlů v I. a II. poloze	Indexová chyba
	[gon]	[mgon]
1	399,99998	0,01
10	399,99992	0,04
91	399,99994	0,03
100	399,99993	0,035
Průměrná indexová chyba i_ϕ		0,03
2. ETAPA		
Číslo bodu	Součet zenitových úhlů v I. a II. poloze	Indexová chyba
	[gon]	[mgon]
1	400,00430	-2,15
10	400,00261	-1,305
91	399,99990	0,05
100	399,99994	0,03
Průměrná indexová chyba i_ϕ		-0,84

Z Tab. 21 je patrné, že průměrná indexová chyba v 1. etapě dosahovala velmi malé hodnoty (0,03 mgon) a na základě toho nebyly zenitové úhly o tuto hodnotu opravovány. Ve 2. etapě byla hodnota vyšší (-0,84 mgon) a proto ve druhé etapě byly zenitové úhly opravovány.

Z vypočteného opraveného zenitového úhlu a měřené šikmé délky byly vypočteny převýšení na jednotlivých bodech ((4) - (6)) a jejich směrodatné odchylky (Tab. 22).

Tab. 22: Ukázka zpracování dat: Trimble S8 – hranol manuál: 2. etapa

Číslo bodu	Opravený zenitový úhel	Naměřená šikmá délka	Převýšení	Sm. odchylka převýšení
	[gon]	[m]	[m]	[mm]
1	109,63430	2,0364	-0,307004	0,12
2	109,58106	2,0478	-0,307030	0,12
3	109,51948	2,0621	-0,307201	0,12
4	109,44604	2,0771	-0,307066	0,12
.
.
.
98	107,85533	2,4925	-0,306773	0,10
99	107,88823	2,4811	-0,306642	0,10
100	107,92760	2,4706	-0,306860	0,10

Dále jako u předchozího odstavce následovalo porovnání 1. a 2. etapy měření podle postupu popsané výše (vzorce (7) - (9)). Výsledky jsou zobrazeny v Tab. 23.

Tab. 23: Porovnání 1. a 2. etapy Trimble S8 - hranol manuál

Porovnání 1. a 2. etapy					
Číslo bodu	Převýšení 1. etapy	Převýšení 2. etapy	Rozdíl převýšení Δh	Mezní rozdíl Δ_M	Porovnání s mezní hodnotou $\Delta h \leq \Delta_M$
	[m]	[m]	[mm]	[mm]	
1	-0,30697	-0,30700	0,03	0,34	ano
2	-0,30713	-0,30703	-0,10	0,34	ano
3	-0,30711	-0,30720	0,10	0,34	ano
4	-0,30688	-0,30707	0,19	0,34	ano
5	-0,30712	-0,30701	-0,12	0,33	ano
6	-0,30690	-0,30687	-0,03	0,33	ano
7	-0,30678	-0,30682	0,05	0,33	ano
.
.
.
98	-0,30685	-0,30677	-0,08	0,28	ano
99	-0,30679	-0,30664	-0,15	0,28	ano
100	-0,30676	-0,30686	0,10	0,28	ano
Maximální rozdíl převýšení: 0,33 mm			Minimální rozdíl převýšení: -0,35 mm		

Všechny vypočtené rozdíly převýšení i u této metody splňovaly podmínku $\Delta h \leq \Delta_M$. Z těchto rozdílů byly dále podle vzorců (10) - (11) vypočteny následující směrodatné odchylky (Tab. 24).

Tab. 24: Směrodatné odchylky: Trimble S8 - hranol manuál

Sm. odchylka rozdílů převýšení [mm]	0,11
Sm. odchylka jednoho měření [mm]	0,078
n = počet měření	100

Na závěr zpracování naměřených dat byl i u této metody pro následné porovnání jednotlivých metod měření mezi sebou vypočten průměr převýšení a jeho směrodatná odchylka (Tab. 25) podle vzorců (13) - (15).

Tab. 25: Ukázka zpracovaných dat: Trimble S8 – hranol manuál

Číslo bodu	Průměrné převýšení	Sm. odchylka průměrného převýšení	Číslo bodu	Průměrné převýšení	Sm. odchylka průměrného převýšení
	[m]	[mm]		[m]	[mm]
1	-0,3069866	0,085	..	..	..
2	-0,3070807	0,085	98	-0,3068108	0,070
3	-0,3071536	0,085	99	-0,3067157	0,070
..	..	..	100	-0,3068090	0,070

6.4 Digitální nivelační přístroj Trimble DiNi 12T

U zpracování naměřených dat digitálním nivelačním přístrojem, bylo nejprve zpracováno testovací měření, které je popsáno v kapitole 5.2.1. Naměřené hodnoty byly zobrazeny v Tab. 9. Pro oba dva způsoby byl postup výpočtu následující.

- **Výpočet průměrného převýšení:**

$$h_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^{30} h_i}{n} . \quad (18)$$

Kde: h_{ϕ} = průměrné převýšení,

h_i = naměřené převýšení,

n = počet měření = 30.

- **Výpočet oprav od průměrného převýšení:**

$$v = h_{\phi} - h_i . \quad (19)$$

Kde: h_{ϕ} = průměrné převýšení,

h_i = naměřené převýšení,

v = oprava od průměru.

- **Výpočet směrodatné odchylky průměrného převýšení:**

$$\sigma_{h_{\phi}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{30} v_i^2}{n}} \quad (20)$$

Kde: $\sigma_{h_{\phi}}$ = směrodatná odchylka průměrného převýšení,

v_i = oprava od průměru,

n = počet měření = 30.

V Tab. 26 jsou zobrazeny výsledné hodnoty testovacího měření.

Tab. 26: Zpracování testovacího měření - digitální nivelační přístroj

Měření s 1x urovnaným kódovaným pruhem		Měření s 30x urovnaným kódovaným pruhem	
Průměr	0,32514 m	Průměr	0,32504 m
Sm. odchylka: $\sigma_{1x \text{ urovnání}}$	0,005 mm	Sm. odchylka: $\sigma_{30x \text{ urovnání}}$	0,037 mm
n = počet měření	30	n = počet měření	30

Z Tab. 26 lze vyčíst, že směrodatná odchylka měření s 1x urovnaným kódovaným pruhem je proti směrodatné odchylce měření s 30x urovnaným kódovaným pruhem opravdu malá a symbolizuje přesnost odečtení přístroje. Pro lepší odhad přesnosti slouží tedy ta, kde urovnávání bylo prováděno vždy a proto i tato hodnota byla převzata do dalších výpočtů jako směrodatná odchylka na záměru.

Apriorní směrodatná odchylka záměry digitálního nivelačního přístroje Trimble DiNi 12T byla převzata od Ing. Jaroslava Brauna a činila 0,014 mm dle [1] a je spolu se směrodatnou odchylkou na záměru z testovacího měření pro digitální nivelační přístroj zobrazena v Tab. 27.

Tab. 27: Porovnání směrodatných odchylek

Sm. odchylka na záměru dle [1]	Sm. odchylka na záměru z testovacího měření
$\sigma_{převzatá} = 0,014 \text{ mm}$	$\sigma_{urovnání} = 0,037 \text{ mm}$

Z Tab. 27 je patrné, že apriorní směrodatná odchylka na záměru převzatá od Ing. Jaroslava Brauna dosahuje oproti vypočtené směrodatné odchylce urovnání z testovacího měření více jak 2,5krát menší hodnoty. Tento nesoulad byl patrně způsoben využitím různých cílových zařízení, kde u testování Ing. Brauna bylo měřeno na lať, zatímco při měření rovinnosti byl využit úzký kódový proužek (patrně docházelo k nejednoznačnému přiřazení proužku na vrchol měřeného bodu). Z tohoto důvodu byla směrodatná odchylka digitálního nivelačního přístroje na záměru volena rovno směrodatné odchylky vypočtené z testovacího měření a tedy 0,037 mm.

Dále následovalo porovnání etap mezi sebou. Byly vypočteny rozdíly převýšení (7), mezní rozdíl převýšení (21) a musela být splněna podmínka (9).

▪ **Výpočet mezního rozdílu převýšení:**

$$\Delta_M = up * \sqrt{2} * \sigma_{na \text{ záměru}} \quad (21)$$

Kde: Δ_M = mezní rozdíl převýšení,

$\sigma_{na \text{ záměru}}$ = směrodatná odchylka na záměru,

up = koeficient spolehlivosti = 3.

Ze všech vypočtených rozdílů převýšení byly podle vzorců (10) a (11) vypočteny příslušné směrodatné odchylky. Všechny výše popsané výpočty jsou zobrazeny v Tab. 28.

Tab. 28: Porovnání etap - digitální nivelační přístroj

Porovnání etap: digitální nivelační přístroj					
Číslo bodu	Rozdíly převýšení [mm]	Porovnání s mezní hodnotou	Číslo bodu	Rozdíly převýšení [mm]	Porovnání s mezní hodnotou
1	-0,04	ano	63	0,29	ne
2	-0,02	ano	64	0,12	ano
.
12	0,03	ano	68	0,09	ano
13	0,21	ne	69	0,22	ne
14	0,07	ano	70	0,18	ne
.	.	.	71	-0,01	ano
20	0,08	ano	72	-0,02	ano
21	0,16	ne	73	0,42	ne
22	0,12	ano	74	0,03	ano
.
25	-0,10	ano	79	0,05	ano
26	0,77	ne	80	0,27	ne
27	0,22	ne	81	0,23	ne
28	0,14	ano	82	0,17	ne
.	.	.	83	0,01	ano
56	0,09	ano	.	.	.
57	0,23	ne	88	-0,02	ano
58	0,09	ano	89	0,27	ne
.	.	.	90	-0,03	ano
61	-0,02	ano	.	.	.
62	0,24	ne	100	0,12	ano
Maximální rozdíl převýšení: 0,77 mm			Minimální rozdíl převýšení: -0,14 mm		
Apriorní sm. od. DiNi 12T				0,014 mm	
Směrodatná odchylka urovnání				0,037 mm	

Směrodatná odchylka na záměru	0,037 mm
Mezní rozdíl převýšení	0,16 mm
Směrodatná odchylka rozdílů	0,14 mm
Směrodatná odchylka 1 měření	0,096 mm
n = počet měření	100

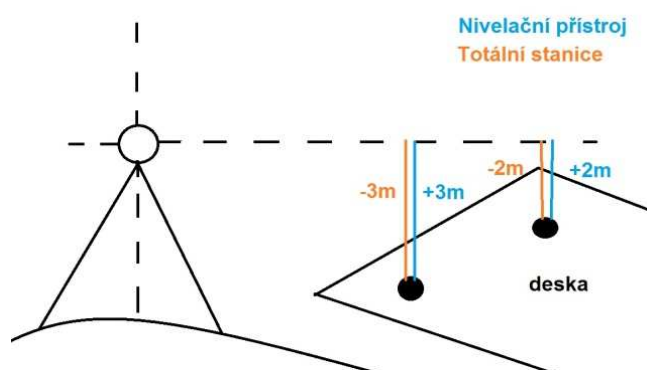
Z Tab. 28 je patrné, že čtrnáct rozdílů nesplňuje podmínku (9) a byly tedy vyloučeny. Důvodem vysokých hodnot rozdílů mohlo být špatné umístění kódovaného invarového pruhu na bod nebo jeho nesvislost na bodě.

Z rozdílů co vyhověly této podmínce, byly znovu vypočteny příslušné směrodatné odchylky (10) - (11), které jsou zobrazeny v Tab. 29.

Tab. 29: Výsledné směrodatné odchylky po vyloučení odlehlých měření – digitální nivelační přístroj

Směrodatná odchylka rozdílů	0,073 mm
Směrodatná odchylka 1 měření	0,051 mm
n = počet nevyločených měření	86

Z nevyločených měření byla následně vypočtena průměrná převýšení (13), která byla upravena a jsou zobrazena v Tab. 30. Pro budoucí porovnávání jednotlivých metod, bylo nutné převýšení naměřená nivelačním přístroj vynásobit hodnotou -1. Převýšení vypočtená z měření totální stanicí Trimble S8 byla vypočtena od vodorovné roviny směrem dolů. Převýšení naměřená nivelačními přístroji jsou naměřená od bodu k vodorovné rovině nahoru (viz Obr. 17). Obě převýšení mají tedy opačná znaménka. Aby je bylo možné v následujícím zpracování porovnat, bylo nutné je srovnat.



Obr. 17: Srovnání převýšení

Tab. 30: Ukázka zpracovaných dat - Digitální nivelační přístroj

Číslo bodu	Upravené průměrné převýšení [m]	Číslo bodu	Upravené průměrné převýšení [m]
1	-0,325730	63	-
2	-0,325990	64	-0,326160
..
12	-0,325735	68	-0,325485
13	-	69	-
14	-0,325945	70	-
..	..	71	-0,324745
20	-0,325990	72	-0,325000
21	-	73	-
22	-0,326360	74	-0,325215
..
25	-0,326260	79	-0,326065
26	-	80	-
27	-	81	-
28	-0,325950	82	-
..	..	83	-0,326125
56	-0,326405	..	..
57	-	88	-0,324980
58	-0,326535	89	-
..	..	90	-0,324605
61	-0,326090	..	..
62	-	100	-0,325810

6.5 Optický nivelační přístroj Spectra precision optical AL 120

Zpracování naměřených dat optickým nivelačním přístroje probíhalo následujícím postupem. Podle vzorce (7) byly vypočteny rozdíly převýšení mezi etapami. Ze vzorce (10) a (11) byly vypočteny příslušné směrodatné odchylky. K porovnávání etap bylo nutné vypočítat mezní rozdíl převýšení (22) a musela být splněna podmínka (9). Ukázka zpracování je zobrazena v Tab. 31.

- *Výpočet mezního rozdílu převýšení*

$$\Delta_M = up * \sqrt{2} * \sigma_{1 \text{ měření}} \quad (22)$$

Kde: Δ_M = mezní rozdíl převýšení,

$\sigma_{1 \text{ měření}}$ = směrodatná odchylka jednoho měření (11),

up = koeficient spolehlivosti = 2,5.

Tab. 31: Porovnání etap - optický nivelační přístroj

Porovnání etap: optický nivelační přístroj					
Číslo bodu	Rozdíly převýšení [mm]	Porovnání s mezní hodnotou	Číslo bodu	Rozdíly převýšení [mm]	Porovnání s mezní hodnotou
1	0,00	Ano	76	0,10	ano
2	0,00	Ano	77	0,10	ano
3	0,30	Ano	78	0,40	ne
4	-0,10	Ano	79	0,10	ano
5	-0,10	Ano	80	0,00	ano
6	-0,10	Ano	..	..	..
7	-0,20	Ano	93	0,00	ano
8	0,00	Ano	94	0,00	ano
9	0,00	Ano	95	0,00	ano
10	0,20	Ano	96	0,00	ano
..	..	..	97	0,30	ano
73	0,00	Ano	98	-0,10	ano
74	0,50	Ne	99	0,00	ano
75	0,00	Ano	100	0,00	ano
Maximální rozdíl převýšení: 0,50 mm			Minimální rozdíl převýšení: -0,30 mm		
Mezní rozdíl převýšení				0,33 mm	
Směrodatná odchylka rozdílů				0,13 mm	
Směrodatná odchylka 1 měření				0,092 mm	
n = počet měření				100	

Z tabulky je patrné, že dva rozdíly nesplňují podmínku (9) a byly tedy vyloučeny. Vysoké hodnoty těchto dvou vyloučených rozdílů mohly být způsobeny špatným odečtením převýšení měřičem. Z rozdílů co vyhověly této podmínce, byly znovu vypočteny příslušné směrodatné odchylky, které jsou zobrazeny v Tab. 32.

Tab. 32: Výsledné směrodatné odchylky po vyloučení odlehlých měření – optický nivelační přístroj

Směrodatná odchylka rozdílů	0,12 mm
Směrodatná odchylka 1 měření	0,081 mm
n = počet nevyločených měření	98

Z nevyločených měření byla následně vypočtena průměrná převýšení (13), která byla upravena. Úprava průměrných převýšení byla provedena stejně jako u digitálního nivelačního přístroje (vynásobena hodnotou -1). K takto upravenému průměrnému převýšení byla ještě

přičtena hodnota +3,3 m, neboť metr, na který bylo tímto optickým nivelačním přístrojem cíleno, byl posunut o tuto hodnotu (viz Obr. 13). Výsledné hodnoty průměrného převýšení jsou zobrazeny v Tab. 33.

Tab. 33: Ukázka zpracovaných dat - Optický nivelační přístroj

Číslo bodu	Upravené průměrné převýšení [m]	Číslo bodu	Upravené průměrné převýšení [m]
1	-0,346100	76	-0,346050
2	-0,346200	77	-0,346050
3	-0,346550	78	-
4	-0,346150	79	-0,346150
5	-0,346150	80	-0,346100
6	-0,346050	..	..
7	-0,346100	93	-0,344800
8	-0,346100	94	-0,345000
9	-0,346000	95	-0,345100
10	-0,346100	96	-0,345100
..	..	97	-0,345450
73	-0,345100	98	-0,345950
74	-	99	-0,345900
75	-0,345900	100	-0,346000

6.6 Testování směrodatných odchylek

Pro každou metodu měření byla z nevyloučených rozdílů převýšení vypočtena směrodatná odchylka jednoho měření dle vzorce (11). Takto vypočtené směrodatné odchylky jsou spolu s počtem nevyloučených měření shrnuty v Tab. 34.

Tab. 34: Směrodatné odchylky jednoho měření všech metod

Metoda	Sm. odchylka jednoho měření [mm]	n
Trimble S8 - odrazný štítek	0,055	100
Trimble S8 – hranol manuál	0,079	100
Trimble S8 – hranol automatic	0,065	100
Digitální nivelační přístroj	0,051	86
Optický nivelační přístroj	0,081	98

Testována byla hypotéza o shodnosti dvou výběrových směrodatných odchylek. Jinak řečeno, zda dva výběrové rozptyly m_1^2 a m_2^2 ze dvou výběrů o rozsahu n_1 a n_2 odpovídají

výběrům ze dvou základních souborů, pro které platí rovnost základních směrodatných odchylek ($\sigma_1 = \sigma_2$). Takovéto testování je realizováno F-testem a je používáno pro porovnání přesnosti dvou metod měření. Podle formulace úlohy se používá jednostranný (levostranný, pravostranný) nebo oboustranný test. [2]

V této diplomové práci byl použit oboustranný test a nulová a alternativní hypotéza mají tvar:

- **Nulová hypotéza:**

$$H_0: m_1^2 = m_2^2 . \quad (23)$$

Z rovnice pro nulovou hypotézu vyplývá, že rozptyly obou souborů se statisticky významně neliší.

- **Alternativní hypotéza oboustranná:**

$$H_1: m_1^2 \neq m_2^2 . \quad (24)$$

V tomto případě alternativní hypotéza říká, že výběry pocházejí ze dvou různých základních souborů s rozdílnými rozptyly.

Z výběrových rozptylů se počítá testovací kritérium, které je u F-testu označováno F. To se dále porovnává s kritickou hodnotou F_{krit} . [2]

- **Testovací kritérium - veličina F:**

$$F = \frac{m_1^2}{m_2^2} . \quad (25)$$

Ve vzorci (25) se vždy volí $m_1^2 > m_2^2$.

- **Kritická hodnota u F-testu je veličina F_{krit} :**

$$F_{krit} = F_{\alpha/2} . \quad (26)$$

Kde: α = hladina významnosti,

$F_{\alpha/2}$ = kritická hodnota F-testu pro zvolenou hladinu významnosti, kterou lze najít v tabulkách F-rozdělení.

Dále tedy následovalo porovnání testovacího kritéria F s jeho kritickou hodnotou F_{krit} , které sloužilo k rozhodnutí o výsledku testování (viz Tab. 35).

Tab. 35: F-test: rozhodnutí o výsledku testování

Porovnání F a F_{krit} a následné rozhodnutí o výsledku testování		
$F > F_{krit}$	Zamítáme H_0	Zamítáme nulovou hypotézu a přijímáme alternativní hypotézu. Rozptyly obou souborů se statisticky významně liší.
$F < F_{krit}$	Nezamítáme H_0	Přijímáme nulovou hypotézu a zamítáme alternativní hypotézu. Rozptyly obou souborů se statisticky významně neliší.

Při testování výběrových rozptylů (směrodatných odchylek) v této diplomové práci byl rozptyl u metody Trimble S8 – odrazný štítek volen jako apriorní. Celé testování bylo provedeno v programu Microsoft Excel, kde kritická hodnota F_{krit} byla počítána pomocí funkce =FINV($\alpha/2$; n_1 ; n_2) a hladina významnosti byla volena $\alpha=5\%$. Celé testování je shrnuto v Tab. 36.

Tab. 36: Výsledky testování směrodatných odchylek

Metoda	m_i [mm]	n_i	F	F_{krit}	$F < F_{krit}$	Výsledek testování:
Trimble S8 - odrazný štítek	0,055	100	-	-	-	-
Trimble S8 – hranol manuál	0,079	100	2,04	1,48	ne	zamítáme H_0
Trimble S8 – hranol automatic	0,046	100	1,43	1,48	ano	nezamítáme H_0
Digitální nivelační přístroj	0,051	86	1,15	1,50	ano	nezamítáme H_0
Optický nivelační přístroj	0,081	98	2,18	1,49	ne	zamítáme H_0

Z tabulky je patrné, že u dvou případů nezamítáme nulovou hypotézu a tedy nelze zamítnout předpoklad rovnosti rozptylů obou základních souborů. Naopak však u zbylých dvou případů zamítáme nulovou hypotézu a tím přijímáme, že rozptyly obou základních souborů se statisticky významně liší.

7 Metoda robustního odhadu : L_1 -norma

Každý proces měření je nevyhnutelně ovlivňován působením chyb různého původu. Ty vedou k nepřesnosti měření a nelze je zcela žádným postupem z měření odstranit. Jedním ze způsobů jak je lze potlačit je opakované měření (nadbytečné množství měření). Zpracování takovýchto dat je založeno na aplikaci metody nejmenších čtverců, která předpokládá, že soubor měření je náhodným výběrem z normálního rozdělení pravděpodobností. [2]

Předpoklad původu geodetických dat z normálního rozdělení je těžko splnitelný. Robustní statistické metody si zachovávají funkčnost v určitém okolí normálního rozdělení. Tedy že neselžou při malém nesplnění požadavku na normální rozdělení chyb. Takovéto metody se využívají pro vyhledávání hrubých chyb a jejich vyloučení z výpočtu. Malé množství chybných měření lze odhalit statistickými testy odlehlých měření, avšak v případě vyšší kontaminace je nutné provést zpracování pomocí robustních metod. Čím je metoda odolnější oproti vlivu odlehlých měření, tím je robustnější. [2]

Základních metod je několik, mezi nejrozšířenější třídy odhadů reálných parametrů patří M-odhady. Tyto odhady jsou založeny na metodě maximální věrohodnosti. Jedním z používaných M-odhadů je L_1 -norma. U této normy je minimalizována suma absolutních hodnot chyb, resp. oprav. Odvození L_1 -normy a její použití pro účely této diplomové práce jsou popsány níže v kapitole 7.1. [2]

Všechny metody měření byly v této diplomové práci prováděny pomocí různých přístrojů, cílových zařízení a i jiných metod cílení v nadbytečném množství. Naměřená převýšení se díky těmto postupům nacházejí v různých výškách. Aby je bylo možné mezi sebou porovnat je nutné je pomocí robustního váženého průměru srovnat do jedné výšky. Za tímto účelem byly mezi jednotlivými metodami vypočteny posuny (rozdíly mezi převýšeními) viz kapitola 7.2.

7.1 Odhady pomocí L_p -normy

K odvození této metody je použito Huberovo odvození, které je popsáno např. [2]. Na rozdíl od Huberova M-odhadu je jako funkce hustoty pravděpodobnosti pro měření (pozorování) použita níže popsaná funkce.

- **Funkce hustoty pravděpodobnosti pro měření**

$$f(\varepsilon) = e^{-|\varepsilon|^p} \text{ pro } p \geq 1. \quad (27)$$

Pro: $p = 1$ popisuje Laplaceovo rozdělení

- **Odhadová funkce:**

$$\rho(\varepsilon) = |\varepsilon|^p. \quad (28)$$

- **Vlivová funkce:**

$$\psi(\varepsilon) = |\varepsilon|^{p-2} * \varepsilon. \quad (29)$$

- **Váha w_i :**

$$w_i = |\varepsilon|^{p-2}. \quad (30)$$

- **Odhad na základě L_p normy má tvar:**

$$\|v\|_p = (\sum_{i=1}^n |v_i|^p)^{\frac{1}{p}}. \quad (31)$$

Pro: $p = 1$ se jedná o L1 normu

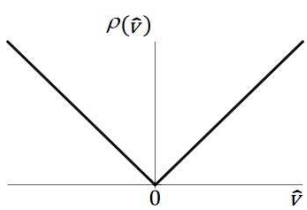
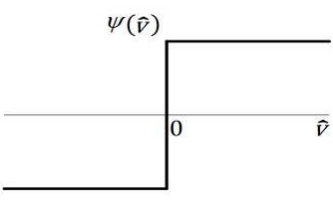
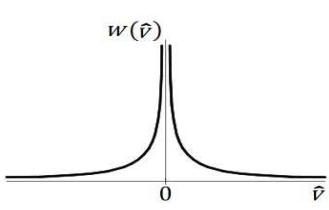
Vlivová funkce $\psi(\varepsilon)$ je omezená a tedy se jedná o robustní dohad.

- **Váha w_i v m – té iteraci:**

$$w_i^{(m)} = \frac{1}{|v_i^{(m-1)}|}. \quad (32)$$

Předpisy funkcí pro L_1 normu a jejich grafy jsou shrnuty v Tab. 37.

Tab. 37: L1 norma

Odhadová funkce $\rho(\hat{v})$	Vlivová funkce $\psi(\hat{v})$	Váhová funkce $w(\hat{v})$
$|\hat{v}|$	$sign(\hat{v}) = \frac{\hat{v}}{|\hat{v}|}$	$\frac{1}{|\hat{v}|}$
		

7.2 Použití L_1 normy

Jak již bylo zmíněno výše, byly mezi jednotlivými převýšeními vypočteny posuny. Jako apriorní převýšení byla použita metoda Trimble S8 – odrazný štítek, neboť převýšení musela být srovnána do výšky jedné z použitých metod. Důvodem volby této metody bylo to, že při zpracování naměřených dat nebyla vyloučena žádná hodnota a vypočtená směrodatná odchylka jednoho měření této metody je jedna z nejlepších. Posuny mezi jednotlivými metodami byly tedy vždy počítány od této metody (viz vzorec (33)). Ukázka vypočtených posunů je zobrazena v Tab. 38.

▪ **Výpočet posunů:**

$$\begin{aligned}
 p_{\text{štítek-automatic}} &= h_{\emptyset}^{\text{Trimble S8- štítek}} - h_{\emptyset}^{\text{Trimble S8-hranol automatic}} \\
 p_{\text{štítek-manuál}} &= h_{\emptyset}^{\text{Trimble S8- štítek}} - h_{\emptyset}^{\text{Trimble S8-hranol manuál}} \\
 p_{\text{štítek-d.n.}} &= h_{\emptyset}^{\text{Trimble S8- štítek}} - h_{\emptyset}^{\text{Trimble S8-digitální nivelační přístroj}} \\
 p_{\text{štítek-o.n.}} &= h_{\emptyset}^{\text{Trimble S8-štítek}} - h_{\emptyset}^{\text{Trimble S8-optický nivelační přístroj}}
 \end{aligned} \tag{33}$$

Tab. 38: Ukázka vypočtených posunů

Posuny mezi převýšeními [mm] – apriorní = Trimble S8 - štítek				
Číslo bodu	Trimble S8 štítek- hranol automatic	Trimble S8 štítek- hranol manuál	Trimble S8 štítek-optický n. p.	Trimble S8 štítek-digitální n. p.
1	29,12	17,95	57,06	36,69
2	29,16	17,80	56,92	36,71
3	29,29	17,94	57,34	36,88
4	29,29	17,84	57,02	36,91
5	29,37	18,08	57,17	36,90
6	29,28	17,92	57,09	36,89
7	29,28	17,95	57,25	36,90
..
72	29,42	17,95	57,07	37,07
73	29,40	18,04	56,98	-
74	29,42	18,04	-	37,01
75	29,43	17,98	57,38	37,01
76	29,39	18,02	57,22	36,94
77	29,21	17,90	57,09	36,86
78	29,32	17,91	-	36,82
79	29,32	17,92	57,03	36,94
80	29,26	17,93	56,94	-
81	29,23	17,94	56,96	-

82	29,25	17,88	56,99	-
83	29,35	18,01	57,02	37,00
..
98	29,31	17,98	57,12	36,86
99	29,32	18,00	57,19	36,93
100	29,37	17,99	57,18	36,99

Z Tab. 38 je patrné, že posuny nebyly počítány na bodech, kde byla měření považována za odlehlá a vyloučena.

Na takto vypočtené posuny byla aplikována L_1 norma. Postup výpočtu je následující:

- **Výpočet váženého průměru posunů:**

$$p_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (34)$$

Kde: p_{ϕ} = vážený průměr posunů,

p_i = vypočtený posun,

n = počet posunů,

w_i = váha.

- **Výpočet oprav od váženého průměru posunů:**

$$v_i = p_{\phi} - p_i \quad (35)$$

Kde: p_{ϕ} = vážený průměr posunů,

p_i = vypočtený posun,

v_i = oprava.

- **Výpočet váhy posunu:**

$$w_i = \frac{1}{|v_i|} \quad (36)$$

Kde: p_{ϕ} = vážený průměr posunů,

p_i = vypočtený posun,

v_i = oprava.

Celý výše popsáný výpočet ((34) - (36)) je řešen iteračně. Při prvním výpočtu váženého průměru byly váhy w_i rovny 1. Poté se za tyto váhy byly dosazovány váhy

vypočtené v předchozí iteraci. Ve výpočetním skriptu v programu Matlab byl celý tento výpočet připraven, stačilo pouze naplnit vstupní matici vypočtenými posuny a spustit výpočetní skript. Ukázka výpočetního skriptu se nachází v Tab. 39.

Tab. 39: L1 norma - ukázka výpočetního skriptu v programu Matlab

```

clc
clear
format long g

% matice vstupnich posunu
A=[
 29.1181709
 29.1602707
 29.2934457
 29.2928621
 29.3731485
 29.2784296
 .
 . ]';

% vahy v prvni iteraci=1
for i=1:length(A)
  P(1,i)=1;
end

for k=1:length(A)
  vazprum(k) = (A*P)/sum(P); % vazeny prumer
  for i=1:length(A)
    v(i)= vazprum(k) - A(i); % opravy
    if(v(i)==0)
      v(i)=0.001;
    end;
    P(i)= 1/abs(v(i)); % vahy
    vahy(k,i)=P(i);
    opravy(k,i)=v(i);
  end;
end;

```

Výsledkem spuštění výpočetního skriptu byly váhy a opravy vypočtené pro jednotlivé posuny. Odlehlá měření měla velmi malé váhy (36) a naopak velké opravy (35). Tyto opravy byly dále testovány v programu Excel, kde probíhalo následné zpracování a kde byl předem připraven výpočetní skript. Vypočtené opravy podle vzorce (35) byly tedy vloženy do příslušných tabulek a postup následného zpracování je popsán níže:

▪ **Výpočet směrodatné odchylky posunu:**

Vychází se ze vzorce (33), na který je aplikován ZHSO. Po přechodu na směrodatné odchylky má vzorec tvar:

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_{h:odrazný\ štítek}^2 + \sigma_{hi}^2} \quad (37)$$

Kde: σ_p = směrodatná odchylka posunu (rozdílů převýšení mezi 2 metodami),

$\sigma_{h:odrazný\ štítek}$ = směrodatná odchylka jednoho měření pro tuto metodu (11),

σ_{hi} = směrodatná odchylka jednoho měření i-té metody (11),

i = metoda měření (hranol automatic, hranol manuál, digitální n. p, optický n. p.).

▪ **Výpočet mezní odchylky oprav:**

$$\Delta_v = up * \sigma_p \quad (38)$$

Kde: Δ_v = mezní odchylka oprav,

σ_p = směrodatná odchylka posunu,

up = koeficient spolehlivosti = 2,5.

▪ **Podmínka:**

$$|v_i| \leq \Delta_v \quad (39)$$

Kde: Δ_v = mezní odchylka oprav,

v_i = oprava od váženého průměru posunů,

Pokud některá oprava v nespĺňovala tuto podmínku, pak byl posun s touto opravou na příslušném bodě vyloučen, tedy považován za odlehlý. Z nevyložených posunů byl pomocí aritmetického průměru vypočten výsledný průměrný posun:

▪ **Výpočet výsledného průměrného posunu:**

$$p_\phi = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} \quad (40)$$

Kde: p_ϕ = výsledný průměrný posun,

p_i = vypočtený posun,

n = počet posunů.

7.2.1 Trimble S8 – štítek vs. Trimble S8 – automatické cílení na hranol

Celý výše popsany postup v kapitole 7.2 byl aplikován na posuny mezi metodami Trimble S8 – štítek a Trimble S8 – automatické cílení na hranol. Výsledné hodnoty jsou zobrazeny v Tab. 40.

Tab. 40: Ukázka zpracování posunů: Trimble S8 štítek - Trimble S8 hranol automatic

ODRAZNÝ ŠTÍTEK - HRANOL AUTOMATIC							
Číslo bodu	Opravy v_i	Trimble S8 - štítek sm. od. převýšení	Trimble S8 -automatic sm. od. převýšení	Sm. od. posunu σ_p	Mezní odchylka Δ_v	Podmínka $|v_i| \leq \Delta_v$	Výsledný posun
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		[mm]
1	0,203	0,055	0,046	0,072	0,179	ne	-
2	0,161	0,055	0,046	0,072	0,179	ano	29,16
3	0,028	0,055	0,046	0,072	0,179	ano	29,29
4	0,029	0,055	0,046	0,072	0,179	ano	29,29
5	-0,052	0,055	0,046	0,072	0,179	ano	29,37
6	0,043	0,055	0,046	0,072	0,179	ano	29,28
..
98	0,008	0,055	0,046	0,072	0,179	ano	29,31
99	-0,002	0,055	0,046	0,072	0,179	ano	29,32
100	-0,048	0,055	0,046	0,072	0,179	ano	29,37
Výsledek: aritmetický průměrný posun p_\emptyset					29,32 mm		

Z Tab. 40 je patrné, že podmínku $|v_i| \leq \Delta_v$ nesplňovala pouze oprava na bodě č. 1 a byla tedy vyloučena. Výsledný aritmetický průměrný posun byl tedy počítán bez této hodnoty.

7.2.2 Trimble S8 – štítek vs. Trimble S8 – manuální cílení na hranol

Celý výpočetní postup v kapitole 7.2 byl aplikován také na posuny mezi metodami Trimble S8 – štítek a Trimble S8 – manuální cílení na hranol. Výsledné hodnoty jsou zobrazeny v Tab. 41.

Tab. 41: Ukázka zpracování posunů: Trimble S8 štítek - Trimble S8 hranol manuál

ODRAZNÝ ŠTÍTEK - HRANOL MANUÁL							
Číslo bodu	Opravy v_i	Trimble S8 - štítek sm. od. převýšení	Trimble S8 - manuál sm. od. převýšení	Sm. od. posunu σ_p	Mezní odchylka Δ_v	Podmínka $|v_i| \leq \Delta_v$	Výsledný posun
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		[mm]
1	0,007	0,055	0,079	0,096	0,240	ano	17,95
2	0,153	0,055	0,079	0,096	0,240	ano	17,80
3	0,018	0,055	0,079	0,096	0,240	ano	17,94
4	0,113	0,055	0,079	0,096	0,240	ano	17,84
..
98	-0,020	0,055	0,079	0,096	0,240	ano	17,98
99	-0,044	0,055	0,079	0,096	0,240	ano	18,00
100	-0,030	0,055	0,079	0,096	0,240	ano	17,99
Výsledek: aritmetický průměrný posun p_\emptyset					17,97 mm		

U těchto dvou metod podmínku $|v_i| \leq \Delta_v$ splňovalo všech sto oprav a nedošlo tedy k žádnému vyloučení.

7.2.3 Trimble S8 – štítek vs. digitální nivelační přístroj

I zde byl výpočetní postup v kapitole 7.2 aplikován také na posuny mezi metodami Trimble S8 – štítek a digitální nivelační přístroj. Výsledné hodnoty jsou zobrazeny v Tab. 42.

Tab. 42: Ukázka zpracování posunů: Trimble S8 štítek - Digitální nivelační přístroj

ODRAZNÝ ŠTÍTEK - DIGITÁLNÍ NIVELAČNÍ PŘÍSTROJ							
Číslo bodu	Opravy v_i	Trimble S8 - štítek sm. od. převýšení	Digitální n. p. sm. od. převýšení	Sm. od. posunu σ_p	Mezní odchylka Δ_v	Podmínka $|v_i| \leq \Delta_v$	Výsledný posun
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		[mm]
1	0,236	0,055	0,051	0,075	0,188	ne	
2	0,216	0,055	0,051	0,075	0,188	ne	
3	0,053	0,055	0,051	0,075	0,188	ano	36,88
4	0,023	0,055	0,051	0,075	0,188	ano	36,91
5	0,033	0,055	0,051	0,075	0,188	ano	36,90
6	0,038	0,055	0,051	0,075	0,188	ano	36,89
..
68	0,006	0,055	0,051	0,075	0,188	ano	36,92
69	-	-	-	-	-	-	-
70	-	-	-	-	-	-	-
71	-0,095	0,055	0,051	0,075	0,188	ano	37,02

72	-0,144	0,055	0,051	0,075	0,188	ano	37,07
73	-	-	-	-	-	-	-
74	-0,082	0,055	0,051	0,075	0,188	ano	37,01
..
99	0,004	0,055	0,051	0,075	0,188	ano	36,93
100	-0,059	0,055	0,051	0,075	0,188	ano	36,99
Výsledek: aritmetický průměrný posun p_\emptyset					36,94 mm		

Z Tab. 42 lze vyčíst, že posuny a následně i opravy byly počítány na bodech, kde nedošlo k vyloučení naměřených převýšení (viz odstavec 0 a Tab. 28). Dále lze vyčíst, že podmínka $|v_i| \leq \Delta_v$ nebyla splněna u dvou oprav a to na bodech č. 1 a č. 2. Výsledný aritmetický průměrný posun byl počítán z 84 hodnot.

7.2.3.1 Vrácení vyloučených hodnot – Digitální nivelační přístroj

Při zpracování naměřených dat popsanych v odstavci 0 bylo u metody digitální nivelační přístroj vyloučeno 14 hodnot. Pomocí průměrného posunu (36,94 mm) lze vypočítat převýšení, které by mělo být naměřeno na 14 vyloučených bodech v obou etapách měření.

- **Výpočet převýšení pomocí průměrného posunu:**

Z naměřených dat víme, že měření probíhalo ve dvou etapách a za výsledek byl brán jejich průměr. Pomocí průměrného posunu, dopočítáme převýšení podle následujícího vzorce:

$$h_{p\emptyset} = h_i^{\text{štítek}} + p_\emptyset . \quad (41)$$

Kde: $h_{p\emptyset}$ = převýšení vypočtené pomocí průměrného posunu,

$h_i^{\text{štítek}}$ = průměrné převýšení naměřené metodou Trimble S8 – štítek,

p_\emptyset = průměrný posun (36,94mm),

$i = 1, \dots, 14$ (14=počet vyloučených měření u metody digitální n. p.).

- **Výpočet rozdílu převýšení:**

$$\Delta_i = h_{p\emptyset} - h_{i.etapa}^{\text{digitální n.p.}} . \quad (42)$$

Kde: Δ_i = rozdíl převýšení,

$h_{i.etapa}^{\text{digitální n.p.}}$ = převýšení naměřené v i. etapě metodou digitální n. p.,

$i = 1.$ etapa nebo $2.$ etapa měření.

$h_{p\emptyset}$ = převýšení vypočtené pomocí průměrného posunu,

▪ **Porovnání převýšení:**

Podle velikosti rozdílů Δ_i byla naměřená převýšení metodou digitální nivelační přístroj vrácena zpět do výpočtu třemi způsoby. Vraceno bylo:

- 1) naměřené převýšení z 1. etapy
- 2) naměřené převýšení z 2. etapy
- 3) průměr převýšení z 1. a 2. etapy

Celý postup porovnání převýšení a následné vrácení hodnot zpět do výpočtu je znázorněn v Tab. 43.

Tab. 43: Porovnání převýšení - digitální nivelační přístroj

Číslo bodu	$h_{\text{štítek}}$ [m]	$h_{p\emptyset}$ [m]	$h_{1.\text{etapa}}^{\text{digitální n.p}}$ [m]	$\Delta_{1.\text{etapa}}$ [mm]	$h_{2.\text{etapa}}^{\text{digitální n.p}}$ [m]	$\Delta_{2.\text{etapa}}$ [mm]	Vraceno
13	-0,288968	-0,325905	-0,326110	-0,20	-0,325900	0,01	2. etapa
21	-0,289241	-0,326178	-0,326290	-0,11	-0,326130	0,05	2. etapa
26	-0,289152	-0,326089	-0,326740	-0,65	-0,325970	0,12	2. etapa
27	-0,289114	-0,326051	-0,326140	-0,09	-0,325920	0,13	Průměr
57	-0,289427	-0,326364	-0,326720	-0,36	-0,326490	-0,13	2. etapa
62	-0,289403	-0,326340	-0,326510	-0,17	-0,326270	0,07	2. etapa
63	-0,289556	-0,326493	-0,326650	-0,16	-0,326360	0,13	Průměr
69	-0,288284	-0,325221	-0,325430	-0,21	-0,325210	0,01	2. etapa
70	-0,288048	-0,324985	-0,325190	-0,21	-0,325010	-0,03	2. etapa
73	-0,288125	-0,325061	-0,325560	-0,50	-0,325140	-0,08	2. etapa
80	-0,289162	-0,326099	-0,326230	-0,13	-0,325960	0,14	Průměr
81	-0,289139	-0,326076	-0,326170	-0,09	-0,3258940	0,14	1. etapa
82	-0,289062	-0,325999	-0,326060	-0,06	-0,325890	0,11	1. etapa
89	-0,287829	-0,324766	-0,324970	-0,20	-0,324700	0,07	2. etapa
$h_{\text{štítek}}$	Průměrné převýšení metody Trimble S8 – odrazný štítek						
$h_{p\emptyset} = h_{\text{štítek}} + p\emptyset$	Převýšení vypočtené pomocí průměrného posunu						
$h_{1.\text{etapa}}^{\text{digitální n.p}}$	Převýšení naměřené metodou digitální n. p. v 1. etapě měření						
$\Delta_{1.\text{etapa}}$	Rozdíl dvou převýšení ($h_{1.\text{etapa}}^{\text{digitální n.p}}$, $h_{p\emptyset}$)						
$h_{2.\text{etapa}}^{\text{digitální n.p}}$	Převýšení naměřené metodou digitální n. p. v 2. etapě měření						
$\Delta_{2.\text{etapa}}$	Rozdíl dvou převýšení ($h_{2.\text{etapa}}^{\text{digitální n.p}}$, $h_{p\emptyset}$)						

Z Tab. 43 lze vyčíst, která měřená převýšení digitálním nivelačním přístrojem byla vrácena zpět do výpočtu.

7.2.4 Trimble S8 – štítek vs. optický nivelační přístroj

Celý postup zpracování popsany v kapitole 7.2 byl aplikován také na posuny mezi metodami Trimble S8 – odrazný štítek a optický nivelační přístroj. Výsledné hodnoty jsou zobrazeny v Tab. 44.

Tab. 44: Ukázka zpracování posunů: Trimble S8 štítek - Optický nivelační přístroj

ODRAZNÝ ŠTÍTEK - OPTICKÝ NIVELAČNÍ PŘÍSTROJ							
Číslo bodu	Opravy v_i	Trimble S8 - štítek sm. od. převýšení	Optický n. p. sm. od. převýšení	Sm. od. posunu σ_p	Mezní odchylka Δ_v	Podmínka $|v_i| \leq \Delta_v$	Výsledný posun
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		[mm]
1	0,122	0,055	0,081	0,098	0,245	ano	57,06
2	0,262	0,055	0,081	0,098	0,245	ne	
3	-0,151	0,055	0,081	0,098	0,245	ano	57,34
..
24	-0,330	0,055	0,081	0,098	0,245	ne	
25	-0,209	0,055	0,081	0,098	0,245	ano	57,39
..
36	-0,255	0,055	0,081	0,098	0,245	ne	
37	-0,226	0,055	0,081	0,098	0,245	ano	57,41
..
45	-0,273	0,055	0,081	0,098	0,245	ne	
46	0,102	0,055	0,081	0,098	0,245	ano	57,08
..
62	-0,311	0,055	0,081	0,098	0,245	ne	
63	-0,158	0,055	0,081	0,098	0,245	ano	57,34
64	0,298	0,055	0,081	0,098	0,245	ne	
65	0,070	0,055	0,081	0,098	0,245	ano	57,12
..
80	0,248	0,055	0,081	0,098	0,245	ne	
81	0,225	0,055	0,081	0,098	0,245	ano	56,96
..
97	0,247	0,055	0,081	0,098	0,245	ne	
98	0,069	0,055	0,081	0,098	0,245	ano	57,12
99	0,000	0,055	0,081	0,098	0,245	ano	57,19
100	0,007	0,055	0,081	0,098	0,245	ano	57,18
Výsledek: aritmetický průměrný posun p_ϕ					57,18 mm		

Z Tab. 44 lze vyčíst, že posuny a následně i opravy byly počítány na bodech, kde nedošlo k vyloučení naměřených převýšení (viz odstavec 6.5 a Tab. 31). Dále lze vyčíst, že

podmínka $|v_i| \leq \Delta_v$ nebyla splněna u osmi oprav. Výsledný aritmetický průměrný posun byl počítán z 90 hodnot.

7.2.4.1 Vrácení vyloučených hodnot – Optický nivelační přístroj

Při zpracování naměřených dat popsaných v odstavci 6.5 byly u metody optický nivelační přístroj vyloučeny 2 hodnoty. Pomocí průměrného posunu (57,18 mm) bylo vypočteno převýšení $h_{p\emptyset}$ (41), dále byl vypočten rozdíl převýšení Δ_i (42) a na závěr došlo k porovnání převýšení a následnému vrácení hodnot zpět do výpočtu jako u metody digitální nivelační přístroj popsané v odstavci 7.2.3.1. Celý postup je shrnut v Tab. 45.

Tab. 45: Porovnání převýšení - optický nivelační přístroj

Číslo bodu	$h_{\text{štítek}}$ [m]	$h_{p\emptyset}$ [m]	$h_{1.\text{etapa}}^{\text{digitální n.p}}$ [m]	$\Delta_{1.\text{etapa}}$ [mm]	$h_{2.\text{etapa}}^{\text{digitální n.p}}$ [m]	$\Delta_{2.\text{etapa}}$ [mm]	Vráceno
74	-0,288203	-0,345387	-0,345900	-0,51	-0,345400	-0,01	2. etapa
78	-0,289300	-0,346484	-0,346600	-0,12	-0,346200	0,28	1. etapa
$h_{\text{štítek}}$	Průměrné převýšení metody Trimble S8 – odrazný štítek						
$h_{p\emptyset}$	Převýšení vypočtené pomocí průměrného posunu						
$h_{1.\text{etapa}}^{\text{digitální n.p}}$	Převýšení naměřené metodou optický n. p. v 1. etapě měření						
$\Delta_{1.\text{etapa}}$	Rozdíl dvou převýšení ($h_{1.\text{etapa}}^{\text{digitální n.p}}$, $h_{p\emptyset}$)						
$h_{2.\text{etapa}}^{\text{digitální n.p}}$	Převýšení naměřené metodou optický n. p. v 2. etapě měření						
$\Delta_{2.\text{etapa}}$	Rozdíl dvou převýšení ($h_{2.\text{etapa}}^{\text{digitální n.p}}$, $h_{p\emptyset}$)						

Z tabulky lze vyčíst, že na bodě č. 74 bylo zpět do výpočtů vráceno převýšení měřené v 2. etapě a naopak na bodě č. 75 z 1. etapy.

8 Proložení bodů rovinou

Dalším krokem výpočtů je zpracovanými převýšeními na jednotlivých bodech proložit rovinu pomocí metody MNČ (vyrovnání zprostředkujících měření). Body byly nejprve proloženy obecnou rovinou jenž je popsána v kapitole 8.1. Dále byla volena vyrovnávací rovina s nejmenšími odchylkami ve směru vertikální osy z , která je popsána v kapitole (8.2). Body byly tedy celkem proloženy dvěma rovinami, které jak vyplývá z následujících odstavců a Tab. 48, dávaly téměř totožné výsledky proložení. Za výchozí byla volena vyrovnávací rovina s nejmenšími odchylkami ve směru vertikální osy z , neboť cílem bylo dosáhnout nejmenších odchylek právě v tomto směru.

8.1 Proložení obecnou rovinou

Jak již bylo zmíněno, jedním ze způsobů proložení bodů rovinou bylo použití obecné roviny, která byla dána parametrickou rovnicí:[3]

- *Parametrická rovnice roviny:*

$$X = a \cdot u + b \cdot v + c . \quad (43)$$

Kde: a, b = směrové vektory,

c = bod, kterým rovina prochází,

u, v = jsou parametry.

- *Při rozepsání složek vektoru a bodu, měla parametrická rovnice roviny tvar:*

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} \cdot u + \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} \cdot v + \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{pmatrix} . \quad (44)$$

Pro určení rovnice roviny musel být znám soubor n bodů X_1, X_2, \dots, X_n . Neznámé pak byly vektory a, b , bod c a parametry u_i, v_i pro každý bod zvlášť. Celý výpočet byl pak prováděn iteračně a bylo pro něj nutné určit přibližné hodnoty neznámých. Za bod c_0 byl vhodně volen libovolný měřený bod a přibližné hodnoty vektorů a_0, b_0 byly určeny z dvojic nejvzdálenějších bodů ij a ik pro obecně různé směry (nejlépe kolmé). [3] Příklad vzorců pro ij :

$$a'_0 = X_j - X_i,$$

$$a_0 = \begin{pmatrix} a_{1;0} \\ a_{2;0} \\ a_{3;0} \end{pmatrix} = \frac{a'_0}{\sqrt{a_0^T a'_0}}. \quad (45)$$

Pro redukci neznámých a značnému zjednodušení výpočtu bylo vhodné zvolit dvoukrokový iterační výpočet, kde byly nejprve určeny neznámé vektory a bod, a následně parametry. [3]

- **Vektor neznámých h měl pro vyrovnání zprostředkujících metodou nejmenších čtverců tvar:**

$$h^T = (a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad b_1 \quad b_2 \quad b_3 \quad c_1 \quad c_2 \quad c_3). \quad (46)$$

- **Matice plánu (derivací) A vypadala takto:**

$$A = \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_n \end{pmatrix}. \quad (47)$$

Kde:

$$A_i = \begin{pmatrix} u_i & 0 & 0 & v_i & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & u_i & 0 & 0 & v_i & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & u_i & 0 & 0 & v_i & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (48)$$

Dále bylo nutné pro každou iteraci vypočítat velikost parametrů u_i , v_i příslušejícího bodu X_i . Za tímto účelem byly tyto body s využitím normálového vektoru roviny, který byl vypočten z vektorového součinu směrových vektorů, ortogonálně promítnuty na rovinu. [3]

- **Normálový vektor roviny:**

$$n = a \times b = \begin{pmatrix} a_2 \cdot b_3 - b_2 \cdot a_3 \\ a_3 \cdot b_1 - b_3 \cdot a_1 \\ a_1 \cdot b_2 - b_1 \cdot a_2 \end{pmatrix}. \quad (49)$$

Poté bylo nutné sestrojít přímku z příslušného bodu X_i a normálového vektoru. Parametrická rovnice takto sestrojené přímky má následující tvar:

- **Parametrická rovnice přímky:**

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_2 \cdot b_3 - b_2 \cdot a_3 \\ a_3 \cdot b_1 - b_3 \cdot a_1 \\ a_1 \cdot b_2 - b_1 \cdot a_2 \end{pmatrix} \cdot t_i + \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix}. \quad (50)$$

Hledaný ortogonální průmět bodu X_i do roviny byl pak dán průsečíkem přímky s rovinou: [3]

- **Průsečík přímky s rovinou:**

$$\begin{pmatrix} a_2 \cdot b_3 - b_2 \cdot a_3 \\ a_3 \cdot b_1 - b_3 \cdot a_1 \\ a_1 \cdot b_2 - b_1 \cdot a_2 \end{pmatrix} \cdot t_i + \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} \cdot u_i + \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} \cdot v_i + \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{pmatrix}. \quad (51)$$

Kde neznámé byly u_i, v_i, t_i , které lze jednoznačně určit pro každý bod X_i . Velikost směrových vektorů a, b musely být pro výpočet rovny jedné, a proto bylo nutné před každým použitím normalizovat. [3]

- **Normálové rovnice pro výpočet neznámých měly tvar:**

$$\begin{aligned} (a_2 \cdot b_3 - b_2 \cdot a_3) \cdot t_i - a_1 \cdot u_i - b_1 \cdot v_i + (X_i - c_1) &= 0 \\ (a_3 \cdot b_1 - b_3 \cdot a_1) \cdot t_i - a_2 \cdot u_i - b_2 \cdot v_i + (Y_i - c_2) &= 0 \\ (a_1 \cdot b_2 - b_1 \cdot a_2) \cdot t_i - a_3 \cdot u_i - b_3 \cdot v_i + (Z_i - c_3) &= 0 \end{aligned} \quad (52)$$

Po určení u_i, v_i pro každý bod lze sestavit matici A .

- **Vektor měření měl tvar:**

$$l = \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \dots \\ l_n \end{pmatrix}. \quad (53)$$

Kde:

$$l_i = \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix}. \quad (54)$$

- **Řešení normálních rovnic mělo následující tvar:**

$$A^T A \cdot h + A^T \cdot l = 0. \quad (55)$$

- **Vektor neznámých se vypočetl podle vzorce:**

$$h = -(A^T A)^{-1} \cdot A^T \cdot l. \quad (56)$$

Opravy měřených souřadnic v a směrodatná odchylka jednotková po vyrovnání s_0 se určily z následujících vzorců:

$$v = A \cdot h - l, \quad (57)$$

$$s_0 = \sqrt{\frac{v^T v}{r}}. \quad (58)$$

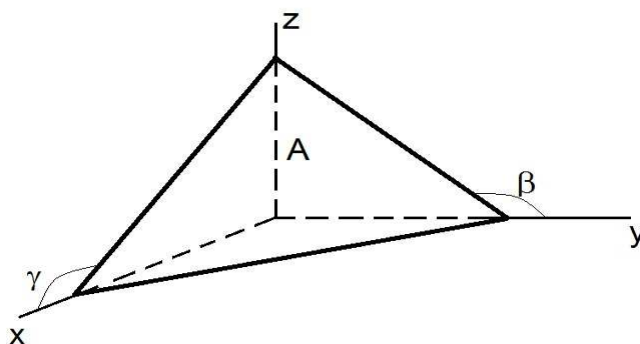
Kde: r = počet nadbytečných veličin

Tímto způsobem byly vypočteny neznámé v první iteraci, ze kterých bylo možné následně sestavit vektory a , b , c a celý výpočet opakovat do té doby, dokud klesala směrodatná odchylka po vyrovnání. [3]

Od vedoucího diplomové práce byl zapůjčen výpočetní skript z programu Scilab, kde byl naprogramován celý výše popsany výpočet dle [3]. Takto připravený zapůjčený skript byl podle jednotlivé metody měření pozměněn a vhodně upraven. Vstupními daty do takto připravených skriptů byly pouze vstupní matice s polohovými souřadnicemi x , y jednotlivých bodů a námi zpracovaného převýšení.

8.2 Vyrovnávací rovina s nejmenšími odchylkami ve směru osy z

Jak bylo zmíněno výše, jednou ze zvolených vyrovnávacích rovin byla ta, která dává nejmenší odchylky ve směru vertikální osy z . Podmínka měla tedy tvar $[v_z v_z] = \min$. (předpokládaly jsme váhy rovny jedné, tj. $p_i=1$). [2]



Obr. 18: Vyrovnávací rovina

- **Rovnice roviny** (Obr. 18), která není rovnoběžná s osou z , je: [2]

$$z = A + B * x + C * y . \quad (59)$$

Kde: A = úsek na ose z ,

$B = tg\beta$, $C = tg\gamma$ = směrnice průsečnic roviny s rovinami souřadnicových os.

- **Rovnice oprav pro tuto rovinu:** [2]

$$v_i = A + B * x_i + C * y_i - z_i . \quad (60)$$

Kde: v = oprava,

$i = 1, 2, \dots, n$,

A = úsek na ose z ,

$B = tg\beta$, $C = tg\gamma$ = směrnice průsečnic roviny,

$x, y, z = h$: souřadnice bodů desky.

Rovnice oprav v maticovém tvaru:

$$v = A * dx - l' . \quad (61)$$

Kde: v = oprava,

A = matice plánů,

l' = redukovaná měření,

dx = přírůstky neznámých hodnot.

- **Normální rovnice:** [2]

$$\begin{aligned} n * A + [x] * B + [y] * C - [z] &= 0 \\ [x] * A + [xx] * B + [xy] * C - [xz] &= 0 \\ [y] * A + [xy] * B + [yy] * C - [yz] &= 0 . \end{aligned} \quad (62)$$

Kde: A = úsek na ose z ,

$B = tg\beta$, $C = tg\gamma$ = směrnice průsečnic roviny,

$x, y, z = h$: souřadnice bodů desky.

Řešením rovnic se vypočtou hodnoty konstant A, B, C . [2]

Normální rovnice v maticovém tvaru:

$$A^T * A * dx - A^T * l' = 0 . \quad (63)$$

Kde: A = matice plánů,

l' = redukovaná měření,

dx = přírůstky neznámých hodnot.

Symetrická matice $A^T * A$ se označuje N . [2]

Výpočet vyrovnávací roviny pomocí zprostředkujícího vyrovnání byl pro každou z pěti metod proveden ve výpočetním programu Matlab. V tomto programu byl předem vytvořen výpočetní skript, do kterého stačilo zadat souřadnic bodů desky x , y (Tab. 1) a zpracovaná převýšení h . Celý postup výpočtu, který se nacházel ve výpočetním skriptu je popsán níže.

▪ **Výpočet přibližných hodnot neznámých konstant A , B , C :**

Z rovnice vyrovnávací roviny je patrné, že abychom určily neznámé konstanty A , B , a C je nutné znát souřadnice alespoň tří bodů. Rovnice roviny pro tyto tři body bude mít tvar:

$$\begin{aligned} z_1 &= A + B * x_1 + C * y_1 \\ z_2 &= A + B * x_2 + C * y_2 \\ z_3 &= A + B * x_3 + C * y_3 . \end{aligned} \tag{64}$$

Získali jsme tím tři rovnice o třech neznámých konstantách, které byly z těchto rovnic vyjádřeny a vypočteny podle rovnic (65). Ve výpočetním skriptu v programu Matlab byly pro výpočet přibližných konstant voleny vždy tyto tři body: 19, 33 a 78.

$$\begin{aligned} C_0 &= \frac{(z_1 - z_2) * (x_2 - x_3) - (z_2 - z_3) * (x_1 - x_2)}{(y_1 - y_2) * (x_2 - x_3) - (y_2 - y_3) * (x_1 - x_2)} \\ B_0 &= \frac{(z_1 - z_2) - C_0 * y_1 + C_0 * y_2}{x_1 - x_2} \\ A_0 &= z_1 - B_0 * x_1 - C_0 * y_1 . \end{aligned} \tag{65}$$

Takto vypočtené přibližné hodnoty neznámých konstant vstupovali do vyrovnání jako vektor přibližných hodnot neznámých $x_0 = \begin{pmatrix} A_0 \\ B_0 \\ C_0 \end{pmatrix}$.

▪ **Výpočet přibližných převýšení $\bar{l}(x_0^T)$ z přibližných neznámých x_0 :**

Přibližné hodnoty neznámých x_0 byly dosazeny do rovnice vyrovnávací roviny (59), čím byl vypočten vektor přibližných měřených převýšení \bar{l} .

▪ **Výpočet redukovaných měření:**

$$l' = l - \bar{l}(x_0^T) . \quad (66)$$

Kde: l' = redukovaná měření,

l = zpracovaná naměřená převýšení,

\bar{l} = přibližné hodnoty převýšení.

▪ **Sestavení matice plánu A (derivací):**

Matice plánu A má vždy počet řádků roven počtu měřených hodnot a počet sloupců roven počtu neznámých. V našem případě tedy A (n, 3), kde n = počet nevyločených měření (u každé metody jiný).

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\partial z_1}{\partial A} & \frac{\partial z_1}{\partial B} & \frac{\partial z_1}{\partial C} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial z_n}{\partial A} & \frac{\partial z_n}{\partial B} & \frac{\partial z_n}{\partial C} \end{pmatrix} . \quad (67)$$

Kde: A = matice plánů,

$z_i = A + B * x_i + C * y_i$ = rovnice vyrovnávací roviny (59),

A, B, C = neznámé konstanty rovnice vyrovnávací roviny,

$i = 1, 2, \dots, n$.

▪ **Výpočet vyrovnaných přírůstků dx:**

Řešení normálních rovnic (63) a tedy výpočet vyrovnaných přírůstků dx má tvar:

$$dx = N^{-1} * A^T * l' . \quad (68)$$

Kde: dx = vyrovnané přírůstky,

A = matice plánů,

$N = A^T * A$ = symetrická matice,

l' = redukovaná měření.

▪ **Výpočet vyrovnaných konstant:**

$$X = x_0 + dx . \quad (69)$$

Kde: X = vyrovnané konstanty A, B, C rovnice vyrovnávací roviny,

dx = vyrovnané přírůstky,

x_0 = vektor přibližných hodnot neznámých: $x_0 = \begin{pmatrix} A_0 \\ B_0 \\ C_0 \end{pmatrix}$.

▪ **Dvojitý výpočet oprav:**

První výpočet oprav v^I byl vypočten podle vzorce (61). Druhý výpočet oprav byl vypočten podle následujícího vzorce.

$$v^{II} = \bar{l}(X^T) - l. \quad (70)$$

Kde: X = vyrovnané konstanty A, B, C rovnice vyrovnávací roviny,

l = zpracovaná naměřená převýšení,

\bar{l} = vypočtené hodnoty převýšení po dosazení vyrovnaných konstant (69) do rovnice vyrovnávací roviny (59).

Takto vypočtené opravy museli splňovat podmínku $v^I = v^{II}$. Pokud není tato podmínka splněna, ukazuje výpočet například na chybu v linearizaci. [2]

▪ **Výpočet vyrovnaných převýšení:**

$$L = l + v. \quad (71)$$

Kde: L = vector vyrovnaných převýšení,

l = zpracovaná naměřená převýšení,

v = opravy ($v = A * dx - l'$).

▪ **Výpočet aposteriorní směrodatné odchylky:**

$$m_0 = \sqrt{\frac{[v^T * v]}{n-k}}. \quad (72)$$

Kde: m_0 = aposteriorní směrodatná odchylka,

$n - k$ = počet nadbytečných měření,

v = opravy ($v = A * dx - l'$).

Z aposteriorní směrodatné odchyly lze vypočítat **směrodatné odchyly vyrovnaných konstant**:

$$E_x = m_0^2 * N^{-1}$$

$$m_x = \sqrt{\text{diagonála}(E_x)} . \quad (73)$$

Kde: m_x = směrodatné odchyly vyrovnaných konstant,

m_0 = aposteriorní směrodatná odchyly,

$\text{diagonála}(E_x)$ = diagonální prvky matice E_x .

Dále lze vypočítat i **směrodatné odchyly vyrovnaných převýšení**:

$$E_l = A * E_x * A^T$$

$$m_l = \sqrt{\text{diagonála}(E_l)} . \quad (74)$$

Kde: m_l = směrodatné odchyly vyrovnaných převýšení,

A = matice plánů,

$\text{diagonála}(E_l)$ = diagonální prvky matice E_l .

Matice $E_l = A * E_x * A^T$ je vypočtena pomocí ZHSO.

Na závěr výpočtu, byla na každém bodě desky vypočtena vzdálenost tohoto bodu vedená po normále k vyrovnané rovině podle vzorce:

$$\text{vzdálenost} = \frac{|A*x+B*y+C*z+D|}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}} . \quad (75)$$

Kde: rovnice roviny = $A + B * x + C * y - z = 0$,

souřadnice bodu x, y, z .

Jak již bylo zmíněno výše, celý tento výpočet byl vytvořen ve výpočetním skriptu v programu Matlab. Ukázka je zobrazena v Tab. 46. Při spuštění každého výpočetního skriptu pro jednotlivou metodu byl také vytvořen textový dokument, který se ukládal do příslušného adresáře a obsahoval výsledné hodnoty vyrovnání. Jeho ukázka je zobrazena v Tab. 47. Ve výpočetním skriptu v programu Matlab byly také vytvořeny 2D a 3D grafy pro jednotlivé metody měření.

Tab. 46: Ukázka výpočetního skriptu z programu Matlabu – Trimble S8 - štítek

```

clc
clear
format long g

fid = 1;
fid = fopen('vysledky_stitek.txt','w');%vytvoreni *.txt souboru pro vystup

%cislo bodu    % namerena prevyseni- cm    % souřadnice x    % souřadnice y
cb=[           h=[           x=[           y=[
  1           -0.2890362         0           0
  2           -0.2892763         5           0
  3           -0.2892135        10           0
  4           -0.2891279        15           0
  .           .                 .           .
  .           .                 .           .
  .           .                 .           .
];             ]*(100);           ];             ];

% z=a+b*x+c*y    rovnice roviny
% priblizne hodnoty neznamych konstant a,b,c
c=((h(19,1)-h(78,1))*(x(78,1)-x(33,1))-(h(78,1)-h(33,1))*(x(19,1)-x(78,1)))/((y(19,1)-y(78,1))-(y(78,1)-y(33,1))*(x(19,1)-x(78,1)));
b=((h(19,1)-h(78,1))-c*y(19,1)+c*y(78,1))/(x(19,1)-x(78,1));
a=h(19,1)-b*x(19,1)-c*y(19,1);

X0=[a;b;c]; % vektor pribliznych neznamych

for i=1:length(h)
    z(i)=a+b*x(i,1)+c*y(i,1); % vypocet pribliznych prevyseni
end

L0=z' ;% vypoctena priblizna prevyseni
L=h(:,1) ; % namerena prevyseni
l=L-L0 ; % redukovana mereni

A=ones(100,3);
for i=1:length(h)
A(i,2)=x(i); % matice planu
A(i,3)=y(i);
end

N=A'*A;
n=A'*l;

% vyrovnané prírůstky dx
dx=inv(N)*n;

% Vyrovnané konstanty
X=X0 +dx;
.
.
Atd.

```


Tab. 47: Ukázka výstupního textového dokumentu z programu Matlab - Trimble S8 štítek

Výsledky vyrovnání		
Vyrovnané konstanty:		Sm. odchylky vyrovnaných konstant:
a = -28.98853 [cm]		ma = 0.00698 [cm]
b = 0.00241 [cm]		mb = 0.00020 [cm]
c = 0.00197 [cm]		mc = 0.00020 [cm]
Rovnice roviny: $z = -28.98853 + 0.00241 * x + 0.00197 * y$		
Vyrovnané hodnoty naměřeného převýšení:		
Číslo bodu	Vyrovnané převýšení	Sm. odchylka převýšení
1	-28.98853 [cm]	0.00698 [cm]
2	-28.97647 [cm]	0.00638 [cm]
3	-28.96442 [cm]	0.00589 [cm]
4	-28.95236 [cm]	0.00554 [cm]
5	-28.94030 [cm]	0.00536 [cm]
--	--	--
Opravy na jednotlivých bodech:		Vzdálenost bodu od roviny:
Číslo bodu	Oprava v	Vzdálenost
1	v = -0.84911 [mm]	= 0.84910 [mm]
2	v = -0.48844 [mm]	= 0.48844 [mm]
3	v = -0.43067 [mm]	= 0.43067 [mm]
4	v = -0.39570 [mm]	= 0.39570 [mm]
5	v = -0.42023 [mm]	= 0.42023 [mm]
--	--	--
Maximální oprava		Minimální oprava
v_max = 0.532 [mm]		v_min = -0.849 [mm]

▪ **Porovnání dvou metod proložení: obecná rovina vs. vyrovnávací rovina**

Na konci výpočetního skriptu v programu Scilab byl u metody proložení bodů obecnou rovinou naprogramován výpočet konstant A, B, C určujících vyrovnávací rovinu (rovnice této roviny viz (59)). Pomocí tohoto koncového výpočtu bylo možné vyrovnání obecnou rovinou a vyrovnávací rovinou mezi sebou porovnat. Toto porovnání je u jednotlivých metod měření zobrazeno v Tab. 48.

Tab. 48: Porovnání vyrovnání

Metoda		Digitální nivelační přístroj	Optický nivelační přístroj	Trimble S8 hranol automatic	Trimble S8 hranol manuál	Trimble S8 odrazný štítek
Obecná rovina	A [cm]	-32,674	-34,713	-31,915	-30,779	-28,988
	B [cm]	0,00219	0,00248	0,00233	0,00226	0,00241
	C [cm]	0,00189	0,00220	0,00181	0,00189	0,00197
Vyrovnávací rovina	A [cm]	-32,674	-34,713	-31,915	-30,779	-28,988
	B [cm]	0,00219	0,00248	0,00233	0,00226	0,00241
	C [cm]	0,00189	0,00220	0,00181	0,00189	0,00197
Vyrovnávací rovina: rovnice roviny			(59)	$z = A + B \cdot x + C \cdot y$		
Obecná rovina: parametrická rovnice			(43)	$X = a \cdot u + b \cdot v + c$		

Z Tab. 48 lze vyčíst, že u obou metod proložení (obecná rovina, vyrovnávací rovina) jsou výsledky po zaokrouhlení zcela stejné. Pokud by nedošlo k zaokrouhlování, pak by bylo zjištěno, že výsledky proložení u obou rovin jsou téměř totožné. Jak již bylo zmíněno v této diplomové práci, cílem tohoto proložení bylo dostat co nejmenší odchylky ve směru vertikální osy z a jelikož byly výsledky z obou proložení téměř stejné, byla za výchozí proložení zvolena metoda proložení vyrovnávací rovinou.

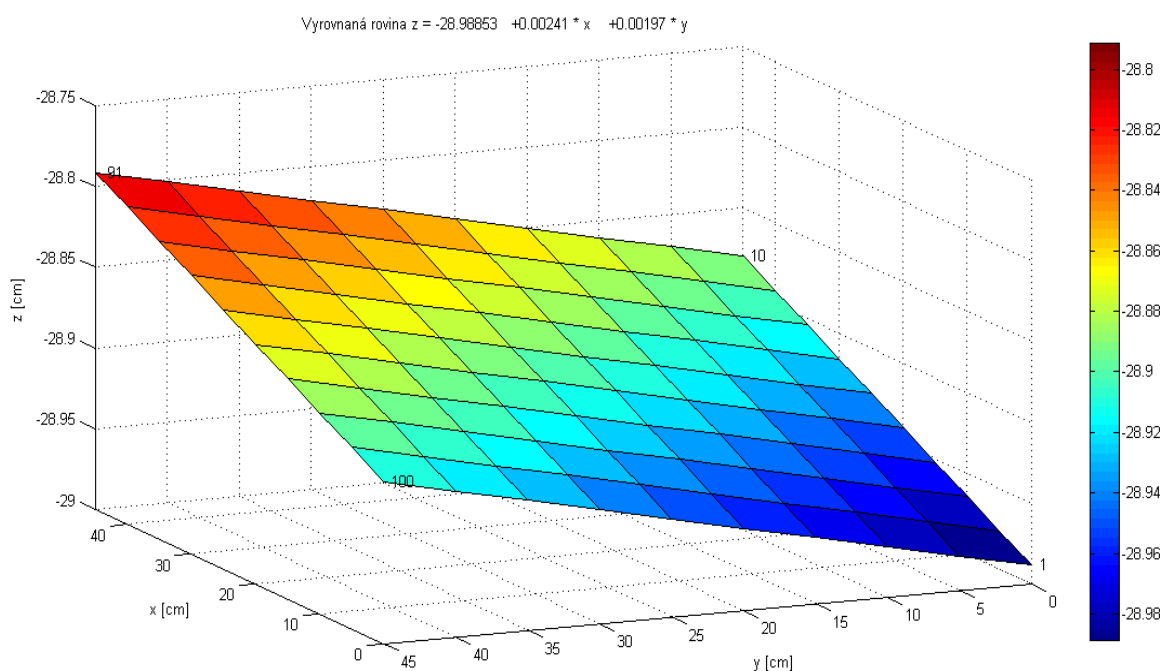
8.2.1 Totální stanice Trimble S8 – odrazný štítek

Maticе x , y a h byly ve výpočetním skriptu v programu Matlab naplněny souřadnicemi x , y a zpracovaným převýšením h této metody. Výpočetní skript byl spuštěn a výsledky vyrovnání jsou shrnuty v Tab. 49 a znázorněny v následujících grafech.

Tab. 49: Výsledky vyrovnání - Trimble S8 – odrazný štítek

Vyrovnané konstanty	A	-28,98853 cm
	B	0,00241 cm
	C	0,00197 cm
Rovnice vyrovnané rovina:	$z = -28,985553 + 0,00241 * x + 0,00197 * y$	
Opravy na jednotlivých bodech:		
Číslo bodu:	Oprava [mm]	
1	-0,849	
2	-0,488	
3	-0,431	
4	-0,396	
5	-0,420	
.	.	
.	.	
99	-0,163	
100	-0,177	

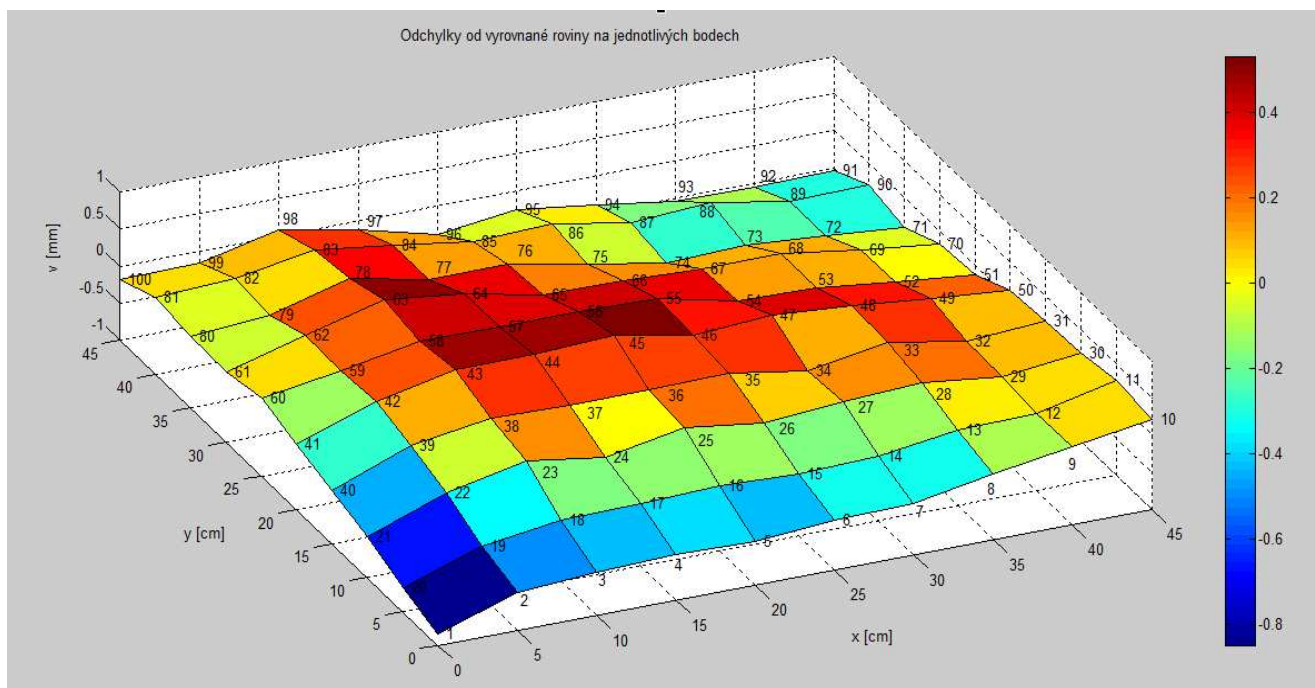
Vyrovnaná rovina je zobrazena v Grafu č. 2.



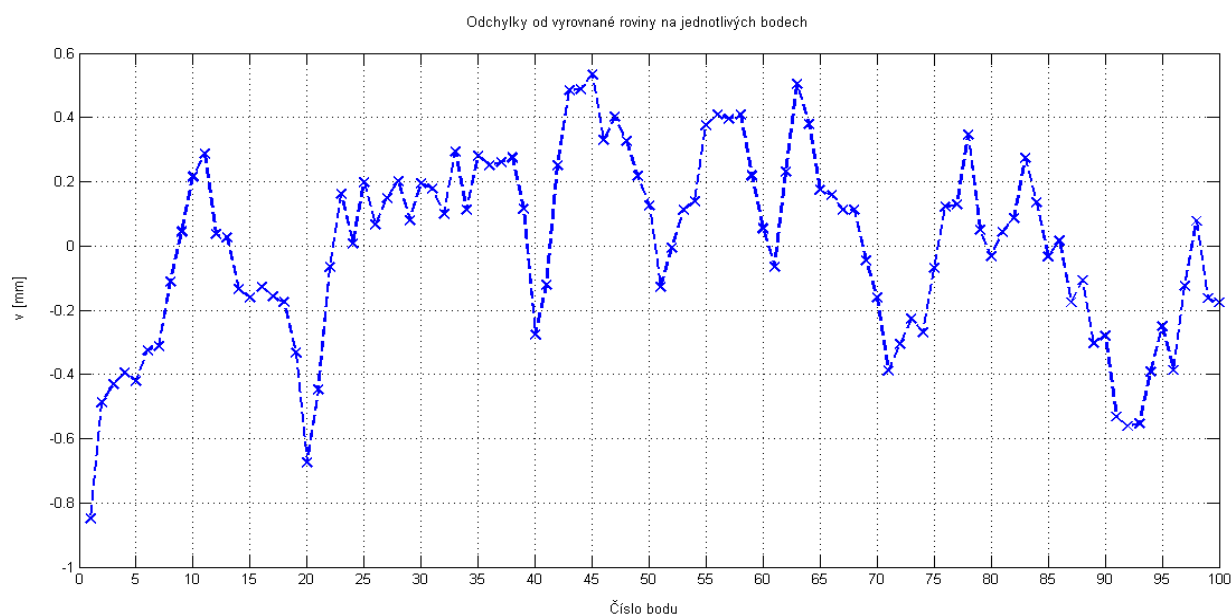
Graf č. 2: Vyrovnaná rovina : Trimble S8 – odrazný štítek

Z tohoto grafu je patrné, jak je výsledná vyrovnaná rovina natočena. Maxima dosahuje na bodě č. 91 a minima na bodě č. 1.

Odchyly od vyrovnané roviny jsou znázorněny v Grafu č. 3 a Grafu č. 4.



Graf č. 3: Odchyly od vyrovnané roviny : Trimble S8 – odrazný štítek 3D



Graf č. 4: Odchyly od vyrovnané roviny : Trimble S8 – odrazný štítek 2D

Z Grafu č. 3 a Grafu č. 4 je patrné, že nejmenší odchylka od vyrovnané roviny se nachází na bodě č. 1 a nejvyšší na bodě č. 45. Z barevné hypsometrie Grafu č. 3 je dobře viditelné, jak je deska vlnitá.

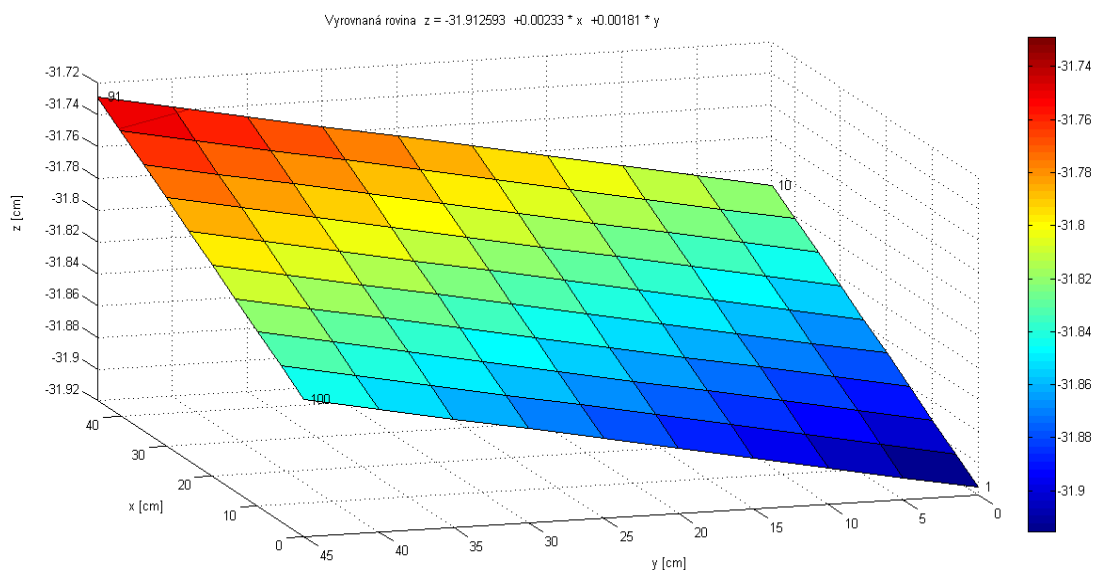
8.2.2 Totální stanice Trimble S8 – automatické cílení na hranol

Celý postup naplnění a spuštění výpočetního skriptu v programu Matlab byl u této metody zopakován jako v předchozím odstavci. Výsledky jsou znázorněny v Tab. 50 a následujících grafech.

Tab. 50: Výsledky vyrovnání - Trimble S8 - hranol automatic

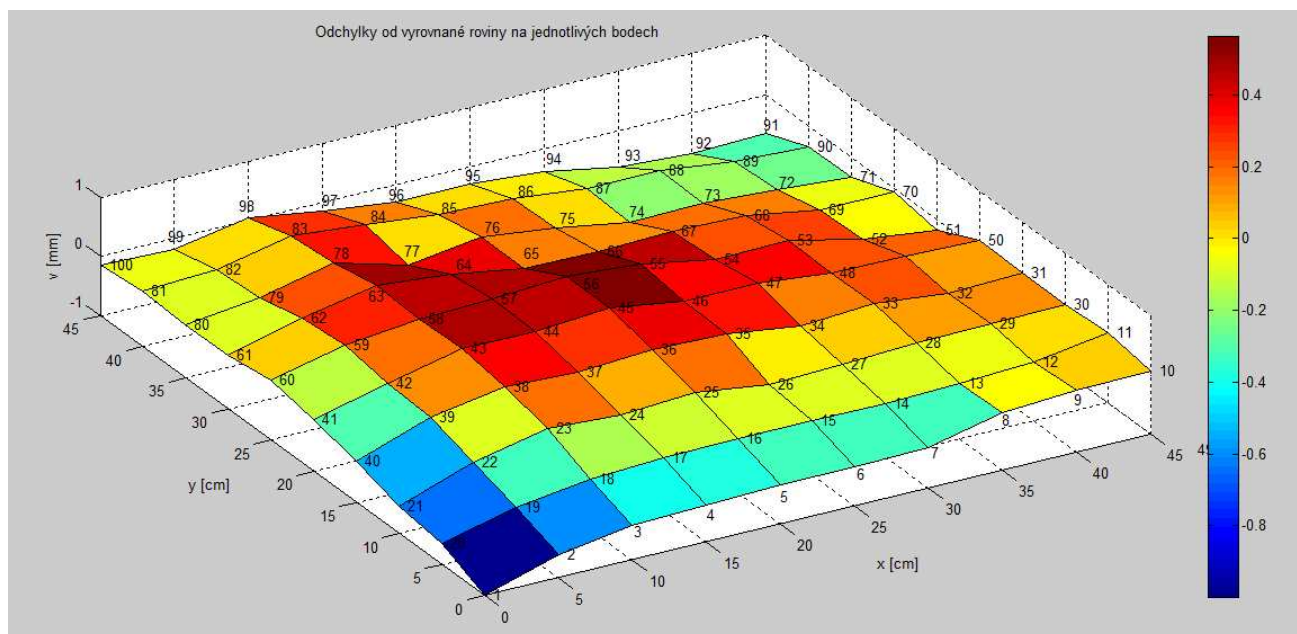
Vyrovnané konstanty	A	-31,91526 cm
	B	0,00233 cm
	C	0,00181 cm
Rovnice vyrovnané rovina:	$z = -31,91526 + 0,00233 * x + 0,00181 * y$	
Opravy na jednotlivých bodech:		
Číslo bodu:	Oprava [mm]	
1	-0,998	
2	-0,599	
3	-0,412	
4	-0,381	
5	-0,330	
.	.	
.	.	
99	-0,184	
100	-0,148	

Vyrovnaná rovina je zobrazena v Grafu č. 5.

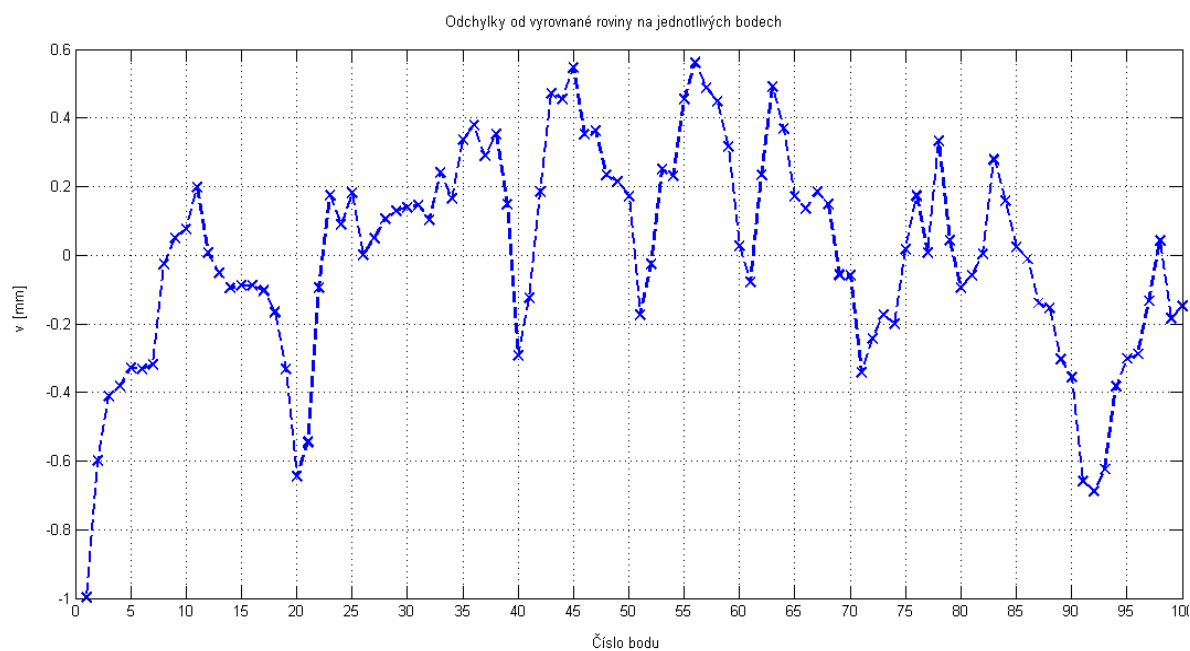


Graf č. 5: Vyrovnaná rovina : Trimble S8 - hranol automatic

Odchyly od vyrovnané roviny jsou znázorněny v Graf č. 6 a Graf č. 7.



Graf č. 6: Odchyly od vyrovnané roviny : Trimble S8 – hranol automatic 3D



Graf č. 7: Odchyly od vyrovnané roviny : Trimble S8 – hranol automatic 2D

Z Grafu č. 6 a Grafu č. 7 je stejně jako u předchozích grafů jiné metody dobře patrné, že nejmenší odchyly od vyrovnané roviny se i zde nachází na bodě č. 1a nejvyšší na bodech č. 45 a č. 56. I zde jsou velikosti odchylek od roviny dobře čitelné z barevné hypsometrie.

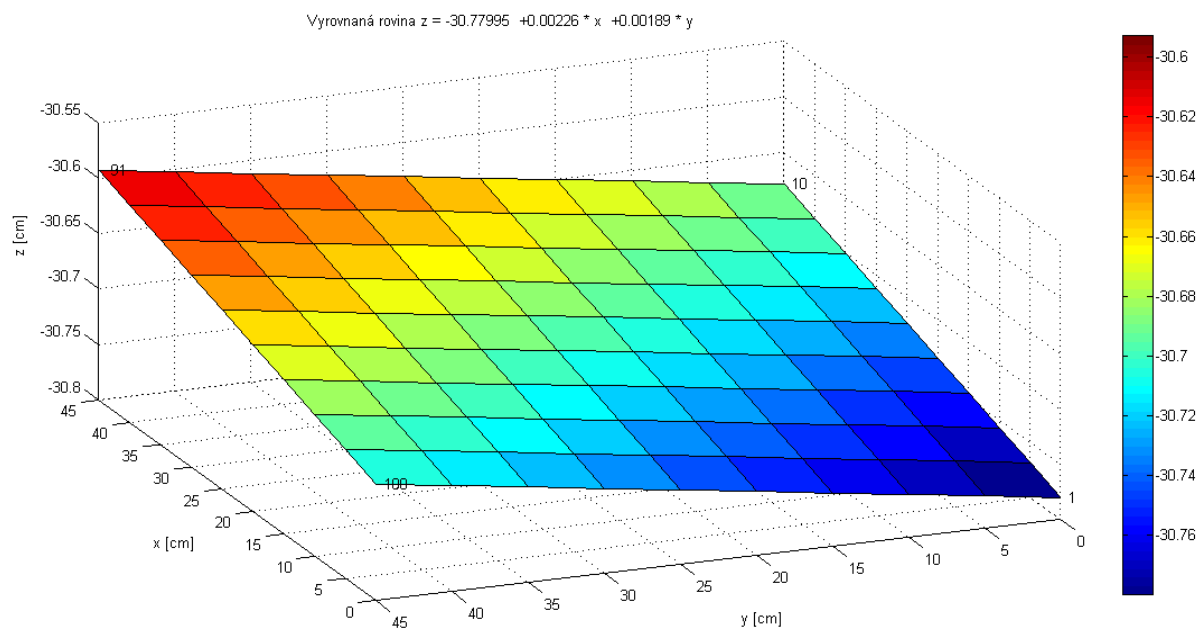
8.2.3 Totální stanice Trimble S8 – manuální cílení na hranol

I u této metody byl postup naplnění a spuštění výpočetního skriptu v programu Matlab stejný jako u předchozích dvou odstavců. Výsledky vyrovnaní jsou zobrazeny níže (Tab. 51).

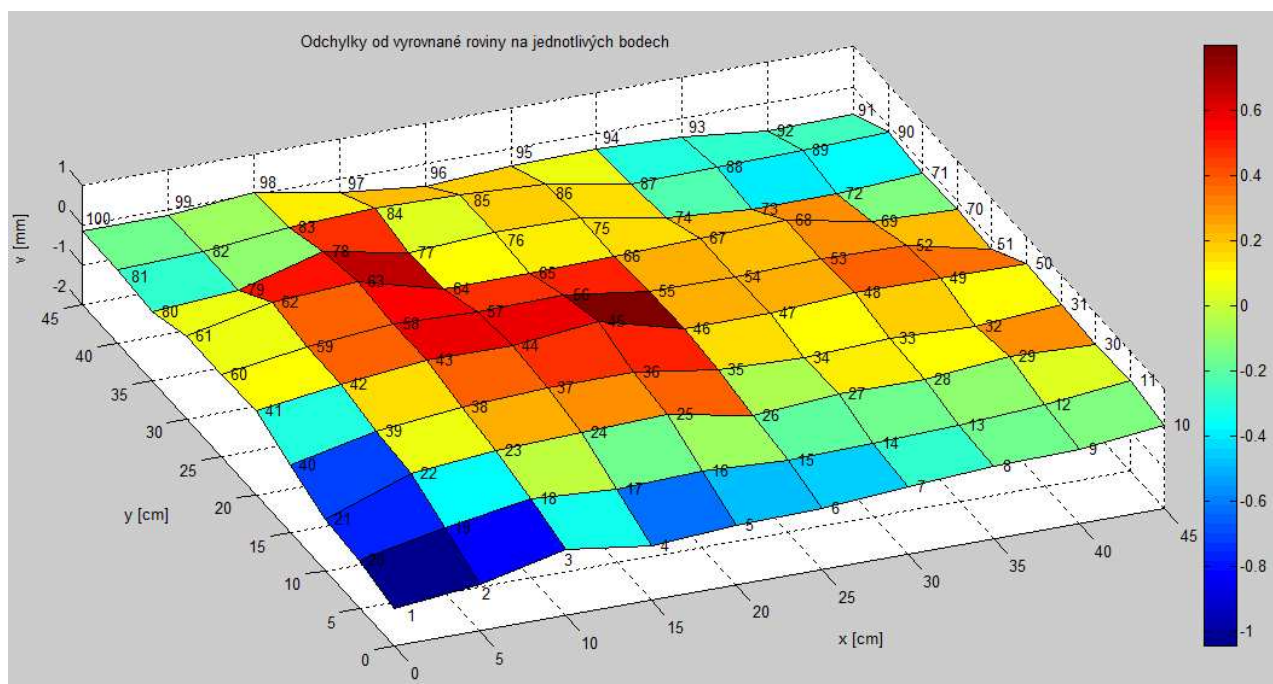
Tab. 51: Výsledky vyrovnaní - Trimble S8 - hranol manuál

Vyrovnané konstanty	A	-30,77995cm
	B	0,00226 cm
	C	0,00189 cm
Rovnice vyrovnané rovina:	$z = -30,77995 + 0,00226 * x + 0,00189 * y$	
Opravy na jednotlivých bodech:		
Číslo bodu:	Oprava [mm]	
1	-0,813	
2	-0,606	
3	-0,420	
4	-0,283	
5	-0,353	
.	.	
.	.	
99	-0,119	
100	-0,139	

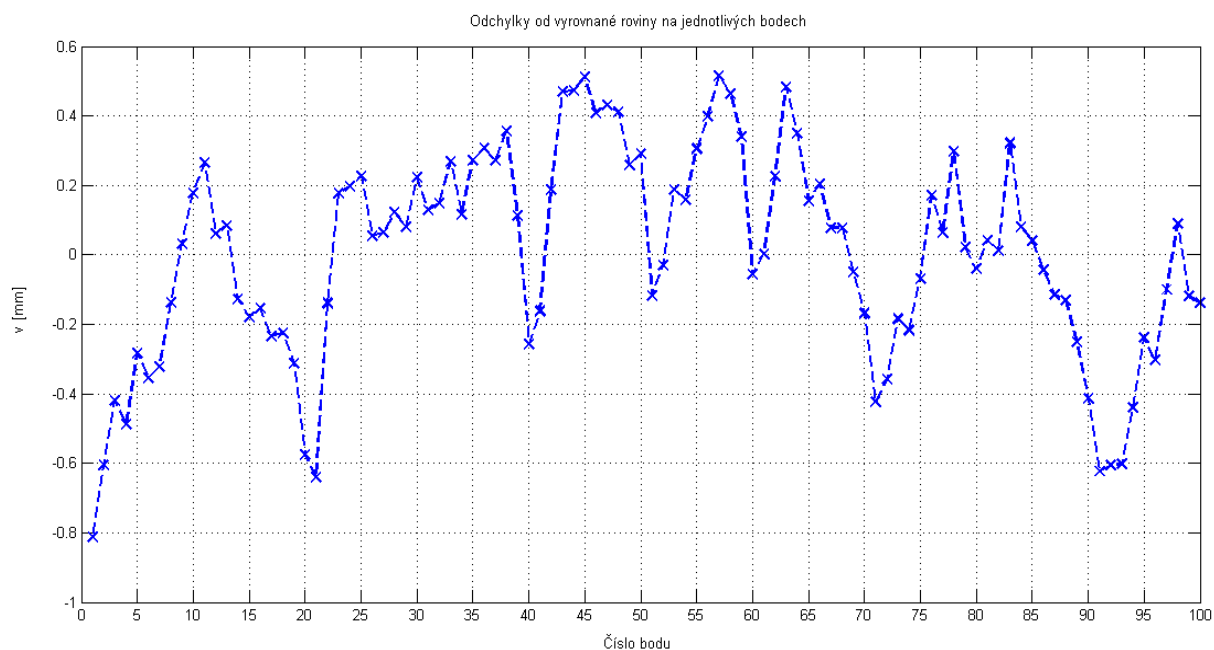
Vyrovnaná rovina je zobrazena v Grafu č. 8.



Graf č. 8: Vyrovnaná rovina : Trimble S8 - hranol manuál



Graf č. 9: Odchytky od vyrovnané roviny : Trimble S8 – hranol manuál 3D



Graf č. 10: Odchytky od vyrovnané roviny : Trimble S8 – hranol manuál 2D

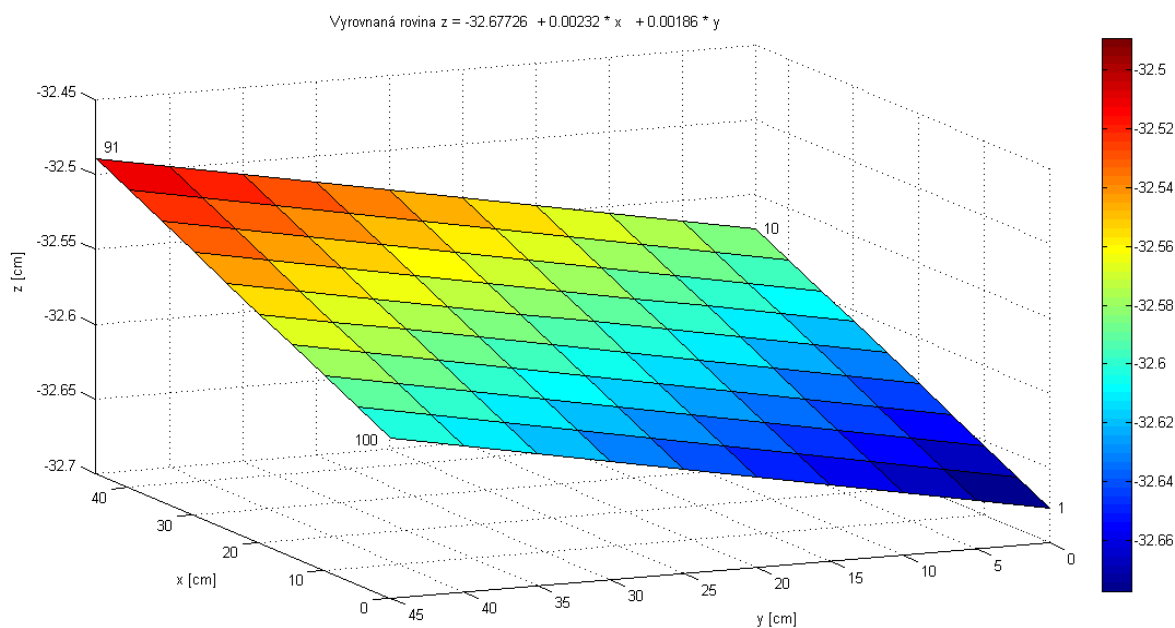
Stejně jako u předchozích metod i zde lze z tohoto grafu vyčíst, že nejmenší odchylka od vyrovnané roviny se nachází na bodě č. 1 a nejvyšší na bodech č. 45 a č. 56.

8.2.4 Digitální nivelační přístroj Trimble DiNi 12T

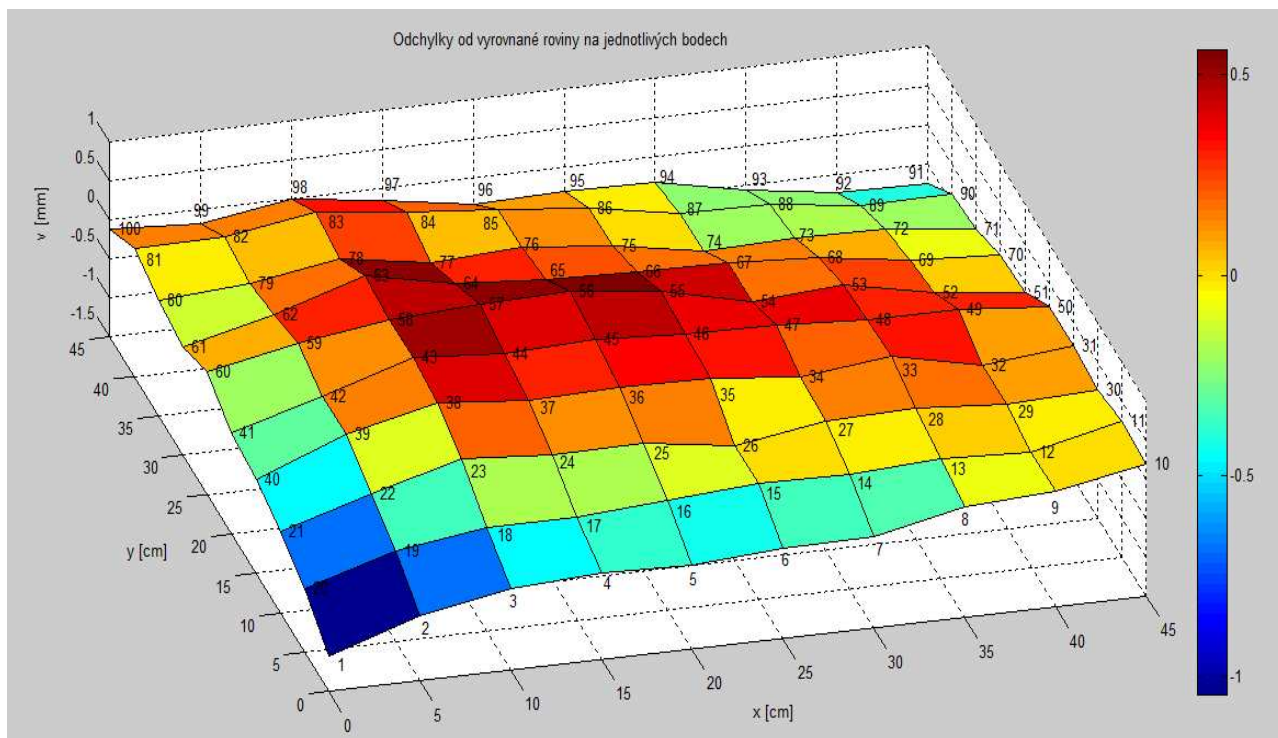
Maticе x, y a h byly ve výpočetním skriptu v programu Matlab u této metody naplňovány naměřenými převýšeními na všech sto bodech, neboť v odstavci 7.2.3.1 došlo k vrácení vyloučených hodnot zpět do výpočtu. Výsledky vyrovnání jsou znázorněny v Tab. 52. Dále byly jako u ostatních metod vytvořeny 2D a 3D grafy.

Tab. 52: Výsledky vyrovnání - Digitální nivelační přístroj

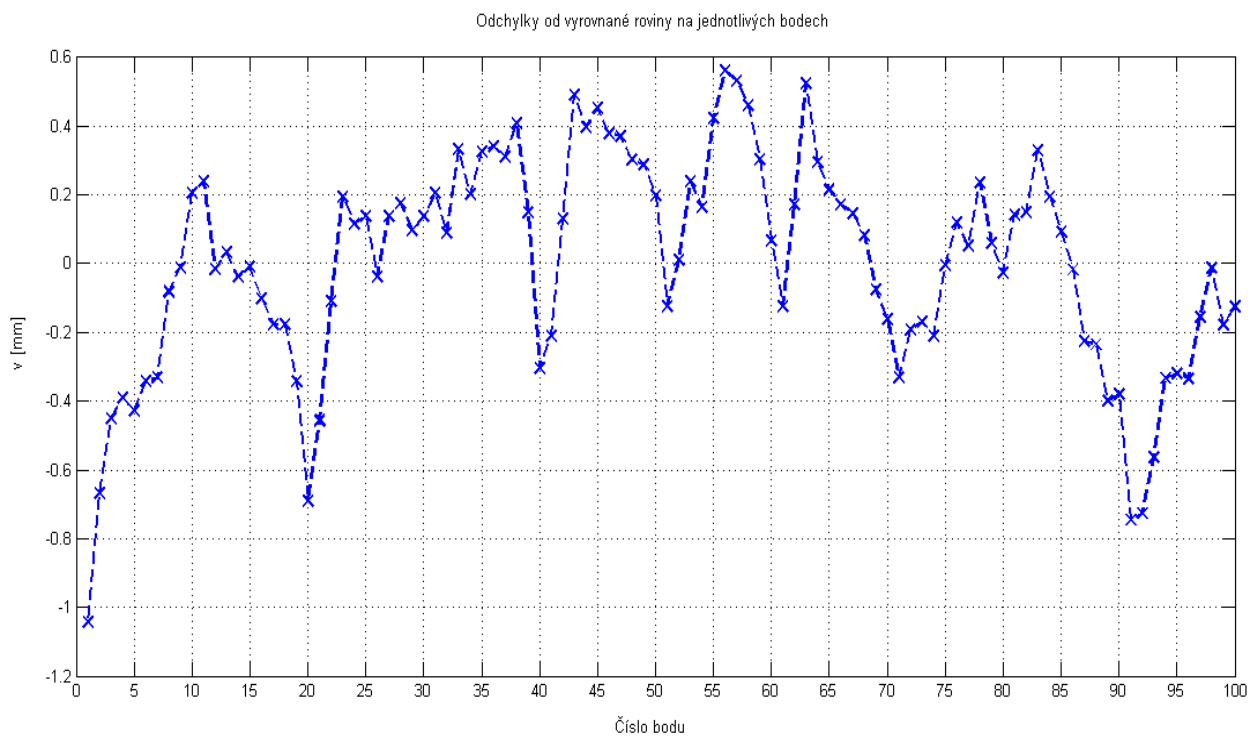
Vyrovnané konstanty	A	-32,67726 cm
	B	0,00232 cm
	C	0,00186 cm
Rovnice vyrovnané rovina:	$z = -32,67726 + 0,00232 * x + 0,00186 * y$	
Opravy na jednotlivých bodech:		
Číslo bodu:	Oprava [mm]	
1	-1,043	
2	-0,667	
3	-0,451	
4	-0,389	
5	-0,429	
.	.	
.	.	
99	-0,178	
100	-0,124	



Graf č. 11: Vyrovnaná rovina : Digitální nivelační přístroj



Graf č. 12: Odchylky od vyrovnané roviny : Digitální nivelační přístroj 3D



Graf č. 13: Odchylky od vyrovnané roviny : Digitální nivelační přístroj 2D

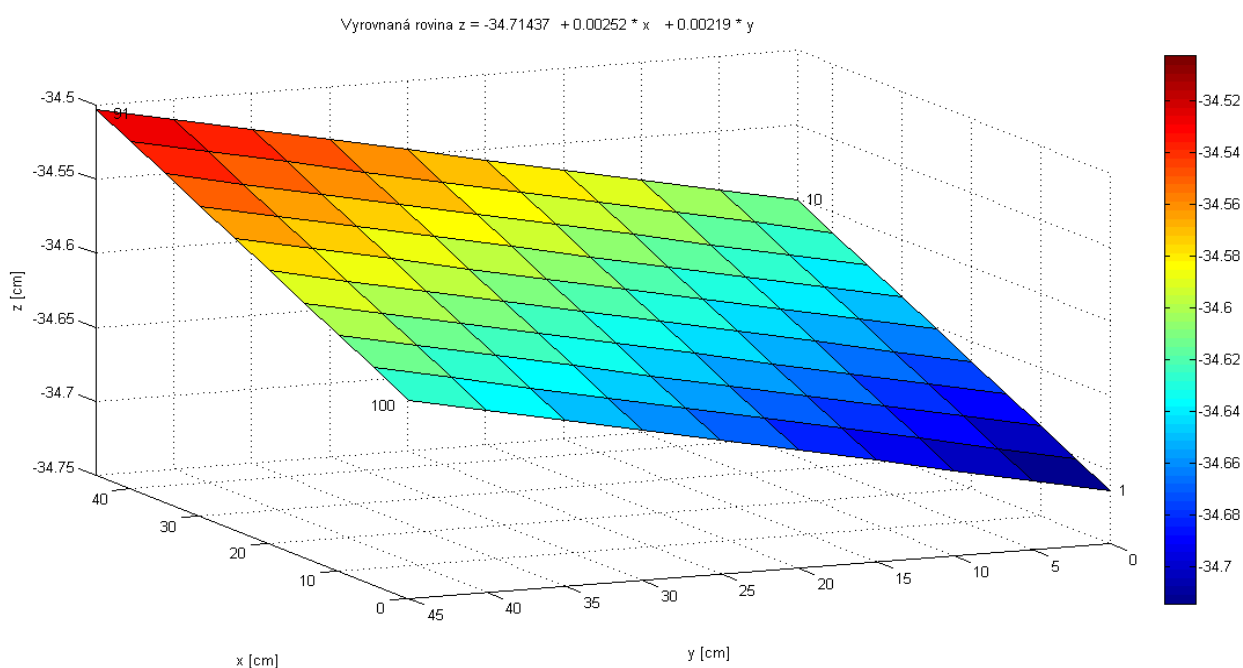
Stejně jako u předchozích metod popsanych v kapitole 8.2.1, 8.2.2 a 8.2.3 tak i zde lze z těchto grafů vyčíst, že nejmenší odchylka od vyrovnané roviny se nachází na bodě č. 1 a nejvyšší na bodě č. 56.

8.2.5 Optický nivelační přístroj Spectra precision optical AL 120

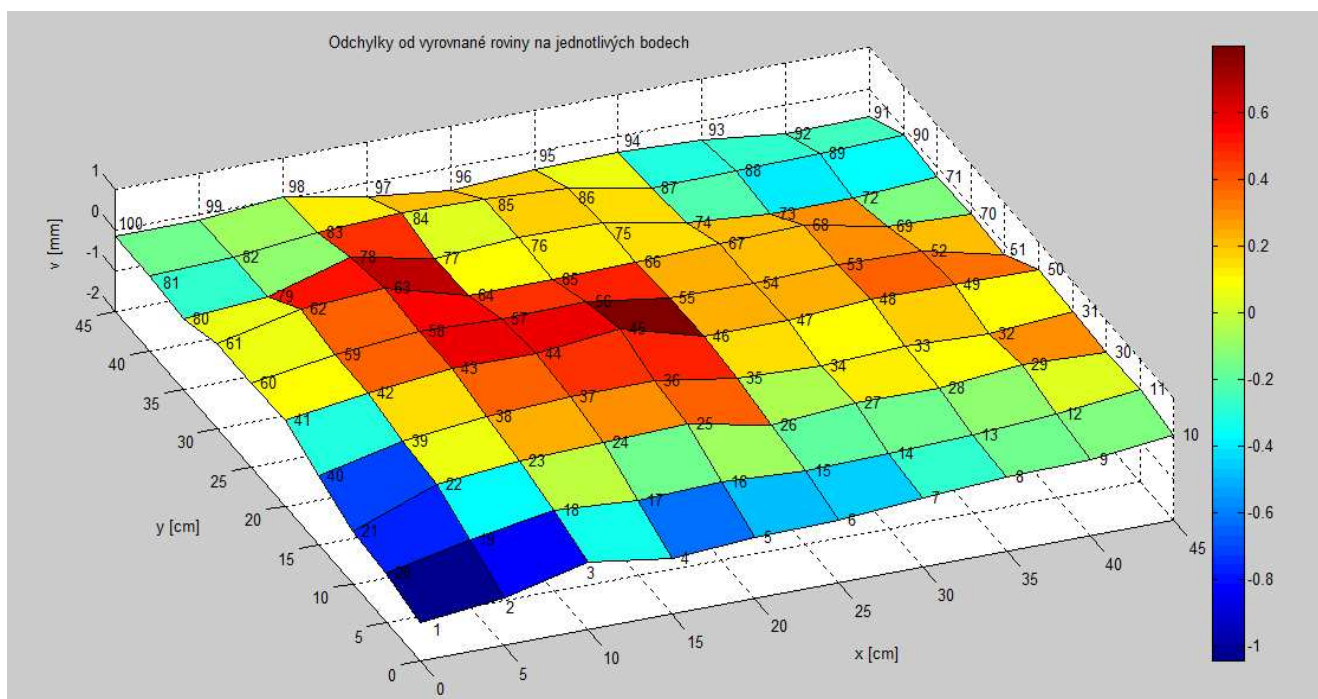
Stejně jako u předchozí metody (digitálního nivelačního přístroj), tak i u této metody došlo v kapitole 7.2.4.1 k vrácení vyloučených hodnot do výpočtu a matice x, y a h ve výpočetní skriptu i zde byly naplněny daty na všech sto bodech. Výsledky vyrovnání byly i zde ukládány do příslušného textového dokumentu a jsou znázorněny v Tab. 53. Dále byly jako u ostatních metod vytvořeny 2D a 3D grafy.

Tab. 53: Výsledky vyrovnání - Optický nivelační přístroj

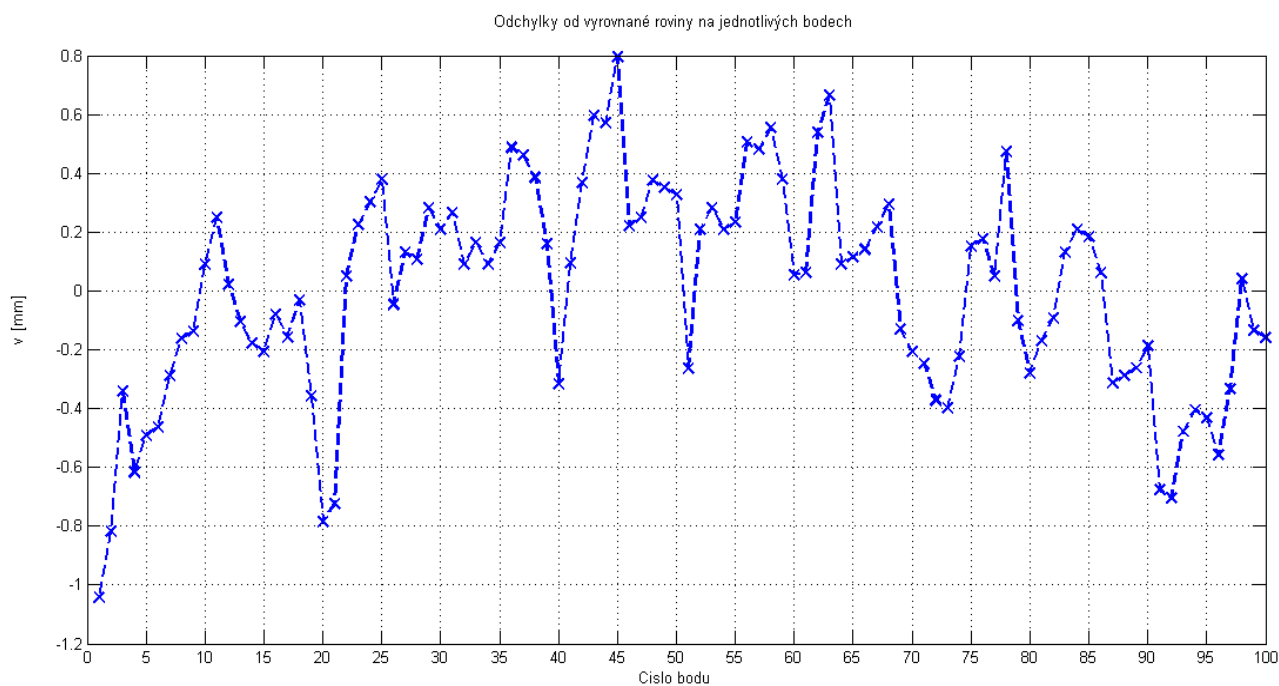
Vyrovnané konstanty	A	-34,71437 cm
	B	0,00252 cm
	C	0,00219 cm
Rovnice vyrovnané rovina:	$z = -34,71434 + 0,00252 * x + 0,00219 * y$	
Opravy na jednotlivých bodech:		
Číslo bodu:	Oprava [mm]	
1	-1,044	
2	-0,818	
3	-0,342	
4	-0,616	
5	-0,490	
.	.	
.	.	
99	-0,134	
100	-0,160	



Graf č. 14: Vyrovnaná rovina : Optický nivelační přístroj



Graf č. 15: Odchytky od vyrovnané roviny : Optický nivelační přístroj 3D



Graf č. 16: Odchytky od vyrovnané roviny : Optický nivelační přístroj 2D

I z těchto grafů lze vyčíst, na kterých bodech se nachází největší a nejmenší odchytky od vyrovnané roviny.

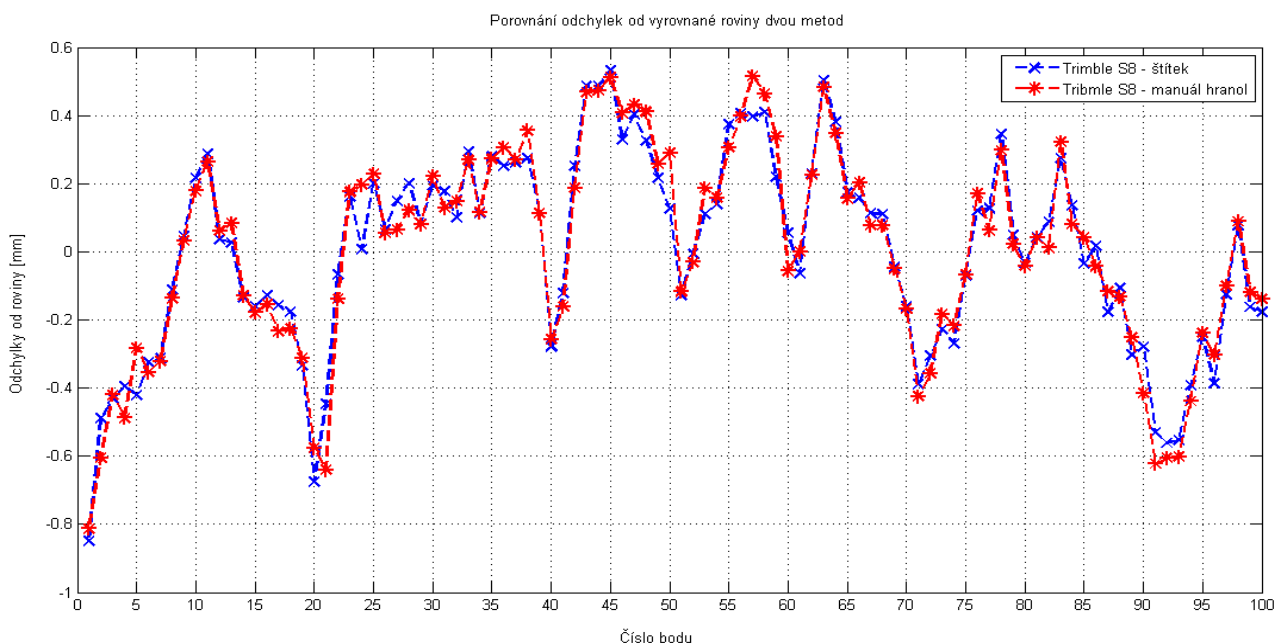
9 Porovnání metod, chybové modely

Jedním z dalších úkolů bylo porovnat jednotlivé metody mezi sebou a z rozdílů vytvořit chybové modely. Porovnávány byly tedy odchylky od vyrovnané roviny. Dále byly vytvořeny chybové modely z rozdílů odchylek od vyrovnané roviny a z rozdílů převýšení srovnaných do jedné výšky. Při vytváření chybových modelů byla za apriorní metodu volena metoda Trimble S8 – odrazný štítek, neboť jak již bylo zmíněno, u této metody nebyla vyloučena žádná naměřená hodnota a směrodatná odchylky jednoho měření byla jedna z nejlepších.

9.1 Porovnání odchylek od vyrovnané roviny jednotlivých metod

Po vrácení vyloučených hodnot do výpočtu bylo u metod digitální nivelační přístroj a optický nivelační přístroj stejně jako u zbývajících metod měření provedeno proložení všech bodů rovinou. U všech metod byly vytvořeny 2D a 3D grafy odchylek od vyrovnané roviny. Pro porovnání jednotlivých metod byly tyto odchylky dány do grafů v různých kombinacích, aby je bylo možné porovnat. Všechny níže uvedené grafy byly vytvářeny v programu Matlab pomocí výpočetního skriptu.

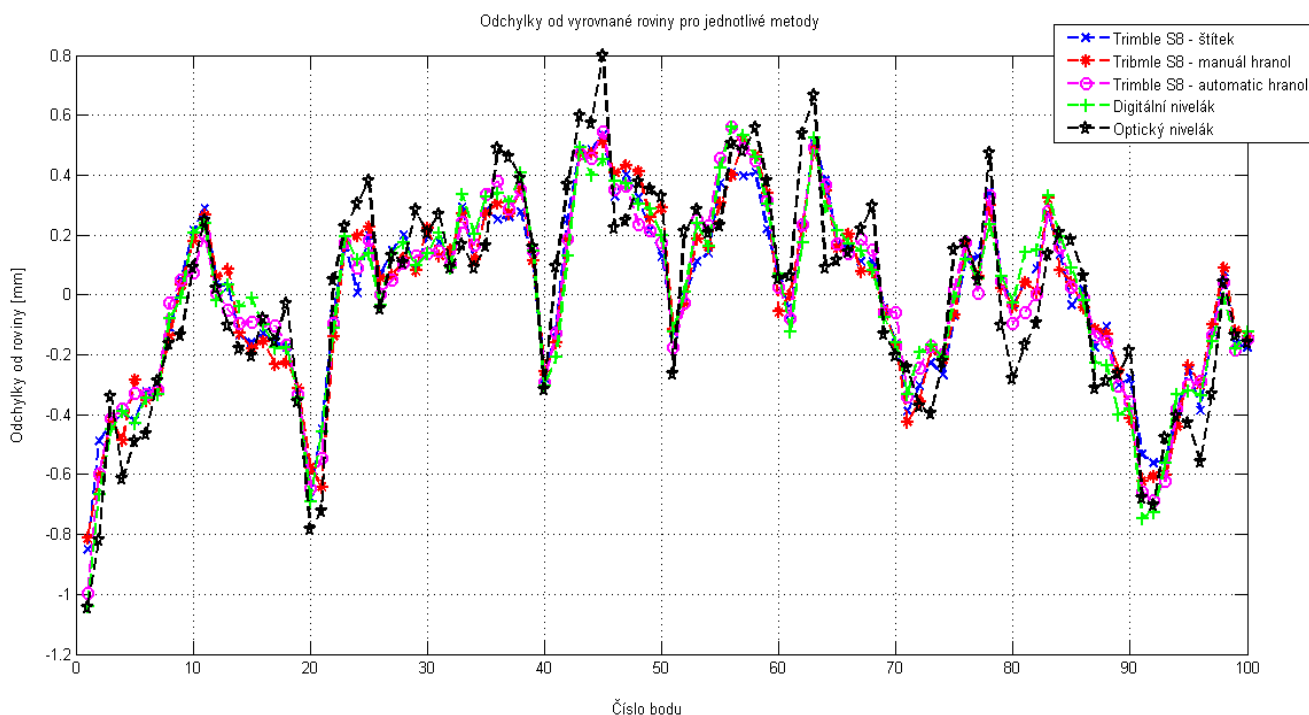
Pro porovnání dvou metod byly v grafu znázorněny vždy odchylky od vyrovnané roviny dvou metod. Jako ukázka je zde zobrazen graf metod Trimble S8 – odrazný štítek a Trimble S8 – hranol manuál (Graf č. 17).



Graf č. 17: Odchylky od vyrovnané roviny: Trimble S8 štítek - Trimble S8 hranol manuál

Z grafu lze vyčíst, že odchylky od vyrovnané roviny u těchto dvou metod mají téměř stejné velikosti, neboť jejich průběh je téměř totožný.

Dále byl vytvořen graf odchylek od vyrovnané roviny pro všechny metody dohromady (viz Graf č. 18).



Graf č. 18: Odchylky od vyrovnané roviny - všechny metody 2D

Z Grafu č. 18 je patrné, že odchylky od vyrovnané roviny mají u všech metod podobný průběh. Nejvíce se od ostatních metod liší metoda optický nivelační přístroj. U všech metod je minimální odchylka od roviny na bodě č. 1. Naopak maximální odchylky jsou dosaženy nejčastěji na bodech č. 45, č. 56 a č. 57.

9.2 Chybový model – rozdíly odchylek od vyrovnané roviny

Pro každou z metod byly k dispozici z vyrovnání odchylky od vyrovnané roviny (viz Tab. 54). Aby mohl být vytvořen chybový model z těchto odchylek, musely být vypočteny rozdíly odchylek (Tab. 55). Pro jednoduchost bylo nejlepší za apriorní odchylky zvolit odchylky metody Trimble S8 – odrazný štítek, protože tato metoda bylo i v předchozích výpočtech volena jako apriorní. Výpočet rozdílů odchylek od roviny byl proveden v programu Excel.

▪ **Výpočet rozdílů odchylek od roviny:**

$$\Delta_v = v_i - v_{\text{štítek}} \quad (76)$$

Kde: Δ_v = rozdíl odchylek,

v_i = odchylky od vyrovnané roviny i-té metody,

i = metoda (Trimble S8 hranol manuál, hranol automatic, digitální n. p., optický n. p.),

$v_{\text{štítek}}$ = odchylky od vyrovnané roviny metody Trimble S8 – odrazný štítek.

Tab. 54: Odchylky od vyrovnané roviny

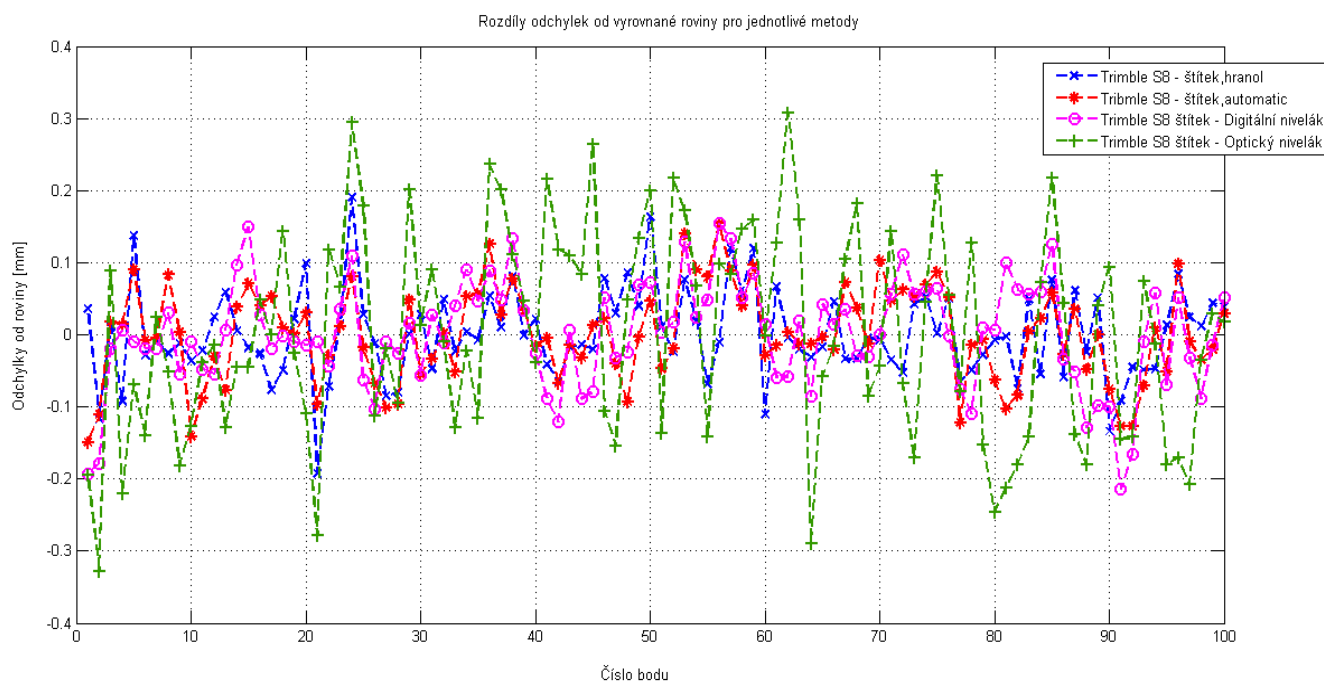
Odchylky od vyrovnané roviny [mm]					
Číslo bodu	Trimble S8 štítek	Trimble S8 automatic	Trimble S8 hranol	Optický nivelační přístroj	Digitální nivelační přístroj
1	-0,849	-0,998	-0,813	-1,044	-1,043
2	-0,488	-0,599	-0,606	-0,818	-0,667
3	-0,431	-0,412	-0,420	-0,342	-0,451
4	-0,396	-0,382	-0,488	-0,616	-0,390
..
98	0,077	0,041	0,0890	0,042	-0,012
99	-0,163	-0,184	-0,119	-0,134	-0,178
100	-0,177	-0,148	-0,139	-0,160	-0,124

Tab. 55: Rozdíly odchylek od vyrovnané roviny

Rozdíly odchylek - chybový model [mm]				
Číslo bodu	Trimble S8 štítek - automatic	Trimble S8 štítek - hranol	Trimble S8 štítek – optický n. p.	Trimble S8 štítek – digitální n. p.
1	-0,149	0,036	-0,195	-0,193
2	-0,111	-0,117	-0,329	-0,178
3	0,018	0,011	0,089	-0,020
4	0,014	-0,092	-0,220	0,006
..
98	-0,035	0,012	-0,035	-0,089
99	-0,021	0,044	0,029	-0,015
100	0,029	0,038	0,017	0,052

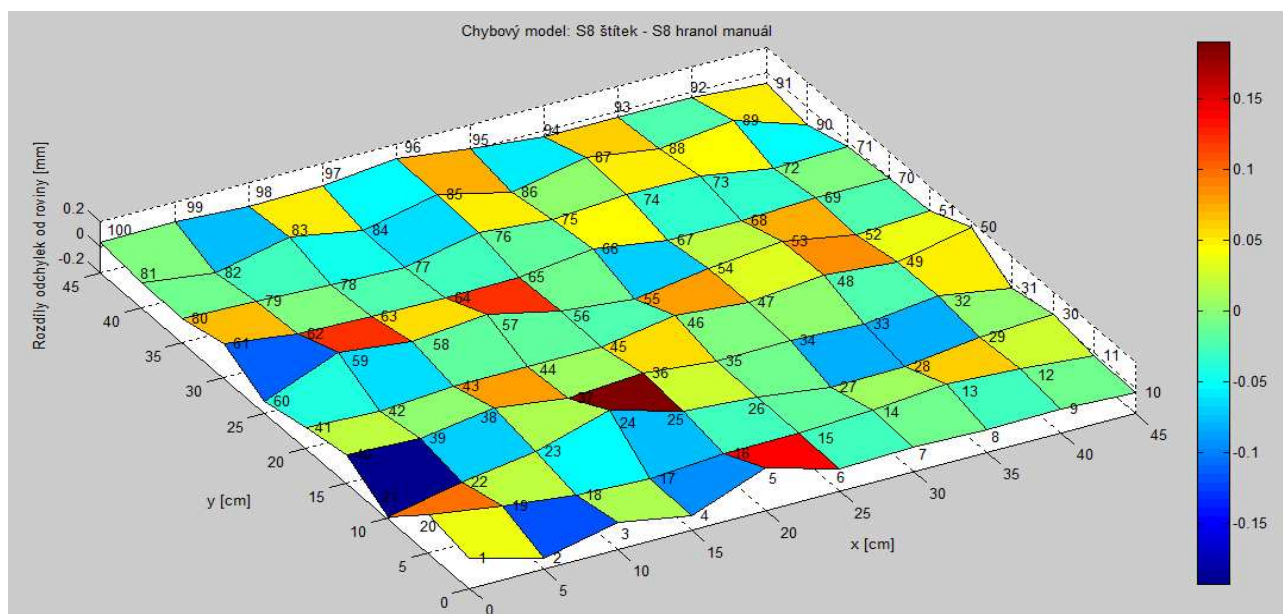
Všechny následující grafy byly vytvářeny ve výpočetním skriptu v programu Matlab.

Rozdíly odchylek od vyrovnané roviny pro jednotlivé dvojice metod byly zobrazeny do jednoho grafu (Graf č. 19). Z grafu lze vyčíst, že u rozdílů odchylek metod Trimble S8 štítek – optický nivelační přístroj je průběh odchylek zcela odlišný než u ostatních. Také tento rozdíl vykazuje nejvyšší rozdíly pohybující se v rozmezí -0,3mm až +0,3 mm. Zbylé tři dvojice metod mají rozdíly většinou v rozmezí -0,1 mm až +0,1mm. Metoda optický nivelační přístroj byla považována za nejhrubší metodu, neboť převýšení bylo měřičem odhadováno na 0,1 mm. Z tohoto důvodu je možné, že rozdíly odchylek jsou právě u této metody nejvyšší.



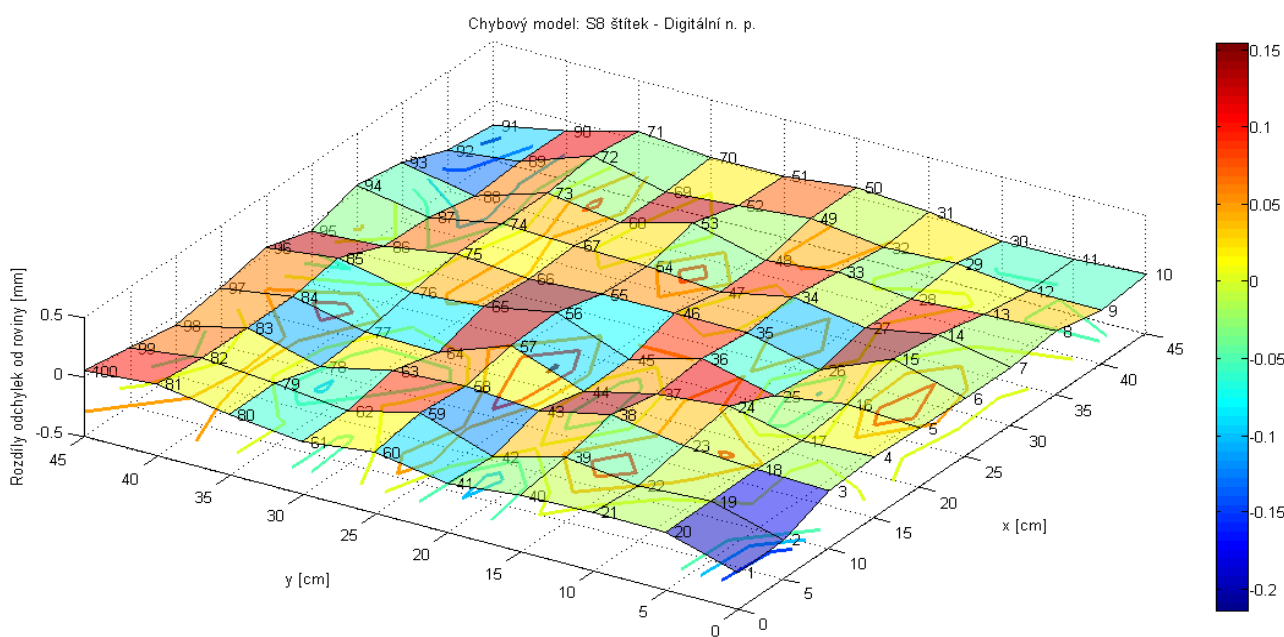
Graf č. 19: Chybový model: rozdíly odchylek od vyrovnané roviny 2D

Poté byly pro jednotlivé rozdíly odchylek dvojic metod vytvořeny 3D grafy s barevnou hypsometrií, znázorňující velikosti rozdílů. Ukázka pro metody Trimble S8 štítek – Trimble S8 hranol manuál je znázorněna v Grafu č. 20.



Graf č. 20: Chybový model: rozdíly odchylek od roviny: Trimble S8 štítek - Trimble S8 hranol manuál 3D

Následně byly tyto grafy upravovány. Pomocí funkce *surf* ve výpočetním skriptu v programu Matlab byly ještě pod barevnou hypsometrií vykresleny vrstevnice. Aby byly tyto vrstevnice znatelné, byly zesíleny a barevná hypsometrií zprůhledněna. Ukázka takto vytvořeného grafu pro rozdíly odchylek od vyrovnané roviny pro metody Trimble S8 štítek – digitální nivelační přístroj je znázorněna v Grafu č. 21.



Graf č. 21: Chybový model: rozdíly odchylek od roviny: Trimble S8 štítek - Digitální nivelační přístroj: 3D+vrstevnice

Oba dva druhy grafů byly vytvořeny pro všechny čtyři dvojice metod a jejich hodnoty zobrazené v Tab. 55.

9.3 Chybový model – rozdíly převýšení srovnaných do jedné výšky

Naměřená převýšení jednotlivých metod se nacházejí v různých výškách. V kapitole 7.2 byl pro každou dvojici metod (apriorní=štítek) vypočten průměrný posun (40) mezi těmito převýšeními. Všechny tyto posuny jsou shrnuty v Tab. 56.

Tab. 56: Výsledné průměrné posuny

Výsledné průměrné posuny:	
Trimble S8 štítek – Trimble S8 hranol automatic	29,32 mm
Trimble S8 štítek – Trimble S8 hranol manuál	17,97 mm
Trimble S8 štítek – Digitální nivelační přístroj	36,94 mm
Trimble S8 štítek – Optický nivelační přístroj	57,18 mm

Pomocí těchto průměrných posunů byla všechna převýšení srovnána do jedné výšky (41). Za apriorní převýšení byla i zde pro nejlepší jednoduchost brána převýšení metody Trimble S8 – odrazný štítek a k těmto převýšením byla tedy srovnána ostatní převýšení. Ukázka je zobrazena v Tab. 57.

Tab. 57: Převýšení srovnaná do jedné výšky

Převýšení srovnaná do jedné výšky [m]					
Číslo bodu	Trimble S8 štítek	Digitální nivelační přístroj	Optický nivelační přístroj	Trimble S8 hranol automatic	Trimble S8 hranol manuál
1	-0,289036	-0,288793	-0,288916	-0,288830	-0,289020
2	-0,289276	-0,289053	-0,289016	-0,289112	-0,289114
3	-0,289213	-0,289153	-0,289366	-0,289183	-0,289187
4	-0,289127	-0,289098	-0,288966	-0,289097	-0,289006
..
98	-0,288833	-0,288753	-0,288766	-0,288823	-0,288844
99	-0,288714	-0,288703	-0,288716	-0,288714	-0,288749
100	-0,288821	-0,288873	-0,288816	-0,288867	-0,288843

Následoval výpočet rozdílů těchto převýšení a jejich následné zobrazení do 2D a 3D grafu. Všechny grafy chybových modelů byly jako u předchozího odstavce vytvářeny ve výpočetním skriptu programu Matlab.

- **Výpočet rozdílů převýšení srovnaných do jedné výšky:**

$$\Delta_h = h_{\text{štítek}} - h_i \quad (77)$$

Kde: Δ_h = rozdíl převýšení,

h_i = převýšení i-té metody,

i = metoda (Trimble S8 hranol manuál a hranol automatic, digitální n. p., optický n. p.),

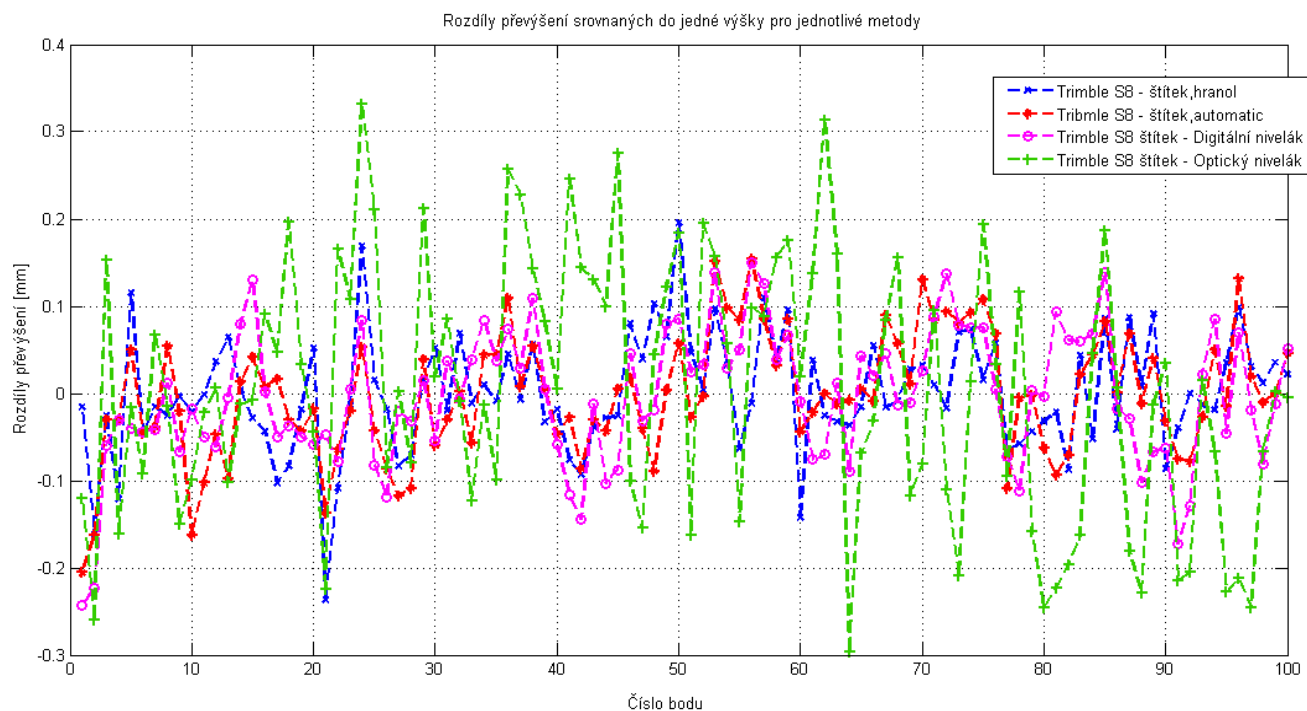
$h_{\text{štítek}}$ = převýšení metody Trimble S8 – odrazný štítek.

Ukázka takto vypočtených rozdílů se nachází v Tab. 58.

Tab. 58: Rozdíly převýšení srovnaných do jedné výšky

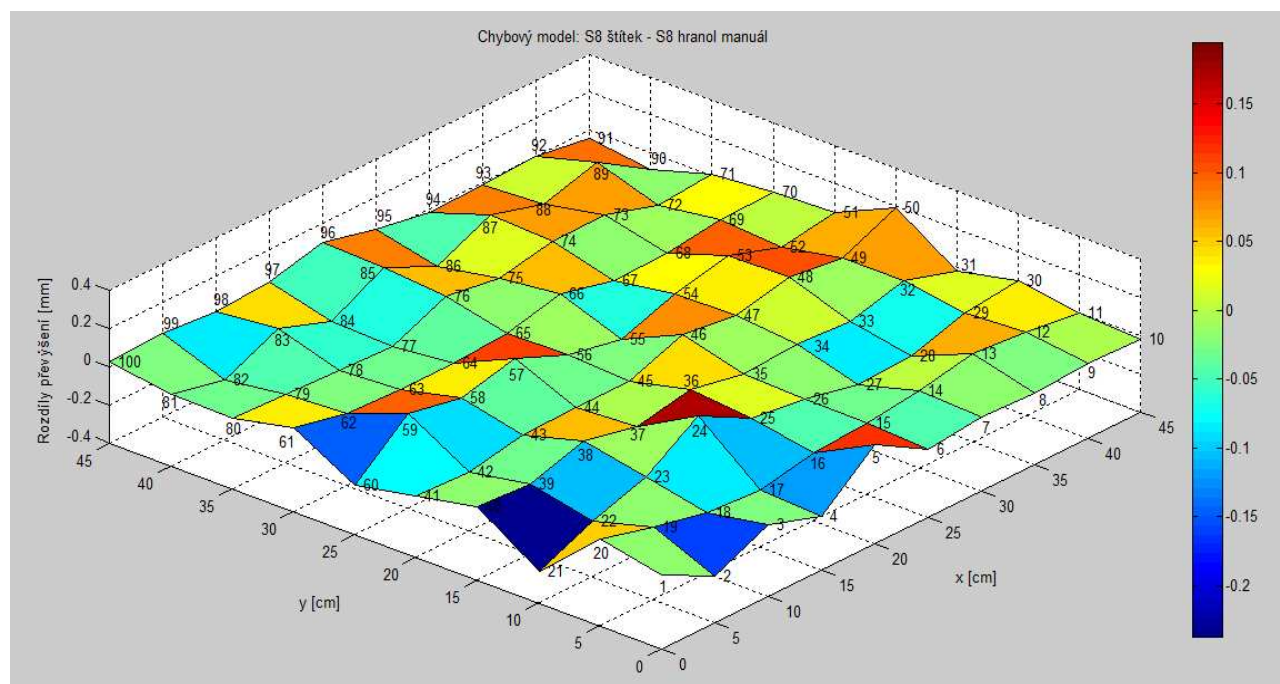
Rozdíly převýšení srovnaných do jedné výšky - chybový model [mm]				
Číslo bodu	Trimble S8 štítek - automatic	Trimble S8 štítek - hranol	Trimble S8 štítek – optický n. p.	Trimble S8 štítek – digitální n. p.
1	-0,2054	-0,0156	-0,1202	-0,2431
2	-0,1633	-0,1616	-0,2603	-0,2232
3	-0,0301	-0,0258	0,1525	-0,0604
4	-0,0307	-0,1211	-0,1619	-0,0298
..
98	-0,0101	0,0115	-0,0673	-0,0803
99	-0,0002	0,0354	0,0017	-0,0113
100	0,0460	0,0218	-0,0052	0,0518

Stejně jako u odchylek od roviny tak i pro rozdíly převýšení byly všechny rozdíly dvojice metod zobrazeny do jednoho grafu (Graf č. 22). Z grafu je patrné, že nejvyšší rozdíly se pohybují v rozmezí -0,3 mm až +0,3mm u metod Trimble S8 štítek – optický nivelační přístroj. U ostatních metod se většina rozdílů nachází v rozmezí -0,1mm až +0,1mm. Jak již bylo řečeno u chybového modelu pro odchylky od roviny, tak i zde průběh rozdílů převýšení srovnaných do jedné výšky se u metod Trimble S8 štítek – optický nivelační přístroj oproti ostatním velice liší.

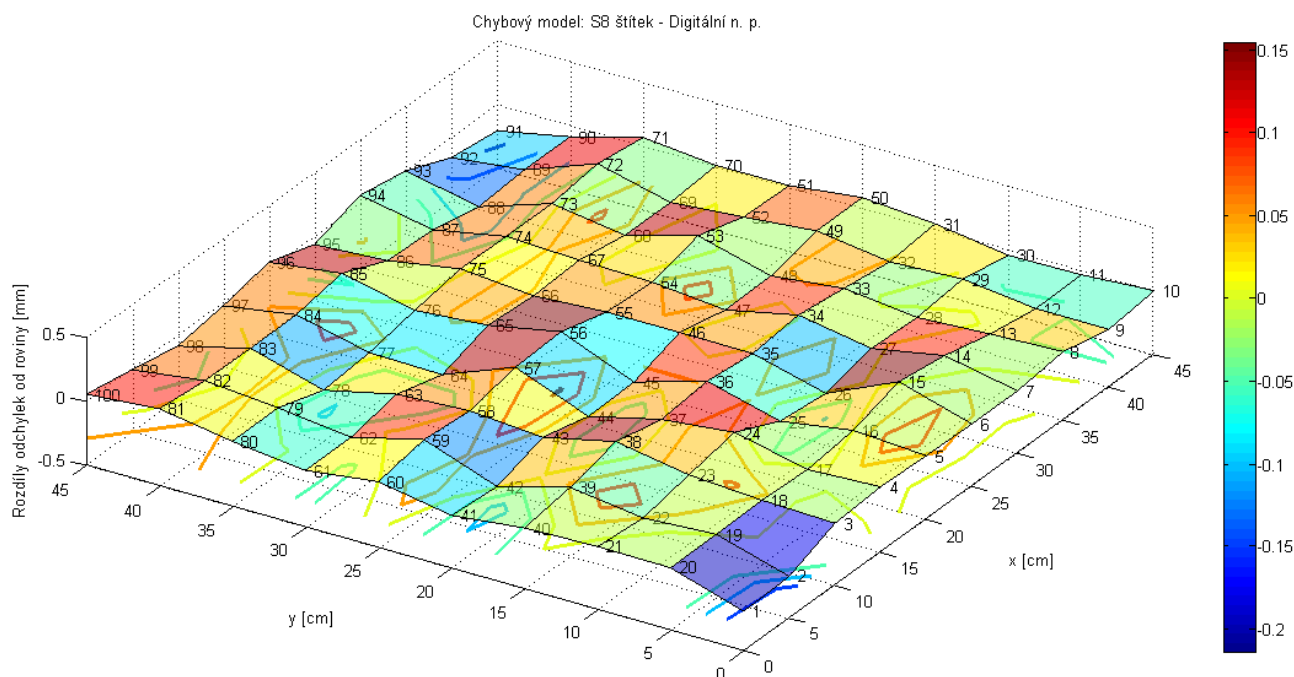


Graf č. 22: Chybový model: rozdíly převýšení srovnaných do jedné výšky 2D

Dále byly vytvářeny 3D grafy s barevnou hypsometrií a i s vrstevnicemi jako u předchozího odstavce. Ukázka jsou zobrazeny v Grafu č. 23 a Grafu č. 24.



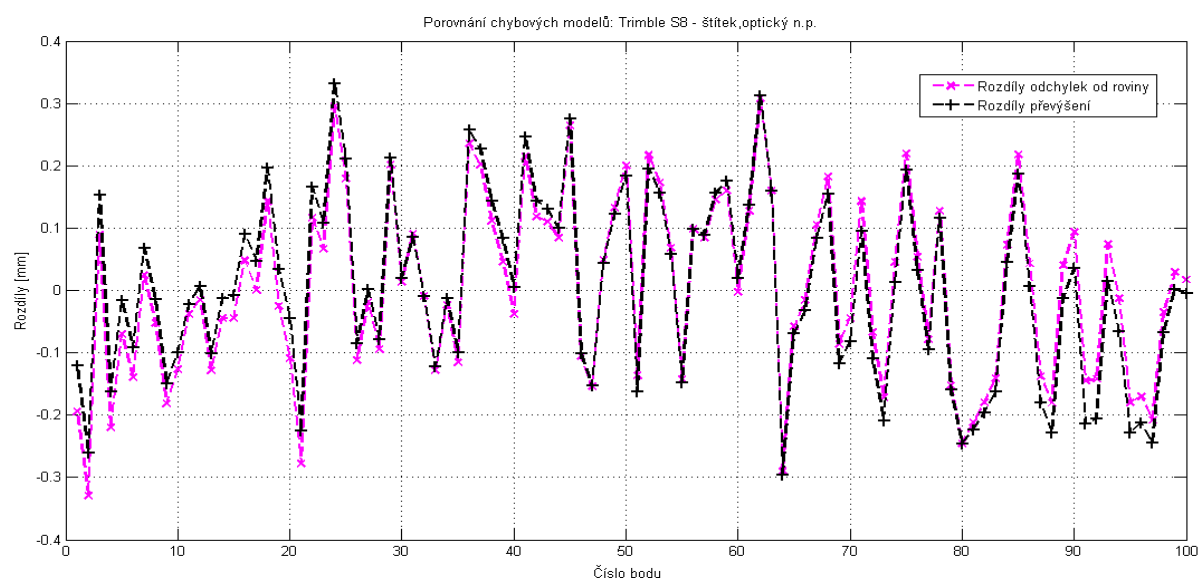
Graf č. 23: Chybový model: rozdíly převýšení srovnaných do jedné výšky: Trimble S8 štítek - Trimble S8 hranol manuál 3D



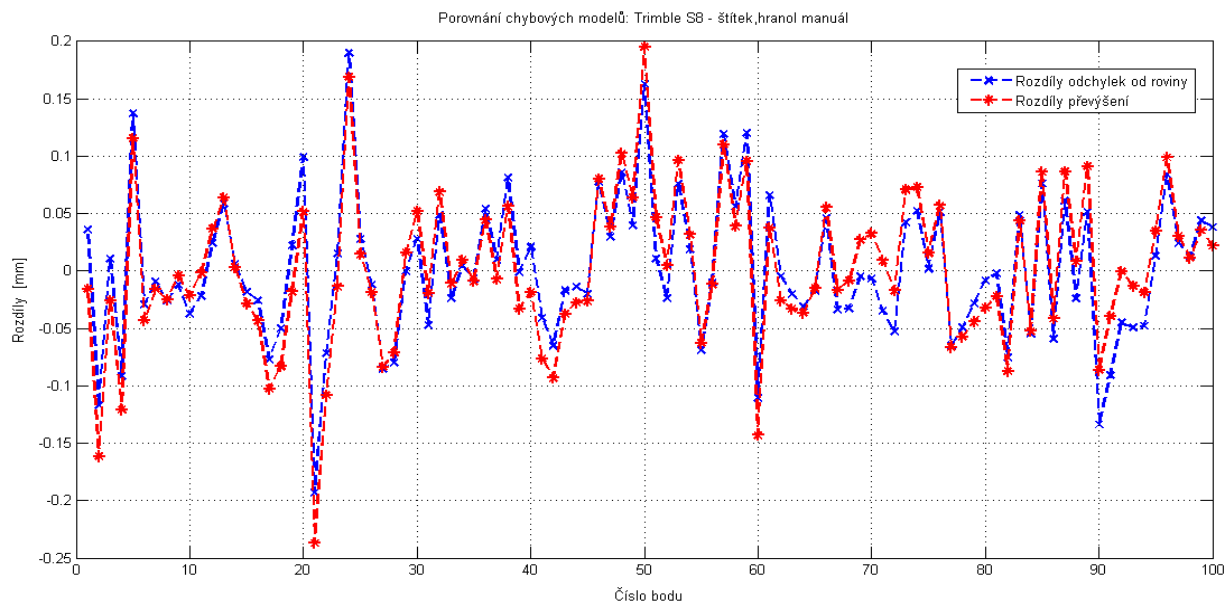
Graf č. 24: Chybový model: rozdíly převýšení srovnaných do jedné výšky: Trimble S8 štítek - Trimble S8 hranol manuál 3D+vrstevnice

9.4 Porovnání chybových modelů

Ve výpočetním skriptu v programu Matlab byly vytvořeny grafy porovnání chybových modelů. Do každého grafu byly pro příslušnou dvojici metod vykresleny odchylky od vyrovnané roviny a odchylky převýšení srovnaného do jedné výšky. Níže jsou zobrazeny dvě ukázky (Graf č. 25 a Graf č. 26).



Graf č. 25: Porovnání chybových modelů: Trimble S8 štítek - Optický n. p.



Graf č. 26: Porovnání chybových modelů: Trimble S8 štítek, hranol manuál

Z obou grafů je patrné, že oba dva chybové modely (rozdíly odchylek od vyrovnané roviny, rozdíly převýšení) mají téměř stejný průběh.

10 Vyrovnání směrodatných odchylek

Z rozdílů chybových modelů byly vypočteny směrodatné odchylky rozdílů ve všech kombinacích. Takto vypočtených směrodatných odchylek rozdílů bylo nadbytek (celkem 10), a proto pro určení směrodatných odchylek jednotlivých metod (celkem 5) bylo použito vyrovnání zprostředkujících měření.

10.1 Chybový model: rozdíly odchylek od vyrovnané roviny

Z odchylek od vyrovnané roviny byly podle vzorce (76) vypočteny jejich rozdíly. Zde nebyla volena jedna apriorní metoda, ale rozdíly byly počítány mezi všemi metodami. Z těchto rozdílů byly vypočteny směrodatné odchylky rozdílů. Ukázka tohoto zpracování je zobrazena v Tab. 59.

- *Výpočet směrodatné odchylky rozdílů:*

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}. \quad (78)$$

Kde: Δ = rozdíl odchylek od vyrovnané roviny dle (76),

σ_{Δ} = sm. odchylka rozdílů,

n = počet rozdílů = 100.

Tab. 59: Rozdíly odchylek od vyrovnané roviny všech dvojic metod

Rozdíly odchylek od vyrovnané roviny [mm]					
Číslo bodu	Trimble S8 štítek – hranol automatic	Trimble S8 štítek – hranol manuál	Trimble S8 štítek – optický n. p.	Trimble S8 štítek – digitální n. p.	Trimble S8 hranol automatic-hranol manuál
1	-0,149	0,036	-0,195	-0,193	0,185
2	-0,111	-0,117	-0,329	-0,178	-0,006
3	0,018	0,011	0,089	-0,020	-0,008
..
98	-0,035	0,012	-0,035	-0,089	0,048
99	-0,021	0,044	0,029	-0,015	0,065
100	0,029	0,038	0,017	0,052	0,009
σ_{Δ}	0,065 mm	0,062 mm	0,14 mm	0,074 mm	0,067 mm
Rozdíly odchylek od vyrovnané roviny [mm]					
Číslo bodu	Trimble S8 hranol automatic - optický n. p.	Trimble S8 hranol automatic - digitální n. p.	Trimble S8 hranol manuál – optický n. p.	Trimble S8 hranol manuál – digitální n. p.	Optický n. p. – digitální n. p.
1	-0,045	-0,044	-0,231	-0,230	0,001
2	-0,219	-0,067	-0,212	-0,061	0,151

3	0,070	-0,039	0,078	-0,031	-0,109
..
98	0,000	-0,054	-0,047	-0,101	-0,054
99	0,050	0,006	-0,015	-0,059	-0,044
100	-0,012	0,024	-0,021	0,015	0,036
σ_{Δ}	0,13 mm	0,058 mm	0,14 mm	0,078 mm	0,14 mm

▪ **Výpočet směrodatných odchylek jednotlivých metod**

Z výpočtu výše známe 10 směrodatných odchylek rozdílů, které jsou shrnuty v Tab. 60 a ze kterých bylo pomocí vyrovnání MNC vypočteno pět směrodatných odchylek metod ($\sigma_{\text{štítek}}$, $\sigma_{\text{hranol manuál}}$, $\sigma_{\text{hranol automatic}}$, $\sigma_{\text{digitální n.p.}}$, $\sigma_{\text{optický n.p.}}$).

Tab. 60: Směrodatné odchylky rozdílů – vyrovnaná rovina

Metody	Směrodatná odchylka rozdílů	
Trimble S8 štítek – hranol automatic	$\sigma_{\text{štítek hranol automatic}}$	0,065 mm
Trimble S8 štítek – hranol manuál	$\sigma_{\text{štítek hranol manuál}}$	0,062 mm
Trimble S8 štítek – digitální n. p.	$\sigma_{\text{štítek digitální n.p.}}$	0,074 mm
Trimble S8 štítek – optický n. p.	$\sigma_{\text{štítek optický n.p.}}$	0,14 mm
Trimble S8 hranol automatic – manuál	$\sigma_{\text{hranol manuál hranol automatic}}$	0,067 mm
Trimble S8 hranol automatic – digitální n. p.	$\sigma_{\text{hranol automatic digitální n.p.}}$	0,058 mm
Trimble S8 hranol automatic – optický n. p.	$\sigma_{\text{hranol automatic optický n.p.}}$	0,13 mm
Trimble S8 hranol manuál - digitální n. p.	$\sigma_{\text{hranol manuál digitální n.p.}}$	0,078 mm
Trimble S8 hranol manuál - optický n. p.	$\sigma_{\text{hranol manuál optický n.p.}}$	0,14 mm
Digitální n. p. – optický n. p.	$\sigma_{\text{optický n.p. digitální n.p.}}$	0,14 mm

▪ **Rovnice pro výpočet směrodatné odchylky rozdílů:**

$$\sigma_{i,j}^2 = \sigma_i^2 + \sigma_j^2 . \quad (79)$$

Kde: $\sigma_{i,j}$ = směrodatná odchylky rozdílů,

σ_i, σ_j = sm. odchylka metody,

i, j = druh metody.

▪ **Výpočet přibližných hodnot neznámých:**

Z výše uvedené rovnice je patrné, že abychom určily pět neznámých směrodatných odchylek, je nutné znát pět směrodatných odchylek rozdílů. Pro výpočet byly použity tyto:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{hranol automatic}}^{\text{štítek}}{}^2 &= a + b \\ \sigma_{\text{hranol manuál}}^{\text{štítek}}{}^2 &= a + c \\ \sigma_{\text{digitální n.p.}}^{\text{štítek}}{}^2 &= a + d \\ \sigma_{\text{optický n.p.}}^{\text{štítek}}{}^2 &= a + e \\ \sigma_{\text{hranol manuál}}^{\text{hranol automatic}}{}^2 &= c + b .\end{aligned}\tag{80}$$

Kde: $a = \sigma_{\text{štítek}}^2$ – substitute,

$b = \sigma_{\text{hranol automatic}}^2$ – substitute,

$c = \sigma_{\text{hranol manuál}}^2$ – substitute,

$d = \sigma_{\text{digitální n.p.}}^2$ – substitute,

$e = \sigma_{\text{optický n.p.}}^2$ – substitute.

Získali jsme tím pět rovnic o pěti neznámých, které byly z těchto rovnic vyjádřeny a vypočteny podle rovnic (81).

$$\begin{aligned}a &= \frac{\sigma_{\text{hranol manuál}}^{\text{štítek}}{}^2 - \sigma_{\text{hranol automatic}}^{\text{hranol manuál}}{}^2 + \sigma_{\text{hranol automatic}}^{\text{štítek}}{}^2}{2} \\ b &= \sigma_{\text{hranol automatic}}^{\text{štítek}}{}^2 - a \\ c &= \sigma_{\text{hranol manuál}}^{\text{štítek}}{}^2 - a \\ d &= \sigma_{\text{digitální n.p.}}^{\text{štítek}}{}^2 - a \\ e &= \sigma_{\text{optický n.p.}}^{\text{štítek}}{}^2 - a .\end{aligned}\tag{81}$$

Takto vypočtené přibližné hodnoty neznámých konstant vstupovali do vyrovnání jako

vektor přibližných hodnot neznámých $x_0 = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \end{pmatrix}$.

▪ **Výpočet přibližných směrodatných odchylek rozdílu $\bar{l}(x_0^T)$ z přibližných neznámých x_0 :**

Přibližné hodnoty neznámých x_0 byly dosazeny do rovnic pro výpočet směrodatných odchylek rozdílu, čím byl vypočten vektor přibližných směrodatných odchylek rozdílu \bar{l} .

▪ **Výpočet redukovaných měření:**

$$l' = l - \bar{l}(x_0^T). \quad (82)$$

Kde: l' = redukovaná měření,

l = zpracované směrodatné odchylky (78),

\bar{l} = přibližné hodnoty převýšení.

▪ **Sestavení matice plánu A (derivací):**

Matice plánu A má vždy počet řádků roven počtu měřených hodnot a počet sloupců roven počtu neznámých. V našem případě tedy A (10, 5).

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\partial \sigma_{\Delta}^2}{\partial a} & \frac{\partial \sigma_{\Delta}^2}{\partial b} & \frac{\partial \sigma_{\Delta}^2}{\partial c} & \frac{\partial \sigma_{\Delta}^2}{\partial d} & \frac{\partial \sigma_{\Delta}^2}{\partial e} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix}. \quad (83)$$

Kde: A = matice plánů,

σ_{Δ}^2 = směrodatná odchylky rozdílů,

a, b, c, d, e = neznámé směrodatné odchylky jednotlivých metod.

V našem případě má matice A tvar:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

▪ **Výpočet vyrovnaných přírůstků dx:**

$$dx = N^{-1} * A^T * l'. \quad (84)$$

Kde: dx = vyrovnané přírůstky,

A = matice plánů,

$N = A^T * A$ = symetrická matice,

l' = redukovaná měření.

▪ **Výpočet vyrovnaných konstant:**

$$X = x_0 + dx . \quad (85)$$

Kde: X = vyrovnané konstanty a, b, c, d, e,
 dx = vyrovnané přírůstky,

$$x_0 = \text{vektor přibližných hodnot neznámých: } x_0 = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \end{pmatrix} .$$

▪ **Dvojitý výpočet oprav:**

První výpočet oprav v^I byl vypočten podle vzorce:

$$v^I = A * dx - l . \quad (86)$$

Kde: A = matice plánů,
 l = zpracované směrodatné odchylky,
 dx = vyrovnané přírůstky.

Druhý výpočet oprav byl vypočten podle následujícího vzorce.

$$v^{II} = \bar{l}(X^T) - l . \quad (87)$$

Kde: X = vyrovnané konstanty a, b, c, d, e,
 l = zpracovaná směrodatné odchylky,
 \bar{l} = vypočtené hodnoty směrodatných odchylek rozdílů po dosažení vyrovnaných konstant (85).

Takto vypočtené opravy musely splňovat podmínku $v^I = v^{II}$. Pokud není tato podmínka splněna, ukazuje výpočet například na chybu v linearizaci. [2]

▪ **Výpočet směrodatných odchylek jednotlivých metod ze substituce:**

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{šiték}} &= \sqrt{a} \\ \sigma_{\text{hranol automatic}} &= \sqrt{b} \\ \sigma_{\text{hranol manuál}} &= \sqrt{c} \\ \sigma_{\text{digitální n.p.}} &= \sqrt{d} \\ \sigma_{\text{optický n.p.}} &= \sqrt{e} . \end{aligned} \quad (88)$$

Výsledné hodnoty směrodatných odchylek jednotlivých metod z vyrovnání jsou zobrazeny v Tab. 61.

Tab. 61: Výsledné hodnoty směrodatných odchylek - chybový model: rozdíly odchylek od roviny

Směrodatné odchylky jednotlivých metod z vyrovnání		
Trimble S8 – odrazný štítek	$\sigma_{\text{štítek}}$	0,042 mm
Trimble S8 – hranol automatic	$\sigma_{\text{hranol automatic}}$	0,049 mm
Trimble S8 – hranol manuál	$\sigma_{\text{hranol manuál}}$	0,045 mm
Digitální nivelační přístroj	$\sigma_{\text{digitální n.p.}}$	0,061 mm
Optický nivelační přístroj	$\sigma_{\text{optický n.p.}}$	0,14 mm

Výsledné hodnoty směrodatných odchylek z Tab. 61 jsou také zobrazeny a okomentovány v odstavci 10.3.

10.2 Chybový model: rozdíly převýšení srovnané do jedné výšky

Z převýšení srovnaných do jedné výšky byly podle vzorce (77) vypočteny rozdíly. Tyto rozdíly byly vypočteny všemi dvojicemi uspořádaných z pěti měřických metod. Z těchto rozdílů byly vypočteny směrodatné odchylky rozdílů stejně jako u předchozího chybového modelu (78). Ukázka tohoto zpracování je zobrazena v Tab. 62.

Tab. 62: Rozdíly převýšení

Rozdíly převýšení a směrodatné odchylky rozdílů [mm]					
Číslo bodu	Trimble S8 štítek – hranol automatic	Trimble S8 štítek – hranol manuál	Trimble S8 štítek – optický n. p.	Trimble S8 štítek – digitální n. p.	Trimble S8 hranol automatic-hranol manuál
1	0,2054	0,0156	0,1202	0,2431	-0,1898
2	0,1633	0,1616	0,2603	0,2232	-0,0017
3	0,0301	0,0258	-0,1525	0,0604	-0,0043
..
98	0,0101	-0,0115	0,0673	0,0803	-0,0217
99	0,0002	-0,0354	-0,0017	0,0113	-0,0356
100	-0,0460	-0,0218	0,0052	-0,0518	0,0242
σ_{Δ}	0,070 mm	0,067 mm	0,15 mm	0,077 mm	0,069 mm
Rozdíly převýšení a směrodatné odchylky rozdílů [mm]					
Číslo bodu	Trimble S8 hranol automatic - optický n. p.	Trimble S8 hranol automatic - digitální n. p.	Trimble S8 hranol manuál – optický n. p.	Trimble S8 hranol manuál – digitální n. p.	Optický n. p. – digitální n. p.
1	-0,0852	0,0377	0,1046	0,2276	0,1230
2	0,0969	0,0599	0,0987	0,0617	-0,0370
3	-0,1827	0,0303	-0,1784	0,0346	0,2130

..
98	0,0572	0,0702	0,0789	0,0918	0,0130
99	-0,0019	0,0111	0,0337	0,0467	0,0130
100	0,0512	-0,0058	0,0270	-0,0300	-0,0570
σ_{Δ}	0,14 mm	0,058 mm	0,15 mm	0,079 mm	0,15 mm

▪ **Výpočet směrodatných odchylek jednotlivých metod**

Z výpočtu výše známe 10 směrodatných odchylek rozdílů a z nich pomocí vyrovnání MNČ vypočteme pět směrodatných odchylek jednotlivých metod. Výpočet je totožný jako u předchozího chybového modelu popsaného v odstavci 10.1 podle vzorců (79) - (88).

Výsledné hodnoty směrodatných odchylek jednotlivých metod z vyrovnání jsou zobrazeny v Tab. 63.

Tab. 63: Výsledné hodnoty směrodatných odchylek - chybový model: rozdílů převýšení

Směrodatné odchylky jednotlivých metod z vyrovnání		
Trimble S8 – odrazný štítek	$\sigma_{\text{štítek}}$	0,048 mm
Trimble S8 – hranol automatic	$\sigma_{\text{hranol automatic}}$	0,051 mm
Trimble S8 – hranol manuál	$\sigma_{\text{hranol manuál}}$	0,046 mm
Digitální nivelační přístroj	$\sigma_{\text{digitální n.p.}}$	0,060 mm
Optický nivelační přístroj	$\sigma_{\text{optický n.p.}}$	0,14 mm

I u tohoto chybového modelu je Tab. 64 zobrazena a okomentována v následujícím odstavci 10.3.

10.3 Porovnání směrodatných odchylek jednotlivých metod

Z rozdílů převýšení srovnaných do jedné výšky a rozdílů odchylek od vyrovnané roviny byly pomocí vyrovnání vypočteny směrodatné odchylky jednotlivých metod. Směrodatné odchylky metod byly také počítány z rozdílů mezi 1. a 2. etapou měření. Všechny tyto směrodatné odchylky jsou shrnuty v Tab. 64.

Tab. 64: Shrnutí směrodatných odchylek jednotlivých metod

Směrodatné odchylky jednotlivých metod	Chybový model: rozdílly převýšení	Chybový model: rozdílly odchylek od roviny	Chybový model: rozdílly etap
$\sigma_{\text{štítek}}$	0,048 mm	0,042 mm	0,055 mm
$\sigma_{\text{hranol automatic}}$	0,051 mm	0,049 mm	0,046 mm
$\sigma_{\text{hranol manuál}}$	0,046 mm	0,045 mm	0,072 mm
$\sigma_{\text{digitální n.p.}}$	0,060 mm	0,061 mm	0,051 mm
$\sigma_{\text{optický n.p.}}$	0,14 mm	0,14 mm	0,081 mm

Z Tab. 64 lze vyčíst, že u metody optický nivelační přístroj jsou směrodatné odchylky z vyrovnání obou chybových modelů stejné, ale směrodatná odchylka vypočtená z rozdílů etap je o mnoho menší. Důvodem může být systematická chyba, která se při dvojitým odečítáním desetin milimetrů převýšení měřičem neprojeví, ale v porovnání odchylek už ano. U ostatních metod měření jsou směrodatné odchylky vypočtené všemi třemi způsoby velmi podobné. Nejlepších hodnot směrodatných odchylek bylo dosaženo třemi metodami měření totální stanicí Trimble S8.

11 Závěr

Pro stanovení relativní přesnosti dřevěné desky bylo realizováno pět metod měření. Pro tyto účely byla vyrobena speciální deska se 100 body. Při první metodě měření byl použit digitální nivelační přístroj Trimble DiNi 12 T se speciálním kódovaným pruhem invarové latě také od firmy Trimble. U druhé metody byl zvolen optický nivelační přístroj Spectra Precision Optical AL 120 s částí ocelového metru upevněného na tyč s krabicovou libelou. Poslední použitou metodou byla prostorová polární metoda s využitím totální stanice Trimble S8 High Precision a dvěma variantami cílů. První z cílů byl volen minihranol Leica, na který bylo cíleno manuálně měřičem a automaticky totální stanicí. Druhým cílem byl odrazný štítek, na který bylo cíleno pouze manuálně měřičem.

Směrodatná odchylka měření pro jednotlivé metody byla počítána z rozdílů dvojího zaměření. Nejlepší hodnotu této směrodatné odchylky měla metoda Trimble S8 – automatické cílení na hranol (0,046 mm) a metoda digitální nivelační přístroj (0,051 mm). Nejvyšší hodnoty dosahovala metoda optický nivelační přístroj (0,081mm). Takto vypočtené směrodatné odchylky byly statisticky testovány pomocí F-testu. U dvou dvojic metod měření (Trimble S8 štítek vs. hranol manuál, Trimble S8 štítek vs. optický n. p.) bylo tímto statistickým testováním zjištěno, že zamítáme nulovou hypotézu a přijímáme alternativní hypotézu (rozptyly obou základních souborů se statisticky významně liší). U zbylých dvou dvojic metod měření (Trimble S8 štítek vs. hranol automatic, Trimble S8 štítek vs. digitální n. p.) dopadlo toto testování přesně obráceně, tedy že nelze zamítnout předpoklad rovnosti rozptylů obou základních souborů.

Pro porovnání jednotlivých metod mezi sebou byly voleny dvě metody. První metoda spočívala v proložení roviny naměřenými hodnotami a vypočtením odchylek od této roviny. Rozdíly odchylek od roviny mezi jednotlivými metodami měření byly porovnány a vyneseny do příslušných grafů a dále z těchto rozdílů byly vytvořeny chybové modely. Rozdíly odchylek metod Trimble S8 odrazný štítek- optický nivelační přístroj dosahovaly nejvyšších hodnot v rozmezí -0,3mm až +0,3mm. U rozdílů odchylek od roviny ostatních metod měření bylo nejčastěji dosaženo rozdílů v rozmezí -0,1mm až +0,1mm. U druhé metody porovnání byla naměřená data pomocí robustního váženého průměru srovnána do jedné výšky a z těchto výšek byly vypočteny rozdíly. Jako u předchozí metody i zde byly rozdíly porovnány a vyneseny do příslušných grafů. Také u této metody porovnání byl z rozdílů výšek vytvořen chybový model. Takto vytvořené dva chybové modely byly mezi sebou porovnány a bylo

zjištěno, že jsou téměř totožné. Z jednotlivých chybových modelů byly pomocí zprostředkujícího vyrovnání opět zjištěny směrodatné odchytky jednotlivých metod měření, neboť byly v nadbytečném množství známy směrodatné odchytky rozdílů metod. Směrodatné odchytky metod z těchto dvou chybových modelů byly velmi podobné. Při porovnání těchto odchylek s odchylkami vypočtenými hned na začátku zpracování z dvojího měření bylo zjištěno, že směrodatná odchytky optického nivelačního přístroje dosahuje u chybových modelů skoro dvojnásobné hodnoty než z dvojího měření a to hodnoty 0,14 mm. Z tohoto výsledku vyplývá, že v měření metodou optický nivelační přístroj je systematická chyba, která se ve výpočtu směrodatné odchytky z dvojího měření neprojevila. Důvodem tohoto neprojevení je pravděpodobně stejné odhadované čtení převýšení na 0,1 milimetry měřičem. Nejlepších hodnot směrodatných odchylek v rozmezí 0,045mm až 0,055mm bylo dosaženo měření metodou prostorové polární metody. Z toho je tedy usuzováno, že měření touto metodou lze dosáhnout velmi dobrých výsledků.

12 Seznam použitých zdrojů

- [1] Braun, J., M. Štroner a P. Třasák, *Experimentální určení přesnosti záměry při nivelaci*, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2012.
- [2] Štroner, M. a M. Hampacher, *Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii*, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015.
- [3] Urban, R.: *Geodetické práce při měření posunů a deformací stavebních objektů*. 1. vyd. Praha: CTU Publishing House, 2015. 227 s. ISBN 978-80-01-05786-5.

13 Použité zkratky

ZHSO – Zákon hromadění směrodatných odchylek

MNČ – Metoda nejmenších čtverců

14 Seznam obrázků

Obr. 1: Rovinná deska.....	13
Obr. 2: Detail desky	13
Obr. 3: Stabilizace bodu – ocelový šroub	13
Obr. 4: Schéma bodů rovinné desky	14
Obr. 5: Barometr a teploměr.....	16
Obr. 6: Totální stanice Trimble S8 High Precision.....	17
Obr. 7: Příslušenství totální stanice Trimble S8.....	17
Obr. 8: Minihranol Leica GMP 111 Basic	18
Obr. 9: Odrazný štítek Leica, válec, krabicová libela	19
Obr. 10: Trimble DiNi 12T	20
Obr. 11: Kódovaný pruh.....	20
Obr. 12: Spectra precision optical AL 120.....	21
Obr. 13: Část kovového metru na výtyčce	21
Obr. 14: Průběh měření totální stanicí na minihranol	23
Obr. 15: Průběh měření totální stanicí na odrazný štítek Leica	25
Obr. 16: Upevněný pruh kódované invarové latě	27
Obr. 17: Srovnání převýšení.....	45
Obr. 18: Vyrovnávací rovina.....	66

15 Seznam tabulek

Tab. 1: Polohové souřadnice bodů desky	14
Tab. 2: Naměřené atmosférické vlivy	16
Tab. 3: Parametry Trimble S8 High Precision	17
Tab. 4: Příklad naměřených dat - Trimble S8 automatic	23
Tab. 5: Příklad naměřených dat - Trimble S8 manuál	24
Tab. 6: Příklad naměřených dat - Trimble S8 manuál - I. a II. poloha dalekohledu	24
Tab. 7: Příklad naměřených dat - Trimble S8 štítek.....	25
Tab. 8: Příklad naměřených dat - Trimble S8 štítek - I. a II. poloha dalekohledu	26
Tab. 9: Naměřená data testovacího měření	27
Tab. 10: Příklad naměřených dat - Digitální nivelační přístroj.....	28
Tab. 11: Příklad naměřených dat - Optický nivelační přístroj	29
Tab. 12: Ukázka zpracování dat - Trimble S8 automatic.....	32
Tab. 13: Porovnání 1. a 2. etapy Trimble S8 - automatic	34
Tab. 14: Směrodatné odchylky: Trimble S8 - hranol automatic	35
Tab. 15: Ukázka zpracovaných dat: Trimble S8 - hranol automatic.....	36
Tab. 16: Zpracování zenitových úhlů, indexové chyby: Trimble S8 - štítek.....	37
Tab. 17: Ukázka zpracování dat: Trimble S8 – štítek: 1. etapa.....	38
Tab. 18: Porovnání 1. a 2. etapy Trimble S8 - štítek.....	38
Tab. 19: Směrodatné odchylky: Trimble S8 - odrazný štítek.....	39
Tab. 20: Ukázka zpracovaných dat: Trimble S8 - štítek	39
Tab. 21: Zpracování zenitových úhlů, indexové chyby: Trimble S8 - hranol manuál.....	40
Tab. 22: Ukázka zpracování dat: Trimble S8 – hranol manuál: 2. etapa	40
Tab. 23: Porovnání 1. a 2. etapy Trimble S8 - hranol manuál	41
Tab. 24: Směrodatné odchylky: Trimble S8 - hranol manuál	41
Tab. 25: Ukázka zpracovaných dat: Trimble S8 – hranol manuál	42
Tab. 26: Zpracování testovacího měření - digitální nivelační přístroj	43
Tab. 27: Porovnání směrodatných odchylek	43
Tab. 28: Porovnání etap - digitální nivelační přístroj.....	44
Tab. 29: Výsledné směrodatné odchylky po vyloučení odlehlých měření – digitální nivelační přístroj	45
Tab. 30: Ukázka zpracovaných dat - Digitální nivelační přístroj.....	46
Tab. 31: Porovnání etap - optický nivelační přístroj.....	47

Tab. 32: Výsledné směrodatné odchylky po vyloučení odlehlých měření – optický nivelační přístroj	47
Tab. 33: Ukázka zpracovaných dat - Optický nivelační přístroj.....	48
Tab. 34: Směrodatné odchylky jednoho měření všech metod	48
Tab. 35: F-test: rozhodnutí o výsledku testování	50
Tab. 36: Výsledky testování směrodatných odchylek.....	50
Tab. 37: L1 norma.....	52
Tab. 38: Ukázka vypočtených posunů	53
Tab. 39: L1 norma - ukázka výpočetního skriptu v programu Matlab	55
Tab. 40: Ukázka zpracování posunů: Trimble S8 štítek - Trimble S8 hranol automatic	57
Tab. 41: Ukázka zpracování posunů: Trimble S8 štítek - Trimble S8 hranol manuál	58
Tab. 42: Ukázka zpracování posunů: Trimble S8 štítek - Digitální nivelační přístroj.....	58
Tab. 43: Porovnání převýšení - digitální nivelační přístroj.....	60
Tab. 44: Ukázka zpracování posunů: Trimble S8 štítek - Optický nivelační přístroj.....	61
Tab. 45: Porovnání převýšení - optický nivelační přístroj.....	62
Tab. 46: Ukázka výpočetního skriptu z programu Matlabu – Trimble S8 - štítek.....	72
Tab. 47: Ukázka výstupního textového dokumentu z programu Matlab - Trimble S8 štítek ..	73
Tab. 48: Porovnání vyrovnaní	74
Tab. 49: Výsledky vyrovnaní - Trimble S8 – odrazný štítek	75
Tab. 50: Výsledky vyrovnaní - Trimble S8 - hranol automatic	77
Tab. 51: Výsledky vyrovnaní - Trimble S8 - hranol manuál	79
Tab. 52: Výsledky vyrovnaní - Digitální nivelační přístroj	81
Tab. 53: Výsledky vyrovnaní - Optický nivelační přístroj.....	83
Tab. 54: Odchylky od vyrovnané roviny	87
Tab. 55: Rozdíly odchylek od vyrovnané roviny	87
Tab. 56: Výsledné průměrné posuny.....	90
Tab. 57: Převýšení srovnaná do jedné výšky	90
Tab. 58: Rozdíly převýšení srovnaných do jedné výšky.....	91
Tab. 59: Rozdíly odchylek od vyrovnané roviny všech dvojic metod.....	95
Tab. 60: Směrodatné odchylky rozdílů – vyrovnaná rovina	96
Tab. 61: Výsledné hodnoty směrodatných odchylek - chybový model: rozdílly odchylek od roviny	100
Tab. 62: Rozdíly převýšení	100

Tab. 63: Výsledné hodnoty směrodatných odchylek - chybový model: rozdíly převýšení ...	101
Tab. 64: Shrnutí směrodatných odchylek jednotlivých metod.....	102

16 Seznam grafů

Graf č. 1: Indexové chyby: Trimble S8 - hranol automatic	33
Graf č. 2: Vyrovnaná rovina : Trimble S8 – odrazný štítek	75
Graf č. 3: Odchylky od vyrovnané roviny : Trimble S8 – odrazný štítek 3D	76
Graf č. 4: Odchylky od vyrovnané roviny : Trimble S8 – odrazný štítek 2D	76
Graf č. 5: Vyrovnaná rovina : Trimble S8 - hranol automatic	77
Graf č. 6: Odchylky od vyrovnané roviny : Trimble S8 – hranol automatic 3D	78
Graf č. 7: Odchylky od vyrovnané roviny : Trimble S8 – hranol automatic 2D	78
Graf č. 8: Vyrovnaná rovina : Trimble S8 - hranol manuál	79
Graf č. 9: Odchylky od vyrovnané roviny : Trimble S8 – hranol manuál 3D	80
Graf č. 10: Odchylky od vyrovnané roviny : Trimble S8 – hranol manuál 2D	80
Graf č. 11: Vyrovnaná rovina : Digitální nivelační přístroj	81
Graf č. 12: Odchylky od vyrovnané roviny : Digitální nivelační přístroj 3D	82
Graf č. 13: Odchylky od vyrovnané roviny : Digitální nivelační přístroj 2D	82
Graf č. 14: Vyrovnaná rovina : Optický nivelační přístroj	83
Graf č. 15: Odchylky od vyrovnané roviny : Optický nivelační přístroj 3D	84
Graf č. 16: Odchylky od vyrovnané roviny : Optický nivelační přístroj 2D	84
Graf č. 17: Odchylky od vyrovnané roviny: Trimble S8 štítek - Trimble S8 hranol manuál ..	85
Graf č. 18: Odchylky od vyrovnané roviny - všechny metody 2D	86
Graf č. 19: Chybový model: rozdíly odchylek od vyrovnané roviny 2D.....	88
Graf č. 20: Chybový model: rozdíly odchylek od roviny: Trimble S8 štítek - Trimble S8 hranol manuál 3D	89
Graf č. 21: Chybový model: rozdíly odchylek od roviny: Trimble S8 štítek - Digitální nivelační přístroj: 3D+vrstevnice	89
Graf č. 22: Chybový model: rozdíly převýšení srovnaných do jedné výšky 2D.....	92
Graf č. 23: Chybový model: rozdíly převýšení srovnaných do jedné výšky: Trimble S8 štítek - Trimble S8 hranol manuál 3D	92
Graf č. 24: Chybový model: rozdíly převýšení srovnaných do jedné výšky: Trimble S8 štítek - Trimble S8 hranol manuál 3D+vrstevnice	93
Graf č. 25: Porovnání chybových modelů: Trimble S8 štítek - Optický n. p.....	93
Graf č. 26: Porovnání chybových modelů: Trimble S8 štítek, hranol manuál.....	94

17 Obsah přiloženého CD

- Složka: *Naměřená_data*

Obsahem této složky jsou zápisníky exportované z paměti přístroje po měření. Zápisník je pojmenován podle použitého přístroje a odrazného systému.

- Digitální_nivelační_přístroj
- Optický_nivelační_přístroj
- Trimble S8 – automatic
- Trimble S8 – hranol_manuál_štítek
-

- Složka: *Proložení_obecnou_rovinou*

Obsahem této složky jsou výpočetní skripty z programu Scilab, ve kterém bylo proložení obecnou rovinou vypočteno. Název výpočetního skriptu je podle použitého přístroje a zvoleného cíle.

- prolo_digitální_n_p
- prolo_optický_n_p
- prolo_S8_hranol_automatic
- protlo_S8_hranol_manuál
- prolo_S8_odrazný_štítek
-

- Složka: *Vyrovnávací_rovina*

Obsahem této složky jsou výpočetní skripty z programu Matlab, ve kterém bylo vypočteno proložení vyrovnávací rovinou. Výpočetní skripty jsou opět pojmenovány podle použitého přístroje a zvoleného cíle. Každý výpočet skript po spuštění vytváří do příslušného adresáře textový soubor s výslednými hodnotami vyrovnání. I tyto textové soubory se nacházejí v této složce a jejich pojmenování je obdobné jako u výpočetních skriptů. Také se zde nachází výpočetní skript vytvářející grafy pro porovnání odchylek od vyrovnané roviny všech metod.

- Digitalni_n_p
- Opticky_n_p
- Trimble_S8_hranol_manual

- Trimble_S8_hranol_automatic
- Trimble_S8_odrazny_stitek
- Vysledky_opticky_nivelak.txt
- Vysledky_digitalni_nivelak.txt
- Vysledky_hranol_manual.txt
- Vysledky_hranol_automatic.txt
- Vysledky_stitek.txt
- Odchylky_od_roviny_vsech_metod

- Složka: ***L1_norma***

Obsahem této složky jsou výpočetní skripty z programu Matlab, ve kterých byly vypočteny opravy od robustního váženého průměru posunů. Název výpočetního skriptu je následující: L1norma_stitek_i, kde i značí metodu měření (digitální n. p., optický n. p., Trimble S8 hranol manuál a hranol automatic).

- L1norma_stitek_digitalni
- L1norma_stitek_hranol_automatic
- L1norma_stitek_hranol_manual
- L1norma_stitek_opticky

- Složka: ***Chybove_modely***

Obsahem této složky jsou výpočetní skripty z programu Matlab, ve kterých byly vyhotoveny grafy chybových modelů a porovnání chybových modelů mezi sebou.

- Chybove_modely_odchylky_od_roviny
- Chybove_modely_posuny
- Porovnani_chybovych_modelu

- Složka: ***Fotografie***

Obsahem této složky jsou fotografie zachycující průběh měření a použité pracovní pomůcky.

- Soubor xls: *Zpracování_dat*

Obsahem toho souboru jsou výpočty prováděné v programu Excel.

- Soubor pdf: *Diplomová_práce*

Obsahem toho souboru je diplomová práce ve formátu pdf.