VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

POROVNÁNÍ METOD URČOVÁNÍ PŘEVÝŠENÍ V EXPERIMENTÁLNÍ SÍTI TETČICE

THE COMPARISON OF THE METHOD FOR THE DETERMINATION OF HEIGHT DIFFERENCIES IN TETČICE EXPERIMENTAL NETWORK

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. RICHARD POVODA
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. RNDr. LUBOMIL POSPÍŠIL, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2012

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646T003 Geodézie a kartografie
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. RICHARD POVODA
Název	Porovnání metod určování převýšení v experimentální síti Tetčice
Vedoucí diplomové práce	doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.
Datum zadání diplomové práce	30. 11. 2011
Datum odevzdání diplomové práce	25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011

.....	.....
doc. Ing. Josef Weigel, CSc. Vedoucí ústavu	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc. Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Topografické a geofyzikální mapy, družicové a letecké snímky z předmětné oblasti.
Z geologických podkladů jsou postačující Vysvětlivky ke geologické mapě dané oblasti.
Manual k k danému typu GPS měřícího přístroje, skripta:
ŠVÁBENSKÝ, O. a kol.: Základy GPS a jeho praktické aplikace. 1. vyd., Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 1995, 123 s. ISBN 80-214-0620-8.
KRATOCHVÍL, V., FIXEL, J.: Globální systém určování polohy – GPS, Využití v geodézii. 1.vyd., Vojenská akademie v Brně, Brno, 2001, 150 s.
KLEUSBERG, A., TEUNISSEN, P.J.G.: GPS for Geodesy. 1. vyd. Springer Verlag, Berlin, 1996,
412 s. ISBN 3-540-60785-4.

Zásady pro vypracování

Testování různých metod měření převýšení (přesná nivelace, GPS měření, Sanchezova metoda atd.) v oblasti Tetčice a jejich vzájemné porovnání.
Připojení vzdálených bodů sítě polygonu Tetčice do systému Bpv.
Zhodnocení možných pohybových tendencí vzhledem ke geologické stavbě území.

Předepsané přílohy

.....

doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.
Vedoucí diplomové práce

Bibliografická citace VŠKP

POVODA, Richard. *Porovnání metod určování převýšení v experimentální síti Tetčice.* Brno, 2012. 91 s., 25 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. RNDr. Lubomil Pospíšil, CSc.

Abstrakt

Predmetom tejto práce je porovnanie metód merania prevýšenia na experimentálnej sieti bodov na lokalite Tetčice. Vzájomne sa porovnávali prevýšenia zamerané metódou presnej nivelácie, trigonometrickou metódou a rýchlou statickou metódou GPS. Experimentálne sa použila Sanchézova metóda pre zníženie vplyvu refrakcie na merané zenitové uhly. V záujmovej lokalite bola použitá metóda interpolácie na výpočet výšky bodu Bučín vo výškovom systéme Bpv z vypočítaných výšok kvázigeoidu na okolitých nivelačných bodoch.

Klíčová slova

Tetčice, Trigonometrická metóda merania prevýšenia, Sanchézova metóda, globálny polohový systém, GPS nivelácia.

Abstract

The subject of this thesis is comparation methods of measuring elevation of experimental points on the network site Tetčice. There was mutually comparated height differences , which were mesured with methods of precise leveling, trigonometric method and fast static GPS measurment method. It was experimentaly used Sanchez method to reduce the effects of refraction measured at zenith angles. In the area of interest was used the method of interpolation to height calculation of point Bučín in elevation system Bpv, calculated from quasi-geoid heights on the surrounding leveling points.

Keywords

Tetčice, Trigonometric method of measuring elevation, Sanchez method, Global Positioning System, GPS leveling.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně, a že jsem uvedl(a) všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 25.5.2012

……

podpis autora

Poďakovanie:

Ďakujem svojmu vedúcemu diplomovej práce pánovi doc. RNDr. Lubomilovi Pospíšilovi, CSc. za cenné rady počas spracovania diplomovej práce. Taktiež by som chcel poďakovať Michalovi Witiskovi za vedenie pri práci a Jiřímu Dvořákovi a ostatným spolužiakom pre ich ochotu a pomoc pri meraní.

V Brne dňa: 25.05.2012

Obsah

ÚVOD 9
1. POPIS ZÁUJMOVEJ LOKALITY 10
2. GEOLOGICKÉ ZLOŽENIIE ZÁUJMOVEJ LOKALITY 11
3. VÝPOČET PREVÝŠENIA DVOCH BODOV TRIGONOMETRICKÝMI METÓDAMI 12
3.1. Odvodenie prevýšení z normálového rezu 12
3.1.1. Merané šikmé dĺžky 12
3.2. Pravouhlý vertikálny trojuholník 14
3.2.1. Oprava zo zakrivenia Zeme 15
3.2.2. Oprava z refrakcie 16
3.2.3. Problémy z určovaním vertikálnej refrakcie 18
3.3. MERANIE ZENITOVÝCH UHLOV 19
3.3.1. Chyby zenitových uhlov 19
3.3.2. Meranie zenitových uhlov na valcový terč 20
3.3.3. Obojstranne merané zenitové uhly 21
4. SANCHÉZOVA METÓDA 23
4.1. Princíp metódy 23
4.2. Výpočet úlohy 24
5. GLOBÁLNY SYSTÉM URČENIA POLOHY (GPS) 27
5.1. Zloženie segmentov GPS 27
5.1.1. Kozmický segment (Space Segment) 27
5.1.2. Navigačný (riadiaci) segment 29
5.1.3. Užívateľský (User Segment) 29
5.2. Systematická zložka ovplyvňujúca GPS meranie 30
5.3. Sieť permanentných staníc - CZEPOS 34
5.4. Rýchla statická metóda merania GPS 35
6. METÓDA PRESNEJ NIVELÁCIE 36
7. VÝPOČET PREVÝŠENIA TRIGONOMETRICKOU METÓDOU 37
7.1. Prístrojové vybavenie 37
7.2. Redukcia šikmej dĺžky 40
7.2.1. Atmosférická korekcia 40
7.3. Redukcia zenitových uhlov 42

7.4. Popis merania prevýšenia na experimentálnej sieti 43
7.4.1. Určenie presnosti meraných veličín 45
7.4.2. Výpočet prvej časti trigonometricky meraných prevýšení pri vodnom zdroji v obci Tetčice 47
7.4.3. Výpočet druhej časti trigonometricky meraných prevýšení na väčšie vzdialenosti 50
7.4.3.1. Výsledky Sanchézovej metódy 51
8. VÝPOČET MERANIA PREVÝŠENÍ METÓDOU GPS 56
8.1. Spracovanie nameraných údajov a výpočet prevýšení 59
9. POSÚDENIE NAMERANÝCH PREVÝŠENÍ VOČI PREVÝŠENIAM Z PN 67
9.1. Grafické znázornenie výsledkov merania 71
10. VÝPOČET VÝŠKY BODU BUČÍN INTERPOLÁCIOU Z VÝŠOK KVÁZIGEOIDU 75
10.1. Postup pri výpočte metódy 76
11. ZÁVER 80
12. ZOZNAMY 82
12.1. Zoznam použitej literatúry 82
12.2. Zoznam použitých skratiek 85
12.3. Zoznam obrázkov 86
12.4. Zoznam tabuliek 88
12.5. Zoznam grafov 90
12.6. Zoznam voľných príloh 90
12.7. Zoznam príloh v elektronickej podobe 91

ÚVOD

Obsahom tejto diplomovej práce je vzájomné nezávislé porovnanie troch rozdielnych metód merania prevýšenia na bodoch experimentálnej siete v Tetčiciach. Sieť bodov pozostávajúca z polygónovej siete nivelačných značiek a siedmych pilierov s hĺbkovou stabilizáciou a nútenou centráciou. Sieť bola vybudovaná za účelom sledovania polohových a výškových zmien v lokalite geologického zlomu Boskovickej brázdy v okolí obce Tetčice. Z etapového merania na výškovom polygóne mám k dispozícií prevýšenia získané metódou presnej nivelácie za obdobia september 2010 a apríl 2011. S týmito hodnotami sú následne porovnané mnou získané prevýšenia rýchlou statickou metódou GPS a trigonometrickým meraním prevýšenia. Pre zníženie vplyvu refrakcie na merané zenitové uhly pri trigonometrickom meraní prevýšenia bola použitá Sanchézova metóda merania zvislého trojuholníka [4].

Na určenie výšky bodu, ktorú nie je vhodné určovať metódami nivelácie pre veľké výškové prevýšenia na krátke vzdialenosti som zvolil metódu interpolácie s využitím kvázigeoidu [10]. Metóda využíva GPS metódu ako formu nivelácie na určenie výšky bodu Bučín v baltskom výškovom systéme. Na piatich bodoch z ktorých sú 4 nivelačné značky (Od2-20, Oc01-33, Ocd-17.3, Ocd-25.1) a bodu GEO (geodetickej siete DOPNULL) sa zamerala poloha a výška rýchlou statickou metódou GPS. Tým sme získali elipsoidické výšky v systéme ETRS89/ETRF2000. Z údajov na bode Bučín v rámci 24 hodinovej observácie statickou metódou GPS poznám jeho elipsoidickú výšku a z prevýšení kvázigeoidu, ktoré dostanem ako rozdiel výšky elipsoidickej a výšky bodov vo výškovom systéme Bpv dostávam výšky kvázigeoidu na jednotlivých bodoch. Vyrovnaním kvázigeoidických výšok cez MNČ z okolitých piatich bodov dostávam výšku bodu Bučín v systéme Bpv.

1. POPIS ZÁUJMOVJEJ LOKALITY

Experimentálna meračská sieť sa nachádza v katastrálnom území obcí Tetčice a Rosice , ktoré sú vzdialené približne 18 km západne od mesta Brna. Sieť je zložená z bodov ČSNS, novo stabilizovaných nivelačných bodov a 7 bodov stabilizovaných piliermi s nútenou centráciou.

Body experimentálnej siete boli stabilizované za účelom pozorovania polohových a výškových zmien v danej lokalite v etapových meraniach pre posúdenie posunov, ktoré mohli byť zapríčinené pohybom hmôt v Boskovickej brázde alebo hydrogeologickými zmenami v podzemí spôsobenými nadmerným odčerpávaním podzemnej vody.

Na účely trigonometrického merania prevýšenia a merania metódou GPS boli použité pevne stabilizované piliere s nútenou centráciou so zapustenými nivelačnými značkami pre výškové meranie (body P2 - pri nádraží, P4 - u kaplnky Sv. Trojice, P6 - pri vodárni) a body nivelačného ťahu (325 - nivelačná značka na moste,.110 - roxor na betónovom podklade, 322.2 - nivelačná značka uprostred stožiara vysokého napätia, Ocd-17.3 - čapová nivelačná značka na skale Sv. Nepomuckého, Ocd-13.2 čapová nivelačná značka na fasáde rodinného domu).

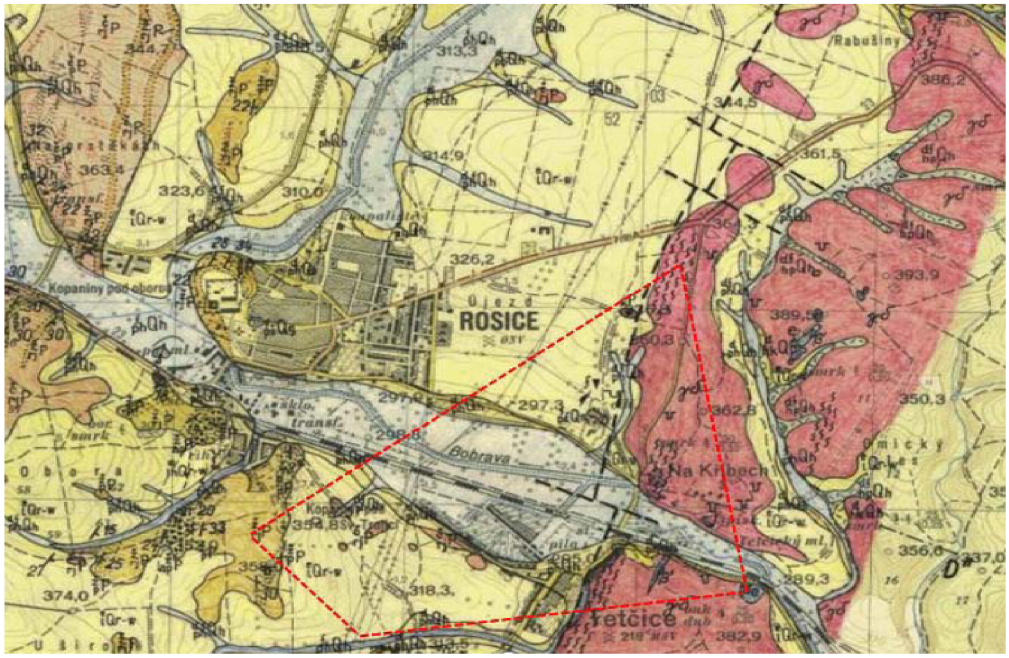
Obr. 1.1. Grafické znázornenie meraných bodov a šikmých vzdialeností na ortofotomape

2. GEOLOGICKÉ ZLOŽENIE ZÁUJMOVEJ LOKALITY

Z geologického hľadiska patrí územie obce Tetčice do juho.-.východnej časti boskovickej brázdy, ktorá je časťou rosicko - oslavanskej panvy.

Boskovickú brázdu môžeme charakterizovať ako rozsiahlu priekopovú prepadlinu vyplnenú sedimentami o mocnosti niekoľkých kilometrov .Tiahne sa približne 95 km od juhovýchodu (mesto Moravský Krumlov) k severozápadu (mesto Trnávky). Jej výplň tvora sedimentárne horniny s mocnosťou niekoľkých kilometrov.

Z hľadiska geologickej stavby územia hlbšie podložie tvoria sedimentárne horniny limnického karbónu (vrátane uhoľných slojov), spodného permu (pieskovce, prachovce i zlepence), zostatky miocénnych usadenín a prekryt štvrtohorných sedimentov. Záujmová lokalita sa nachádza na styku boskovickej brázdy s brnenským masívom. V podloží neogénnej sedimentárnej výplne sa nachádzajú jednak granodiority brnenského masívu, ktorý buduje územie východne od lokality a taktiež vlastné sedimenty boskovickej brázdy tvorené pieskovcami. Štvrtohorný pokryv je tvorený v záujmovej lokalite hlinitými a ílovitými fluviálnymi sedimentami, nesúvislými nánosmi sprašových hlín a nánosmi štrkopiesku z obdobia pleistocénu a holocénu [22].



Obr. 2.1. Geologická mapa záujmovej oblasti s vyznačeným zlomom boskovickej brázdy (čierna čiarkovaná čiara), meraná oblasť (červená prerušovaná čiara) [22]

3. VÝPOČET PREVÝŠENIA DVOCH BODOV TRIGONOMETRICKÝMI METÓDAMI

Trigonometrické prevýšenie sa v geodetickej praxi používa v širokom rozmedzí dĺžok, cez najkratšie u polárnej metódy mapovania a inžinierskej geodézie po 2-2,5 km dĺžky pri zhusťovaní polohového bodového poľa. Prevýšenie dvoch bodov sa počíta zo vzorcov, ktorých odvodenie môžeme rozdeliť do dvoch skupín.

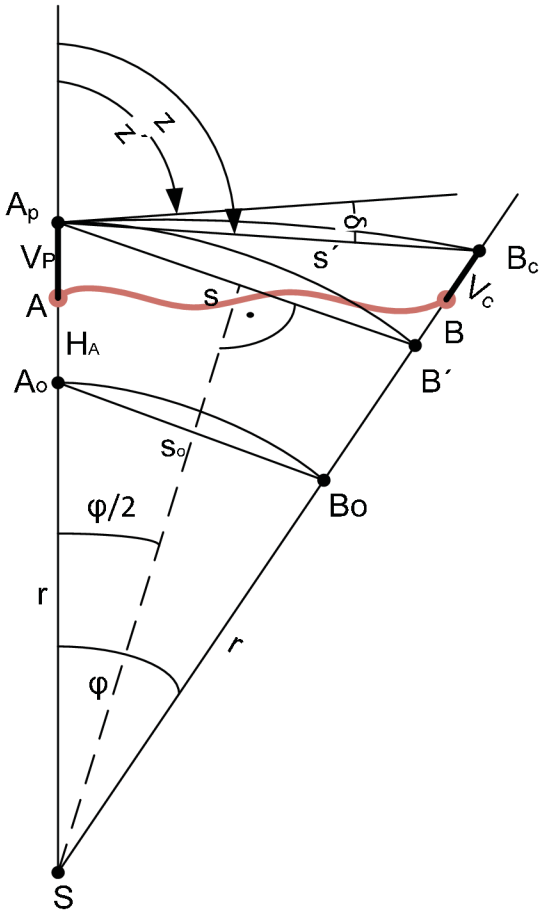
Vzorce odvodené z normálneho rezu náhradnej gule Zeme a jednoduché rovnice vychádzajúce z pravouhlého vertikálneho trojuholníka so zavedenými korekciami pre vzdialenosti nad 270 m. [1]

3.1. Odvodenie prevýšení z normálového rezu

Použijem odvodenie pre šikmú dĺžku, ktorú dostanem z merania. Vzhľadom k presnosti takto určovaných prevýšení, ktoré bývajú charakterizované chybou od 1 mm po niekoľko cm (v závislosti na veľkosti prevýšenia, presnosti meraných veličín a vzdialenosti meraných bodov), je rez náhradnej gule Zeme na odvodenie rovníc úplne postačujúci. Presnosť odvodených vzťahov je oveľa vyššia ako je vplyv chýb meraných veličín. Pre krátke vzdialenosti a malé prevýšenia je možné použiť vzťah pre pravouhlý trojuholník, kde jedna odvesna leží v smere tiažnice na jednom z dvoch bodov a druhá odvesna v dotykovej rovine k hladinovej ploche (vo vodorovnej rovine) v mieste totálnej stanice. [1]

3.1.1. Merané šikmé dĺžky

Pre určenie prevýšenia dvoch bodov A a B meriame pomocou totálnej stanice šikmú dĺžku s´ a zenitový uhol z´, výšku prístroja v_P na bode A a výšku odrazného hranola v_C na bode B (Obr. 3.1.). Pomocou týchto veličín a trojuholníka A_P, B´, B_C normálového rezu sa odvodí sínusovou vetou výsledné prevýšenie.



Obr. 3.1. Normálový rez vedený bodmi A a B a stredom S náhradnej gule Zeme

$$h_{A,B} = H_B - H_A = s^{/} \sin\left(100^g - z^{/} - \delta + \frac{\Delta\varphi}{2}\right) \Big/ \sin\left(100^g + \frac{\Delta\varphi}{2}\right) + v_P - v_C, \qquad (3.1)$$

δ – refrakčný uhol

r – polomer náhradnej gule Zeme

Δφ – stredový uhol (uhol normál)

v_P – výška prístroja

v_c – výška terča (odrazného hranolu)

Po dosadení:

$$\cos\frac{\Delta\varphi}{2} \approx 1, \sin\frac{\Delta\varphi}{2} \approx \frac{s^{/}}{2} \approx \frac{s^{/}}{2} * \frac{\sin\left(z^{/} + \delta\right)}{r + H_A + s^{/}\cos\left(z^{/} + \delta\right)} \qquad (3.2)$$

Pre malé uhly Δφ nadobúda rovnica tvar:

$$h_{A,B} = s^{/}\cos\left(z^{/} + \delta\right) + s^{/2}\sin^2\left(z^{/} + \delta\right)/2\left[r + H_A + s^{/}\cos\left(z^{/} + \delta\right)\right] + v_P - v_C \qquad (3.3)$$

Refrakčný uhol δ je veľmi malý, dostávame zjednodušený tvar rovnice prevýšenia :

$$h_{A,B} = s^{/} \cos\left(z^{/} + \delta\right) + \frac{s^{/2} \sin^2 z^{/}}{2r} + v_P + v_C \tag{3.4}$$

Pri vyjadrení refrakčného uhla :

$$\delta = k\frac{\Delta\varphi}{2} = \rho k \frac{s}{2r} = \rho k \frac{s^{/}}{2r} \sin z^{/} + v_P - v_C \tag{3.5}$$

kde k je refrakčný koeficient, dostávame tak konečný tvar rovnice prevýšenia $h_{A,B}$:

$$\begin{aligned} h_{A,B} &= s^{/} \cos z^{/} + \frac{s^{/2} \sin^2 z^{/}}{2r} - \frac{\delta}{\rho} s^{/} \sin z^{/} + v_P - v_C, \\ h_{A,B} &= s^{/} \cos z^{/} + \frac{1-k}{2r} s^{/2} \sin^2 z^{/} + v_P - v_C \end{aligned} \tag{3.6}$$

Ak poznáme výšku jedného z bodov, napríklad výšku bodu A dostávame vzťah :

$$H_B = H_A + s^{/} \cos z^{/} + \frac{s^{/2} \sin^2 z^{/}}{2r} - \frac{\delta}{\rho} s^{/} \sin z^{/} + v_P - v_C \tag{3.7}$$

Hodnota refrakčného uhlu nie je presne známa a preto zavádzame hodnotu štandardného refrakčného koeficientu vypočítaného pre našu zemepisnú šírku k_o= 0,13. O refrakcií si povieme podrobnejšie v časti (3.2.2.). [1]

3.2. Pravouhlý vertikálny trojuholník

Až do 70 rokov 20 storočia sa používal len neúplný vzťah pre výpočet prevýšenia $h_{A,B}$ dvoch bodov A a B, ktorý vychádzal z bodov A´, B´ a horizontálnej nameranej vzdialenosti s (Obr. 3.1.).

$$H_B = H_A + s.\cot g z^{/} + v_P - v_C + o_1 + o_2 \tag{2.8}$$

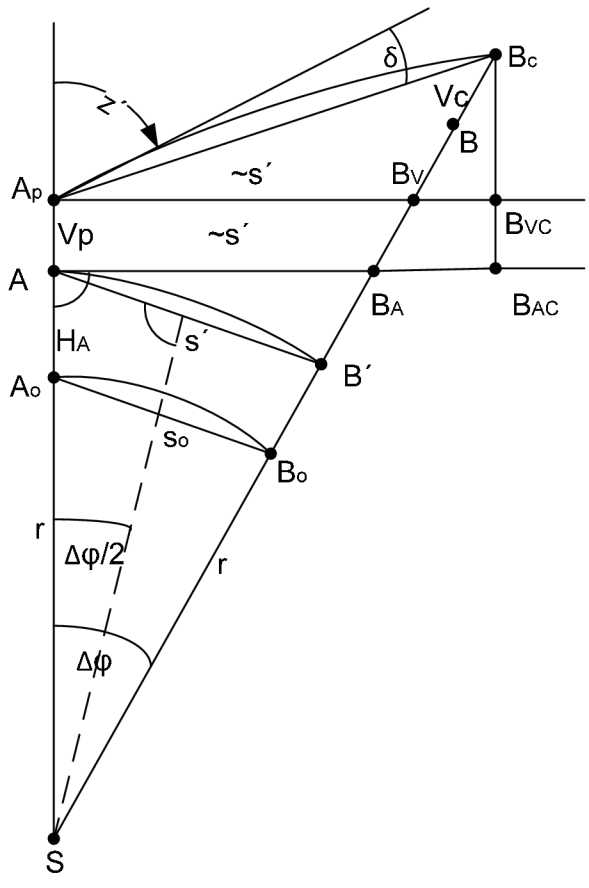
Až z príchodom elektronických diaľkomerov sa výška bodu B (H_B) odvodzovala z priamo nameraných šikmých vzdialeností s´.

$$H_B = H_A + s^{/} \cos z^{/} + v_P - v_C + o_1 + o_2 \tag{2.9}$$

Vo vzorci sú dve korekcie o_1 zo zakrivenia zeme a o_2 oprava z refrakcie. Korekcia o_2 sa uplatňuje v bežných podmienkach až pre dĺžky nad 270 m.
Ďalšie korekcie ako oprava z nadmorskej výšky a oprava zo zbiehavosti normál sa zanedbávajú. [1]

3.2.1. Oprava zo zakrivenia Zeme

Vyjadruje ju oprava o_1, ktorá je vyjadrená vo vzorci (3.11) opravuje korekciu zo zdanlivého horizontu v pravouhlom trojuholníku a jej veľkosť odvodíme z (Obr. 3.2.).



Obr. 3.2. Oprava zo zakrivenia Zeme

Približné prevýšenie je vyjadrené zo vzťahu :

$$h'_{A,B} = s' \cot gz' + v_P - v_C \qquad (3.10)$$

Znázorňuje prevýšenie bodov B a B_A. Opravu zo zakrivenia Zeme o_1 predstavuje úsečka $B_AB^/$. Pretože smery z bodu A na body B_A a $B^/$ zvierajú polovičný uhol $\Delta\varphi/2$ je oprava daná vzťahom : $o_1 = s.\ \Delta\varphi/2$

Po dosadení za $\Delta\varphi = s/(r + H_A)$

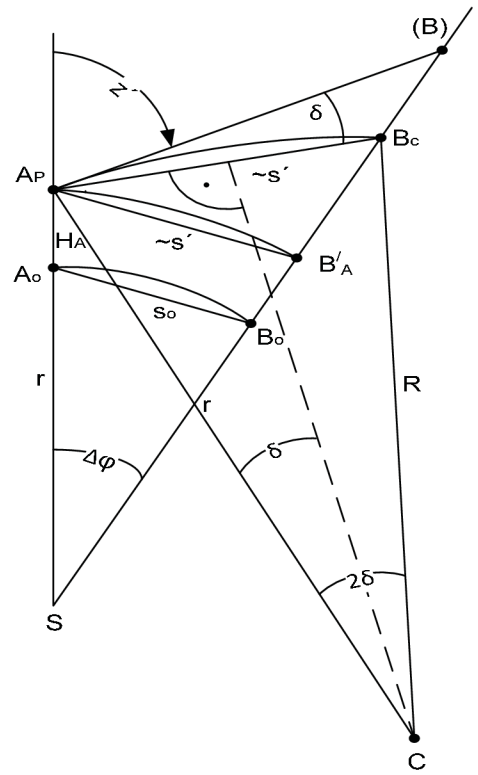
Dostávame výsledný tvar rovnice opravy zo zakrivenia zeme o_1 :

$$o_1 = s^2/2(\mathrm{r} + \mathrm{H_A}) \approx s^2/2r \qquad (3.11)$$

s	[m]	100	200	357	400	500	750	1000	1500	2000
o_1	[mm]	0,8	3,1	10	13	20	44	78	180	310

Tab. 3.1. Hodnoty opravy prevýšenia zo zakrivenia Zeme (r = 6380 km)

3.2.2. Oprava z refrakcie



Obr. 3.3. Oprava z refrakcie

Spojnice bodov A_PB_C a $A_PB_A^{/}$ považujeme za približne rovnako dlhé a platí že :

$$\Delta\varphi \approx R2\delta \approx s \qquad (3.12)$$

Je to oprava o_2 z terestrickej refrakcie. Jej výpočet je zrejmý z (Obr.3.3.).

$$o_2 = -s^{/}\delta_o = -k\frac{s^{/2}}{2r} \qquad (3.13)$$

Symbol k = r/R sa nazýva refrakčný koeficient a je definovaný podielom polomeru r náhradnej gule Zeme a polomeru R náhradného oblúka dráhy svetelných lúčov. Pre naše územie sa jeho hodnota uvádza k_{max}= 0,18 až po k_{min}= 0,08. [1]

Najznámejšou a najpoužívanejšou priemernou hodnotu refrakčného koeficienta je k_0 = 0,1306. Je určená Gaussom v rokoch 1823-1826 z vyrovnania tzv. Hannoverského stupňového merania (sieť pozostáva z 28 bodov s dĺžkami strán 5-85 km) medzi Götlingenom a Altonom. Táto hodnota sa začala používať ako univerzálna konštanta riešenia problému refrakcie [Jordan str.31]. Jej zavedenie do výpočtu nie je vždy správne , nakoľko bola určená v podmienkach celkom odlišných v akých je realizovaná väčšina geodetických meraní na území ČR. [3]

Na veľkosť chyby z refrakcie má značný vplyv napríklad teplotná inverzia, zmena vertikálneho teplotného gradientu počas dňa (hlavne pri východe a západe slnka), povrch nad ktorým prechádza zámerný lúč. Výsledkom čoho sú značné rozdiely medzi skutočným refrakčným koeficientom a konštantnou hodnotou stanovenou Gaussom. Jej mechanické zavedenie môže paradoxne spôsobiť väčšie chyby ako úplné zanedbanie opravy z vplyvu refrakcie, keď zadávame k = 0. [3]

Refrakčný uhol a takisto i jeho refrakčný súčiniteľ nadobúdajú rozdielnych hodnôt vplyvom rozdielneho zloženia vzduchových hmôt atmosféry pozdĺž dráhy svetelného lúča. Preto veľkosť refrakčného súčiniteľa (koeficientu) môže pri silnej teplotnej inverzií kolísať až v rozmedzí $-2{,}0 \le k \le 2{,}0$. (V mojom experimentálnom meraní dosahoval refrakčný koeficient aj záporné hodnoty, čo je v prízemných vrstvách atmosféry veľmi časté). [3]

s	[m]	100	200	313	500	750	1000	1500	2000
δ^o	[^{cc}]	0,6	1,3	2,0	3,2	4,9	6,5	9,7	13,0
o_2	[mm]	-0,1	-0,4	-1,0	-2,5	-5,7	-10,0	-23,0	-41,0

Tab. 3.2. Štandardný refrakčný uhol δ_o a refrakčná oprava o_2 vypočítaných prevýšení (k_o = 0,13,R = 6380 km) [1]

3.2.3. Problémy z určovaním vertikálnej refrakcie

Odstránenie vplyvu vertikálnej refrakcie na merané zenitové uhly je veľmi obtiažnym problémom, ktorý doposiaľ nie je uspokojivo vyriešený. Pre určenie resp. vylúčenie refrakcie existuje množstvo metód, z ktorých žiadna nie je dokonalá a obecne platná. K významnému rozšíreniu používania trigonometrickej metódy určovania výšok by malo nastať ak sa podarí dostatočne eliminovať pôsobenie refrakcie pôsobiacej na meraný signál ako v zložke vertikálnej tak horizontálnej. Prispieť by k tomu mal vývoj zariadení na určovanie refrakcie ako je refraktometer alebo dispenzometer (Tengström 1977, Williams 1978). Ich prototypy v laboratórnych podmienkach dosahujú vysokú spoľahlivosť určenia refrakčného uhlu ale v teréne je to nedostačujúce. Preto sa vytvárajú rozličné modely ako vypočítať hodnotu refrakčných uhlov. Jednou z metód je výpočet refrakčného uhlu z nameraných meteorologických údajov. Je to teoreticky prepracovaná metóda (Pelikán 1967,Saastamonien 1972, Brunner 1975, 78 a ďalší). Jej nevýhodou je, že teoreticky treba poznať v okamihu cielenia zenitových uhlov teplotu po celej dĺžke zámery, čo nie je možné u dlhších zámer realizovať. Údaje merané v niekoľkých bodoch zámery nie sú dostatočne reprezentatívne pre celú zámeru. A interpolácia údajov pomocou vhodných atmosférických modelov naráža v horskom prostredí na členitosť terénu. [2]

Lacné a na prístrojové vybavenie nenáročné sú metódy, ktoré určujú refrakciu z meraných geodetických údajov. Hlavne z meraných zenitových uhlov. V praxi sa používajú metódy ako je obojstranné meranie zenitových uhlov na vylúčenie vplyvu refrakcie (Bayer 1840) a výpočet refrakcie pre každé stanovisko pri vyrovnaní geodetický sietí. [2]

Vylúčenie vplyvu refrakcie z obojstranne meraných zenitových uhlov sa dá využiť hlavne v plochom teréne, kde sú zámery približne symetrické nad terénom, a vtedy sú aj približne rovnaké refrakčné podmienky na stanovisku a v cieli. Podľa geodetických skúseností môžeme metódu využiť hlavne v trigonometrických výškových sieťach, v ktorých nie sú príliš dlhé a strmé zámery. S dĺžkou strán do 2km a sklonom menším ako 10°. [2]

Vo svojej práci som použil pre výpočet prevýšenia trigonometrickými metódami na odstránenie vplyvu refrakcie metódu obojstranne meraných zenitových uhlov a metódu Sanchézovho zvislého trojuholníka popísanú v piatej kapitole.

3.3. MERANIE ZENITOVÝCH UHLOV

Zenitový uhol z je uhol, ktorý zviera smer k zenitu (tiažnici). S meraným smerom nadobúda hodnôt od 0^g do 200^g. Pri meraní sa okrem ďalekohľadu otáča okolo vodorovnej osi aj výškový kruh a čítacia pomôcka je pevná. Je číslovaný v kladnom smere a vodorovná zámera predstavuje hodnotu 100^g. Ak nie je čítacia pomôcka pri urovnanom kompenzátore vo vodorovnej alebo zvislej polohe ide o indexovú chybu, ktorá sa odstráni meraním v dvoch polohách ďalekohľadu. [4]

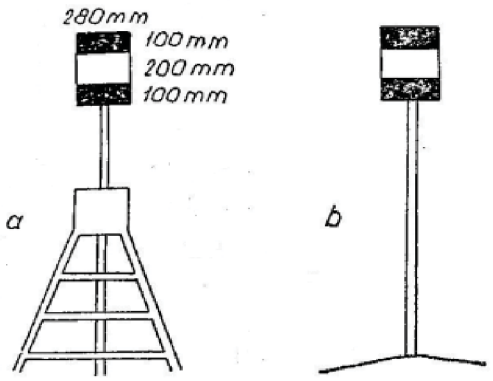
3.3.1. Chyby zenitových uhlov

Členia sa na :

1) **Chyby prístrojové**
   - **Chyby z nesplnenia osových podmienok** - tj. chyba kolimačná, chyba z klopnej osy ďalekohľadu, chyba z nesprávnej horizontácie prístroja. Ďalej je to indexová chyba a chyba z excentricity zámernej priamky, ktoré sa odstránia meraním v dvoch polohách ďalekohľadu.
2) **Meračské chyby**
   - **Chyba z nepresnosti urovnania kompenzátoru** - je daná strednou chybou kompenzátoru daného prístroja.
   - **Chyba zo zacielenia ďalekohľadu** - je závislá hlavne na kvalite cieľa a možnosti zacielenia, osvetleniu cieľa a stavu atmosféry.
   - **Chyba vo výške prístroja a cieľa** - je závislá na tom z akou presnosťou sme schopný určiť výšku totálnej stanice a cieľa. Táto chyba môže veľmi nepriaznivo ovplyvniť vypočítané prevýšenie.
   - **Chyba z nepresnej centrácie prístroja** – táto chyba sa prejavuje maximálne v prípade , keď je excentricita v smere zámery.
3) **Chyby z prostredia**
   - **Chyba z vertikálnej refrakcie** – je hlavnou chybovou zložkou prostredia, ktorá môže podstatnou mierou zmeniť presnosť nameraných údajov. Okrem vertikálnej refrakcie môže meranie nepriaznivo ovplyvniť i vibrácia ovzdušia. [4] [21]

3.3.2. Meranie zenitových uhlov na valcový terč

Meraniu zenitových uhlom za účelom určenia prevýšenia sa kladie väčší dôraz v prípadoch, keď je pre nás prakticky nemožné a ekonomicky náročné určiť výškové prevýšenie metódami nivelácie. Oproti meraniu horizontálnych uhlov je meranie zenitových uhlov oveľa náročnejšie pre pôsobenie atmosféry. Hlavnú zložku nepresností tvorí vertikálna zložka refrakcie. Preto sa musí brať obzvlášť veľký zreteľ na presnosť merania zenitových uhlov. Zostrojili sa za týmto účelom špeciálne zámerné terče valcového tvaru. Ich tvar je dôležitý hlavne v hornatom teréne, pretože pri značných sklonoch zámer sa nedá pri určitých druhoch terčov ako sú napríklad hranoly nielen presne cieliť ale ani určiť ich vertikálnu alebo horizontálnu zložku excentricity. Pre presné cielenie a určenie centračných parametrov do 2-3 mm sa osvedčili plechové valcové zámerné terče s čierno bielymi pruhmi o veľkosti základnice 0,28 m a výške 0,40 m (Obr. 3.1.). [2]

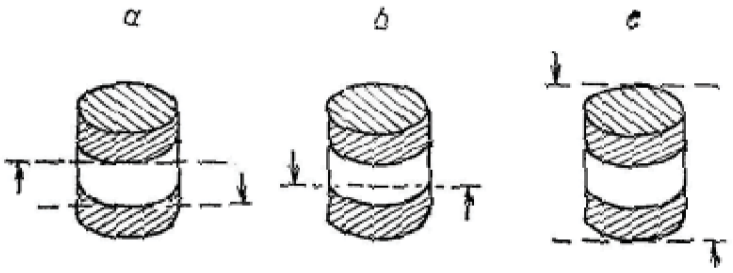


Obr. 3.4. Zámerný valcový terč a) na piramíde b) na železnej trubke [2]

Rozptyl opakovane meraných zenitových uhlov sa obvykle zväčšuje s rastúcou dĺžkou zámery a klesajúcou výškou stanoviska. Pre určenie refrakcie z výškových uhlov je treba merať zenitové uhly s čo najväčšou presnosťou. Smerodatnú odchýlku náhodnej chyby môžeme tak znížiť až na hodnotu $0{,}5''$. Meraním zenitového uhla v dvanástich cieleniach pomocou prístroja Wild T3. [2]

Pre zvýšenie presnosti sa zenitový uhol meria vo viacerých skupinách a v časových odstupoch pre vylúčenie refrakčných anomálií pri podrobnom zaznamenávaní času pri meraní a meteorologických podmienok ako je teplota, tlak a vlhkosť vzduchu. Pri zámerách do 2-3 km navádzame vodorovnú rysku zámerného kríža dvojitým smerom na

ciel na horné alebo dolné farebné rozhranie v smere šípok. Pre dlhšie vzdialenosti cielime na stred bieleho pruhu alebo na horný a dolný obrys valca (Obr. 3.5.). [2]

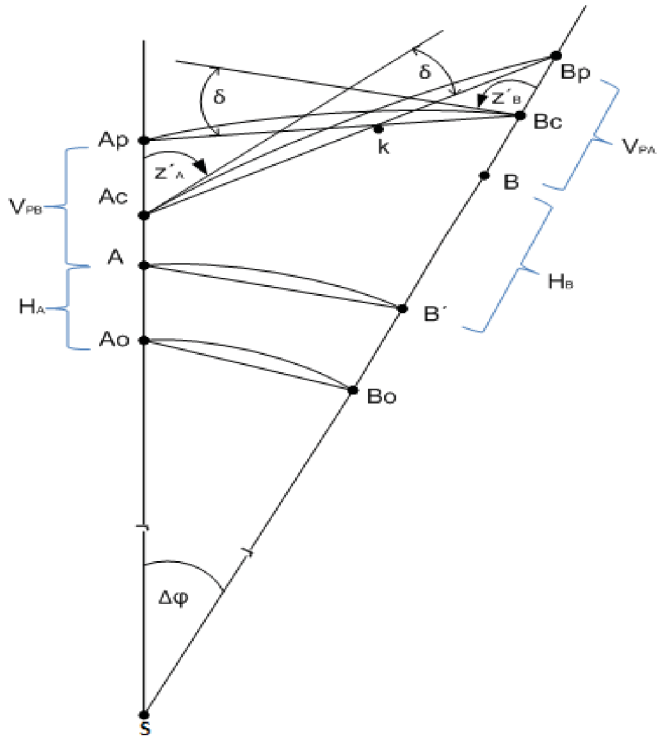


Obr. 3.5. Cielenie na valcový terč pri rozdielnych podmienkach viditeľnosti [2]

3.3.3. Obojstranne merané zenitové uhly

Je to geodetická metóda pri ktorej sa zvýši presnosť a spoľahlivosť trigonometricky nameraných prevýšení. Hlavnou výhodou je zníženie systematickej chyby v refrakčnom uhle δ. Za predpokladu, že na oboch koncoch je približne rovnaká refrakcia. Uhly by sa mali merať súčasne pre rovnakú refrakciu ale v skutočnosti postačuje ak sú počas merania stále poveternostné podmienky ako teplota vzduchu, tlak a približne rovnaká výška nad zemou na obidvoch stanoviskách zámery. [1]

Pre odvodenie prevýšenia vychádzam z Obr. 3.6.
Na bode A máme zmeranú šikmú dĺžku s'_{AB} , zenitový uhol z'_A a výšku prístroja v_{PA}, na bode B máme zameranú výšku odrazného hranola v_{CB}. To isté spravíme na stanovisku prístroja na bode B. Zameria sa šikmá dĺžka s'_{BA}, zenitový uhol z'_B a výška prístroja v_{PB} a na bode A sa zmeria výška odrazného hranola v_{CA}. Z rovníc (3.1) alebo (3.2) sa vypočíta dvakrát prevýšenie H_B-H_A ($_Ah_{AB}$, $_Bh_{BA}$). [1]



Obr. 3.6. Obojstranne merané zenitové uhly

Výsledné vzťahy pre prevýšenie:

$$ {}_A h_{A,B} = s'_{A,B} \cos z'_A + \frac{1-k_0}{2r} \sin^2 z'_A + v_{PA} - v_{CB}, $$

$$ {}_B h_{B,A} = -{}_B h_{A,B} = s'_{B,A} \cos z'_B + \frac{1-k_o}{2r} s'^2_{B,A} \sin^2 z'_B + v_{PB} - v_{CA} \qquad (3.14) $$

Výsledné prevýšenie je jeho aritmetický priemer:

$$ h_{AB} = H_B - H_A = \frac{1}{2}\left({}_A h_{AB} - {}_B h_{BA} \right) \qquad (3.15) $$

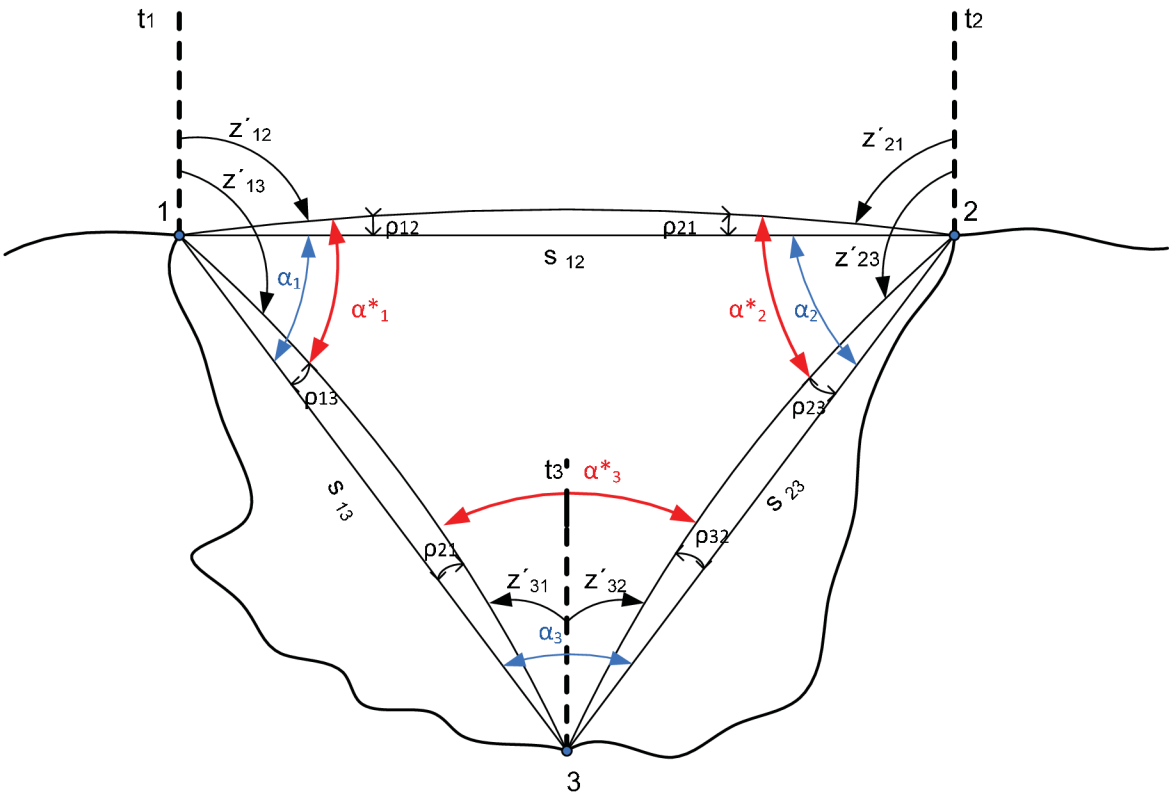
U dĺžok s' < 1km poskytuje súčet oboch prevýšení informáciu o konštantnej systematickej zložke δ' refrakčného uhlu $\delta = \delta_o + \delta'$, kde δ_o predstavuje štandardný refrakčný uhol a vplyv malého uhlu ${}^o\delta'$ sa prejavuje vo výškovej odchýlke δ_h jeho dvojnásobnou hodnotou. [1]

$$ \delta_h = \left(2\delta' / \rho\right) s' \sin z' \qquad (3.16) $$

4. SANCHÉZOVA METÓDA

Sanchézova metóda je jednou z nových metód určovania vplyvu refrakcie na merané zenitové uhly pri väčších výškových rozdieloch v horskom teréne. Považuje sa za nový model pre odstránenie vplyvu refrakcie na výsledné namerané prevýšenie. Po prvýkrát bola publikovaná Argentínskym geodetom R.N. Sanchezom v rokoch 1962-1967 meraním vo vysokohorskom prostredí Ánd. Do súčasnej podoby ju spracoval profesor Thomas Wunderlich z Mníchovskej univerzity v rokoch 1980 až 1985. Prvýkrát bola metóda na území Českej republiky testovaná v roku 2002. Ako prvý ju použili doc. Ing. Radim Blažek, CSc. a Dr. Ing Zdeněk Skořepa zo stavebnej fakulty ČVUT v Prahe na experimentálnej sieti v Starom Městě pod Sněžníkem. [5]

4.1. Princíp metódy



Obr. 4.1. Grafické znázornenie Sanchézovej metódy

Body 1 a 2 ktorých nadmorskú výšku chceme určiť sú na vrcholoch kopcov. Bod 3 volíme v údolí na zvislej rovine preloženej bodmi 1 a 2 (Obr. 4.1.). Jeho výška sa určí výškovým pripojením metódu presnej nivelácie. Dbáme na to aby bola odchýlka v horizontálnom smere od zvislej roviny čo najmenšia. Obecne sa pre výškový trojuholník určuje šesť refrakčných uhlov $\rho_{12,13,...32}$ z meraných zenitových uhlov $z'_{12}, z'_{13} ... z'_{32}$ a šikmých vzdialeností s_{12}, s_{13}, s_{32}. Z rozdielu meraných zenitových uhlov z vertikálneho trojuholníka sa určia uhly α^*_1, α^*_2, α^*_3, ktoré sú ovplyvnené refrakciou (hlavne vo vertikálnej zložke). Uhly α_1, α_2, α_3 sa vypočítajú pomocou šikmých dĺžok z kosínusovej vety. Merané zenitové uhly a šikmé dĺžky vstupujú do výpočtu už opravené na spojnicu stabilizačných značiek (kap. 7.2.).

Využitie Sanchézovej metódy v určení prevýšenia trigonometrickými metódami je vedecky stále otvorená problematika, pre vplyv atmosféry na merané veličiny. Úspešnosť tejto metódy pozostáva z presnosti meraných šikmých dĺžok s_{12}, s_{13}, s_{23}, meraných buď pomocou presných totálnych staníc alebo pomocou GPS metódy. Taktiež k presnosti prispieva tvar trojuholníka, (čím sa tvar viac vzďaľuje od rovnoramenného trojuholníka až po štíhly trojuholník, tým sa musia presnejšie merať dĺžky). Na meranie má vplyv aj obsah zvislého trojuholníka. Ďalej sa ešte uvažuje z vplyvom relatívnych tiažnicových odchýliek ale pre územie Českej Republiky sa do vzdialenosti 3km ich vplyv zanedbáva.

Pri dodržiavaní predošlého postupu a nových poznatkov o refrakčných vplyvoch a prípadného použitia výpočtu tiažnicových odchýliek môžeme pri priaznivých podmienkach dosiahnuť presnosti merania prevýšenia ako u presnej nivelácie. [5] [6] [7]

4.2. Výpočet úlohy

Vo zvislom trojuholníku 1, 2, 3 sa dá zostaviť 6 geometrických podmienok pre určenie vplyvu vertikálnej zložky refrakcie z daných geodetických meraní.

Sú nasledovné:

1) Z rozdielu uhlov, ktoré vypočítame z dĺžok a nameraných zenitových uhlov (Obr. 4.1.) dostaneme tri lineárne rovnice. Každá obsahuje po dva z celkového počtu šiestich refrakčných uhlov.

2)

$$
\begin{aligned}
w_1 &= ar\cos\left(\left(s_{12}^2 + s_{13}^2 - s_{23}^2\right)/2s_{12}\,s_{13}\right) - \left(z_{13}^{/} - z_{12}^{/}\right) = \rho_{13} - \rho_{12} \\
w_2 &= ar\cos\left(\left(s_{12}^2 + s_{23}^2 - s_{13}^2\right)/2s_{12}\,s_{23}\right) - \left(z_{23}^{/} - z_{21}^{/}\right) = \rho_{23} - \rho_{21} \\
w_3 &= ar\cos\left(\left(s_{13}^2 + s_{23}^2 - s_{12}^2\right)/2s_{13}\,s_{23}\right) - \left(z_{31}^{/} - z_{32}^{/}\right) = \rho_{31} - \rho_{32}
\end{aligned}
\tag{4.1}
$$

Súčet $w_1+w_2+w_3$ nám dáva uhlový uzáver vo zvislom trojuholníku 1, 2, 3.

3) Ďalšia skupina troch lineárnych rovníc sa skladá z obojstranne meraných zenitových uhlov a geocentrického uhla φ_{ij}.

$$
\varphi_{ij} = \frac{s_{ij}\,\sin z_{ij}^{/}}{R + H_m} * \frac{200}{\pi}\left[{}^{g}\right], \tag{4.2}
$$

kde

s_{ij} - predstavuje meranú šikmú dĺžku

$z_{ij}^{/}$ – je meraný zenitový uhol

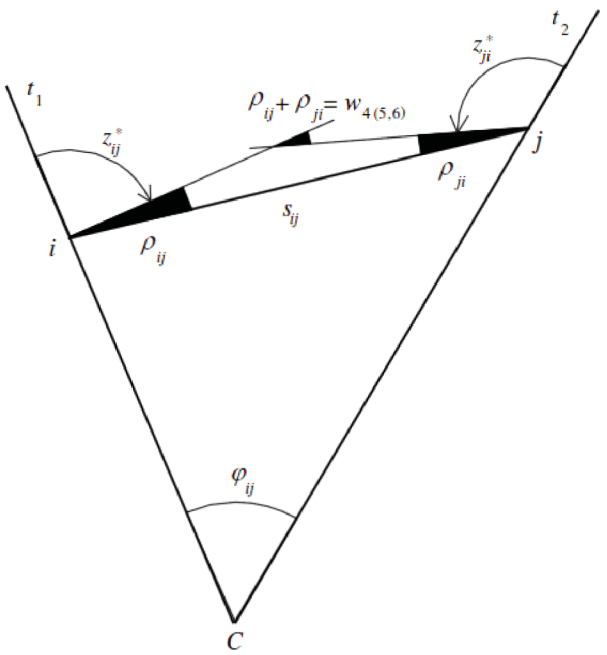
R – polomer náhradnej gule (6378 km)

H_m – je stredná nadmorská výška počítaných bodov

Počíta sa s presnosťou na $0{,}5^{cc}$ pre strednú nadmorskú výšku počítaných bodov H_m.

Výsledné lineárne rovnice :

$$
\begin{aligned}
w_4 &= 200^g + \varphi_{12} - \left(z_{12}^{/} + z_{21}^{/}\right) = \rho_{12} + \rho_{21} \\
w_5 &= 200^g + \varphi_{23} - \left(z_{23}^{/} + z_{32}^{/}\right) = \rho_{23} + \rho_{32} \\
w_6 &= 200^g + \varphi_{13} - \left(z_{13}^{/} + z_{31}^{/}\right) = \rho_{13} + \rho_{31}
\end{aligned}
\tag{4.3}
$$



Obr. 4.2. Obojstranne zameraná spojnica (k odvodeniu rovníc 4-6) [7]

Týchto 6 lineárnych rovníc sa zapíše maticovo A.ρ = w :

$$\begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} . \begin{pmatrix} \rho_{12} \\ \rho_{13} \\ \rho_{21} \\ \rho_{23} \\ \rho_{31} \\ \rho_{32} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \\ w_5 \\ w_6 \end{pmatrix}, \tag{4.5}$$

kde matica sústavy A je 6 rádu a je singulárna s hodnosťou h (A) = 5

Sústava sa rieši podľa singulárneho rozkladu matice sústavy A = USV^T. [6] [7]

5. GLOBÁLNY SYSTÉM URČENIA POLOHY (GPS)

V súčasnosti najlepšie prepracovaný a plne funkčný globálny satelitný navigačný systém (GNSS). Je pod správou ministerstva obrany USA pod označením NAVSTAR GPS (Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System). Je vyvíjaný armádou USA od 70. rokov 20. storočia ako náhrada za systém TRANSIT, ktorý nevyhovoval požiadavkám na určenie polohy pre rýchlo sa pohybujúce telesá. [8]

5.1. Zloženie segmentov GPS

5.1.1. Kozmický segment (Space Segment)

V súčasnosti ho tvorí 32 aktívnych družíc obiehajúcich na šiestich kruhových dráhach vo výške 20183 km nad zemským povrchom. Sklon všetkých dráh je 55° od rovníka a jednotlivé dráhy sú navzájom posunuté o uhol 60°. Pôvodne boli na každej obežnej dráhe 4 satelity a aspoň jeden záložný, ktorý by v prípade problému automaticky nahradil na dráhe poškodený satelit. Výška obežnej dráhy družice je podmienená jej dĺžke obletu okolo Zeme, čo predstavuje polovicu hviezdneho dňa. To predstavuje 11hodin a 58 minút svetového času UTC. Výbavou každej družice tvoria 4 atómové hodiny, gyroskopy na určenie polohy v priestore, antény pre príjem a vysielanie signálu a ostatné vybavenie pre správny chod družice. [8]

Družice sa počas vývoja GNSS modernizujú a nahrádzajú za novšie a výkonnejšie so životnosťou až 12 rokov. Najnovšie vynesenou družicou je družica bloku IIF SV-1 (vypustená 28 mája 2010), je to prvá z posledných dvanástich plánovaných družíc na roky 2010-2011, ktoré majú ukončiť druhú sériu bloku družíc GPS. Po ňom už nasleduje tretí blok s naplánovaným štartom v rokoch 2013-2014. [9]

Obr. 5.1. Družica bloku IIF SV-1[11]

Predpokladom pre využívanie družicového systému je príjem družicového signálu, ktorý sa využíva k určeniu tranzitného času. Každá družica vysiela signál na dvoch frekvenciách v pásmach L1a L2 ktoré sú odvodené zo základnej frekvencie f_o= 10,23 MHz pásma L.

L_1= f_o.154= 1575,42 MHz , zodpovedá vlnovej dĺžke 19,0 cm

L_2= f_o.120=1127,60 MHz, zodpovedá vlnovej dĺžke 24,4 cm

Nosná vlna L1 je modulovaná C/A a P(Y) kódom a navigačnou správou. Nosná vlna L2 je modulovaná len P (Y) kódom a navigačnou správou. V súčasnosti pribudol ďalší vysielaný signál L2C vysielaný na rovnakej frekvencií ako pásmo L2. Tento signál má za úlohu zlepšiť presnosť civilnej navigácie, odstrániť účinok ionosféry, podobne ako je to u dvoj frekvenčných prijímačoch prijímajúcich P (Y) kód. Avšak vyhodnocovanie signálu L2C samostatne predstavuje 65% zhoršenie určenia polohy oproti signálu L1.Procesom modernizácie je zavedenie vojenského M - kódu na rušenie signálu GPS. Je vysielaný na frekvencií 5,115 MHz a jeho vlnová dĺžka je neznáma. Výhodou oproti P (Y) kódu je, že užívateľ je schopný určiť polohu len na základe M - kódu. Hlavnou odlišnosťou od klasickej GPS je, že signál je vysielaný pomocou smerovej antény

(High - Gain). Tento priamy signál nazvaný tiež (Spot Beam) je schopný byť zameraný na určitú oblasť (niekoľko 100km v priemere) a zvýšiť tak miestnu silu signálu o 20dB, čo predstavuje stonásobné zosilnenie signálu u prímača. Bočným efektom mať dve antény je to, že sa nám v okruhu vyslaného signálu bude javiť GPS družica ako dve samostatné družice s rovnakou polohou. Nevýhodou je, že družice bloku IIR-M už majú možnosť prijímať M-kód ale antény so signálom (Spot Beam) sa budú vyrábať až pre družice tretieho bloku naplánovaného na rok 2013. [9]

Civilný kód L5 (Safety of life) je plánovaný na použite pre družice bloku IIF vysielané od roku 2010. Má za úlohu zlepšiť štruktúru signálu pre lepší výkon. Je vysielaný na frekvencií 1176,45 MHz ,čo je frekvencia pre letectvo a bola použitá aby malo letectvo lepší prístup k signálu, ktorý bol viac rušený na pásme L2. [9]

5.1.2. Navigačný (riadiaci) segment

Má za úlohu monitorovať funkcie všetkých družíc. Správy o ostatných družiciach prípadne údaje o korekciách dráhy odosiela naspäť do pamäti družíc v navigačnej správe. Riadiaci segment tvorí 5 pozorovacích staníc rovnomerne rozložených okolo rovníka. Sú vybavené atómovými hodinami a každú poldruha sekundu merajú pseudovzdialenosti k viditeľným družiciam. Pre vyhladenie každých 15 minút posielajú informácie do hlavnej stanice (Master Control Station) v Colorado Springs. Zaisťuje sa tu časová synchronizácia na systémový čas GPST. Na 4 staniciach riadiaceho segmentu (Cape Canaveral, Kwajlejn, Ascension a Diego Garcia) sú rozmiestnené pozemné antény (Ground Antenna). Z nich sa predávajú navigačné správy na družice. Na výpočet presných efemeríd sa podieľa ešte ďalších 7 pozorovacích staníc. [8]

5.1.3. Užívateľský (User Segment)

Je tvorený špeciálnym prijímačom na príjem a spracovanie prijatého signálu.
Prijímač je zložený z antény, predzosilovača, rádiofrekvenčnej jednotky, oscilátora, mikroprocesora pre spracovanie prijatého signálu, komunikačnej jednotky (Controler), pamäťového média a zdroja napätia. Podľa spôsobu akým určíme polohu delíme prijímače na kódové a fázové. Podľa prijímaných pásiem na jedno frekvenčné L1, dvoj frekvenčné L1 a L2 a viac frekvenčné prijímače. [8]

5.2. Systematická zložka ovplyvňujúca GPS meranie

Vysielanie, šírenie a príjem GPS signálu medzi družicou a prijímačom podlieha pôsobeniu rozličných systematických vplyvov.
Prvým je umelé ovplyvnenie kvality signálu tzv. **SA-Selective Availability**. Jedná sa o umelé zhoršenie údajov o dráhach družíc a ovplyvnenie palubných hodín na družici (clock dithering).

Ďalšiu systematickú zložku predstavujú **chyby z družice**. Ide o oneskorenie signálu v obvodoch aparatúry na družici a chyby z družicových hodín. Čo ovplyvní presnosť určenia tranzitného času slúžiaceho na výpočet vzdialenosti medzi družicou a prijímačom. Presnosť parametrov dráh družíc ovplyvňuje viac autonómne GNSS meranie ako meranie relatívne (rozdielové meranie).

Podobne ako chyby na družici sú **chyby na prijímači** ovplyvnené oneskorením v obvodoch prijímača počas príjmu a spracovania GPS signálu. Taktiež musí byť čas na prijímači viacej korigovaný vzhľadom ku GPS presnému systémovému času. Hodnoty korekcií hodín prijímača sú určované pre jednotlivé epochy na základe výpočtu kódových meraní. Významným zdrojom chýb u GPS prijímačov je aj nepresnosť v určení excentricity fázových centier GPS antény. Poloha fázových centier je rozdielna pre L1 a L2 frekvencie a k tomu sa ešte mení v závislosti na elevačnom uhle a azimute družice. Tieto chyby sa eliminujú použitím kalibrovaných antén.

Najpodstatnejšia zložka ovplyvňujúca meranie GPS je **vplyv atmosféry**. Signál vyslaný z družice prechádza cez nehomogénne vrstvy atmosféry, ktoré ovplyvňujú hlavne rýchlosť šírenia sa vyslanej vlny .Vtedy dochádza k zmenám meraných parametrov ako sú pseudovzdialenosti alebo fázy nosných vĺn. Na šírenie rádiových vĺn z družíc majú zásadný vplyv dve zložky atmosféry a to **ionosféra** (vrstva z elektricky nabitými časticami nachádzajúca sa 50-1000km od zemského povrchu) a **troposféra** (nestála vrstva atmosféry siahajúca do výšky 10 - 18 km v závislosti od ročného obdobia a zemepisnej šírky).

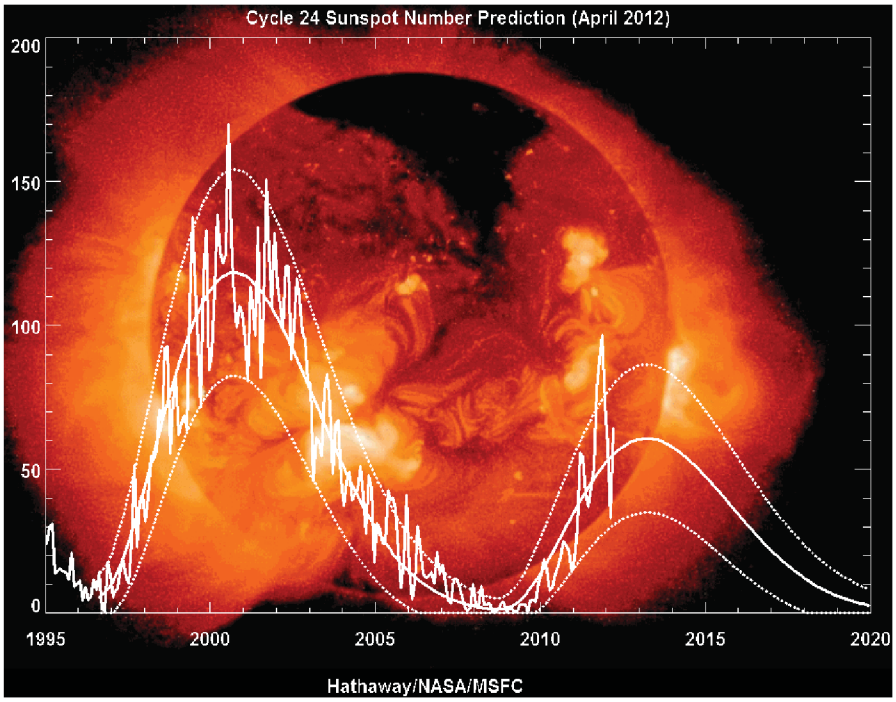
Ionosférická refrakcia je závislá na počte a hustote elektrónov N_e (počet voľných elektrónov v jednotke objemu). Veličina TEC (Total Electron Content) predstavujúca celkový obsah elektrónov atmosfére je udávaná vzťahom:

$$TEC = \int N_e ds \qquad (5.1)$$

Je to kľúčový parameter nielen pre štúdium ionosféry ale aj pre korekcie ionosférických vplyvov, ktoré degradujú GNSS presnosť a spoľahlivosť. Ionosférická refrakcia je kladná pre kódové merania a záporná pre fázové merania. Na malom území ionosférická refrakcia nadobúda približne rovnakých hodnôt a pri tvorbe diferencií sa jej vplyv z väčšej časti vylúči. Pri meraní vektorov na niekoľko desiatok km je jej vplyv už nezanedbateľný a odstraňuje sa meraním na obidvoch frekvenciách. Podľa poznatkov o atmosfére sa jej hodnota dá len odhadovať. [9]

Stav ionosféry sa neustále mení a vplyv má na to hlavne :

- vplyv slnečného žiarenia (11 ročný slnečný cyklus Obr. 5.1.)
- ionosférické poruchy v rovníkových a polárnych oblastiach
- ionosférické búrky vyvolané náhlymi slnečnými erupciami na slnku

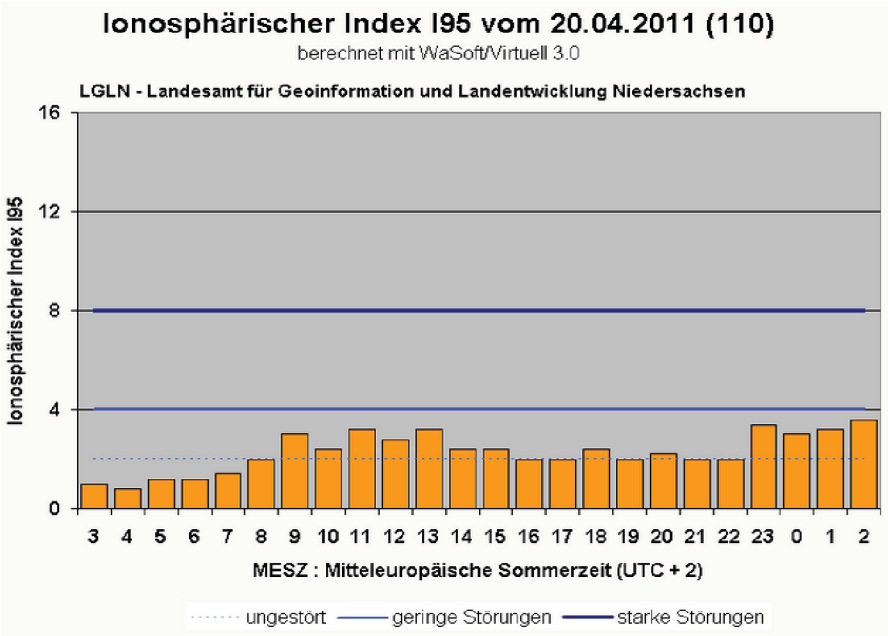


Obr. 5.2. solárny cyklus č.24 [12]

V našich zemepisných šírkach má ionosféra pomerne ustálený a pokojný charakter .Taktiež sa však môžu vyskytovať tzv. putujúce poruchy (traveling iono - disturbances) o dobe trvania od niekoľkých minút po 1h s plošným rozsahom od 10-1000km.

Pre ilustráciu ionosférickej činnosti počas dňa slúži I95 index. Možno ho použiť na zobrazenie indexu priemernej ionosférickej činnosti v danom regióne v kratších časových intervaloch. Zobrazuje každodenné krátkodobé kolísanie činnosti ionosféry. Denné vrcholy

bývajú zaznamenávané v rozmedzí od 11:00 - 14:00 a denný rast začína približne od 9:00 a končí o 17:00.

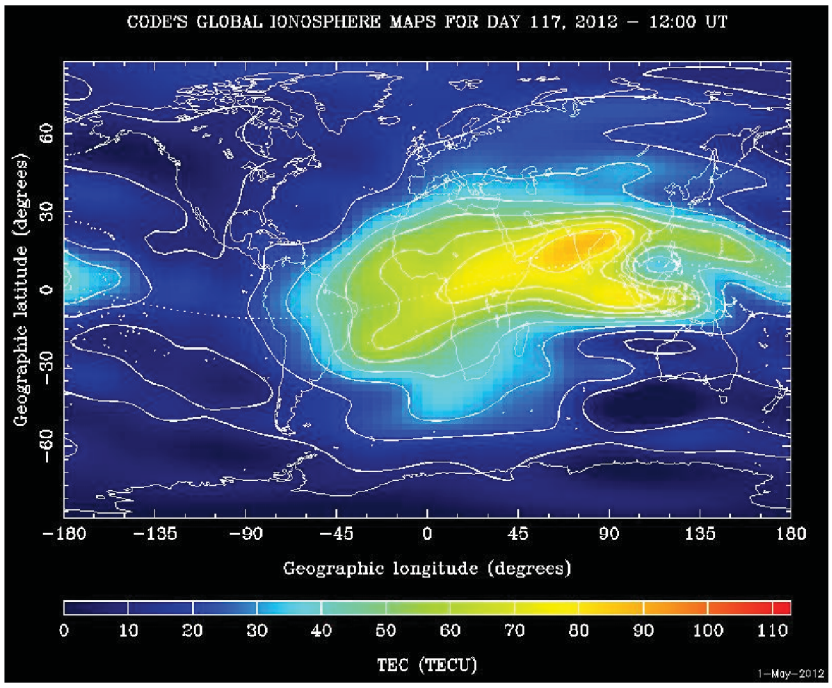


Obr. 5.3. Index I95 denného priebehu ionosféry [13]

Eliminovať účinky ionosférickej refrakcie v súčasnosti vieme pomocou:

- využitia „ionosphere - free“ lineárnej kombinácie (skoro úplná eliminácia)
- zavedením iono - korekcií z navigačnej správy (Klobucharov model koriguje priemerný vplyv 11 ročného cyklu)
- použitie regionálneho alebo globálneho modelu ionosféry (IGS,CODE)
- použitie vlastného lokálneho modelu ionosféry v niektorom z vyhodnocovacích programov z dátového intervalu min. 1hod. (z referenčnej stanice pri meraní v diferenčnom režime). [9]

Globálny TEC je pravidelne určovaný službou IGS a je zverejnený v štandardnom formáte IONEX. Poskytuje globálnu mriežkovú mapu informácií o hodnotách TEC. Znázorňuje to fakt, že ionosféra sa líši aj regionálne. V závislosti od polohy užívateľa môže byť jej intenzita značne odlišná. Všeobecne platí, že miesta bližšie k rovníku sú viac postihnuté, ale stále závisia od denných variácií. [9]



Obr. 5.4. CODE model globálnej ionosféry [14]

Troposférická refrakcia vyjadruje vplyv neionizovanej (neutrálnej) atmosféry na elektromagnetické vlnenie a vzniká v troposfére. Pre frekvencie do 15 GHz spôsobuje troposféra rovnakú refrakciu. Preto je teda refrakcia rovnaká pre obe nosné frekvencie pre kódové a fázové merania metódou GPS. Výpočet troposférickej refrakcie je daný vzťahom:

$$\Delta_{trop}=10^{-6}\int N^{trop}ds, \qquad (5.2)$$

kde N^{trop} je tzv. **refraktivita**, ktorá závisí na teplote, tlaku a vlhkosti atmosféry.

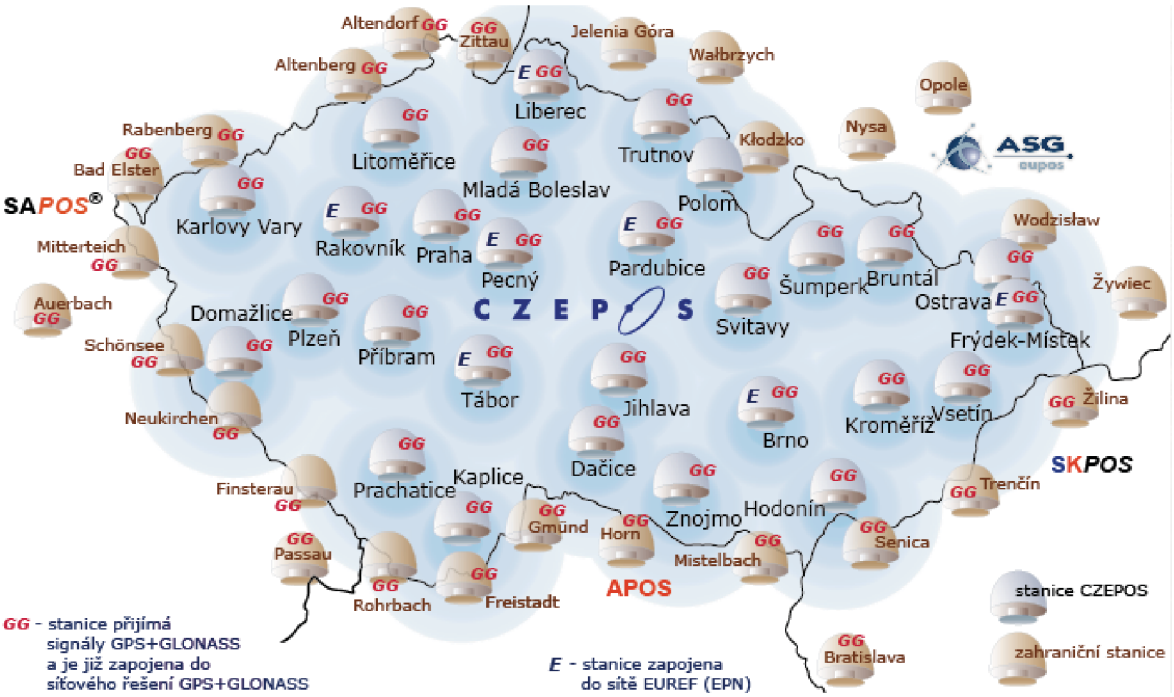
$N^{trop}=10^{6}(n-1)$, kde n je index lomu ovzdušia.

Obecne platí, že troposférická refrakcia sa vylúči pri tvorbe diferencií, čo platí pre kratšie vektory do 10 km. Na prípadnú redukciu sa využívajú modely atmosféry bez využitia GPS meraných údajov alebo naopak určovaním parametrov troposféry z GPS meraní (určenia oneskorenia v zenitovom uhle).

Poslednú zložku systematických vplyvov na GPS meranie predstavujú chyby spojené z miestom merania. Ide o **viacsmerové šírenie signálu (multipatch)**. GPS prijíma a spracováva okrem priamo prijatého signálu aj odrazený signál od blízkych objektov. Na obmedzenie multipatch efektu sa používajú špeciálne konštrukcie antén typu (Choke - Ring, Ground Plates) a vhodne zvolené stanovisko merania bez prekážok. [9]

5.3. Sieť permanentných staníc - CZEPOS

Na území Českej republiky obsahuje sieť CZEPOS 28 permanentných staníc s rovnomerným rozmiestnením v približnej vzdialenosti 60km. Sieť je budovaná od roku 2004 a plnú funkčnosť nadobudla v roku 2007. Celkový počet staníc zahrňuje 28 staníc na území Českej republiky a 27 staníc v prihraničnom území ostatných sietí GNSS susedných štátov. Na území Českej republiky je 23 staníc pod správou Zememeračského ústavu. Sú umiestnené na budovách katastrálnych úradov. Zvyšných 5 staníc je externých v správe vedeckých a akademických pracovísk siete VESOG. Najnovšie bola do siete VESOG začlenená 22.9.2011 piata externá stanica Polom /POL1, ktorá je pod správou vojenského geograficko - hydrometeorologického ústavu. Tým sa celkový počet staníc rozšíril na celkových 28. [15]



Obr. 5.5. Rozmiestnenie permanentných staníc siete CZEPOS na území ČR a susedných štátov [15]

Všetky stanice pod správou Zememeračského ústavu sú vybavené prijímačmi typu Leica GRX 1200 a anténou LEIAT504/LEIS s postupným upgradom na systém Leica GRX 1200+GNSS a antény typu LEIAR25.R4, ktoré už budú prijímať signál zo systémov GPS NAVSTAR a GLONASS. Permanentná stanica TUBO umiestnená na streche ústavu geodézie a kartografie VUT v Brne je vybavená prijímačom Leica GRX 1200PRO

a anténou typu LEIAT504/LEIS s bielym poveternostným krytom (12.12.2011 prebehol upgrade na anténu LEIAR25.R4/LEIT). *[15]*

Ku dňu 10.5.2012 sa završila 3 etapa upgradu siete CZEPOS výmenou antény na peremanentnej stanici Vsetín, čím sa začlenila do sieťového riešenia pre GPS a GLONASS. CZEPOS poskytuje za poplatok užívateľom údaje pre DGPS, RTK a VRS . Údaje sú zaznamenávané na permanentných staniciach zo sekundovým intervalom a pre metódy RTK sú posielané do prijímačov v podobe dátových paketov. Pre potreby post-processingu (tzv. spracovania po meraní) sú údaje poskytované vo výmennom formáte RINEX.

Údaje z mojej GPS observácie som spracovával metódou post processingu v prostredí programu LGO 5.0-7.0.Využil som sieťovej služby CZEPOS na vygenerovanie RINEX formátu pre permanentnú stanicu TUBO a tzv. VIRTUAL RINEXU pre VRS v mieste merania.

Služba VRS3-MAX predstavuje generovanie virtuálnej referenčnej stanice generovanej podľa konceptu MAX (master-auxiliary). Výpočet prebieha v rámci výpočtovej bunky skladajúcej sa z niekoľkých staníc (spravidla ide o 6 staníc) umiestnených v okolí užívateľa. V bunke je jedna stanica určená ako hlavná (Master), ostatné stanice sú potom vedľajšie (Auxiliary). *[15]*

5.4. Rýchla statická metóda merania GPS

Je to modifikovaná statická metóda. Pri súčasnom sledovaní 5-6 družíc nad výškou 15° súčasne dvoma prijímačmi je doba observácie 5-10 minút. Meranie je možné uskutočniť do okruhu 15 km od zvoleného referenčného bodu. Prijímač na referenčnom bode musí po celý čas merania prijímať družicové signály. Mobilný prijímač (rover) realizuje krátke observácie na určovaných bodoch. Počas prenosu prijímača (rovra) na iné miesto je prístroj vypnutý. Skrátenie doby observácie umožňuje zavedenie technológie rýchleho určovania ambiguít. Táto metóda umožňuje určiť ambiguity počas niekoľkých minút. Využíva štatistického počtu pri spracovaní veľkého počtu nadbytočných meraní. Presnosť sa odvíja od konfigurácie a počtu družíc. Túto nevýhodu môžeme eliminovať opakovaným meraním na určovaných bodoch v časovom odstupe 1 až 2 hodín (reoccupation), kde sa predpokladá meranie pri zmenenej konštelácií družíc. Relatívna presnosť pre rýchlu statickú metódu je 5 až 10 mm+1ppm. [9]

6. METÓDA PRESNEJ NIVELÁCIE

Pre porovnanie trigonometrického merania prevýšenia a metódy GPS som prevzal údaje z PN na bodoch experimentálnej siete v Tečiciach.

Presná nivelácia sa používa k určovaniu výšok vo výškovom bodovom poli v nivelačných ťahoch III. a IV. rádu a v PNS. Ďalej pre prípady, kde je požadovaná vyššia presnosť ako pri TN. Ide prevažne o oblasti využitia v inžinierskej geodézií.

Technológiu merania stanovuje „Nivelačná inštrukcia pre práce v ČSJNS“, v ktorej sú uvedené parametre metódy. Zväčšenie ďalekohľadu musí byť minimálne 24 násobné, citlivosť nivelačnej libely by mala byť 20,6$^{//}$ alebo sa použije kompenzátor odpovedajúcej úrovne. Statívy sa použijú pevné, nivelačné, podložky ťažké liatinové. Nivelačné ťahy sa nivelujú dvakrát tam a späť v inú dennú dobu. Kladie sa dôraz na použitie late. Pri páre je potrebné mať párny počet zostáv , ak je jedna zostava použije sa iba jedna lať.

Presnosť výsledku je ovplyvnená radou chýb, ktoré sa snažíme metodickým postupom merania eliminovať. Dĺžka jednej zámery by mala byť do 40 m, výška zámery by nemala byť nižšie ako 0,8 m nad terénom. Pri zámerách kratších ako 20 m môže byť výška zámery nižšia. Odčítavanie latových úsekov je v poradí vzad - vpred, vpred- vzad. [1]

Pri meraní boli použité prístroje DNA 003 so strednou kilometrovou chybou v meraní tam a späť 0,3 mm a NI 007 so strednou kilometrovou chybou v meraní tam a späť 0,7 mm. Pre účely mojej práce je vhodnejšie ak počítam zo strednou chybou jednej zostavy m_{so}. Jej hodnota sa udáva pre metódu PN v rozmedzí 0,1– 0,4 mm. [20]

Stredná chyba jedného prevýšenia sa vypočíta zo vzťahu :

$$m_{\Delta h} = m_{so}\sqrt{n} \tag{6.1}$$

Stredná chyba rozdielu merania tam a späť

$$m_{\Delta} = \sqrt{2}.m_{\Delta h} \tag{6.2}$$

Medzná hodnota merania tam a späť

$$\Delta = t.m_{\Delta}\,, \tag{6.3}$$

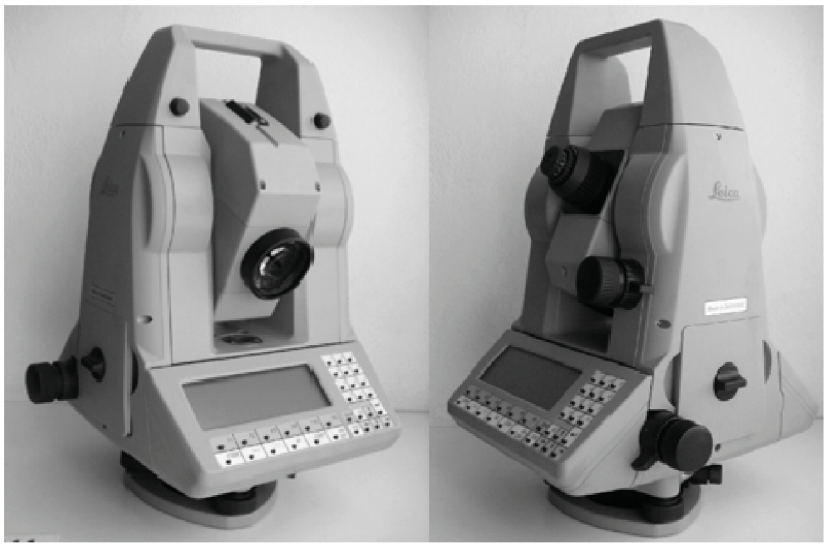
kde, n – je počet zostáv, t – súčiniteľ konfidencie (t = 2)

Pre 5 zostáv predstavuje medzná hodnota prevýšenia hodnotu 0,6 mm čo bolo pri meraní PN dodržané.

7. VÝPOČET PREVÝŠENIA TRIGONOMETRICKOU METÓDOU

7.1. Prístrojové vybavenie

Pre účely výpočtu prevýšenia boli zenitové uhly a šikmé dĺžky merané prístrojom Leica TC 1700 (v.č.413682).



Obr. 7.1. Celkové pohľady na totálnu stanicu Leica TC 1700 [19]

Zväčšenie ďalekohľadu	30x
Citlivost libely	
krabicová libela	4´ / 2mm
elektronická libela	2“ / 2mm
Kompenzátor	
typ	kvapalinový, dvojosí
rozsah urovnania	± 0.1gon (± 5')
presnosť urovnania	0.1mgon (0.3")
Meranie uhlov	
spôsob	absolútny, inkrementálny
presnosť odčítania Hz a V	0.5mgon (1.5")
Meranie dĺžok	
typ diaľkomeru	infračervený
Presnosť merania dĺžok / doba	
štandardné meranie	2mm + 2ppm / 3.5s
tracking	5mm + 2ppm / 0.3s

Tab. 7.1. Parametre prístroja Leica TC 1700 udávané výrobcom [16]

Na meranie som použil súpravu 2 odrazných hranolov Topcon (v.č.1000 175 033-2) s prídavným terčom na cielenie (Obr. 7.2.). Výrobca stanovil hodnotu súčtovej (adičnej) konštanty medzi prístrojom Leica a odrazným hranolom Topcon na hodnotu +34 mm. Pred meraním som vykonal skúšku adičnej konštanty. Rozdelením dĺžky na 2 časti som na priamke v jednej zámere stabilizoval 3 statívy s približne rovnakou výškou trojnožiek. Zamerala sa tak 3 násobne dĺžka z každého postavenia prístroja na hranoly a ich súčtom sme dostali hodnotu súčtovej konštanty o hodnote +33 mm. To platí keď je v prístroji nastavená hodnota adičnej konštanty na hodnotu 0 mm.

Na každom stanovisku prístroja a cieľa sa dbalo na pozornú centráciu a horizontáciu nad bodom. Pre odstránenie kolimačnej chyby sa meralo v dvoch polohách ďalekohľadu. Počas merania zenitových uhlov sa sledovala indexová chyba, ktorá sa zistila z merania v dvoch polohách ďalekohľadu.

$$i = (4R-(o_1+o_2))/2 \qquad (7.1)$$

Výška prístroja a cieľa nad bodom bola určovaná pomocou 2m pásma. Pre účely veľmi presného merania prevýšenia sa v niektorých prípadoch používa výpočet výšky prístroja a cieľa z excentrického stanoviska, ktorú som z časového hľadiska pre svoje meranie nepoužil. Výška na pilieroch sa určovala po kovový výstupok na vrchnej ploche piliera. Meranie výšky prístroja a ciela sa tak na piliery realizovalo od tohto výstupku po stred zrkadla a prístroja. Na statívoch bola výška meraná od bodu na zemi po vrchnú plochu trojnožky a bodu na zemi a stredu prístoja alebo zrkadla. Kontrolovaly sa tak prípadné výškové odchýlky, ktoré mohli pri meraní prevýšenia pásomom nastať. Celové prevýšenie sa taktiež opravovalo z excentrickej výsky prístroja a ciela, pretože výška nameraná pásmom predstavuje šikmú dĺžku. Pre výšku prístroja na stanovisku je to korekcia o veľkosti –3 mm, pre zrkadlo – 1 mm.

Pri meraní zenitových uhlov pri väčších sklonoch a dlhších vzdialenostiach prebieha zámera prístroja rôznymi vrstvami atmosféry, preto má vertikálna zložka refrakcie významný vplyv na meranie. Je preto dôležité aby zámery v 1 a 2 polohe ďalekohľadu prebiehali v čo najkratšom časovom odstupe. Na odstránenie refrakcie bola použitá geodetická metóda obojstranného merania zenitových uhlov a sanchézova metóda zvislého trojuholníka. Pre zvýšenie presnosti meraných zenitových uhlov bolo uskutočnené meranie v troch skupinách.

Obr. 7.2. Znázornenie merania výšky prístroja Leica TC 1700 a odrazného hranolu Topcon od závitu stabilizovaného na pilieri

Stredná chyba zenitového uhla sa vypočíta pomocou vzorca:

$$m_z^{\ 2} = \frac{1}{2}\left(m_c^2 + m_o^2 + m_i^2\right), \qquad (7.2)$$

kde $\mathbf{m_c}$ je stredná chyba z cielenia (vzniká nepresným nastavením nitkového kríža na zvislú osu cieľovej značky), značne kolíše v závislosti od podmienok merania.

$\mathbf{m_o}$ je stredná chyba z odčítania (u elektronických diaľkomerov sa s ňou neuvažuje) a $\mathbf{m_i}$ je stredná chyba z urovnania indexovej libely. Výrobcom u prístroja Leica TC 1700 je stanovená pre elektronický kompenzátor na hodnotu $0{,}3^{//}$ (1^{cc}). Celková stredná chyba zenitového uhla je potom výrobcom stanovená na hodnotu 5^{cc}.

7.2. Redukcia šikmej dĺžky

Redukcia šikmej dĺžky predstavuje jej opravu o fyzikálne a matematické korekcie. Opravu z fyzikálnej korekcie predstavuje atmosférická korekcia a korekcia zo súčtovej (adičnej) konštanty odrazného hranola. Pri meraní prístrojom Leica TC 1700 na súpravu odrazných hranolov Topcon nebola výsledná súčtová konštanta rovná nule, preto sa vykonala jej kontrola premeraním na základnici. Výpočet adičnej konštanty je priložený v prílohe č.6.

7.2.1. Atmosférická korekcia

Je to vylúčenie vplyvu atmosféry z pôsobenia teploty, tlaku a vlhkosti vzduchu pri meraní šikmej dĺžky. Prístroj automaticky meranú dĺžku opravuje o danú korekciu pre zadanú teplotu, tlak. a vlhkosť vzduchu. V druhej etape merania Sanchézovho vertikálneho trojuholníka som v prístroji vypol atmosférickú korekciu a spočítal som jej hodnoty z originálnych rovníc pre Leica svetelné diaľkomery vyrábané pred rokom 2000. [17]

- **Index lomu ovzdušia**

Zmena indexu lomu zámerného lúča závisí od zmeny teploty, vlhkosti, tlaku ovzdušia, vlnovej dĺžky a od iných fyzikálnych činiteľov nachádzajúcich sa v priestore, v ktorom prebieha zámera.

- **Variácia indexu lomu N_g pre štandardný vzduch**

Určí sa podľa vzorca od Barell & Searse (1939) pre štandardné ovzdušie s obsahom 0,03% CO_2, tlakom p = 1013,25 hPa, teplotu T = 273,15 K (0°C) a vlnovou dĺžkou λ [μm] (pre prístroj Leica TC 1700 je to hodnota 0,850 μm).

$$N_g = (n_g - 1).10^6 = 287{,}6155 + \frac{4{,}8866}{\lambda^2} + \frac{0{,}0680}{\lambda^4} \qquad (7.3)$$

- **Variácia indexu lomu v meranom vzduchu** s teplotou T = 273,15 + t (°C), (t - je aktuálna teplota ovzdušia) vypočíta sa podľa vzorca :

$$N_{air} = (n_{air} - 1).10^6 = \frac{273{,}15}{1013{,}25} * \frac{N_g.p}{T} - \frac{11{,}27.e}{T}, \qquad (7.4)$$

kde **e** - je **napätie vodných pár** v [hPa] a počíta sa podľa vzorca:

$$e = \frac{\mathrm{E.h}}{100}, \tag{7.5}$$

kde **h** - je **relatívna vlhkosť vzduchu** v % a E - je **nasýtenie vodných pár** v [hPa].

$$\log E = \frac{7{,}5.\mathrm{t}}{\mathrm{t} + 237{,}3} + 0{,}7857 \tag{7.6}$$

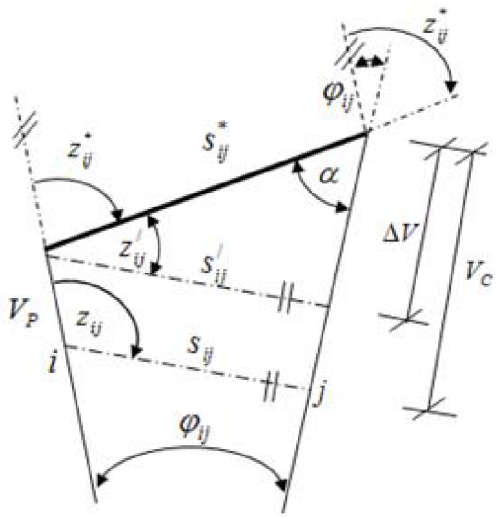
Pre prístroje Leica je stanovená variácia indexu lomu pre tzv. "Leica štandardný vzduch".

Pre teplotu T = 285.15 K (12°C), tlak p = 1013,25 hPa a relatívnu vlhkosť vzduchu 60%. Označovaná je ako $\mathbf{N_{REF\text{-}LEICA}}$, pretože každé meranie dĺžky je automaticky opravené o tento index. Čoho výsledkom je výsledná korekcia 0 ppm pre merané dĺžky.

$$\Delta\mathrm{ppm} = N_{REF\text{-}LEICA} - N_{air} \tag{7.7}$$

Výslednú ppm korekciu na merané dĺžky vzhľadom na atmosférické podmienky vzduchu dostanem spočítaním rozdielu variácie refrakčného indexu štandardného Leica zloženia atmosféry a variácie refrakčného indexu pre aktuálny stav atmosféry. Jej výpočet je uvedený v prílohe č.6. [17]

Pri výpočtoch na miestnej sieti malých rozmerov sa používa dĺžka prevedená na spojnicu stabilizačných značiek. Jej výpočet sa rieši cez aplikáciu kosínusovej vety, kde potrebujeme poznať výšku prístroja a cieľa, šikmú dĺžku, zenitový uhol a uhol normál (Obr. 7.3.).



Obr. 7.3. Prevod šikmej dĺžky a zenitového uhla na spojnicu stabilizačných značiek

Výpočet redukovanej dĺžky :

$$s_{ij}^{/} = \sqrt{s_{ij}^{*2} + \Delta v^2 - 2s_{ij}^{*}.\Delta v.\cos\alpha}\,, \tag{7.8}$$

kde : s_{ij}^{*} - je meraná šikmá dĺžka

$\Delta v = v_{cj} - v_{pi}$ - je rozdiel výšky cieľovej značky a výšky prístroja

$\alpha = z_{ij}^{*} - \varphi_{ij}$ - je rozdiel meraného zenitového uhla a stredového uhla

$\varphi_{ij}[mgon] \approx \dfrac{s_{ij}^{*}.\sin z_{ij}^{*}}{100}$ - je stredový uhol

Pre dĺžky do 1km predstavuje rozdiel dĺžok na úrovni spojnice stabilizačných značiek (s_{ij}) a úrovni horizontu prístroja ($s^{/}_{ij}$) zanedbateľnú hodnotu 0,2 mm. Pre výpočet sme preto použili hodnoty $s^{/}_{ij}$. Výsledky sú uvedené v prílohe č.5. [18]

7.3. Redukcia zenitových uhlov

Merané zenitové uhly redukujeme na spojnicu stabilizačných značiek aplikáciou sínusovej vety . Vychádzam z (Obr. 7.3.).Výsledky sú uvedené v prílohe č.5. [18]

Výpočet redukovaného zenitového uhla :

$$z_{ij}^{/} = \arcsin\frac{\Delta v.\sin\alpha}{s_{ij}^{/}}, \tag{7.9}$$

$$z_{ij} = z_{ij}^{*} + z_{ij}^{/} \tag{7.10}$$

Výsledný jednostranne zameraný zenitový uhol je zaťažený chybou z určenia výšky prístroja, cieľa a vplyvu vertikálnej refrakcie. Pre elimináciu sme zenitové uhly merali obojstranne v troch skupinách a vplyv vertikálnej refrakcie sme eliminovali pomocou metódy obojstranne meraných zenitových uhlov a Sanchézovou metódu výpočtu refrakčných uhlov.

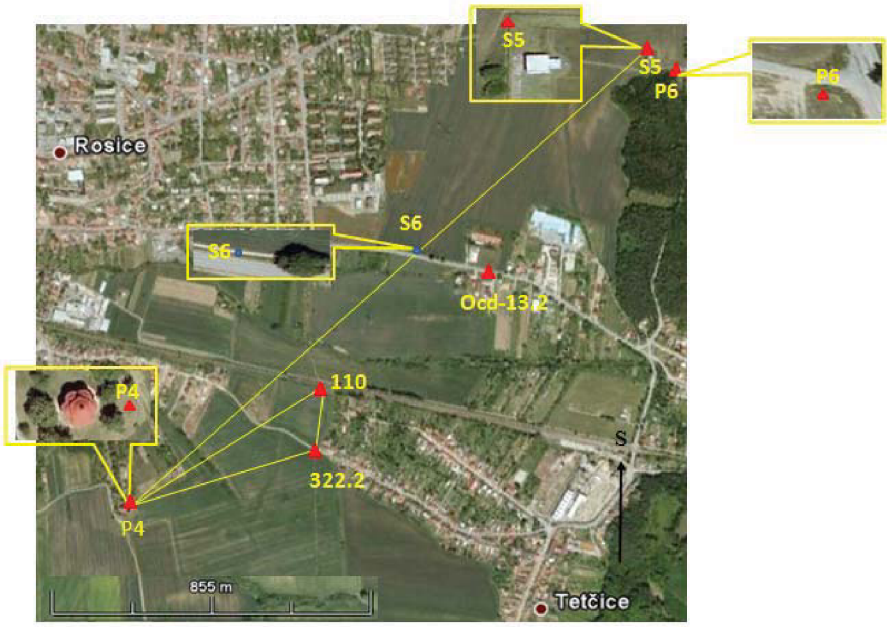
7.4. Popis merania prevýšenia na experimentálnej sieti

V kapitole č.1 som načrtol zloženie experimentálnej siete, na ktorej sa uskutočnilo meranie prevýšení trigonometrickou metódou, rýchlou statickou metódou GPS a metódou presnej nivelácie. Samotné meranie trigonometrickej metódy bolo rozdelené na dve časti. Prvá časť bola zameraná v dvoch etapách. V dňoch 26.9.2010, 18.10.2010 a 06.04.2011 na lokalite v blízkosti vodného zdroja v obci Tetčice. Z piliera P2 pri železničnej stanici boli merané prevýšenia na bod 325 stabilizovaný na konštrukcií mosta a bod S4 (Nepomucký) na vrchu skaly nad bodom nivelačného ťahu Ocd-17.3. Pre použitie Sanchézovej metódy sme bodmi P2 a 325 preložili zvislú rovinu a približne uprostred ich vzdialenosti sme stabilizovali medzníkom bod S1. Tým istým spôsobom sa stabilizoval bod S2 medzi bodmi P2 a S4 (Nepomucký). Tak sme dostali vertikálne trojuholníky ΔP2325S1 a ΔP2S4S2.

Obr. 7.4. Nákres situácie prvej časti trigonometrického merania prevýšení meraných v dvoch etapách pri vlakovej stanici v Tetčiciach

Druhá časť trigonometrického merania prevýšení sa realizovala meraním prevýšenia cez údolie medzi Tetčicami a Rosicami. Určovalo sa prevýšenie medzi bodmi P4 (pilier na kopci pri kaplnke Sv. Trojice) a P6 (pilier na vrchu kopca pri vodárni). Na určenie výškového prevýšenia medzi bodmi P4 a P6 bol stabilizovaný bod S5 pomocou medzníka v blízkosti vodárne pre nemožnosť priamej zámery medzi bodmi P4 a P6. Meraním presnej nivelácie sa určilo prevýšenie medzi bodmi P6 a medzníkom S5 .Okrem toho sa trigonometricky zamerali z bodu P4 prevýšenia na body 322.2 (bod stabilizovaný na betónovom podklade uprostred stožiara s vysokým napätím) a 110 (bod stabilizovaný na betónovom podklade kovovým výstupkom).

Na odstránenie vplyvu refrakcie na merané zenitové uhly bola pri trigonometrickom meraní prevýšenia použitá geodetická metóda obojstranného merania zenitových uhlov a metóda Sanchézovho trojuholníka. Pre použitie metódy sme museli približne uprostred zvislej roviny preloženej bodmi P4 a S5 stabilizovať v údolí bod S6. Bod sme stabilizovali geodetickým klincom do panelovej cesty v blízkosti komunikácie spájajúcej obce Tetčice a Rosice. Vznikol nám tak približne rovnoramenný trojuholník P4, P6, S6. Sanchézova metóda nám slúži na určenie nadmorskej výšku bodov na kopcoch meraním prevýšení z bodu v údolí. Výšku bodu S6 v údolí vieme zistiť pomocou metódy presnej nivelácie z čapovej nivelačnej značky Ocd-13.2 stabilizovanej na fasáde rodinného domu.



Obr. 7.5. Nákres situácie druhej časti trigonometrického merania prevýšení meraných cez údolie medzi obcami Tetčice a Rosice

7.4.1. Určenie presnosti meraných veličín

Pre posúdenie nameraných prevýšení som spočítal relatívne stredné chyby prevýšení (m_h), stredné chyby meraných dĺžok (m_s) a ich medzné hodnoty (Δm_h, Δm_s). Stredná chyba dĺžky sa spočíta zo vzorca: $m_s = 2mm + 2ppm$.

Pre obojstranne merané dĺžky platí vzťah podľa zákona hromadenia stredných chýb :

$$m_S^{/} = \frac{m_S}{\sqrt{2}} \tag{7.11}$$

Pre výpočet medznej odchýlky Δm_S volíme hodnotu súčiniteľa konfidencie t = 2 .

$$\Delta m_S = t * \sqrt{2}.m_S \tag{7.12}$$

Relatívna stredná chyba prevýšenia sa podľa zákona hromadenia stredných chýb vypočíta podľa vzorca :

$$m_h = \sqrt{\cot g^2 z * m_s^2 + \frac{s^2}{\sin^4 z} m_z^2 + \frac{s^4}{4R^2 \sin^4 z} m_k^2 + m_i^2 + m_v^2} \tag{7.13}$$

Medzná chyba meraného prevýšenia sa vypočíta zo vzorca :

$$\Delta m_h = t * \sqrt{2}.m_h \tag{7.14}$$

Označenie veličín:

m_z – stredná chyba zenitového uhla výrobcom stanovená na hodnotu 5^{cc}

s – vypočítaná vodorovná dĺžka

m_s – stredná chyba vodorovnej dĺžky

m_i – stredná chyba výšky prístroja

m_v – stredná chyba výšky cieľa

m_k – stredná chyba refrakčného koeficientu stanovená na hodnotu 0,5

R – polomer Zeme (stredná hodnota R= $6{,}37.10^6$ m)

z – zenitový uhol zámery

Pre výšku cieľa a prístroja volím ich stredné chyby $m_v \approx m_i \approx 2$mm. [20]

Body	m_s[mm]	$m_s^{/}$[mm]	m_h[mm]	Δm_s[mm]	Δm_h[mm]
P2-325	2,6	1,8	3,2	7,4	9,1
P2-S4	2,6	1,8	3,2	7,3	9,0
P2-S1	2,3	1,6	2,9	6,5	8,2
325-S1	2,3	1,6	2,9	6,5	8,3
P2-S2	2,3	1,6	2,9	6,4	8,2
S4-S2	2,3	1,6	3,1	6,6	8,8

Tab. 7.2. Vypočítané stredné chyby dĺžky, obojstranne zameranej dĺžky, stredné chyby prevýšenia a ich medzné chyby pre prvú časť merania trigonometrických prevýšení

Body	m_s [mm]	$m_s^{/}$ [mm]	m_h [mm]	Δm_s [mm]	Δm_h [mm]
P4 - S6	4,2	3,0	11,1	11,9	31,3
S6 - S5	3,7	2,6	7,2	10,3	20,3
P4 - S5	5,9	4,1	30,5	16,5	86,3
P4 - 110	3,3	2,3	5,4	9,4	15,2
332.2 - 110	2,3	1,7	2,9	6,6	8,3

Tab. 7.3. Vypočítané stredné chyby dĺžky, obojstranne zameranej dĺžky , stredné chyby prevýšenia a ich medzné hodnoty pre druhú časť merania trigonometrických prevýšení

Body P2, S1, 325 a P2, S2, S4 ako aj S5, S6, P4 predstavujú výškové trojuholníky a môžeme tak spočítať ich výškové a uhlové uzávery a ich medzné hodnoty. Stredná chyba zenitového uhla meraného v troch skupinách sa vypočíta zo vzťahu:

$$m_{z3} = \frac{m_z}{\sqrt{3}} = 0{,}29 mgon \tag{7.15}$$

Hodnota medzného uhlového uzáveru vo zvislom trojuholníku sa vypočíta z vzťahu:

$$U_{mez} = t.\sqrt{3}.\sqrt{2}.m_{z3} = 1{,}42 mgon, \text{ (t=2)} \tag{7.16}$$

Pre vertikálne trojuholníky pri vodnom zdroji som neprekročil požadovanú hodnotu medzného uzáveru. Pri meraní zenitových uhlov na väčšie vzdialenosti sa mi už nepodarilo dodržať hodnotu medzného uhlového uzáveru. Pri 0 etape merania Sanchézovho zvislého trojuholníka som dosiahol hodnotu 1,6 mgon. Značný vplyv na to malo meranie výšky

prístroja a cieľa pre prepočet na spojnicu stabilizačných značiek ako aj vplyv vertikálnej zložky refrakcie na merané zenitové uhly, vibrácia ovzdušia a ďalšie systematické chyby pri meraní zvislých uhlov.

Pre výpočet medzného výškového uzáveru sa použil vzorec :

$$U_{h,mez} = t.\sqrt{m_{h12}^2 + m_{h23}^2 + m_{h13}^2} \text{ , (t=2)} \qquad (7.17)$$

Čo predstavuje hodnotu 10,2 mm pre trojuholníky pri vodnom zdroji v Tetčiciach a .66,5 mm pre výškový uzáver v Sanchézovom trojuholníku. Ich medzné hodnoty neboli pri meraní prekročené.

7.4.2. Výpočet prvej časti trigonometricky meraných prevýšení pri vodnom zdroji v obci Tetčice

Prvá časť merania prevýšenia sa realizovala na bodoch v okolí vodného zdroja v obci Tetčice. Merania boli vykonané v dvoch etapách, september, október 2010 (26.09-18.10 2010) a apríl 2011(06.04.2011). Meranie prebiehalo pri vhodných poveternostných podmienkach s konštantnou teplotou pri zamračenej oblohe. Na elimináciu vertikálnej zložky refrakcie z merania zenitových uhlov bola použitá geodetická metóda merania obojstranných zenitových uhlov. Sanchézova metóda výpočtu refrakčného koeficientu z vertikálneho trojuholníka sa tu preukázala ako nevhodná pre malé výškové rozdiely medzi bodmi a celkovým tvarom vertikálneho trojuholníka. V prvej etape merania prevýšenia dňa 18.10.2010 nebola možná priama zámera medzi bodmi P2 a S4 pre odstavený železničný vozeň na železničnej trati. Preto sa stabilizoval na asfaltovej ceste v blízkosti bodu P2 geodetickým klincom bod S3, z ktorého sa metódou prsnej nivelácie určilo prevýšenie medzi bodom P2 a S3 a následne sa mohlo spočítať prevýšenie medzi bodmi P2 a S4.

0. Etapa (26.9.2010 - 18.10.210)				
Dĺžka	s [m]	Dĺžka	s [m]	Rozdiel dĺžok Δs [mm]
$S_{P2,325}$	304,6010	$S_{325,P2}$	304,6017	-0,7
$S_{P2,S1}$	151,9103	$S_{P2,S1}$	151,9107	-0,3
$S_{S1,325}$	152,6960	$S_{325,S1}$	152,6967	-0,7
$S_{S3,S4}$	270,0835	$S_{S4,S3}$	270,0840	-0,5
$S_{S3,S2}$	98,4920	$S_{S2,S3}$	98,4922	-0,2
$S_{S2,S4}$	171,5925	$S_{S4,S2}$	171,5920	0,5
1. Etapa (6.4.2011)				
$S_{P2,325}$	304,6035	$S_{325,P2}$	304,6030	0,5
$S_{P2,S1}$	151,9100	$S_{P2,S1}$	151,9080	2,0
$S_{S1,325}$	152,7020	$S_{325,S1}$	152,6970	5,0
$S_{P2,S4}$	289,5032	$S_{S4,P2}$	289,5050	-1,8
$S_{P2,S2}$	130,3008	$S_{S2,P2}$	130,3008	0,0
$S_{S2,S4}$	159,2070	$S_{S4,S2}$	159,2077	-0,7

Tab. 7.4. Obojstranne merané šikmé dĺžky v prvej časti trigonometrického merania prevýšenia a ich porovnanie medzi etapami

Všetky rozdiely dĺžok sú menšie ako medzné hodnoty stredných chýb pre obojstranne merané dĺžky a preto spĺňame požiadavky na presnosť.

Prevýšenie medzi bodmi P2 a S4 v prvej etape merania bolo zložené z dvoch častí. Ku vypočítanému prevýšeniu medzi bodmi S4 a S3 musím pripočítať prevýšenie na bod P2 získané metódou presnej nivelácie.

0. etapa/ október 2010	
spojnica	prevýšenie [m]
$h_{S3,S4}$	7,0456
$h_{S3,P2}$	-0,5689
$h_{P2,S4}$	6,4764

Tab.7.5. Prevýšenie na preurčený bod S3 a prevýšenie získané z PN medzi bodmi S3 a P2

Prevýšenie	0. Etapa / prevýšenie [m]	1. Etapa / prevýšenie [m]	Rozdiel prevýšení [m]
$h_{P2,325}$	1,0005	0,9974	0,0031
$h_{P2,S1}$	-1,3295	-1,3300	0,0005
$h_{S1,325}$	2,3296	2,3276	0,0020
$h_{P2,S4}$	6,4764	6,4657	0,0107

Tab.7.6. Vypočítané prevýšenia z obojstranne meraných zenitových uhlov a ich rozdiely

Porovnaním z medznými chybami prevýšenia sme splnili požadovanú presnosť až na prevýšenie S4 - P2, ktoré bolo ovplyvnené preurčením z bodu S3, z ktorého sa určilo prevýšenie na bod P2 metódou presnej nivelácie.

Pretože boli vo vertikálnych trojuholníkoch nadbytočné merania mohli sme merané prevýšenia vyrovnať MNČ.

Spojnica	0. Etapa (26.9.2010)		1. Etapa (6.4.2011)	
	h [m] obojstranne zameraná spojnica	h [m] MNČ	h [m] obojstranne zameraná spojnica	h [m] MNČ
325 - P2	-1,0005	-1,0003	-0,9974	-0,9975
P2 - S1	-1,3295	-1,3294	-1,3300	-1,3301
S1 - 325	2,3296	2,3297	2,3276	2,3276
Σ	-0,0005		0,0002	

Tab. 7.7. Merané prevýšenia v Δ P2, S1, 325 a ich vyrovnané hodnoty v 2 etapách

Spojnica	1. Etapa (6.4.2011)	
	h [m] obojstranne zameraná spojnica	h [m] MNČ
S4 - S2	-5,2744	-5,2744
S2 - P2	-1,1912	-1,1913
P2 - S4	6,4657	6,4657
Σ	0,0001	

Tab. 7.8. Merané prevýšenia v Δ P2, S2, S4 a ich vyrovnané hodnoty v 1 etape

7.4.3. Výpočet druhej časti trigonometricky meraných prevýšení na väčšie vzdialenosti

V druhej časti trigonometricky meraných prevýšení boli určované prevýšenia na spojnici bodov P4-S5, P4-110, 322.2-110 a 322.2-P4. Body predstavujú časť experimentálnej siete nachádzajúcu sa na rozhraní medi obcami Tetčice a Rosice. Meranie prebiehalo v dvoch etapách 20.4.2011 a 15.3.2012. Meralo sa za slnečného jasného počasia so zvýšenou možnosťou výskytu refrakčných anomálií. Na účely eliminácie vertikálnej zložky refrakcie, ktorá je pri dlhších zámerách hlavnou systematickou zložkou pri meraní zenitového uhla som použil Sanchézovu metódu na výpočet refrakčného uhla a obojstranne merané zenitové uhly. Prevýšenie na spojnici bodov P4-S5, P4-110, 322.2-110 bolo zamerané obojsmerne. Prevýšenie medzi bodmi 322.2 a P4 bolo zmerané len v jednom smere z bodu 322.2 na bod P4. Samotné prevýšenie medzi bodmi P4 a P6 nemohlo byť zmerané priamo pre prekážky na trase zámery. Medzníkom sa preto stabilizoval v blízkosti vodárne bod S5 a metódou presnej nivelácie sa zmeralo prevýšenie medzi bodom S5 a P6.
Pre určenie prevýšenia na spojnici P4-S5 bola na vplyv refrakcie použitá geodetická metóda obojstranne meraných zenitových uhlov a Sanchézova metóda vertikálneho trojuholníka.

0. Etapa (20.4.2011)				
Dĺžka	s[m]	Dĺžka	s[m]	Rozdiel dĺžok [m]
$S_{P4,110}$	659,0463	$S_{110,P4}$	659,0423	0,0040
$S_{322.2,110}$	173,8780	$S_{110,322.2}$	173,8777	0,0003
$S_{322.2,P4}$	538,5970	$S_{P4,322.2}$	-	-
$S_{P4,S5}$	1925,5403	$S_{S5,P4}$	1925,5363	0,0040
$S_{P4,S6}$	1098,2847	$S_{S6,P4}$	1098,2873	-0,0026
$S_{S6,S5}$	830,6863	$S_{S5,S6}$	830,6947	-0,0084
1. Etapa (15.3.2012)				
$S_{P4,S5}$	1925,5650	$S_{S5,P4}$	1925,5587	0,0063
$S_{P4,S6}$	1098,2910	$S_{S6,P4}$	1098,2873	0,0037
$S_{S6,S5}$	830,7058	$S_{S5,S6}$	830,7045	0,0013

Tab. 7.9. Obojstranne merané šikmé dĺžky a ich rozdiel v druhej časti trigonometrického merania prevýšenia

Z porovnania obojstranne meraných šikmých dĺžok vyplynulo, že sme dosiahli požadovanú presnosť v meraní dĺžok, pretože ich rozdiel nepresiahol medznú hodnotu stanovenú v rozbore presnosti pred meraním.

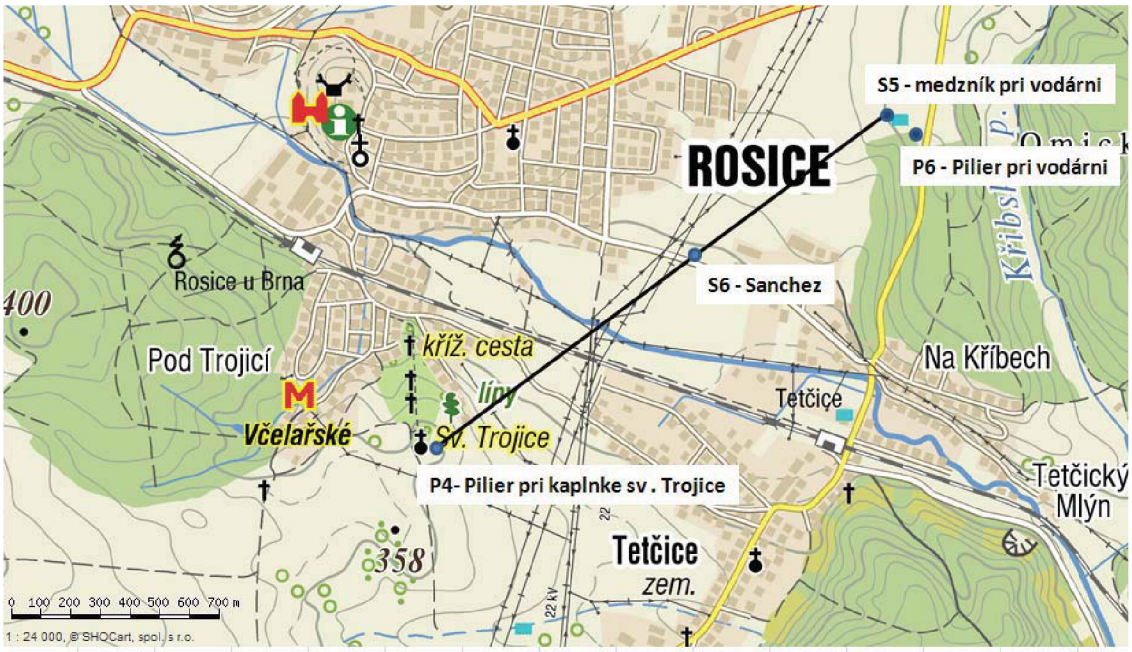
0. Etapa (20.4.2011)	
Prevýšenie	h [m]
$h_{P4,110}$	-58,2592
$h_{110,322.2}$	2,1066

Tab.7.10. Vypočítané prevýšenia z obojsmerne meraných zenitových uhlov v druhej časti trigonometrického merania prevýšenia

.

7.4.3.1. Výsledky Sanchézovej metódy

Pre predstavu o možnej veľkosti vplyvu vertikálnej zložky refrakcie na merané zenitové uhly som použil Sanchézovu metódu vertikálneho trojuholníka. Medzi bodmi S5 a P4 experimentálnej siete v Tetčiciach umiestnených na protiľahlých kopcoch som si preložil týmito dvoma bodmi vertikálnu rovinu a na ich spojnici vytýčim v údolí bod S6 (Sanchézov bod). Tvar trojuholníka by sa mal približovať rovnoramennému trojuholníku, preto bod S6 stabilizujem približne do stredu spojnice S5-P4. Bod P4 je stabilizovaný pilierom s nútenou centráciou a bod S5 je stabilizovaný medzníkom. Bod v údolí S6 som stabilizoval geodetickým klincom na panelovej ceste medzi Tetčicami a Rosicami. Cielenie sa uskutočnilo v dvoch etapách 20.4.2011 a 15.3.2012 za jasného slnečného počasia. Cielilo sa na odrazné hranoly Topcon s pripevneným terčom pre lepšiu viditeľnosť pri cielení. Zenitové uhly a šikmé dĺžky sa merali prístrojom Leica TC 1700 obojsmerne s časovým odstupom v dvoch polohách ďalekohľadu a troch skupinách.



Obr. 7.6. Znázornenie na mape (Sanchézov zvislý trojuholník)

Výpočet refrakčných uhlov ρ^{cc} je uvedený v Tab. 7.10. V Tab. 7.11. je uvedený výpočet refrakčného koeficientu k.

Spojnica	20.4.2011 Šikmá dĺžka (m)	20.4.2011 Zenitový uhol (g)	$\rho(^{cc})$	Spojnica	15.3.2012 Šikmá dĺžka (m)	15.3.2011 Zenitový uhol (g)	$\rho(^{cc})$
$W=(-16^{cc},-7^{cc},6^{cc},-24^{cc},-14^{cc},-26^{cc})^T$				$W=(-79^{cc},-53^{cc},44^{cc},63^{cc},4^{cc},-29^{cc})^T$			
S5 – P4		100,1432	-10,9	S5 – P4		100,1389	34,7
P4 – S5	1925,5352	99,8784	-12,9	P4 – S5	1925,5582	99,8741	28,4
S5 – S6		104,5703	-26,8	S5 – S6		104,5702	-44,4
S6 – S5	830,7003	95,4405	-0,6	S6 – S5	830,7116	95,4410	15,4
P4 – S6		103,2251	-19,7	P4 – S6		103,2238	-24,7
S6 – P4	1098,3580	96,7873	-5,6	S6 – P4	1098,3664	96,7868	28,7

Tab. 7.11. Vypočítané refrakčné uhly v dvoch etapách merania

Spojnica	Stredový uhol (^{g})	20.4.2011 k	15.3.2012 k
S5 – P4		-0,11	0,36
P4 – S5	0,0192	-0,13	0,30
S5 – S6		-0,65	-1,07
S6 – S5	0,0083	-0,01	0,37
P4 – S6		-0,36	-0,45
S6 – P4	0,0109	-0,10	0,52

Tab.7.12. Refrakčné koeficienty k = 2ρ/φ vypočítané z refrakčných uhlov

Prevýšenia sú vypočítané podľa vzorca pre jednostranne meraný trigonometrický výškový rozdiel.

$$h'_{ij} = s_{ij}\left(\cos\left(z'_{ij} + \rho_{ij} - \varphi_{ij}/2\right)/\cos\left(\varphi_{ij}/2\right)\right), \tag{7.15}$$

kde platí $h'_{ij} = -h'_{ji}$ .Pre úplnosť sú vypočítané výškové rozdiely pre obojstranne zamerané výškové rozdiely.

$$h'_{ij} = s_{ij}\sin\frac{z'_{ji} - z'_{ij}}{2}\Big/\cos\left(\frac{\varphi_{ij}}{2}\right) \tag{7.16}$$

Vplyvom rovnakej refrakcie na oboch koncoch zámery sa obojsmerným meraním jej vplyv vylúči (Medzník pri vodárni - pilier pri kaplnke Sv. Trojice), pri strmých zámerách (S6 - medzník pri vodárni alebo S6 - pilier pri kaplnke Sv. Trojice) už nemôžeme predpokladať rovnakú refrakciu na obidvoch koncoch zámery a preto sú aj väčšie rozdiely v prevýšení.

0. Etapa (20.4.2011)				
Spojnica (sklon v %)	Šikmá dĺžka [m]	*h [m] jednostranne zameraná spojnica	*h [m] obojstranne zameraná spojnica	h [m] MNČ
S5 – P4 (0,2 %)	1925,5352	-4,0063	-4,0037	-4,0033
P4 – S6 (5,1 %)	1098,3580	-55,4896	-55,5117	-55,5116
S6 – S5 (7,2 %)	830,7003	59,4968	59,5149	59,5149
Σ		0,0008	-0,0005	

Tab.7.13. Výsledky z merania prevýšenia 20.4.2011

1. Etapa (15.3.2012)				
Spojnica (sklon v %)	Šikmá dĺžka [m]	*h[m] jednostranne zameraná spojnica	*h [m] obojstranne zameraná spojnica	h [m] MNČ
S5 – P4 (0,2 %)	1925,558	-4,0148	-4,0046	-4,0062
P4 – S6 (5,1 %)	1098,366	-55,4591	-55,5051	-55,5053
S6 – S5 (7,2 %)	830,712	59,4730	59,5116	59,5115
Σ		-0,0009	0,0019	

Tab.7.14. Výsledky z merania prevýšenia 15.3.2012

Sanchézova metóda pozostáva z určenia nadmorskej výšky bodov ležiacich na vrcholoch kopcov z určenia výšky bodu v údolí pomocou pripojenia meraním PN. Preto som určil prevýšenie metódou PN medzi bodmi S6 (bod Sanchéz) a Ocd - 13.2 (čapová nivelačná značka na faséde rodinného domu). Meranie prebiehalo v dvoch etapách súbežne z meraním trigonometrického prevýšenia. Pre výškové pripojenie bodu P6 (vrch šróbu na pilieri pri vodárni) som obdobne v dvoch etapách počas merania trigonometrie určil prevýšenie metódou PN na bod S5 (medzník pri vodárni). Tým dostávam výslednú nadmorskú výšku bodov S6, P4, P6, S5.

Prevýšenie z metódy PN			
Spojnica	0. Etapa / h [m]	1. Etapa / h [m]	Δ h [m]
Ocd-13.2 - S6	2,3737	2,3714	0,0023
P6 - S5	-3,1086	-3,1117	0,0031

Tab.7.15. Nivelované prevýšenia v 2 etapách medzi bodmi P6 – S5 a Ocd-13.2 – S6

Čapová nivelačná značka na bode Ocd – 13.2 má nadmorskú výšku 296,165 m. Z nej odvodíme nadmorské výšky bodov S6, P4, S5, P6 pre dve etapy merania.

Bod	0. Etapa	1. Etapa
	H v Bpv / [m]	H v Bpv / [m]
S6	298,5387	298,5364
P4	354,0503	354,0417
S5	358,0536	358,0479
P6	361,1622	361,1596

Tab. 7.16. Body S6, P4, S5, P6 pripojené do výškového systému Bpv

Porovnaním s medznými hodnotami stredných chýb prevýšenia sme dospeli k zisteniu, že rozdiely medzi nameranými prevýšeniami pri geodetickej metóde obojsmerného merania zenitových uhlov spĺňajú požadovanú presnosť. Pri jednostranne zameranom prevýšení zo Sanchézovej metódy nespĺňam medznú odchýlku v meraní prevýšenia pre zámeru (P4 – S6). Nepresnosť mohla byť spôsobená zhoršenými podmienkami pri cielení, presvetlením zorného poľa okuláru, prípadný vplyv na cielenie mohla mať aj silá vibrácia ovzdušia počas merania zenitových uhlov a šikmých vzdialeností.

Z výsledkov vyplynulo, že sme splnili očakávanú presnosť merania prevýšenia pre metódu trigonometrického merania prevýšenia ale nepodarilo sa nám u Sanchézovej metódy docieliť presnosť ako v nivelačných sieťach IV. rádu.

Základným predpokladom pre dosiahnutie požadovanej presnosti je použitie valcových terčov s čiernobielym rozhraním pre spresnenie zameraného zenitového uhla. Určením excentricity v cielení do 3 mm, ako tomu bolo pri meraní Sanchézovho zvislého trojuholníku na experimentálnej sieti v Starom Městě pod Sněžníkem. Použitím presnejšej metódy pre určenie výšky prístroja a cieľa z excentrického stanoviska.

Pre spresnenie metódy sa v súčastnosti používajú šikmé dĺžky zamerané z GPS observácie, ktoré už nie sú tak zaťažené vplyvom vertikálnej refrakcie. Ďalším faktorom, ktorý mohol ovplyvniť meranie bola nevhodne zvolená doba merania za jasného počasia v poludňajších hodinách za silenej vibrácie ovzdušia a presvetlenia pozadia pri cielení na odrazný hranol.

8. VÝPOČET PREVÝŠENÍ Z MERANIA METÓDOU GPS

Je to ďalšia z metód výpočtu prevýšenia na experimentálnej sieti bodov v Tetčiciach. GPS meranie bolo realizované na pilieroch s nútenou centráciou a hĺbkovou stabilizáciou. Na ostatných bodoch bola GPS aparatúra osadená na statíve s trojnožkou. Meraním na pilieroch je zabezpečená polohová stálosť a preto pri meraní ich používame ako referenčné stanice pri výpočte priestorových vektorov. Meraniu polohy a výšky na bodoch, ktoré určujeme GPS meraním z prijímača umiestneného na statíve kladieme obzvlášť veľkú pozornosť pri urovnaní statívu a centrovaním nad bod. Na meranie na bodoch bola použitá rýchla statická metóda merania s dobou observácie v rozmedzí 0,5-2h. Na účely merania boli použité dvoj frekvenčné GPS prijímače.

Obr. 8.1. Grafické znázornenie rozmiestnenia bodov experimentálnej siete zameraných metódou GPS (červenou sú označené observácie na pilieri, žltou na statíve)

Použitá aparatúra	Typ antény	Výrobné číslo
Leica GPS Systém SR520	Leica AT502	11480
Leica GPS Systém SR530	Leica AT502	11496
Leica GPS Systém 900CS	Leica ATX900CS GG	161196

Tab. 8.1. Použité typy prijímačov GPS

Meranie prebiehalo na bodoch simultánne s meraním trigonometrického prevýšenia. Z chybového hľadiska pri GPS meraní je samostatne zameraný bod zaťažený plnou zložkou systematických chýb a preto sa použila diferenčná metóda, ktorá používa na určenie súradníc výpočet priestorového vektoru medzi dvoma prijímačmi. Jeden z bodov predstavuje referenčnú stanicu (pevný nemenný bod o známych súradniciach), z ktorého sa počítajú priestorové vektory na druhý pohyblivý bod (rover). Tým sa spresní poloha určovaného bodu a zníži sa vplyv systematických chýb pôsobiacich počas merania.

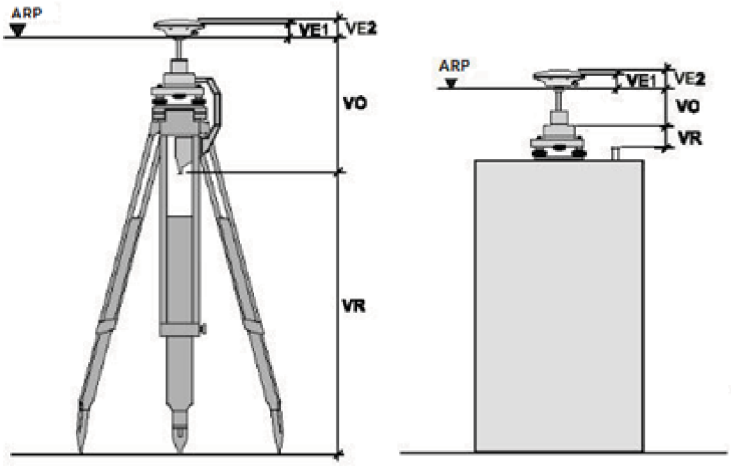
Okrem presnej horizontácie a centrácie je potrebné presne zamerať výšku aparatúry nad bodom. Výška prístroja na pilieri je vztiahnutá k vrchnej ploche šróbu vertikálne zapusteného do hlavy piliera. Odmerala sa pomocou pásma a pravítka. Na vrchnú plochu trojnožky priložíme pravítko v horizontálnej polohe a na pásme čítame prevýšenie medzi pravítkom a hrotom šróbu (Obr. 8.2.). Vertikálnu vzdialenosť vrchnej plochy trojnožky po bod ARP ku ktorému sú vztiahnuté fázové centrá antény je konštantná hodnota pre daný typ antény a požitý nadstavec.

Obr. 8.2. Znázornenie merania aparatúrou Leica SR520 osadenej na pilieri P4 a merania výšky antény na pilieri

Meranie výšky antény na statíve je odlišné tým, že prevýšenie meriame špeciálnym závesným pásmom ukončeným hákom, ktorý je vyrobený aby sa zasunul do otvoru na nástavci uchytenom v trojnožke a odčíta sa na pásme na to upravenom výška po určovaný bod. Výslednú hodnotu vertikálneho prevýšenia dostaneme sčítaním tejto výšky a vertikálneho ofsetu pre statív.

Vertikálny ofset pre anténu Leica AT502	
pilier	0,109 m
statív	0,360 m

Tab.8.2 Hodnoty vertikálneho ofsetu pre anténu Leica AT502



Obr. 8.3. Určenie výšky antény Leica AT502 na statíve a na pilieri [22]

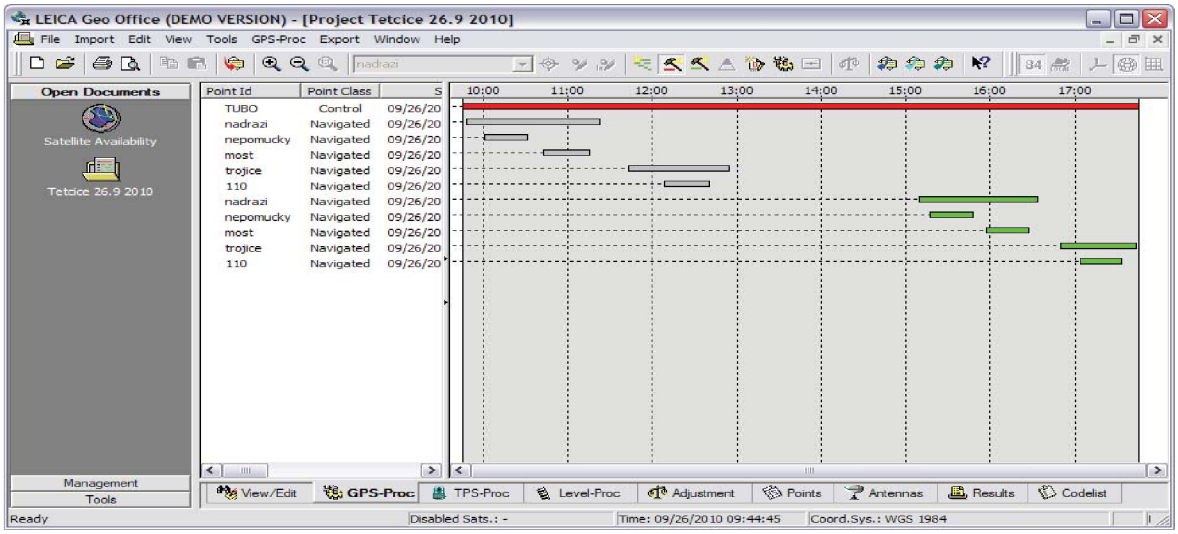
Samotné meranie na bodoch prebiehalo počas štyroch dní v dvoch etapách, zvlášť pre lokalitu vodného zdroja v Tetčiciach a bodoch na experimentálne overenie Sanchézovej metódy. Dňa 26.09.2010 bola uskutočnená nultá etapa observácie na bodoch S4 (Nepomucký), 325(nivelačná značka na moste), P2 (pilier pri železničnej stanici), 110 (bod stabilizovaný v betónovom základe) a P4 (pilier pri kaplnke Sv. Trojice). Ako referenčná stanica bol zvolený bod P2 s rovermi na bodoch 325 a S4. Druhou referenčnou stanicou bol bod P4 a jeho rover predstavoval bod 110. Meranie na bodoch prebehlo dvakrát s časovým odstupom na každom bode po 2 hodiny.

Dňa 06.04.2011 prebehla v poradí prvá etapa observácie na bodoch P2, S4 a 325 v lokalite vodného zdroja v Tetčiciach. Za referenčnú stanicu bol zvolený bod P2 a rovre boli na bodoch S4 a 325. Meranie prebehlo dvakrát po sebe s časovým odstupom.

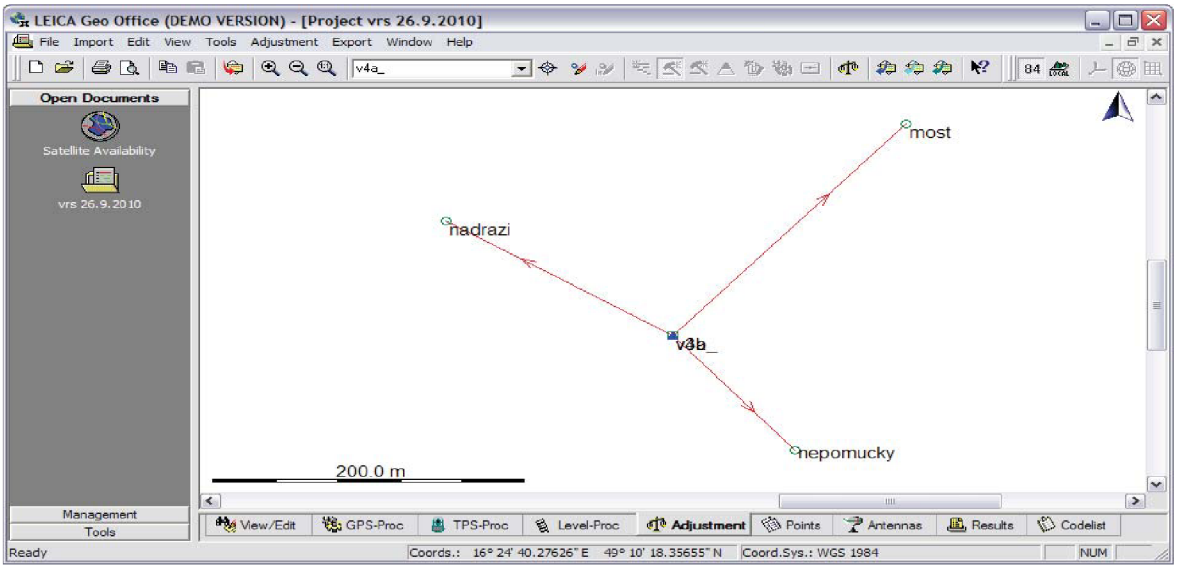
Nultá etapa observácie pre Sanchézovu metódu bola realizovaná 20.04.2011 na bodoch P6 (pilier pri vodárni), S5 (bod pre výpočet Sanchézovej metódy stabilizovaný medzníkom v blízkosti vodárne) a bode P4 (pilier pri kaplnke Sv. Trojice). Druhé meranie sa uskutočnilo 15.3.2012 na bodoch Sanchézovho zvislého trojuholníka. Na bodoch P6, S5 a S6 (bod stabilizovaný geodetickým klincom do panelovej cesty v údolí medzi Tetčicami a Rosicami).Výpočet prevýšení a priestorovej polohy sa realizoval metódou postprocessingu spracovaním výstupného formátu RINEX po meraní v programe LGO 5.0.

8.1. Spracovanie nameraných údajov a výpočet prevýšení

Namerané údaje boli spracované a vyhodnocované post processingom. Ide o spracovanie údajov po meraní pre dosiahnutie najväčšej možnej presnosti v určení priestorovej polohy určovaného bodu. Pri určení priestorovej polohy bodu v reálnom čase , ako je napríklad metóda RTK nemáme možnosť pracovať so spresnenými údajmi o dráhach družíc. Tie sú k dispozícií až niekoľko hodín po meraní .Ale pri post processingu už máme k dispozícií presné dráhové efemeridy, ktoré nám spresnia určenie priestorovej polohy. Pri meraní bola použitá diferenčná metóda GPS. Využíva skutočnosť, že diferencie údajov zamerané medzi dvoma blízkymi prijímačmi sú zaťažené oveľa menšou chybou ako samostatne realizované merania na jednotlivých bodoch. Je to možné vďaka vysokej korelácií chýb oboch meraní. Diferenčná metóda teda umožňuje presné meranie vektorov vzájomnej polohy medzi dvoma alebo viacerými bodmi. Ak poznáme presné geocentrické súradnice prijímača tak diferenčnou metódou spočítame geocentrickú polohu ostatných bodov. Výstupným formátom , ktorý dostaneme z GPS merania je súbor výmenného formátu RINEX, ktorý som spracoval vo výpočtovom programe LGO (Leica Geo Office 5.0-7.0) . Pre diferenčnú metódu určenia polohy použijem výstupný formát RINEX, ktorý som dostal ako výstup z merania. Ďalej z údajov permanentnej siete staníc CZEPOS získam RINEX-y pre referenčnú stanicu TUBO vzdialenú 15 km od lokality môjho merania.



Obr. 8.4. Grafická ukážka spracovania údajov merania v postprocessingu v programe LGO 5.0



Obr. 8.5. Grafická ukážka výpočtu priestorových vektorov z vygenerovanej referenčnej virtuálnej stanice medzi bodmi P2,325 a S4 v prostredí výpočtového programu LGO 5.0

Zo sieťového riešenia permanentných staníc CZEPOS dostávam vygenerované virtuálne referenčné stanice v blízkosti meraných bodov . Z uvážením tvrdenia, že so zväčšujúcou sa dĺžkou určovaného priestorového vektoru klesá presnosť určenia priestorovej polohy bodu. Vygenerovaný súbor vznikol post processingom sieťového riešenia a má názov VIRTUAL RINEX. Takto vygenerovaný prijímač má anténu s nulovými parametrami s označením ADVNULLANTENNA. Ponecháva si označenie ako antény permanentnej siete CZEPOS, s tým rozdielom, že nemá žiadne parametre fázového centra antény.

Výpočet priestorových súradníc je realizovaný v systéme ETRS89. GPS systém využíva celosvetový súradnicový systém WGS84. Meraním sa zistilo, že počas roka je vplyvom driftu euroázijskej dosky poloha súradníc na európskom kontinente zmenená približne o hodnotu 2,5 cm severovýchodným smerom. Pre tento posun sa zaviedol na území európskeho kontinentu nový priestorový súradnicový systém ETRS89. Jeho uvážením môžeme posun kontinentálnych platí zanedbať.

Merané údaje boli do prijímača zaznamenávané s frekvenciou záznamu 1 až 5 sekúnd, údaje pre referenčné stanice zo sieťového riešenia permanentných staníc boli taktiež požadované pre rovnakú frekvenciu záznamu. Pre každý výpočet boli do programu LGO 5.0 stiahnuté presné efemeridy pre zvolený deň merania. Nastavenie procesných parametrov je znázornené na (Obr. 8.6.).

Processing Parameters

Parameters	Selected
Cut-off angle:	10°
Ephemeris type:	Precise
Solution type:	Automatic
GNSS type:	GPS
Frequency:	Automatic
Fix ambiguities up to:	80 km
Min. duration for float solution (static):	5' 00"
Sampling rate:	Use all
Tropospheric model:	Hopfield
Ionospheric model:	Automatic
Use stochastic modelling:	Yes
Min. distance:	8 km
Ionospheric activity:	Automatic

Obr. 8.6. Zobrazenie parametrov v nastavení post processingu

Na meranie prevýšení metódou GPS som použil elipsoidickú výškovú z vypočítanej priestorovej polohy bodov v súradnicovom systéme ETRS89. Výpočet prvej observácie sa uskutočnil na bodoch P2, S4, 325, P4 a 110 dňa 26.09.2010. Na bodoch boli uskutočnené dve merania s časovým odstupom 2 hodín. Z priemeru prevýšení z dvoch meraní dostávam výsledné prevýšenie. Za referenčnú stanicu som postupne zvolil stanice TUBO, VRS a referenčné stanice na bodoch P2 a P4.

Referenčná stanica : TUBO				
číslo bodu	**$_eH$ č.1/ [m]**	**$_eH$ č.2/ [m]**	**Δ $_eH$ [m]**	
TUBO	324,2737	324,2737	0,0000	
110	340,8892	340,8861	0,0031	
325	341,4304	341,4397	-0,0093	
P2	340,4223	340,4269	-0,0046	
S4	346,8964	346,9052	-0,0088	
P4	399,1974	399,1902	0,0072	
prevýšenie	**h č.1/ [m]**	**h č.2/ [m]**	**Δh [m]**	**priemer**
$h_{325,P2}$	-1,0081	-1,0128	0,0047	-1,0105
$h_{S4,P2}$	-6,4741	-6,4783	-0,0042	-6,4762
$h_{110,P4}$	58,3082	58,3041	0,0041	58,3062

Tab.8.3. Výpočet prevýšení z referencie na bode TUBO

Referenčná stanica : VRS				
číslo bodu	**$_eH$ č.1/ [m]**	**$_eH$ č.2/ [m]**	**Δ $_eH$ [m]**	
VRS	360,0001	360,0001	0,0000	
110	340,9132	340,8940	0,0192	
325	341,4493	341,4419	0,0074	
P2	340,4400	340,4295	0,0105	
S4	346,9164	346,9057	0,0107	
P4	399,1807	399,1654	0,0153	
prevýšenie	**h č.1/ [m]**	**h č.2/ [m]**	**Δh [m]**	**priemer**
$h_{325,P2}$	-1,0093	-1,0124	0,0031	-1,0109
$h_{S4,P2}$	-6,4764	-6,4762	-0,0002	-6,4763
$h_{110,P4}$	58,2675	58,2714	-0,0039	58,2695

Tab. 8.4. Výpočet prevýšení z virtuálnej referencie

Referenčná stanica : bod P4 a P2				
číslo bodu	**$_eH$ č.1/ [m]**	**$_eH$ č.2/ [m]**	**Δ $_eH$ [m]**	
P4	398,4269	398,4269	0,0000	
110	340,1494	340,1708	-0,0214	
prevýšenie	**h č.1/ [m]**	**h č.2/ [m]**	**Δh [m]**	**priemer**
$h_{110,P4}$	58,2775	58,2561	0,0214	58,2668
číslo bodu	**$_eH$ č.1/ [m]**	**$_eH$ č.2/ [m]**	**Δ $_eH$ [m]**	
P2	340,3833	340,3833	0,0000	
325	341,3982	341,3906	0,0076	
S4	346,8522	346,8713	-0,0191	
číslo bodu	**$_eH$ č.1/ [m]**	**$_eH$ č.2/ [m]**	**Δ $_eH$ [m]**	**priemer**
$h_{325,P2}$	-1,0149	-1,0073	-0,0076	-1,0111
$h_{S4,P2}$	-6,4689	-6,4880	0,0191	-6,4784

Tab.8.5. Výpočet prevýšení z referencie na bodoch P2 a P4

Δh	**$\Delta h = h_{TUBO} - h_{VRS}$ [m]**	**$\Delta h = h_{TUBO} - h_{P2(P4)}$ [m]**	**$\Delta h = h_{VRS} - h_{P2(P4)}$ [m]**
$\Delta h_{325,P2}$	0,0004	0,0006	0,0002
$\Delta h_{S4,P2}$	0,0001	0,0022	0,0021
$\Delta h_{110,P4}$	0,0367	0,0394	0,0027

Tab. 8.6. Pre posúdenie vonkajšej presnosti meraných prevýšení metódou GPS z rozdielu prevýšení na referenciách TUBO, VRS , P2 a P4

Druhá observácia prebiehala na bodoch P2, 325, S4 dňa 06.04.2011. Na bodoch boli uskutočnené dve merania s časovým odstupom. Z priemeru prevýšení z dvoch meraní dostávam výsledné prevýšenie. Rovnako ako v predošlom meraní prevýšenia porovnávam vzhľadom k referencií k bodom TUBO, VRS a bodu P2.

Referenčná stanica : TUBO				**Spôsob riešenia**
číslo bodu	**$_eH$ č.1/ [m]**	**$_eH$ č.2/ [m]**	**Δ $_eH$ [m]**	
TUBO	324,2723	324,2723	0,0000	L1+L2
325	341,4355	341,5259	-0,0904	L1+L2
S4	346,8974	346,9904	0,0930	L1+L2
P2	340,4301	340,5689	-0,1388	1. L1+L2, 2. float
prevýšenie	**h č.1/ [m]**	**h č.2/ [m]**	**Δh [m]**	**priemer**
$h_{325,P2}$	-1,0054	-0,9570	-0,0484	-1,0054
$h_{S4,P2}$	-6,4673	-6,4215	-0,0458	-6,4673
Referenčná stanica : VRS				**Spôsob riešenia**
číslo bodu	**$_eH$ č.1/ [m]**	**$_eH$ č.2/ [m]**	**Δ $_eH$ [m]**	
VRS	300,0000	300,0000	0,0000	L1+L2
325	341,3949	341,2938	0,0237	L1+L2
S4	346,7803	346,7671	0,0132	L1+L2
P2	340,3115	340,2852	0,0371	L1+L2
prevýšenie	**h č.1/ [m]**	**h č.2/ [m]**	**Δh [m]**	**priemer**
$h_{325,P2}$	-1,0060	-1,0086	0,0026	-1,0073
$h_{S4,P2}$	-6,4688	-6,4819	0,0131	-6,4754
Referenčná stanica : P2				**Spôsob riešenia**
číslo bodu	**$_eH$ č.1/ [m]**	**$_eH$ č.2/ [m]**	**Δ $_eH$ [m]**	
P2	339,7987	339,7987	0,0000	L1+L2
325	340,7964	340,8083	-0,0119	L1+L2
S4	346,2696	346,2703	-0,0004	L1+L2
prevýšenie	**h č.1/ [m]**	**h č.2/ [m]**	**Δh [m]**	**priemer**
$h_{325,P2}$	-0,9977	-1,0096	0,0119	-1,0037
$h_{S4,P2}$	-6,4709	-6,4716	0,0007	-6,4713

Tab. 8.7. Výpočet prevýšení z elipsoidických výšok pre referenčné stanice TUBO,VRS a P2

Δ h	$\Delta h = h_{TUBO}-h_{VRS}$ [m]	$\Delta h = h_{TUBO}-h_{P2}$ [m]	$\Delta h = h_{VRS}-h_{P2}$ [m]
$\Delta h_{325\,,\,P2}$	0,0019	-0,0017	-0,0036
$\Delta h_{S4\,,\,P2}$	0,0081	0,0040	-0,0041

Tab. 8.8. Rozdiely prevýšení z referenčných staníc TUBO a VRS, TUBO a P2, VRS a P2

Meraním na bodoch P2, S4 a 325 v dvoch etapách. Nultej etape 26.9.2010 a prvej etape 06.04.2011 mi umožňuje porovnať výškové rozdiely namerané rýchlou statickou metódou merania GPS v septembri 2010 a apríli 2011.

Referencia:TUBO			
h	**0. etapa**	**1. etapa**	**Δ h [m]**
$h_{325,P2}$	-1,0105	-1,0054	-0,0051
$h_{S4,P2}$	-6,4762	-6,4673	-0,0089
Referencia:VRS			
h	**0. etapa**	**1. etapa**	**Δ h [m]**
$h_{325\,,\,P2}$	-1,0109	-1,0073	-0,0036
$h_{S4\,,\,P2}$	-6,4763	-6,4754	-0,0009
Referencia:P2			
h	**0. etapa**	**1. etapa**	**Δ h [m]**
$h_{325\,,\,P2}$	-1,0111	-1,0037	-0,0074
$h_{S4\,,\,P2}$	-6,4784	-6,4713	-0,0072

Tab. 8.9. Rozdiel prevýšení medzi etapami meranými v septembri 2010 a apríly 2011

Z posúdenia medzi etapami vyplynulo, že prevýšenie medzi sledovanými bodmi v lokalite vodného zdroja vykázalo pokles ale nemôžeme s istotou tvrdiť, že k nemu došlo pre malý počet etáp.

Druhú časť GPS merania na experimentálnej sieti v Tetčiciach predstavovala observácia na bodoch Sanchézovej metódy a bode P6. Dňa 20.04.2011 sa uskutočnila nultá etapa rýchlou statickou metódou na bodoch P5 (bod stabilizovaný medzníkom pri vodárni), P6 (pilier pri vodárni) a P4 (pilier pri kaplnke Sv. Trojice). Na bodoch bolo vykonané jedno meranie bez opakovania, tým pádom nedostávame diferencie medzi meraniami na bodoch ale rovno prevýšenia pre každú referenciu. Rovnako ako v predošlom meraní prevýšenia porovnávame vzhľadom k referencií TUBO, VRS a S5.

Referenčná stanica: TUBO		**Referenčná stanica: VRS**		**Referenčná stanica: S5**	
prevýšenie	h / [m]	prevýšenie	h / [m]	prevýšenie	h / [m]
$h_{P4\,,\,S5}$	3,9575	$h_{P4\,,\,S5}$	4,0066	$h_{P4\,,\,S5}$	3,9864
$h_{P4\,,\,P6}$	7,0602	$h_{P4\,,\,P6}$	7,1332	$h_{P4\,,\,P6}$	7,1057
$h_{P6\,,\,S5}$	-3,1027	$h_{P6\,,\,S5}$	-3,1266	$h_{P6\,,\,S5}$	-3,1193

Tab. 8.10. Výpočet prevýšení z referencie na bode TUBO a VRS

Pre posúdenie vonkajšej presnosti meraných prevýšení metódou GPS z rozdielu prevýšení na referenciách TUBO , VRS , S5 je znázornené v (Tab. 8.11.).

Δh	**$\Delta h = h_{TUBO} - h_{VRS}$ [m]**	**$\Delta h = h_{TUBO} - h_{S5}$ [m]**	**$\Delta h = h_{VRS} - h_{S5}$ [m]**
$\Delta h_{P4\,,\,S5}$	-0,0392	-0,0290	0,0102
$\Delta h_{P4\,,\,P6}$	-0,0713	-0,0456	-0,0257
$\Delta h_{P6\,,\,S5}$	0,0239	0,0166	-0.0073

Tab. 8.11. Rozdiely prevýšení získané medzi referenciami na TUBO,VRS a S5

V poradí druhé meranie (1 Etapa) na bodoch Sanchézovej metódy sa uskutočnilo dňa 15.3.2012. Meranie prebiehalo na bodoch P4 (pilier pri kaplnke Sv. Trojice), S6 (bod Sanchéz v údolí medzi Tetčicami a Rosicami) a bode S5 (medzníkom stabilizovaným na kopci pri vodárni). Použitá bola rýchla statická metóda s dobou observácie 1,5 h pri frekvencií záznamu údajov 1 sekunda. Na bodoch bolo uskutočnené jedno meranie bez opakovania. Výpočet prebiehal pre zvolenú referenčnú stanicu na bode S5. Pri meraní som požil aparatúry typu Leica SR520-530 s anténou AT502 a Leica 900CS s anténou ATX900CS GG. Rozdielom oproti predošlým meraniam predstavuje fakt, že anténa ATX900CS GG dokáže prijímať údaje okrem družíc systému NAVSTAR GPS aj údaje z družíc ruského systému GLONASS, čo zvyšuje polohovú aj výškovú presnosť merania.

Referenčná stanica: S5	
prevýšenie	h / [m]
$h_{S5.,.P4}$	-3,9933
$h_{P4\,,\,S6}$	-55,5253
$h_{S6\,,\,S5}$	59,5186

Tab. 8.12. Výpočet prevýšení z referencie na bode S5 dňa 15.3.2012

Referencia: S5			
h	**0. etapa**	**1. etapa**	**Δh [m]**
$h_{S5\,,\,P4}$	-3,9865	-3,9933	-0,0068

Tab. 8.13 Rozdiely prevýšení získané medzi etapami s referenčnou stanicou na bode S5

Očakávaná presnosť pri rýchlej statickej metóde je 10 mm+1ppm v priestorovej polohe bodu. Dosiahnuté rozdiely v prevýšení medzi meraniami na jednotlivých referenciách dosiahli hodnôt v rozmedzí 0,9 mm až 71,3 mm. Pri porovnaní výsledkov získaných z referenčných staníc TUBO, VRS a lokálnej referencie som dospel k zisteniu, že najpresnejšie výsledky vykazuje VRS a lokálna referencia. Potvrdil sa tak predpoklad pre zhoršenie presnosti výpočtu priestorovej polohy so zväčšujúcou sa vzdialenosťou od referenčnej stanice s narastajúcou dĺžkou počítaného vektora. Pri výpočtoch z bodu TUBO vzdialeného približne 15 km boli z vyrovnania siete zistené najväčšie stredné chyby na meraných bodoch.

9. POSÚDENIE NAMERANÝCH PREVÝŠENÍ VOČI PREVÝŠENIAM Z PN

Medzi obdobiami marec 2010 až apríl 2011 sa v lokalite výškovej siete v Tetčiciach uskutočnilo etapové meranie na výškovom polygóne. Metóda presnej nivelácie dosahuje z použitých metód najvyššiu presnosť a preto namerané prevýšenia touto metódou som použil ako východiskové hodnoty pre určenie odchýlok prevýšení. K jej výsledkom sa budú porovnávať výsledné prevýšenia z trigonometrického merania prevýšení a merania prevýšení metódou GPS. Z etapového merania sa vybrali hodnoty prevýšení merané v novembri 2010 a apríly 2011.[27]

Bod 302 z nivelačného polygónu predstavoval zrovnávaciu rovinu od ktorej sa odvodzovali prevýšenia vo výškovom polygóne.

Bod	november 2010/ [m]	apríl 2011/ [m]
302	0,0000	0,0000
325	0,8999	0,9005
Ocd-17.3	2,2303	2,2298
322.2	2,4733	2,4706
P2	-0,3247	-0,3237
110	0,3579	0,3579

Tab. 9.1. Vypočítané prevýšenia z presnej nivelácie vztiahnuté k bodu 302

Presnou niveláciou sme určili prevýšenie medzi čapovou nivelačnou značkou s označením Ocd-17.3 osadenej v dolnej časti skalného brala pri soche Sv. Nepomuckého a nivelačným bodom S4 (bod Nepomucký, ktorý je súčasťou geologickej siete Morava) osadeným na vrchu skalného brala. Presnou niveláciou bolo taktiež zamerané prevýšenie medzi šróbom na hlave piliera P2 a čapovou nivelačnou značkou umiestnenou z boku na pilieri P2. Pri meraní prevýšenia sme splnili požadovanú medznú hodnotu merania tam a späť.

Prevýšenie	november 2010 / [m]
Nivelačná značka na piliery P2 a vrch šróbu na P2	0,2212
Ocd-17.3 - S4	4,1407

Tab. 9.2. Merané prevýšenia medzi bodom Ocd-17.3 a bodom Nepomucký a prevýšenia šróbu od nivelačnej značky na pilieri P2

Následne sme mohli spočítať prevýšenia medzi určovanými bodmi S4, P2, 325, 322.2 a 110.

Prevýšenie	november 2010 / [m]	apríl 2011 / [m]
$h_{P2,S4}$	6,4745	6,4730
$h_{325,S4}$	5,4711	5,4700
$h_{325,P2}$	-1,0034	-1,0030
$h_{Ocd\text{-}17.3,325}$	1,3304	1,3293
$h_{110,322.2}$	2,1154	2,1127

Tab. 9.3. Výsledné prevýšenia medzi bodmi výškového polygónu v dvoch etapách

Pre priame porovnanie meraných prevýšení PN voči trigonometrickej metóde vyhovujú tri prevýšenia a to $h_{P2\ ,\ 325}$; $h_{P2\ ,\ S4}$ a $h_{110\ ,\ 322.2}$. Ich rozdiely v dvoch etapách meraní sú znázornené v (Tab. 9.4.).

0. Etapa / september 2010			
Prevýšenie	**PN / [m]**	**Trigonometria / [m]**	**Δh / [m]**
$h_{P2,325}$	1,0034	1,0003	0,0031
$h_{P2,S4}$	6,4745	6,4764	-0,0019
1. Etapa / apríl 2011			
Prevýšenie	**PN / [m]**	**Trigonometria / [m]**	**Δh / [m]**
$h_{P2,325}$	1,0030	0,9975	0,0055
$h_{P2,S4}$	6,4730	6,4657	0,0073
$h_{110,322.2}$	2,1127	2,1066	0,0061

Tab. 9.4. Rozdiely prevýšení merané PN a trigonometricky v dvoch etapách

Pre priame porovnanie meraných prevýšení PN voči prevýšeniam meraným metódou GPS v 2 etapách vyhovujú dve prevýšenia a to $h_{P2,325}$; $h_{P2,S4}$.

Prevýšenie	0. etapa / september 2010			1. etapa / apríl 2011		
Metóda	**PN/[m]**	**GPS-TUBO/[m]**	**Δh [m]**	**PN/[m]**	**GPS-TUBO/[m]**	**Δh [m]**
$h_{P2,325}$	1,0034	1,0105	-0,0071	1,0030	1,0053	-0,0023
$h_{P2,S4}$	6,4745	6,4761	-0,0016	6,4730	6,4673	0,0057
Prevýšenie	0. etapa / september 2010			1. etapa / apríl 2011		
Metóda	**PN/[m]**	**GPS-VRS/[m]**	**Δh [m]**	**PN/[m]**	**GPS-VRS/[m]**	**Δh [m]**
$h_{P2,325}$	1,0034	1,0108	-0,0074	1,0030	1,0073	-0,0043
$h_{P2,S4}$	6,4745	6,4763	-0,0018	6,4730	6,4754	-0,0024
Prevýšenie	0. etapa / september 2010			1. etapa / apríl 2011		
Metóda	**PN/[m]**	**GPS-P2/[m]**	**Δh [m]**	**PN/[m]**	**GPS-P2/[m]**	**Δh [m]**
$h_{P2,325}$	1,0034	1,0111	-0,0077	1,0030	1,0036	-0,0006
$h_{P2,S4}$	6,4745	6,4784	-0,0039	6,4730	6,4713	0,0017

Tab. 9.5. Rozdiely prevýšení merané PN a metódou GPS v dvoch etapách pri vodnom zdroji v Tetčiciach

Prevýšenia voči metóde PN boli porovnávané s prevýšeniami z GPS merania v troch rozličných variantách výpočtu pre prevýšenia vypočítané z referenčných staníc TUBO, piliera P2 a virtuálnej referenčnej stanice zo sieťového riešenia.

Prevýšenia z GPS merania boli porovnávané s prevýšeniami z trigonometrie v troch rozličných variantách výpočtu pre prevýšenia vypočítané z referenčných staníc TUBO, piliera P2 a virtuálnej referenčnej stanice zo sieťového riešenia.

0. Etapa 20.4.2011			
Prevýšenie	**GPS-TUBO / h [m]**	**Trigonometria / h [m]**	**Δh / [m]**
$h_{110,P4}$	58,3015	58,2592	0,0423
$h_{P4,P6}$	7,0602	7,1119	-0,0517
Prevýšenie	**GPS-VRS / h [m]**	**Trigonometria / h [m]**	**Δh / [m]**
$h_{110,P4}$	58,2632	58,2592	0,0040
$h_{P4,P6}$	7,1315	7,1119	0,0196
Prevýšenie	**GPS-P4 / h [m]**	**Trigonometria / h [m]**	**Δh / [m]**
$h_{110,P4}$	58,2668	58,2592	0,0076
Prevýšenie	**GPS-S5 / h [m]**	**Trigonometria / h [m]**	**Δh / [m]**
$h_{P4,P6}$	7,1058	7,1119	-0,0061

Tab. 9.6. Určené rozdiely v prevýšení medzi GPS metódou v troch variantách výpočtu a trigonometriou

Na bodoch Sanchézovej metódy mohli byť prevýšenia porovnávané len medzi výpočtom prevýšenia z GPS merania a trigonometrickým meraním prevýšenia. V nultej etape 20.4.2011 bolo určené prevýšenie medzi bodmi P4 – P6 a S5 – P4. Na bode S6 (Sanchéz) sa observácia neuskutočnila. Porovnanie prebiehlo pre referenčnú stanicu zvolenú na bodoch TUBO, VRS a bode experimentálnej siete S5. V prvej etape dňa 15.3.2012 je observované už na všetkých bodoch Sanchézovej metódy a výpočet sa uskutočnil z referenčnou stanicou umiestnenou na bode S5.

0. etapa 20.4.2011			
Prevýšenie	**S5 / h [m]**	**Trigonometria / h [m]**	**Δh / [m]**
$h_{S5,P4}$	-3,9865	-4,0033	0,0168
$h_{P4,S6}$	-	-55,5116	-
$h_{S6,S5}$	-	59,5149	-
$h_{P4,P6}$	-7,0951	-7,1119	0,0168
1. etapa 15.3.2012			
Prevýšenie	**S5 / h [m]**	**Trigonometria / h [m]**	**Δh / [m]**
$h_{S5,P4}$	-3,9933	-4,0062	0,0129
$h_{P4,S6}$	-55,5251	-55,5053	-0,0198
$h_{S6,S5}$	59,5161	59,5115	0,0046
$h_{P4,P6}$	-7,105	-7,1179	0,0129

Tab. 9.7. Určené rozdiely v prevýšení medzi GPS meraním a trigonometriou v 2 etapách

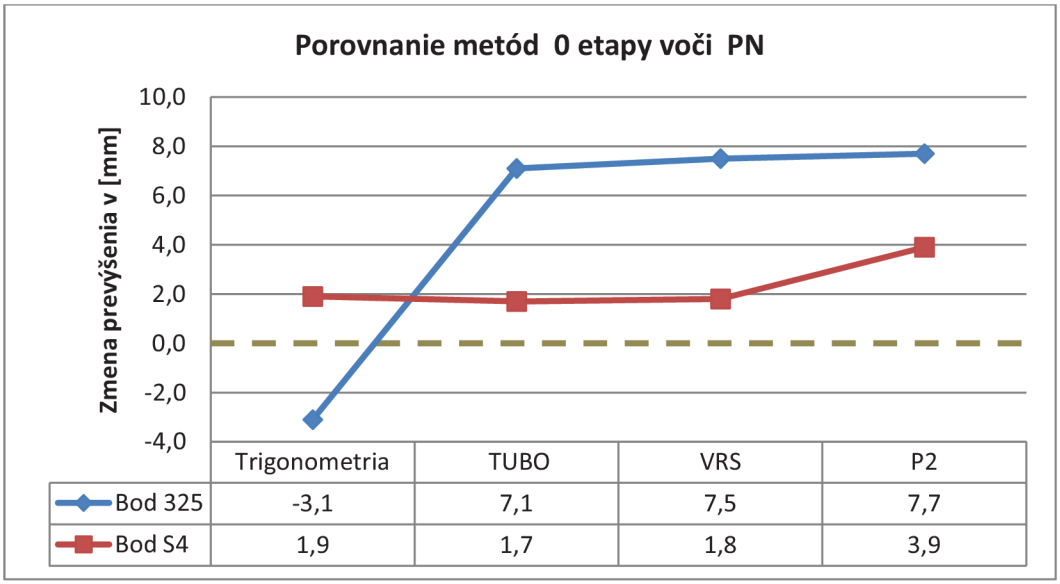
Následne som spočítali pre trigonometriou a meranie GPS rozdiely etáp.

Trigonometria			GPS /S5		
0. etapa	1. etapa	Δh / [m]	0. etapa	1. etapa	Δh / [m]
-4,0033	-4,0062	0,0029	-3,9865	-3,9933	0,0068
-55,5116	-55,5053	-0,0063	-	-55,5251	-
59,5149	59,5115	0,0034	-	59,5161	-
-7,1119	-7,1179	0,006	-7,0951	-7,105	0,0099

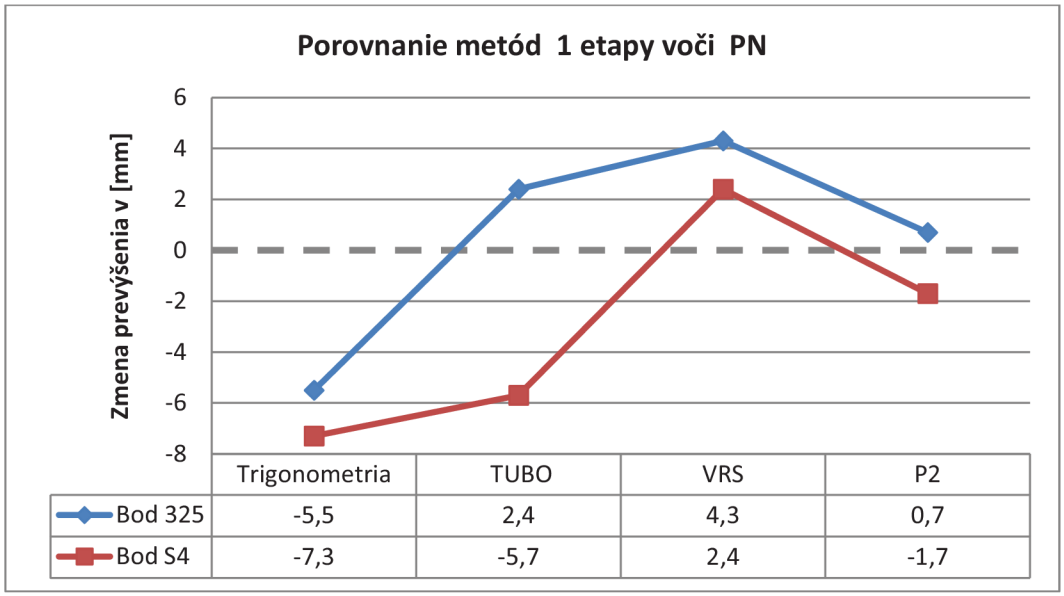
Tab. 9.8. Výškové rozdiely medzi 2 etapami pre metódu trigonometrie a GPS

9.1. Grafické znázornenie výsledkov merania

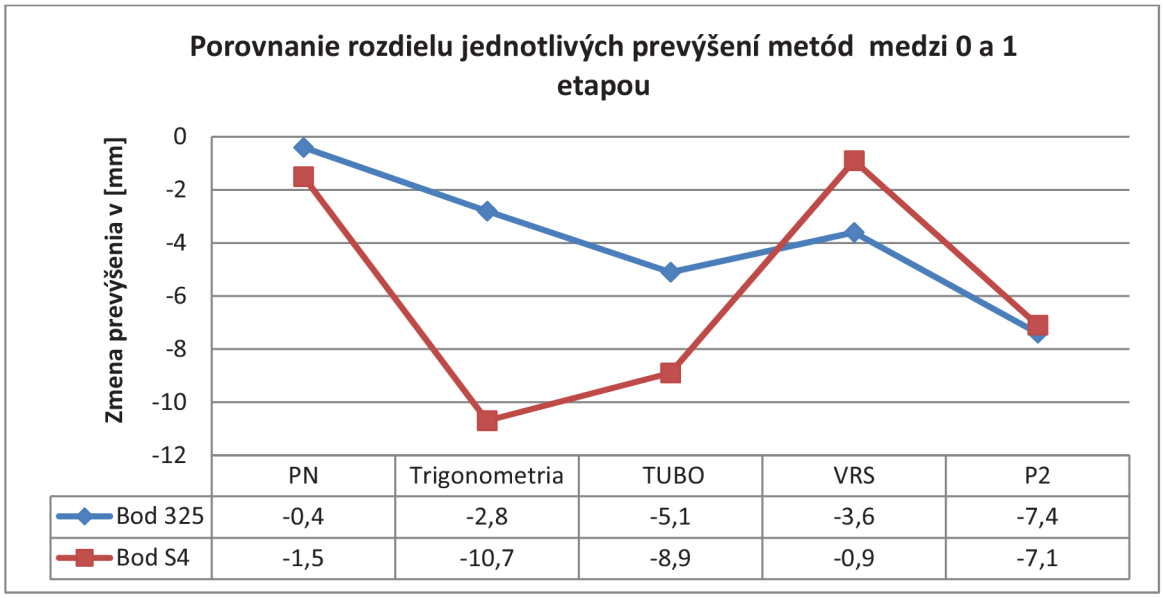
Výsledné grafické znázornenie je realizované pre body S4 a 325 pri vodnom zdroji v Tetčiciach. Rozdiely sú počítané od bodu P2. Ich znázornenie je realizované v prehľadnej mape výsledkov porovnania metód v programe Microstation 5.0. v prílohe č.1.



Graf 9.1. Znázornenie rozdielu metód od PN v 0 etape na bodoch 325 a S4

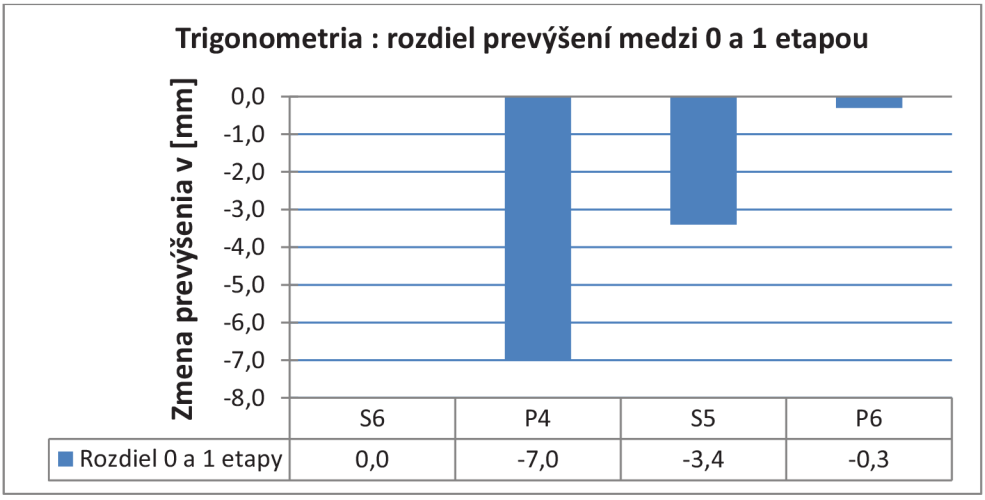


Graf 9.2. Znázornenie rozdielu metód od PN v 1 etape na bodoch 325 a S4

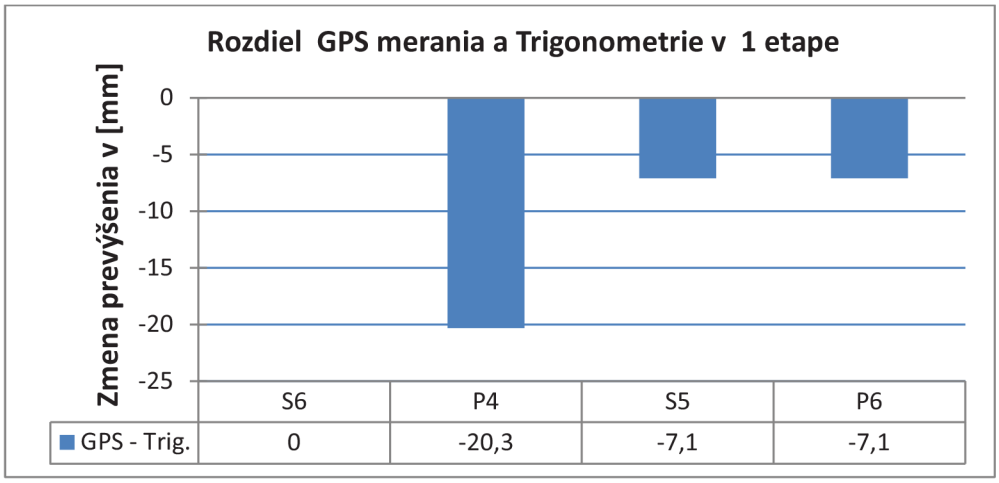


Graf 9.3. Znázornenie rozdielu jednotlivých metód medzi 0 a 1 etapou na bodoch 325 a S4

Z posúdenia medzi metódami vyplynulo, že určenie výškových pohybov z GPS merania a trigonometrie je z hľadiska ich presnosti zavádzajúce a ich značné kolísanie je spôsobené radou systematických chýb a uvedenou presnosťou, ktorá nám nepostačuje na sledovanie výškových posunov na jednotlivých bodoch. Grafické znázornenie porovnania metód merania prevýšenia je vztiahnuté k bodu S6 pre body Sanchézovej metódy P4, S5 a bod P6.



Graf 9.4. Znázornenie rozdielu 0 a 1 etapy trigonometricky meraného prevýšenia na bodoch P4, S5, P6



Graf 9.5. Znázornenie rozdielu 0 a 1 etapy trigonometricky meraného prevýšenia na bodoch P4, S5, P6

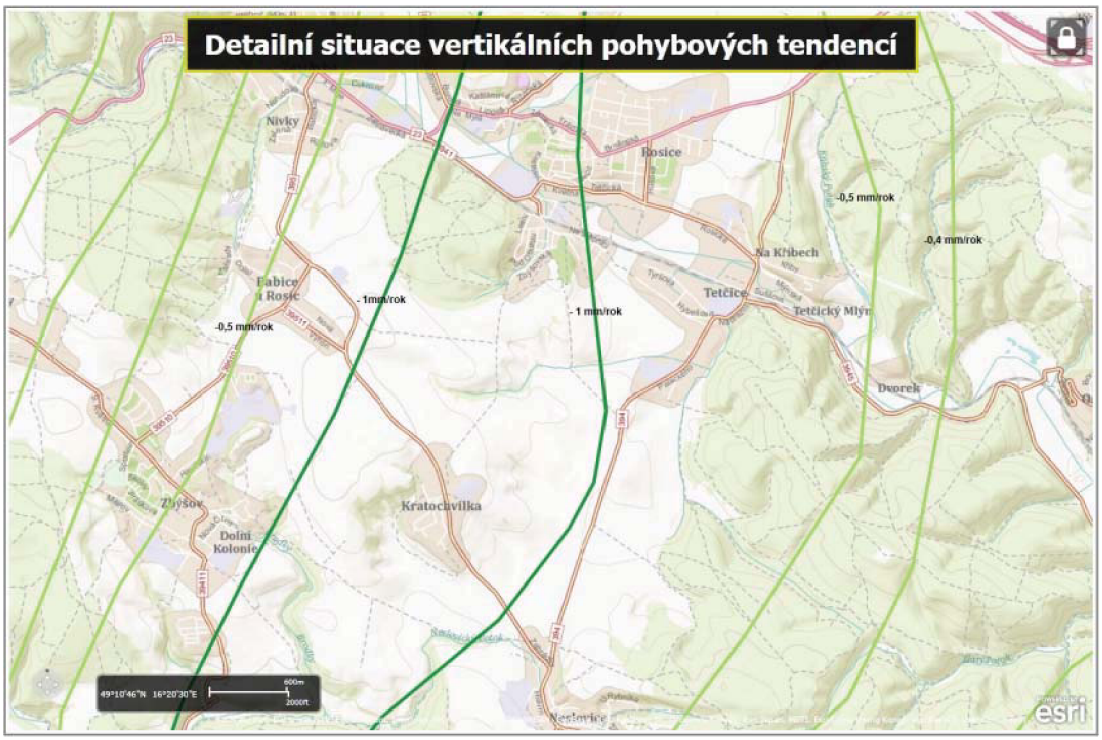
Z porovnania trigonometrického merania prevýšenia v dvoch etapách mi vyšla najväčšia odchýlka na bode P4 pri kaplnke Sv. Trojice. Prevýšenie na bod P4 bolo merané cez údolie o dĺžke 2 km. Z vplyvu systematických chýb a chýb prostredia, taktiež vplyvu sadania a opätovného zdvihu terénu pri striedaní sa ročných období sa nedá posúdiť či došlo k vertikálnemu pohybu na bode. Z geologického hľadiska tvoria okolie kaplnky Sv. Trojice vrstvy ílovcov, koré pri daždi boptnajú a dochádza tak k nepredvídateľným zdvihom a poklesom v realtívne krátkom časovom úseku. V oblasti vodárne je podložie zložené z granodioritov brnenského masívu čo vykazuje výškovú stabilitu ako je to možné pozorovať z výsledkov trigonometrie.

Porovnaním GPS merania prevýšenia a trigonometricky zameraného prevýšenia v 1 etape merania na bodoch Sanchézovej metódy som dostal rozdiely vo výške do 2 cm na bode P4. Čo môže byť vyvolané obdobnými chybami ako u rozdielu trigonometrických meraní prevýšenia.

Zo vzájomného porovnania jednotlivých metód merania prevýšenia na bodoch experimentálnej siete v Tetčiciach som mohol pozorovať výškové zmeny v jednotlivých etapách, ktoré pri porovnaní GPS metódy merania prevýšenia voči meraniu presnou niveláciou nadobúdali len malé výškové odchýlky v rozmedzí od 0,6 mm až po 7,4 mm. Pri porovnaní presnej nivelácie s trigonometricky meranými prevýšeniami sa ich rozdiely pohybovali v rozmedzí od 1,8 mm až po 10 mm na bodoch v blízkosti vodného zdroja v Tetčicach. Pre trigonometrické meranie prevýšenia to predstavuje očakávanú presnosť

merania v medziach presnosti až na prevýšenie medzi bodmi P2 – S4 v prvej etape merania, kde bola prekročená medzná odchýlka. Porovnaním prevýšení z GPS metódy merania a trigonometrického merania prevýšenia sme meraním na bodoch P2, S4 a 325 v dvoch etapách merania dosiahli výškové rozdiely v hodnotách od 0,1 mm až po 13,9 mm. Pri meraní na dlhšie vzdialenosti cez údolie medzi obcami Tetčice a Rosice sa výškové rozdiely merania prevýšenia medzi bodmi P4 a P6 pohybovali v rozmedzí 3,6 mm až 72,5 mm. Značný vplyv na to mali systematické chyby hlavne u metódy trigonometrického merania prevýšenia na 2 km zámere cez údolie medzi kaplnkou Sv. Trojice a vodárňou na Křibech. Z nezávislého porovnania v rámci jednotlivých metód v 2 etapách merania bola pozorovaná záporná výšková zmena na všetkých pozorovaných bodoch. V rámci metód sa ich veľkosť líšila ale všetky mali klesajúcu tendenciu.

Podľa mapy vertikálnych recentných pohybov ČR je určený ročný pokles územia od -0,4 mm až po -1,0 mm vo východnej časti prechodového zlomu



Obr. 9.1. Detailná mapa vertikálnych recentných posunov v záujmovej lokalite Tetčice [26]

10. VÝPOČET VÝŠKY BODU BUČÍN INTERPOLÁCIOU Z VÝŠOK KVÁZIGEOIDU

Určenie výšky bodov na vrcholoch kopcov pre vysoké prevýšenia na krátke vzdialenosti je z hľadiska ekonomického aj praktického nevhodné určovať metódou presnej nivelácie. Výšky bodov na vrcholoch kopcov sa najčastejšie počítajú zo smerového pretínania zo známych súradníc bodov v S-JTSK. No takto získaná výška je len orientačná a neslúži nám na presné merania. Preto využívame napríklad metódu trigonometrického merania výšok, ktorá je však závislá od vhodných poveternostných podmienok pre vplyv refrakcie na merané uhly a dosahu diaľkomera na meranie šikmej dĺžky. Taktiež musíme pri meraní na vzdialenosti nad 3km poznať tiažnicové odchýlky na jednotlivých bodoch. Metódu je však možné použiť len na malom počte bodov, nakoľko väčšina bodov určovaných na kopcoch sa nachádza v zalesnenom území a nie je možnosť priamej zámery na daný bod. Preto som zvolil ako najvhodnejšiu metódu určenia výšky interpoláciu z výšok kvázigeoidu.

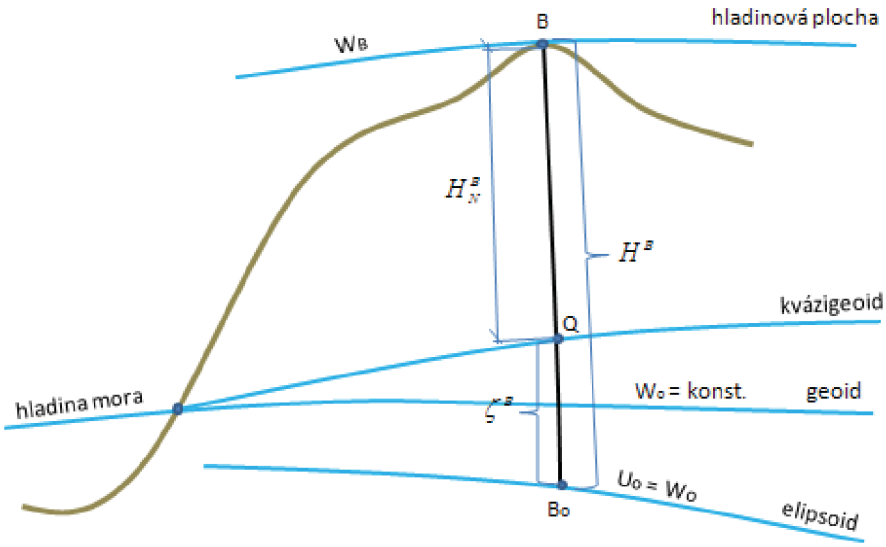
Kvázigeoid je pomocná plocha, ktorú vytvoril M. S. Molodenskij a je aplikovaná hlavne pri prepočte elipsoidických výšok na výšky normálne odvodením z Molodenského teórie výšok. M. S. Molodenskij prišiel na myšlienku rozdeliť geodetickú výšku H^B na dve výšky zavedením novej pomocnej plochy kvázigeoidu. Vzdialenosť od kvázigeoidu po bod na Zemi nazval normálnou výškou bodu a dokázal, že sa dá určiť z nivelačných a tiažových meraní. Vzdialenosť ζ^B je **anomália výšky** (prevýšenie kvázigeoidu nad elipsoidom). Z kombinácie GPS meraní a nivelácie vieme určiť výšku kvázigeoidu zo vzťahu:

$$\zeta^B = H^B - H_N^B \tag{10.1}$$

Predstavuje rozdiel geodetickej a normálnej výšky. Elipsoidickú výšku v súradnicovom systéme ETRS89 získame z GPS merania a normálnu (Molodenského) výšku z nivelačného merania. Ak chceme určiť prevýšenie kvázigeoidu medzi dvoma bodmi potrebujeme poznať rozdiel normálnych výšok z nivelácie a elipsoidických výšok z GPS merania znázornených vzorcom (10.2).

$$\Delta\zeta = H^B - H^A - \left(H_N^A - H_N^B\right) = \Delta H^{A,B} - \Delta H_N^{A,B} \tag{10.2}$$

Pre určenie tzv. "lokálneho kvázigeoidu" sa na území malého plošného rozsahu s takto určených výšok na niekoľkých bodoch preloží aproximačný polynóm vhodného stupňa. Pomocou takto vzniknutej aproximačnej plochy som potom schopný vypočítať interpoláciou výšku ktoréhokoľvek bodu v záujmovom území. [23] [24]



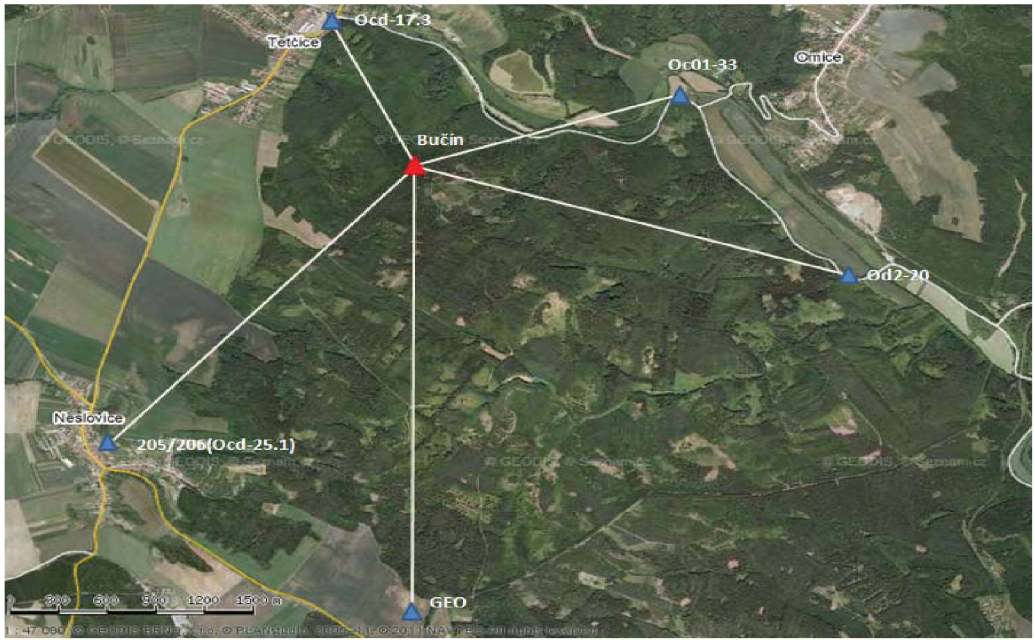
Obr. 10.1. Znázornenie normálnej výšky H_N^B, geodetickej výšky H^B a anomálie výšky ζ^B podľa Molodenského

10.1. Postup pri výpočte metódy

Pre určenie výšky bodu P5 (Bučín) vo výškovom systéme Bpv, ktorý sa nachádza na rovnomennom kopci potrebujem poznať elipsoidickú výšku, ktorú získam z meraní GPS rýchlou statickou metódou a normálnu výšku bodov získanú niveláciu vo výškovom systéme Bpv. Merania sa uskutočnili na piatich bodoch vhodne zvolených na účely plošnej interpolácie výšky bodu Bučín. GPS observácia bola uskutočnená 18.4.2011 na bodoch Oc01 – 33 (nivelačná značka železničného nivelačného ťahu), bod číslo 251 na kameni pri ceste a bode GEO č. 000943070230 siete Dopnull. Baltská výška bodu *000943022510* sa odvodila z merania PN na podzemnú nivelačnú značku Od2 – 20. Merané údaje o zvyšných dvoch bodoch 205/206 (bod na profile Neslovice), ktorého výška je odvodená z nivelačnej značky Ocd-25.1 na pošte v Nesloviciach a Ocd-17.3 (čapová nivelačná značka na skale pod sochou Sv. Nepomuckého) mám k dispozícii z predošlého merania realizovaného v roku 2009. Body z merania dňa 18.4.2011 boli zamerané dvoj frekvenčnou aparatúrou Trimble 5700 s anténou typu Trimble Zephyr Geodetic. Ostatné

body boli zamerané aparatúrou Leica System SR520 s anténou LEIAT502. Elipsoidickú výšku bodu Bučín som prevzal z merania 24 hodinovej observácie aparatúrou Leica System SR520 s anténou LEIAT502.

Výpočet elipsoidických výšok sa realizoval metódou post processingu. meraných údajov rýchlej statickej metódy spočítaním priestorového vektora na bod TUBO a VRS.



Obr. 10.2. Grafické znázornenie interpolácie výšky bodu P5 (Bučín) na ortofotomape

Obr. 10.3. Rýchla statická observácia vľavo na bode 000943022510 a vpravo na bode GEO (000943070023) *siete Dopnul*

Tým som získal elipsoidickú výšku na všetkých bodoch. Normálnu výšku z nivelácie vo výškovom systéme Bpv som získal z databázy výškových bodových polí ČUZK. Na bode Od2 – 20 podzemnej nivelačnej značke nemohlo byť uskutočnené GPS meranie preto sa uskutočnilo meranie na bode stabilizovanom v kamennom bloku pri ceste. Čapová nivelačná značka Od2 – 20 sa musela pre účely merania najprv vykopať a následne sa určilo metódou PN prevýšenie $h_{251,\ Od2\ -\ 20} = 0{,}4050$ m na bod pri ceste a určila sa tak jeho baltská výška.

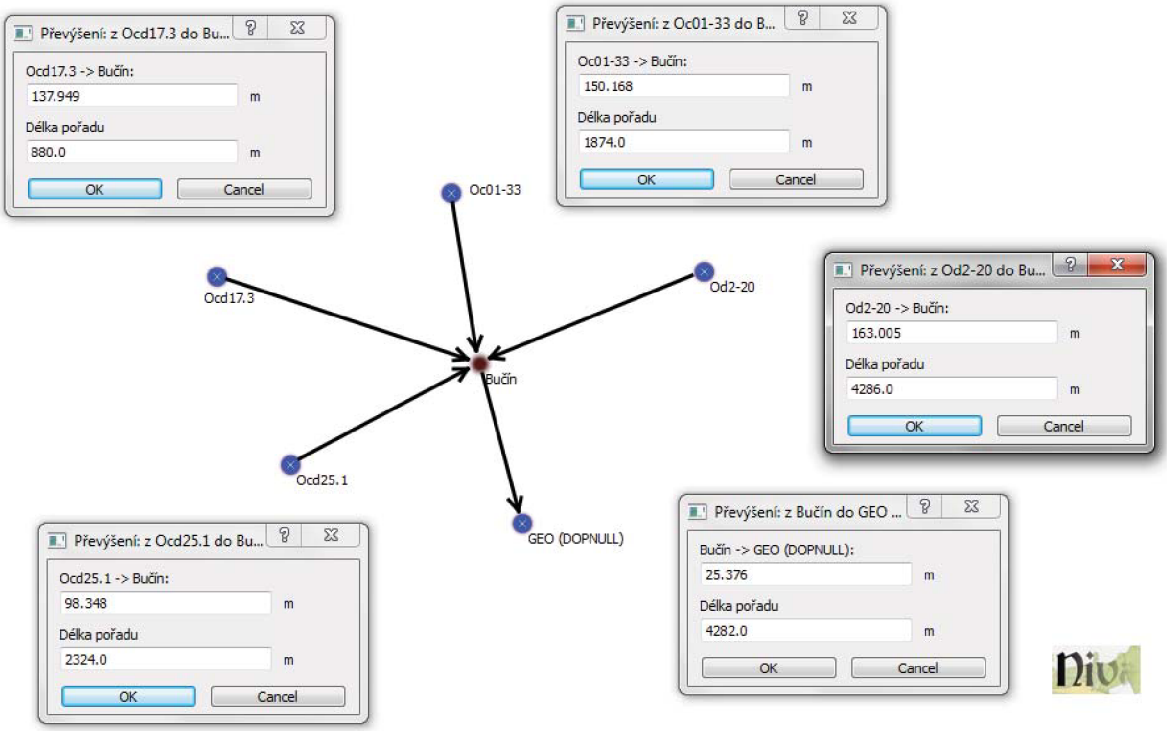
Obr. 10.4. Meranie PN na podzemnej nivelačnej značke Od2 – 20

Následne vypočítame z elipsoidických a baltských výšok výšku kvázigeoidu na jednotlivých bodoch, ktorá je zobrazená v Tab. 10.1.

Body	**H^B[m]**	**$H_N{}^B$[m]**	**ζ^B[m]**
Ocd - 17.3	297,665	342,7250	45,0600
Od2 - 20	272,609	317,5740	44,9650
Oc01 - 33	285,446	330,4538	45,0078
GEO Dopnull	460,990	506,0167	45,0267
205/206	337,266	382,2660	45,0000
Bučín	-	480,6259	-
Bučín po vyrovnaní	**435,614**	480,6259	45,0269

Tab. 10.1. Výpočet anomálie výšky na jednotlivých bodoch a výšky bodu Bučín

Na interpoláciu výšky bodu Bučín využijem MNČ. Výpočet sa realizoval v prostredí programu Niva v 0.3.7. Program bol vyvíjaný za účelom vyrovnania výškových sietí metódou sprostredkujúceho vyrovnania. Ako jednotlivé váhy slúžia vypočítané vzdialenosti od okolitých 5 bodov k bodu P5 (Bučín). Z vyrovnania anomálií na jednotlivých bodoch získavam výslednú anomáliu výšky pre bod Bučín. Rozdielom normálnej výšky a anomálie výšky na bode Bučín dostávam výšku vo výškovom systéme Bpv.



Obr. 10.5. Grafické zobrazenie vyrovnania výšky bodu Bučín v programe Niva 0.3.7.

Protokol z vyrovnania je priložený v prílohe č.6. Presnosť takto vypočítanej výšky bodu závisí od presnosti lokálneho kvázigeoidu a tá závisí vo väčšej miere od nameraných údajov z GPS merania. Pre rýchlu statickú metódu sa presnosť blíži presnosti s udávanou hodnotou 10 mm + 1ppm. Presnosť odvodenia výšky bodu závisí aj od rozloženia a počtu bodov, z ktorých sa interpoluje výška kvázigeoidu. Zhoršenie výsledku môže byť taktiež zapríčinené nepresnosťou kvázigeoidu pre veľké výškové rozdiely na teréne. V mojom prípade je však terén v danej lokalite len mierene zvlnený.

11. ZÁVER

Témou tejto práce bolo vzájomné posúdenie troch metód výpočtu merania prevýšenia na experimentálnej sieti bodov v Tetčiciach. Vzájomným porovnaním výsledkov metód presnej nivelácie, trigonometrického merania prevýšenia a metódy GPS observácie. Údaje z etapového merania presnej nivelácie na meraných bodoch som zvolil za východziu presnosť od, ktorej som porovnával trigonometrickú metódu merania prevýšenia a metódu GPS. V prípade posúdenia pohybových tendencií v danej lokalite ku geologickej stavbe územia ako názorná ukážka slúži detailná mapa recentných pohybov v lokalite Tetčice. Je v nej znázornený ročný pokles vo východnej časti zlomovej oblasti do – 1,0 mm za rok.

Pre zvolenú rýchlu statickú metódu GPS a trigonometrické meranie prevýšenia sa nedalo zaujať objektívne stanovisko k prípadným posunom, nakoľko je presnosť týchto metód rádovo nižšia oproti presnosti PN. Taktiež som nedisponoval väčším množstvom etáp, v ktorých by sa mohla daná výšková zmena preukázať alebo vyvrátiť.

Porovnaním PN a trigonometricky zameraných prevýšení z obojstranne zameraných zenitových uhlov sa odchýlky vo výške pohybovali v hodnote 1,8 – 10,7 mm na bodoch pri vodnom zdroji v obci Tetčice. Predstavuje to presnosť zodpovedajúcu danej metóde. Pri meraní prevýšenia na väčšie vzdialenosti sme porovnávali výsledky trigonometrického merania prevýšenia a GPS metódy. Dosiahli sme výškových rozdielov od 3,9 mm až po 72,5 mm na najväčšej vzdialenosti cez údolie medzi Tetčicami a Rosicami. Použitá bola geodetická metóda eliminácie vplyvu refrakčných uhlov z obojsmerne meraných zenitových a Sanchézova metóda výpočtu refrakčných uhlov. Z výsledkov sme nedosiahli očakávanú presnosť pre PN. Pre dosiahnutie lepších výsledkov splňujúcich presnosť by som použil valcové terče s čiernobielym rozlíšením pre presnejšie určenie excentricity meraného zenitového uhla. Taktiež by bolo vhodné uskutočniť merania za čo najkratšieho časového intervalu pre zníženie rozptylu refrakčných podmienok atmosféry.

Najlepšie výsledky boli dosiahnuté porovnaním PN a GPS merania na bodoch P2, 325 a S4, kde sa rozdiely pohybovali v hodnote 0,6 mm až 7,7 mm. Pre metódu GPS som dosiahol najlepšiu presnosť pre VRS a lokálnu referenciu. Hodnoty z referencie na bode TUBO boli ovplyvnené dĺžkou počítaného vektora, a preto boli zaznamenané aj väčšie odchýlky v meranej elipsoidickej výške. Pri výpočte z VRS na väčšom území boli zistené

rozdiely oproti referencií na bode TUBO a lokálnej referencií, čo mohlo mať za následok to, že VRS je počítaná z menšieho objemu údov ako má k dispozícií TUBO alebo lokálna referencia. Na to mohla mať vplyv väčšia vzdialenosť bodov od VRS a zvýšením plošného obsahu sa znížila jej presnosť.

V porovnaní medzi 0. a 1. etapou pre jednotlivé metódy bola zaznamenaná záporná výšková zmena pre všetky body, s čoho by sa dalo usudzovať, že územie vykazuje pokles. Pre malý počet etáp a určovaných bodov to však nie je preukázateľné.

V poslednej časti práce som použil metódu výpočtu výšky bodu P5 (Bučín) na rovnomennom názve kopca, ktorá bola odvodená z interpolácie z výšok kvázigeoidu. Ide o relatívne novú metódu určenia výšky bodu vo výškovom systéme Bpv s počiatkom pri vzniku GNSS technológie, ak nemôžem určiť výškový rozdiel metódou nivelácie alebo trigonometrického merania prevýšenia. Presnosť záleží hlavne na presnosti merania GPS a vplyve systematických chýb a rušivých vplyvov počas merania. Pri mojom výpočte som použil rýchlu statickú metódu merania metódou GPS s presnosťou 10mm+ 1ppm. Čo mi umožnilo určiť jeho výšku v baltskom výškovom systéme o hodnote 435,614 m.

12.ZOZNAMY

12.1. Zoznam použitej literatúry

[1] Nevosád, Z.; Vitásek J.: Geodézie III. Skriptum VUT Brno 2000, 132 strán

[2] Hradílek, L.:Vysokohorská geodézie (Trigonometrická nivelace a trojrozměrná triangulace), Academia Praha 1984, 232 strán

[3] Villim, A.: Efektívne určenie refrakcie z meraní v geodetických sieťach, Dizertačný projekt I.,STU Bratislava, január 2009, 34 strán

[4] Vitásek, J.; Nevosád, J: Geodézie I (GE01 Průvodce předmětem Geodézie I – Modul 01), Skriptum VUT Brno 2004, 49 strán

[5] Turowski, R.: Aplikace Sanchezovy metody ve vědecko-výskumné síti Staré Město pod Sněžníkem, Acta Montanistica Slovaca 3/2007, s. 576-580, dokument k stiahnutiu vo formáte .pdf : http://actamont.tuke.sk/pdf/2007/s3/42turowski.pdf

[6] Blažek, R.; Skořepa, Z.: Snížení vlivu refrakce na měřené zenitové úhly Sanchezovou metodou, Stavební obzor 2/2005, s. 54-56.

[7] Blažek, R.; Skořepa, Z.: Určení vlivu vertikální složky refrakce na měřené zenitové úhly Sanchezovou metodou, Geodetický a kartografický obzor , ročník 49/91, 2003, číslo 4, s. 67-70.

[8] Machotka, R.; Fixel, J.: Geodetická astronomie a kosmická geodézie II (HE06 Modul 01 Kosmická geodézie), Skriptum VUT Brno 2007, 168 strán

[9] Švábenský, O.;Weigel, J.;Machotka, R.: Seminář GPS (HE09 Modul 01 Metodika GPS měření a vyhodnocení), Skriptum VUT Brno 2007, 140 strán

[10] GPS Block IIF, GPS signals, Wikipedia, [on-line] odkaz na internetovú stránku : <http://en.wikipedia.org/wiki/GPS_Block_IIF, http://en.wikipedia.org/wiki/GPS_signals >

[11] <http://www.insidegnss.com/auto/popupimage/GPSIIF_photo_lo.jpg>

[12] <http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/ssn_predict_l.gif>

[13] Index I 95 [on-line] v odkaze na internetovú stránku:

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://lgnapp.niedersachsen.de/sapos/iono_index.htm>

[14] <http://aiuws.unibe.ch/ionosphere/gim_12ut.jpg>

[15] Sieť permanentných staníc pre určovanie polohy, odkaz na internetovú stránku: <http://czepos.cuzk.cz/ >

[16] Používateľský manuál Leica TPS – System 1000, Version 2.4 Deutsch, Gosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, 257 strán

[17] Serrer, R.: Atmospheric correction formulas used in Leica's EDM Instruments, Heerbrugg, 15. August 2007, 3 strany

[18] Braun, J.: Geodetický monitoring sesuvného území, Praha 2010, Diplomová práca, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavebí, Katedra speciální geodézie

[19] Foral, J.: Geodézie I, (GE01 Modul 03, Geodetická cvičení I), Skriptum VUT Brno 2004, 85 strán

[20] Švábenský, Š.; Vitula, A. ; Bureš, J.: Inženírská geodézie I (GE16 Modul 03, návody ke cvičením), Skriptum VUT Brno 2006, 161 strán

[21] Čada V.: Analýza chyb při měření svislých úhlů, Západočeská univerzita, Fakulta aplikovaných věd, Katedra matematiky, dokument dostupný [on - line] k stiahnutiu vo formáte .pdf : <http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch05s02.html>

[22] Svazek Vodovodů a kanalizací Ivančice, Doplnění stávajícího jímacího území Tetčice o vrty HV2 a HV 125 a navýšení čerpání ze stávajících 15l/s na 20 l/s, srpen 2008, dokument je [on – line] k stiahnutiu vo formáte .pdf : <www.cenia.cz/eia/download/view=eia_cr&id=JHM432&file=dokumentaceDOC>

[23] VYKUTIL, J.: *Vyšší geodézie.* 1. vyd. Praha: Kartografie, 1982, 544 strán

[24] Pokorný, J.: Využití GPS pro určování výšek na území města Brna, diplomová práca Brno 2006, VUT Brno, Fakulta stavebná, Ústav geodézie, 47 strán

[25] Frohmann, E.: Static manual pre GPS systém 500, Úvod do merania statickou a kinematickou metódou ,Verzia 2.0 Slovensky,47 strán, v odkaze na internetovú stránku: <www.geotech-progps.sk>

[26] Vyskočil, P.: Recentní tektonika v oblasti České republiky v souvislostech dynamiky střední Evropy, Dizertačná práca, Zdiby : VÚGTK - ICRCM, 1993, 178 strán

[27] Vlk, O.: Zjištění stability výškového bodového pole : Polygon Tetčice, Brno 2011, VUT v Brne, Fakulta stavebná, Ústav geodézie, 42 strán

12.2. Zoznam použitých skratiek

ČSNS – Česká štátna nivelačná sieť

ČSJNS – Československá jednotná nivelačná sieť

ČUZK – Český úrad zememeračský a katastrálny

GPS – Globálny polohový systém

Bpv – Výškový systém Balt po vyrovnaní

PN – Presná nivelácia

ETRS89 – Európsky terestrický referenčný systém v epoche 1989,0

ETRF2000 – Európsky terestrický referenčný rámec v epoche 2000,0

DOPNUL – geodetická sieť zhusťujúca nadnárodnú sieť NULRAD technológiou GNSS

GNSS – Globálny navigačný satelitný systém

ARP – Referenčný bod antény

VRS – Virtuálna referenčná stanica

IGS – Medzinárodná GNSS služba

VESOG – Výskumná a experimentálna sieť pre observácie s GNSS

12.3. Zoznam obrázkov

Obr. 1.1. Grafické znázornenie meraných bodov a šikmých vzdialeností na ortofotomape
Obr. 2.1. Geologická mapa záujmovej oblasti s vyznačeným zlomom boskovickej brázdy (čierna čiarkovaná čiara), meraná oblasť (červená prerušovaná čiara)
Obr. 3.1. Normálový rez vedený bodmi A a B a stredom S náhradnej gule Zeme
Obr. 3.2. Oprava zo zakrivenia Zeme
Obr. 3.3. Oprava z refrakcie
Obr. 3.4. Zámerný valcový terč a) na piramíde b) na železnej trubke
Obr. 3.5. Cielenie na valcový terč pri rozdielnych podmienkach viditeľnosti
Obr. 3.6. Obojstranne merané zenitové uhly
Obr. 4.1. Grafické znázornenie Sanchézovej metódy
Obr. 4.2. Obojstranne zameraná spojnica (k odvodeniu rovníc 4-6)
Obr. 5.1. Družica bloku IIF SV-1
Obr. 5.2. solárny cyklus č.24
Obr. 5.3. Index I95 denného priebehu ionosféry
Obr. 5.4. CODE model globálnej ionosféry
Obr. 5.5. Rozmiestnenie permanentných staníc siete CZEPOS na území ČR a susedných štátov
Obr. 7.1. Celkové pohľady na totálnu stanicu Leica TC 1700
Obr. 7.2. Znázornenie merania výšky prístroja Leica TC 1700 a odrazného hranolu Topcon od závitu stabilizovaného na pilieri
Obr. 7.3. Prevod šikmej dĺžky a zenitového uhla na spojnicu stabilizačných značiek
Obr. 7.4. Nákres situácie prvej časti trigonometrického merania prevýšení meraných v dvoch etapách pri vlakovej stanici v Tetčiciach
Obr. 7.5. Nákres situácie druhej časti trigonometrického merania prevýšení meraných cez údolie medzi obcami Tetčice a Rosice.
Obr. 7.6. Znázornenie na mape (Sanchézov zvislý trojuholník)
Obr. 8.1. Grafické znázornenie rozmiestnenia bodov experimentálnej siete zameraných metódou GPS (červenou sú označené observácie na pilieri, žltou na statíve)
Obr. 8.2. Znázornenie merania aparatúrou Leica SR520 osadenej na pilieri P4 a merania výšky antény na pilieri.
Obr. 8.3. Určenie výšky antény Leica AT502 na statíve a na pilieri

Obr. 8.4. Grafická ukážka spracovania údajov merania v postprocessingu v programe LGO 5.0.

Obr. 8.5. Grafická ukážka výpočtu priestorových vektorov z vygenerovanej referenčnej virtuálnej stanice medzi bodmi P2,325 a S4 v prostredí výpočtového programu LGO 5.0

Obr. 8.6. Zobrazenie parametrov v nastavení post processingu

Obr. 10.1. Znázornenie normálnej výšky H_N^B, geodetickej výšky H^B a anomálie výšky ζ^B podľa Molodenského

Obr. 10.2. Grafické znázornenie interpolácie výšky bodu P5 (Bučín) na ortofotomape

Obr. 10.3. Rýchla statická observácia vľavo na bode *000943020251* a vpravo na bode GEO (000943070023) siete DOPNUL

Obr. 10.4. Meranie PN na podzemnej nivelačnej značke Od2 – 20

Obr. 10.5. Grafické zobrazenie vyrovnania výšky bodu Bučín v programe Niva 0.3.*7.*

12.4. Zoznam tabuliek

Tab. 3.1. Hodnoty opravy prevýšenia zo zakrivenia Zeme (r = 6380 km)

Tab. 3.2. Štandardný refrakčný uhol δ_o a refrakčná oprava o_2 vypočítaných prevýšení (k_o = 0,13,R = 6380 km)

Tab. 7.1. Parametre prístroja Leica TC 1700 udávané výrobcom

Tab. 7.2. Vypočítané stredné chyby dĺžky , stredné chyby prevýšenia a ich medzné chyby pre prvú časť merania trigonometrických prevýšení

Tab. 7.3. Vypočítané stredné chyby dĺžky, obojstranne zameranej dĺžky , stredné chyby prevýšenia a ich medzné hodnoty pre druhú časť merania trigonometrických prevýšení

Tab. 7.4. Obojstranne merané šikmé dĺžky v prvej časti trigonometrického merania prevýšenia a ich porovnanie medzi etapami

Tab.7.5. Prevýšenie na preurčený bod S3 a prevýšenie získané z PN medzi bodmi S3 a P2

Tab.7.6. Vypočítané prevýšenia z obojstranne meraných zenitových uhlov a ich rozdiely

Tab. 7.7. Merané prevýšenia v Δ P2, S1, 325 a ich vyrovnané hodnoty v 2 etapách

Tab. 7.8. Merané prevýšenia v Δ P2, S2, S4 a ich vyrovnané hodnoty v 1 etape

Tab. 7.9. Obojstranne merané šikmé dĺžky a ich rozdiel v druhej časti trigonometrického merania prevýšenia

Tab.7.10. Vypočítané prevýšenia z obojsmerne meraných zenitových uhlov v druhej časti trigonometrického merania prevýšenia

Tab. 7.11. Vypočítané refrakčné uhly v dvoch etapách merania

Tab.7.12. Refrakčné koeficienty $k = 2\rho/\varphi$ vypočítané z refrakčných uhlov

Tab.7.13. Výsledky z merania prevýšenia 20.4.2011

Tab.7.14. Výsledky z merania prevýšenia 15.3.2012

Tab.7.15. Nivelované prevýšenia v 2 etapách medzi bodmi P6 – S5 a Ocd-13.2 – S6

Tab. 7.16. Body S6, P4, S5, P6 pripojené do výškového systému Bpv

Tab. 8.1. Použité typy prijímačov GPS

Tab.8.2 Hodnoty vertikálneho ofsetu pre anténu Leica AT5 Tab.8.3. Výpočet prevýšení z referencie na bode TUBO

Tab.8.3. Výpočet prevýšení z referencie na bode TUBO

Tab. 8.4. Výpočet prevýšení z virtuálnej referencie

Tab.8.5. Výpočet prevýšení z referencie na bodoch P2 a P4

Tab. 8.6. Pre posúdenie vonkajšej presnosti meraných prevýšení metódou GPS z rozdielu prevýšení na referenciách TUBO, VRS , P2 a P4
Tab. 8.7. Výpočet prevýšení z elipsoidických výšok pre referenčné stanice TUBO,VRS a P2
Tab. 8.8. Rozdiely prevýšení z referenčných staníc TUBO a VRS, TUBO a P2, VRS a P2
Tab. 8.9. Rozdiel prevýšení medzi etapami meranými v septembri 2010 a apríly 2011
Tab. 8.10. Výpočet prevýšení z referencie na bode TUBO a VRS
Tab. 8.11. Rozdiely prevýšení získané medzi referenciami na TUBO,VRS a S5
Tab. 8.12. Výpočet prevýšení z referencie na bode S5 dňa 15.3.2012
Tab. 8.13 Rozdiely prevýšení získané medzi etapami s referenčnou stanicou na bode S5
Tab. 9.1. Vypočítané prevýšenia z presnej nivelácie vztiahnuté k bodu 302
Tab. 9.2. Merané prevýšenia medzi bodom Ocd-17.3 a bodom Nepomucký a prevýšenia šróbu od nivelačnej značky na pilieri P2
Tab. 9.3. Výsledné prevýšenia medzi bodmi výškového polygónu v dvoch etapách.
Tab. 9.4. Rozdiely prevýšení merané PN a trigonometricky v dvoch etapách
Tab. 9.5. Rozdiely prevýšení merané PN a metódou GPS v dvoch etapách pri vodnom zdroji v Tetčiciach
Tab. 9.6. Určené rozdiely v prevýšení medzi GPS metódou v troch variantách výpočtu a trigonometriou
Tab. 9.7. Určené rozdiely v prevýšení medzi GPS meraním a trigonometriou v 2 etapách
Tab. 9.8. Výškové rozdiely medzi 2 etapami pre metódu trigonometrie a GPS
Tab. 10.1. Výpočet anomálie výšky na jednotlivých bodoch a výšky bodu Bučín

12.5. Zoznam grafov

Graf 9.1. Znázornenie rozdielu metód od PN v 0 etape na bodoch 325 a S4
Graf 9.2. Znázornenie rozdielu metód od PN v 1 etape na bodoch 325 a S4
Graf 9.3. Znázornenie rozdielu jednotlivých metód medzi 0 a 1 etapou na bodoch 325 a S4
Graf 9.4. Znázornenie rozdielu 0 a 1 etapy trigonometricky meraného prevýšenia na bodoch P4, S5, P6
Graf 9.5. Znázornenie rozdielu 0 a 1 etapy trigonometricky meraného prevýšenia na bodoch P4, S5, P6

12.6. Zoznam voľných príloh

Príloha č.1: Prehľadná mapa posúdenia výškových pohybov merania metód PN, trigonometrie a GPS merania v rámci 2 etáp
Príloha č.2: Katalóg pripojovacích bodov
Príloha č.3: Miestopisy mnou stabilizovaných bodov S6 a S5
Príloha č.4: Zápisníky meraných šikmých dĺžok a zenitových uhlov
Príloha č.5: Výpočet redukcie zenitových uhlov a šikmých dĺžok na spojnicu stabilizačných značiek
Príloha č.6: Výpočet korekcie z atmosféry a súčtovej (adičnej) konštanty
Príloha č.7: Zápisníky PN
Príloha č.8: Protokol z vyrovnania výšky bodu Bučín

12.7. Zoznam príloh v elektronickej podobe

- Prehľadná mapa posúdenia výškových pohybov merania metód PN, trigonometrie a GPS merania v rámci 2 etáp vo formáte .pdf
- Katalóg pripojovacích bodov vo formáte .pdf
- Miestopisy mnou stabilizovaných bodov S6 a S5 vo formáte .pdf
- Zápisníky meraných šikmých dĺžok a zenitových uhlov .pdf
- Výpočet redukcie zenitových uhlov a šikmých dĺžok na spojnicu stabilizačných značiek vo formáte .pdf
- Výpočet korekcie z atmosféry a súčtovej (adičnej) konštanty vo formáte .pdf
- Zápisníky z PN vo formáte .pdf
- Protokol z vyrovnania výšky bodu Bučín vo formáte .pdf
-Protokoly o vyrovnaní z GPS merania vo formáte .pdf.
-Protokoly výpočtu bodov metódu GPS vo formáte .pdf