

Aplikace Sanchezovy metody ve vědecko-výzkumné síti Staré Město pod Sněžníkem

Roman Turowski¹

The application of Sanchez method in the science-development network Stare Mesto sub Sneznik

In this paper there is address relative new method determination influence of refraction to measurement zenith angle (Sanchez method) and your results on measurement in science-development network Stare Mesto sub Sneznik. Sanchez method is nontraditional way of determination heavy altitude difference in mountain terrain. This method were completed by measurement via GPS and precise levelling.

Atmospheric refraction separate after character measurable objects in astronomic and terrestrial refraction. Terrestrial refraction is cause by influence bottom ground layer in the course of measuring in terrestrial objects.

Key words: atmospheric refraction, terrestrial refraction, influence, altitude

Úvod

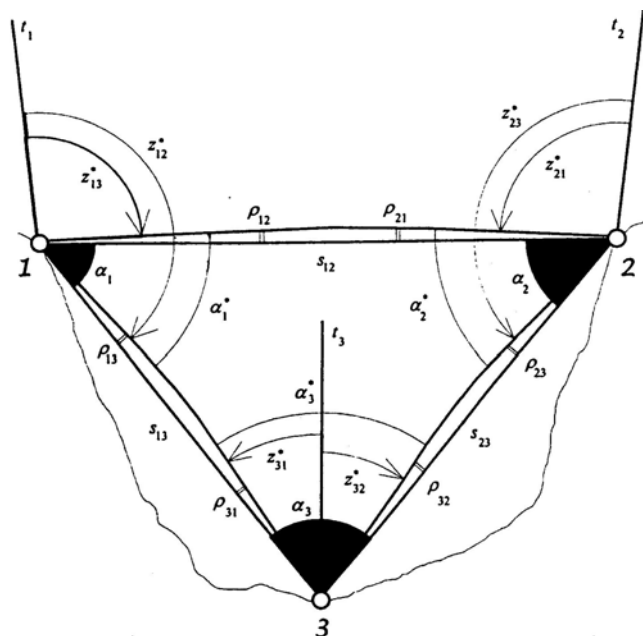
Souhrn všech refrakčních jevů v atmosféře se nazývá atmosférická refrakce (Turowski, 2005). Existují však různé přístupy k problematice řešení refrakčních vlivů. Jedním z nich je i Sanchezova metoda, která je netradičním způsobem určování vlivu refrakce na měřené zenitové úhly. Sanchezova metodu poprvé publikoval Argentinec R. N. Sanchez a to v letech 1962 a 1967. Do dnešní podoby ji rozpracoval němec T. Wunderlich (1980, 1985). Pro Sanchezovu metodu existují dvě modifikace:

- tzv. Sanchezův svislý trojúhelník,
- tzv. Sanchezův svislý čtyřúhelník.

Sanchezův svislý Trojúhelník

Metodou svislého trojúhelníka obecně určujeme šest refrakčních úhlů $\rho_{12}, \rho_{13}, \dots, \rho_{32}$ pomocí měřených zenitových úhlů $z_{12}^*, z_{13}^*, \dots, z_{32}^*$, které jsou ovlivněny refrakcí a měřených šikmých délek s_{12}, s_{13}, s_{23} ve svislém trojúhelníku 1, 2, 3 (obr. 1), (Blažek, 2005).

Pro využití Sanchezovy metody v praxi jsou body 1 a 2, jejichž nadmořskou výšku chceme určit na vrcholcích kopců a bod 3 volíme v údolí ve svislé rovině proložené body 1 a 2. Přesnost proložení svislé roviny body 1, 2 je $\delta = \pm 10$ cm. Výšku bodu 3 lze určit geometrickou nivelací. Z rozdílu měřených zenitových úhlů lze určit v tomto trojúhelníku úhly α_1^*, α_2^* a α_3^* , které jsou ovlivněny refrakcí. Úhly α_1, α_2 a α_3 se vypočtou s přesně měřených délek pomocí kosinové věty. Myšlenka je tedy velmi jednoduchá. Úspěšnost jejího praktického použití je závislá na přesnosti měřených délek s_{12}, s_{13}, s_{23} buď elektrooptickými dálkoměry nebo pomocí GPS. Přesnost metody je také závislá na tvaru (čím se více trojúhelník odchyluje od



Obr. 1. Sanchezův svislý trojúhelník.

Fig. 1. Sanchez vertical triangle.

¹ Ing. Roman Turowski, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba +420 608 708 893, Česká republika roman.turowski.hgf@vsb.cz

(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 3. 5. 2007)

rovnostranného, tím přesněji je délky třeba měřit) a velikosti obsahu svislého trojúhelníka 1, 2, 3. Z rozdílu úhlů (vypočtených s délek a měřených zenitových úhlů) obdržíme 3 lineární rovnice (Blažek, 2005). Každá z těchto rovnic obsahuje dva z celkem šesti neznámých refrakčních úhlů.

$$\begin{aligned}w_1 &= \arccos \frac{s_{12}^2 + s_{13}^2 - s_{23}^2}{2s_{12}s_{13}} - (z_{13}^* - z_{12}^*) = \rho_{13} - \rho_{12} \\w_2 &= \arccos \frac{s_{12}^2 + s_{23}^2 - s_{13}^2}{2s_{12}s_{23}} - (z_{23}^* - z_{21}^*) = \rho_{23} - \rho_{21} \\w_3 &= \arccos \frac{s_{13}^2 + s_{23}^2 - s_{12}^2}{2s_{13}s_{23}} - (z_{31}^* + z_{32}^*) = \rho_{31} + \rho_{32}\end{aligned}\quad (1)$$

Další lineární kombinace se skládá z oboustranných zenitových úhlů a geocentrického úhlu φ_{ij} .

$$\varphi_{ij} = \frac{s_{ij} \sin z_{ij}^*}{R + H_m} \frac{200}{\pi} [\text{gon}], \quad (2)$$

kde H_m je střední nadmořská výška

Geocentrický úhel φ_{ij} je nutno vypočítat s přesností 0,05 mgon.

$$\begin{aligned}w_4 &= 200 \text{gon} + \varphi_{12} - (z_{12}^* + z_{21}^*) = \rho_{12} + \rho_{21} \\w_5 &= 200 \text{gon} + \varphi_{23} - (z_{23}^* + z_{32}^*) = \rho_{23} + \rho_{32} \\w_6 &= 200 \text{gon} + \varphi_{13} - (z_{13}^* + z_{31}^*) = \rho_{13} + \rho_{31}\end{aligned}\quad (3)$$

Po dalších úpravách dostaneme vzorce pro výpočet refrakčních úhlů (Wunderlich, 1985).

$$\begin{aligned}\rho_{12} &= w_4 - w_2 - \frac{w_5}{2} \\ \rho_{21} &= w_2 + \frac{w_5}{2} \\ \rho_{13} &= w_6 - w_3 - \frac{w_5}{2} \\ \rho_{31} &= w_3 + \frac{w_5}{2}\end{aligned}\quad (4)$$

Výsledky experimentálního měření pro Sanchezův svislý Trojúhelník

Body trojúhelníku jsou stabilizovány nivelačními kameny (body 1 – Březový háj a 2 – Nad kostelem jsou situovány v extravilánu a bod 3 - Ligra je situován na okraji intravilánu) (obr. 2). Body tvoří dle předpokladu svislou rovinu. V trojúhelníku byly zaměřeny oboustranně a současně zenitové úhly. Za měřickou jednotku bylo zvoleno zaměření zenitového úhlu na dvě symetrická rozhraní (černá x bílá) válcového signálu (Blažek, 2003). Měření bylo provedeno 4.9.2001 za oblačného počasí pomocí teodolitu Theo 010B a také 19.4.2002 za jasného dne pomocí elektronického teodolitu Kern E2. Šikmé délky byly měřeny pomocí GPS.



Obr. 2. Znárodnění v mapě.
Fig. 2. Illustration in the map.

Trigonometrické výškové rozdíly jsou vypočteny podle vzorce pro jednostranně zaměřený trigonometrický výškový rozdíl.

$$h_{ij} = s_{ij} \frac{\cos(z_{ij}^* + \rho_{ij} - \frac{1}{2}\varphi_{ij})}{\cos(\frac{1}{2}\varphi_{ij})} \quad \text{platí } h_{ij} = -h_{ji}$$

Pro úplnost jsou vypočteny výškové rozdíly podle vzorce pro oboustranně zaměřený výškový rozdíl.

$$^*h_{ij} = s_{ij} \frac{\sin \frac{z_{ji}^* - z_{ij}^*}{2}}{\cos \frac{\varphi_{ij}}{2}} \quad (5)$$

V posledním sloupci tabulky 1, 2 jsou uvedeny hodnoty oboustranně zaměřené spojnice vyrovnané pomocí metody nejmenších čtverců.

Za předpokladu stejné refrakce na obou koncích záměry, což platí pro málo skloněné záměry (Březový háj – Nad kostelem). U strmých stran (Březový háj – Ligra a Ligra – Nad kostelem) již nelze předpokládat stejnou refrakci na obou koncích záměry.

Tab.1. Výsledky 4. 9. 2001.
Tab. 1. Results of 4. 9. 2001.

Spojnice (sklon v %)	Šikmá délka [m]	h [m] z jednostranně zaměřené spojnice	*h [m] z oboustranně zaměřené spojnice	h [m] (MNC)
1 - 2 (1,3 %)	2887,264	-37,757	-37,762	-37,757
2 - 3 (6,8 %)	1461,017	-97,783	-97,773	-97,772
3 - 1 (9,3 %)	1435,608	135,540	135,528	135,529
Σ		0,000	-0,007	0,000

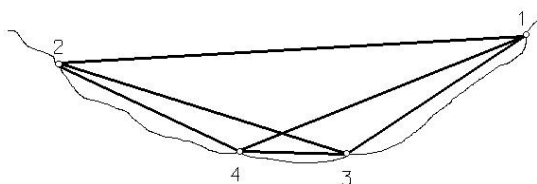
Tab. 2. Výsledky 19. 4. 2002.
Tab. 2. Results of 19. 4. 2002.

Spojnice (sklon v %)	Šikmá délka [m]	h [m] z jednostranně zaměřené spojnice	*h [m] z oboustranně zaměřené spojnice	h [m] (MNC)
1 - 2 (1,3 %)	2887,251	-37,756	-37,762	-37,757
2 - 3 (6,8 %)	1461,009	-97,779	-97,780	-97,779
3 - 1 (9,3 %)	1435,604	135,536	135,534	135,535
Σ		0,001	-0,008	-0,001

Sanchezův svislý čtyřúhelník

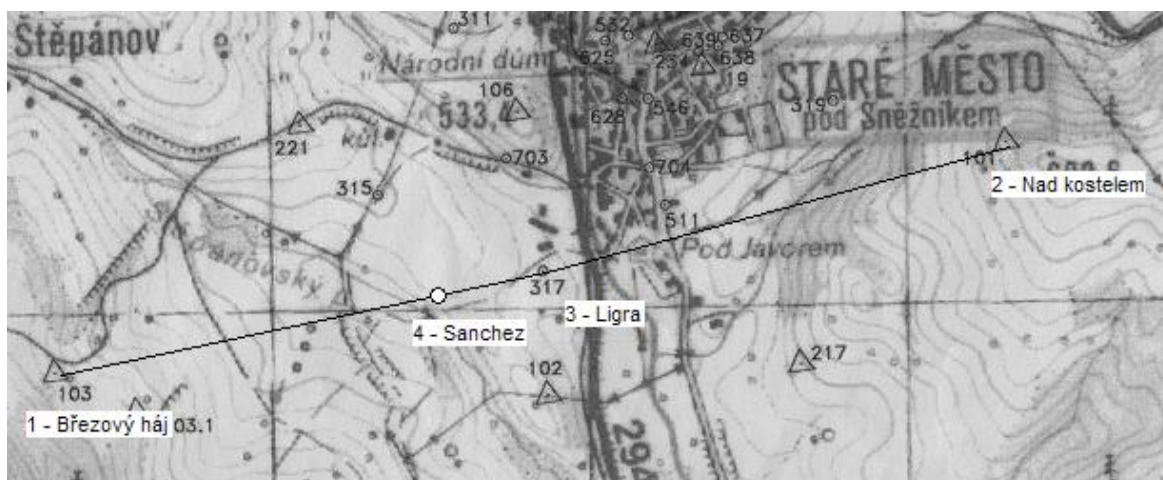
Metoda Sanchezova svislého čtyřúhelníka je založena na podobném principu jako metoda Sanchezova svislého trojúhelníka. Pro zjištění převýšení mezi body 1 a 2 se nám ale nabízí více kombinací (Turowski, 2006). Bod 1 i bod 2 můžeme nezávisle určit jak z bodu 3, tak z bodu 4. Metoda Sanchezova svislého čtyřúhelníka nám umožňuje větší možnosti vyrovnání sítě měřených bodů a dále kontrolu měření pro Sanchezův svislý trojúhelník 1, 2, 3. Metoda Sanchezova svislého čtyřúhelníka je ve fázi zkoumání v rámci mé disertační práce.

Body 1 a 2 jsou situovány na vyvýšených místech (vrcholy kopců atd.) (obr. 3). Body 3 a 4 jsou přístupné pro nivelační měření.



Obr. 3. Sanchezův svislý čtyřúhelník.
Fig. 3. Sanchez vertical tetragon..

Rekognoskace a vytyčení bodů Sanchez



Obr. 4. Znárodnění v mapě (Sanchezův svislý čtyřúhelník).
Fig. 4. Illustration in the map for the Sanchez vertical tetragon.

Měření bylo provedeno na svislém čtyřúhelníku 1 - Březový Háj, 2 - Nad kostelem, 3 - Ligra, 4 - Sanchez. Tyto body jsou součástí vědecko-výzkumné sítě Staré Město pod Králickým Sněžníkem. Vědecko-výzkumná síť Staré Město se nachází v podhůří Králického Sněžníku, který dosahuje nadmořské výšky 1423 m. Rekognoskace byla provedena 19.4. a 20. 4. 2006.

Body čtyřúhelníku jsou stabilizovány nivelačními kameny (body 1 - Březový háj, 2 - Nad kostelem a 4 - Sanchez jsou situovány v extravilánu a bod 3 - Ligra je situován na okraji intravilánu). Body tvoří dle předpokladu svislou rovinu. Pro tuto potřebu bylo třeba v rámci rekognoskace také vytyčením doplnit čtvrtý bod Sanchez do čtyřúhelníku. Vytyčení jsme provedli pomocí měření vodorovného úhlu v přibližné poloze bodu Sanchez. Po změření a výpočtu tohoto úhlu byl nanesen příčný posun q . Tento postup byl realizován celkem dvakrát (pro přesnost proložení svislou rovinou $\delta = \pm 10$ cm byl dostačující). Po vytyčení bylo provedeno ověřovací měření. Měření úhlu bylo provedeno pomocí teodolitu Kern DKM-2 a k nanesení příčného posunu byl použit dvoumetr. Bod byl osazen kamenem. Jeho umístění bylo nutné zvolit také s ohledem na budoucí přístupnost pro měření GPS.

Měření zenitových úhlů

Měření bylo provedeno 13. 5. a 14. 5. 2006 za oblačného počasí. Pro zjištění denního průběhu refrakce bylo provedeno na excentrických stanoviscích (excentrické stanovisko bylo voleno z důvodů nutnosti měření zenitových úhlů protisměrně a současně) několikahodinové měření zenitových úhlů. K měření byly použity teodolity Theo 010B. Měření bylo provedeno pomocí tzv. „laboratorní jednotky“, což je postup měření, který byl vyvinut pro eliminaci krátkodobých změn refrakce a částečně i chyb cílení s celkem dvanácti cíleními. Byly použity černobílé válcové signály, které jsou právě prověřeny pro takový typ měření. U jednotlivých laboratorních jednotek bylo měření doplněno měřením teploty, kterou jsme měřili digitálním teploměrem GTH 175/MO a měřením tlaku pomocí digitálního tlakoměru GPB 1300 (Turowski, 2005, Juniorstav).

První den jsme provedli měření na stanoviscích Sanchez ex. a Ligra ex. Při rozvržení harmonogramu měření jsme si zvolili, že díky malému sklonu záměry mezi body Sanchez a Ligra budeme tuto záměru měřit protisměrně a současně díky předpokladu stejné refrakce na obou koncích záměry. Tento fakt nelze už konstatovat u dalších strmých záměr na body Březový háj a Nad kostelem. Tyto tudíž byly měřeny jednostranně. Po samotném měření zenitových úhlů bylo nutné také provést měření centračních prvků mezi body Sanchez - Sanchez ex. a Ligra - Ligra ex.

Druhý den měření jsme provedli měření na stanoviscích Březový háj ex. a Nad kostelem ex. Při tomto měření jsme si zvolili, že díky malému sklonu záměry mezi body Březový háj a Nad kostelem budeme tuto záměru měřit protisměrně a současně díky předpokladu stejné refrakce na obou koncích záměry. Tento fakt jsme vyloučili u dalších strmých záměr na body Sanchez a Ligra. Tyto byly obdobně jako první den měřeny jednostranně. Po zakončení měření zenitových úhlů bylo provedeno doměření centračních prvků mezi body Březový háj - Březový háj ex. a Nad kostelem - Nad kostelem ex.

Přesná nivelace

Pro pozdější zpracování bylo nutné provést výškové připojení nového bodu Sanchez a to pomocí přesné nivelace. Měření proběhlo za jasného počasí 15. 5. 2006. Výchozím bodem pro měření byl stanoven bod Ligma. Byl použit digitální nivelační přístroj Leica NA3003 a kódové nivelační latě s opěrkami. Pod nivelační latě jsme umístili těžké nivelační podložky. Jednotlivé nivelační úseky byly rozměřeny pásmem a označeny měřickými jehlami. Vyhodnocení měření bylo provedeno v programu NIVEL1.EXE.

GPS Měření

Pro určení bodu Sanchez a šikmých délek ve svislém čtyřúhelníku byla zvolena metoda GPS. Pro statickou metodu byly použity systémy Leica 500 a Leica 300. Měření probíhalo 12.6.2006 za jasného a teplého počasí. Ze známých bodů čtyřúhelníku 101 – Nad kostelem, 103 – Březový háj, 317 - Ligma a bodů potřebných do transformačního klíče 217 – Pod Kančím a 221 – Kozinec byl určen bod Sanchez.

Při prvním měření jsme zvolili referenční stanici na bodě Ligma a chybějící body čtyřúhelníku včetně bodů pro výpočet transformačního klíče jsme zaměřili tzv. „rovery“. Druhé měření probíhalo obdobně s tou výjimkou, že jsme referenční stanici umístili na bodě Sanchez. Vyhodnocení měření se bylo provedeno v programu SKI-Pro.

Závěr

Metoda trigonometrického měření výšek je dle mého názoru stále vědecky otevřenou a to díky právě vlivu atmosféry na měřené veličiny. Uplatnění metody bylo a je převážně v takovém typu území, kde nivelace byla neekonomická a někdy také nemožná (vysokohorský terén apod.) Metoda Sanchezova svislého trojúhelníka byla již na našem území 2 x experimentálně ověřena v roce 2002 a 2004 na vědeckovýzkumné síti ve Starém Městě pod Sněžníkem. Tato metoda přináší velmi uspokojivé výsledky konkurenceschopné s metodou přesné nivelace. Metoda Sanchezova svislého čtyřúhelníka je poprvé aplikována na území České republiky (rovněž na vědeckovýzkumné síti ve Starém Městě pod Sněžníkem) mou osobou. Finální výsledky této metody jsou ve zpracování a budou publikovány v rámci mé disertační práce. Tento článek je mimo jiné také podkladem pro zpracování Tezí. Příspěvek je vypracován na základě Interního grantu HGF 2006 „Trigonometrické měření výšek“.

Literatura - References

- Blažek, R., Skořepa, Z.: Snížení vlivu refrakce na měřené zenitové úhly Sanchezovou metodou. *Stavební obzor 2/2005*, s. 54-56.
- Blažek, R., Skořepa, Z.: Určení vlivu vertikální složky refrakce na měřené zenitové úhly Sanchezovou metodou. *Geodetický a kartografický obzor 4/2003*, s. 67-70.
- Turowski, R.: Vliv atmosférických podmínek na měření zenitových úhlů. *Příspěvek na konferenci Juniorstav 2005 Brno*.
- Turowski, R.: Stručná teorie Sanchezova metody. *Příspěvek na konferenci Juniorstav 2006 Brno*.
- Turowski, R.: Úvod do teorie refrakce. *Příspěvek na konferenci SDMG 2005 Hustopeče u Brna*.
- Wunderlich, T.: Die voraussetzungsfreie Bestimmung von Refraktionswinkeln. *Technische Universität Wien 1985*.