

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební



DISERTAČNÍ PRÁCE

Praha 2017

Mgr. Ing. Hana Sirůčková

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra speciální geodézie

Metody určování vlivu refrakce při
terestrických měřeních ve stavebnictví

**Methods of determining the influence of refraction on terrestrial
measurements in the building industry**

Vypracoval: Hana Sirůčková

Školitel: prof. Ing. Jiří Pospíšil, CSc.

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci zpracovala samostatně a že jsem vyznačila prameny, z nichž jsem pro svou práci čerpala, způsobem ve vědecké práci obvyklým.“

V Praze dne

.....
Hana Sirůčková

Poděkování:

Děkuji vedení Národní technické knihovny v Dejvicích za umožnění realizace experimentu.

Dále děkuji Ing. Tomáši Kubínovi, PhD. a Ing. Janu Holešovskému, kteří nedbali nepřízně počasí a ochotně se mnou experimenty měřili.

A školiteli prof. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, CSc. bych chtěla poděkovat za všestrannou pomoc při zpracování této disertační práce.

Abstrakt

V disertační práci je zpracováván vliv refrakce při geodetických měřeních. Hlavním cílem disertační práce je pokusit se osvětlit problematiku vlivu refrakce na nivelované převýšení a při měření horizontálních úhlů v blízkosti stavebního objektu.

V úvodu je nastíněna problematika refrakce a analýza odborné literatury zabývající se řešením daného problému a zejména popisující způsoby aproximace refrakční křivky hyperbolou a následně i zjednodušení kružnicovým obloukem. Jsou zde představeny teoretické základy jednotlivých metod odstraňování vlivu refrakce s vysvětlením principu metody konstantní refrakce pro stanovisko a metody konstantní refrakce pro záměr. Pro tuto metodu jsou zde shrnuty výsledky experimentálního měření doktorandky na srovnávací výškové základně ve Starém Městě pod Sněžníkem, které zpracovala ve své diplomové práci – [17].

V rámci disertační práce byla provedena dvě další experimentální měření a to:

- Experimentální měření nivelačních pořadů skrz budovu Národní technické knihovny v Dejvicích a okolo této budovy. Z nich byly určeny extrémní hodnoty pro působení prostředí při přechodu mezi jednotlivými prostředími (venkovní-vnitřní). Současně se měřily i teploty s cílem určit teplotní gradienty na rozhraní jednotlivých prostředí a z nich se pak následně určil předpokládaný vliv refrakce. Do výpočtu byly zavedeny různé váhy pro optimalizaci výpočtu oprav.

- Experimentální měření pro zjištění vlivu horizontální refrakce podél budovy Masarykovy koleje v Dejvicích ve čtyřúhelníku, kde jedna strana byla podél stěny Masarykovy koleje. Současně se měřily teploty podél záměry rovnoběžné s Masarykovou kolejí za účelem zjištění horizontálních teplotních gradientů. Z těchto teplotních gradientů se různými způsoby vypočítaly opravy z vlivu horizontální refrakce.

Abstract

The thesis deals with the effect of refraction on geodetic measurements. The main goal of the dissertation is an attempt to illustrate the problem of the influence of refraction on levelled height and the measurement of horizontal angles near the building.

In the introduction the problem of refraction and analysis of published sources dealing with the solution of given problem are presented especially those describing the approximation of refraction curve by a hyperbola and consequently by its simplification by circular arc. Theoretical foundations of individual methods of removing the refraction with explanation of their principle, such as the constant refraction method for the survey station and the constant refraction method for the sight line are presented here. A summary of author's experimental measurements on the comparative height base in Staré Město pod Sněžníkem published in her diploma thesis [17] is also presented here.

Two new experimental measurements have been made within the preparation of dissertation thesis:

- Experimental measurement of levelling through the building of the Národní technická knihovna in Dejvice and around this building. Extreme values for environmental effects on a boundary between various environments (outdoor-indoor) have been detected. Temperatures were also measured to determine the temperature gradients at the boundary between different environments. By means of them an assumed effect of refraction was determined. Various weights have been introduced to optimize the calculation of corrections.

- Experimental measurement for determination of the effect of horizontal refraction along the building Masarykova kolej in Dejvice in a quadrangle where one side was situated along the wall of Masarykova kolej. Simultaneously the temperatures in sight lines parallel to this wall were measured in order to determine horizontal temperature gradients. Using these temperature gradients the corrections from the effects of horizontal refraction were calculated by different procedures.

Obsah

1. Úvod	1
1.1 Terestrická refrakce	1
1.2 Cíle disertační práce	2
2. Současný stav řešené problematiky - vertikální refrakce	4
2.1 Zjišťování hodnoty teplotního gradientu	4
2.2 Tvar refrakční křivky	5
2.3 Metoda konstantní refrakce pro stanovisko	11
2.4 Metoda konstantní refrakce pro záměru	13
2.4.1 Experimentální měření na srovnávací výškové základně ve Starém Městě pod Sněžníkem	15
2.4.2 Využití refrakčního modelu z měřených meteorologických dat	20
2.5 Nivelační refrakce	21
2.5.1 Vliv refrakce při nivelačních pořadech	21
2.5.2 Numerické modelování vlivu svisle složky atmosférické refrakce	23
3. Současný stav řešené problematiky - horizontální refrakce	24
3.1 Sledování vlivu horizontální refrakce	24
3.2 Experimentálně zjištěné hodnoty replotního gradientu	27
3.3 Horizontální refrakce při působení různých objektů	27
4. Vlastní experimentální měření vertikální refrakce	29
4.1 Popis experimentu	29
4.2 Kalibrace přístrojů a přístrojové vybavení	32
4.3 Počasí	35
4.4 Realizace experimentu	36
4.5 Výpočty	40
4.5.1 Použité vzorce	40
4.5.2 Nivelační pořady okolo - převýšení	41
4.5.3 Zjištěné teplotní gradienty	43
4.5.3.1 Teplotní gradienty z čidel ve výšce 1 m a 2 m	46
4.5.3.2 Teplotní gradienty z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m	58
4.5.3.3. Teplotní gradienty z čidel ve výšce 1 m a 1,5 m	60
4.5.4 Vypočtené hodnoty pro teplotní gradienty z čidel ve výšce 1 a 2 m	62
4.5.4.1 Vypočtené hodnoty pro dlouhé záměry	63
4.5.4.2 Vypočtené hodnoty pro krátké záměry	69
4.5.5. Vypočtené hodnoty pro teplotní gradienty z čidel ve výšce 1,5 a 2 m	74
4.5.5.1 Vypočtené hodnoty pro dlouhé záměry	74
4.5.5.2 Vypočtené hodnoty pro krátké záměry	79

4.5.6 Zavedení vah pro měření 3. 11. 2013	84
4. 5. 7 Zavedení vah pro ostatní dny měření	90
4.5.8 Porovnání výsledků	98
5. Vlastní experimentální měření horizontální refrakce	106
5.1 Popis experimentu	106
5.2 Přístrojové vybavení, součtová konstanta	109
5.3 Podmínky měření	114
5.4 Použité vzorce	118
5.5 Měřené délky	120
5.6 Měření 5. 2. 2015	125
5.7 Měření 13. 4. 2015	130
5.8 Měření 2. 7. 2015	139
6. Zhodnocení výsledků	149
7. Použitá literatura	150

Přílohy

Pro kap. 4.2	P-1
Pro kap. 4.5.3	P-9
Pro kap. 4.5.4	P-14
Pro kap. 4.5.5	P-20
Pro kap. 5.2	P-24
Pro kap. 5.5	P-27
Pro kap. 5.6	P-33
Pro kap. 5.7	P-35
Pro kap. 5.8	P-37

Seznam obrázků

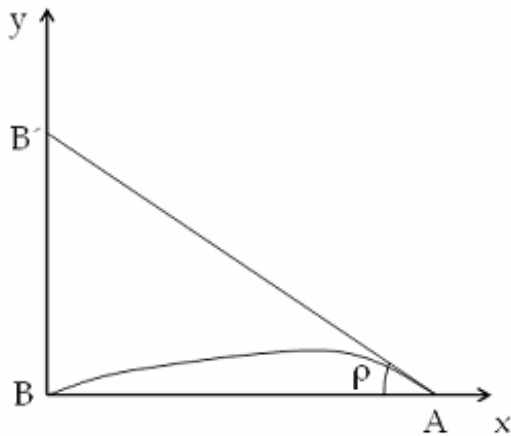
1.1 Refrakční úhel	1
2.2.1 Možné tvary refrakční křivky	6
2.2.2 Znázornění poloměrů křivosti pro koncové body záměry	8
2.2.3 Zobrazení v kartézské soustavě souřadnic	9
2.4.1.1 Oboustranné měření zenitových úhlů	14
2.5.1 Uspořádání nivelační soustavy	21
3.1.1 Rozmístění bodů	24
4.1.1 Nákres knihovny a konfigurace jednotlivých bodů	31

4.3.1 Nivelační přístroj DNA 03, měření dne 8. 2. 2015	36
4.4.1 Měření na jednotlivých bodech	37
4.4.2 Upevnění teplotních čidel na výtyčce	38
4.4.3 Průběh měření u vchodu č. 1	39
4.5.6.1 Přířezené váhy	85
5.1.1 Konfigurace měření	107
5.1.2 Znázornění odchylky úhlu ovlivněného refrakcí	108
5.2.1 Celkový pohled na stabilizovanou základnu	110
5.2.2 Totální stanice na stabilizovaném bodě č. 8	111
5.2.3 Schéma měření vzdáleností pro určení součtové konstanty	111
5.3.1 Rozmístění teplotních čidel	115
5.3.2 Rozestavení přístroje a teplotních čidel	116
5.3.3 Teplotní čidla umístěná na výtyčkách	116
5.3.4 Pohled na záměru podél bldovy Masarykovy koleje	117
5.3.5 Pohled na body 3 a 4 z bodu 2	117

1. Úvod

1.1 Terestrická refrakce

Refrakce je plynulé, spojitě, prostorové zakřivení světelného paprsku při průchodu nehomogenní atmosférou, které je závislé na vlnové délce světla, důsledkem čehož pozorovatel sleduje cíl B ve směru tečny z bodu pozorování A k obecně zakřivené prostorové dráze paprsku, odchylující se od přímé spojnice o refrakční úhel ρ .



Obr. 1.1 Refrakční úhel

Terestrická refrakce je refrakce způsobená průchodem světelného paprsku nejnižšími vrstvami atmosféry, tzv. mikroklimatem. Hranice mikroklimatu dosud není jednoznačně stanovena. Dle [16] sahá do výšky 2 m nad terénem, ale dle [21] je to prostředí do výšky 3 m nad terénem. Většina geodetických měření je prováděna v tomto velmi složitém a časově proměnném optickém prostředí. Vzduchové vrstvy jsou přibližně rovnoběžné se zemským povrchem. Světelný paprsek při cestě ze zdroje do přijímače přechází v atmosféře z jednoho prostředí do druhého, na hranici jednotlivých prostředí se láme podle Snellova zákona lomu a tím mění svůj původní směr.

$$\text{Snellův zákon lomu } \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{12},$$

kde α úhel dopadu, β - úhel odrazu, v_1 , v_2 rychlosti světla v jednotlivých prostředích a n_{12} relativní index lomu.

Slovní formulace zákona lomu: Na rozhraní dvou průhledných prostředí se světelné paprsky lámou. Poměr sinu úhlu dopadu α a úhlu lomu β nezávisí na úhlu dopadu. Pro světlo určité vlnové délky a pro určitá dvě optická prostředí

jsou siny úhlu dopadu α a úhlu lomu β v témže poměru jako rychlosti světla v_1 a v_2 v obou prostředích. Tento poměr má stálou hodnotu a nazývá se relativní index lomu n_{12} .

Záměra je tečnou k obecně zakřivené prostorové dráze paprsku, odchylující se od přímé spojnice o refrakční úhel ρ . Ten je možné z hlediska charakteru měřitelných veličin v geodézii rozložit

- na složku ovlivňující měřené vodorovné směry – horizontální refrakce
- na složku ovlivňující měřené zenitové úhly – vertikální refrakce

Obecně ve volném prostranství platí, že vertikální refrakce je výrazně větší než horizontální. Teplotní gradient je výraznější ve vertikálním směru než v horizontálním (což je způsobeno téměř rovnoběžným uspořádáním různě teplých vzduchových vrstev s povrchem). Avšak za určitých okolností může být refrakční úhel ve směru horizontálním i větší než ve směru vertikálním. Je to způsobeno vlivem prostředí – např. měření podél lesa nebo budov. Vliv budovy způsobí, že se teplota více mění ve směru horizontálním než vertikálním. Velikost vlivu je rozdílná – záleží na druhu a barvě povrchu – kámen, omítka, sklo (jinak bude měření ovlivňovat bílý štuk, jinak mramor a jinak skleněný povrch).

1.2 Cíle disertační práce

Hlavním cílem disertační práce je pokusit se osvětlit problematiku vlivu refrakce na nivelované převýšení a při měření horizontálních úhlů v blízkosti stavebního objektu.

K naplnění hlavního cíle disertační práce přispějí jednotlivé dílčí kroky:

- Nastínit problematiku refrakce, co to je, jak ovlivňuje měření
- Provést analýzu odborné literatury zabývající se řešením daného problému, zhodnocení současného stavu vývoje v této oblasti.
- Představit jednotlivé metody, které se používají pro odstraňování vlivu refrakce na měřené úhly a při nivelování.
- Teoretické základy jednotlivých metod, vysvětlení principu a matematické odvození.
- Experimentální měření nivelačního pořadu skrz stavební objekt. Porovnání nivelovaných hodnot skrz stavební objekt a okolo. A z nich určit jaké jsou extrémní hodnoty pro působení prostředí při přechodu mezi jednotlivými

prostředími (venkovní-vnitřní). Kdy se při těchto nivelačních pořadech měří i teploty s cílem určit teplotní gradienty na rozhraní jednotlivých prostředí. A z těchto se následně určí předpokládaný vliv refrakce. Zhodnocení různých způsobů výpočtu oprav, dosazení různých vah apod.

- Experimentální měření pro zjištění vlivu horizontální refrakce, kdy se měří ve čtyřúhelníku, kde jedna strana je v blízkosti stavebního objektu. Současně jsou měřeny teploty podél záměry rovnoběžné se stavebním objektem za účelem zjištění horizontálních teplotních gradientů. Z těchto teplotních gradientů se různými způsoby vypočtou opravy z vlivu horizontální refrakce. Zhodnocení výsledků zavedení jednotlivě vypočtených oprav.

- Zpracování měřených dat, výpočet pro jednotlivé metody. Vyhodnocení výsledků, zobrazení v grafech a tabulkách.

2. Současný stav řešené problematiky - vertikální refrakce

K největšímu působení vlivu refrakce na měřené veličiny bude obecně docházet ve svislé rovině při měření zenitových úhlů, a to zejména u záměr procházejících nízko nad terénem. Z hlediska optických vlastností prostředí jsou nejdůležitější teplotní a tlakové poměry, které ovlivňují rozhodující měrou hustotu a tím i index lomu vzduchových vrstev.

V minulosti byly snahy určit univerzální koeficient refrakce, jehož zavedením by se z měření odstranil její vliv. V našich podmínkách je nejnámější a nejužívanější průměrná hodnota refrakčního koeficientu $k = 0,1306$ stanovená Gaussem v letech 1823-1826 z vyrovnání tzv. Hannoverského stupňového měření mezi Göttingenem a Altonou. Ve volném prostoru dosti vysoko nad terénem (v literatuře [7] jsou za dostatečnou výšku považována měření alespoň 30 m nad terénem) je teplotní gradient $-0,01^{\circ}\text{C}/\text{m}$ což odpovídá refrakčnímu koeficientu 0,14. Avšak v blízkosti terénu je teplotní gradient značně proměnlivý podle intenzity slunečního záření a druhu povrchu, nad kterým záměra prochází. Z experimentu dle [7] vychází v noci teplotní gradient kladný $+0,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$, což znamená refrakční koeficient $k = 0,79$. Jednu až dvě hodiny po východu slunce je teplotní gradient nulový a $k = 0,20$ a ve dne má při měření nad asfaltovou plochou teplotní gradient záporné hodnoty $-0,2^{\circ}\text{C}/\text{m}$, což dává hodnoty $k = -0,98$. V nepříznivých podmínkách mohou být tyto hodnoty ještě výraznější. Podrobněji viz [7].

2.1 Zjišťování hodnoty teplotního gradientu

V literatuře [15] je popsán experiment, kterým se zjišťovaly hodnoty teplotního gradientu v blízkosti stavebního objektu. Experiment byl proveden na rohu Bohoslovecké koleje v Dejvicích. Měření probíhala na konci září a v říjnu. Měřilo se pomocí deseti teplotních čidel rozmístěných do tvaru dvojitého kříže. Vertikální teplotní gradient, který byl určován z čidel umístěných 0,5 m od budovy, kdy jedno čidlo bylo ve výšce 0,87 m nad terénem a druhé čidlo bylo 1,47 m nad terénem dosahoval extrémních hodnot od $-0,8^{\circ}\text{C}/\text{m}$ do $+4,3^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Průměrná hodnota byla $+2,4^{\circ}\text{C}/\text{m}$ a denní amplituda až $4,4^{\circ}\text{C}/\text{m}$. A v případě čidel, která byla umístěna 1,47 a 1,86 m nad terénem byl tento interval ještě větší. Hodnoty vertikálního teplotního gradientu se pohybovaly mezi $-10^{\circ}\text{C}/\text{m}$ a $+1,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Průměrná hodnota byla $+4,8^{\circ}\text{C}/\text{m}$ a denní amplituda až $11^{\circ}\text{C}/\text{m}$.

Vertikální teplotní gradient, který byl určován z čidel umístěných 1,5 m od budovy dosahoval extrémních hodnot, v případě čidel umístěných 0,95 m a 1,55 m nad terénem, od $-0,7\text{ °C/m}$ do $+3,5\text{ °C/m}$. Průměrná hodnota byla $2,1\text{ °C/m}$ a denní amplituda až $3,7\text{ °C/m}$. A v případě čidel umístěných 1,55 m a 1,9 m nad terénem to byly hodnoty od -5 °C/m do $+1,8\text{ °C/m}$. Průměrná hodnota byla $4,2\text{ °C/m}$ a denní amplituda až 6 °C/m . Z výsledků je zřejmé, že gradienty vypočteny z nižších čidel jdou proti hodnotám zjištěným z vyšších čidel. Tedy jestliže hodnoty vertikálního teplotního gradientu zjištěné z nižších čidel klesají, průběh vertikálního teplotního gradientu zjištěného z vyšších čidel stoupá.

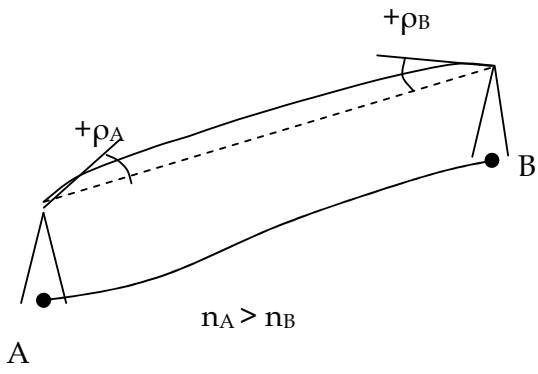
Hodnoty teplotních gradientů se blíží k nule, když se dostaly obě stěny budovy do stínu. V případě měření na konci října nezávisí průběh vertikálních teplotních gradientů ani tak na vzdálenosti od budovy, jako na výšce nad terénem.

2.2 Tvar refrakční křivky

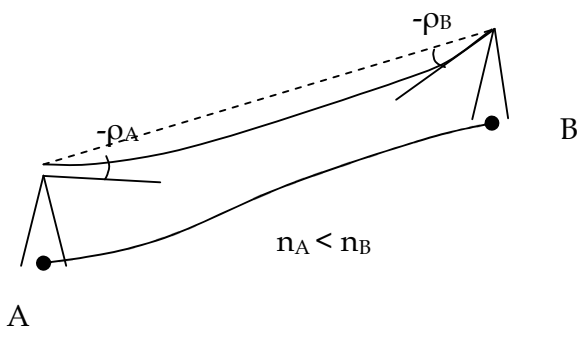
Problematika tvaru refrakční křivky je podrobněji řešena v [12].

Situace, že refrakční křivka je velmi blízká kružnicovému oblouku, tzn. že refrakční úhly na obou koncích záměry jsou přesně stejné je velmi výjimečná. Prokázalo se, že ve většině případů je refrakční úhel menší na bodě s větší nadmořskou výškou. Z faktu, že se refrakční úhel zmenšuje se stoupající nadmořskou výškou, se vychází při výpočtech refrakčního úhlu, kdy se refrakční křivka matematicky nahradí hyperbolou. Základem této metody je tedy předpoklad, že refrakční křivka je částí větve hyperboly. Na obr. č. 2.2.1 jsou ukázány různé tvary refrakčních křivek, jaké mohou za různých atmosférických podmínek nastat. Na obr. 2.2.1 a) je nejtypičtější tvar refrakční křivky, který je obvyklý při standardních atmosférických podmínkách (nadmořská výška $h_B > h_A$, tlak $p_A > p_B$, teplota $t_A > t_B$ a teplotní gradient $dt/dh = -7\text{ °C/km}$; refrakční koeficient je kladný $+k$). Na obr. 2.2.1 b) je tvar refrakční křivky typický pro atmosférické podmínky, kdy je teplotní gradient podstatně vyšší než $dt/dh = -7\text{ °C/km}$ (tato situace nastává tam, kde je malý výškový rozdíl; refrakční koeficient je záporný $-k$).

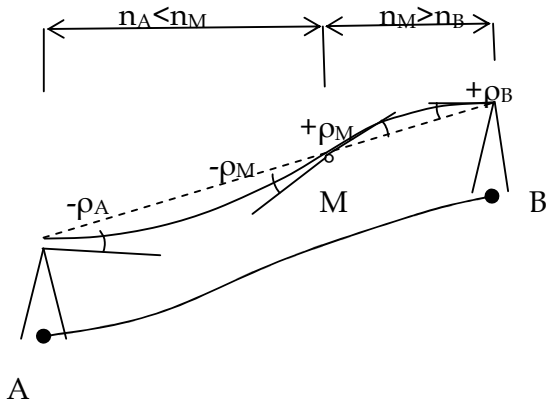
a)



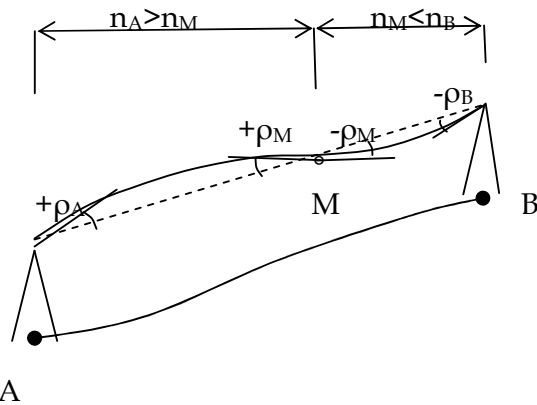
b)



c)



d)



Obr. č. 2.2.1 a), b), c), d) Možné tvary průběhu refrakční křivky

Je také možné, že v průběhu záměry dojde k změně znaménka refrakčního koeficientu. Tedy, že na stanoviscích nabývá opačných hodnot. Na obr. 2. 2. 1 c) je, kdy na stanovisku A dosahuje refrakční koeficient záporných hodnot a na stanovisku B kladných. Na obr. 2.2.1 d) je opačný případ, kdy refrakční koeficient je kladný na A a na B záporný.

V literatuře [14] je popsán rozdíl mezi aproximací kružnicí a hyperbolou při měření vertikálních úhlů.

V tomto případě se obecně prostorová refrakční křivka uvažuje jako křivka rovinná.

Pro index lomu n vzduchu platí Sears-Barrellův vzorec:

$$(n - 1) \cdot 10^{-6} = \frac{79,23 \cdot p - 11,4 \cdot e}{273,15 + T}, \quad (2.2.1)$$

kde p je atmosférický tlak v mbar, e je tlak vodních par ve vzduchu v mbar a T je teplota vzduchu v °C.

Index lomu n se dá vyjádřit jako funkce nadmořské výšky h ve tvaru: $n - 1 = \frac{b}{a + h}$,

kde a , b jsou konstanty, které můžeme určit z měřených meteorologických dat ve dvou bodech záměry A, B, jejichž výšky jsou známé.

$$\text{Jestliže } h_{AB} = h_B - h_A, \text{ bude } a = h_{AB} \frac{(n_A - 1)(n_B - 1)}{n_A - n_B}, \quad (2.2.2)$$

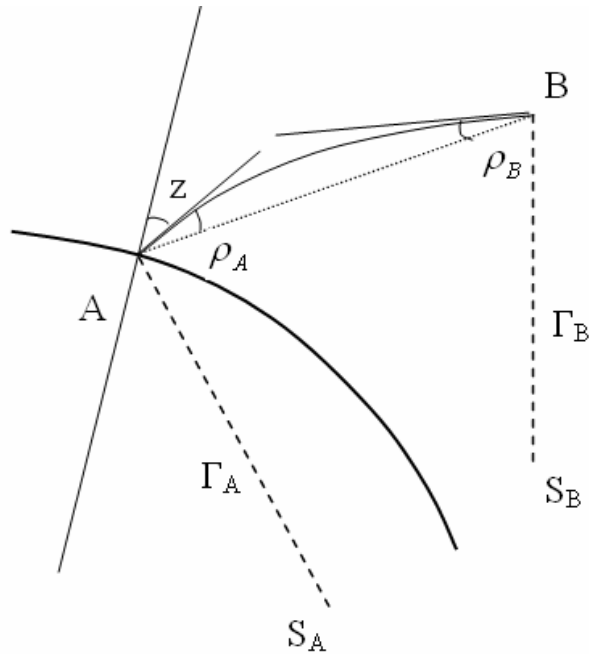
$$b = h_{AB} \frac{n_B - 1}{n_A - n_B}, \quad (2.2.3)$$

kde n_A a n_B jsou indexy lomu vzduchu u bodů záměry A, B.

Poloměr křivosti světelného paprsku se v diferenciální formě dá vyjádřit rovnicí

$$\Gamma = -\frac{1}{\frac{dn}{dh} \cdot \sin z}, \quad (2.2.4)$$

kde $\frac{dn}{dh}$ je gradient indexu lomu vzduchu a z je zenitový úhel. Zobrazení situace je na obr. 2.2.2.



Obr. 2.2.2 Znárodnění poloměrů křivosti pro koncové body záměry

Pro přibližné výpočty refrakčních úhlů a převýšení se někdy předpokládá, že refrakční křivkou je kružnice a že tedy $\Gamma = \text{konst.}$, $\rho_A = \rho_B = \rho$

Výpočet refrakčních úhlů

$$\rho_A = \frac{D \cdot (n_A - 1)}{h_{AB} \cdot (n_B - 1)} \cdot \frac{n_A - n_B}{1 + \sqrt[3]{\left(\frac{n_A - 1}{n_B - 1}\right)^2}} \quad (2.2.5)$$

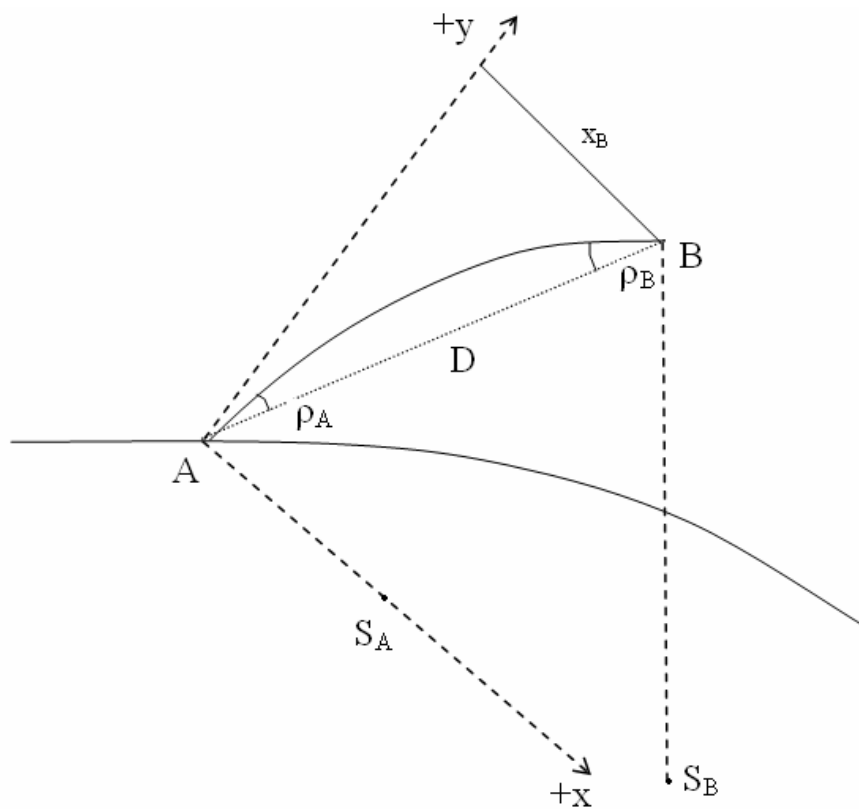
$$\rho_B = \rho_A \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{n_B - 1}{n_A - 1}\right)^2} \quad (2.2.6)$$

kde ρ_A a ρ_B jsou refrakční úhly na bodech A a B, n_A , n_B jsou indexy lomu na bodech A a B, h_{AB} je převýšení mezi body AB a D je vzdálenost mezi body AB.

Je-li délka D kratší než 500 m vzorce (2.2.5) a (2.2.6) se zjednoduší na:

$$\rho_A = \frac{D \cdot (n_A - 1)}{2 \cdot h_{AB} \cdot (n_B - 1)} \cdot (n_A - n_B) \quad (2.2.7)$$

$$\rho_B = \rho_A \cdot \left(\frac{n_B - 1}{n_A - 1} \right)^2 = \frac{D}{2 \cdot h_{AB}} \cdot \frac{n_B - 1}{n_A - 1} \cdot (n_A - n_B) \quad (2.2.8)$$



Obr. 2.2.3 Zobrazení v kartézské soustavě souřadnic

Rozdíl mezi aproximací kružnicí a hyperbolou.

Tento rozdíl ve výpočtu vlivu refrakce se dá určit jako rozdíl v úsečkách x_B za předpokladu, že jednou je to úsečka refrakční kružnice o poloměru Γ_k a v druhém případě úsečka hyperboly vypočtená z rovnice

$$x_B = - \frac{D^2}{\Gamma_A \left[1 + \left(\frac{\Gamma_B}{\Gamma_A} \right)^{1/3} \right]} \quad (2.2.9)$$

$$\text{Tento rozdíl je dán vztahem } \Delta = h_{XB} - k_{XB} = D^2 \left[\frac{1}{\Gamma_A \left[1 + \left(\frac{\Gamma_B}{\Gamma_A} \right)^{1/3} \right]} - \frac{1}{2\Gamma_k} \right] \quad (2.2.10)$$

Zobrazení je v obr. 2.2.3.

Při poměrech ve standardní atmosféře vychází $\Delta \approx 0,5 \cdot D^2$, kde D je v km a Δ v mm. Při nestandardní atmosféře, zvláště teplotně nedokonale promísené, jsou rozdíly v určení vlivu refrakce (kružnice - hyperbola) podstatně větší.

Meteorologické prvky ve třech bodech záměry

Jestliže budeme znát hodnoty teploty, tlaku a vlhkosti vzduchu v koncových bodech záměry a ještě v jednom jejím dalším bodě (označovaný M), může být závislost indexu lomu vzduchu na nadmořské výšce vyjádřena rovnicí s třemi parametry.

Index lomu vzduchu n se dá vyjádřit jako funkci výšky h ve tvaru:

$n-1 = a \cdot h^2 + b \cdot h + c$, jejíž parametry a, b, c se určí z hodnot indexů lomu vzduchu n_A, n_M, n_B , vypočtených podle Sears - Barellova vzorce z údajů v bodech záměry A, M, B. Bude-li refrakční křivkou opět hyperbola, vypočteme opět poloměry křivosti hyperboly z rovnice $\Gamma = -\frac{1}{\frac{dn}{dh} \cdot \sin z}$, (2.2.11)

kde $\frac{dn}{dh}$ je gradient indexu lomu vzduchu a z je zenitový úhel. Refrakční úhly v bodech záměry A a B pak můžeme vyjádřit:

$$\rho_A = \frac{D}{h_{AB}} \cdot \frac{3 \cdot (n_A - n_M) - (n_M - n_B)}{1 + \sqrt[3]{\frac{3 \cdot (n_A - n_M) - (n_M - n_B)}{(n_M - n_A) + 3 \cdot (n_M - n_B)}}} \quad (2.2.12)$$

$$\rho_B = \rho_A \cdot \sqrt[3]{\frac{(n_M - n_A) + 3 \cdot (n_M - n_B)}{3 \cdot (n_A - n_M) - (n_M - n_B)}} \quad (2.2.13)$$

V předchozích vzorcích (2.2.12 a 2.2.13) je obsažen gradient indexu lomu vzduchu g_n mezi horizonty A, B ve výrazu:

$$\frac{n_A - n_B}{h_{AB}} = \frac{n_A - n_B}{h_A - h_B} = g_n \quad (2.2.14)$$

Analogicky pro bod M.

Předchozích vzorců nelze využít, je-li výškový rozdíl h_{AB} příliš malý (klesá k nule). Pro odstranění této singularity se měří meteorologická data na bodech A, B ve dvou horizontech h'_A a h''_A , resp. h'_B a h''_B , tak aby jejich rozdíl byl okolo 4-7 metrů a vypočtou se velikosti gradientu indexu lomu g_{nA} , g_{nB} na bodech A, B, jejich průměr g_{nAB} a nahradí se jím gradient indexu lomu g_n ve vzorcích (2.2.5 a 2.2.6)

$$g_{nA} = \frac{n'_A - n''_A}{h'_A - h''_A} \quad (2.2.15)$$

$$g_{nB} = \frac{n'_B - n''_B}{h'_B - h''_B} \quad (2.2.16)$$

$$g_{nAB} = \frac{g_{nA} + g_{nB}}{2} \quad (2.2.17)$$

Určení refrakce z meteorologických dat je teoreticky dokonale propracováno. Základním problémem tohoto postupu je zaměření potřebného množství meteorologických dat - teoreticky je třeba znát v okamžiku cílení zenitového úhlu rozložení teploty podél celé jeho záměry, což není možné u delších záměr v běžné praxi realizovat.

Je nutné určit v okamžiku měření meteorologické podmínky minimálně ve třech místech záměry. Těmito místy je počáteční a koncový bod záměry a jeden bod uprostřed záměry. To vyžaduje tři vzájemně komparované meteorologické soupravy přístrojů a tedy velké množství meteorologických dat určovaných v závislosti na čase. Z těchto důvodů je tato metoda pro práce většího rozsahu v plochem terénu prakticky nerealizovatelná. Což je hlavní důvod, proč se tato metoda v praxi nepoužívá - její využití je při vědeckých a výzkumných pracích.

2.3 Metoda konstantní refrakce pro stanovisko

V literatuře [8] je popsán experiment, při kterém se zjišťoval vliv refrakce při měření ve Vysokých Tatrách.

Experimentem zjištěná průměrná hodnota refrakčního koeficientu v osmi sítích dosáhla hodnoty 0,1262, která se jen nevýznamně liší od Gaussovy hodnoty. Avšak u deváté sítě, kde bylo měření ve večerních a nočních hodinách byly refrakční koeficienty větší. Ale i když je průměrná hodnota refrakčního koeficientu blízka Gaussem stanovené hodnotě, hodnoty refrakčních koeficientů jednotlivých stanovisek se pohybovaly v rozmezí od 0,067 do 0,195. Je proto zřejmé, že hodnota 0,13 se pro zpracování přesných měření s delšími záměry nehodí. Také hodnota refrakčního koeficientu určená při vyrovnání jako neznámá konstanta, společná pro všechna stanoviska v síti (nebo pro větší části sítě), obecně

nevyloučí systematické refrakční chyby na jednotlivých stanoviscích, i když poněkud zlepší celkové vyrovnání. Po takovém vyrovnání zůstává často nepříjemně velká aposteriorní střední chyba vyrovnaných zenitových úhlů, způsobená chybami z refrakce. Největší refrakční chyby se vyskytují u záměr probíhajících nízko nad terénem. Pro dosažení dobrých výsledků i v sítích s delšími záměry (například v tomto experimentu byly záměry okolo 5 km) je třeba při vyrovnání sítě respektovat rozdílnost refrakčního koeficientu na každém stanovisku i s případnou refrakční korekcí pro každou záměru. V podstatě nejde ani o určení hodnoty refrakce, ale o vyloučení jejího vlivu na určované výšky.

Obecný model pro vyjádření refrakčního koeficientu k_{ij} záměry P_iP_j vyjádříme proto jako součet dvou funkcí

$$k_{ij} = f(P_i) + g(P_i, P_j),$$

kde funkce $f(P_i)$ představuje hlavní část refrakce na stanovisku P_i , která je na azimutu záměry nezávislá (tj. pro všechny záměry stejná) a funkce $g(P_i, P_j)$ vyjadřuje refrakční korekci pro záměru P_iP_j . Při měření za normálních observačních podmínek (tedy mimo období náhlých refrakčních změn jako je východ a západ slunce, náhlé letní bouřky apod.) se volí nulová refrakční hypotéza ve tvaru $f(P_i) = k_i$, $g(P_i, P_j) = 0$, což po dosazení do rovnice pro koeficient k_{ij} znamená, $k_{ij} = k_i$. Tato hypotéza je pro praktické aplikace nejdůležitější. Dobře se osvědčila při vyrovnání devíti sítí v tomto experimentu s výjimkou několika anomálních záměr (v jednotlivých sítích 1% - 4 % záměr, z nichž většina probíhala v blízkosti stanoviska nízko nad zemí).

Nedostatky a přednosti metody pro určení refrakce z geodetických měření. Poměrně náročný způsob zaměření a komplikovaný postup zpracování zenitových úhlů je slabinou této metody, která přirozeně nevyklučuje refrakci úplně. V sítích s průměrnou délkou záměr 5 až 7 km snižuje relativní chybu refrakčního koeficientu z obvykle udávané hodnoty 25 % asi na 8 %. Refrakční chyby, které zůstanou v síti i po jejím vyrovnání, mají charakter náhodných chyb (rozložení oprav zenitových úhlů určených vyrovnáním devíti sítí nevykazovalo systematické anomálie). V sítích s kratšími délkami záměr přesnost v určení refrakce klesá a současně klesá také její vliv na určení výšek. V sítích s delšími záměry je tomu obráceně, takže celkově roste střední chyba v určení výšek s odmocninou z délky záměry.

Tato metoda nevyžaduje žádné speciální přístrojové vybavení. Určuje refrakci takovou, jaká se vyskytovala v době měření zenitových úhlů a dává uspokojivé

výsledky, i když jsou podmínky pro tuto metodu splněny jen částečně. Není ji ovšem možné užít pro zpracování samostatně (obousměrně) měřených stran.

Výpočet refrakce v pořadech trigonometrické nivelace

Trigonometrická nivelace se může vyrovnat svou přesností přesné technické nivelaci, pokud se podaří vyloučit vliv systematických chyb, zejména chyb z refrakce a z excentricity signálů. Vliv refrakce se sníží a excentricity se vyloučí, pokud se cílí současně na obou koncích téže strany proti sobě na středy objektivů teodolitů. Přitom se předpokládá rovnost refrakčních koeficientů na obou koncích téže strany. Tento předpoklad není obecně opodstatněný u záměr, které probíhají nízko nad zemí, zejména nad terénem, který je vzhledem ke středu záměry výrazně nesymetrický, zvláště při měření za slunečného nebo střídavě slunečného počasí. Naopak při měření za vhodných observačních podmínek, zejména při zatažené obloze v době poměrného refrakčního klidu není nezbytně třeba požadovat současnost měření na obou koncích téže strany. Pro dosažení přesnosti okolo 4mm/km je třeba, aby délky záměr nepřesahovaly 2 km.

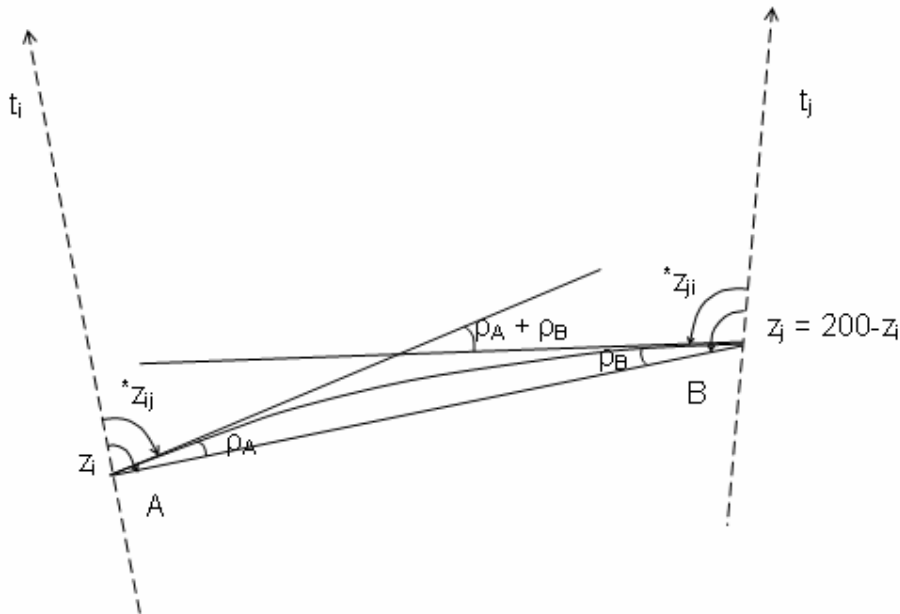
2.4 Metoda konstatní refrakce pro záměru

Empiricky bylo zjištěno, že v případě běžných (maximálně 2 km dlouhých, málo skloněných a alespoň symetrických) záměr, kde vertikální složka refrakce obvykle výrazně převažuje, bude refrakční křivka velmi plochá a blízká kružnicovému oblouku, který aproximuje průmět obecně prostorové refrakční křivky do svislé roviny. Dokonalejší, ale složitější náhradou je použití části větve hyperboly (s plynule měnící se křivostí) [12], která již respektuje poznatek, že refrakční úhel na téže oboustranně měřené záměře je obvykle menší na bodě s výrazně větší nadmořskou výškou.

Popis metody konstatní refrakce pro záměru

Tento měřický postup je založen na měření zenitových úhlů na obou koncových bodech záměry současně, resp. za přibližně stejných atmosférických podmínek. Svoje uplatnění nachází při záměrech s malým sklonem do 10%, s délkou do 2 km a také za předpokladu přibližně středově souměrného průběhu záměr nad terénem - tedy předpokladu stejného vlivu refrakce na obou koncích záměry. Vzhledem k předpokladům (malý sklon a délky do 2km) není nutné se zabývat relativními tížnicovými odchylkami, jejichž vliv na výsledné převýšení podstatně neovlivní přesnost metody. Za těchto předpokladů lze ze současně měřených oboustranných zenitových úhlů získat výškové rozdíly téměř bez vlivu refrakce a

může se tak výsledné trigonometrické převýšení považovat za rovnocenné s nivelovaným.



Obr. č. 2.4.1.1 Oboustranné měření zenitových úhlů

Průmět refrakční křivky do svislé roviny je v tomto zjednodušeném případě nahrazen kružnicovým obloukem.

Průměrný refrakční koeficient pro záměru k_{ij} můžeme z oboustranně měřených zenitových úhlů vyjádřit pomocí vzorců:

$$k_{ij} = \frac{2 \cdot \rho_{ij}}{\varphi_{ij}} = \frac{R}{R'}, \quad (2.4.1.1)$$

$$\rho_{ij} = \frac{\rho_A + \rho_B}{2} = \frac{\pi}{2} + \frac{\varphi_{ij}}{2} - \frac{z_{ij} + z_{ji}}{2}, \quad (2.4.1.2)$$

kde ρ_{ij} je průměrný refrakční úhel, φ_{ij} je geocentrický úhel, ρ_A a ρ_B jsou refrakční úhly na obou stranách záměry, z_{ij} a z_{ji} jsou měřené zenitové úhly, R je poloměr Země a R' je poloměr refrakční křivky (aproximované kružnicovým obloukem).

Převýšení se počítá dle vzorce (podrobněji v [1])

$$h_{ij} \approx D'_{ij} \cdot \sin\left(\frac{z_{ji} - z_{ij}}{2}\right) \quad (2.4.1.3)$$

(platí pro délky do 2km a malý sklon záměr), kde D'_{ij} je šikmá délka mezi stabilizačními znaky bodu $P_i P_j$, z_{ij} a z_{ji} současně měřené zenitové úhly,

$h_{ij} = h_j - h_i$ je trigonometricky určený výškový rozdíl nadmořských výšek h_i a h_j bodů $P_i P_j$.

Za předpokladu, že je refrakce na obou koncích záměry stejná, poskytuje tento vzorec výškové rozdíly zbavené nejen zakřivení Země, ale i vlivu refrakce.

Při oboustranném a současném měření zenitových úhlů a při požadované vysoké přesnosti výsledků, lze ještě početně eliminovat systematické chyby měřičů a přístroje. Především chybu v cílení na kontrastní rozhraní vodorovných pruhů válcových signálů a rozdílné horizonty přístrojů. Oboustranné měření zenitových úhlů představuje významný způsob eliminace hlavně při kratších záměrech, ale nutnost současné observace z obou koncových bodů záměry častokrát znemožňuje uplatnění metody.

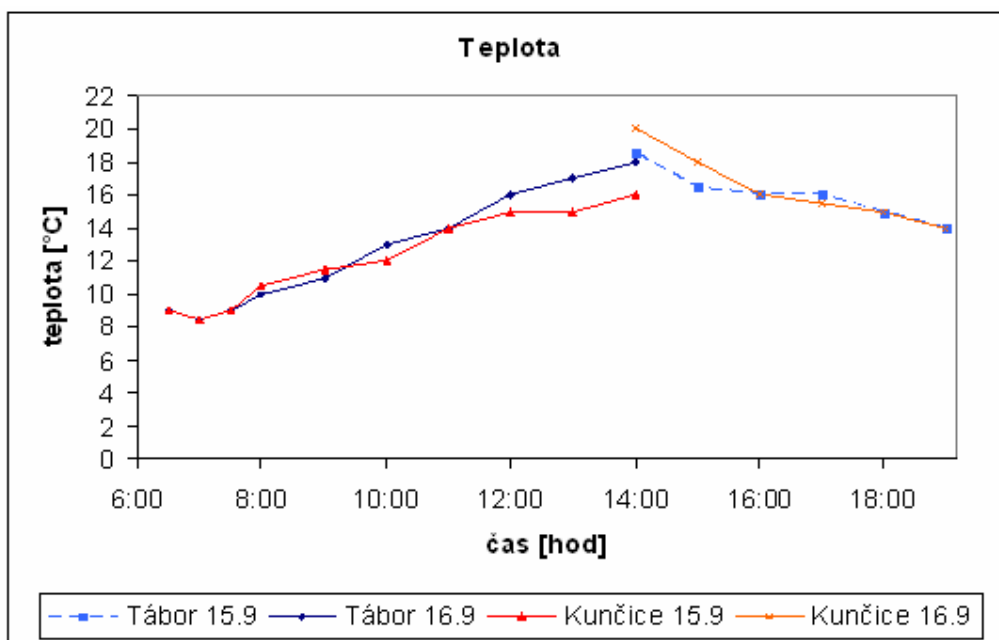
2.4.1 Experimentální měření na srovnávací výškové základně ve Starém Městě pod Sněžníkem

Experimentální měření pro sledování velikosti a časových změn vlivu refrakce na měřené zenitové úhly bylo uskutečněno na srovnávací výškové základně Tábor – Kunčice ve Starém Městě pod Sněžníkem. Detailněji je toto měření popsáno v literatuře [17]. Zenitové úhly byly měřeny na excentrických stanoviscích Kunčice ex. a Tábor ex. Měření probíhalo dne 15.9.2004 v čase od 14 hod. až do 19 hod. a 16.9.2004 v dopoledních hodinách od cca 7 hod. až do cca 14 hod. Zenitové úhly byly měřeny současně protisměrně – dva měřiči, dva přístroje stejného typu. Aby byl dodržen zvolený refrakční model a protisměrné měření bylo měřeno současně, měřily se na začátku každé celé hodiny čtyři laboratorní jednotky, což při přibližně stejné rychlosti měřičů zaručovalo současné protisměrné měření. Výjimkami byly ranní a večerní hodiny, kdy se předpokládala velká proměnlivost vlivu refrakce a měřilo se po půlhodinách – ve dvou nebo čtyřech laboratorních jednotkách. Čas byl zaznamenáván na začátku a na konci každé laboratorní jednotky (v tab. 2.4.1.1 je čas průměrován, aby byla jen jedna vztažná hodnota pro každý průměr laboratorních jednotek).

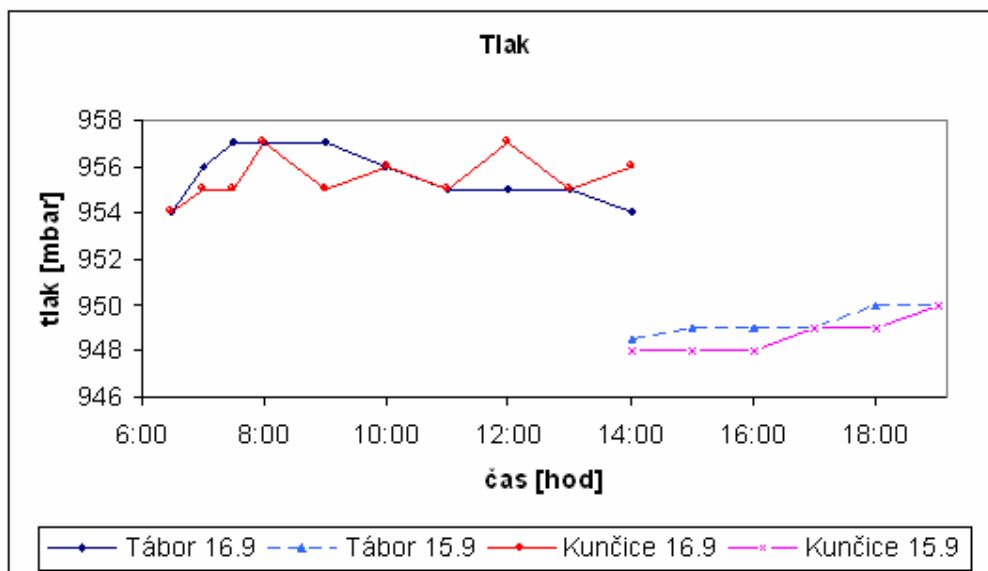
Měřeno bylo na měřické válce – střídavě na horní a dolní rozhraní. Délku nebylo možno měřit přímo, proto byla vypočtena ze souřadnic určených metodou GPS převedením na spojnici kámen-kámen. Vypočtená délka spojnice kámen-kámen po odstranění délkového zkreslení z Křovákova zobrazení: $D'_{ij} = 1704,353$ m.

Pro účely sledování vývoje refrakce byla při měření každé laboratorní jednotky měřena také teplota a tlak. Při měření teploty byl teploměr volně zavěšen a

chráněn před přímým slunečním svitem. Teplota se četla s přesností na 0,5 °C a tlak s přesností na 0,5 mbar. Dne 15.9 bylo polojasno až zataženo a 16.9 dopoledne bylo polojasno až zataženo. Kolem poledne pak jasno a docházelo k vibraci vzduchu. Hodnoty teploty a tlaku jsou vyneseny v grafech č. 2.4.1.1 a 2.4.1.2



Graf č. 2.4.1.1 Průběh teplot



Graf č.2.4.1.2 Průběh tlaku

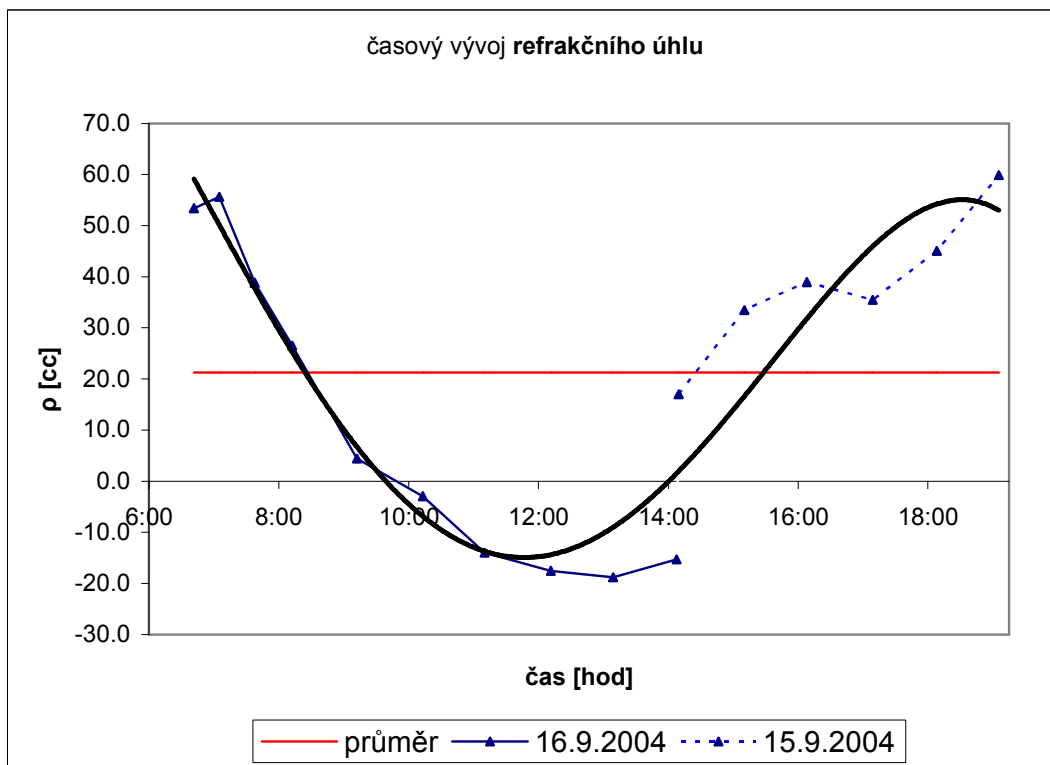
Aby se odstranila systematická chyba z utápění v černé barvě, byly centrované zenitové úhly průměrovány po čtyřech laboratorních jednotkách.

V tabulce 2.4.1.1 je převýšení $*h_{ij}$ vypočítáno z měřeného jednostranného zenitového úhlu $*Z_{ij}$ (v tomto případě i - Tábor, j - Kunčice) – tedy bez odstranění vlivu refrakce. Vidíme, že v průběhu dne se tyto hodnoty velmi liší, maximální rozdíl je 187 mm. Dále je v ní vypočtený refrakční koeficient k a vypočtené převýšení h_{ij} s odstraněným vlivem refrakce. Porovnáním zjistíme, že hodnoty převýšení vypočtené s odstraněným vlivem refrakce jsou už mnohem vyrovnanější. Rozdíl mezi nejmenším a největším vypočteným převýšením je nyní 45 mm.

Hodnoty z této tabulky jsou znázorněny v grafech č. 2.4.1.3 a 2.4.1.4

Čas	$*h_{ij}$ [m]	refrakční koeficient k	h_{ij} [m]	$*h_{ij} - h_{ij}$ [m]
6:41	10,5197	0,63	10,3767	0,1430
7:04	10,5097	0,65	10,3608	0,1489
7:37	10,4865	0,46	10,3826	0,1039
8:12	10,4672	0,31	10,3962	0,0710
9:12	10,3916	0,05	10,3797	0,0119
10:13	10,3821	-0,03	10,3900	-0,0079
11:10	10,3686	-0,16	10,4062	-0,0376
12:11	10,3362	-0,21	10,3832	-0,0470
13:09	10,3497	-0,22	10,4002	-0,0505
14:07	10,3403	-0,18	10,3812	-0,0409
14:09	10,4048	0,09	10,3848	0,0200
15:10	10,4487	0,28	10,3845	0,0642
16:08	10,4674	0,35	10,3886	0,0788
17:09	10,4683	0,3	10,3989	0,0694
18:08	10,4922	0,42	10,3971	0,0951
19:05	10,5240	0,59	10,3891	0,1349
průměr	10,4348	0,21	10,3875	0,0473

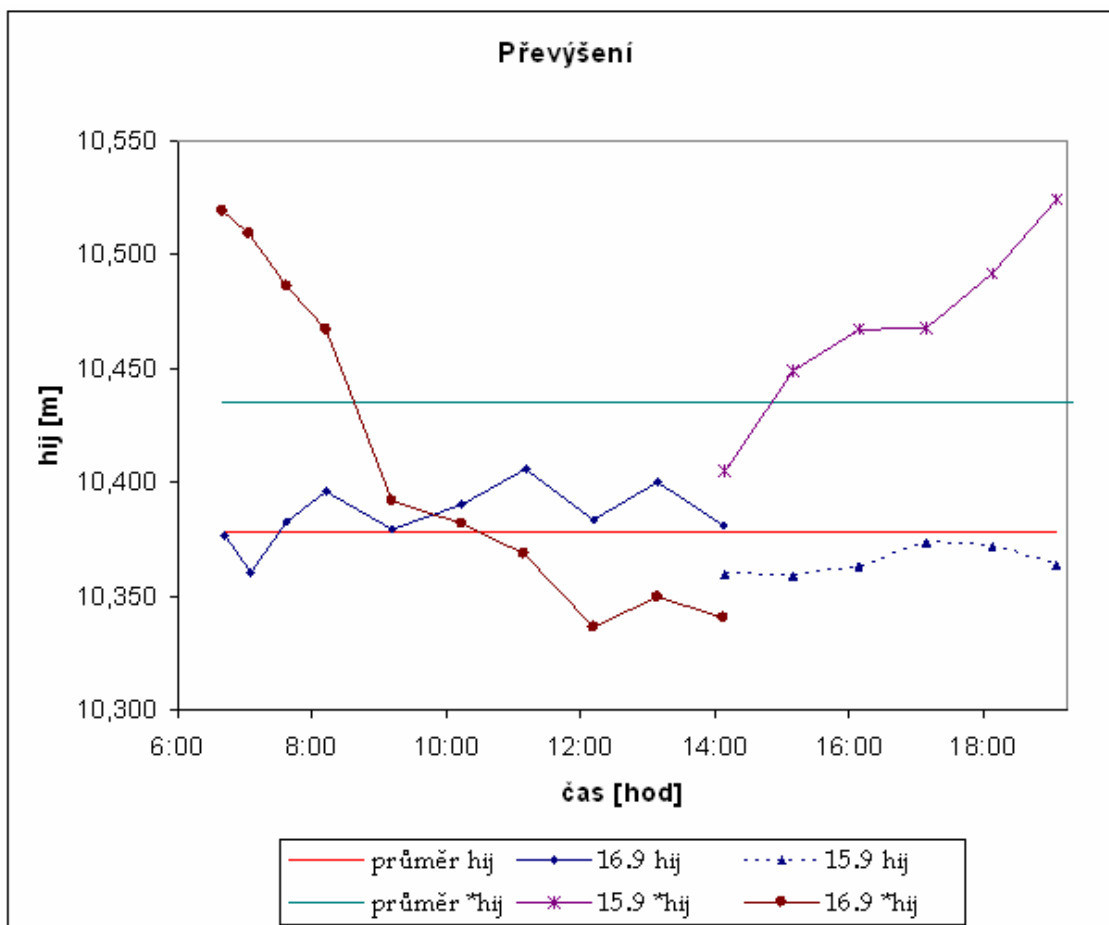
Tab. 2.4.1.1 Porovnání převýšení



Graf č. 2.4.1.3

Silnou čarou je v grafu zobrazena aproximace polynomem 3. stupně, aby se vysledoval trend.

Je vidět, že v odpoledních hodinách prvního dne měření byly horší atmosférické podmínky a výrazněji se mění refrakční koeficient. Není proto dobré vždy mechanicky používat univerzální refrakční koeficient 0,13. V ranních a večerních hodinách, kdy refrakční koeficient dosahoval výrazných kladných hodnot by sice vliv refrakce snížil, ale kolem poledne, kdy vypočtený refrakční koeficient dosahoval záporných hodnot by naopak zavedení univerzálního refrakčního koeficientu 0,13 výsledky zhoršilo.



Graf č.2.4.1.4

Rozdíl průměru převýšení vypočteného z jednostranně měřeného úhlu na stanovisku Tábor a průměru převýšení vypočteného z oboustranně měřených úhlů a opravením vlivu refrakce podle modelu konstantního refrakčního koeficientu pro záměr je 47,3 mm. Tato hodnota by měla představovat chybu z vlivu refrakce. Pro záměr délky 1 km je chyba ve vypočteném převýšení 28 mm.

Porovnání:

V září 2003 bylo velmi přesnou nivelací zjištěno převýšení: $h_{ij} = 10,3867$ m.

Měření	ρ_{ij} [°C]	k_{ij}	h_{ij} [m]	Rozdíl h_{ij} od nivelovaného převýšení [mm]
15.9.2004	28,8	0,34	10,3905	3,8
16.9.2004	11,0	0,13	10,3857	1,0
Spojení 15 a 16.9 2004	17,7	0,21	10,3875	0,8

Je vidět, že takto změřené převýšení je přesností srovnatelné s nivelací – od nivelovaného převýšení se liší v milimetrech. Průměrné převýšení odpovídá přesnosti přesné nivelaci, jednotlivá dílčí převýšení nivelaci technické.

Dne 16.9. 2004 byl zjištěn refrakční koeficient 0,13, který odpovídá průměrnému refrakčnímu koeficientu stanovenému Gausssem. Dne 15.9.2004 je refrakční koeficient téměř třikrát vyšší.

Na dané základně již proběhlo určování refrakčního koeficientu – měřeno bylo také v září (podrobněji v [2]). Bylo měřeno od cca 10 hod. dopoledne do půlnoci – tedy cca 14 hodin. Srovnání zjištěných refrakčních koeficientů v tabulce.

	Refrakční koeficient		
	nejmenší	největší	průměrný
Výsledky z článku [2]	-0,52	+0,93	+0,21
Výsledky z měření 2004	-0,25	+0,65	+0,20

Zde je vidět, že ač v roce 2000 dosahoval refrakční koeficient větších extrémů, průměrná hodnota je téměř stejná jako zjištěná měřením v roce 2004.

2.4.2 Využití refrakčního modelu z měřených meteorologických dat

Článek [18] se věnuje trigonometrickému určování výšek se záměry desítky metrů až cca 300 m a využití refrakčního modelu z měřených meteorologických dat pro snížení vlivu refrakce. Při experimentu se měřily změny teploty, vlhkosti a barometrického tlaku ovzduší. Trigonometrické měření bylo prováděno v průběhu několika dní a nocí v letech 1975-2000 a to v Bratislavě, Kleštině, Háje a v Gabčíkove. Pozorované body byly stabilizované vrty půlmetrové tloušťky a 6-10 metrové hloubky, s tím, že nad terénem jsou jakožto pilíře ve výšce 1,3 a 3 m. Tyto pilíře byly opatřeny centrační podložkou se závitem pro přesné centrování přístrojů, resp. cílových terčů. Převýšení mezi jednotlivými body bylo určeno dvakrát velmi přesnou nivelací na začátku a konci experimentu. Délky mezi pozorovanými body byly měřené elektrooptickými dálkoměry s empirickou střední chybou do 5 mm. Zenitové úhly byly měřeny přístroji Wild T3, Elta S10 a Geodimeter 600. Měřilo se ve skupinách s 1-2 hodinovým opakováním. A současně se měřily změny teploty, vlhkosti a barometrického tlaku ovzduší.

Rozdíl při měření ve dnech 8-9. 6. 1976 mezi měřeným převýšením přesnou nivelací a vypočteným trigonometricky u skupinových průměrů od -4,3 mm do

+3,3 mm. V případě vyrovnaných skupinových průměrů se tato odchylka pohybovala mezi -2,8 mm až +3,3 mm.

2.5 Nivelační refrakce

Vliv refrakce nelze, na rozdíl od většiny systematických chyb, vyloučit geometrickou nivelací ze středu.

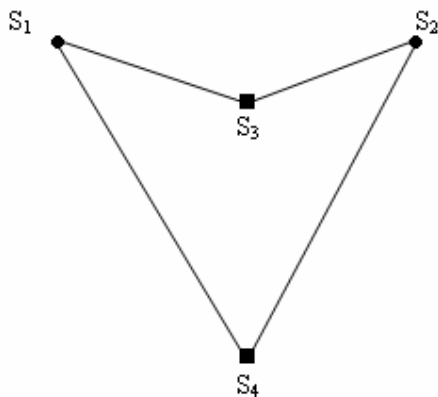
Podle [8] může systematická chyba z refrakce dosahovat hodnot 0,05 mm až 0,1 mm na jeden metr převýšení při nivelování se záměry dlouhými 50 m a její velikost je přímo úměrná čtverci délky záměry.

2.5.1 Vliv refrakce při nivelačních pořadech

Ve volném prostoru se vzduch otepluje a ochlazuje především od povrchu terénu, a proto se dá předpokládat, že vrstvy vzduchu stejné teploty jsou v mikroklimatu přibližně rovnoběžné s povrchem.

V literatuře [21] bylo provedeno experimentální měření, mapující vliv refrakce při nivelačních pořadech nad asfaltovým povrchem – měření po komunikacích, kde se dají předpokládat největší změny teploty v průběhu dne. Část měření byla prováděna na komunikacích, které nejsou celý den zastíněny – vyjma několika drobných stínů (úseky I, II, III) a část měření byla na komunikacích, které jsou celý den, nebo významnou část dne, stíněny vegetací (úseky IV, V). Při měření bylo slunečné až oblačné počasí.

Měření probíhalo v dubnu, květnu a září v lokalitě okolí pražského stadionu Strahov, přičemž jako základní obrazec byla vzata sestava viz obr. 2.5.1.1.



Obr 2.5.1.1 Uspořádání nivelační sestavy

Předpoklad je, že záměry ze stanoviště S₃ jsou mnohem kratší, proto vliv refrakce bude výrazně menší, než ze stanoviště S₄. Pro další výpočet se předpokládá, že tento vliv refrakce pro měření na stanoviště S₃ je zanedbatelný, proto se měření ze stanoviště S₃ bere jakožto měření neovlivněné refrakcí.

Latě na stanovištích S₁ a S₂ byly postaveny na obvyklých nivelačních hřebech, což umožnilo konat měření v různém prostředí. Aby se zajistily stejné podmínky pro čtení ze stanoviště S₃ a S₄, bylo měřeno dvěma nivelačními přístroji. Na stanovištích S₃ a S₄ bylo měřeno současně a snaha byla stavět přístroje tak, aby se četlo na přibližně stejné místo na latích.

Měření jednotlivých sestav následovala bezprostředně po sobě a vždy deset sestav tvořilo jeden oddíl. Výsledky měření jsou shrnuty do pěti úseků sestavených v tab. 3 (úsek I se skládá ze 3 oddílů, zbylé úseky ze 4 oddílů). Úseky I až III byly měřeny za slunečního až oblačného počasí v prostředí ojedinělých stínů stromů. Úseky IV a V byly měřeny za slunečního počasí v místech ležících téměř celý den ve stínu.

Úsek	délka úseků [m]	převýšení z stanoviště S ₃ [m]	převýšení ze stanoviště S ₄ [m]	rozdíl - vliv refrakce [mm]
I	76,5	19,57341	19,57215	-1,26
II	111,2	24,20322	24,20294	-0,28
III	129,6	16,56980	16,56961	-0,19
IV	106,4	17,87343	17,87545	2,02
V	128,0	16,57304	16,57452	1,48
Mezisosčet etap I,II, III	317,3	60,34643	60,3447	-1,73
Mezisosčet etap IV a V	234,4	34,44647	34,44997	3,50
Celkový součet všech etap	551,7	94,7929	94,79467	1,77

Tab. 2.5.1.1 Vypočtená převýšení

Rozdíl v převýšení mezi měřeními ze stanoviště S₃ (předpoklad bez vlivu refrakce) a měřeními ze stanoviště S₄ (ovlivněné refrakcí) je v etapách I, II, III (tedy za podmínek přímého slunečního světla) - 1,73 mm při celkové délce pořadu 317,3 m. Rozdíl v těchto etapách je záporný.

Z etap IV a V se zjistilo působení refrakce při měření ve stínu. Rozdíl mezi převýšením měřeným ze stanoviště S₃ (opět předpoklad měření neovlivněného refrakcí) a ze stanoviště S₄ je + 3,5 mm při celkové délce pořadu 234,4 m. Rozdíl je v těchto etapách kladný.

Refrakční chyba při nivelování za slunečného dne v otevřeném terénu má systematicky záporné znaménko. S přibýváním zastíněných ploch se chyba z refrakce zmenšuje, až při souvisle zastíněných plochách má kladné znaménko. Tyto vlivy jdou proti sobě, proto součtem všech úseků je chyba menší než v součtu úseků IV a V.

V nivelačním pořadu vedeném za slunečného počasí střídavě otevřeným terénem a lesem může nabývat celková refrakční chyba kladných i záporných hodnot, v závislosti na poměru obou prostředí.

2.5.2 Numerické modelování vlivu svislé složky atmosférické refrakce

V článku [19] je analýza chování konstrukce při požáru. Při experimentálním měření zde byly oproti běžnému měření velice vysoké teploty a tedy i velké hodnoty teplotních gradientů. Cílem experimentu bylo porovnat různé metody výpočtu možné systematické chyby způsobené atmosférickou refrakcí.

Jedná se o tři modely. První je model odvozený na základě Snellova zákona lomu, kdy se atmosféra rozdělila na jednotlivé diferenciální vrstvy a index lomu se počítal pomocí Barellova-Searsova vzorce. V dostatečném počtu kroků se pak určil posun cíle.

Dalším modelem byla diferenciální rovnice průchodu vlnoplochy nehomogenním prostředím. Index lomu se opět počítal pomocí Barellova-Searsova vzorce.

A posledním modelem byl zjednodušený model prof. Böhma, kdy se posun cíle počítal v závislosti na délce a sklonu záměry a velikosti teplotního gradientu.

Porovnáním těchto modelů se zjistilo, že pro záměru dlouhou 13,5 m se vypočtené odchylky od přímočarého šíření začínají lišit až pro teplotní gradient velikosti 15 °C/m, kdy se první dva modely od zjednodušeného modelu prof. Böhma lišily o 0,2 mm.

A pro teplotní gradient velikosti 1 °C/m se zjednodušený model prof. Böhma odlišil od prvních dvou o 0,1 mm na vzdálenost 50 m a na vzdálenost 100 m to bylo 0,4 mm.

V experimentálním měření pro tuto disertační práci v Národní technické knihovně nedosahovaly zjištěné teplotní gradienty takových extrémních hodnot (nejextrémnější dosažená hodnota teplotního gradientu použitého pro výpočet opravy z vlivu refrakce byla -5,75 °C/m). A také délky záměr byly nejvýše 24 m. Proto by se rozdíly ve výpočtu podle jednotlivých metod neprojevíly.

3. Současný stav řešené problematiky - horizontální refrakce

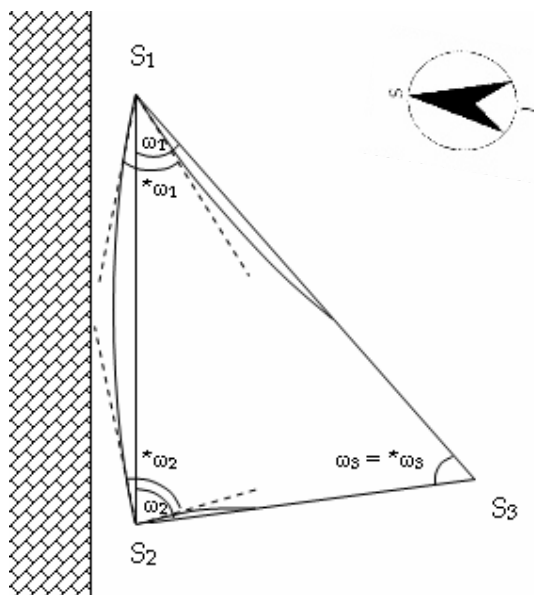
Je to refrakce způsobující odchýlení od přímé spojnice stanovisko-cíl ve směru horizontálním. Obecně nezpůsobuje takovou odchylku, jako ve vertikálním směru, ale i ona může velmi výrazně ovlivnit měření. U této refrakce jsou nebezpečné úseky s výrazným horizontálním teplotním gradientem např. měření podél lesa, vodní plochy nebo rozsáhlých budov. Při měření polygonů např. ve městech - v ulicích, není možné měřit na volném prostranství a záměry procházejí podél budov.

3.1 Sledování vlivu horizontální refrakce

V literatuře [12] je ověření takového vlivu, při měření podél budovy. Byl zvolen trojúhelník, kdy jedna strana je rovnoběžná s budovou a třetí bod je ve volném prostranství.

Záměrně bylo voleno rozmístění stanovisek tak, aby byla jedna záměra rovnoběžná s budovou, protože to odpovídá běžnému měření polygonů v ulicích měst.

Měření bylo uskutečněno od prosince 1982 do dubna 1983. Měřilo se na Letenské pláni na Praze 7. Rozmístění stanovisek bylo do trojúhelníka viz obr. 3.1.1.



Obr. 3.1.1 Rozmístění bodů

V obrázku jsou značené měřené úhly hvězdičkou u těchto se předpokládá vliv refrakce, zatímco bez hvězdičky jsou úhly bez vlivu refrakce.

Strana S_1S_2 je ve vzdálenosti 1,5 m od budovy a je s budovou rovnoběžná. Bod S_3 je ve volném prostranství. Délka strany S_1S_2 je 240 m. Předpoklad je, že záměry podél budovy budou procházet jiným optickým prostředím, než záměry z bodu S_3 .

Z obrázku je zřejmé, že refrakce nepůsobí pouze na záměry mezi body S_1 a S_2 , ale i na záměry z bodů S_1 a S_2 na bod S_3 . Předpokládá se, že refrakce ve směru kolmém od budovy (tedy i od záměry S_1S_2) je nulová. Avšak tyto záměry nejsou kolmé, proto velikost této refrakce při záměrech na bod S_3 je závislá na velikosti úhlu, o němž se odchylují od kolmice od budovy. Čím více se odchyluje, tím je větší. Proto se zavedly vztahy pro výpočet refrakčního úhlu pro tyto záměry.

$$\rho_{13} \approx \rho_{12} \cdot \cos \omega_1$$

$$\rho_{23} \approx \rho_{21} \cdot \cos \omega_2$$

Zatímco u úhlů ω_1 a ω_2 se předpokládá, že budou ovlivněny refrakcí, u úhlu ω_3 se předpokládá, že vliv refrakce bude zanedbatelný. Proto je položen $^*\omega_3 = \omega_3$.

Měřily se délky a úhly. Dále byly měřeny teploty na každém bodě trojúhelníka po celou dobu měření, tlak a vlhkost vzduchu. Délky byly měřeny dálkoměrem v různých meteorologických podmínkách. Z nich vypočtené úhly jsou pro další srovnání brány jakožto úhly neovlivněné horizontální refrakcí. Střední chyba měření délek je $m_s = 0,4$ mm, což znamená střední chybu vypočtených úhlů $m_\omega = 1''$. A to je podstatně menší chyba, než střední chyba měřených úhlů.

Horizontální úhly byly měřeny v šesti různých dnech s různým počasím, pokaždé ve 4 skupinách. Střední chyba průměru všech etap $m_\omega = 4''$.

Refrakční úhly $^*\rho_i$ byly vypočteny jako rozdíl úhlů měřených a vypočtených z délek: $^*\rho_i = ^*\omega_i - \omega_i$ ($^*\omega_i$ měřené úhly a ω_i jsou úhly vypočtené z délek). Velikost refrakčních úhlů zjištěná měřením je v tab. 3.1.1.

V rovině trojúhelníku by měl dávat součet úhlů $200''$, ale součet měřených úhlů $^*\omega_1$, $^*\omega_2$ a $^*\omega_3$ se od této hodnoty liší i o $30''$ (jednotlivé rozdíly jsou v tab. 3.1.1)

Jedna možnost je tento rozdíl rozdělit rovnoměrně na jednotlivé měřené úhly – každý opravit o třetinu této hodnoty. Ale tím by se nezohlednil vliv budovy, v jejíž blízkosti se měřilo. Situace na bodech S_1 a S_2 byla jiná, než na bodě S_3 . Proto je další varianta zohlednit vliv refrakce na jednotlivé záměry a opravit měření o tento vliv.

Měřená teplota byla vždy větší v blízkosti budovy, než ve volném prostoru. Tedy v blízkosti budovy bylo opticky řidší prostředí a refrakční křivka byla vypuklá směrem k budově.

Etapa	$200g - \sum^* \omega_i$ [cc]	$^* \rho_1$ [cc]	$^* \rho_2$ [cc]
1	- 31,9	+ 24,7	+ 2,2
2	- 24,0	+ 18,2	+ 11,2
3	- 25,1	+ 11,4	+ 2,3
4	- 9,5	+ 3,9	+ 4,0
5	- 24,7	+ 19,3	+ 13,8
6	- 31,4	+ 20,7	- 0,6

Tab. 3.1.1 Uzávěry trojúhelníku a refrakční úhly

Srovnání dvou způsobů opravy:

- zavedení oprav o vliv refrakce a zbývající odchylka od 200g pak rovnoměrně rozdělená mezi jednotlivé úhly
- jednoduché opravení o třetinu odchylky od 200g úhlů – tato odchylka tedy byla rozdělena rovnoměrně na jednotlivé úhly.

V tabulce 3.1.2 jsou uváděny průměrné hodnoty.

	ω_i – vypočtené z délek [g]	$^* \omega_i$ měřené [g]	$\omega_i - ^* \omega_i$ [cc]	Způsob a) [g]	Způsob b) [g]	rozdíl a) a b) [cc]
ω_1	43,71161	43,71323	-16,2	43,71190	43,71242	-5,2
ω_2	87,28585	87,28640	-5,5	87,28496	87,28558	-6,3
ω_3	69,00254	69,00282	-2,8	69,00297	69,00200	9,7

Tab. 3.1.2 Porovnání různých způsobů určení vrcholových úhlů

Rozdíl dvou způsobů opravy dosahuje rozdílu až 9,7^{cc}, což na 1000 m je hodnota 15,2 mm a to rozhodně není pro přesná měření zanedbatelná hodnota.

3.2 Experimentálně zjištěné hodnoty teplotního gradientu

V literatuře [11] a [15] je sledován průběh horizontálního teplotního gradientu v blízkosti stavebního objektu. Teplotní gradient zde násobně překračuje mezní hodnoty zjištěné ve volném terénu.

V literatuře [15] je popisován experiment na rohu Bohoslovecké koleje v Praze Dejvicích.

Z tohoto měření se zjišťovaly také horizontální teplotní gradienty. A to z čidel, které byly umístěny ve výšce cca 1,5 m nad terénem.

Z čidel, která byla ve vzdálenosti 0,03-0,53 m od budovy se zjistil horizontální teplotní gradient, jehož hodnoty jsou převážně kladné. Extrémní kladné hodnoty pro tento horizontální teplotní gradient jsou od 1,3 °C/m do 3 °C/m a extrémní záporné hodnoty se pohybují od -0,3 °C/m do -3,5 °C/m . Denní amplituda je až 6, 5 °C/m a průměr je 4,0 °C/m.

Z čidel, která byla ve vzdálenosti 1,03 m a 1,50 m od budovy se zjistil horizontální teplotní gradient, který nabývá převážně záporných hodnot. Jeho denní amplituda byla až 4,5 °C/m a průměr byl 2,0 °C/m.

3.3 Horizontální refrakce při působení různých objektů

V literatuře [24] je popsán experiment, při kterém se zjišťovaly teplotní gradienty v blízkosti různých objektů. Cílem experimentu bylo zjistit horizontální refrakci při působení objektů různých povrchů a barev, např. budovy a zdi z různých materiálů, vstupy do tunelů a betonové přehrad. Celkem se naměřilo 1170 teplotních profilů na těchto 9 objektů v průběhu 42 dnů.

Byla stanovená obecná kritéria, jako je typ stavby, stavební materiál, barva, roční období, expozice – sever, jih.

Například v případě zdi z betonu, tmavěšedé barvy, výšce 2,5 m, tloušťce 0,4 m a jižní orientaci vychází nejextrémnější gradient – 38 °C/m pro vzdálenost 0-0,2 m od zdi. A pro vzdálenost od zdi 0,5-1,0 m to je -1,3 °C/m. K tomuto měření jsou další výsledky v následující tabulce č. 3.3.1:

	23.4.1987		15./16. 9. 1987	
	Nejvyšší teplota [°C]	Nejnižší teplota [°C]	Nejvyšší teplota [°C]	Nejnižší teplota [°C]
Teplota zdi	29,8	10,6	43,3	22,9
Průměrná teplota vzduchu	20,8	7,2	28,0	18,4
Vzdálenost od zdi	Teplotní gradienty [°C/m]			
0-0,2 m	-32,0	-11,4	-38,0	-10,6
0,2-0,5 m	-2,4	-0,6	-3,5	-0,2
0,5-0,9 m	-1,3	-0,2	-2,0	-0,4
0,9-2,0 m	-0,3	0,0	-2,0	-0,3

Tab. 3.3.1 Teplotní gradienty v závislosti na vzdálenosti od betonové zdi

A pro hráz délky 45 m a výšky 28 m vychází extrémní teplotní gradient dokonce - 70 °C/m ve vzdálenosti 0-0,2 m od hráze. A ve vzdálenosti od hráze 0,5-0,9 m je nejextrémnější gradient -2,6°C/m. Další výsledky jsou v následující tabulce č. 3.3.2.

	13.3.1987		11./12. 9. 1987	
	Nejvyšší teplota [°C]	Nejnižší teplota [°C]	Nejvyšší teplota [°C]	Nejnižší teplota [°C]
Teplota hráze	15,7	2,5	41,9	18,4
Průměrná teplota vzduchu	3,4	-1,2	20,4	13,9
Vzdálenost od hráze	Teplotní gradienty [°C/m]			
0-0,2 m	-26,0	0,0	-70,0	-16,5
0,2-0,5 m	+3,5	0,0	+1,7	-1,5
0,5-1,0 m	-1,4	+0,7	-2,6	0,0
1,0-1,5 m	-0,7	0,0	-0,4	0,0

Tab. 3.3.2 Teplotní gradienty v závislosti na vzdálenosti od hráze

4. Vlastní experimentální měření vlivu vertikální refrakce

Refrakce při nivelaci a metodě geometrické nivelace ze středu se obecně nejvíce projevuje ve sklonitém terénu, protože se více zakřivuje záměra bližší k terénu a proto je různá velikost zakřivení při záměře vzad a vpřed. Tato chyba se nevyloučí geometrickou nivelací ze středu, má systematický charakter - jedná se o tzv. diferenční refrakci. Při nivelaci v přibližně vodorovném terénu se vliv refrakce z důvodu prakticky stejných podmínek po celé délce záměry dá téměř zcela vyloučit geometrickou nivelací ze středu a proto je její vliv zanedbatelný.

V našem případě byl terén téměř vodorovný, avšak ne na volném prostranství. Docházelo zde k výrazné změně teploty v důsledku přechodu z vně budovy dovnitř a navíc při otevření dveří došlo k vyrovnávání teplot, tedy se dá předpokládat, že došlo k velké proměnlivosti teplotních gradientů vlivem proudění vzduchu.

Obecné pravidlo pro měření na rozhraní různých optických prostředí (např. při vstupu do budovy, dolu apod.) je, že na rozhraní vždy musí být lať. Aby záměra vzad a vpřed procházela co nejvíce stejným optickým prostředím. V našem případě jsme vzali opačný případ, kdy na rozhraní stojí přístroj. Tedy záměra vzad má cestu mnohem odlišnějším optickým prostředím než vpřed. Chtěli jsme zjistit v extrémních případech, jak nedodržení zásady „na rozhraní stojí lať“ ovlivní měření.

4.1 Popis experimentu

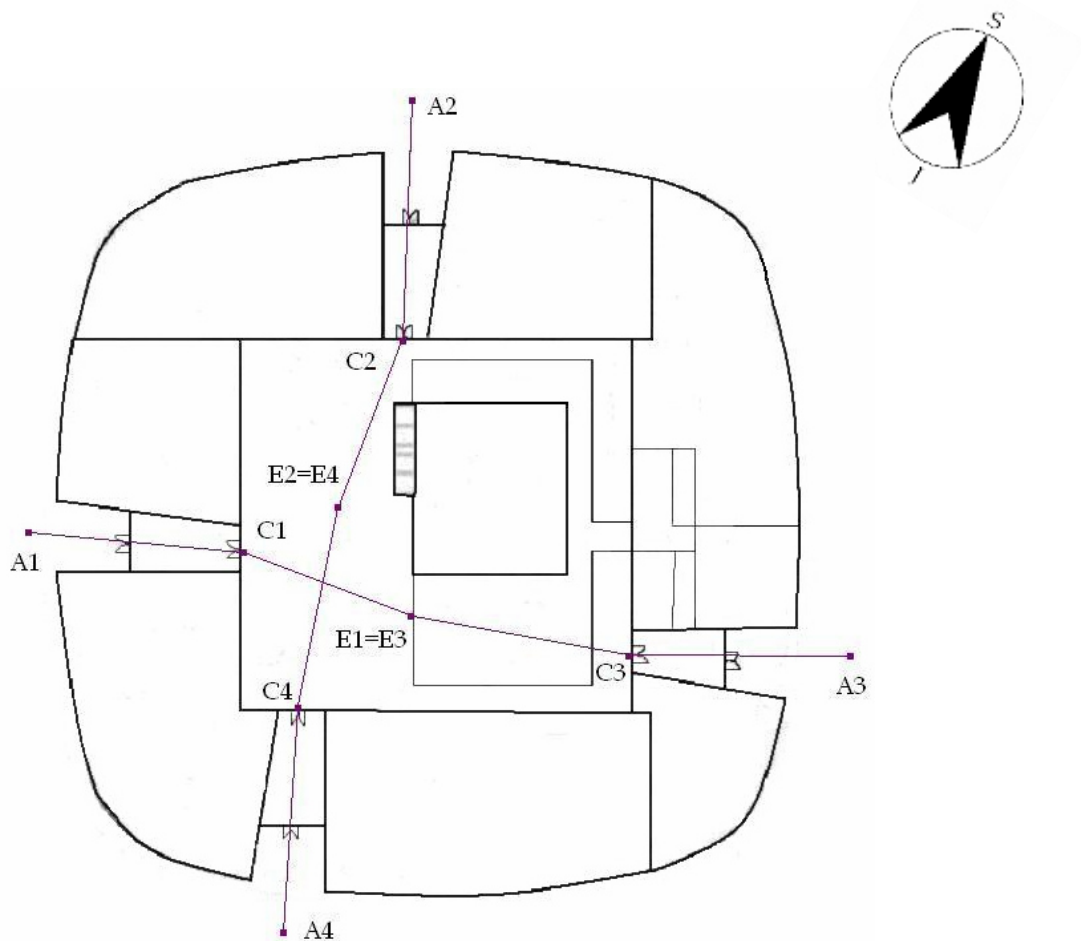
Cílem experimentu je určit rozdíl mezi převýšením bodů určených z nivelačních pořadů vedených skrz budovu a nivelačních pořadů vedených okolo budovy. Pořadů vedených okolo budovy bylo změřeno celkem 11, z toho 6 s nivelačním přístrojem Koni 007 a 5 s digitálním nivelačním přístrojem DNA 03. Tyto pořady byly měřeny v různé roční i denní doby a za různého počasí. Z těchto měření se vzal průměr a z něj se vypočítalo převýšení mezi jednotlivými body. Předpokladem je, že takto získaná převýšení, vzhledem k většímu počtu opakovaného měření, jsou skutečné hodnoty.

A s těmito hodnotami se porovnávají jednotlivé pořady vedené skrz budovu. U těchto pořadů vedených skrz budovu se předpokládají, kromě měřických chyb i chyby z vlivu refrakce. Dále se podél záměry měří teploty a z nich se počítají teplotní gradienty. A z takto zjištěných teplotních gradientů se vypočtou předpokládané chyby z vlivu refrakce. Porovnáním rozdílů mezi převýšením určeným z nivelačních pořadů měřených okolo budovy a skrz budovu s takto vypočtenými chybami z vlivu refrakce se může ověřit jednak správnost použití vzorců pro výpočet oprav z refrakce a jednak se může zjistit i chyba, jakou toto měření může dosahovat v extrémním případě, že na rozhraní optických prostředí stojí přístroj a ne lať.

Měření bylo prováděno v Národní technické knihovně v Dejvicích a jejím okolí. Budova Národní technické knihovny v Dejvicích je pro experiment výjimečně vhodná, protože je samostatně stojící a je přístupná ze všech stran, tedy lze vést nivelační pořad okolo. Navíc půdorys budovy má přibližně tvar superelipsy (podrobnější studie tvaru a vlastností budovy knihovny v literatuře [5]), kdy z každé strany vede vchod a uvnitř je rozsáhlé atrium, kterým lze vést nivelační pořad mezi všemi vchody. Nákres knihovny je na obr. 4.1.1.

Experiment byl prováděn vždy v neděli, z důvodu zamezení přílišného pohybu osob jednotlivými vchody. V neděli je v provozu pouze nonstop studovna u vchodu č. 3. Zbytek vchodů bývá uzamčen. Proto bylo dohodnuto s vedením knihovny, že speciálně kvůli našemu experimentu nám odemknou i zbývající vchody.

Měření bylo prováděno dvěma přístroji – optickomechanickým Koni 007 a digitálním DNA 03. Z důvodu, aby se zjistily případné výrazné systematické chyby při měření ať už přístroje nebo měřiče při čtení. Porovnáním měřených výsledků se dá říci, že žádné závažné chyby se neprojeví, ani chyby v nepřesnosti čtení u Koni 007. Velikosti středních chyb i vypočtených odchylek jsou u obou přístrojů srovnatelné. Směrodatné odchylky průměru nivelačních pořadů měřených okolo pro měření přístrojem Koni 007 ve dnech 3. 11. 2013 a 1. 12. 2013 dosahují hodnot pro bod A1 0,09 mm, A4 0,15 mm a pro A3 0,10 mm. A směrodatné odchylky průměru nivelačních pořadů měřených okolo pro měření přístrojem DNA 03 ve dnech 9. 2. 2014 až 8. 2. 2015 dosahují hodnot 0,14 mm pro bod A1, 0,10 mm pro bod A4 a 0,04 mm pro bod A3.



Obr. 4.1.1 Nákres knihovny a konfigurace jednotlivých bodů

Body A_i byly trvale stabilizovány hřebem v kovové hmoždince vně budovy. Body E_i a C_i byly dočasně stabilizovány maticemi s půlkulatou hlavou, které se vždy ráno upevnily a odpoledne odstranily. A body B_i a D_i je jen označení bodů pro postavení nivelačního přístroje. Byly uprostřed mezi body A_i a C_i , resp. C_i a E_i a nebyly nijak stabilizovány, jen se vyznačily lepicí páskou, aby se splnila podmínka geometrické nivelace ze středu.

4.2 Kalibrace přístrojů a přístrojové vybavení

Měření teploty

Teploty se měřily digitálním teploměrem BTM-42083D s 12-ti teplotními čidly. Při měření 3. 11. 2013 bylo funkčních všech 12 čidel. Od měření 1. 12. 2013 již bylo funkčních pouze 7 čidel. Pro ukládání teplot byl nastaven interval 1 minuta. Přesnost odečtu teplot je 0,01 °C, směrodatná odchylka měření 0,1 °C.

Měření vlhkosti

Greisinger electronic GFTH 95, přesnost rozlišení relativní vlhkosti 0,1%

Měření tlaku

Greisinger electronic GPB 2300, přesnost (± 1 číslice), $\pm 0,25\%$ FS hystereze a linearita. Tlak měřen v jednotkách mbar, který se numericky rovná hodnotám v hPa.

Nivelační přístroje:

Měřilo se nivelačním přístrojem Koni 007, výrobní číslo 150972. Po celou dobu experimentu byla používána 1,8 m dlouhá lať s č. 49356. Měřeno bylo se stativem Zeiss.

Druhý nivelační přístroj byl digitální DNA 03, označení sériové číslo 337893, art number 723289. Po celou dobu experimentu se měřilo na lať s výrobním číslem 35713, stativ se používal Leica.

Pro všechna měření byly použity totožné přístroje i latě.

Kalibrace přístrojů:

Lať k Koni 007. Kalibrovala se používaná lať k nivelačnímu přístroji Koni 007. Proměřením v laboratoři se zjistilo měřítko latě 0.999999.

Měřilo se na stupnici interferometrem Renishaw ML10 Gold na lati v místech 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1750 mm.

Celkem se měření 4x opakovalo.

Tabulky naměřených hodnot jsou v příloze na str. P-1, v tabulkách P-4.2.1 a P-4.2.2:

Průměrná hodnota: 0,200685143 m

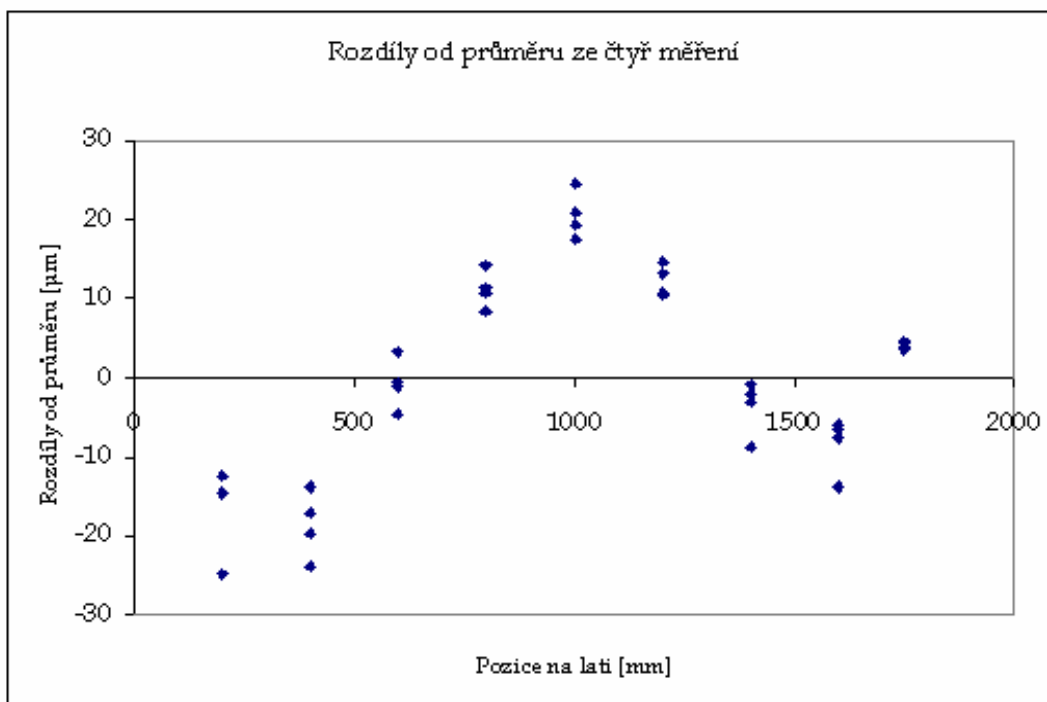
V následující tabulce jsou rozdíly od průměru pro jednotlivé polohy na lati, hodnoty jsou v mikrometrech. V záhlaví je uvedena pozice na lati v milimetrech:

Pozice na lati [mm]	200	400	600	800	1000
Rozdíl od průměru [μm]	-24,7	-19,8	3,2	14,3	17,5
	-14,7	-17,0	-4,5	10,7	20,9
	-14,5	-24,0	-1,1	11,5	19,2
	-12,4	-13,9	-0,7	8,4	24,5

Pozice na lati [mm]	1200	1400	1600	1750
Rozdíl od průměru [μm]	10,7	-8,8	-6,6	4,4
	13,1	-3,0	-6,0	4,5
	10,6	-2,0	-13,7	3,5
	14,7	-0,8	-7,6	4,0

Tab. č. 4.2.1

V následujícím grafu je na vodorovné ose pozice na lati v mm a na svislé ose jsou rozdíly od průměru pro jednotlivé polohy na lati v μm.



Graf. 4. 2. 1 Rozdíly od průměru pro jednotlivé polohy na lati

V grafu jsou hodnoty na stupnici x - poloha na lati v milimetrech a na stupnici y rozdíl od průměru v mikrometrech

Směrnice regresní přímky je -0.000001. Z toho měřítko latě je 0,999999.

DNA 03 – Zjištěné hodnoty

Při kalibraci systému lať a DNA 03 se měřilo ve třech sériích, se dvojnásobným opakováním měření.

Počáteční pozice 600,02 mm, krok 50 mm. Konečná pozice 2449,31 mm.

	Měřítka systému	Směrodatná odchylka
1.	+ 17 ppm	3 ppm
2.	+ 17 ppm	1 ppm
3.	+ 14 ppm	2 ppm

Protokol o výpočtu je v příloze na str. P-2 až P-8.

Teplotní čidla – kalibrace. Teplotní čidla byla ponořena do vody, aby se vyloučily krátkodobé vlivy prostředí a všechna byla ve stejných podmínkách. Měření probíhalo cca hodinu, kdy se teploty četly každou minutu. Z takto zjištěných hodnot se určil průměr a jedno čidlo se vzalo jako pevné a od něj se počítaly opravy pro ostatní čidla.

Před začátkem měření byl také provádět test na nevodornost záměry. Kdy se vyměřila základna délky 30 m a rozměřily se 2 body uvnitř – po vzdálenosti 10 m (tedy byly ve vzdálenosti 1/3 a 2/3 od krajního bodu). Na koncích stála lať a na dvou bodech uvnitř se postavil přístroj.

Zjištěné hodnoty chyby z nevodornosti záměry:

Hodnoty pro Koni 007

Den měření	Vypočtená chyba [cc]
3. 11. 2013	7,3
1. 12. 2013	5,8
27.7. 2014	7,2
8.2.2015	6,6

Hodnoty pro DNA 03

Den měření	Vypočtená chyba [cc]
9. 2. 2014	-3,2
6.4. 2014	-5,3
27.7. 2014	-6,0
8.2.2015	-11,3

4.3 Počasí

3. 11. 2013 Tohoto dne bylo převážně deštivo. Pršelo od ranních hodin, kolem poledního již jen mrholilo. Po celý den bylo větrno a oblačno. Vlhkost se pohybovala v rozmezí od 46 % do 49 %, tlak byl 971 mbar až 973 mbar. Teploty uvnitř budovy byly 20 °C -24 °C, venku 9 °C - 13 °C.

1. 12. 2013 Dne 1. prosince bylo celý den oblačno bez deště a bez slunečního záření. Nebyly žádné výrazné změny v počasí. Vlhkost se pohybovala od 29% do 33 %, tlak byl 994 mbar. Teploty uvnitř budovy byly 18 °C - 19 °C, venku 7 °C - 9 °C.

9. 2. 2014 Tento den bylo obdobné počasí jako dne 1. 12. 2013. Tedy zataženo, bezvětří a bez významnějších změn v počasí. Vlhkost byla 25% - 30 % a tlak byl 969 mbar. Teploty uvnitř budovy se pohybovaly v intervalu od 17 °C do 19 °C, venku byly 4 °C - 7 °C.

6. 4. 2014 Dne 6. dubna bylo ráno zataženo, oblačno. A kolem poledního začalo svítit slunce a odpoledne již byla jasná obloha. Vlhkost byla 35 % a tlak 985 mbar. Uvnitř budovy byly teploty 19 °C - 21 °C, venku od 14 °C do 18 °C

27. 7. 2014 Tohoto dne bylo celý den slunečno. Úplně jasná obloha a velmi výrazný svit slunce. Při měření u vchodu 1 na něj celou dobu svítilo slunce a bylo větrno, vchod 2 byl v polostínu, vchod 3 byl celý den ve stínu a při měření u vchodu 4 svítilo slunce a lehce foukal vítr. Vlhkost byla 53 % a tlak 984 mbar. Teploty uvnitř budovy se pohybovaly v rozmezí 24 °C - 27 °C, venku bylo 29 °C až 33 °C.

8. 2. 2015 Dne 8. února bylo proměnlivé počasí. Při měření u vchodu 4 svítilo slunce, vchody 2 a 3 byly ve stínu a při měření u vchodu 1 sněžilo, byly poryvy větru se sněhem. Vlhkost byla 20 % a tlak 987 mbar. Teploty uvnitř budovy 17 °C - 22 °C a venku v rozmezí od -1 °C do 3 °C.

Měření u vchodu 2 na obr. č. 4.3.1



Obr. 4.3.1 Nivelační přístroj DNA 03, měření 8. února 2015

4.4 Realizace experimentu

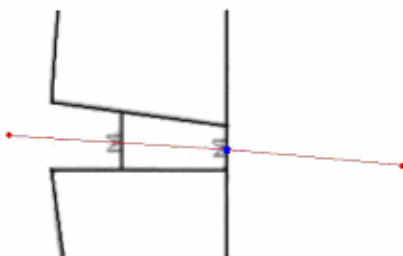
Venku před budovou před každým vchodem byl umístěn ve spáře betonu v kovové hmoždince vrut s půlkulatou hlavou, který byl stabilizován. A nebyl přemísťován po celou dobu trvání experimentu (od listopadu 2013 do února 2015). Viz nákres budovy - body A. Nebylo možné vrtání do betonu v okolí knihovny, ani nebylo dovoleno zabetonování stabilizačního hřebu do spáry. Proto byla stabilizace řešena vruty zašroubovanými do kovových hmoždinek do dilatačních spár betonu. Bohužel toto nebylo zcela spolehlivé do boku a u jednoho bodu u vchodu č. 4 došlo k pohybu (mezi měřeními v prosinci 2013 a únoru 2014) pravděpodobně z důvodu strojového odstraňování sněhu.

Uvnitř budovy byly rozmístěny matice s kulovým vrchlíkem, které byly k podlaze připevněny oboustranně lepící páskou. Tyto matice byly umístěny ráno na začátku měření a na konci dne byly vždy odstraněny. Celkem bylo rozmístěno 6 těchto matic, kdy 4 byly mezi vnitřními dveřmi budovy a 2 byly ve středu atria.

Vždy jeden společný bod pro vchody 1 a 3 a pro vchody 2 a 4. Viz nákres budovy – body C a E.

Měření probíhalo pro každý vchod zvlášť – rozmístila se teplotní čidla, zaměřila se nivelační sestava mezi vnějším bodem a bodem ve středu atria a následoval přesun celé techniky k dalšímu vchodu.

Měřilo se 2 způsoby. První způsob byl „dlouhé záměry“. Záměry byly dlouhé cca 20 m. Celý pořad z trvale stabilizovaného bodu před budovou skrz budovu a na trvale stabilizovaný bod na druhé straně budovy byl rozdělen na 2 sestavy. Měřický postup byl: Přístroj byl postaven ve vnitřních dveřích budovy (bod Ci) a záměry byly na trvale stabilizovaný bod Ai před budovou a na bod Ei uprostřed budovy pro daný pořad. Nákres měření v jednom vchodě je na obr. 4.4.1



Obr. 4.4.1 Měření na jednotlivých vchodech

Druhý způsob byl „krátké záměry“. Kdy záměry byly dlouhé cca 10 m. A celý pořad z trvale stabilizovaného bodu před budovou skrz budovu a trvale stabilizovaným bod na druhé straně budovy byl rozdělen na 4 sestavy.



Obr. 4.4.2 Upevnění teplotních čidel na výtyčce

Rozmístění teplotních čidel

Dne 3.11 bylo ještě funkčních všech 12 čidel, proto bylo 6 teplotních profilů, kdy čidla byla ve výšce 1 a 2 m. Rozmístění čidel – 6 bylo ve výšce 1 m nad terénem a 6 ve výšce 2 m nad terénem. Vždy byla na výtyčce umístěna 2 čidla = celkem 6 výtyček. Jedna výtyčka byla v blízkosti bodu A_i , druhá byla zvnějšku budovy nedaleko vnějších dveří, třetí byla u vnějších dveří z vnitřní strany, čtvrtá byla u vnitřních dveří z vnější strany, pátá byla u vnitřních dveří z vnitřní strany a šestá byla uvnitř, nedaleko bodu E_i .

Od měření dne 1. 12. 2013 včetně již bylo v provozu pouze 7 teplotních čidel, tedy se změnilo i rozestavení teplotních čidel. Byly vytvořeny celkem tři teplotní profily z těchto 7 teplotních čidel. Teplotní čidla byla rozmístěna na třech výtyčkách podél záměry. Na jedné výtyčce byla čidla ve výškách 1 m, 1,5 m a 2 m nad terénem. Upevnění je vidět na obr. 4.4.2. Na dvou výtyčkách byla čidla ve výškách 1 m a 2 m nad terénem. Teplotní gradient se vypočetl z teplot měřených těmito čidly v různých výškách.

Rozmístění výtyček: Výtyčka se třemi teplotními čidly byla umístěna vně budovy nedaleko bodu Ai. Jedna výtyčka se dvěma teplotními čidly byla umístěna mezi vnějšími a vnitřními dveřmi budovy a poslední výtyčka se dvěma teplotními čidly byla umístěna uvnitř budovy.

Po skončení měření v každém vchodě došlo k přesunu teplotních čidel na další vchod. Měření u vchodu č. 1 je na obr. č. 4.4.3.



Obr. 4.4.3 Průběh měření u vchodu č. 1

4.5 Výpočty

4.5.1 Použité vzorce

Výpočet opravy dL dle [22]:

$$dL = \frac{1}{2} \Gamma s^2 (1 - \operatorname{tg}^{-1} \beta \cdot \operatorname{tg}^{-1} z) \frac{dt}{dh}, \quad (4.5.1.1)$$

$$\Gamma = -0.000294 \frac{p}{1013} \cdot \frac{0.00367}{1 + 0.00367t} \quad (4.5.1.2)$$

dL - oprava z vlivu refrakce

s - délka záměry v m,

β - zenitový úhel vrstev vzduchu,

z - zenitový úhel záměry,

$\frac{dt}{dh}$ - teplotní gradient °C/m,

p - atmosférický tlak v mbar,

t - teplota °C

Pro nivelaci z = 100g a vzorec se zjednoduší:

$$dL = \frac{1}{2} \Gamma s^2 \frac{dt}{dh} \quad (4.5.1.3)$$

V případě, že bylo pro danou záměru více teplotních gradientů, tak se použil jejich průměr.

Mezní odchylka měření vypočtena dle [1]:

Délky pořadů - nivelační pořad okolo budovy: 300 m

Nivelační pořad skrz budovu: 84 m

$$\Delta \max_{mm} = 3 \cdot \sqrt{R_{km}}$$

Pro nivelační pořad okolo budovy: $\Delta \max_{mm} = 1,64$ mm

Pro nivelační pořad skrz budovu: $\Delta \max_{mm} = 0,87$ mm

Přesnost měření teplot. Při předpokládané směrodatné odchylce 0,1 °C v určení teploty, by přesnost zjištění opravy dle vzorce 4.5.1.3 byla následující. Teplotní gradient by se pro odchylku 0,1 °C v určení teploty lišil maximálně o 0,2 °C/m a z toho by rozdíl ve výpočtu opravy v krajním případě byl až 0,06 mm pro dlouhé záměry a 0,01 mm pro krátké záměry.

4.5.2 Nivelační pořady okolo - převýšení

U nivelačních pořadů okolo knihovny byl zvolen bod A2 jako základní vztahový. Tomuto bodu se přiřadila výška 0 mm.

Z důvodu pohybu bodu A4, jsou měření nivelačního pořadu rozdělena do dvou oddílů. První je z měření 3. 11 a 1. 12. 2013, druhé je ze zbývajících měření 1. 8. 2014 - 13. 2. 2015

V následujících tabulkách jsou uvedeny výšky bodů vzhledem k počátečnímu bodu A2. Převýšení je určeno měřeními nivelačních pořadů okolo knihovny.

V tabulce č. 4.5.2.1 jsou výšky bodů měřené před pohybem bodu A4 a v tabulce 4.5.2.2 jsou měření s novou polohou bodu A4

Datum	A1 [mm]	A4 [mm]	A3 [mm]
3. 11. 2013 Koni 007	7,55	-34,10	28,25
3. 11. 2013 Koni 007	7,60	-34,50	28,65
1. 12. 2013 Koni 007	7,95	-34,10	28,20
1. 12. 2013 Koni 007	7,75	-33,75	28,35
Průměr	7,71	-34,11	28,36
Směrodatná odchylka průměru	0,09	0,15	0,10

Tab. 4.5.2.1 Výšky bodů vzhledem k bodu A2

Datum	A1 [mm]	A4 [mm]	A3 [mm]
1. 8. 2014 Koni 007	7,70	-32,25	28,30
13. 2. 2015 Koni 007	7,95	-32,50	28,15
9. 2. 2014 DNA03	8,14	-32,47	28,66
9. 2. 2014 DNA03	8,16	-32,34	28,69
6. 4. 2014 DNA03	7,73	-32,59	28,63
27. 7. 2014 DNA03	7,62	-32,49	28,65
8. 2. 2015 DNA03	7,49	-32,93	28,84
Průměr	7,83	-32,51	28,56
Směrodatná odchylka průměru	0,10	0,08	0,09

Tab. 4.5.2.2 Výšky bodů vzhledem k bodu A2

Ve všech případech měření nivelačních pořadů okolo knihovny byla dodržena přesnost měření pro přesnou nivelaci, nebyly překročeny mezní odchytky.

Koni 007	Uzávěr nivelačního pořadu [mm]	DNA 03	Uzávěr nivelačního pořadu [mm]
3. 11. 2013	0,28	9. 2. 2014	0,14
3. 11. 2013	-0,40	9. 2. 2014	0,13
1. 12. 2013	-0,03	6. 4. 2014	-0,21
1. 12. 2013	-0,08	27. 7. 2014	0,19
1. 8. 2014	0,25	8. 2. 2015	0,27
13. 2. 2015	0,25		

Tab. 4.5.2.3 Uzávěry nivelačních pořadů okolo knihovny

Uzávěry nivelačních pořadů okolo knihovny vyšly v intervalu od -0,40 mm do +0,28 mm.

Převýšení bodů A1-A3 a A2-A4 vypočtená z průměrných převýšení tab. 4.5.2.1 a 4.5.2.2.

	A1-A3 [mm]	A2-A4 [mm]
Do 9. 2. 2014	20,87	-34,11
Od 9. 2. 2014	20,73	-32,51

Převýšení zbývajících kombinací bodů:

Nivelační pořad okolo	A1-A2 [mm]	A1-A4[mm]	A2-A3[mm]	A3-A4[mm]
do 9. 2. 2015	-7,71	-41,83	-28,36	-62,48
od 9. 2. 2015	-7,83	-40,34	-28,56	-61,07

4.5.3 Zjištěné teplotní gradienty

Vně budovy, kde byla tři teplotní čidla se získaly tři teplotní gradienty. Dva z nich se použily na výpočet oprav. To jsou ty, které jsou pro výšku záměry - tzn. gradienty získané z teplot z teplotních čidel umístěných ve výšce 1,5 a 2 m a z teplotních čidel ve výšce 1 m a 2 m. Zbývající teplotní gradient určený z teplotních čidel umístěných ve výšce 1 m a 1,5 m se pro výpočty oprav nivelovaného převýšení nepoužil. Ale jeho hodnoty jsou zde uvedeny pro vysledování teplotních změn.

Výtyčka na které byla tři teplotní čidla byla umístěna vně budovy, v blízkosti bodu Ai.

V příloze na str. P-9 až P-13 jsou tabulky hodnot teplotních gradientů. Tyto hodnoty jsou znázorněny v následujících grafech.

V grafech jsou vyneseny teplotní gradienty z čidel ve výšce 1 m a 2 m pro všechna umístění teplotních profilů. A z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m nad terénem, resp. 1 m a 1,5 m pouze u bodů Ai (u ostatních teplotních profilů nebylo teplotní čidlo ve výšce 1,5 m).

Teplotní gradienty byly zjišťovány pro měření při dlouhých i krátkých záměrech. Dlouhé záměry jsou ty, u kterých stál nivelační přístroj na bodě Ci a měřilo se vzad na body Ai a vpřed na bod Ei. Tedy pořad mezi body AiAj skrz knihovnu byl veden na dvě sestavy.

Krátké záměry jsou záměry, které jsou poloviční oproti dlouhým záměrům. U nich stál nivelační přístroj na bodech Bi a měřilo se vzad na bod Ai a vpřed na bod Ci a pak se přenesl přístroj na bod Di a měřilo se vzad na bod Ci a vpřed na bod Ei. Tedy celý pořad skrz knihovnu mezi body AiAj byl veden na 4 sestavy.

Při měření na 2 sestavy stál přístroj mezi vnitřními dveřmi. Tyto dveře bývají běžně zavřené, otevřeli jsme je jen kvůli měření a to na co nejkratší dobu, aby se co nejvíce zachovaly rozdíly teplot mezi vnitřkem budovy a venkovním prostředím. Záměra vzad na bod Ai vedla cca 10 m chodbou, která byla ukončena dveřmi. Tyto dveře se na měření také otevřely, ale pouze po dobu měření, jinak byly zavřené. Dále záměra pokračovala cca 5 m další „chodbou“ která však již je volně otevřena. Tato „chodba“ se postupně rozšiřuje, u vnitřních dveří je široká cca 4 m a u vnějších cca 5 m. A posledních cca 5 m šla volným, ničím neohrazeným prostředím.

Záměra vpřed na bod Ei vedla celou dobu vnitřním atriem knihovny, kde nejsou žádné překážky výrazněji ovlivňující teplotu.

U polovičních záměr, když přístroj stál na bodě Bi, tak stál téměř mezi vnějšími dveřmi knihovny. Nemohl stát úplně mezi nimi, protože přímo mezi nimi je zabudována rohož, která zcela jistě není vhodná na postavení nivelačního přístroje a hlavně splnění požadavků na přesnost měření. Záměra vzad na bod Ai vedla cca 5 m rozšířeným vchodem a cca 5 m volným prostředím ničím neohrazeným. Záměra vpřed vedla po celou dobu chodbou mezi vnějšími a vnitřními dveřmi knihovny. Lať byla postavena na bodě Ci, což byla matice s půlkulatou hlavou dočasně stabilizovaná mezi vnitřními dveřmi.

A když stál přístroj na bodě Di, tak záměra vzad na bod Ci vedla vnitřním prostorem knihovny k vnitřním dveřím a vpřed na bod Ei vedla prakticky stejným prostředím - atriem knihovny.

Měřily se vždy nejdříve nivelační pořady s dlouhými záměrami a teprve poté krátké záměry.

Ve dnech, kdy se měřilo oběma přístroji, byl postup měření následující:

Dne 27.7. 2014 se na vchodech 1 a 4 nejdříve změřily dlouhé záměry Koni 007 a následně se změřily krátké záměry Koni 007 a teprve poté se měřily dlouhé záměry DNA 03 a pak krátké záměry DNA 03. Na vchodech 2 a 3 byl postup opačný. Nejdříve se vše změřilo DNA 03 a následně pak se vše změřilo Koni 007.

Dne 8. 2. 2015 se na vchodech 2 a 3 nejdříve změřily dlouhé záměry Koni 007 a následně krátké záměry Koni 007. A poté dlouhé záměry DNA 03 a pak krátké záměry DNA 03. A na vchodech 1 a 4 byl postup opačný. Nejdříve se vše změřilo DNA 03 a následně pak se vše změřilo Koni 007.

Teplotní gradienty se počítaly z teplot zaznamenávaných v intervalu 1 minuta. Měření jedné sestavy ale trvalo několik minut. Proto se vždy vzal úsek měřených teplot z doby měření jednotlivé sestavy a ty se zprůměrovaly. A z těchto průměrů se vypočítaly teplotní gradienty, které se dále používaly na výpočet oprav.

V tabulkách je proto pro jednotlivé dny, přístroje i délky záměr uvedena vždy jen jedna hodnota teplotního gradientu. Je to hodnota, která se uvažovala pro výpočet oprav vždy pro tento konkrétní den, přístroj i délku záměry.

Průběh měření.

Dne 3. 11. 2013 se měřilo pouze Koni 007. Začínalo se dvojím změřením nivelačního pořadu okolo knihovny a následoval přesun dovnitř. Na jednotlivých vchodech s teplotními čidly se začínalo měřit odpoledne. Měřit se začínalo na vchodě 3 - zde se měřily dlouhé a krátké záměry v čase 12:32 až 12:56.

Následně se měřilo na vchodě 4 v čase 15:17 až 15:34 (velká prodleva mezi měřeními na vchodě 3 a 4 byla způsobena snahou o co nejrychlejší přesun mezi jednotlivými vchody, která způsobila následné dvouhodinové rozmotávání teplotních čidel).

Na vchodě 2 se měřilo v čase 16:00 až 16:20 a nakonec se měřilo na vchodě 1 v čase 17:13 až 17:32.

Dne 1. 12. 2013 se měřilo pouze Koni 007. Začínalo se měřit na vchodě 3 v čase 11:25 až 11:50. Na vchodě 1 od 13:05 do 13:28 a na vchodě 4 se měřilo od 13:55 do 14:30. Na vchodě 2 se tohoto dne neměřilo z důvodu expozice v této části budovy. Tohoto dne se zaměřil jeden nivelační pořad okolo knihovny ráno a druhý odpoledne.

Dne 9. 2. 2014 se měřilo pouze DNA 03. Na jednotlivých vchodech se začínalo měřit na vchodě 3. Zde měření probíhalo od 12:37 do 12:47. Následoval vchod 1, kde se měřilo od 13:32 do 13:46 a po něm vchod 4, kde se měřilo od 14:04 do 14:17. Poslední byl vchod 2 s časy měření od 15:06 do 15:20. Tohoto dne se nivelační pořad měřil dvakrát. Jednou dopoledne před měřením v knihovně a jednou odpoledne po měření uvnitř knihovny.

Dne 6. 4. 2014 se opět měřilo pouze DNA 03. Měření v knihovně začínalo na vchodě v 11:25 a trvalo do 11:45. Na vchodě 1 se měřilo od 12:16 do 12:40. Následovaly vchody 4 s časy měření 13:00 a 13:15 a vchod 2 s časy měření 13:35 až 13:53. Nivelační pořad byl tohoto dne měřen jen jednou a to dopoledne.

Dne. 27. 7. 2014 Tohoto dne se měřilo pomocí DNA 03 i Koni 007. Na vchodě 1 se začalo měřit v 12:40 a končilo v 13:25. Na vchodě 2 se začínalo v 14:00 a končilo v 14:46. Na vchodě 4 to bylo od 15:25 do 16:00.

Končilo se na vchodě 3 s časy měření od 16:20 do 16:53.

Nivelační pořad se tohoto dne měřil pouze DNA 03 dopoledne. Dne 1. 8. 2014 se ještě doměřoval nivelační pořad okolo knihovny s Koni 007.

Dne 8. 2. 2015 se měřilo pomocí DNA 03 i Koni 007. Uvnitř knihovny se začalo měřit vchodem 1. Začátek byl ve 11:53 a konec v 12:34. Na vchodě 3 se měřilo 13:09 až 13:47 a na vchodě 4 od 14:10 do 14:50. Vchod 2 se měřil 15:32 až 16:08. Nivelační pořady okolo knihovny se tohoto dne měřily pouze DNA 03. Následně dne 13.2.2015 se doměřoval nivelační pořad okolo knihovny s Koni 007.

4.5.3.1 Teplotní gradienty z čidel ve výšce 1 m a 2 m

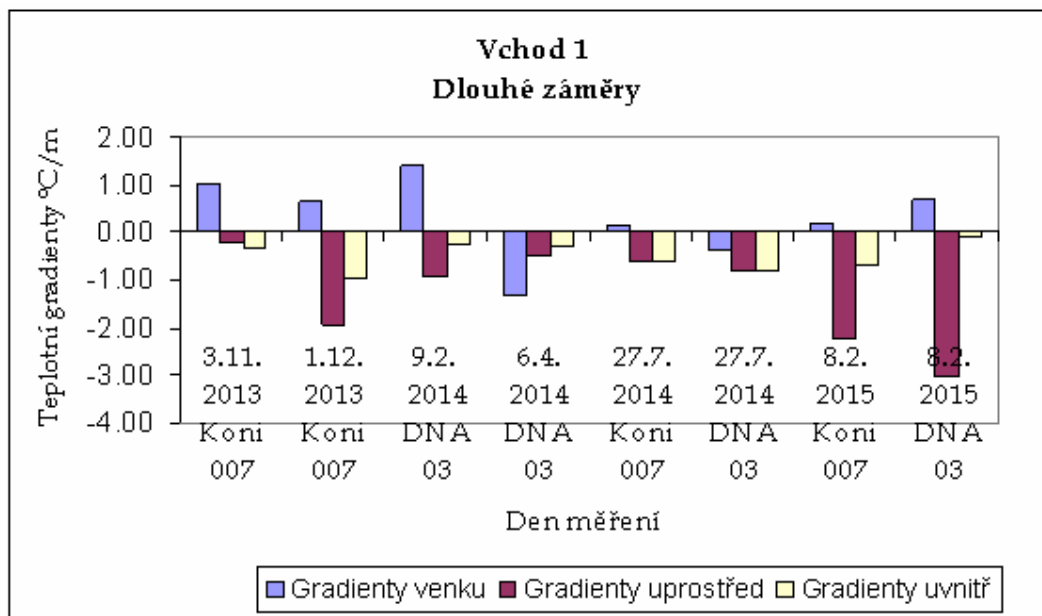
Dlouhé záměry

V tabulkách „gradient venku“ je označení pro gradient vypočtený z čidel v blízkosti bodu Ai. „Gradient uprostřed“ je vypočten z čidel mezi vnitřními a vnějšími dveřmi. Gradient uvnitř je z čidel, která byla v atriu knihovny. V těchto tabulkách jsou pro představu i tři hodnoty pro den 3. 11. Jsou z čidel, která byla nejbližší k čidlům v následujících dnech. Kompletní hodnoty teplotních gradientů pro den 3. 11. 2013 ze všech čidel, které se používaly pro výpočet pro dlouhé záměry, jsou v příloze v tabulce č. P-4.5.3.1.1 na str. P-9.

Tabulky teplotních gradientů zjištěných pro jednotlivé vchody a měření pro ostatní dny jsou v příloze na str. P-9 a P-10.

Vchod 1

V tomto grafu č. 4.5.3.1.1 jsou vyneseny hodnoty teplotních gradientů při měření pořadu s dlouhými záměry na vchodě 1. Tyto hodnoty jsou v příloze v tabulce P-4.5.3.1.3 na str. P-9.



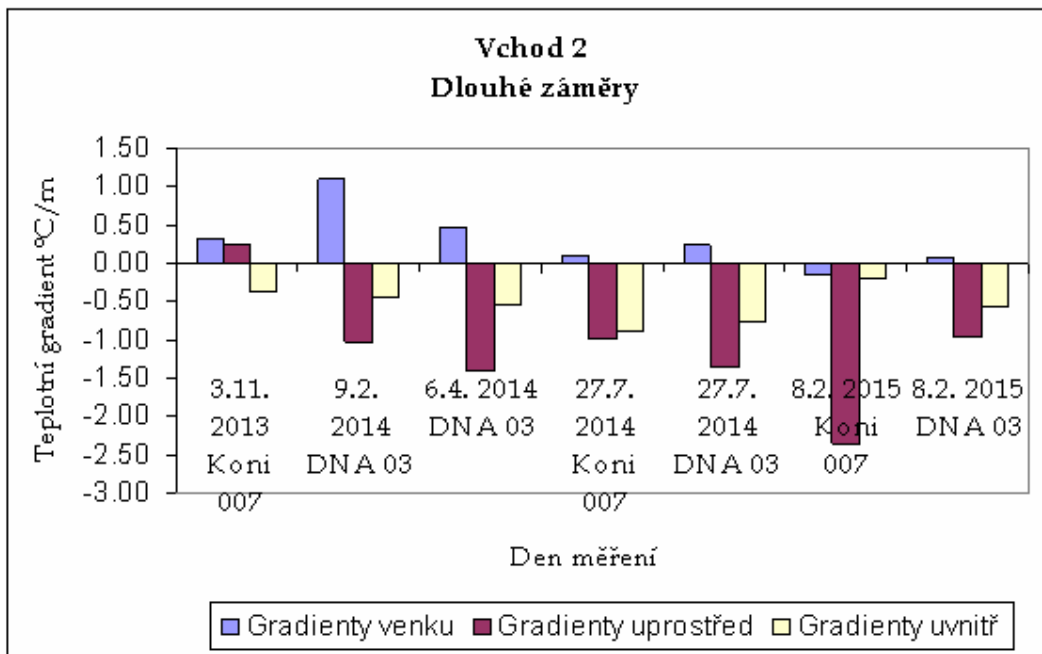
Graf. č. 4.5.3.1.1

Z grafu je zřejmé, že teplotní gradienty uprostřed i uvnitř dosahovaly vždy záporné hodnoty. Zatímco teplotní gradienty venku většinou dosahovaly kladných hodnot. Nejvyšších hodnot dosáhly tyto gradienty dne 9. 2. 2014 pro měření Koni 007, kdy hodnota teplotního gradientu venku byla 1,4 °C/m. Naopak nejextrémnější hodnoty v záporných číslech dosáhly dne 8.

2. 2015 pro měření Koni 007, kdy hodnota teplotního gradientu byla -2,23°C/m.

Vchod 2

Při měření u vchodu 2 není v tabulkách ani grafech den 1. 12. 2013, protože z technických důvodů, kdy před vchodem 2 probíhala výstava, nebylo možné tohoto dne na vchodě 2 měřit. Hodnoty teplotních gradientů jsou v příloze v tabulce P-4.5.3.1.4 na str. P-10.

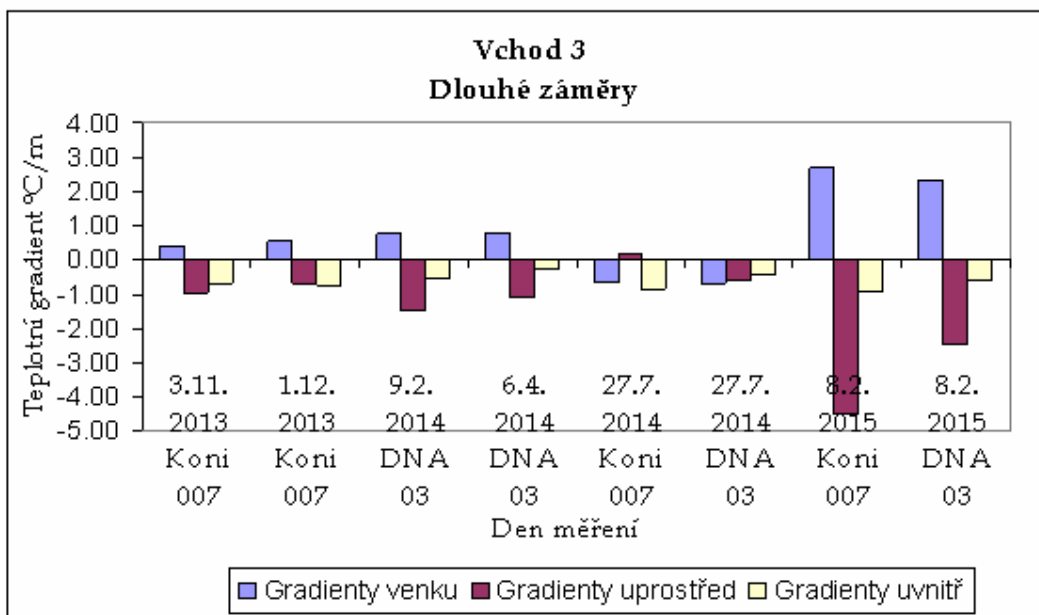


Graf. č. 4.5.3.1.2

Na vchodě 2 nabývaly opět teplotní gradienty uprostřed a uvnitř většinou záporných hodnot (jediná výjimka je den 3. 11, kdy gradient uprostřed byl kladný). Extrémní hodnota byla dne 8.2. 2015 pro gradient uprostřed. Pro měření Koni 007 nabýval hodnot -2,43°C/m. Pro gradient venku byly hodnoty většinou kladné. Největší hodnota byla při měření dne 9. 2. 2014 pro DNA 03, a to hodnota 1,11 °C/m.

Vchod 3

Hodnoty teplotních gradientů pro tento vchod jsou v příloze v tabulce P-4.5.3.1.5 na str. P-10. Graficky jsou znázorněny v následujícím grafu 4.5.3.1.3.



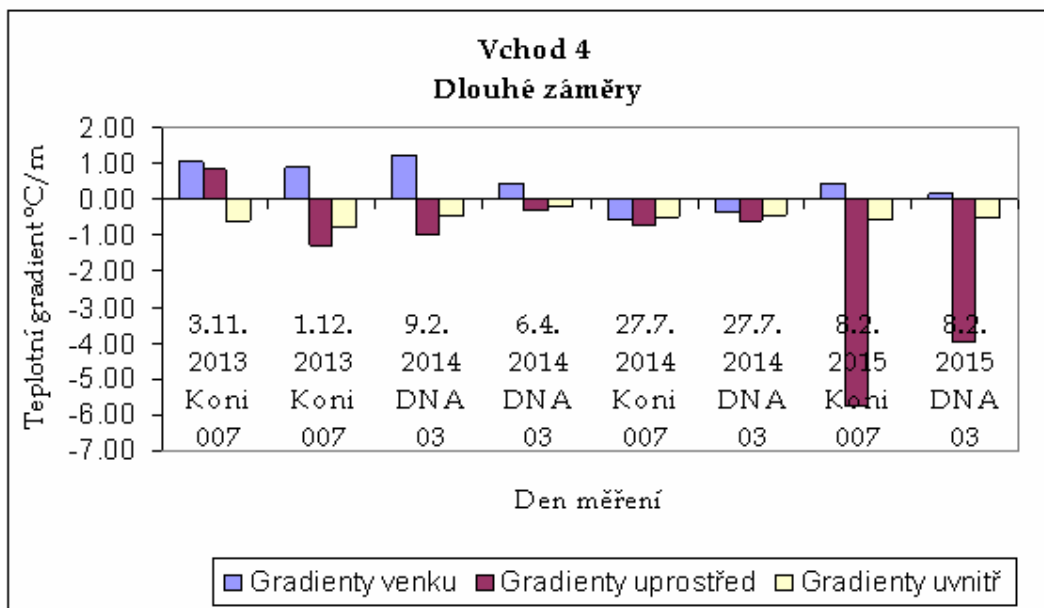
Graf. 4.5.3.1.3

Teplotně zajímavý je vchod 3, kdy největší kladné hodnoty nabývaly teplotní gradienty při měření dne 8. 2. 2015 venku a extrémní záporné hodnoty opět 8.2. 2015, ale uprostřed.

Největší kladné hodnoty se tohoto dne dosáhlo pro měření Koni 007 venku a to +2,67 °C/m a extrémní hodnoty záporné se dosáhlo opět pro měření Koni 007 dne 8. 2. 2015, ale uprostřed. To byla hodnota teplotního gradientu -4,54 °C/m.

Vchod 4

V příloze v tabulce P-4.5.3.1.6 na str. P-10.



Graf č. 4.5.3.1.4.

Gradienty venku byly pro tento vchod nejproměnlivější. Dosahovaly kladných i záporných hodnot od $-0,85$ °C/m do $+1,23$ °C/m. Gradienty uprostřed a uvnitř byly záporné (vyjma opět dne 3.11, kdy gradient uprostřed byl kladný).

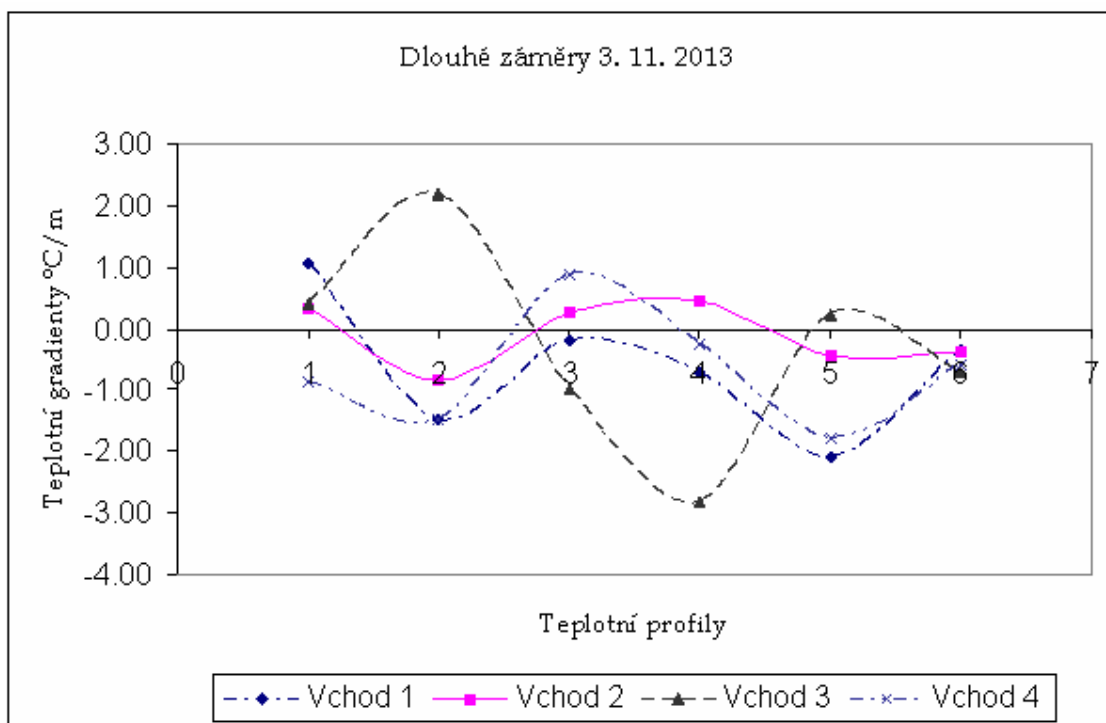
Extrémní hodnoty byly $+1,23$ °C/m pro gradient venku 9.2. 2014 pro měření DNA 03 a $-5,75$ °C/m pro gradient uprostřed 8. 2. 2015 pro měření Koni 007.

Porovnáním tabulek a grafů zjistíme, že nejextrémnějších hodnot teplotní gradienty pro dlouhé záměry nabývají dne 8. 2. 2015 pro vchod 3 a 4. Nejvyšší kladná hodnota je pro vchod 3, pro měření Koni 007 z teplotních čidel umístěných venku v blízkosti bodu A3 a to hodnota $+2,67$ °C/m.

A nejvyšších hodnot v záporných číslech nabývá teplotní gradient opět pro měření Koni 007 tentokrát u vchodu 4 pro čidla umístěna uprostřed mezi vnitřními a vnějšími dveřmi a to hodnoty $-5,75$ °C/m.

V tabulce Tab. č. 4.5.3.1.5v příloze jsou zobrazeny kompletní teplotní gradienty zjištěné dne 3. 11. 2013 pro dlouhé záměry. Jsou zde zobrazeny hodnoty zjištěné ve všech čtyřech vchodech a ze všech 6-ti teplotních profilů. Hodnoty se pohybovaly mezi $-2,83$ °C/m a $+2,18$ °C/m, obojí na vchodě 3.

V grafu jsou vyneseny hodnoty pro jednotlivé umístění teplotních čidel.



Graf. 4.5.3.1.5

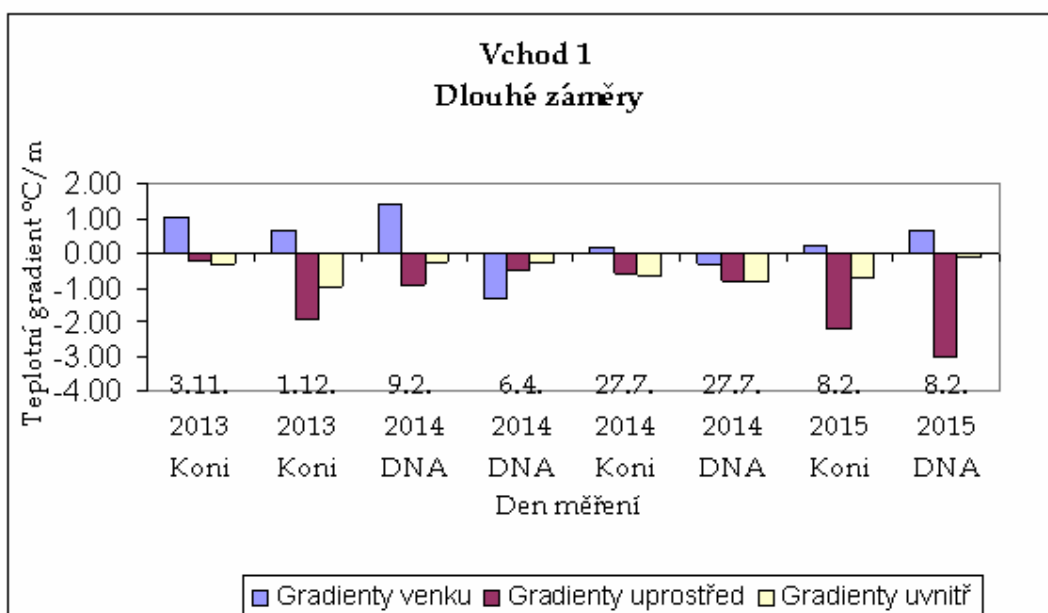
Na tomto grafu je vidět, jak zajímavý průběh hodnot teplotních gradientů může být. Teplotní gradienty několikrát změnilo znaménko. Záměra procházela prostředím, kde se střídaly kladné a záporné hodnoty vertikálních teplotních gradientů.

Krátké záměry

Měření krátkých záměr následovala vždy po dlouhých záměrech. Časově se liší o pár minut. Avšak v případě, že se měří chvíli po otevření dveří (dveře byly otvírány vždy těsně před začátkem měření), tak i během těch pár minut může dojít k významnějším změnám.

Tabulky jednotlivých teplotních gradientů zjištěných pro jednotlivé vchody jsou v příloze str. P-11 a P-12. V těchto tabulkách a grafech je pro den 3. 11. 2013 brána hodnota z teplotních čidel umístěných nejbližší rozmístění v ostatních dnech. Kompletní teplotní gradienty pro den 3. 11. 2013 pro krátké záměry jsou v příloze v tabulce P-4.5.3.1.2 na str. P-9.

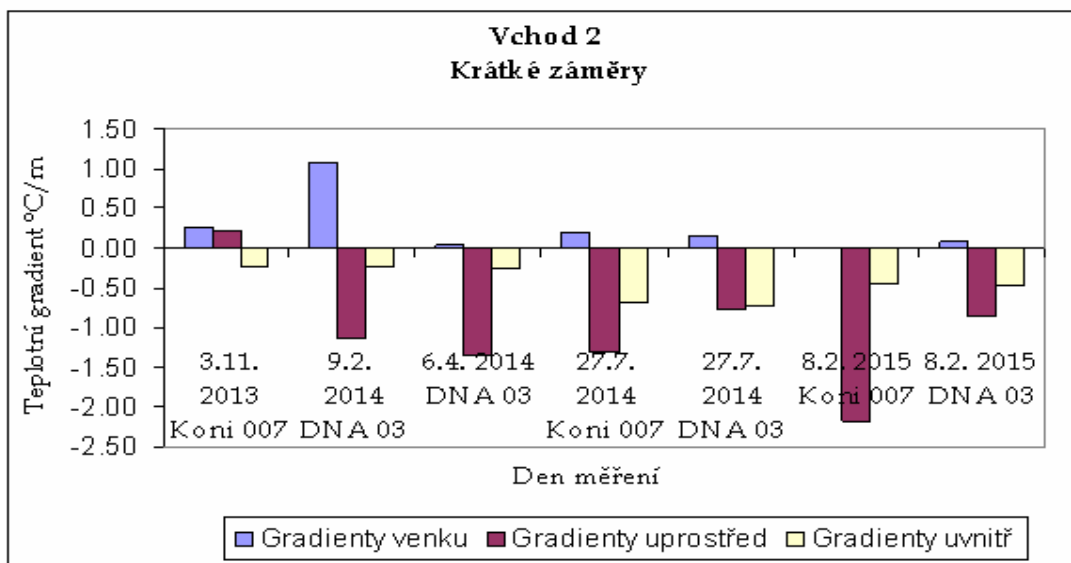
Vchod 1



Graf č. 4.5.3.1.6

Hodnoty teplotních gradientů venku nabývají násobně výraznějších hodnot pro dny 3. 11. 2013-6. 4. 2014 než ve dnech 27. 7. 2014 a 8. 2. 2015. V těchto dnech jsou v porovnání s předchozími pouze nepatrné hodnoty max 0,15 °C/m. Gradienty uprostřed a uvnitř dosahovaly pouze záporných hodnot. Tabulka teplotních gradientů pro krátké záměry a tento vchod je v příloze na str. P-11 pod číslem P-4.5.3.1.7.

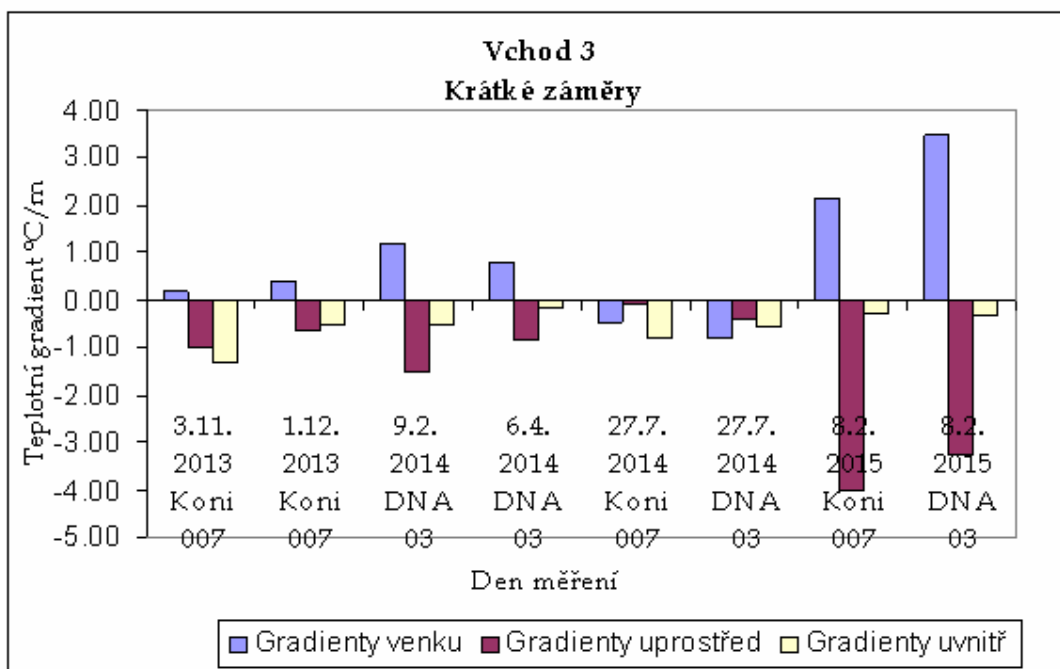
Vchod 2



Graf č. 4.5.3.1.7

Extrémní hodnoty byly dne 9. 2. 2014 +1,07 °C/m a záporné -2,17 °C/m pro den 8. 2. 2015 pro měření Koni 007. Velký rozdíl byl dne 9. 2. 2014 mezi gradienty venku a uprostřed, kdy gradient venku dosahoval největší kladné hodnoty pro daný vchod a gradient uprostřed dosahoval obdobné hodnoty, ale s opačným znaménkem. Kompletní hodnoty jsou v příloze na str. P-11 v tabulce č. P-4.5.3.1.8.

Vchod 3



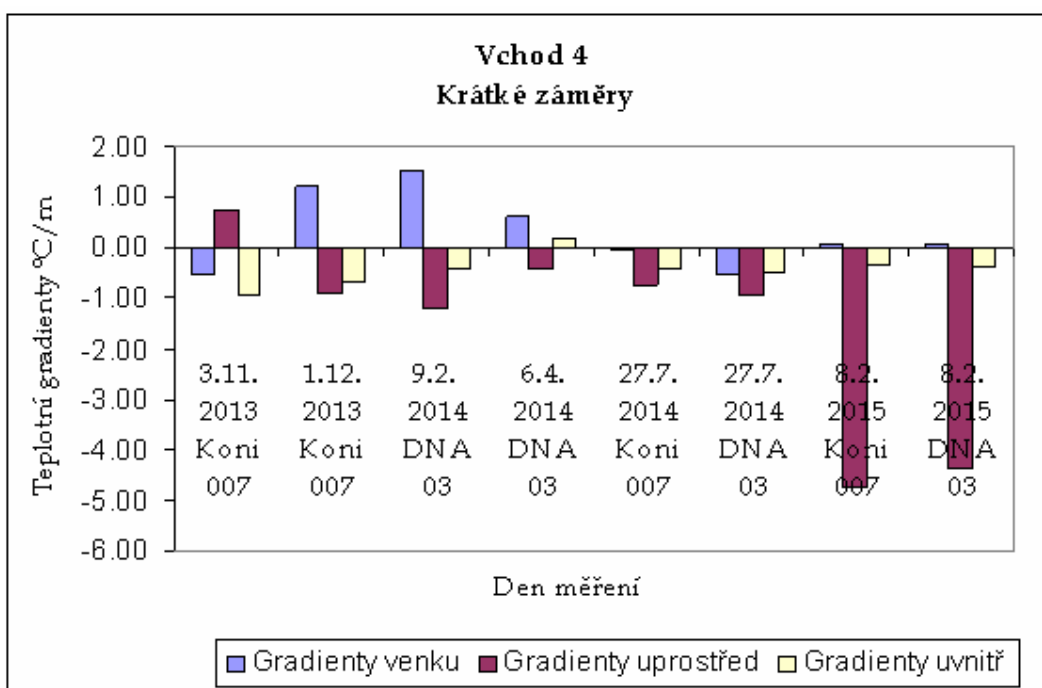
Graf č. 4.5.3.1.8

Při tomto měření na vchodě 3 se dosáhlo nejvyšších hodnot venku při měření dne 8. 2. 2015 pro přístroj DNA 03 a to 3,47 °C/m a nejvyšších záporných hodnot opět dne 8. 2. 2015, ale pro měření Koni 007 - hodnota -4,00 °C/m, pro měření DNA 03 měl teplotní gradient hodnotu -3,27 °C/m.

Byl zde tedy velice zajímavý přechod, kdy na vzdálenosti cca 10 m došlo ke změně hodnoty gradientu o téměř 7 °C/m. Ale pokud by se pro výpočet opravy bral prostý průměr, tak by se tyto hodnoty výrazně pokrátily.

Pro vchod 3 jsou teplotní gradienty v příloze na str. P-11 v tabulce č. P-4.5.3.1.9.

Vchod 4



Graf č. 4.5.3.1.9

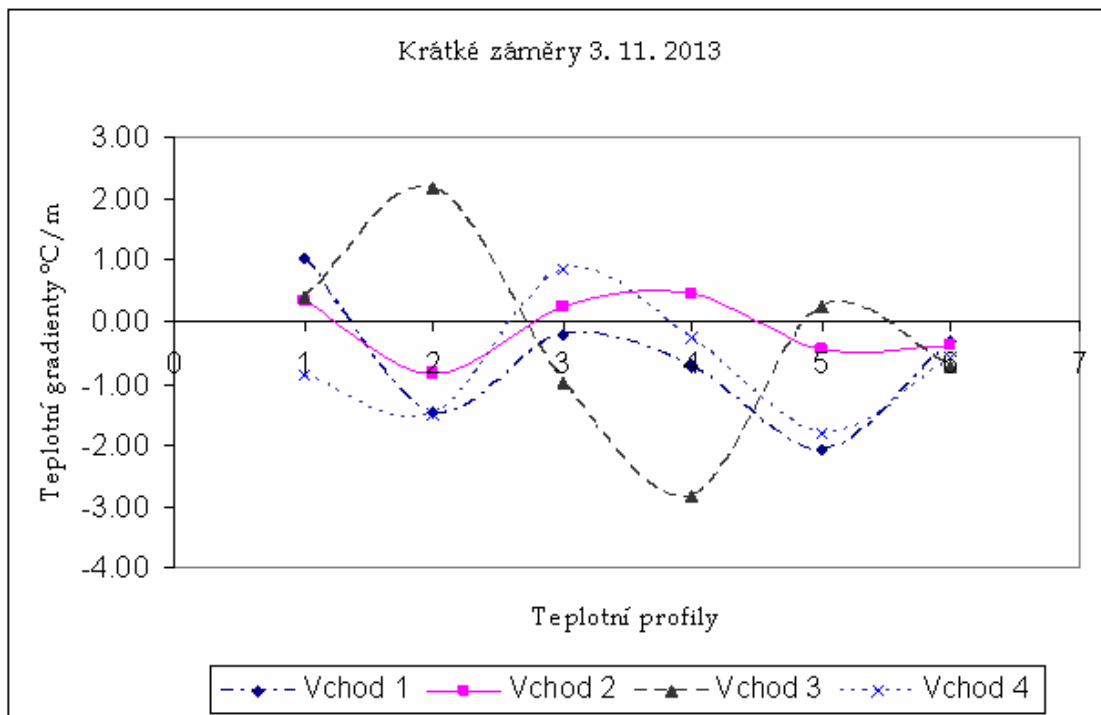
Na tomto grafu je zřetelné, jak gradienty dosahovaly spíše kladných hodnot ve dnech 3. 11. 2013-6. 4. 2014, zatímco ve dnech 27. 7. 2014 a 8. 2. 2015 dosahovaly jednoznačně záporných hodnot (vyjma pár nepatrných výjimek). Kompletní tabulka hodnot teplotních gradientů je v příloze na str. P-12, označená P-4.5.3.1.10.

Porovnáním tabulek a grafů pro krátké záměry zjistíme, že nejvyšší hodnoty teplotního gradientu se dosáhlo dne 9. 2. 2014 pro čidla umístěná v blízkosti bodu A4, na vchodě 4 pro měření DNA 03, kde hodnota teplotního gradientu byla $+1,53$ $^{\circ}\text{C}/\text{m}$.

A nejvyšších záporných hodnot se dosáhlo pro měření Koni 007 dne 8. 2. 2015 opět na vchodě 4 pro čidla umístěná mezi vnitřními a vnějšími dveřmi, kde byla hodnota teplotního gradientu $-4,75$ $^{\circ}\text{C}/\text{m}$.

Tabulka zjištěných teplotních gradientů pro den 3. 11. 2013 ze všech 6-ti teplotních profilů v čase měření krátkých záměr je v příloze Tab. č. 4.5.3.1.2

Hodnoty z této tabulky jsou znázorněny v následujícím grafu.



Graf č. 4.5.3.1.10

U těchto gradientů je opět nelineární průběh hodnot. Je zajímavé, jak vchod 4 jde hodnotami proti třem zbývajícím (průběh hodnot tohoto teplotního gradientu má lokální maxima v místech kde ostatní minima a naopak).

Porovnání

Porovnání venkovních teplotních gradientů zjištěných z čidel ve výšce 1 m a 2 m prostým rozdílem teplot z různých výšek s hodnotami zjištěnými výpočtem aproximací polynomem 2. stupně.

Teploty v blízkosti bodů A_i byly měřeny třemi teplotními čidly a pro tyto tři zjištěné teploty v jednotlivých výškách byl stanoven polynom 2. stupně, který nejlépe vyhovuje průběhu teplot.

V následujících tabulkách jsou hodnoty gradientů zjištěných z čidel ve výšce 1 m a 2 m prostým rozdílem teplot zjištěných v těchto výškách. V dalším sloupci je rovnice polynomu, který byl určen pomocí teplot zjištěných ve výškách 1 m, 1,5 m a 2 m a nakonec je vypočtený gradient z rovnice polynomu, které byly vypočteny dosazením výšky záměry do derivované rovnice polynomu. Pro Koni 007 byla výška záměry 1,7 m a pro DNA 03 byla výška záměry 1,6 m.

Dlouhé záměry

Vchod 1

Datum	Gradient venku 1 a 2 m [°C/m]	Rovnice polynomu	Gradient vypočten z polynomu [°C/m]
1. 12. 2013 Koni 007	0,66	$y = -0,907x^2 + 3,379x + 5,033$	0,30
9. 2. 2014 DNA 03	1,40	$y = -0,385x^2 + 2,557x + 2,974$	1,33
6. 4. 2014 DNA 03	-1,32	$y = 1,630x^2 - 6,208x + 20,280$	-0,99
27. 7. 2014 Koni 007	0,17	$y = 1,930x^2 - 5,618x + 34,588$	0,94
27. 7. 2014 DNA 03	-0,34	$y = 3,480x^2 - 10,783x + 39,400$	0,35
8. 2. 2015 Koni 007	0,21	$y = -0,710x^2 + 2,342x + 1,528$	-0,07
8. 2. 2015 DNA 03	0,67	$y = -1,310x^2 + 4,602x - 0,492$	0,41

Vchod 2

Datum	Gradient venku [°C/m]	Rovnice polynomu	Gradient vypočten z polynomu [°C/m]
9. 2. 2014 DNA 03	1,11	$y = 0,380x^2 - 0,033x + 5,750$	1,18
6. 4. 2014 DNA 03	0,47	$y = -0,830x^2 + 2,962x + 15,228$	0,31
27. 7. 2014 Koni 007	0,09	$y = -0,710x^2 + 2,222x + 29,248$	-0,19
27. 7. 2014 DNA 03	0,23	$y = -1,470x^2 + 4,642x + 27,128$	-0,06
8. 2. 2015 Koni 007	-0,15	$y = -0,756x^2 + 2,114x + 0,845$	-0,46
8. 2. 2015 DNA 03	0,08	$y = -0,304x^2 + 0,992x + 2,055$	-0,02

Vchod 3

Datum	Gradient venku [°C/m]	Rovnice polynomu	Gradient vypočten z polynomu [°C/m]
1. 12. 2013 Koni 007	0,55	$y = -0,590x^2 + 2,322x + 5,468$	0,31
9. 2. 2014 DNA 03	0,75	$y = -0,637x^2 + 2,659x + 2,205$	0,62
6. 4. 2014 DNA 03	0,75	$y = 0,630x^2 - 1,141x + 16,405$	0,87
27. 7. 2014 Koni 007	-0,64	$y = 6,463x^2 - 20,024x + 45,138$	1,95
27. 7. 2014 DNA 03	-0,73	$y = 5,755x^2 - 17,995x + 43,675$	0,42
8. 2. 2015 Koni 007	2,67	$y = 9,473x^2 - 25,743x + 15,688$	6,46
8. 2. 2015 DNA 03	2,30	$y = 5,530x^2 - 14,286x + 8,402$	-3,23

Vchod 4

Datum	Gradient venku [°C/m]	Rovnice polynomu	Gradient vypočten z polynomu [°C/m]
1. 12. 2013 Koni 007	0,90	$y = -0,598x^2 + 2,697x + 5,706$	0,67
9. 2. 2014 DNA 03	1,23	$y = 0,463x^2 - 0,158x + 4,671$	1,32
6. 4. 2014 DNA 03	0,48	$y = -0,570x^2 + 2,192x + 14,988$	0,37
27. 7. 2014 Koni 007	-0,55	$y = 0,290x^2 - 1,441x + 33,871$	-0,43
27. 7. 2014 DNA 03	-0,33	$y = 0,021x^2 - 0,394x + 33,697$	-0,33
8. 2. 2015 Koni 007	0,47	$y = -0,110x^2 + 0,802x + 1,848$	0,43
8. 2. 2015 DNA 03	0,16	$y = 5,530x^2 - 14,286x + 8,402$	3,41

Krátké záměry

Vchod 1

Datum	Gradient venku 1 a 2 m [°C/m]	Rovnice polynomu	Gradient vypočten z polynomu [°C/m]
1. 12. 2013 Koni 007	0,65	$y = -0,125x^2 + 1,024x + 6,506$	0,60
9. 2. 2014 DNA 03	1,50	$y = -0,048x^2 + 1,642x + 4,021$	1,49
6. 4. 2014 DNA 03	-1,49	$y = 0,930x^2 - 4,278x + 19,120$	-0,56
27. 7. 2014 Koni 007	0,14	$y = 3,905x^2 - 11,570x + 40,125$	1,71
27. 7. 2014 DNA 03	-0,06	$y = 1,605x^2 - 4,870x + 35,175$	0,26
8. 2. 2015 Koni 007	0,15	$y = 0,930x^2 - 2,643x + 4,545$	0,52
8. 2. 2015 DNA 03	-0,03	$y = 0,570x^2 - 1,738x + 4,008$	0,09

Vchod 2

Datum	Gradient venku [°C/m]	Rovnice polynomu	Gradient vypočten z polynomu [°C/m]
9. 2. 2014 Koni 007	1,07	$y = 0,405x^2 - 0,145x + 6,201$	1,15
6. 4. 2014 DNA 03	0,03	$y = -0,120x^2 + 0,392x + 17,400$	0,01
27. 7. 2014 Koni 007	0,20	$y = -0,737x^2 + 2,409x + 29,155$	-0,10
27. 7. 2014 DNA 03	0,16	$y = -1,137x^2 + 3,576x + 28,205$	-0,06
8. 2. 2015 Koni 007	-0,01	$y = -0,845x^2 + 2,530x + 1,051$	-0,34
8. 2. 2015 DNA 03	0,08	$y = 0,163x^2 - 0,408x + 2,421$	0,11

Vchod 3

Datum	Gradient venku [°C/m]	Rovnice polynomu	Gradient vypočten z polynomu [°C/m]
1. 12. 2013 Koni 007	0,18	$y = 0,230x^2 - 0,283x + 7,176$	0,50
9. 2. 2014 DNA 03	0,41	$y = -0,737x^2 + 3,409x + 1,755$	1,05
6. 4. 2014 DNA 03	1,20	$y = 0,644x^2 - 1,158x + 16,445$	0,90
27. 7. 2014 Koni 007	0,77	$y = 3,196x^2 - 10,058x + 38,188$	0,81
27. 7. 2014 DNA 03	-0,47	$y = 5,855x^2 - 18,370x + 43,850$	0,36
8. 2. 2015 Koni 007	-0,81	$y = 5,044x^2 - 12,986x + 7,502$	4,16
8. 2. 2015 DNA 03	2,15	$y = 8,130x^2 - 20,918x + 11,208$	5,10

Vchod 4

Datum	Gradient venku [°C/m]	Rovnice polynomu	Gradient vypočten z polynomu [°C/m]
1. 12. 2013 Koni 007	1,21	$y = -1,652x^2 + 6,170x + 2,879$	0,55
9. 2. 2014 DNA 03	1,53	$y = 0,930x^2 - 1,258x + 5,530$	1,72
6. 4. 2014 DNA 03	0,61	$y = -0,270x^2 + 1,417x + 16,363$	0,55
27. 7. 2014 Koni 007	-0,03	$y = 0,010x^2 - 0,058x + 32,948$	-0,03
27. 7. 2014 DNA 03	-0,51	$y = 5,855x^2 - 18,370x + 43,850$	0,36
8. 2. 2015 Koni 007	0,07	$y = -0,030x^2 + 0,162x + 2,328$	0,06
8. 2. 2015 DNA 03	0,09	$y = -0,070x^2 + 0,298x + 2,099$	0,07

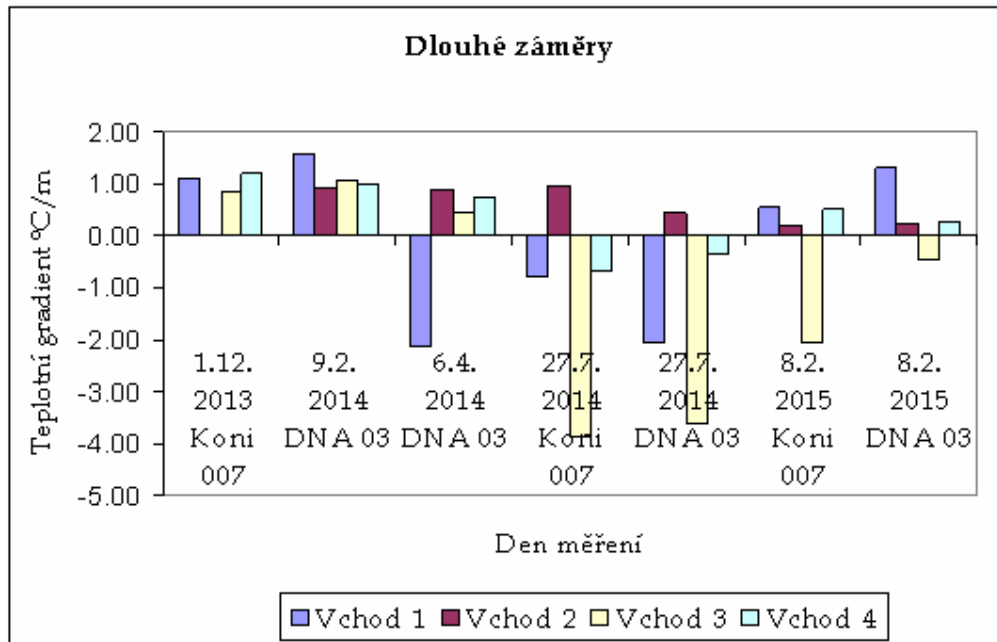
4.5.3.2 Teplotní čidla ve výšce 1,5 m a 2 m

V těchto grafech nejsou výsledky pro den 3. 11. 2013, protože se měřilo se 6ti teplotními profily tvořenými vždy 2 čidly ve výšce 1 a 2 m, proto nejsou k dispozici navíc data pro teplotní gradient z čidel z výšky 1,5 m. A jsou zde pouze data pro gradient venku (tedy počítaný z čidel v blízkosti budy Ai), protože na zbývajících bodech měření teplot byly pouze čidla ve výšce 1 m a 2 m. Kompletní tabulky hodnot teplotních gradientů jsou v příloze na straně P-12.

Dlouhé záměry

Hodnoty teplotních gradientů z těchto čidel jdou v intervalu více do záporných čísel než v případě gradientů venku z čidel ve výšce 1 a 2 m. Tam byly extrémní hodnoty u gradientu venku od $-1,49\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ (pro vchod 1 dne 6. 4. 2014 pro měření DNA 03) do $+3,47\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ (pro vchod 3, 8. 2. 2015 pro měření DNA 03).

Zatímco zde je interval od $-3,87\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ (pro vchod 3, měření 9. 2. 2015 pro měření DNA 03) do $1,57\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ (pro vchod 3, měření 27.7. 2014 pro Koni 007).

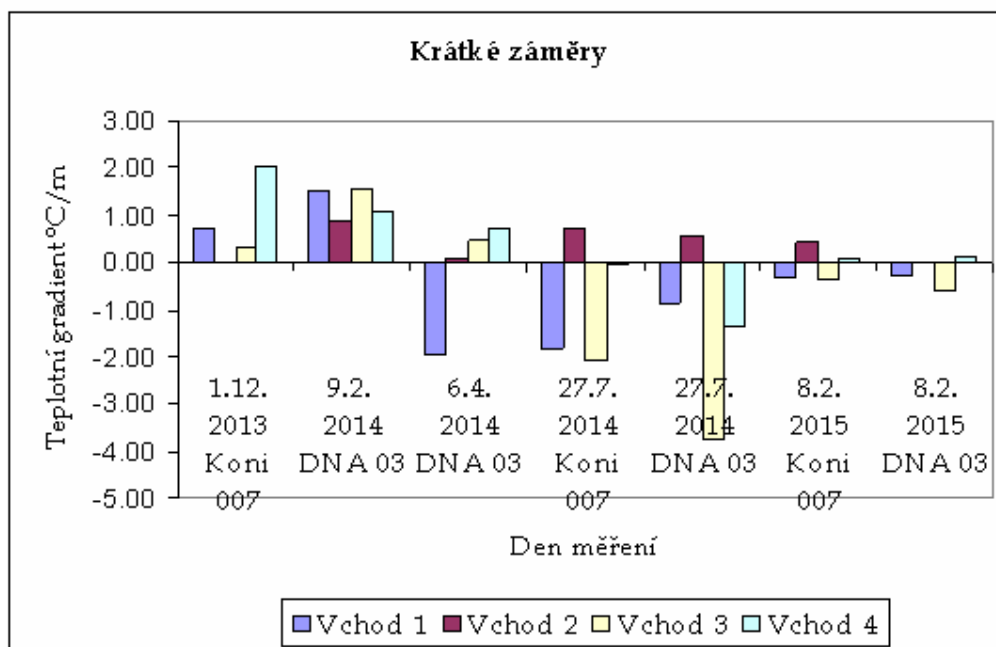


Graf č. 4.5.3.2.1

Tabulka hodnot teplotních gradientů k tomuto grafu je č. P-4.5.3.2.1 v příloze na str. P-12.

Krátké záměry

I hodnoty pro krátké záměry jsou pouze pro venkovní gradient. Tabulka těchto teplotních gradientů je v příloze na str. P-12. č. P-4.5.3.2.2. Hodnoty těchto gradientů jsou vyneseny v následujícím grafu.



Graf č. 4.5.3.2.2

Porovnáním teplotních gradientů pro dlouhé a krátké záměry vidíme, jak se může výrazně během krátké doby měnit. Například dne 27. 7. 2014 na vchodě 3 pro měření Koni 007 byla jeho hodnota pro dlouhé záměry -3,87 °C/m a pro krátké záměry to je „pouze“ - 2,07 °C/m

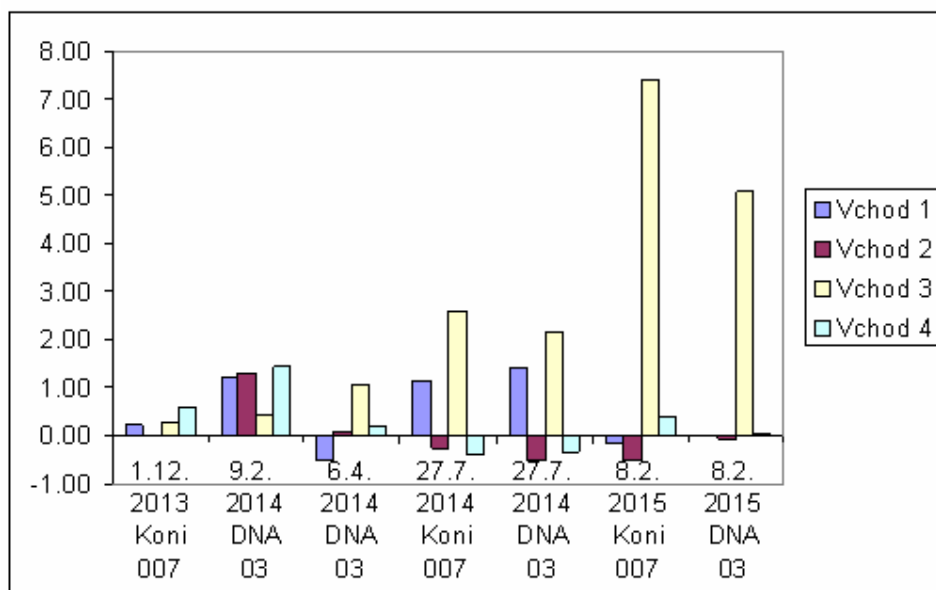
4.5.3.3 Teplotní gradient určený z čidel ve výšce 1 m a 1,5 m

Takto určené teplotní gradienty nebyly použity na výpočet oprav, protože v této výšce neprocházela záměra. Ale jsou zde uvedeny pro představu teplotní proměnlivosti prostředí. Opět jako v předchozí kapitole jsou teplotní gradienty pouze pro profily, kde bylo umístěno teplotní čidlo i ve výšce 1,5 m.

Dlouhé záměry

Tabulka teplotních gradientů vypočtených v čase měření dlouhých záměr je č. P-4.5.3.3.1 v příloze na str. P-13..

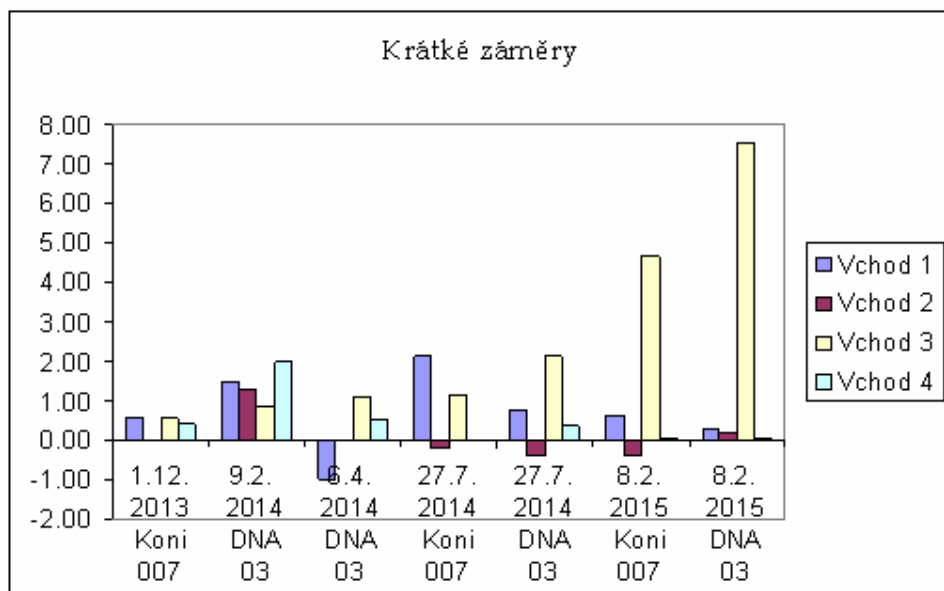
Hodnoty jsou vyneseny do následujícího grafu.



Graf č. 4.5.3.3.1

Porovnáním s gradienty zjištěnými z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m zjistíme, že tyto hodnoty jdou často proti sobě. Např. 8. 2. 2015 na vchodě 3 pro dlouhé záměry a pro měření Koni 007 je teplotní gradient vypočtený z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m: -2,06 °C/m a v ten samý den, vchod i čas má teplotní gradient z čidel ve výšce 1 m a 1,5 m hodnotu +7,41 °C/m.

Krátké záměry



Graf č. 4.5.3.3.2

Teplotní gradienty zjištěné z čidel ve výšce 1 m a 1,5 m jsou většinou kladné a dosahují velmi výrazných hodnot. Nejvyšší hodnota $+7,54\text{ °C/m}$ je pro den 8. 2. 2015 u krátkých záměr a pro měření DNA 03. Kompletní tabulka teplotních gradientů je č. P-4.5.3.3.2 v příloze na str. P-13.

Teplotní gradienty také pro krátké záměry dosahují výrazných změn. U krátkých záměr na vchodech 1 a 3 z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m dosahovaly teplotní gradienty pro dny 27. 7. 2014 a 8. 2. 2015 pouze záporných hodnot, zatímco teplotní gradienty počítány z čidel ve výšce 1 m a 1,5 m pro tyto dny a tyto vchody dosahovaly pouze kladných hodnot a to i velmi výrazných.

Pro den 27. 7. 2014 pro měření DNA 03 na vchodě 3 měl teplotní gradient z čidel ve výšce 1,5 m hodnotu $-3,73\text{ °C/m}$, tak vypočtený teplotní gradient ve stejný čas z čidel ve výšce 1 m a 1,5 m měl hodnotu $+2,12\text{ °C/m}$.

A pro den 8. 2. 2015 je největší rozdíl na vchodě 3 opět pro DNA 03, kdy z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m měl teplotní gradient hodnotu $-0,59\text{ °C/m}$ a z čidel ve výšce 1 m a 1,5 m to bylo hodnota $+7,54\text{ °C/m}$.

4.5.4 Vypočtené hodnoty pro teplotní gradienty z čidel ve výšce 1 m a 2 m

Při výpočtu oprav u dlouhých záměr se pro výpočet opravy vzad použil aritmetický průměr teplotních gradientů zjištěných z čidel u bodu A_i a z čidel umístěných uprostřed mezi vnějšími a vnitřními dveřmi.

Pro výpočet opravy vpřed se vzal teplotní gradient zjištěný z posledního teplotního profilu umístěného uvnitř knihovny, v blízkosti vnitřních dveří.

Zatímco pro výpočet oprav pro krátké záměry se počítají 2 opravy pro záměry vzad a dvě pro záměry vpřed.

Pro záměru vzad mezi body B_i a A_i se použil teplotní gradient zjištěný z čidel umístěných u bodu A_i , pro záměru vpřed na bod C_i se vzal teplotní gradient zjištěný z teplotních čidel umístěných uprostřed mezi vnitřními a vnějšími dveřmi budovy.

A pro záměry mezi body E_i a C_i se pro záměru vzad i vpřed vzal stejný teplotní gradient zjištěný z teplotních čidel umístěných uvnitř atria v blízkosti vnitřních dveří.

Teplotní gradienty pro den 3. 11. 2013 a výpočet oprav.

Tohoto dne bylo šest teplotních profilů. U dlouhých záměr se na výpočet opravy vzad vzal průměr gradientů z čidel v blízkosti bodů A_i , u vnějších dveří venku, u vnějších dveří uvnitř a u vnitřních dveří z vnějšku. A pro opravu vpřed se použil aritmetický průměr z gradientů zjištěných z čidel u vnitřních dveří uvnitř a u bodu E_i .

Pro krátké záměry se pro záměry z bodu B_i a záměru vzad použil aritmetický průměr z gradientů zjištěných z čidel u bodu A_i a u vnějších dveří zvnějšku. A pro záměru vpřed se vzal průměr z gradientů zjištěných z čidel u vnějších dveří uvnitř a u vnitřních dveří zvnějšku. A pro záměry z bodu D_i se pro záměry vzad použil teplotní gradient zjištěný z čidel u vnitřních dveří zevnitř. A pro záměru vpřed se vzal teplotní gradient zjištěný z čidel uvnitř budovy v blízkosti bodu E_i .

4.5.4.1 Vypočtené hodnoty pro dlouhé záměry

Dne 27. 7. 2014 pro měření Koni 007 i DNA 03, pro krátké i dlouhé záměry došlo asi k chybnému zaměření při měření nivelačního pořadu A4-E4. Ve všech výsledcích, kde se tento nivelační pořad uplatňuje je chyba cca 1,5-2 mm. Pravděpodobně je to způsobeno chybným postavením latě na bodu A4 nebo E4. Při měření nivelačního pořadu okolo knihovny se žádná nepřesnost neprojevila. V tabulkách toto měření bude uvedeno, ale v celkových zhodnoceních toto měření bude vypuštěno.

Nivelační pořady A1-A3 a A2-A4 jsou vedeny skrz knihovnu „přímo“. Bod E1 je v nivelačním pořadu A1 -A3 totožný, tzn. $E1=E3$. A v nivelačním pořadu A2-A4 platí $E2=E4$. Zatímco do zbývajících nivelačních pořadů se ještě muselo započítávat převýšení mezi body E1 a E2.

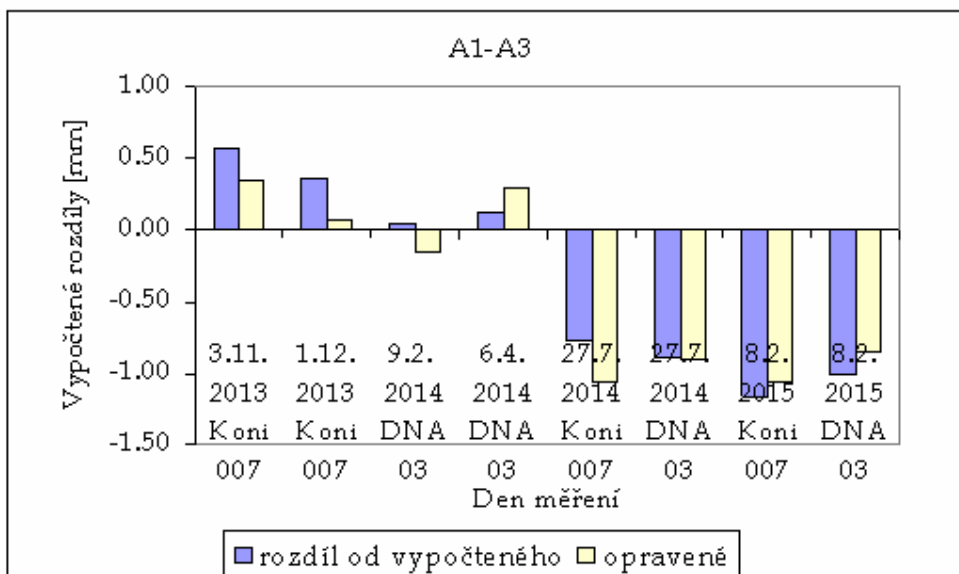
V následujících tabulkách je převýšení mezi jednotlivými body zjištěné z pořadů vedených skrz budovu. Dále rozdíl převýšení zjištěného z nivelačního pořadu měřeného okolo budovy a skrz budovu a oprava dL vypočtená dle vzorce z kap. 4.5.1.

Pro výpočet oprav pro záměru zpět, kde byly zjišťovány teplotní gradienty na dvou místech je vzat aritmetický průměr těchto gradientů.

Tabulky vypočtených rozdílů od nivelačního pořadu okolo knihovny před a po zavedení oprav jsou v příloze na stranách P-14 až P-16.

Nivelační pořad z bodu A1 do A3

Hodnoty rozdílů od nivelačního pořadu okolo knihovny před a po zavedení oprav pro nivelační pořad z bodu A1 do A3 jsou vyneseny v následujícím grafu.



Graf č. 4.5.4.1.1

V nivelačním pořadu A1-A3 jsou odchylky od průměrného převýšení zjištěného měřením okolo budovy v rozmezí od -1,17 mm do 0,57 mm. Vzhledem k tomu, že délka pořadu je 84 m, tak je překročena mezní odchylka.

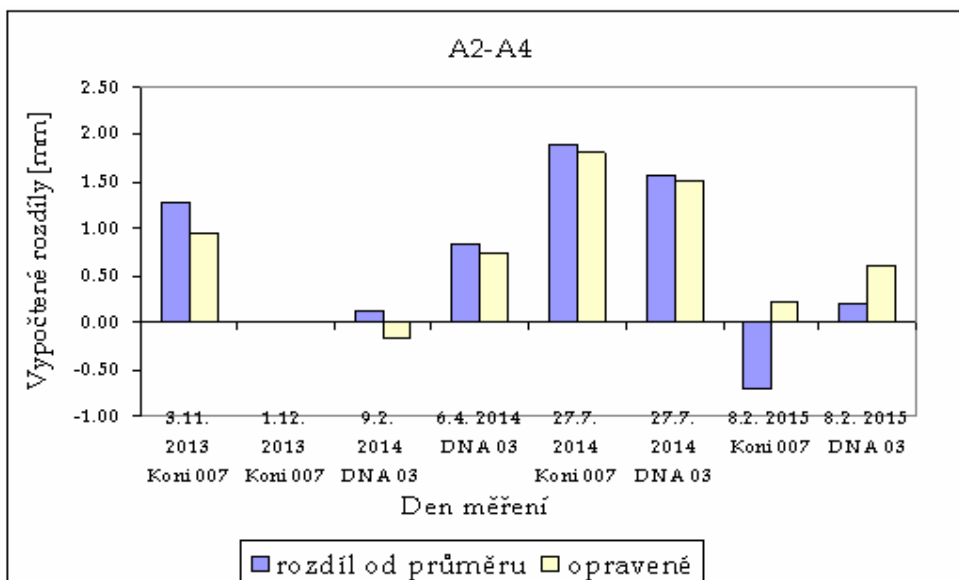
Zavedením oprav se dostáváme u rozdílů od průměrného převýšení do intervalu od -1,07 do 0,34 m. Už je menší rozptyl než v předchozím případě. Kompletní hodnoty pro nivelační pořad A1-A3 jsou v tabulce č. P-4.5.4.1.1 v příloze na str. P-14.

Nivelační pořad A2-A4

Následují graficky znázorněné rozdíly od nivelačního pořadu okolo knihovny před a po zavedení oprav pro nivelační pořad A2-A4 vedený skrz knihovnu. Kompletní hodnoty jsou v tabulce č. P-4.5.4.1.2 v příloze na str. P-14.

Vynecháním v hodnocení dne 27.7. 2014, jsou hodnoty rozdílů od zjištěného převýšení měřením okolo knihovny v rozmezí od - 0,71 mm do +1,29 mm. Po zavedení vypočtených oprav se tento interval zmenší na -0,16 mm a 0,95 mm.

Vyjma dne 8. 2. 2015 pro DNA 03 došlo ve všech případech zavedením oprav k zlepšení hodnot.

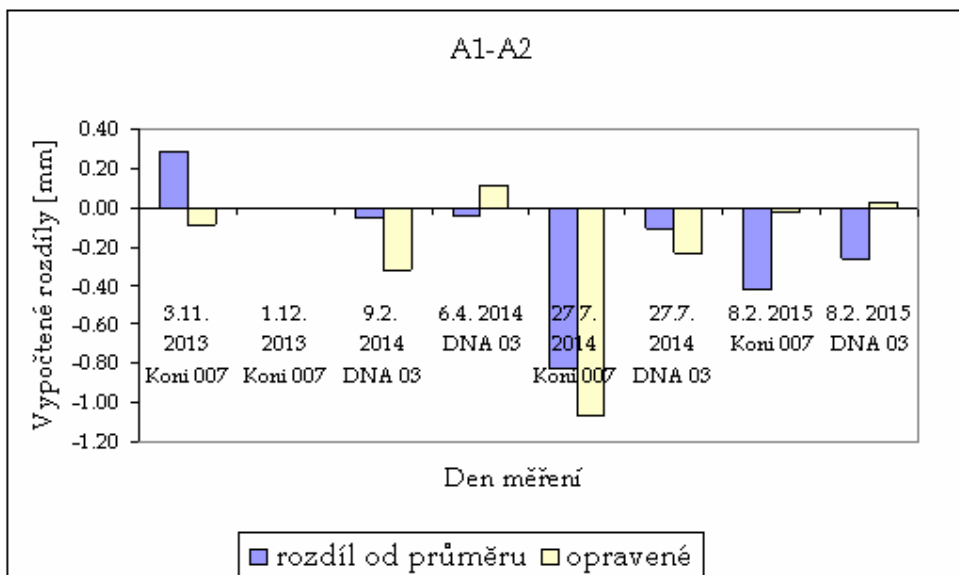


Graf č. 4.5.4.1.2

Nivelační pořad A1-A2

V následujícím grafu jsou znázorněny rozdíly převýšení mezi nivelačními pořadem měřeným okolo knihovny a nivelačním pořadem A1-A2 měřeným skrz knihovnu před a po zavedení oprav. Kompletní hodnoty těchto převýšení a rozdílů jsou v tabulce č. P-4.5.4.1.3 v příloze na str. P-15.

Den 27. 7. 2014 pro Koni 007 je jeden z těch případů, kdy zavedení opravy by výsledek zhoršilo. Zatímco před zavedením opravy by ještě byla splněna mezní odchylka, po zavedení ji již výsledek překračuje.



Graf č. 4.5.4.1.3

Nivelační pořad A1-A4

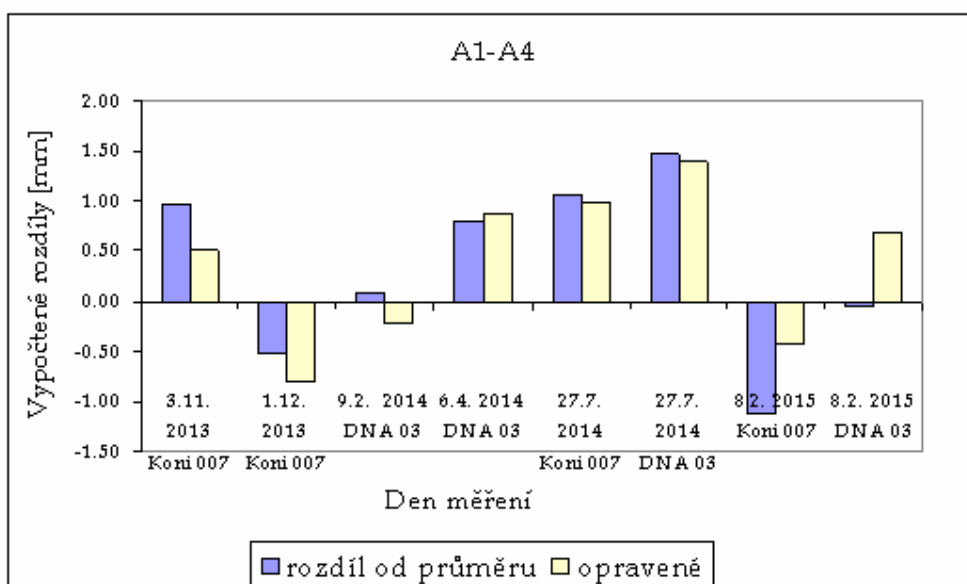
Pro nivelační pořad A1-A4 (s vynecháním dne 27. 7. 2014) dva výsledky před opravou překračují mezní odchylku. Po zavedení oprav ji překračuje již jenom jeden a to bohužel jiný než, ten, který ji překračoval předtím. dL pro den 6. 4. 2014 měl sice hodnotu opravy ne moc velkou, ale opačného znaménka, než odchylka.

Dne 3. 11. 2013 a 8. 2. 2015 pro Koni 007, se měřená převýšení lišila o 0,97 mm, resp. -1,14 mm a zavedení oprav, které byly velikosti 0,46 mm a -0,73 mm došlo k opravení hodnot.

Naopak dne 8. 2. 2015 při měření DNA 03 byl rozdíl od nivelovaného průměru okolo knihovny pouze -0,05 mm a zavedení opravy o velikosti -0,72 mm tento výsledek výrazně zhoršilo.

Ale zde se již pohybujeme na hranici přesnosti měření, proto je možné, že oprava z refrakce je správná a ten malý rozdíl od nivelovaného průměru pořadů kolem knihovny, je jen způsoben náhodnými chybami a jejich vzájemnou eliminací.

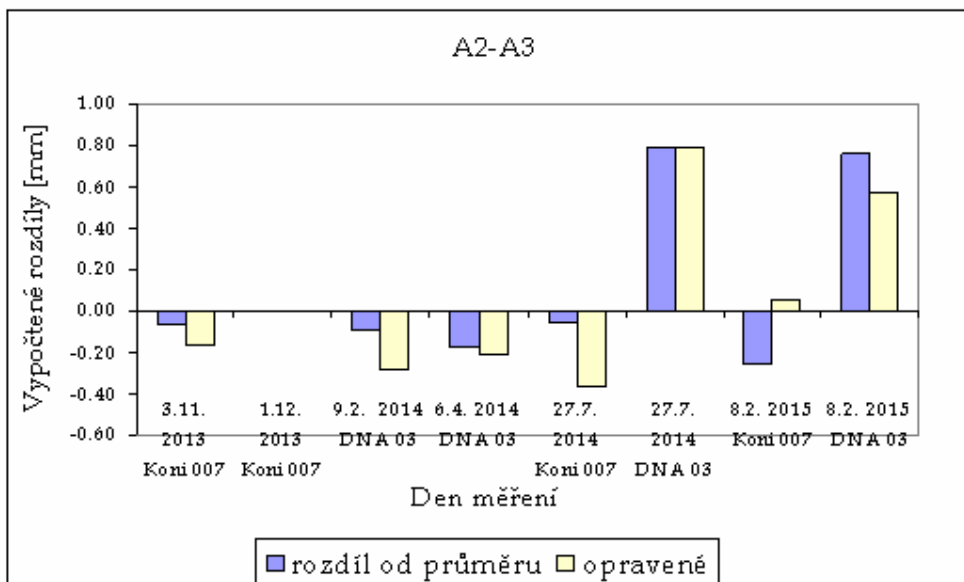
Tabulka pro tento nivelační pořad je č. P-4.5.4.1.4 v příloze na str. P-15.



Graf č. 4.5.4.1.4

Nivelační pořad A2-A3

Pro nivelační pořad A2-A3 byla většina měření s pouze malými odchylkami od průměru z nivelačních pořadů okolo knihovny. Pouze ve dnech 27. 7. 2014 a 8. 2. 2015 při měření DNA 03 splňovaly měřené hodnoty jen těsně mezní odchylku, lišily se v řádech setin mm. A zavedení oprav, které nedosahovaly moc velkých hodnot, tyto výsledky drobně zlepšilo. Hodnoty pro tento pořad jsou v tabulce č. P-4.5.4.1.5 v příloze na str. P-16.



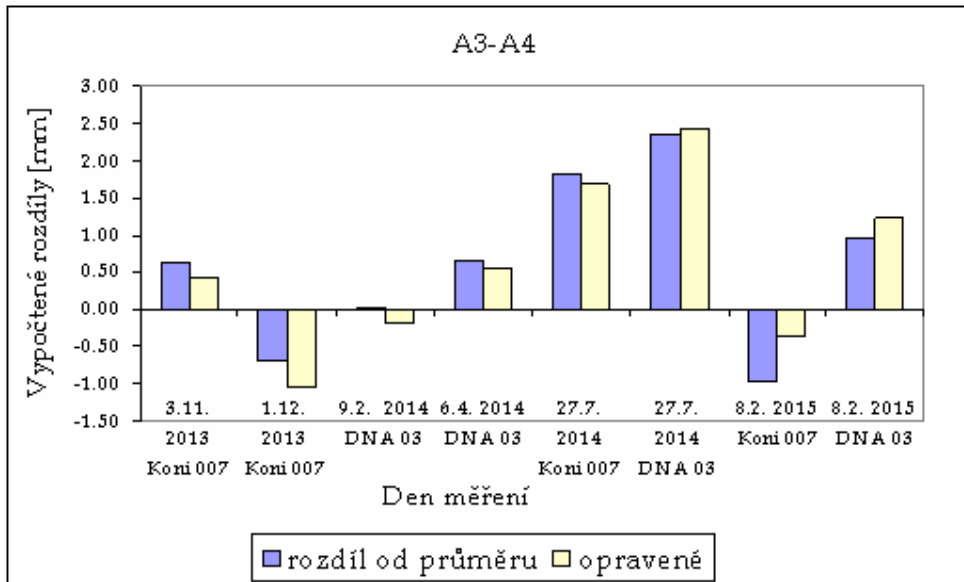
Graf č. 4.5.4.1.5

Nivelační pořad A3-A4

Pro nivelační pořad A3-A4 bylo před zavedením oprav pouze pro jeden případ překročena mezní odchylka, a to pro den 8. 2. 2015 měření Koni 007. Zavedení opravy hodnoty -0,64 mm tento problém vyřešil.

Bohužel zavedením vypočtených oprav pro zbývající dny došlo k zhoršení výsledku dne 1. 12. 2013, měření Koni 007, kdy před zavedením opravy byla odchylka hodnoty -0,68 mm, oprava měla hodnotu 0,37 mm, ale špatného znaménka, tedy opravená hodnota je již hodnota 1,05 mm odchylky od pořadů okolo.

Hodnoty jsou v tabulce č. P-4.5.4.1.6 v příloze na str. P-16 a rozdíly mezi převýšením před a po zavedení opravy jsou v následujícím grafu.



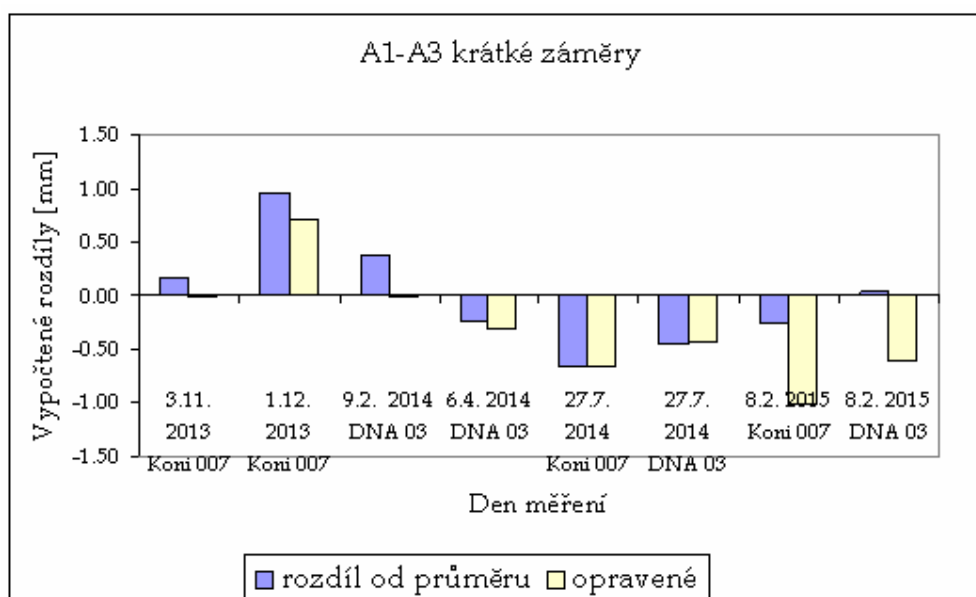
Graf č. 4.5.4.1.6

Maximální hodnoty oprav pro měření dlouhých záměry byly vypočteny z čidel ve výšce 1 m a 2 m: -0,95 mm pro 8. 2. 2015 pro měření Koni 007 pro pořad A2-A4 a +0,46 mm dne 3. 11. 2013 pro měření Koni 007 a pořad A1-A4. V obou případech výsledky znatelně zlepšily.

4.5.4.2 Vypočtené hodnoty pro krátké záměry

Pro krátké záměry byly vypočteny podstatně jiné opravy než v případě dlouhých záměr. Například pro nivelační pořad A2-A4 u dlouhých záměr nabývaly opravy hodnot od -0,95 mm do +0,34 mm, v případě krátkých záměr to jsou hodnoty menšího rozptylu od -0,12 mm do +0,32 mm. Je to dáno tím, že vliv chyby z refrakce roste se čtvercem vzdálenosti. A tedy i do výpočtu oprav stupuje druhá mocnina délky záměry. Proto když jsou délky záměry poloviční, tak se to výrazným způsobem projeví i na velikosti oprav.

Nivelační pořad A1-A3



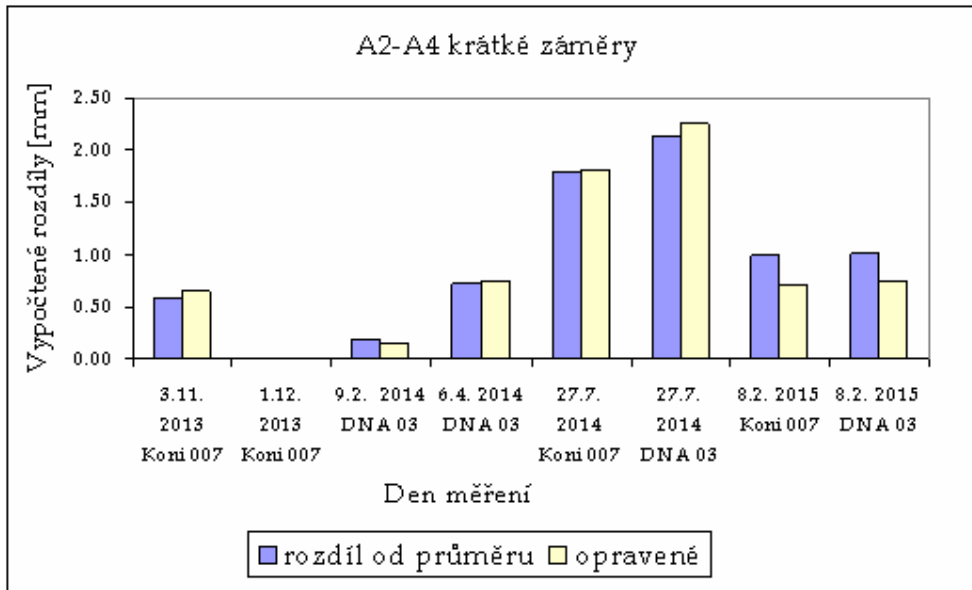
Graf č. 4.5.4.2.1

U nivelačního pořadu A1-A3 byly velmi výrazné opravy pro den 8. 2. 2015, ale odchylky nivelačních pořadů okolo tak velké nejsou. Zavedení oprav v tomto případě výsledky zhoršilo. Oprava pro den 8. 2. 2015 Koni 007 měla sice správné znaménko, ale byla v porovnání s původní odchylkou moc velká. Zhoršení pak bylo ještě pro den 6. 4. 2015 při měření DNA 03, ale zde nebyla hodnota opravy moc velká.

V ostatních případech zavedení oprav výsledky zlepšilo. Kompletní hodnoty jsou v tabulce č. P-4.5.4.2.1 v příloze na str. P-17.

Nivelační pořad A2-A4

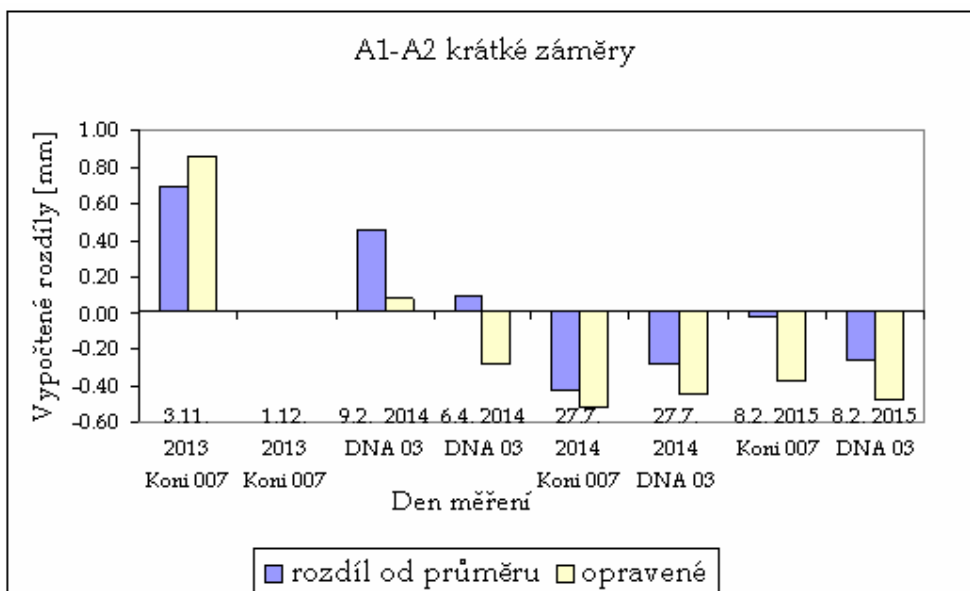
U nivelačního pořadu A2-A4 byly výraznější hodnoty oprav pouze dne 8. 2. 2015. Jejich zavedení měření zlepšilo. Zatímco před jejich zavedením měření nesplňovalo mezní odchylku, po zavedení oprav již vyhovuje. Hodnoty jsou v tabulce č. P- 4.5.4.2.2 v příloze na str. P-17



Graf č. 4.5.4.2.2

Nivelační pořad A1-A2

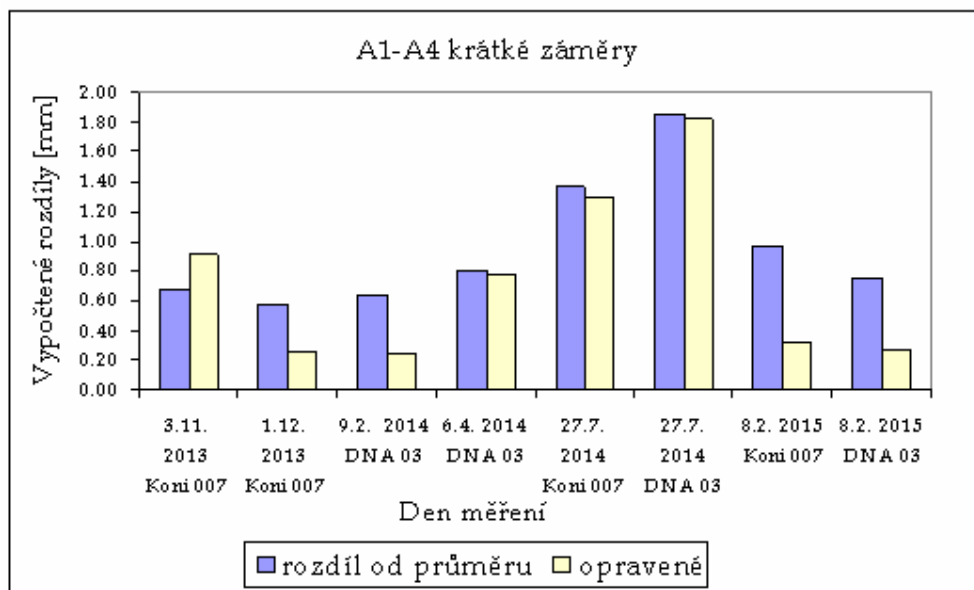
Zavedení oprav k měřeným převýšením u nivelačního pořadu A1-A2 většinu výsledků zhoršilo, jediná světlá výjimka je 9.2. 2014 DNA 03, kdy oprava výsledek zlepšila. Ale v ostatních dnech se toto nestalo, opravy se pohybovaly od -0,17 mm do +0,37 mm. Hodnoty jsou v tabulce č. P-4.5.4.2.3 v příloze na str. P-18.



Graf č. 4.5.4.2.3

Nivelační pořad A1-A4

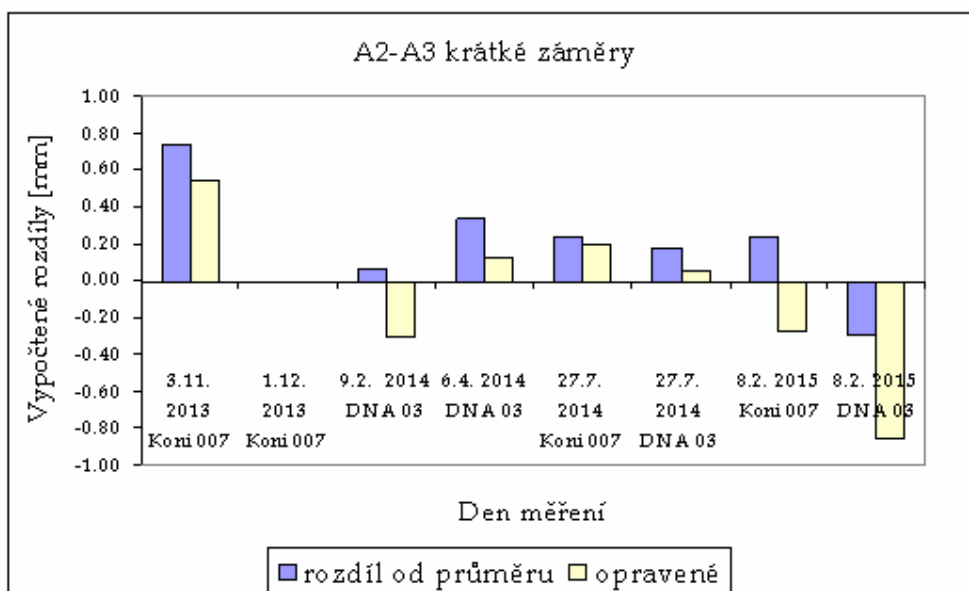
U nivelačního pořadu A1-A4 jen při měření dne 3. 11. 2013 zavedení opravy výsledky zhoršilo. V ostatních případech by zavedení opravy vedlo k zlepšení výsledků. Opravy byly od -0,24 mm do 0,64 m a i tato největší oprava byla pro měření 8.2. 2015 pro Koni 007 přínosem. Před jejím zavedením byla překročena mezní odchylka, zatímco po zavedení se odchylka zmenšila jen na 0,32 mm. Hodnoty jsou v tabulce č. P-4.5.4.2.4 v příloze na str. P-18.



Graf č. 4.5.4.2.4

Nivelační pořad A2-A3

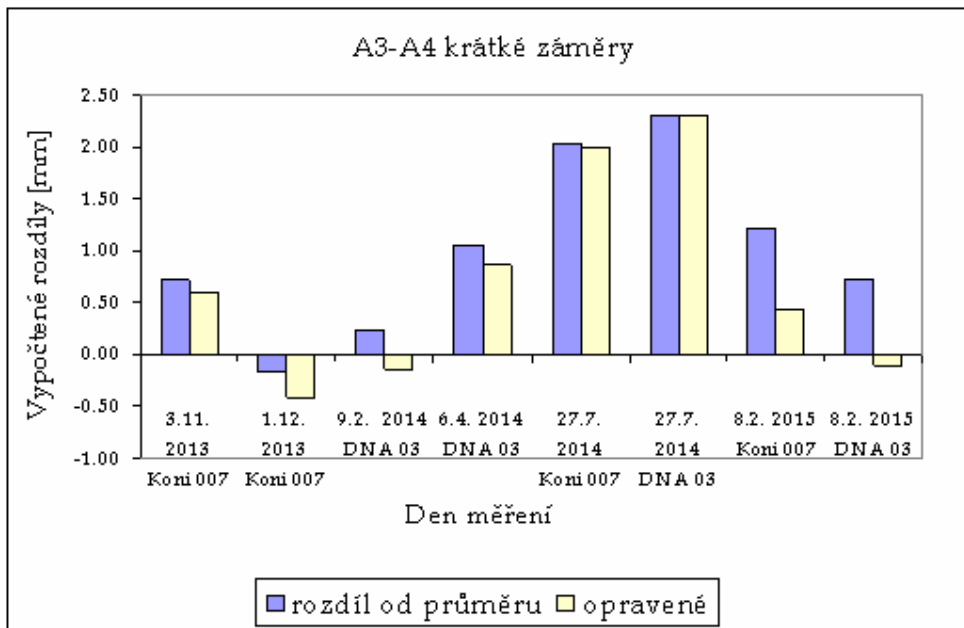
U nivelačního pořadu A2-A3 pro den 8. 2. 2015 DNA 03 vyšla pro dlouhé záměry odchylka od nivelačního pořadu okolo 0,76 mm a oprava 0,19 mm. Zavedení opravy výsledek zlepšilo. Zatímco pro krátké záměry vyšla odchylka -0,29 mm a oprava 0,56 mm. Tedy oprava měla v tomto případě stejné znaménko jako u dlouhých záměr, ale zatímco u dlouhých záměr výsledek zlepšila, v tomto případě zhoršila, protože odchylka měla znaménko opačné než v případě dlouhých záměr. Hodnoty jsou v tabulce č. P-4.5.4.2.5 v příloze na str. P-19., rozdíly převýšení mezi nivelačním pořadem vedeným skrz a okolo knihovny před a po zavedení oprav jsou graficky znázorněny v následujícím grafu.



Graf č. 4.5.4.2.5

Nivelační pořad A3-A4

Hodnoty pro nivelační pořad A3-A4 jsou v tabulce č. P-4.5.4.2.6 příloze na str. P-19, grafické znázornění v následujícím grafu. U tohoto nivelačního pořadu došlo zavedením oprav ke zmenšení odchylky od převýšení určeného z nivelovaného pořadu okolo knihovny ve většině případů.



Graf č. 4.5.4.2.6

Maximální opravy pro krátké záměry byly -0,24 mm a +0,80 mm. Těch +0,80 mm bylo pro nivelační pořad A3-A4 a měření 8. 2. 2015 pro Koni 007 a těch -0,24 mm bylo pro nivelační pořad A1-A4 pro měření Koni 007 dne 3. 11. 2013.

Na vypočtených opravách krátkých a dlouhých záměr je dobře vidět, jak je důležité mít dobře rozmístěná teplotní čidla. V našem případě jsme měli pouze 7 čidel, tedy max. tři výškové teplotní profily.

4.5.5. Vypočtené hodnoty – čidla ve výšce 1,5 m a 2 m.

4.5.5.1 Vypočtené hodnoty pro dlouhé záměry

V blízkosti bodů Ai byly (vyjma měření dne 3. 11. 2013) tři teplotní čidla ve výšce 1 m, 1,5 m a 2 m.

Ve výpočtech oprav v těchto tabulkách jsou hodnoty teplotních gradientů z čidel v blízkosti bodu Ai ve výšce 1,5 m a 2 m.

Pro ostatní dva teplotní profily jsou použity stejné hodnoty, jako jsou vzaty pro výpočet oprav v kapitole 4. 5. 4.

Je vidět, že i změna jen jednoho gradientu ze tří a v případě velké teplotní proměnlivosti umístění teplotních čidel o 0,5 m výše než v předchozím případě, může mít na výsledky nemalý vliv.

Například u pořadu A2-A3 dne 8. 2. 2015 měřeno Koni 007 se teplotní gradienty na bodech A2 a A3 měly z teplotních čidel v různých výškách výrazně jinou hodnotu.

Na vchodě 2 nebyla změna tak velká. Teplotní gradienty měly hodnotu: z čidel ve výšce 1 m a 2 m měl teplotní gradient hodnotu $-0,01$ °C/m a z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m měl teplotní gradient hodnotu $-0,53$ °C/m

Ale na vchodě 3 to byla změna přímo extrémní. Teplotní gradient z čidel ve výšce 1 m a 2 m měl hodnotu $-4,75$ °C/m. A pro čidla ve výšce 1,5 m a 2 m: $-2,06$ °C/m. (A to ještě není tak extrémní jako v případě porovnání s teplotním gradientem zjištěným ve stejný den, vchod i čas z čidel ve výšce 1 m a 1,5 m – ten dosahoval hodnoty $+7,41$ °C/m)

A z toho plyne i rozdíl ve výpočtu oprav. V případě výpočtu oprav z čidel ve výšce 1 a 2 m vyšla oprava $-0,32$ mm. A z gradientu zjištěného z čidel ve výšce 1,5 a 2 m vyšla oprava $-0,96$ mm. Tedy zatímco v případě zavedení opravy z čidel ve výšce 1 a 2 m k převýšení je rozdíl od průměrných převýšení nivelačních pořadů okolo téměř nulový, zavedení opravy z čidel z výšky 1,5 m a 2 m způsobí výrazné zhoršení výsledku o téměř půl milimetru.

Další příklady: pro pořad A2-A3 dne 27. 7. 2014 pro Koni 007 byl ve vchodě 2 z čidel ve výšce 1 m a 2 m zjištěn teplotní gradient $-0,09$ °C/m a z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m byl $0,97$ °C/m.

A ve vchodě 3 byl teplotní gradient z čidel ve výšce 1 m a 2 m $-0,64$ °C/m a z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m to bylo již $-3,87$ °C/m.

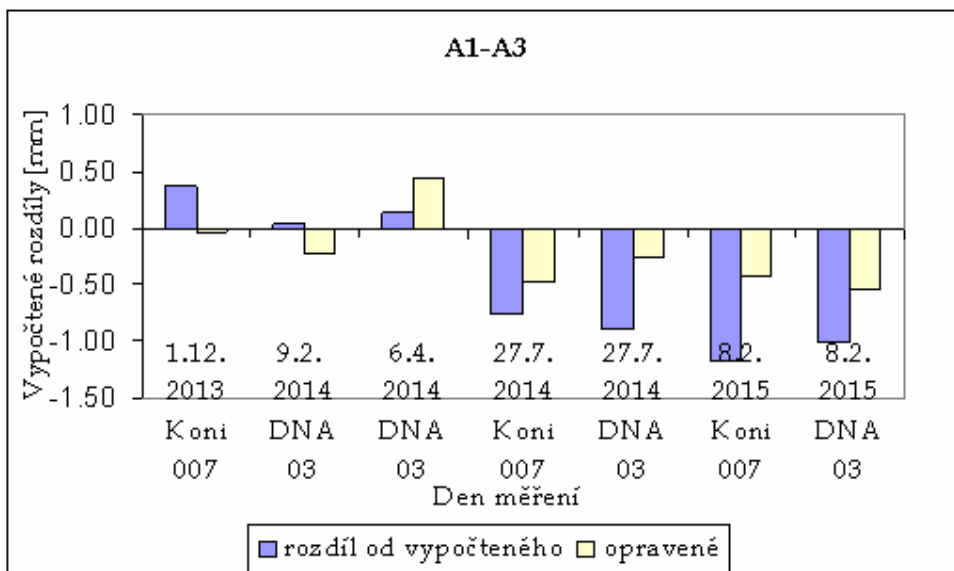
Tabulky vypočtených rozdílů od nivelačního pořadu okolo knihovny před a po zavedení oprav jsou v příloze na str. P-20 až P-21.

Nivelační pořad A1-A3

Pořad A1-A3 je další z příkladů, kdy použitím teplotního gradientu z jiné výšky došlo k výrazné změně opravy.

Pro den 8. 2. 2015 pro Koni 007 byl ve vchodě 1 z čidel ve výšce 1m a 2 m teplotní gradient $+0,21$ °C/m a z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m teplotní gradient $+0,57$ °C/m. A ve vchodě 3 byl teplotní gradient z čidel ve výšce 1 a 2 m $+2,67$ a z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m byl teplotní gradient: $-2,06$ °C/m. A z toho vypočtené opravy: z gradientu z čidel ve výšce 1 m a 2 je pro nivelační pořad A1-A3 oprava $-0,1$ mm a vypočtená z gradientu z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m je $-0,74$ mm.

Hodnoty rozdílů od převýšení určeného z nivelačních pořadů okolo knihovny před a po zavedení oprav jsou v tab. č. P-4.5.5.1.1v příloze na str. P-20 a graficky jsou znázorněny v následujícím grafu č. 4.5.5.1.1.



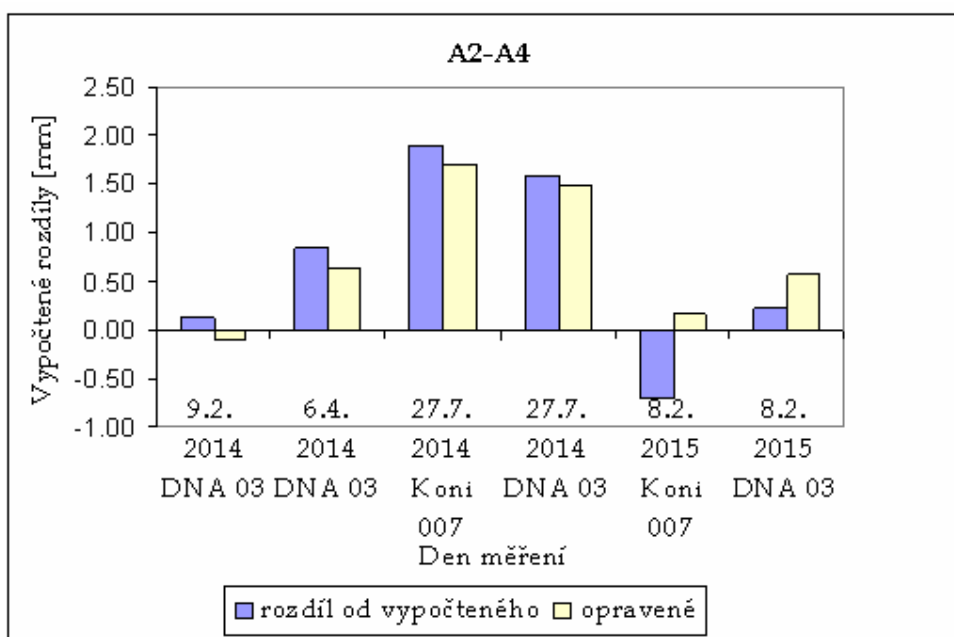
Graf č. 4.5.5.1.1

Nivelační pořad A2-A4

Pro nivelační pořad A2-A4 jsou hodnoty převýšení, oprav a rozdílů od nivelačního pořadu okolo knihovny uvedeny v tabulce č. P-4.5.5.1.2 v příloze na str. P-20.

Zavedení oprav s teplotním gradientem z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m zlepšilo většinu výsledků. Jediné měření, kdy nedošlo ke zmenšení odchylek je den 8. 2. 2015 pro měření DNA 03, kdy odchylka byla jen 0,21 mm a zavedení opravy -0,33 mm ji odchylovalo od průměru nivelačních pořadů měřených okolo knihovny na 0,54 mm. Opravy se v tomto případě liší od oprav z čidel ve výšce 1 m a 2 m jen nepatrně.

Graficky jsou hodnoty rozdílů od převýšení určeného z nivelačních pořadů okolo knihovny zobrazeny v následujícím grafu.



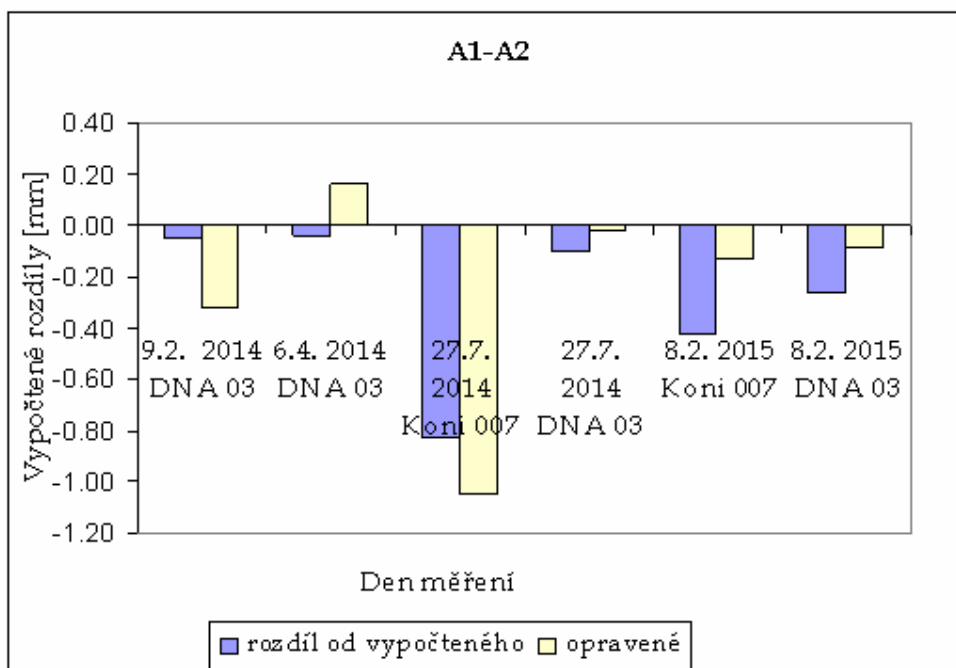
Graf č. 4.5.5.1.2

Z tohoto grafu je zřejmé, že zavedením oprav k měřeným převýšením skrz budovu se měřená převýšení skrz budovu většinou přiblížila k průměrným převýšením měřeným okolo budovy.

Nivelační pořad A1-A2

Hodnoty pro pořad A1-A2 jsou v tabulce č. Tab. č. P-4.5.5.1.3 v příloze na str. č. P-20. I pro výpočet z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m vyšla oprava pro den 27. 7. 2014 pro měření Koni 007 opačného znaménka než odchylka měření a také měření zhoršila, stejně jako opravy vypočtená z teplotního gradientu z čidel ve výšce 1 m a 2 m. Ostatní opravy výsledky zlepšily.

Grafické znázornění je v následujícím grafu č. 4.5.5.1.3.

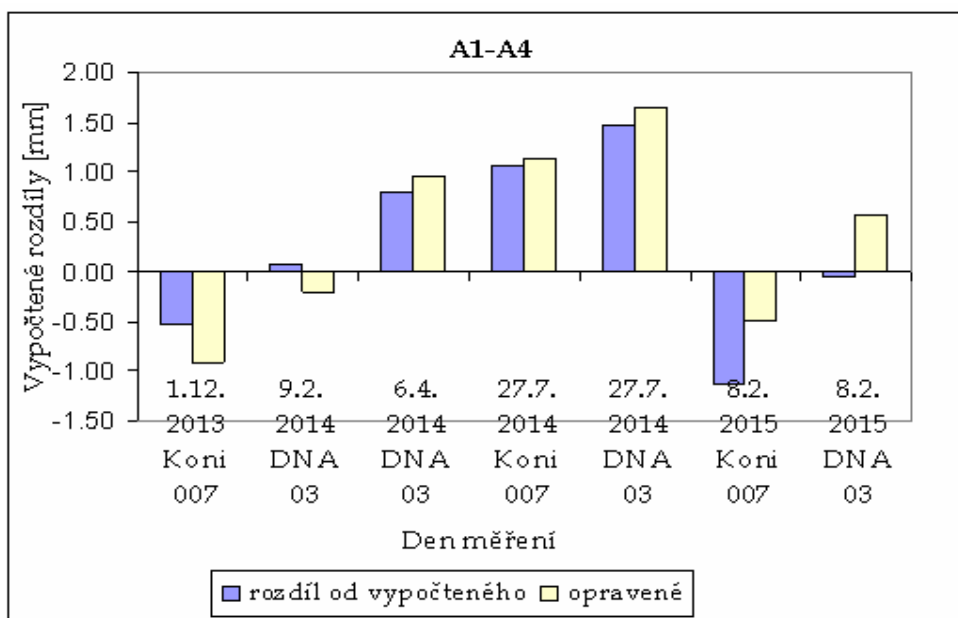


Graf č. 4.5.5.1.3

Nivelační pořad A1-A4

Hodnoty pro pořad A1-A4 jsou v tabulce č. P-4.5.5.1.4 v příloze na str. P-21.

Oprava pro 1. 12. 2013 pro Koni 007 vyšla ještě hůře než z čidel ve výšce 1 m a 2 m. V tomto případě výsledek měření zhoršilo její zavedení tak, až se překročila mezní odchylka.



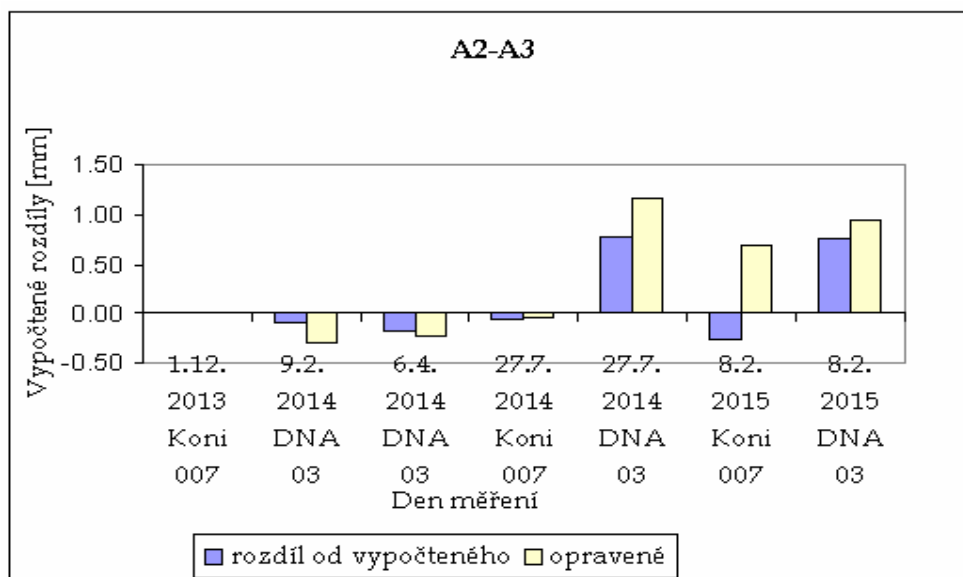
Graf č. 4.5.5.1.4

Nivelační pořad A2-A3

Pro pořad A2-A3 jsou hodnoty v tabulce č. P-4.5.5.1.5 v příloze na str. P-21.

Kromě již zmiňovaného extrému u dne 8. 2. 2014 u Koni 007 (změna oprav z 0,32 mm u čidel ve výšce 1 m a 2 m na hodnotu opravy -0,96 mm pro čidla ve výšce 1,5 m a 2 m) v úvodu kapitoly je také zajímavá oprava pro den 8. 2. 2015 pro DNA 03, kdy z čidel ve výšce 1 m a 2 m vyšla oprava +0,19 mm a z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m to bylo -0,19 mm. Tedy naprosto stejná hodnota, ale opačné znaménko.

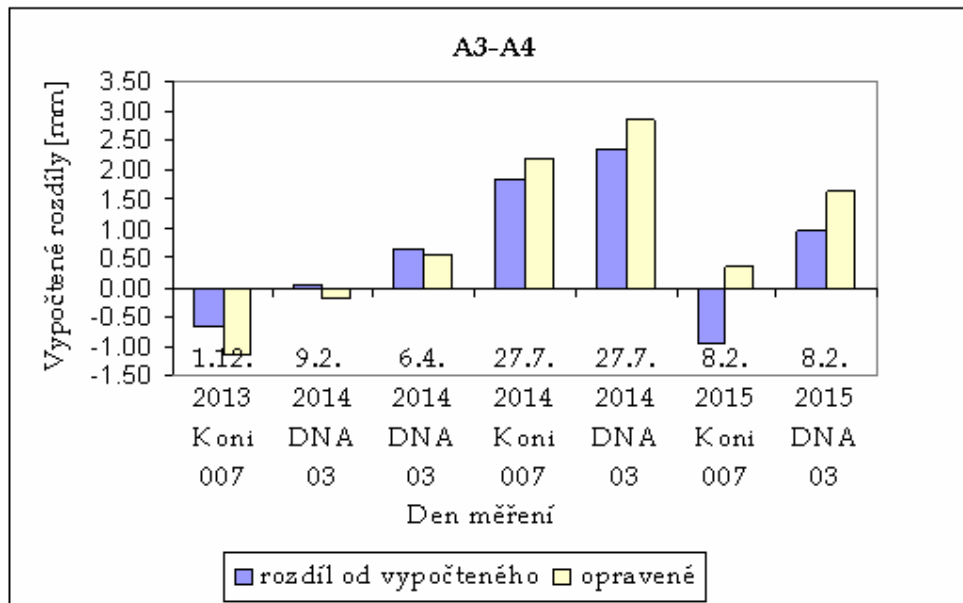
Grafické znázornění je v následujícím grafu č. 4.5.5.1.5 .



Graf č. 4.5.5.1.5

Nivelační pořad A3-A4

Pro pořad A3-A4 jsou hodnoty v tabulce č. P-4.5.5.1.6 v příloze na str. P-21. V tomto případě opět došlo ke zhoršení měření dne 8. 2. 2015 DNA 03 a vzhledem k tomu, že má oprava v tomto případě ještě větší hodnotu (než ta vypočtená z čidel ve výšce 1 m a 2 m), tak došlo ke zhoršení měření na téměř dvojnásobek mezní odchylky. Hodnoty jsou zobrazeny v následujícím grafu.



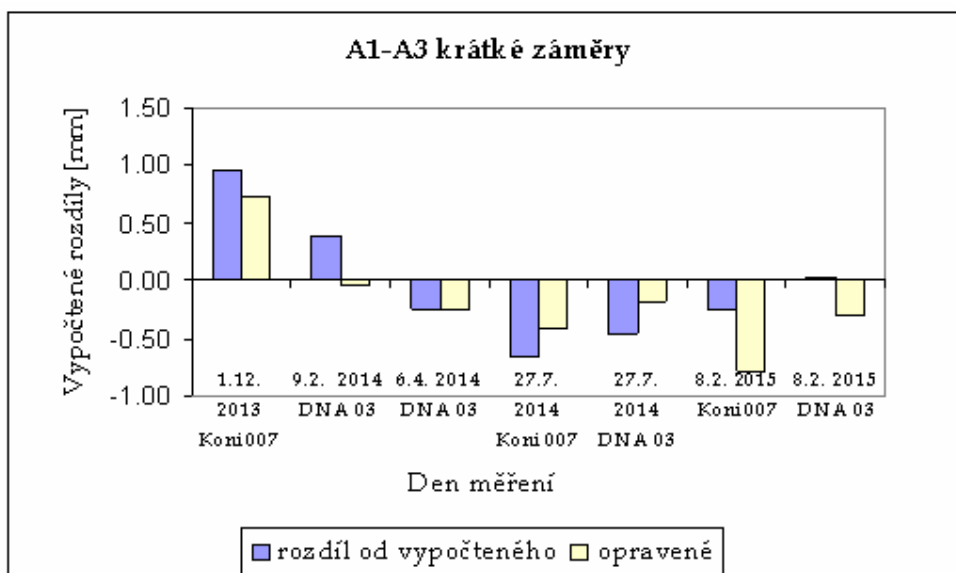
Graf č. 4.5.5.1.6

4.5.5.2 Vypočtené hodnoty pro krátké záměry

Převýšení, vypočtené opravy a rozdíl od převýšení vypočteného z nivelačních pořadů měřených okolo knihovny před a po zavedení oprav je v tabulkách v příloze na stranách P-22 a P-23.

Nivelační pořad A1-A3

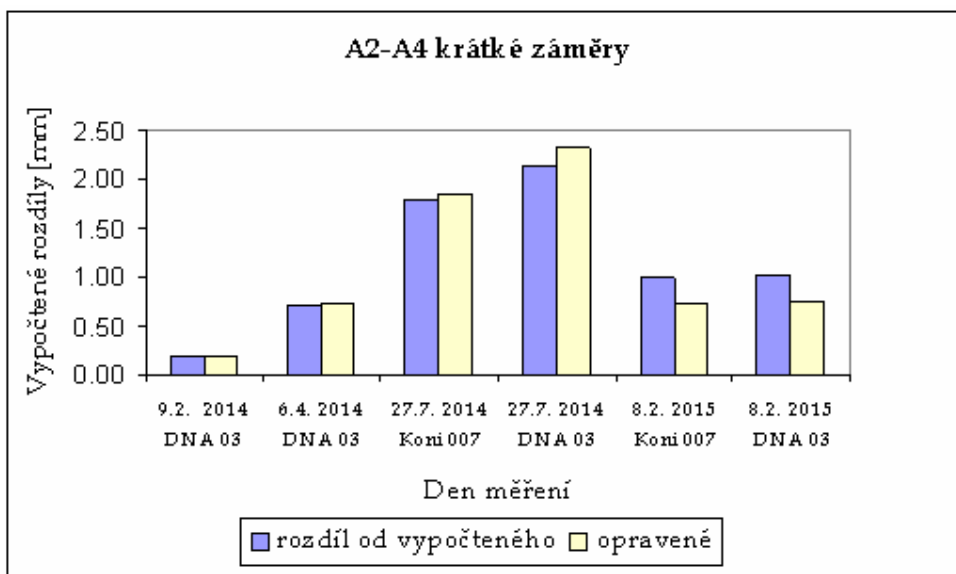
Pouze dne 8. 2. 2015 došlo zavedením vypočtených oprav ke zhoršení výsledků. Zde jsou sice vypočtené opravy menší než v případě čidel z výšky 1 m a 2 m, ale i tyto menší hodnoty výsledky výrazně zhoršily. Kompletní hodnoty jsou v tabulce č. P-4.5.5.2.1 v příloze na straně P-22, grafické znázornění je v následujícím grafu č. 4.5.5.2.1



Graf č. 4.5.5.2.1

Nivelační pořad A2-A4

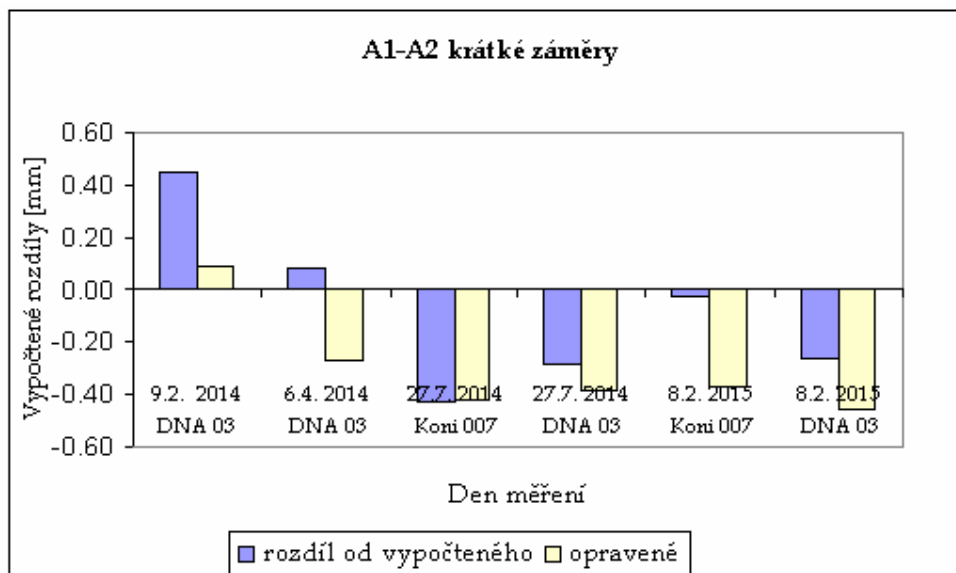
Opravy u tohoto nivelačního pořadu se liší pouze v řádech setin milimetru od oprav vypočtených z čidel ve výšce 1 m a 2 m. Hodnoty jsou v tabulce č. P-4.5.5.2.2 v příloze na str. P-22.



Graf č. 4.5.5.2.2

Nivelační pořad A1-A2

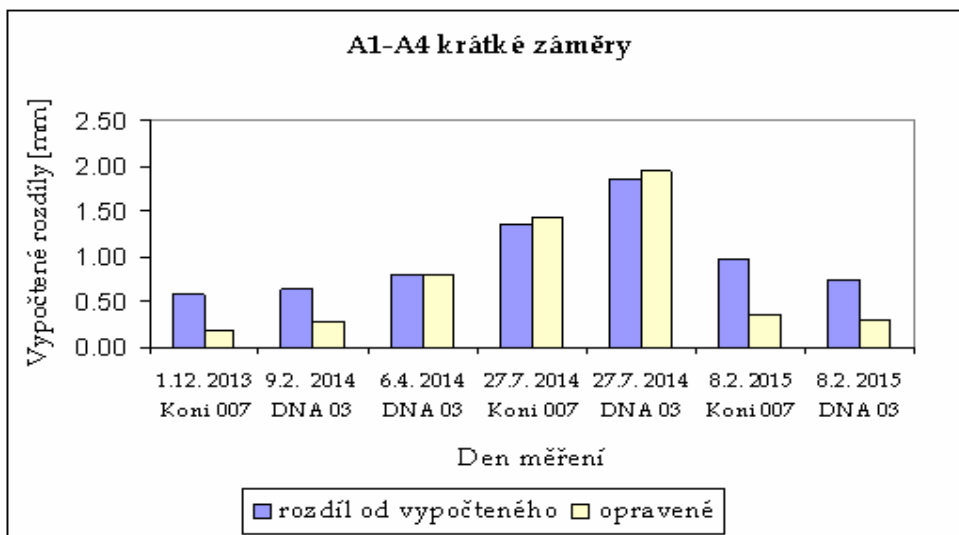
U tohoto pořadu se opět opravy teplotního gradientu vypočtené z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m neliší o více jak pár setin milimetru od oprav vypočtených z teplotního gradientu z čidel ve výšce 1 m a 2 m. Hodnoty jsou v příloze v tabulce č. P-4.5.5.2.3 na straně P-22.



Graf č. 4.5.5.2.3

Nivelační pořad A1-A4

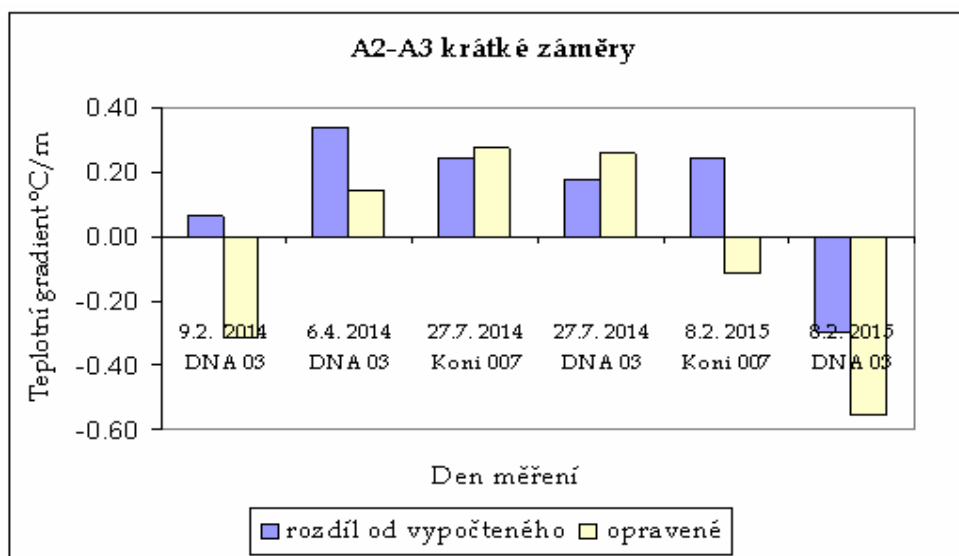
Pro nivelační pořad A1-A4 jsou hodnoty v tabulce č. P-4.5.5.2.4 v příloze na str. P-23 a graficky jsou znázorněny v grafu č. 4.5.5.2.4.



Graf č. 4.5.5.2.4

Nivelační pořad A2-A3

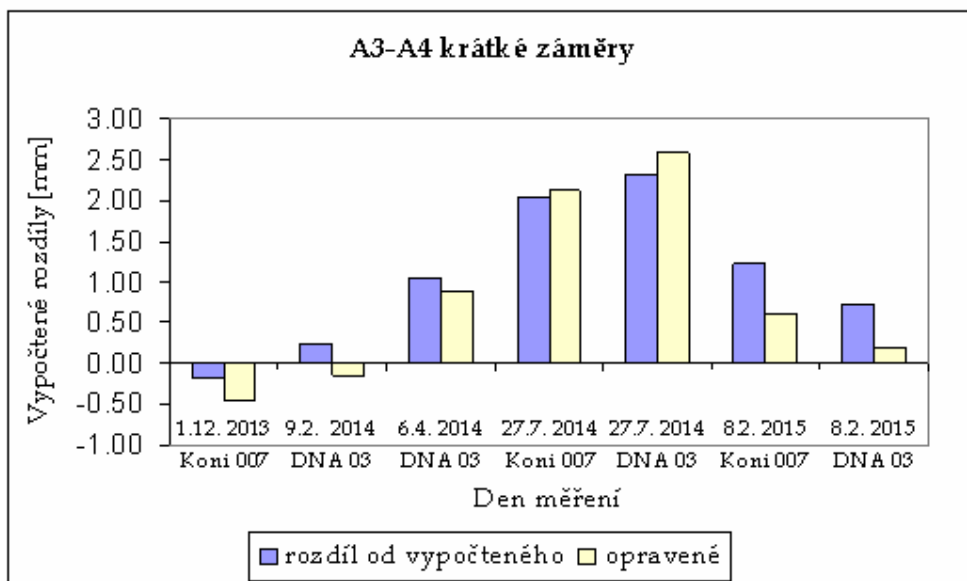
Zde již jsou opravy vypočtené z teplotního gradientu z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m značně jiné než opravy z teplotního gradientu z čidel ve výšce 1 m a 2 m. Liší se i o 3 desetiny milimetru dne 8. 2. 2015 pro DNA 03, ale stejně jako v předchozím případě i tato podstatně jiná oprava výsledek zhoršila, i když ne tak moc jako v předchozím případě. Kompletní hodnoty jsou v tabulce č. P-4.5.5.2.5 v příloze na str. P-23.



Graf č. 4.5.5.2.5

Nivelační pořad A3-A4

Hodnoty tohoto nivelačního pořadu jsou v příloze v tab. č. P-4.5.5.2.6 na str. P-23.



Graf č. 4.5.5.2.6

Rozdíly mezi průměrem z nivelačních pořadů měřených okolo knihovny a jednotlivých nivelačních pořadů skrz budovu, s vynecháním měření den 27.7. 2014 na bodě A4, se pohybují v rozmezí od -1,17 mm do +0,97 mm pro dlouhé záměry. První extrém je odchylka pro nivelační pořad A1-A3 dne 8. 2. 2015 měřený Koni 007 a druhý je pro nivelační pořad A3-A4 dne 8. 2. 2015 měřený DNA 03.

A pro krátké záměry jsou tyto hodnoty: -0,67 mm a +1,23 mm. První extrém je pro měření 27.7. 2014 Koni 007 a nivelační pořad A1-A3. A druhý extrém je pro nivelační pořad A3-A4 dne 8. 2. 2015 při měření Koni 007.

Mezní odchylka pro tuto délku nivelačního pořadu je 0,87 mm. Vliv chyby refrakce vypočtené dle vzorců přibližně kopíruje rozdíly mezi nivelační pořady měřenými okolo knihovny a skrz budovu. Opravením měřených nivelačních pořadů skrz budovu o vypočtenou chybu z refrakce by ve většině případů došlo k přiblížení hodnotám zjištěným nivelováním okolo budovy. Ale v některých případech by zavedení této opravy tuto odchylku velmi výrazně zvýšilo.

Toto by mohlo být způsobeno krátkodobými výkyvy prostředí, která čidla nezaznamenala a nebo už prostým faktem, že to jsou hodnoty na hranici přesnosti měření.

4. 5. 6 Zavedení vah pro měření 3. 11. 2013

V předchozích výpočtech byly hodnoty gradientu z více teplotních gradientů pro záměru počítány aritmetickým průměrem. Teď následují výsledky hodnot oprav, pokud by se hodnoty teplotních gradientů z různých teplotních profilů do výpočtu nezapojovaly se stejnou vahou.

Dlouhé záměry

Pro dlouhé záměry při záměře vpřed byly dva teplotní profily. Těm se přidělily váhy 2 pro teplotní gradient blíže nivelačnímu přístroji a 1 pro vzdálenější.

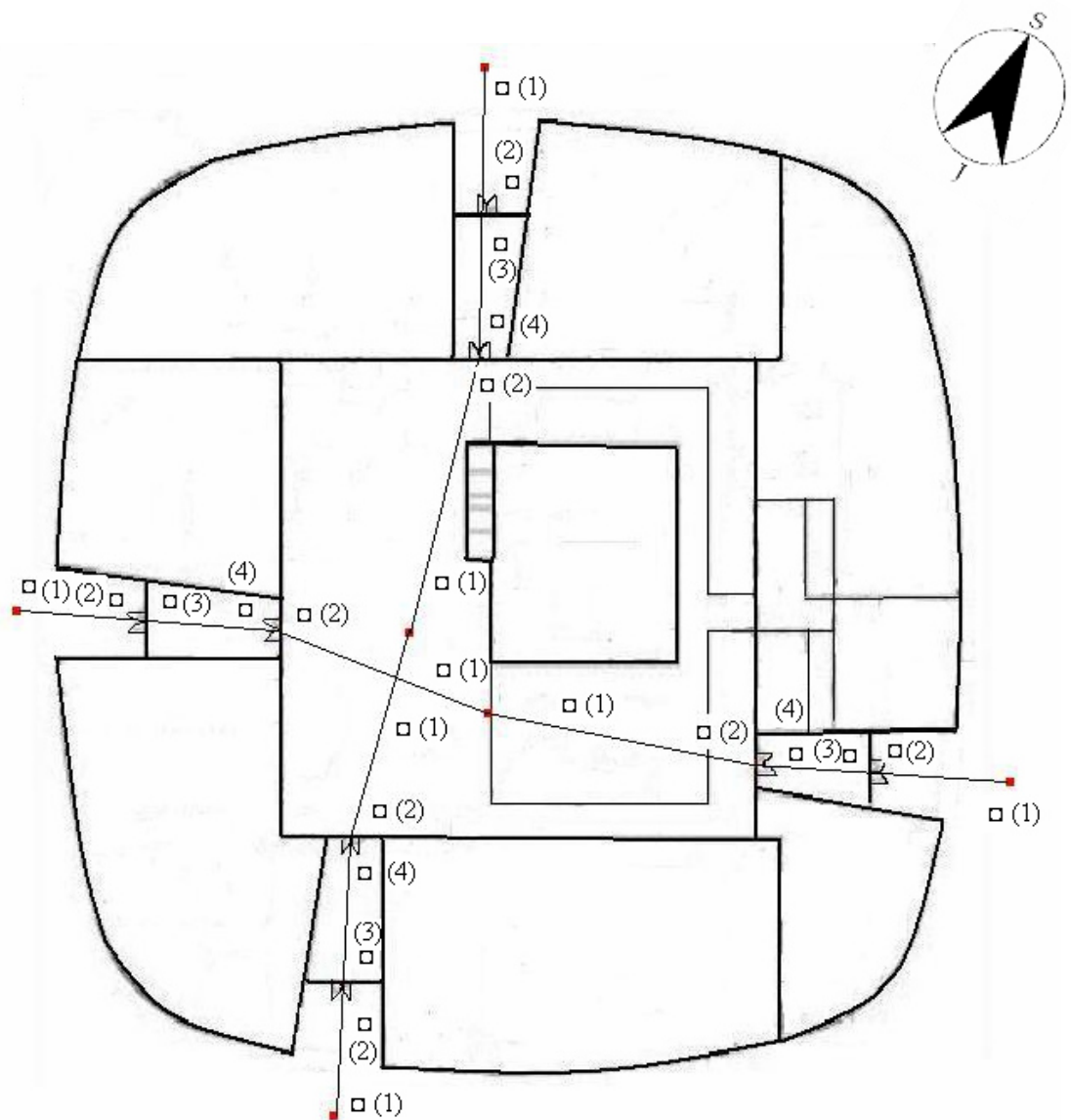
A při záměře vzad byly čtyři teplotní profily. Těm se přidělily váhy 4, 3, 2, 1. Čím blíže teplotní profil nivelačnímu přístroji, tím vyšší váha.

Na obr. 4.5.6.1 je zobrazeno přiřazení vah pro jednotlivé teplotní profily.

Další možnost přiřazení vah.

Záměra vzad - váhy jako převrácená hodnota vzdálenosti od nivelačního přístroje. Teplotní čidla byla ve vzdálenosti 2, 8, 12, 16 m od nivelačního přístroje. Proto jim budou přiřazeny váhy $1/2$, $1/8$, $1/12$, $1/16$.

Pro záměru vpřed byly ponechány váhy stejné jako v předchozím případě, tedy váha 2 pro teplotní gradient z čidel blíže nivelačnímu přístroji a váha 1 pro vzdálenější.



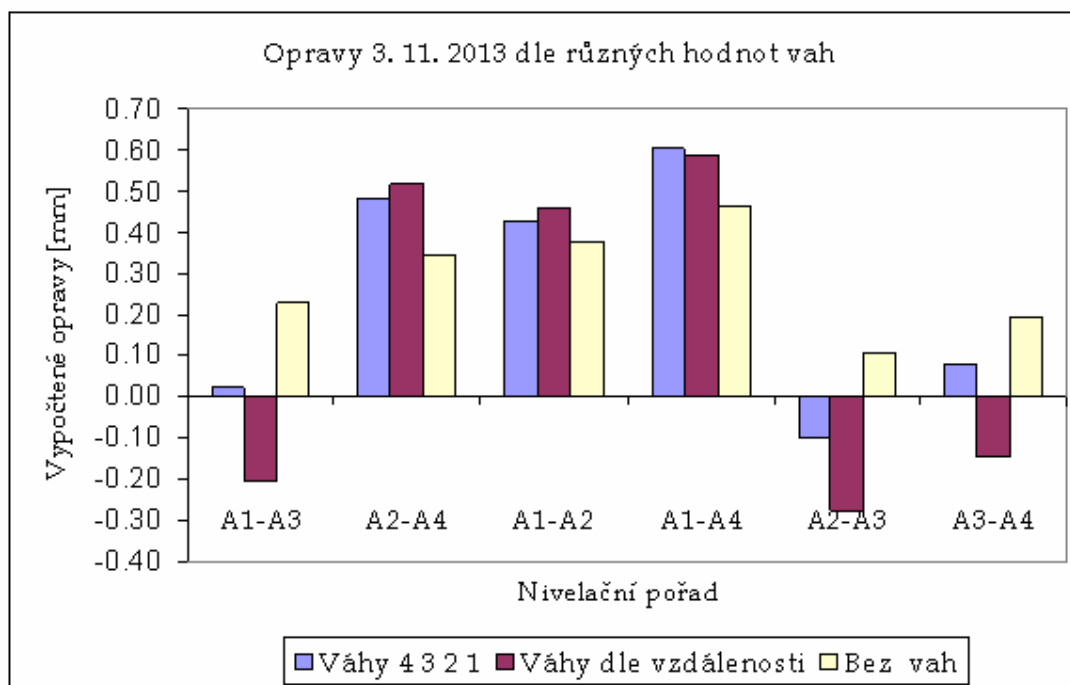
Obr. 4.5.6.1 Přiřazené váhy

□ je představuje umístění teplotního profilu a číslo v závorce () je váha, která byla gradientu zjištěného z tohoto teplotního profilu přidělena

V tabulce jsou hodnoty oprav pro různé váhy zavedené ke gradientům.

	Opravy: Přiřazeny váhy 4 3 2 1 [mm]	Opravy: Váhy dle vzdáleností [mm]	Opravy: Bez vah [mm]
A1-A3	0,02	-0,21	0,23
A2-A4	0,48	0,52	0,34
A1-A2	0,43	0,46	0,38
A1-A4	0,60	0,59	0,46
A2-A3	-0,10	-0,28	0,11
A3-A4	0,08	-0,15	0,19

Tab. č. 4.5.6.1



Graf. č. 4.5.6.1

Na pořadech, ve kterých se vyskytoval vchod A3 jsou velice proměnlivé hodnoty oprav. Bez vah dosahovaly opravy kladných hodnot a se zavedenými vahami dle vzdálenosti od nivelačního přístroje dosahovaly záporných hodnot. Pro váhy 4 3 2 1 měly na různých vchodech i kladnou i zápornou hodnotu.

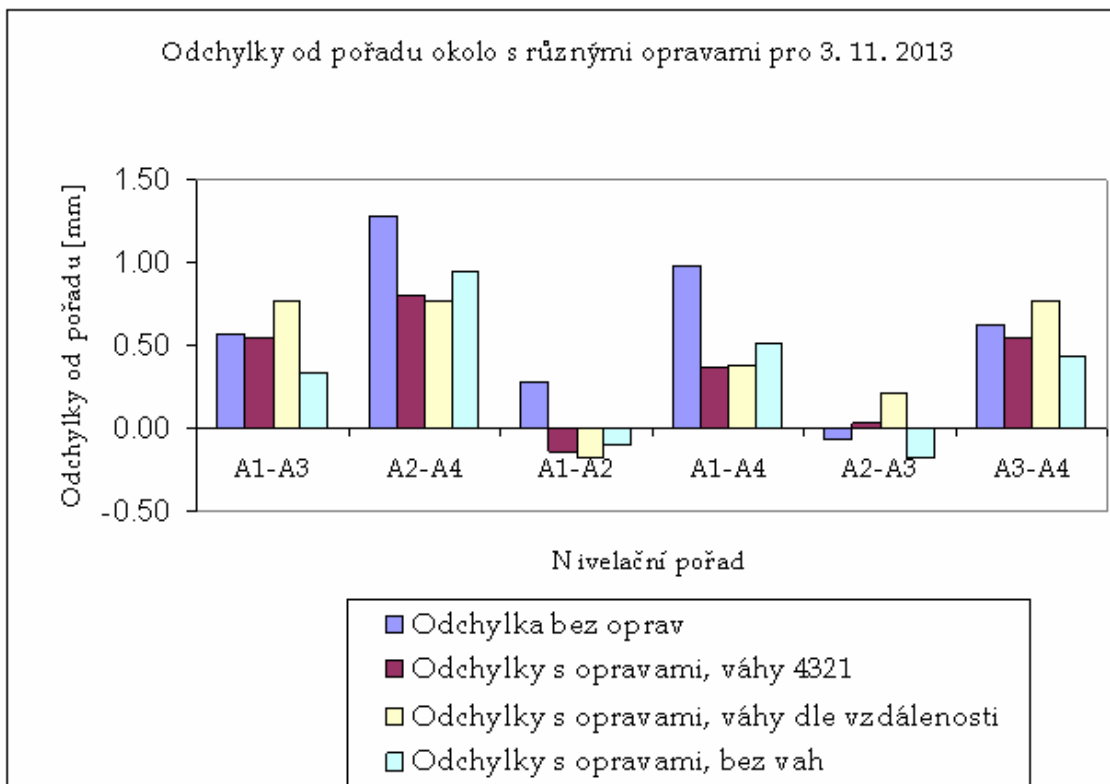
V tabulce č. 4.5.6.2 jsou odchylky od nivelovaného převýšení okolo knihovny po zavedení různým způsobem vypočtených oprav. A tyto hodnoty jsou následně graficky zobrazeny v grafu č. 4.5.6.2.

	Odchylka bez oprav [mm]	Odchylky s opravami, váhy 4 3 2 1 [mm]	Odchylky s opravami, váhy dle vzdáleností [mm]	Odchylky s opravami, bez vah [mm]
A1-A3	0,57	0,54	0,77	0,34
A2-A4	1,29	0,81	0,77	0,95
A1-A2	0,29	-0,14	-0,17	-0,09
A1-A4	0,97	0,37	0,39	0,51
A2-A3	-0,06	0,04	0,21	-0,17
A3-A4	0,63	0,54	0,77	0,43
Součet absolutních hodnot	3,80	2,44	3,09	2,49

Tab. č. 4.5.6.2

Odchylky od nivelačního pořadu, u kterých se zavedly opravy s váhami 4 3 2 1 a u kterých se váhy nezavedly, jsou až na drobnou výjimku menší, než odchylky, u kterých se opravy nezavedly.

Odchylky u nichž se zavedly opravy s váhami dle vzdáleností mají ve třech případech absolutní hodnotu větší, než v případě odchylek bez zavedených oprav. Ale porovnáním součtu absolutních hodnot odchylek zjistíme, že zavedením všech druhů oprav došlo ke snížení celkové sumy. Tedy celkově se výsledky přiblížily výsledkům z nivelačních pořadů okolo, i když v některých případech se pro jednotlivá měření vzdálily.



Graf. č. 4.5.6.2

Krátké záměry

Pro krátké záměry budou přiděleny váhy pro stanoviště B_i , kdy při záměře vzad na bod A_i jsou dva teplotní profily. Váha teplotního gradientu z čidel blíže nivelačnímu přístroji bude 2 a váha vzdálenějšího 1. A při záměře vpřed na bod C_i jsou rovněž dva teplotní profily. Váha teplotního gradientu zjištěného z čidel blíže nivelačnímu přístroji bude opět 2 a vzdálenějšího 1.

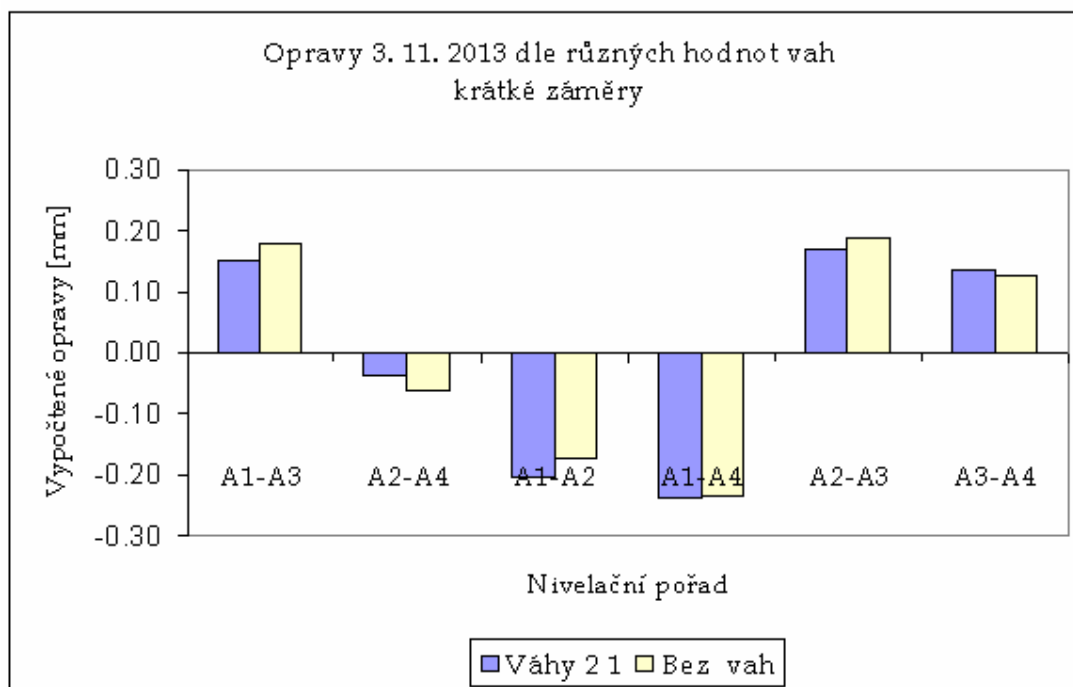
Pro měření na bodě D_i je při záměře vzad na C_i jen jeden teplotní profil, zrovna tak jako při záměře vpřed na bod E_i , zde váhy nebudou přiřazeny.

V tabulce č. 4.5.6.3 jsou hodnoty oprav vypočtené z gradientů bez zavedení vah a se zavedením váhy hodnoty 2 pro teplotní gradient zjištěný z čidel blíže nivelačnímu přístroji a hodnoty 1 pro teplotní gradient zjištěný z čidel dále od nivelačního přístroje. V grafické podobě jsou tyto hodnoty znázorněny v grafu č. 4.5.6.3.

	Opravy: Přiřazeny váhy 2 1 [mm]	Opravy: Bez vah [mm]
A1-A3	0,15	0,18
A2-A4	-0,04	-0,06
A1-A2	-0,20	-0,17
A1-A4	-0,24	-0,24
A2-A3	0,17	0,19
A3-A4	0,13	0,13

Tab. č. 4.5.6.3

Na výsledky pro krátké záměry zavedení vah prakticky nemá vliv. Rozdíly oprav bez zavedení vah a po zavedení jsou v setinách milimetru.



Graf č. 4.5.6.3

4.5.7 Zavedení vah pro ostatní dny

Při měření se třemi teplotními profily je v předchozích tabulkách a grafech počítána oprava záměry vzad z aritmetického průměru teplotních gradientů (které jsou z čidel mezi vnitřními a vnějšími dveřmi a čidel v blízkosti bodu A_i). V následujících tabulkách a grafech je porovnání oprav, které jsou vypočteny se zavedením vah pro teplotní gradient blíže nivelačnímu přístroji. Oprava vpřed je počítána z jediného teplotního gradientu v tomto směru. (Pro krátké záměry není jak váhy pro jednotlivé záměry zavést, poněvadž zde vycházel maximálně jeden teplotní gradient na záměru).

V tabulkách - v druhém sloupci je výpočet opravy z teplotních gradientů z čidel ve výšce 1 a 2 m a nejsou zavedeny žádné váhy.

Ve třetím sloupci je výpočet opravy z teplotních gradientů z čidel ve výšce 1 a 2 m a jsou zavedeny váhy. Teplotnímu gradientu, který je blíže nivelačnímu přístroji je přiřazena váha 2 a vzdálenějšímu teplotnímu gradientu váha 1.

V tabulkách a grafech jsou hodnoty z druhého a třetího sloupce označeny zjednodušujícím způsobem v grafu „čidla 1 m a 2 m“.

Ve čtvrtém a pátém sloupci jsou opravy počítány z teplotních gradientů, které jsou počítány z čidel ve výšce 1 m a 2 m pro teplotní profily, kde byla jen dvě teplotní čidla. A z teplotního profilu v blízkosti bodu A_i , kde byla tři teplotní čidla se používá teplotní gradient z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m. Ve čtvrtém sloupci jsou vypočtené opravy bez zavedených vah.

V pátém sloupci jsou opravy počítány z teplotních gradientů se zavedením vah. Teplotnímu gradientu, který je blíže nivelačnímu přístroji je přiřazena váha 2 a tomu, který je dále váha 1.

Hodnoty ve čtvrtém a pátém sloupci jsou zjednodušujícím způsobem v grafu označeny „čidla 1,5 m a 2 m“.

Nivelační pořad A1-A3

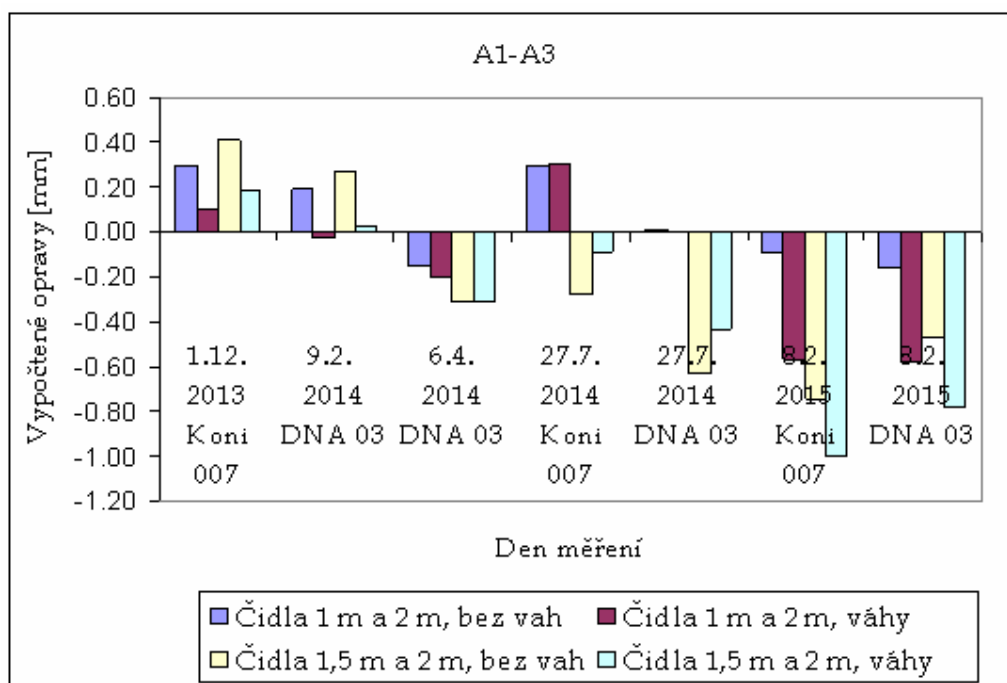
Nivelační pořad A1 - A3, opravy vypočtené z teplotních čidel v různé výšce jsou v tabulce 4.5.7.1 a následně jsou graficky zobrazeny v grafu č. 4.5.7.1.

	Čidla 1 m a 2 m, bez vah [mm]	Čidla 1 m a 2 m, váhy [mm]	Čidla 1,5 m a 2 m, bez vah [mm]	Čidla 1,5 m a 2 m, váhy [mm]
1. 12. 2013 Koni 007	0,30	0,11	0,41	0,18
9. 2. 2014 DNA 03	0,20	-0,02	0,27	0,03
6. 4. 2014 DNA 03	-0,15	-0,20	-0,31	-0,31
27. 7. 2014 Koni 007	0,30	0,30	-0,28	-0,09
27. 7. 2014 DNA 03	0,01	0,00	-0,63	-0,43
8. 2. 2015 Koni 007	-0,10	-0,57	-0,74	-1,00
8. 2. 2015 DNA 03	-0,16	-0,58	-0,47	-0,79

Tab. č. 4.5.7.1

Některé opravy se zavedením vah nezměnily vůbec nebo jen nepatrně, jako například pro den 6. 4. 2014 pro měření DNA 03, kdy se zavedením vah hodnoty změnila u čidel ve výšce 1m a 2 m z -0,15 mm na 0,20 mm a pro čidla ve výšce 1,5 m a 2 m se nezměnila vůbec, zůstala -0,31 mm.

Ale některé opravy se zavedením vah změnilo opravdu výrazně. Například pro den 8. 2. 2015 pro měření DNA 03 se u čidel ve výšce 1 m a 2 m změnila hodnota opravy zavedením vah z -0,16 mm na -0,58 mm. A u čidel ve výšce 1,5 m a 2 m se změnila z hodnoty -0,47 mm na hodnotu -0,79 mm. Obdobné hodnoty jsou i pro měření tohoto dne Koni 007, kdy se hodnoty změnilo o 0,47 mm a 0,26 mm.



Graf č. 4.5.7.1

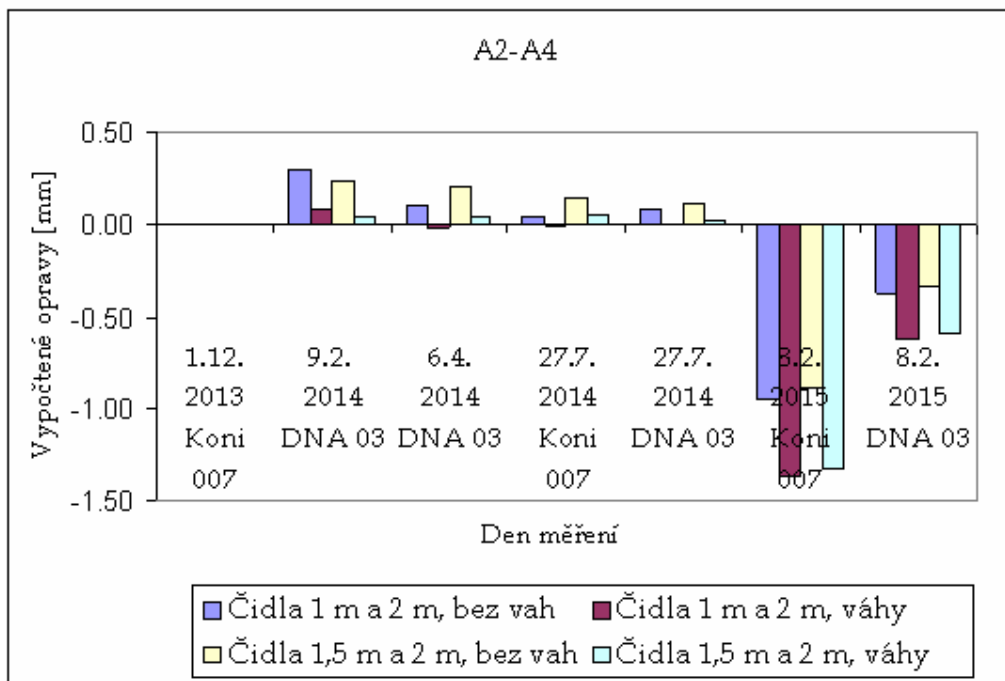
Nivelační pořad A2-A4

Nivelační pořad A2-A4, opravy vypočtené z teplotních čidel v různé výšce jsou v tabulce 4.5.7.2.

	Čidla 1 m a 2 m, bez vah [mm]	Čidla 1 m a 2 m, váhy [mm]	Čidla 1,5 m a 2 m, bez vah [mm]	Čidla 1,5 m a 2 m, váhy [mm]
1. 12. 2013 Koni 007	neměřeno			
9. 2. 2014 DNA 03	0,29	0,09	0,23	0,04
6. 4. 2014 DNA 03	0,11	-0,02	0,20	0,05
27. 7. 2014 Koni 007	0,05	-0,01	0,15	0,05
27. 7. 2014 DNA 03	0,09	0,00	0,12	0,02
8. 2. 2015 Koni 007	-0,95	-1,37	-0,89	-1,33
8. 2. 2015 DNA 03	-0,37	-0,62	-0,33	-0,59

Tab. č. 4.5.7.2

Zavedení vah ve dne 8. 2. 2015 ve všech čtyřech případech (Koni 007 a DNA 03, čidla ve výšce 1 m a 2 m, i čidla ve výšce 1,5 m a 2 m) zvýšilo hodnotu oprav o cca 3-4 desetiny milimetru.



Graf č. 4.5.7.2

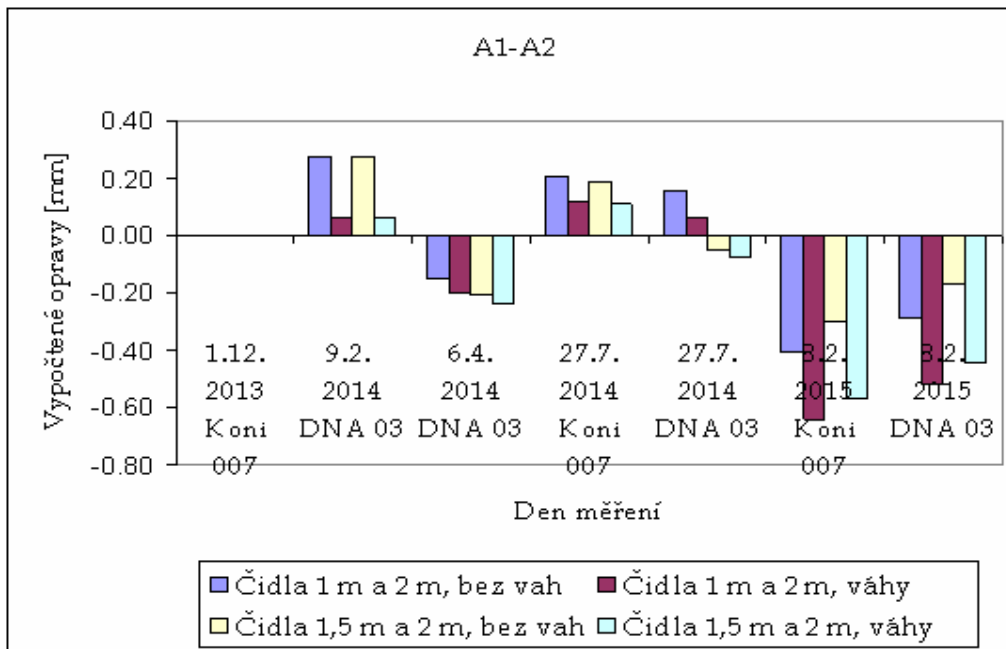
Nivelační pořad A1-A2

Nivelační pořad A1-A2, opravy vypočtené z teplotních čidel v různé výšce jsou v tabulce č. 4.5.7.3 a z nich graf č. 4.5.7.3.

	Čidla 1 m a 2 m, bez vah [mm]	Čidla 1 m a 2 m, váhy [mm]	Čidla 1,5 m a 2 m, bez vah [mm]	Čidla 1,5 m a 2 m, váhy [mm]
1. 12. 2013 Koni 007	neměřeno			
9. 2. 2014 DNA 03	0,28	0,06	0,28	0,06
6. 4. 2014 DNA 03	-0,15	-0,20	-0,21	-0,24
27. 7. 2014 Koni 007	0,20	0,12	0,19	0,11
27. 7. 2014 DNA 03	0,16	0,06	-0,05	-0,08
8. 2. 2015 Koni 007	-0,41	-0,64	-0,30	-0,57
8. 2. 2015 DNA 03	-0,29	-0,52	-0,17	-0,44

Tab. 4. 5.7.3

Opět pro nivelační pořad A1-A2 jsou hodnoty oprav částečně odlišné po zavedení vah. Zatímco pro den 6. 4. 2014 je změna nepatrná v řádu setin mm, pro den 8. 2. 2015 je tento rozdíl pro jednotlivé použití vah i rozmístění teplotních čidel rozdílný až o 0,35 mm.



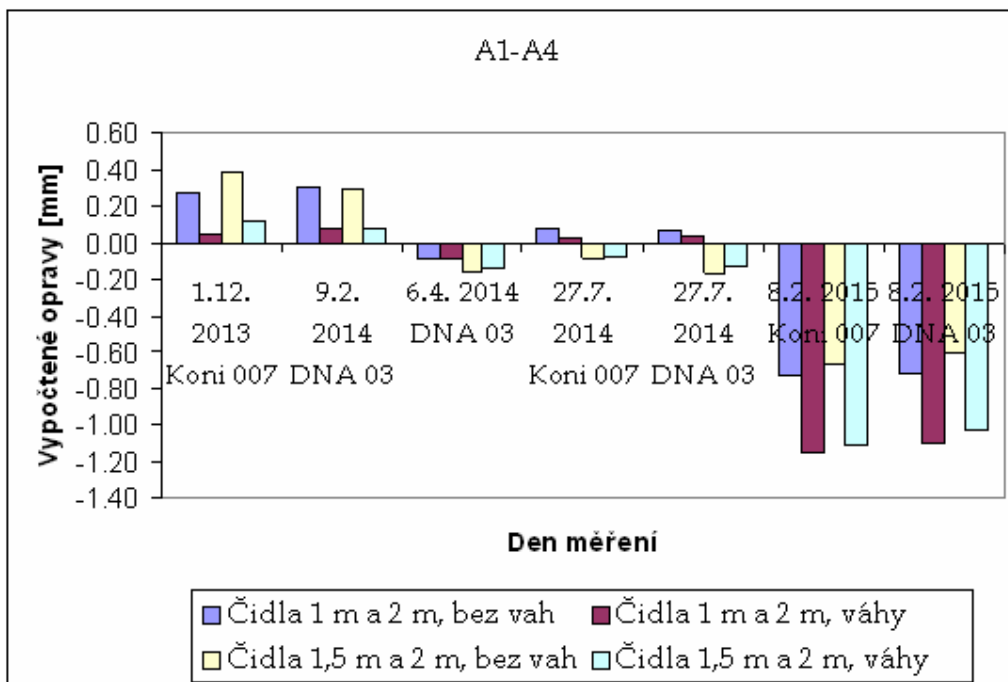
Graf č. 4.5.7.3

Nivelační pořad A1-A4

Nivelační pořad A1-A4, opravy vypočtené z teplotních čidel v různé výšce jsou v tabulce č. 4.5.7.4.

	Čidla 1 m a 2 m, bez vah [mm]	Čidla 1 m a 2 m, váhy [mm]	Čidla 1,5 m a 2 m, bez vah [mm]	Čidla 1,5 m a 2 m, váhy [mm]
1. 12. 2013 Koni 007	0,27	0,04	0,38	0,11
9. 2. 2014 DNA 03	0,30	0,08	0,29	0,08
6. 4. 2014 DNA 03	-0,09	-0,09	-0,16	-0,14
27. 7. 2014 Koni 007	0,07	0,03	-0,08	-0,08
27. 7. 2014 DNA 03	0,07	0,04	-0,17	-0,12
8. 2. 2015 Koni 007	-0,73	-1,16	-0,67	-1,12
8. 2. 2015 DNA 03	-0,72	-1,10	-0,61	-1,03

Tab. č. 4.5.7.4



Graf č. 4.5.7.4

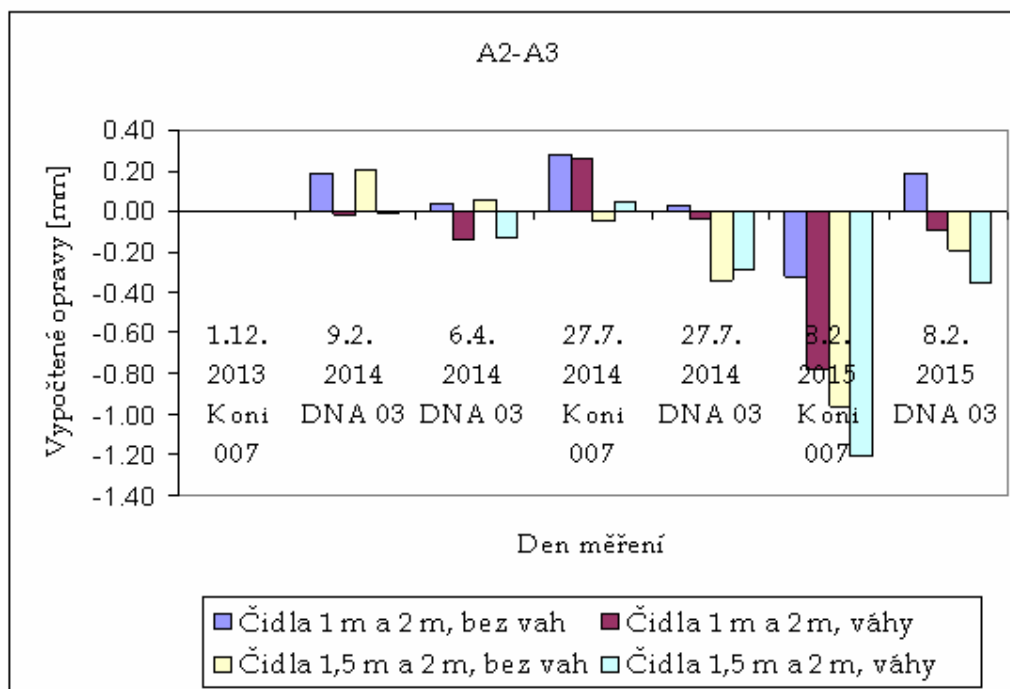
Z grafu je zřejmé, že zatímco pro měření v „teplých“ měsících (duben-červenec) jsou opravy téměř zanedbatelné, pro zimní měsíce již dosahují hodnot v řádu desetin milimetru. A zatímco při měření v zimě 2013-2014 jsou hostnou kladné, v zimě 2014-2015 jsou výrazně záporné.

Nivelační pořad A2.A3

Nivelační pořad A2-A3, opravy vypočtené z teplotních čidel v různé výšce je v tabulce č. 4.5.7.5 a grafické znázornění v grafu č. 4.5.7.5.

	Čidla 1 m a 2 m, bez vah [mm]	Čidla 1 m a 2 m, váhy [mm]	Čidla 1,5 m a 2 m, bez vah [mm]	Čidla 1,5 m a 2 m, váhy [mm]
1. 12. 2013 Koni 007	neměřeno			
9. 2. 2014 DNA 03	0,19	-0,02	0,21	0,00
6. 4. 2014 DNA 03	0,04	-0,14	0,06	-0,13
27. 7. 2014 Koni 007	0,27	0,26	-0,05	0,04
27. 7. 2014 DNA 03	0,03	-0,04	-0,34	-0,29
8. 2. 2015 Koni 007	-0,32	-0,78	-0,96	-1,21
8. 2. 2015 DNA 03	0,19	-0,10	-0,19	-0,35

Tab. č. 4.5.7.5



Graf č. 4.5.7.5

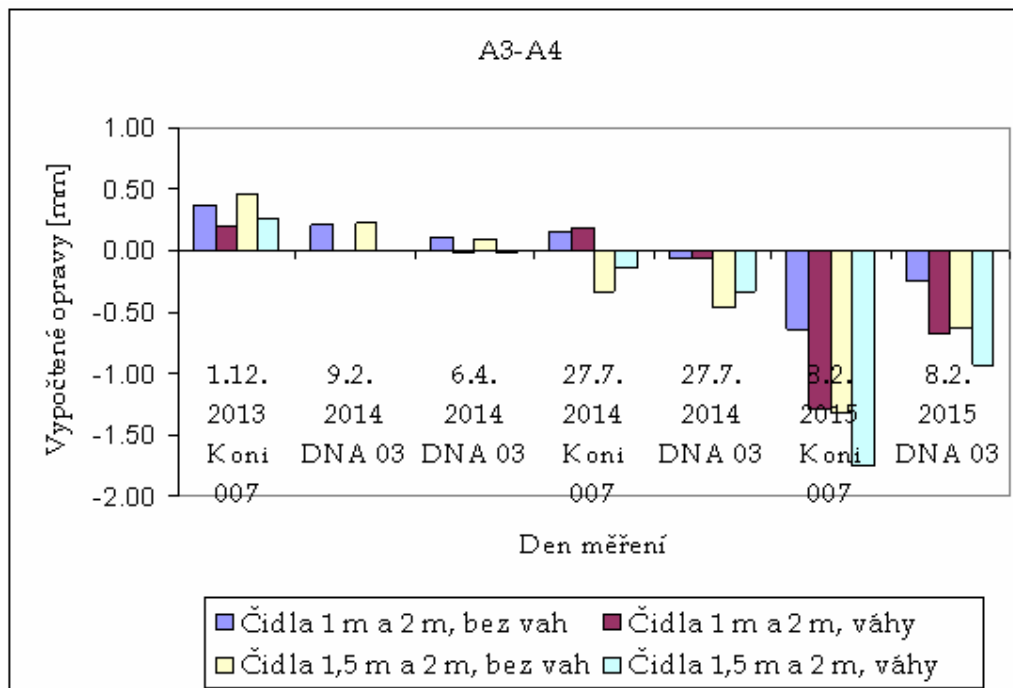
Zavedení vah se výrazněji projevilo při měření ve dnech 8. 2. 2015 a 9. 2. 2014, v ostatních dnech nemělo zavedení vah přílišný vliv na vypočtené opravy.

Nivelační pořad A3-A4

Nivelační pořad A3-A4, opravy vypočtené z teplotních čidel v různé výšce jsou v následující tabulce č. 4.5.7.6 s grafickým zobrazením v grafu č. 4.5.7.6.

	Čidla 1 m a 2 m, bez vah [mm]	Čidla 1 m a 2 m, váhy [mm]	Čidla 1,5 m a 2 m, bez vah [mm]	Čidla 1,5 m a 2 m, váhy [mm]
1. 12. 2013 Koni 007	0,37	0,20	0,46	0,26
9. 2. 2014 DNA 03	0,21	0,00	0,23	0,01
6. 4. 2014 DNA 03	0,10	-0,02	0,10	-0,03
27. 7. 2014 Koni 007	0,14	0,17	-0,32	-0,14
27. 7. 2014 DNA 03	-0,06	-0,07	-0,46	-0,33
8. 2. 2015 Koni 007	-0,64	-1,30	-1,33	-1,76
8. 2. 2015 DNA 03	-0,25	-0,68	-0,63	-0,94

Tab. č. 4.5.7.6



Graf č. 4.5.7.6

4.5.8 Porovnání výsledků

V této kapitole jsou porovnány odchylky od nivelačních pořadů okolo a opravené o různými způsoby vypočtené opravy

V následujících tabulkách jsou vypočteny odchylky od nivelačního pořadu okolo knihovny po zavedení oprav různými způsoby.

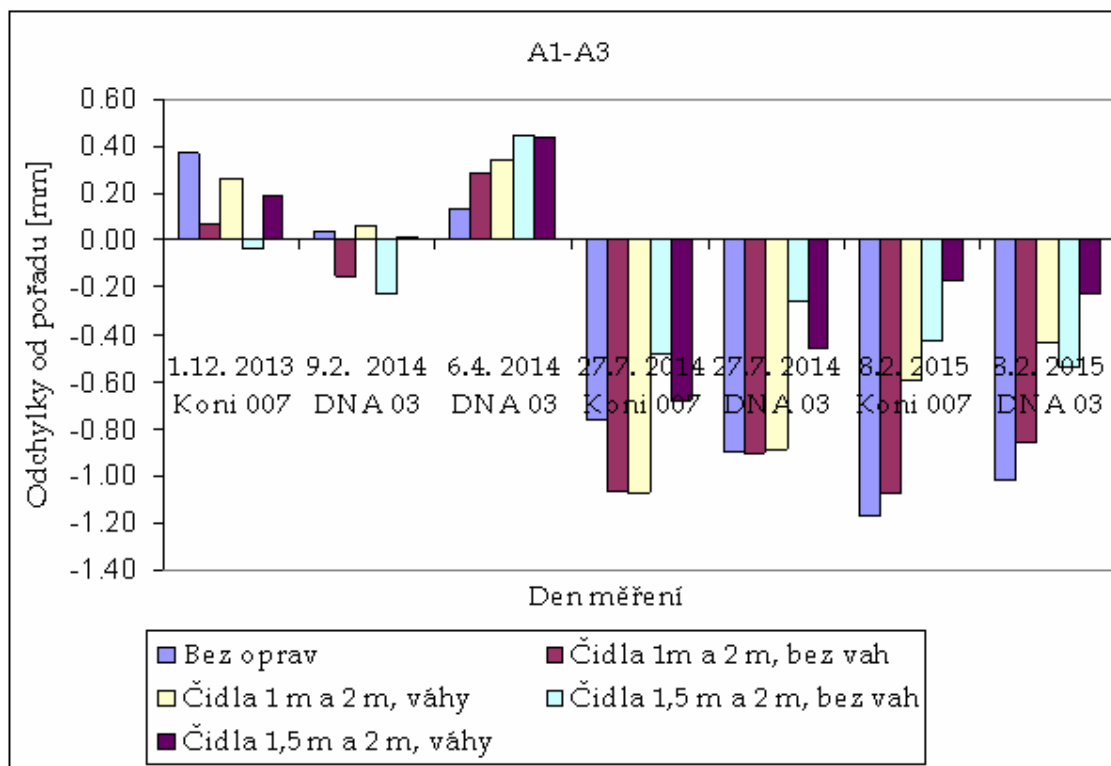
V grafech jsou vyneseny odchylky od převýšení zjištěného měřením okolo knihovny. Označené „Bez oprav“ jsou odchylky, které byly přímo zjištěné měřením nivelačního pořadu skrz knihovnu bez početních oprav z vlivu refrakce. Označení „Čidla 1m a 2m, bez vah“ mají odchylky měření od nivelačních pořadů okolo knihovny, které byly opraveny o opravy počítané z teplotních gradientů zjištěných z teplotních čidel ve výšce 1 m a 2 m a pokud bylo na záměře více teplotních profilů, byl použit jako teplotní gradient aritmetický průměr teplotních gradientů z jednotlivých profilů. Označení „Čidla 1 m a 2 m, váhy“ mají odchylky měření od nivelačních pořadů okolo knihovny, které byly opraveny o opravy počítané z teplotních gradientů zjištěných z teplotních čidel ve výšce 1 m a 2 m a pokud bylo na záměře více teplotních gradientů, použil se jejich vážený průměr, kdy teplotnímu gradientu blíže nivelačnímu přístroji byla přidělena váha 2 a vzdálenějšímu od nivelačního přístroje váha 1.

Označení „Čidla 1,5 m a 2 m, bez vah“ mají odchylky měření od nivelačních pořadů okolo knihovny, které byly opraveny o opravy počítané z teplotních gradientů zjištěných z teplotních čidel ve výšce 1,5 m a 2 m a pokud bylo na záměře více zjištěných teplotních gradientů, byl použit jejich aritmetický průměr. Označení „Čidla 1,5 m a 2 m, váhy“ mají odchylky měření od nivelačních pořadů okolo knihovny, které byly opraveny o opravy počítané z teplotních gradientů zjištěných z teplotních čidel ve výšce 1,5 m a 2 m a pokud bylo na záměře více teplotních gradientů, použil se jejich vážený průměr, kdy teplotnímu gradientu blíže nivelačnímu přístroji byla přidělena váha 2 a vzdálenějšímu od nivelačního přístroje váha 1.

Nivelační pořad A1-A3

	Odchylna bez oprav [mm]	S opravou z čidel 1 m a 2 m, bez vah [mm]	S opravou z čidel 1 m a 2 m, váhy [mm]	S opravou z čidel 1,5 m a 2 m, bez vah [mm]	S opravou z čidel 1,5 m a 2 m, váhy [mm]
1. 12. 2013 Koni 007	0,37	0,07	0,26	-0,04	0,19
9. 2. 2014 DNA 03	0,04	-0,15	0,07	-0,23	0,02
6. 4. 2014 DNA 03	0,13	0,29	0,34	0,45	0,44
27. 7. 2014 Koni 007	-0,77	-1,06	-1,07	-0,48	-0,68
27. 7. 2014 DNA 03	-0,89	-0,90	-0,89	-0,26	-0,46
8. 2. 2015 Koni 007	-1,17	-1,07	-0,60	-0,43	-0,17
8. 2. 2015 DNA 03	-1,02	-0,85	-0,44	-0,54	-0,23

Tab. č. 4.5.8.1

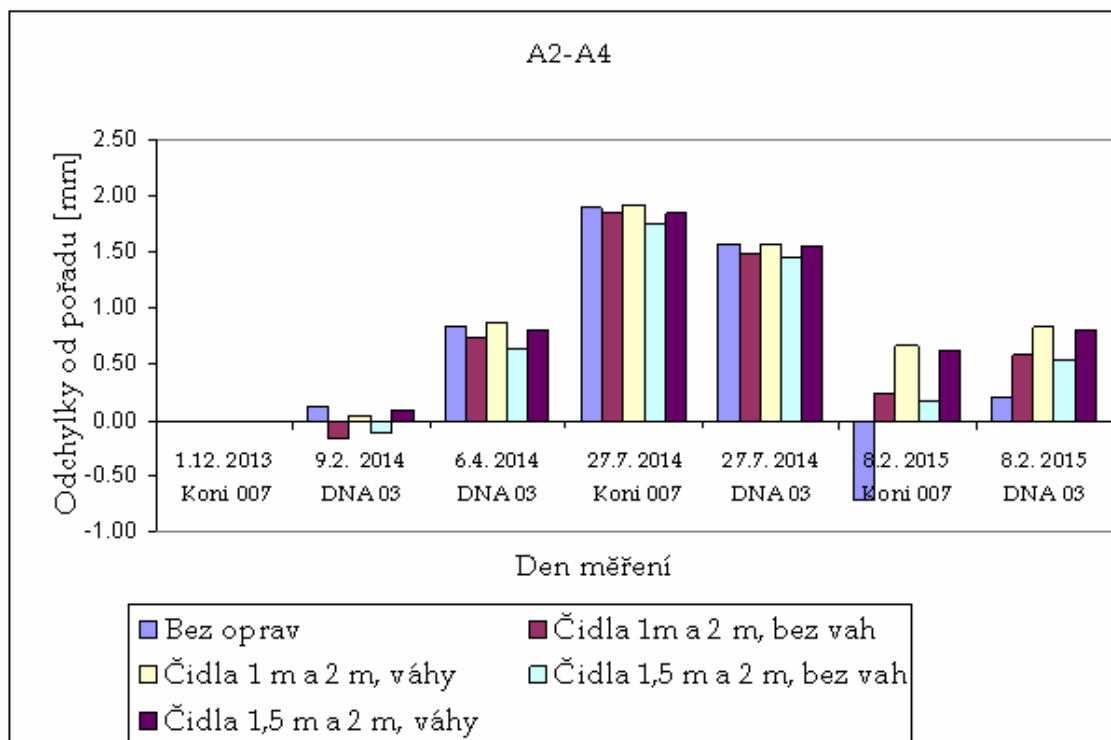


Graf č. 4.5.8.1

Nivelační pořad A2-A4

	Odchyłka bez oprav [mm]	S opravou z čidel 1 m a 2 m, bez vah [mm]	S opravou z čidel 1 m a 2 m, váhy [mm]	S opravou z čidel 1,5 m a 2 m, bez vah [mm]	S opravou z čidel 1,5 m a 2 m, váhy [mm]
1.12. 2013 Koni 007	neměřeno				
9.2. 2014 DNA 03	0,13	-0,16	0,05	-0,10	0,09
6.4. 2014 DNA 03	0,84	0,74	0,86	0,64	0,80
27.7. 2014 Koni 007	1,89	1,84	1,90	1,74	1,84
27.7. 2014 DNA 03	1,58	1,49	1,57	1,46	1,56
8.2. 2015 Koni 007	-0,71	0,24	0,66	0,18	0,62
8.2. 2015 DNA 03	0,21	0,58	0,83	0,54	0,81

Tab. č. 4.5.8.2



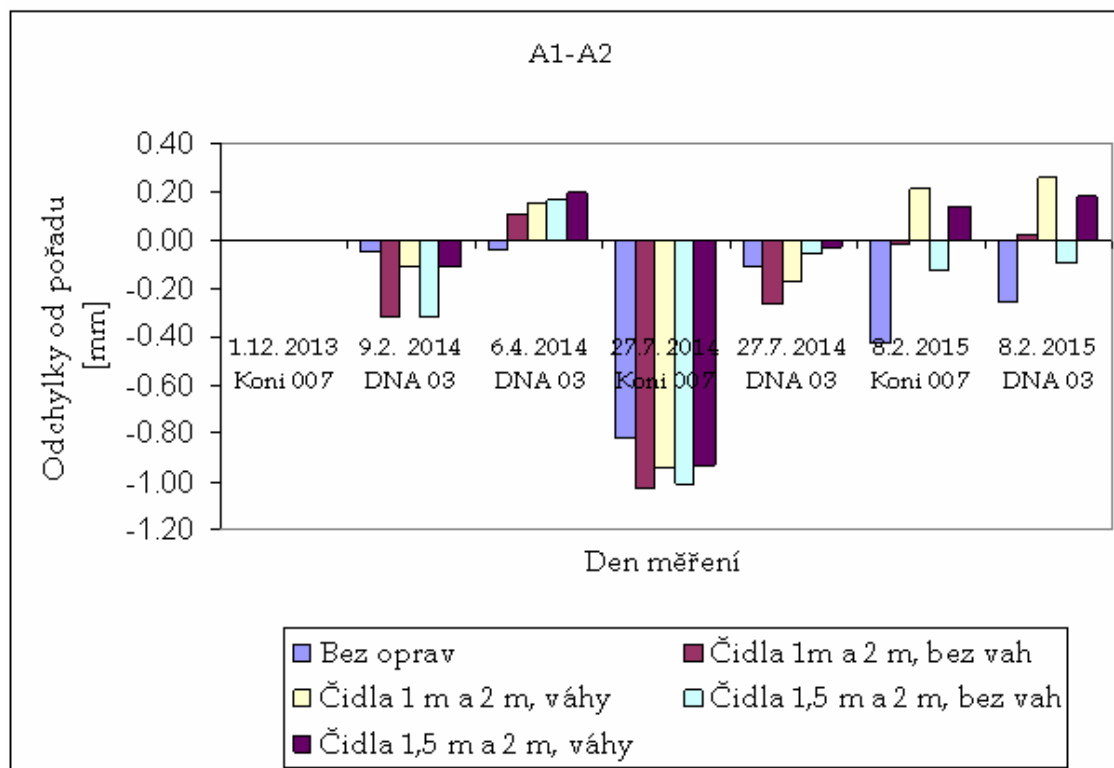
Graf č. 4.5.8.2

Z grafu jsou zřejmé pouze nepatrné změny ve velikosti odchylek po zavedení oprav. Výjimkou je den 8. 2. 2015, kdy zavedení oprav zmenšilo odchylku od nivelačního pořadu okolo knihovny o desetiny milimetru.

Nivelační pořad A1-A2

	Odchylka bez oprav [mm]	S opravou z čidel 1 m a 2 m, bez vah [mm]	S opravou z čidel 1 m a 2 m, váhy [mm]	S opravou z čidel 1,5 m a 2 m, bez vah [mm]	S opravou z čidel 1,5 m a 2 m, váhy [mm]
1.12. 2013 Koni 007	neměřeno				
9.2. 2014 DNA 03	-0,05	-0,32	-0,11	-0,32	-0,11
6.4. 2014 DNA 03	-0,04	0,11	0,16	0,17	0,19
27.7. 2014 Koni 007	-0,83	-1,03	-0,94	-1,02	-0,93
27.7. 2014 DNA 03	-0,11	-0,27	-0,17	-0,05	-0,03
8.2. 2015 Koni 007	-0,43	-0,02	0,21	-0,12	0,14
8.2. 2015 DNA 03	-0,26	0,03	0,26	-0,09	0,18

Tab. č. 4.5.8.3

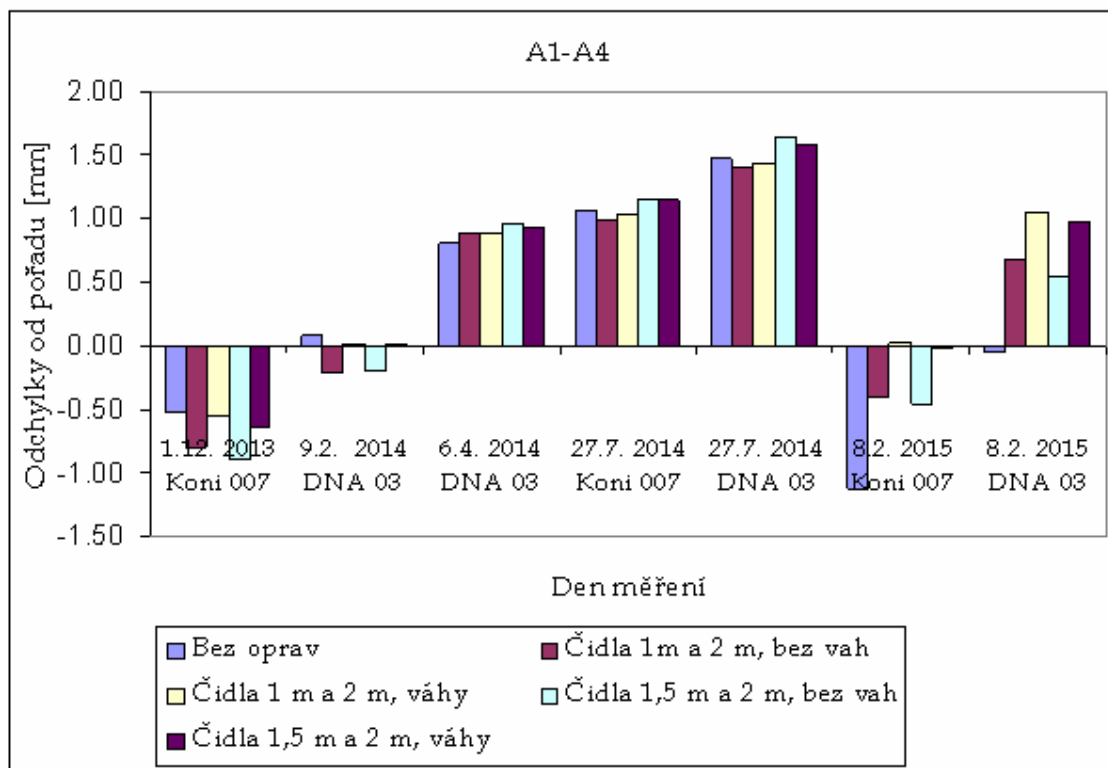


Graf č. 4.5.8.3

Nivelační pořad A1-A4

	Odchyłka bez oprav [mm]	S opravou z čidel 1 m a 2 m, bez vah [mm]	S opravou z čidel 1 m a 2 m, váhy [mm]	S opravou z čidel 1,5 m a 2 m, bez vah [mm]	S opravou z čidel 1,5 m a 2 m, váhy [mm]
1.12. 2013 Koni 007	-0,53	-0,80	-0,57	-0,91	-0,64
9.2. 2014 DNA 03	0,08	-0,21	0,00	-0,21	0,01
6.4. 2014 DNA 03	0,80	0,89	0,89	0,96	0,94
27.7. 2014 Koni 007	1,06	0,99	1,04	1,15	1,14
27.7. 2014 DNA 03	1,47	1,40	1,43	1,64	1,59
8.2. 2015 Koni 007	-1,14	-0,40	0,02	-0,46	-0,02
8.2. 2015 DNA 03	-0,05	0,67	1,05	0,56	0,98

Tab č. 4.5.8.4

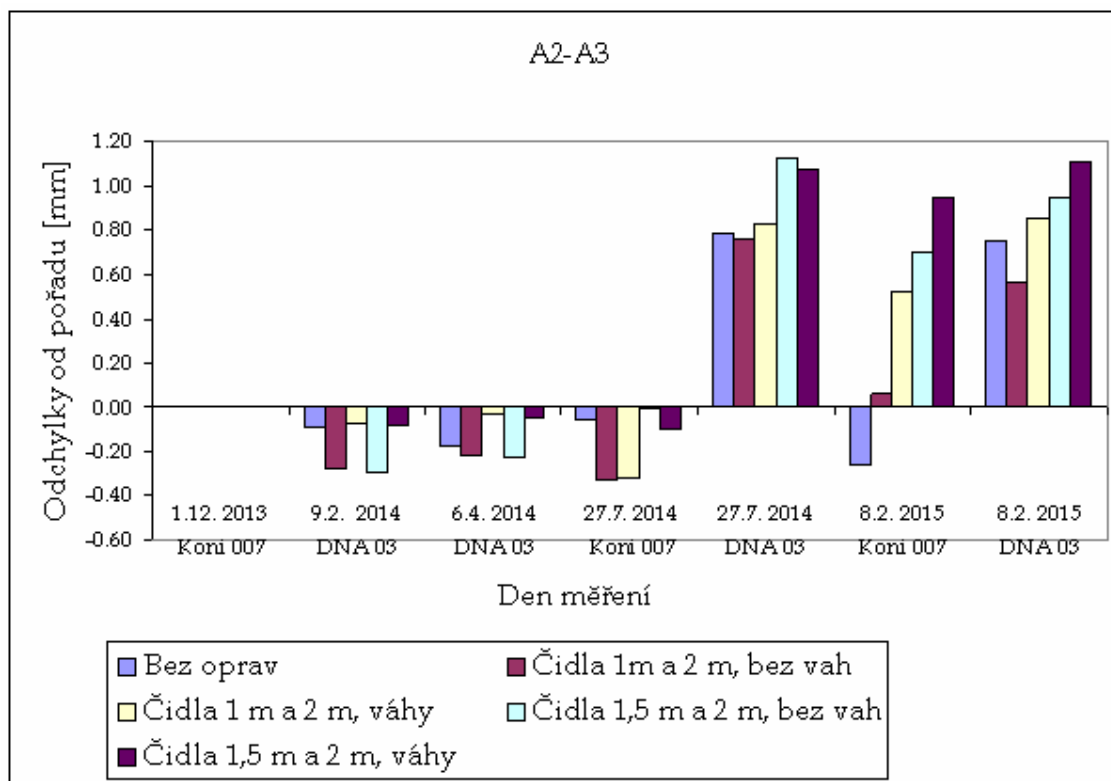


Graf č. 4.5.8.4

Nivelační pořad A2-A3

	Odchylka bez oprav [mm]	S opravou z čidel 1 m a 2 m, bez vah [mm]	S opravou z čidel 1 m a 2 m, váhy [mm]	S opravou z čidel 1,5 m a 2 m, bez vah [mm]	S opravou z čidel 1,5 m a 2 m, váhy [mm]
1.12. 2013 Koni 007	neměřeno				
9.2. 2014 DNA 03	-0,09	-0,28	-0,07	-0,30	-0,09
6.4. 2014 DNA 03	-0,17	-0,22	-0,04	-0,23	-0,05
27.7. 2014 Koni 007	-0,06	-0,33	-0,32	-0,01	-0,10
27.7. 2014 DNA 03	0,79	0,76	0,82	1,13	1,07
8.2. 2015 Koni 007	-0,26	0,06	0,52	0,70	0,95
8.2. 2015 DNA 03	0,76	0,57	0,85	0,95	1,11

Tab. č. 4.5.8.5

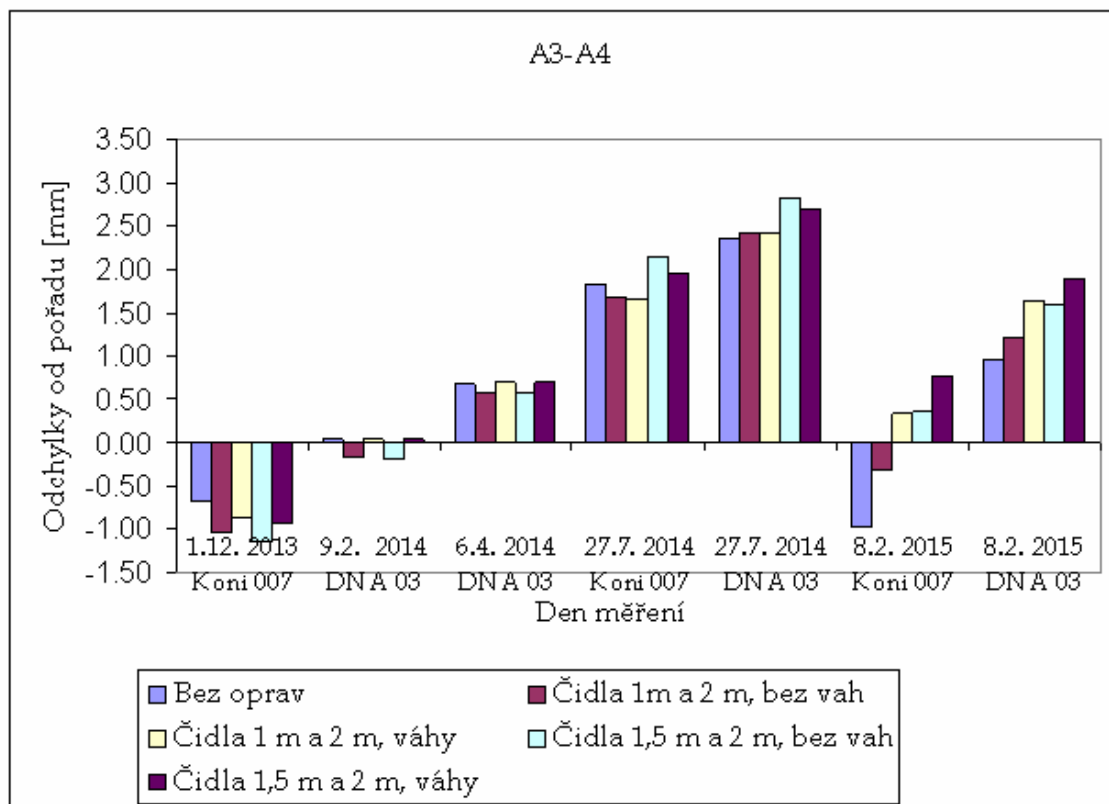


Graf č. 4.5.8.5

Nivelační pořad A3-A4

	Odchylka bez oprav [mm]	S opravou z čidel 1 m a 2 m, bez vah [mm]	S opravou z čidel 1 m a 2 m, váhy [mm]	S opravou z čidel 1,5 m a 2 m, bez vah [mm]	S opravou z čidel 1,5 m a 2 m, váhy [mm]
1.12. 2013 Koni 007	-0,68	-1,05	-0,88	-1,13	-0,94
9.2. 2014 DNA 03	0,04	-0,17	0,04	-0,19	0,03
6.4. 2014 DNA 03	0,67	0,56	0,69	0,57	0,69
27.7. 2014 Koni 007	1,83	1,69	1,66	2,16	1,97
27.7. 2014 DNA 03	2,36	2,42	2,43	2,82	2,69
8.2. 2015 Koni 007	-0,97	-0,33	0,33	0,36	0,79
8.2. 2015 DNA 03	0,97	1,21	1,65	1,60	1,90

Tab. č. 4.5.8.6



Graf č. 4.5.8.6

V následujícím hodnocení je vynecháno již dříve vynechávané výsledky, v nichž se vyskytuje měření na vchodě 4 dne 27. 7. 2014. Nyní se vynechají také veškeré výsledky ve kterých byla absolutní hodnota vypočtené opravy nebo původní odchylky menší než desetina milimetru, protože to už je na samé hranici přesnosti výpočtu oprav při směrodatné odchylce v měření teplot 0,1 °C. Proto hodnocení, zda na této úrovni tato drobná oprava měření zlepšila nebo zhoršila by mohlo být zavádějící. Toto hodnocení bude jen pro dlouhé záměry – pro krátké záměry je málo teplotních profilů.

Nyní tedy shrnutí pro vypočtené odchylky, které splnily kritéria z předchozího odstavce (tedy to je měření dlouhých záměr, odchylky byly opravovány opravami s absolutní hodnotou větší než desetina milimetru a nevyskytuje se v nich měření ze dne 27. 7. 2014 na vchodě 4).

Oprav vypočtených z gradientů z čidel ve výšce 1 m a 2 m, bez zavedení vah a splňující kritéria bylo pro shrnutí použito celkem 22. A z těch 22 opravených odchylek od nivelovaného převýšení okolo knihovny jich zavedením oprav došlo k přiblížení k této nivelované hodnotě okolo knihovny ve 12 případech.

Pro čidla ve výšce 1 m a 2 m se zavedením vah (tedy pro záměry vpřed byly přiřazeny váhy) splnilo kritéria 17 výsledků. A z toho v 9 případech došlo zavedením oprav k přiblížení nivelovaného převýšení hodnotám převýšení zjištěného z nivelačních pořadů okolo knihovny.

Při výpočtu z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m a bez zavedení vah, bylo 20 oprav, které splnily kritéria a jejich zavedením došlo v 11 případech ke zlepšení výsledků.

A při výpočtu z čidel ve výšce 1,5 m a 2 m se zavedením vah bylo rovněž 20 oprav splňující kritéria, a jejich zavedením došlo v 10 případech ke zlepšení výsledků.

Porovnáním těchto výsledků a výsledků ze dne 3. 11 je zřejmé, že 3 teplotní profily pro výpočet oprav při takto komplikovaném teplotním prostředí jsou nedostatečné. Dne 3. 11 při 6-ti teplotních profilech došlo k přiblížení k nivelovaným hodnotám okolo knihovny u všech případů výpočtu oprav bez vah a s váhami 2 1 a v 60 % případů při výpočtu oprav s váhami dle vzdálenosti. A zde se toto zlepšení objevuje pouze v lehce nadpolovičním počtu případů.

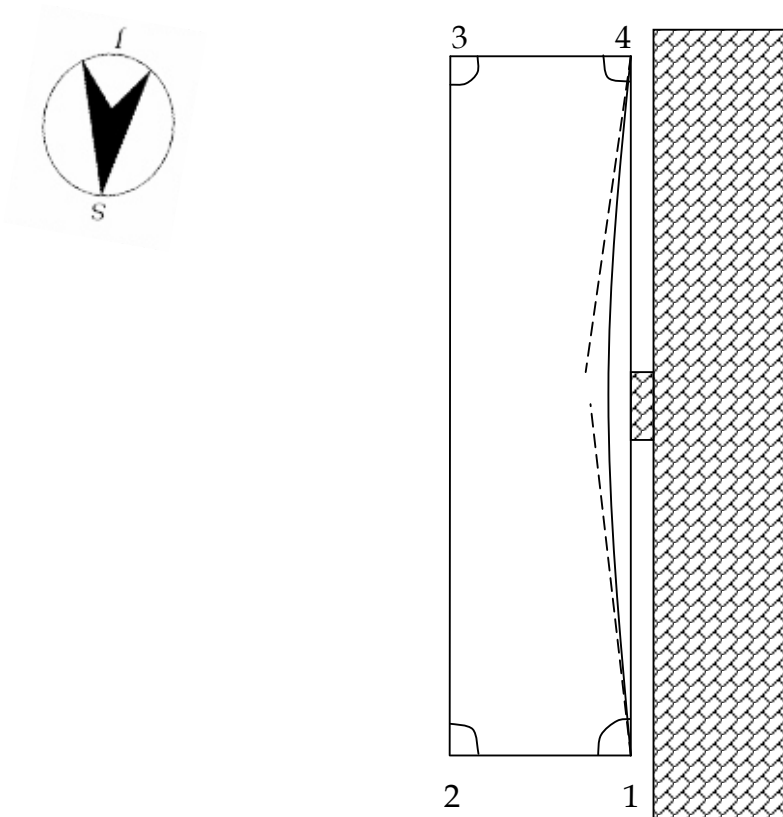
5. Vlastní experimentální měření vlivu horizontální refrakce

5.1 Popis experimentu

Experiment pomocí měření ve čtyřúhelníku, kdy jedna strana je v blízkosti budovy Masarykovy koleje, se kterou je rovnoběžná. Nákres viz obr. 5.1.1 U tohoto experimentu se předpokládá, že u čtyřúhelníku budou horizontální refrakcí ovlivněny měřené směry záměry podél budovy – tedy úhly 412 a 341, zatímco směry záměr kolmé na budovu budou se zanedbatelným vlivem horizontální refrakce.

Budova Masarykovy koleje se mi pro tento experiment zdála výhodná. Budova je podlouhlá s jediným nepřilíš velkým výstupkem pro vchod. Proto bylo možné umístit dva body čtyřúhelníka podél této budovy do vzdálenosti 0,5 m od fasády. A zbylé dva body do parčíku, který je před budovou.

Drobné komplikace byly s parkujícími auty mezi parčíkem a ulicí, ale včasným odkláněním parkujících řidičů velkých aut se podařilo zachovat průhled pro všechny záměry ve čtyřúhelníku i pro úhlopříčky.



Obr. 5. 1. 1 Konfigurace měření

Navíc severojižní orientace budovy Masarykovy koleje umožnila během jednoho dne vystřídat různé stupně svitu slunce – od ranního, kdy ještě byla budova ve stínu, po dopolední, kdy na ni svítilo slunce plnou silou až po odpolední, kdy už slunce bylo za zenitem a budova byla opět ve stínu.

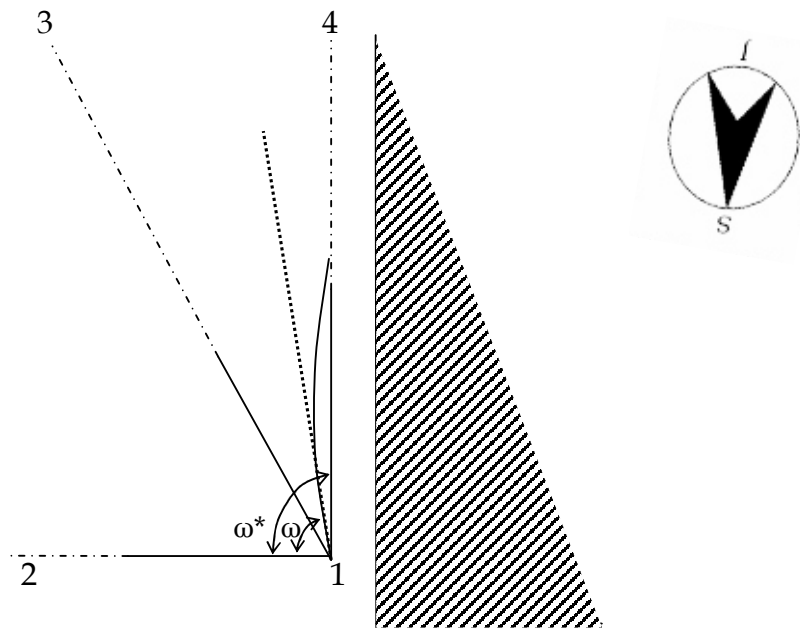
Čtyřúhelník byl umístěn dle obrázku č. 5.1.1. Bod 1 u severní strany Masarykovy koleje a bod 4 u jižní. Body 2 a 3 byly v parčíku před budovou.

Záměra mezi body 1 a 4 probíhala podél budovy Masarykovy koleje, těsně podél výklenku pro vchod, což znamená ve vzdálenosti půl metru od fasády.

Záměra mezi body 2 a 3 byla na volném prostranství v parku, kde by se dalo říci, že tam nebyl žádný výrazný vliv ani staveb ani stromů, aby to mohlo způsobit velké teplotní změny.

Záměry mezi body 1 a 2 (resp. 3 a 4) byly téměř kolmé na předchozí záměry a procházely mezi zaparkovanými automobily.

Navíc byly měřeny i záměry mezi body 2 a 4 (resp. 1 a 3) – tedy úhlopříčky čtyřúhelníku.



Obr. 5.1.2 ω úhel neovlivněný refrakcí, ω^* měřený úhel

Postup měření

Rozmístění měřicí techniky bylo následující: na třech bodech byly odrazné hranoly a na zbývajícím byla totální stanice. Změřily se záměry na všechny tři body s hranoly. Četly se zenitové úhly, směry a šikmé délky. Délky se měřily se 2 opakováními. Poté se totální stanice přesunula na další bod.

Celá série, kdy se na každém bodě čtyřúhelníka zaměřily všechny zbývající body, trvala cca 8-30 minut.

Dne 5. 2. 2015 byly změřeny 3 série (v čase od 10.00 do 12:15), dne 13. 4. 2015 bylo zaměřeno 8 sérií (v čase od 9:00 do 14:00) a dne 2. 7. 2015 bylo zaměřeno 16 sérií (v čase od 7:30 do 15:40)

5.2 Přístrojové vybavení, součtová konstanta

Teploty byly měřeny digitálním teploměrem BTM-42083D s 12-ti teplotními čidly (z toho 7 bylo funkčních). Interval pro ukládání teplot byl nastaven na 1 minutu. Měřilo se stejným digitálním teploměrem jako v předchozím experimentu.

Směry, zenitové úhly a délky se měřily pomocí totální stanice Topcon GPT 7501, jejíž výrobní číslo je 7W1317 a k ní příslušejících 4 odrazných hranolů. Postaveny byly na stativech Topcon. Hranoly byly označeny čísly 1-4. Vždy se dodržovalo, aby body čtyřúhelníku byly shodné s čísly hranolů.

Pro všechna měření byl použit totožný přístroj i hranoly.

Měření vlhkosti

Greisinger electronic GFTH 95, přesnost rozlišení relativní vlhkosti 0,1%

Měření tlaku

Greisinger electronic GPB 2300, přesnost (± 1 číslice), $\pm 0,25\%$ FS hystereze a linearita. Tlak měřen v jednotkách mbar, který se numericky rovná hodnotám v hPa.

Kalibrace přístrojů:

Teplotní čidla - kalibrace. Teplotní čidla byla ponořena do vody, aby se vyloučily krátkodobé vlivy prostředí a všechna byla ve stejných podmínkách. Měření byla ve dvou různých dnech a každé probíhalo 1-2 hodiny, kdy se teploty ukládaly každou minutu. Z takto zjištěných hodnot se určil průměr a jedno čidlo se vzalo jako pevné a od něj se počítaly opravy pro ostatní čidla. Nebylo možné použít hodnoty kalibrace z předchozího experimentu, protože v průběhu tohoto experimentu došlo k přetržení jednoho čidla, proto bylo nutné čidla znovu kalibrovat.

Totální stanice - na základně pěti stabilizovaných pilířcích v laboratoři katedry Geomatiky, byly proměřeny všechny hranoly pro určení součtové konstanty.

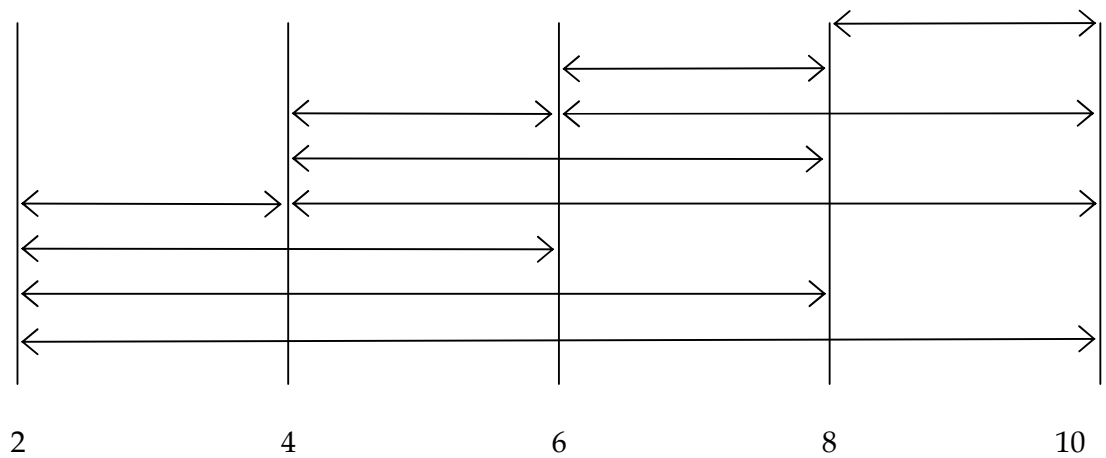
Na obrázcích 5.2.1 a 5.2.2 je zachyceno měření dat pro výpočet součtové konstanty dne 8. 7. 2015. Na obrázku 5.2.3 je schéma měření vzdálenosti pro určení součtové konstanty.



Obr. 5.2.1 Celkový pohled na stabilizovanou základnu.



Obr. 5.2.2 Totální stanice na stabilizovaném bodě č. 8



Obr. č. 5.2.3 Schéma měření vzdáleností pro určení součtové konstanty

Délky byly měřeny obousměrně, každá s 8-násobným opakováním. Pro vyrovnaní se používal průměr z měření délek tam a zpět.

Součtová konstanta se určila metodou MNČ - vyrovnaní zprostředkujících, kdy jako zprostředkující se vzaly neznámé vzdálenosti mezi body 2-4, 4-6, 6-8, 8-10 a součtová konstanta c .

$$v = A \cdot dx + l', \quad l' = l_0 - l,$$

l - vektor měření, l_0 - vektor apriorních hodnot zprostředkujících veličin při podmínce $v^T v = \min$,

$$dx = -(A^T A)^{-1} A^T l'.$$

Průběh vyrovnaní metodou MNČ je v příloze na str. P-24 až P-26. V tabulkách č. P-5.2.1 až P-5.2.5 jsou měřené délky. Dále je na str. P-25 uvedena sestavená matice A . V tabulce P-5.2.6 jsou průměrné hodnoty měřených délek z měření tam a zpět. V Tabulce P-5.2.7 jsou hodnoty l' .

Apriorní hodnoty zprostředkujících:

	Hranol č. 1 [m]	Hranol č. 2 [m]	Hranol č. 3 [m]	Hranol č. 4 [m]
l24	5,0418	5,0418	5,0423	5,0417
l46	5,0257	5,0257	5,0253	5,0253
l68	5,0067	5,0064	5,0073	5,0065
l810	5,0033	5,0038	5,0037	5,0036
Součtová konstanta c	0	0	0	0

Tab. č. 5.2.1

A v příloze tabulce P-5.2.8 na str. P-27 jsou vypočtené opravy zprostředkujících.

Vyrovnané zprostředkující

	Hranol č. 1		Hranol č. 2	
	Vyrovnaná hodnota [m]	Směrodatná odchylka [mm]	Vyrovnaná hodnota [m]	Směrodatná odchylka [mm]
l24	5,0141	0,39	5,0139	0,32
l46	4,9976	0,39	4,9977	0,32
l68	4,9788	0,39	4,9785	0,32
l810	4,9755	0,39	4,9760	0,32
Součtová konstanta c	-0,0276	0,40	-0,0277	0,33
	Hranol č. 3		Hranol č. 4	
	Vyrovnaná hodnota [m]	Směrodatná odchylka [mm]	Vyrovnaná hodnota [m]	Směrodatná odchylka [mm]
l24	5,0143	0,32	5,0142	0,45
l46	4,9972	0,32	4,9976	0,45
l68	4,9790	0,32	4,9787	0,45
l810	4,9753	0,32	4,9758	0,45
Součtová konstanta c	-0,0280	0,33	-0,0274	0,46

Tab. č. 5.2.2

Vyrovnané hodnoty součtových konstant pro jednotlivé hranoly jsou uvedeny v následující tabulce č. 5.2.3:

Hranol	Součtová konstanta [mm]	Směrodatná odchylka [mm]
č. 1	-27,58	0,40
č. 2	-27,70	0,33
č. 3	-28,00	0,33
č. 4	-27,44	0,46

Tab. č. 5.2.3

Při měření byla nastavena součtová konstanta -30 mm a při zpracování výsledků byly opraveny šikmé délky o rozdíl mezi hodnotou zjištěnou pro konkrétní hranol a touto hodnotou.

5.3 Podmínky měření

5. 2. 2015 Tohoto dne bylo celý den zataženo, sucho a bezvětrí. Vlhkost byla 24 % a tlak 992 mbar. Teploty se pohybovaly od -1 °C do 3 °C.

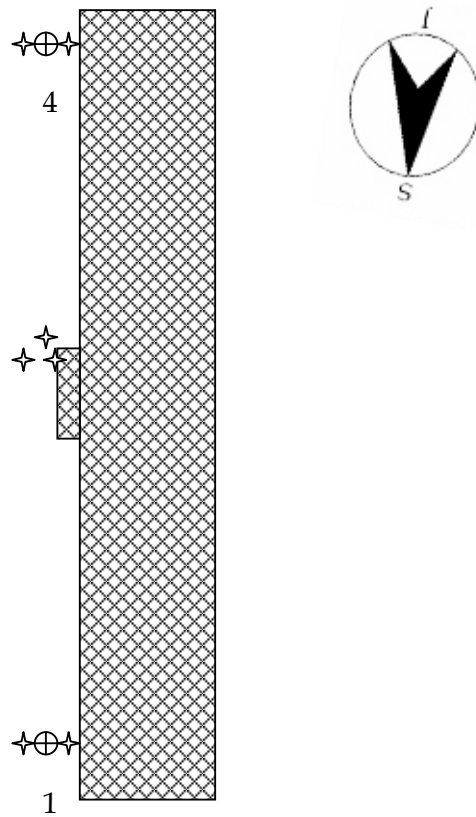
13. 4. 2015 Dne 13. dubna bylo zataženo, vysoká oblačnost. Chvillemi byl i drobný déšť. Kolem poledního byl i výraznější déšť, trvajícím cca čtvrt hodiny. Vlhkost byla 40% až 56 %, tlak 995 mbar. Teploty byly 12 °C - 19 °C.

2. 7. 2015 Tohoto dne bylo slunečno s velmi výrazným svitem slunce. Naprosto jasná obloha. Chvillemi drobně foukal vítr. Vlhkost byla 36 % a tlak 994 mbar. Teploty se pohybovaly od 21 °C až do 32 °C

Podél budovy Masarykovy koleje byla rozmístěna teplotní čidla. Rozmístění bylo následující: dvě čidla byla na bodu 4. Obě umístěna ve výšce záměry 1,6 m nad terénem. Jedno ve vzdálenosti 0,1 m od fasády a druhé 1 metr od fasády. Další dvě čidla byla umístěna na bodu 1 a opět ve výšce záměry 1,6 m a vzdálenosti od budovy stejné jako na bodě 4. Další dvě čidla umístěna přibližně uprostřed u vchodu do Masarykovy koleje, který tvoří výklenek.

Poslední sedmé čidlo bylo umístěno rovněž u vchodu přibližně ve výšce jeden metr nad terénem ve vzdálenosti 0,5 m od budovy.

Jednotlivé body nebyly stabilizovány. Stativy se pro každý den znovu stavěly tak, aby body 1 a 4 byly na přibližně stejné místě a body 2 a 3 byly voleny tak, aby byly všechny body navzájem viditelné přes parkující auta.



Obr. 5. 3. 1 Rozmístění teplotních čidel

✦ značka pro teplotní čidlo

⊕ značka pro postavení nivelačního přístroje

Na následujících obrázcích je zachyceno měření dne 2. 7. 2015



Obr. 5.3.2 Rozestavení přístroje a teplotních čidel



Obr. č. 5.3.3 Teplotní čidla umístěná na výtyčkách



Obr. č. 5.3.4 Pohled na záměru podél budovy Masarykovy koleje



Obr. č. 5. 3.5 Pohled na bod 3 a 4 z bodu 2

5.4 Použité vzorce

Současně se zenitovými úhly a směry byly měřeny délky. Z rozdílu měřených směrů byly vypočteny úhly. Tyto úhly budou dále nazývány **měřené úhly**. Délky se měřily šikmé a převedly se na vodorovné pomocí zenitových úhlů: $s = š \cdot \sin z$, kde s je vodorovná délka, $š$ šikmá délka a z zenitový úhel.

Tyto všechny délky z celého dne se zprůměrovaly a z těchto průměrných délek se vypočítaly jednotlivé úhly podle kosinové věty:

$$\omega = \arccos \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}, \quad (5.4.1)$$

kde ω je úhel proti straně a .

Úhel 412 byl počítán z trojúhelníka tvořeného stranami čtyřúhelníka 12, 14 a úhlopříčky 24.

Úhel 341 byl počítán z trojúhelníka tvořeného stranami čtyřúhelníka 34, 14 a úhlopříčkou 13.

Tyto úhly budou dále nazývány **vypočtené úhly**.

1) Výpočet opravy z vlivu horizontální refrakce δ_α dle literatury [23]:

$$\delta_{\alpha A} = \frac{8,4^{cc}}{\sin z} s(2K_A + K_B) \quad (5.4.2)$$

$$\delta_{\alpha B} = -\frac{8,4^{cc}}{\sin z} s(K_A + 2K_B) \quad (5.4.3)$$

$$K = \frac{p}{(273,15 + T)^2} \left(\frac{dT}{dx} \right) \quad (5.4.4)$$

s - šikmá délka záměry v m,

z - zenitový úhel záměry,

$\frac{dT}{dx}$ - teplotní gradient °C/m,

p - atmosférický tlak v mbar,

T - teplota v °C.

Vzorce 5.4.2 a 5.4.3 budou dále označovány jako **rovnice (1)**.

Modifikace pro případ zjišťování teplotních gradientů i uprostřed záměry - vlastní úprava.

$$2) \delta_{\alpha A} = \frac{8,4^{cc}}{2 \sin z} s(3K_A + 2K_{AB} + K_B) \quad (5.4.5)$$

$$\delta_{\alpha B} = -\frac{8,4^{cc}}{2 \sin z} s(K_A + 2K_{AB} + 3K_B) \quad (5.4.6)$$

Při tomto výpočtu je váha gradientu na bodě měření trojnásobná než na cílovém bodě. A váha gradientu měřeného v polovině záměry má dvojnásobnou hodnotu než na cílovém bodě.

Vzorce 5.4.5 a 5.4.6 budou dále označovány jako **rovnice (2)**.

$$3) \delta_{\alpha A} = \frac{16,8^{cc}}{3 \sin z} s(2K_A + 1,5K_{AB} + K_B) \quad (5.4.7)$$

$$\delta_{\alpha B} = -\frac{16,8^{cc}}{3 \sin z} s(K_A + 1,5K_{AB} + 2K_B) \quad (5.4.8)$$

Při tomto výpočtu je váha gradientu na bodě měření dvojnásobná než na cílovém bodě a váha gradientu v polovině záměry je o polovinu větší než na cílovém bodě. Vzorce 5.4.7 a 5.4.8 budou dále označovány jako **rovnice (3)**.

Výpočet vlivu oprav v případě, že záměra není rovnoběžná s budovou. V takovém případě závisí velikost vlivu horizontální refrakce na úhlu odklonu od rovnoběžky s budovou. Výpočet opravy $\delta'_\alpha = \delta_\alpha \cos \varpi$, kde ϖ je úhel, který svírá záměra s rovnoběžkou k budově, δ_α vypočtená oprava pro záměru rovnoběžnou s budovou a δ'_α vypočtená oprava pro záměru svírající s rovnoběžkou s budovou úhel ϖ . Z tohoto vzorce je zřejmé, že pro záměry kolmé na rovnoběžku s budovou budou vypočtené opravy rovny nule.

5.5 Měřené délky

Jak již bylo řečeno, trvalo měření jedné série od 8-30 minut, avšak pro každou sérii byl pro následující text jen jedna vztažná časová hodnota.

$$\text{Směrodatná odchylka průměru } m = \sqrt{\frac{[vv]}{n \cdot (n-1)}}$$

Měřené vzdálenosti mezi jednotlivými body. V tabulce jsou již vodorovné délky. V označení délek jsou vždy použity čísla bodů, mezi kterými jsou určované vzdálenosti. S tím, že pro průměrnou hodnotu se vždy jako první číslice použije menší hodnota. Ale v tabulkách v přílohách na str. P-27 až P32 jsou rozděleny délky podle toho, v jakém směru byly měřeny. Tedy délka 14 značí, že při měření byla na bodě 1 totální stanice a na bodě 4 byl odrazný hranol. Naopak u délky 41 je totální stanice na bodu 4 a odrazný hranol na bodě 1. Průměrná hodnota je vyznačenu tučně.

Délky dne 5. 2. 2015

Body	Průměrná délka [m]	Směrodatná odchylka [mm]
12	23,7395	0,4
13	88,2062	0,1
14	87,5305	0,2
23	85,8031	0,1
24	89,6243	0,2
34	16,7054	0,2

Tab. č. 5.5.1

Odchylky od průměru pro délky 12, 13 a 14 byly od -0,9 mm do 1,5 mm. Oba extrémy byly pro měření v 11:30.

Délky 23, 24 a 34 jsou mnohem vyrovnanější. Zde je maximální odchylka od průměru -0,7 mm i střední chyby jsou menší.

Tabulky měřených délek č.P-5.5.1 a P-5.5.2 jsou v příloze na str. P-27. Tohoto dne byly měřeny pouze tři série měření, proto byl průměr počítán pouze ze 3 délek měřených tam a zpět. Celkem tedy bylo 6 hodnot, což je příliš málo hodnot na to, aby dané směrodatné odchylky měly výraznější vypovídací hodnotu.

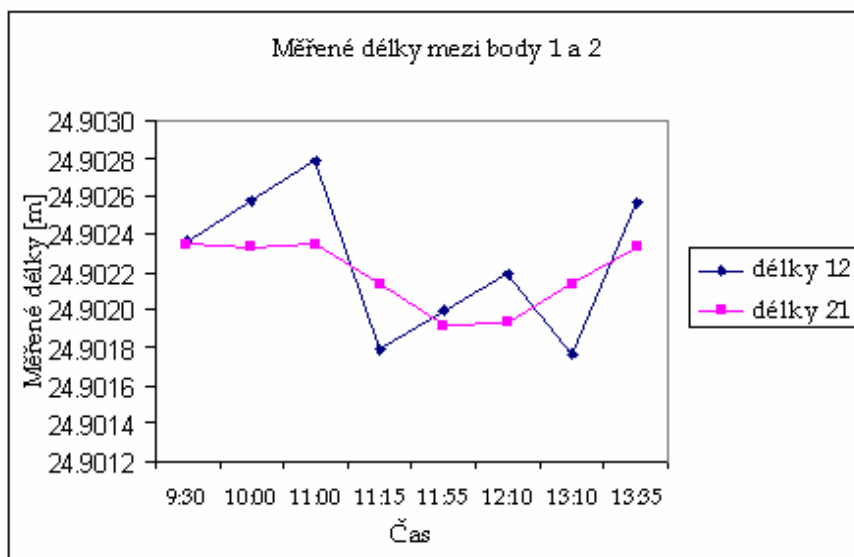
Délky dne 13.4. 2015

Kompletní tabulky měřených délek (převedených na vodorovné) č. P-5.5.3 a P-5.5.4 pro jednotlivé časy jsou v příloze na str. P-27 a P-28. Dále jsou v příloze na str. P-28 a P-29 zbývající grafy pro tyto měřené délky, označené P-5.5.1, P-5.5.2 a P-5.5.3.

Body	Průměrná délka [m]	Směrodatná odchylka [mm]
12	24,9022	0,2
13	91,8126	0,2
14	87,2756	0,6
23	88,8452	0,1
24	91,6633	0,2
34	26,5758	0,2

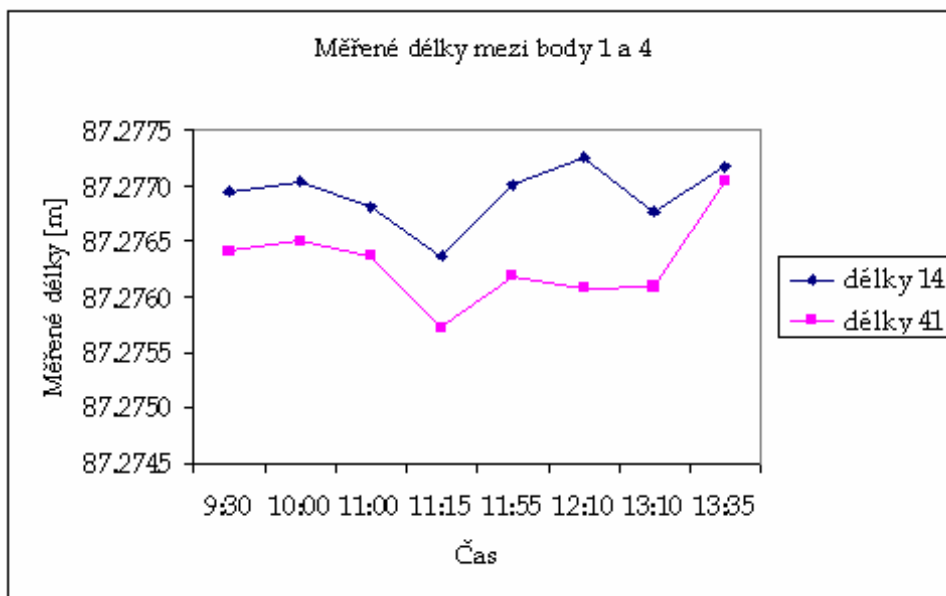
Tab. č. 5.5.2

Tohoto dne již bylo měřeno 8 sérií, průměry jsou tedy počítány z 16 hodnot. Největší směrodatná odchylka je pro měření mezi body 1 a 4. Její hodnota 0,6 mm odpovídá pro tuto vzdálenost směrodatné odchylce měřených úhlů 4,4^{cc}.



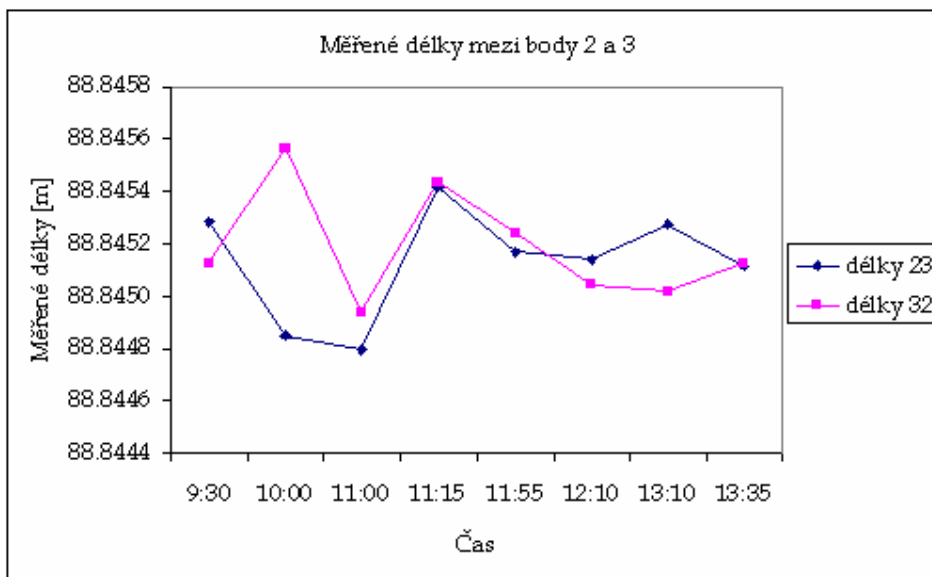
Graf č. 5.5.1

Hodnoty délek 21 (tedy měření vzdálenosti z bodu 2 na bod 1) mají mnohem vyrovnanější průběh. Délky 12 se liší skokově i o cca 1 mm.



Graf č. 5.5.2

Délky 14 mají obdobný průběh jako délky 41, ale hodnoty délek 14 jsou téměř vždy větší o cca 0,5 mm.



Graf č. 5.5.3

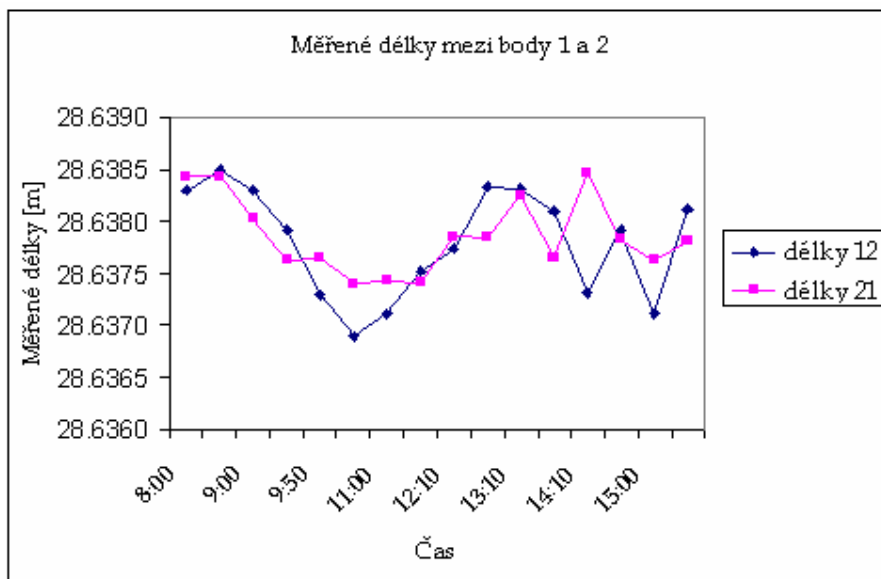
Největší směrodatná odchylka je u měření délek mezi body 1 a 4, kdy dosahuje hodnoty 0,6 mm. V ostatních dnech to jsou hodnoty pouze max. 0,2 mm.

Délky dne 2.7. 2015

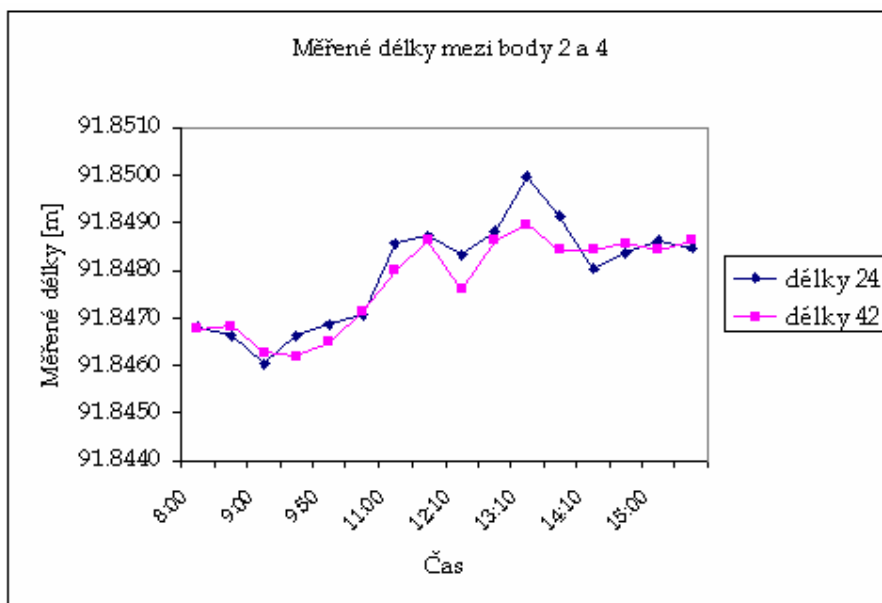
Kompletní tabulky měřených vzdáleností pro jednotlivé časy (převedených na vodorovné délky) č. P-5.5.5 a P-5.5.6 jsou v příloze na str. P-30 a P-32 . Stejně jako zbývající grafy pro všechny měřené délky tohoto dne, které jsou na str. P-30 až P-32 označené P-5.5.4 až P-5.5.7.

Body	Průměrná délka [m]	Směrodatná odchylka [mm]
12	28,6378	0,2
13	94,1582	0,1
14	89,0484	0,6
23	88,6430	0,2
24	91,8478	0,4
34	26,4440	0,2

Tab. č. 5.5.3



Graf č. 5.5.4



Graf č. 5.5.5

Dne 5. 2. 2015 byly měřeny pouze tři série měření, proto směrodatné odchytky průměru vypočteného pouze ze šesti hodnot nebudou mít takovou váhu, jako směrodatné odchytky průměru pro další dva dny, kdy bylo 8 sérií měření, resp. 16 sérií. Tedy se průměr počítal z 16 hodnot, resp. ze 32. A z těchto měření jednoznačně vychází největší směrodatná odchytky pro měření mezi body 1 a 4. V obou případech dosáhla hodnoty 0,6 mm. Při měření dne 2. 7. 2015 byla ještě velká směrodatná odchytky pro měření délek mezi body 2 a 4. Zde dosahovala 0,4mm, což je dvojnásobná hodnota, než další směrodatné odchytky ostatních průměrů. Ve dnech 2. 7. 2015 a 13. 4. 2015 dosahovaly hodnoty směrodatných odchytek u dlouhých záměr (tedy záměr delších stran čtyřúhelníka) až 0,6 mm, což pro tuto vzdálenost odpovídá směrodatné odchylce úhlu až 4,3^{cc} a u krátkých záměr (tedy záměry délek kratších stran čtyřúhelníka) dosahovaly směrodatné odchytky až 0,2 mm, což pro tuto vzdálenost odpovídá směrodatné odchylce úhlu až 4,5^{cc}.

5.6 Měření 5. 2. 2015

V příloze tabulce č. P-5.6.1 na str. P-33 jsou měřené úhly (tedy úhly vypočtené z měřených směrů bez oprav o vliv refrakce) a jejich průměrné hodnoty, rozdíly od průměru a směrodatná odchylka průměru.

Úhel 341 je úhel určený body 3, 4 a 1. Je to rozdíl směrů 41-43 (tedy měřený směr z bodu 4 na bod 1 minus měřený směr z bodu 4 na bod 3). Obdobně úhel 412 je úhel určený body 4,1 a 2. (Rozdíl směrů 14 mínus 12 - tedy směr měřený z bodu 1 na bod 4 mínus směr měřený z bodu 1 na bod 2).

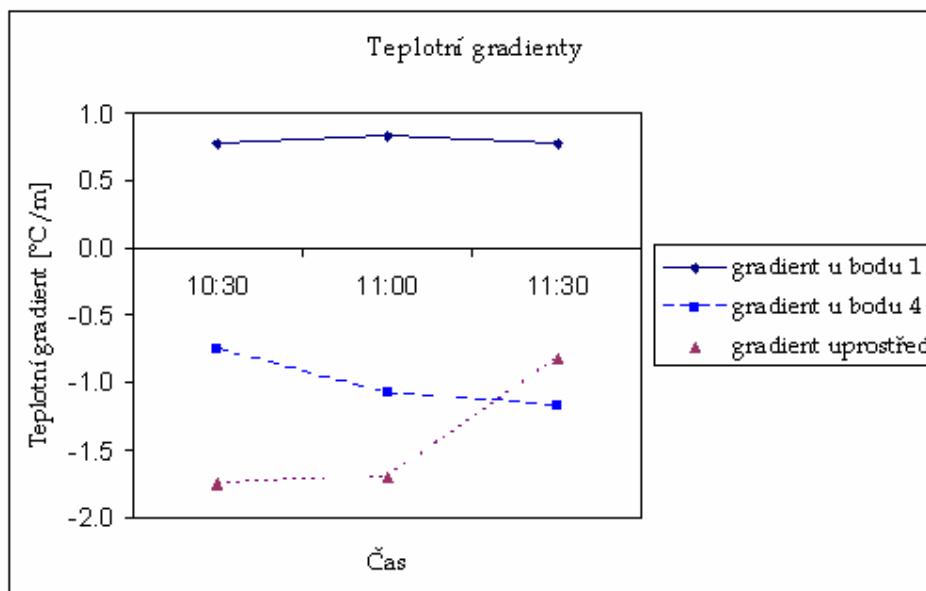
V příloze tabulce č. P-5.6.2 na str. P-33 jsou vypočtené gradienty na jednotlivých místech měření a z nich dle vzorce 5.4.4 vypočtené koeficienty K.

Gradient u bodu 1 je teplotní gradient vypočtený z čidel umístěných u bodu 1. Obdobně pro gradient u bodu 4. Gradient uprostřed je gradient vypočtený z čidel u vchodu do Masarykovy koleje. Tato čidla byla přibližně uprostřed záměry z bodu 1 na bod 4.

K1 je koeficient K vypočtený pro bod 1. K4 je koeficient K vypočtený pro bod 4. A K14 je koeficient K vypočtený pro místo u vchodu do Masarykovy koleje.

Jednotlivé gradienty se pohybovaly od $-1,8\text{ °C/m}$ (gradient uprostřed v 10:30) až $+0,8\text{ °C/m}$ - to byl gradient pro všechna měření na bodě 1.

Koeficienty K nabývaly hodnot od $-0,023$ (koeficient K14 při měření v čase 10:30 a 11:00) až $+0,011$ (hodnota koeficientu K1 v čase 11:00).



Graf. č. 5.6.1

V grafu č. 5.6.1 je zobrazena změna gradientů na jednotlivých bodech měření teplot. Nejvýraznější je změna v průběhu gradientu měřeného uprostřed - u vchodu do budovy.

V tabulce č. 5.6.1 jsou vypočtené opravy dle různých použití vah pro koeficienty K.

Oprava 14 znamená vypočtená oprava pro záměru 14 (tedy směr z bodu 1 na bod 4). Obdobně oprava 41 znamená vypočtená oprava pro záměru 41 (směr z bodu 4 na bod 1).

Časy měření	Opravy dle rovnic (1)[cc]		Opravy dle rovnic (2)[cc]		Opravy dle rovnic (3) [cc]	
	oprava 14	oprava 41	oprava 14	oprava 41	oprava 14	oprava 41
10:30	7,8	7,2	-9,6	24,5	-12,1	16,5
11:00	5,7	12,9	-9,8	28,5	-12,9	19,0
11:30	3,6	15,5	-2,5	21,6	-5,7	13,8

Tab. 5.6.1

V tabulce č. 5.6.1 je dobře vidět, jak jsou důležité váhy pro jednotlivé koeficienty. U opravy 14 dochází zavedením různých vah k teplotním gradientům dokonce ke změně znaménka opravy.

Oprava 14 v čase 10:30 má dle rovnic (1) hodnotu +7,8 cc, ale dle rovnic (3) má v tomtéž čase hodnotu dokonce -12,1 cc.

Grafické zobrazení oprav je v tabulkách č. P-5.61 a P-5.6.2 příloze na str. P-33 a P-34.

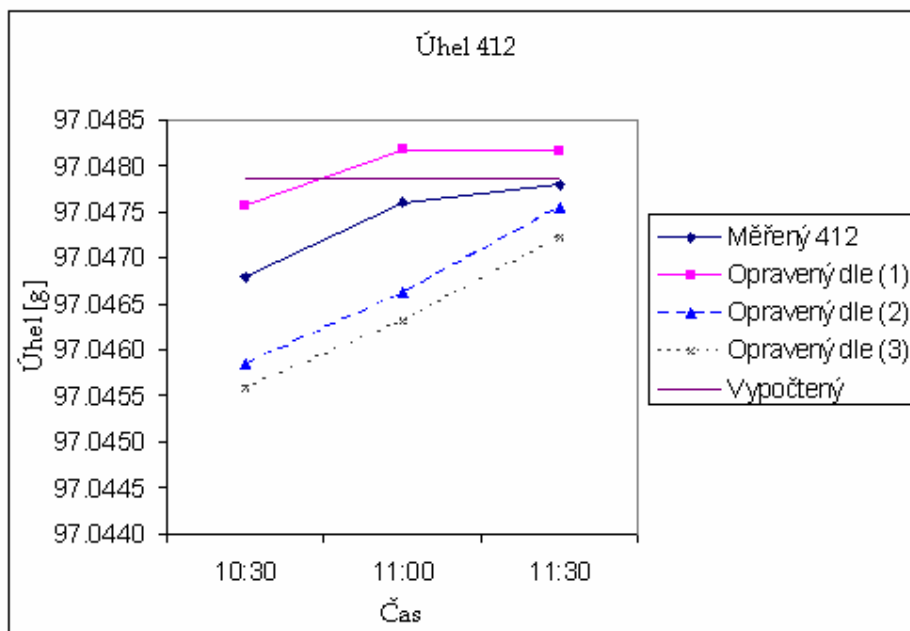
V tabulce č. 5.6.2 jsou uvedeny vypočtené úhly a měřené úhly opravené o opravy z tabulky č. 5.6.1

časy měření	měřený úhel 412 [g]	rozdíl od vypočteného úhlu [cc]	rozdíl po zavedení opravy dle (1)[cc]	rozdíl po zavedení opravy dle (2) [cc]	rozdíl po zavedení opravy dle (3) [cc]
10:30	97,0468	10,7	2,9	20,3	22,8
11:00	97,0476	2,7	-3,0	12,5	15,6
11:30	97,0478	0,7	-2,9	3,2	6,4
časy měření	měřený úhel 341 [g]	rozdíl od vypočteného úhlu [cc]	rozdíl po zavedení opravy dle (1) [cc]	rozdíl po zavedení opravy dle (2) [cc]	rozdíl po zavedení opravy dle (3) [cc]
10:30	96,5050	28,9	21,7	4,3	12,4
11:00	96,5068	10,9	-2,1	-17,6	-8,1
11:30	96,5068	10,9	-4,6	-10,7	-2,9

Tab. č. 5.6.2

V těchto tabulkách se zavedením oprav většina měřených úhlů přiblížila úhlům vypočteným.

Tabulka s měřeným úhlem opraveným o vypočtené opravy dle rovnic (1), (2) a (3) jsou v příloze na str. P-34 pod číslem P-5.6.3. Graficky jsou hodnoty z tabulky pro úhel 412 znázorněny v následujícím grafu. Pro úhel 341 je graf č. P-5.6.3 těchto hodnot v příloze na str. P-34.



Graf. č. 5.6.2

Z grafu č. 5.6.2 je patrné, že u tohoto úhlu došlo zavedením vypočtených oprav k většímu odchýlení od vypočteného úhlu. Zatímco při výpočtu podle rovnic (1) to není tak markantní, v čase 10:30 došlo k přiblížení, tak při opravách podle rovnic (2) a (3) došlo k opravě na opačnou stranu. Je vidět, že zavedení i gradientu měřeného u vchodu dokáže výsledky ovlivnit velmi výrazně. Při venkovních teplotách okolo bodu mrazu a vnitřních teplotách okolo 20°C (a samozřejmě pohybu osob tímto vchodem), dochází k výrazným změnám teploty. Avšak dá se předpokládat, že tato změna je pouze omezená na vzdálenost pár metrů (ne-li decimetrů) od dveří, zatímco v rovnicích se předpokládá platnost hodnoty koeficientu K14 na podstatnou část záměry. A proto zavedení tohoto koeficientu zjištěného z měření u dveří výsledky zkreslí.

Čtyřúhelník

V tabulce č. 5.6.3 jsou porovnány součty úhlů v čtyřúhelníku, kde v druhém sloupci je součet úhlů měřených, bez zavedení oprav. Ve třetím sloupci je součet

úhlů ve čtyřúhelníku se zavedením oprav dle rovnic (1). Ve čtvrtém resp. pátém sloupci je součet úhlů čtyřúhelníka se zavedením oprav dle rovnic (2), resp. (3).

Časy měření	Součet čtyřúhelníka před zavedením oprav [g]	Součet čtyřúhelníka po zavedení oprav dle (1)	Součet čtyřúhelníka po zavedení oprav dle (2)	Součet čtyřúhelníka po zavedení oprav dle (3)
10:30	399,9968	399,9983	399,9983	399,9972
11:00	399,9981	400,0000	400,0000	399,9987
11:30	399,9987	400,0006	400,0006	399,9995

Tab. 5.6.3

Z tabulky č. 5.6.3 je patrné, že zavedení oprav ve všech případech přiblížilo součet úhlů čtyřúhelníka ideálním 400g.

Řešení v trojúhelníku

Pro trojúhelník by měla být splněna podmínka, že součet jeho vnitřních úhlů je 200g.

Trojúhelník 134

V tomto trojúhelníku se předpokládá, že jediný úhel u vrcholu v bodě 3 není ovlivněn refrakcí (neopravuje se o žádnou vypočtenou hodnotu). Úhel u vrcholu 4 má jeden směr téměř kolmý na budovu, tedy se předpokládá, že zde vliv horizontální refrakce není a druhý směr rovnoběžný s budovou, tedy je zde předpoklad maximálního vlivu horizontální refrakce. V tomto případě bude měřený úhel 143 opravený opravou: směr 41, který je opraven o opravu 14 mínus směr 31.

A u úhlu 413 jsou oba směry ovlivněny refrakcí s tím, že směr 14 je rovnoběžný s budovou Masarykovy koleje, proto se zde refrakce uplatní zcela a směr 13 svírá s budovou Masarykovy koleje úhel přibližně 12g, proto vliv horizontální refrakce rozhodně nebude zanedbatelný, ale bude záviset na úhlu odklonu záměry od budovy. Tedy že oprava směru 13 je rovna opravě směru 14 násobené cosinem úhlu, jež svírá směr 13 s budovou. V našem případě předpokládáme rovnoběžnost záměry 14 s budovou, proto se do tohoto výpočtu vezme jako úhel odklonu rozdíl směrů 14 a 13.

časy měření	Opravy pro 13 v [cc]			Součet trojúhelník 134 v [g]			
	dle (1)	dle (2)	dle (3)	bez oprav	s opravami dle (1)	s opravami dle (2)	s opravami dle (3)
10:30	7,6	-9,4	-11,8	199,9999	200,0006	200,0023	200,0015
11:00	5,6	-9,6	-12,6	199,9991	200,0004	200,0019	200,001
11:30	3,5	-2,5	-5,6	200,0004	200,002	200,0026	200,0018

Tab. č. 5.6.4

Trojúhelník 124

časy měření	Opravy pro 42 v [cc]			Součet trojúhelník 124 v [g]			
	dle (1)	dle (2)	dle (3)	bez oprav	s opravami dle (1)	s opravami dle (2)	s opravami dle (3)
10:30	6,9	4,2	15,9	199,9972	199,9980	199,9983	199,9961
11:00	12,5	-17,0	18,3	200,0002	200,0008	200,0038	199,9990
11:30	14,9	-10,4	13,3	199,9990	199,9994	200,0019	199,9985

Tab. č. 5.6.5

5.7 Měření 13.4.2015

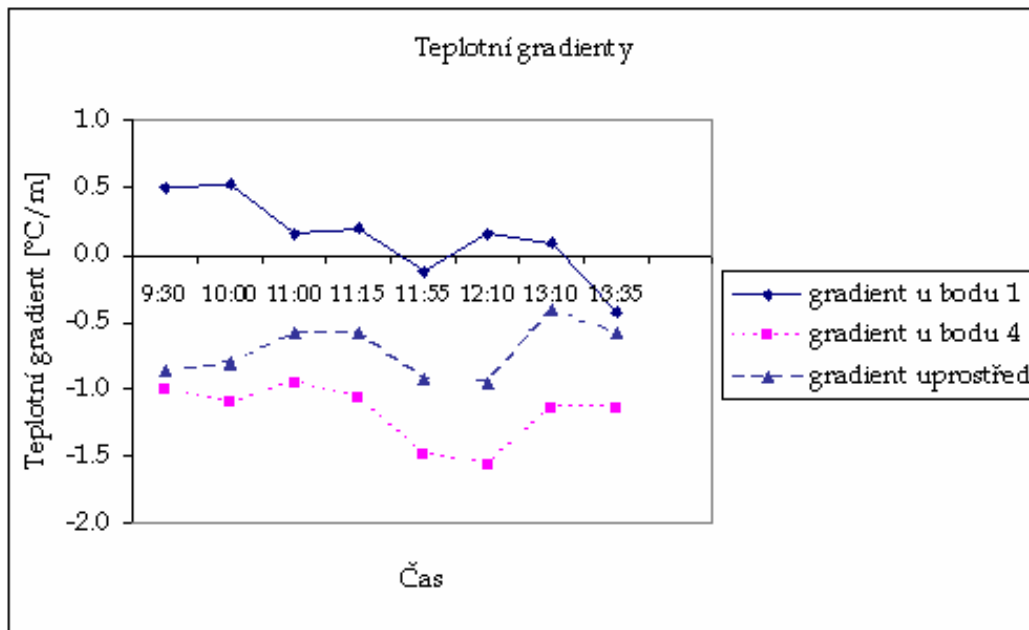
V příloze tabulce P-5.7.1 na str. P-35 jsou měřené úhly, z nich vypočten průměr a odchylky jednotlivých měřených úhlů od tohoto průměru.

Průměrná hodnota měřeného úhlu 412 je $102,41930^\circ$ se směrodatnou odchylkou $5,3^{\text{cc}}$ a úhlu 341 je $101,45680^\circ$ se směrodatnou odchylkou $5,6^{\text{cc}}$.

V příloze tabulce č. P-5.7.2 na str. P-35 jsou hodnoty gradientů a vypočtené koeficienty K dle vzorce z kapitoly 5.4.

Pro tento den dosahovaly koeficienty K hodnot od $-0,019$ pro K4 (koeficient u bodu 4) v čase 12:10 do $+0,006$ což byla hodnota koeficientu K1 (koeficient u bodu 1) v čase 9:30 a 10:00. Gradienty dosahovaly hodnot od $-1,6^\circ\text{C}/\text{m}$ (u bodu 4 v čase 12:10) po $+0,5^\circ\text{C}/\text{m}$ (u bodu 1 v časech 9:30 a 10:00).

Hodnoty gradientů jsou znázorněny v následujícím grafu.



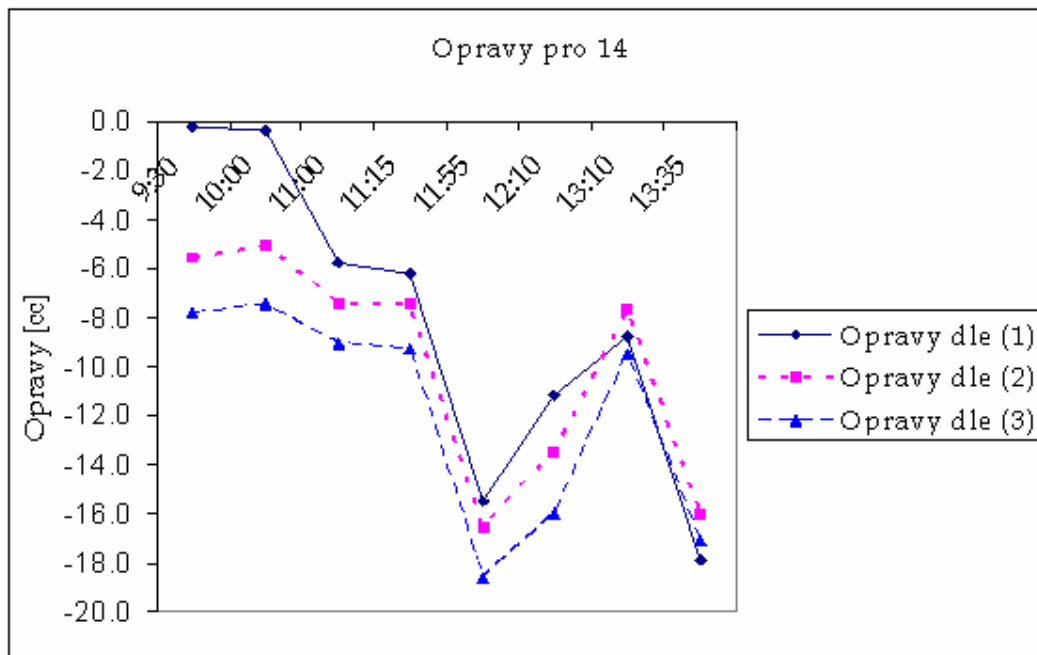
Graf č. 5.7.1

V grafu č. 5.7.1 je patrný klesající trend u gradientu na bodě č. 1, kdy ráno dosahoval kladných hodnot a odpoledne záporných. Tedy ráno byl teplejší vzduch a budova své okolí ochlazovala, odpoledne již byla teplejší fasáda než okolní vzduch a své okolí ohřívala. Na bodu 4 je také klesající trend, avšak mnohem mírnější.

V tabulce č.5.7.1 jsou vypočtené opravy dle rovnic (1), (2), (3).

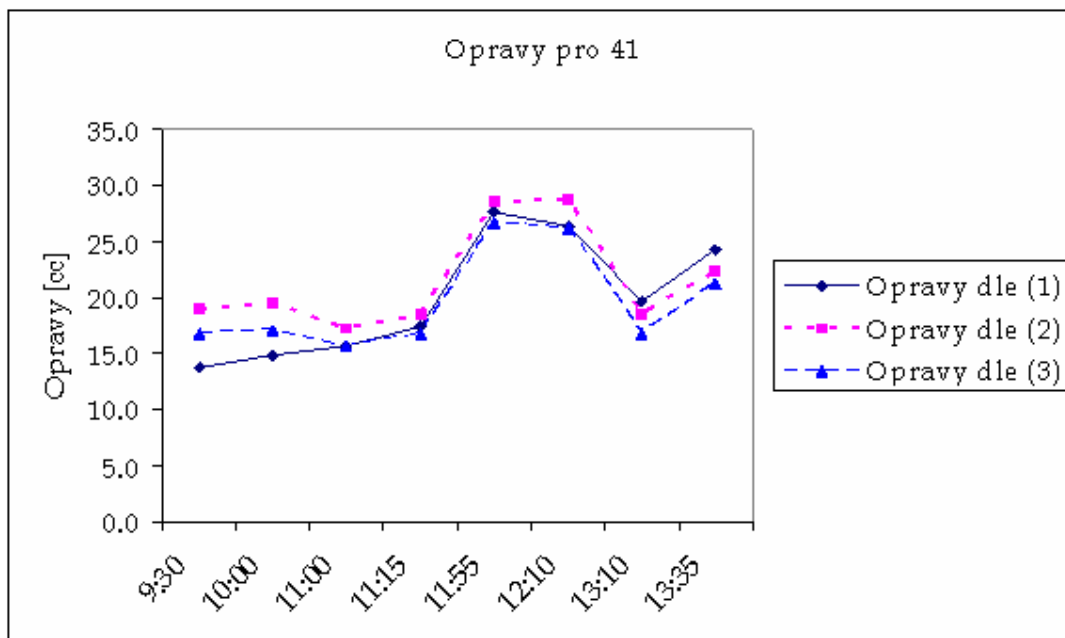
časy měření	Opravy dle rovnic (1)[cc]		Opravy dle rovnic (2)[cc]		Opravy dle rovnic (3) [cc]	
	oprava 14	oprava 41	oprava 14	oprava 41	oprava 14	oprava 41
9:30	-0,2	13,7	-5,5	19,0	-7,8	16,8
10:00	-0,4	14,9	-5,0	19,6	-7,4	17,1
11:00	-5,8	15,6	-7,4	17,3	-9,1	15,6
11:15	-6,2	17,4	-7,4	18,6	-9,3	16,8
11:55	-15,5	27,6	-16,6	28,6	-18,6	26,6
12:10	-11,2	26,4	-13,5	28,7	-16,0	26,2
13:10	-8,8	19,7	-7,7	18,6	-9,5	16,8
13:35	-17,9	24,2	-16,0	22,4	-17,1	21,3

Tab. č. 5.7.1



Graf č. 5.7.2

Z grafu je zřejmý velký výkyv v čase od 12 do 13 hod, kdy pro oba úhly vychází výrazně větší hodnoty oprav. Pro záměru 14 jsou záporné hodnoty oprav až -18^{cc} a pro záměru 41 kladné hodnoty až $28,7^{\text{cc}}$. Mohlo by to být způsobeno tím, že kolem poledne byl déšť.



Graf č. 5.7.3

Z grafů č. 5.7.2 a 5.7.3 je patrné, že rozdíly mezi výpočty oprav podle jednotlivých rovnic (1), (2) a (3) již nejsou tak obrovské jako dne 5. 2. 2015. Dne 13. 4. 2015 byl rozdíl mezi venkovní teplotou a vnitřní pouhých pár stupňů, proto různé váhy koeficientu K14 nepřinesly výraznější změny.

V tabulce č. 5.7.2 jsou rozdíly měřeného úhlu od úhlu vypočteného z délek. A následně rozdíly měřeného úhlu opraveného o vliv refrakce dle rovnic (1), (2) a (3) od úhlu vypočteného z délek.

časy měření	měřený úhel 412 [g]	rozdíl od vypočteného úhlu [cc]	rozdíl po zavedení oprav dle (1) [cc]	rozdíl po zavedení oprav dle (2) [cc]	rozdíl po zavedení oprav dle (3) [cc]
9:30	102,4206	-34,5	-34,3	-28,9	-26,7
10:00	102,4175	-3,5	-3,1	1,6	4,0
11:00	102,4210	-38,5	-32,7	-31,0	-29,4
11:15	102,4214	-42,5	-36,3	-35,0	-33,2
11:55	102,4179	-7,5	8,0	9,1	11,1
12:10	102,4183	-11,5	-0,3	2,0	4,5
13:10	102,4192	-20,5	-11,7	-12,8	-11,0
13:35	102,4185	-13,5	4,4	2,5	3,6

Tab. č. 5.7.2

V tabulce č. 5.7.3 jsou obdobné hodnoty jako v tab. č. 5.7.2, ale nyní pro úhel 341.

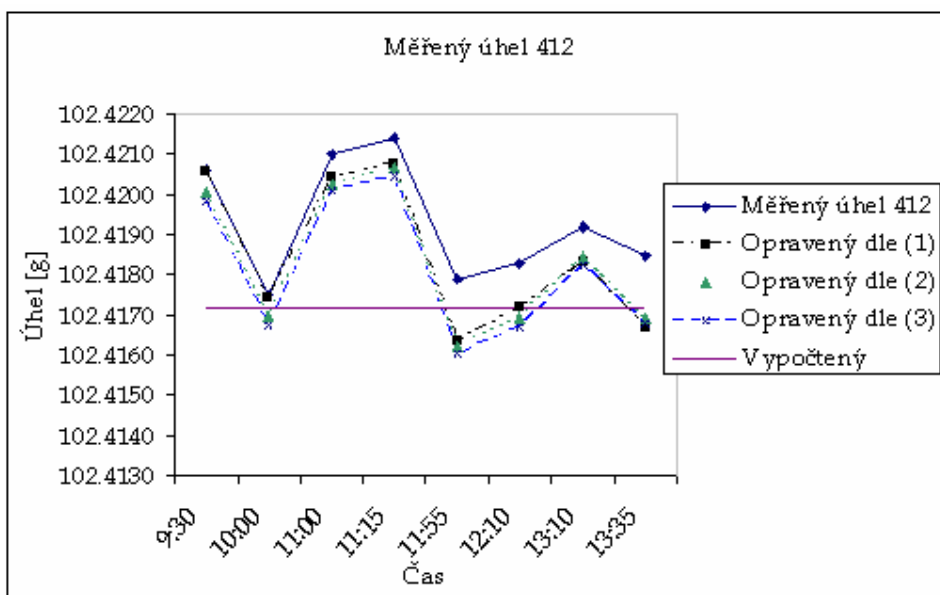
časy měření	měřený úhel 341 [g]	rozdíl od vypočteného úhlu [cc]	rozdíl po zavedení oprav dle (1) [cc]	rozdíl po zavedení oprav dle (2) [cc]	rozdíl po zavedení oprav dle (3) [cc]
9:30	101,4568	13,2	-0,5	-5,8	-3,5
10:00	101,4564	17,2	2,3	-2,3	0,1
11:00	101,4560	21,2	5,6	4,0	5,6
11:15	101,4546	35,2	17,9	16,6	18,5
11:55	101,4556	25,2	-2,3	-3,4	-1,4
12:10	101,4568	13,2	-13,2	-15,5	-12,9
13:10	101,4589	-7,8	-27,5	-26,4	-24,6
13:35	101,4593	-11,8	-36,0	-34,2	-33,1

Tab. č. 5.7.3

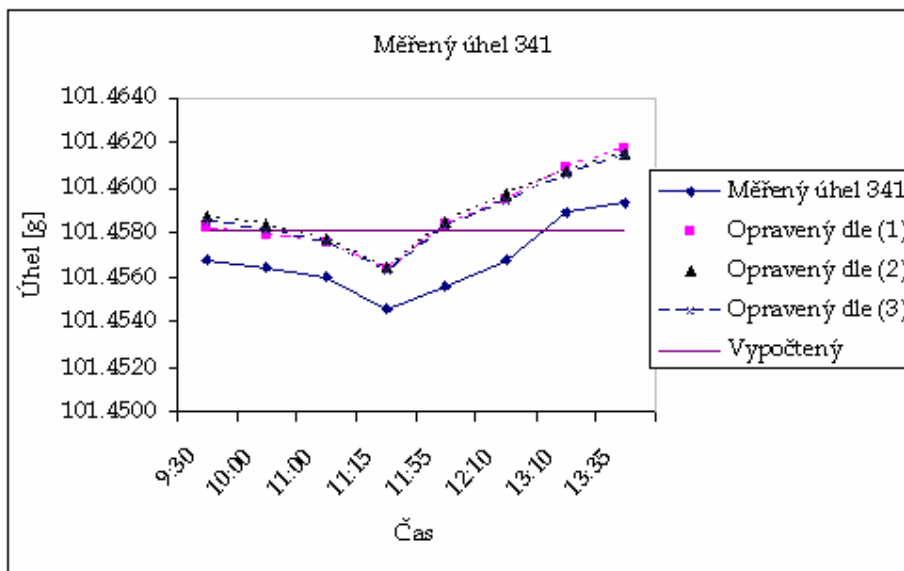
V těchto tabulkách pro datum 13. 4. 2015 došlo zavedením opravy k měřeným úhlům k přiblížení vypočteným úhlům z měřených délek v téměř všech případech. Výjimkou je úhel 341 v 13:10 a v 13:35, kdy zavedením opravy z refrakce se naopak odchylka od vypočteného úhlu zvětšila pro všechny způsoby výpočtu oprav.

Tabulka č. P-5.7.3 měřených úhlů 412 a 341 a opravených o opravy dle rovnic (1), (2) a (3) je v příloze na str. P-36.

V následujících grafech 5.7.4 a 5.7.5 jsou vyneseny hodnoty těchto úhlů.



Graf. č. 5.7.4

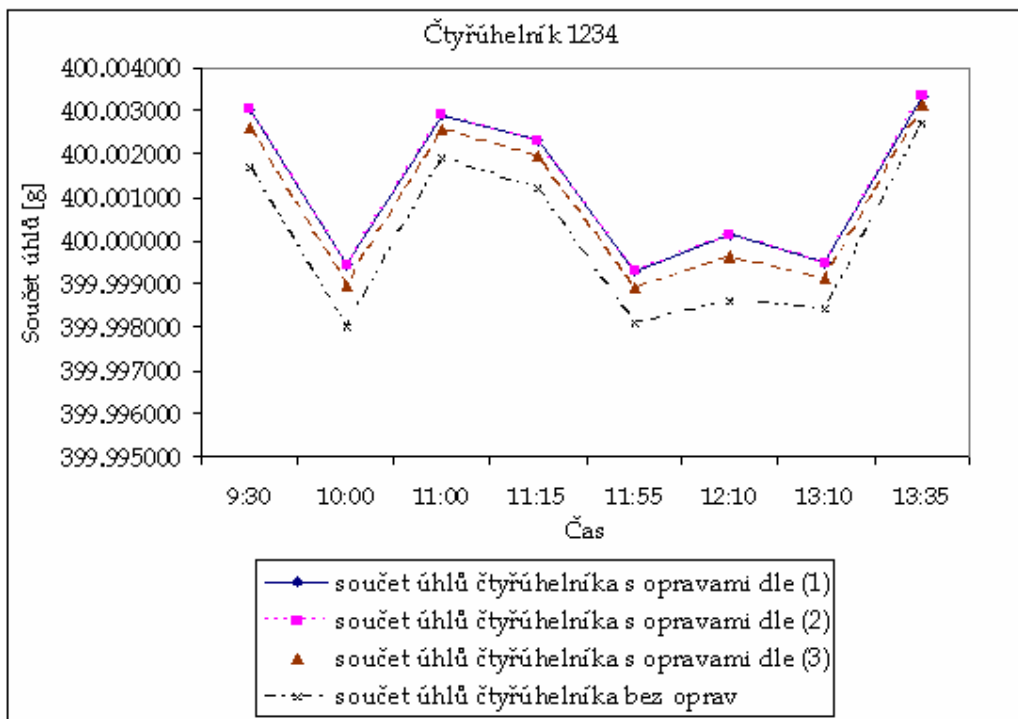


Graf. č. 5.7.5

Čtyřúhelník

V tabulce č. 5.7.7 jsou součty úhlů čtyřúhelníka před a po zavedení oprav. U čtyřúhelníka se předpokládá, že dva úhly nejsou refrakcí ovlivněny. To jsou úhly u vrcholů v bodech 2 a 3, které jsou v parčíku. K nim žádné opravy nebyly vypočítávány. A při měření na bodech 1 a 4 jsou horizontální refrakcí ovlivněny pouze záměry na body 4 a 1. Záměry na bod 2 (při měření na bodě 1) a bod 3 (při měření na bodě 4) refrakcí ovlivněny nejsou, protože jsou téměř kolmé na budovu Masarykovy koleje.

Tabulka součtu úhlů čtyřúhelníka 1234 před a po zavedení oprav dle rovnic (1), (2) a (3) je v příloze P-5.7.4 na str. P-36. V této tabulce došlo zavedením oprav v několika případech ke zhoršení výsledků. Součet úhlů čtyřúhelníka se oddálil od ideálních 400 g. Může to být způsobeno tím, že při měření protisměrných úhlů a za přibližně stejných podmínek při měření se chyba navzájem téměř eliminuje. Tedy chyba z refrakce pro záměru z bodu 1 na bod 4 je téměř stejně velká jako pro záměru z bodu 4 na bod 1, ale opačného znaménka. Pak součet úhlů čtyřúhelníka je téměř 400 g a zdánlivě úhly vypadají správné, ačkoli chyba v jednom úhlu může být i desítky vteřin. A dále se oprava počítá jenom z teplot měřených na třech místech, kterými se nemusely podchytit všechny podstatné změny prostředí. Hodnoty z tabulky P-5.7.4 jsou graficky znázorněny v grafu 5.7.6.



Graf č. 5.7.6

Výpočet pro trojúhelníky

Trojúhelník 134

V tomto trojúhelníku jsou opět 3 úhly, z nichž jeden se uvažuje jako neovlivněný refrakcí a dva refrakcí ovlivněné. Úhel 134 je neovlivněný, v úhlu 341 se v záměru 41 vliv horizontální refrakce uplatnil zcela a u záměru 43 se vliv horizontální refrakce neuvažuje. A u úhlu 413 je záměra 14 horizontální refrakcí ovlivněna v největší možné míře, zatímco u záměru 13 je vliv horizontální refrakce závislý na směru odklonu záměru od rovnoběžky s budovou.

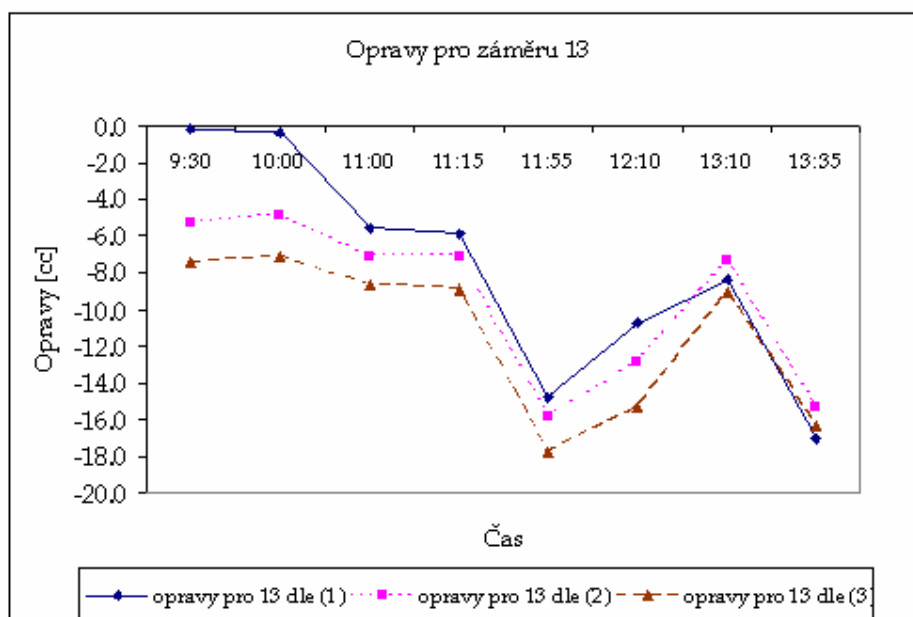
Vypočtené opravy pro záměru 13 z hodnot vypočtených oprav pro záměru 14 a součet úhlů v trojúhelníku 134 jsou v tabulce 5.7.4.

časy měření	Opravy pro 13 v [cc]			Součet trojúhelník 134 v [g]			
	opravy 13 dle (1)	opravy 13 dle (2)	opravy 13 dle (3)	bez oprav	s opravami dle (1)	s opravami dle (2)	s opravami dle (3)
9:30	-0,2	-5,3	-7,5	200,0000	200,0014	200,0019	200,0016
10:00	-0,4	-4,8	-7,1	199,9986	200,0001	200,0005	200,0003
11:00	-5,5	-7,1	-8,7	199,9999	200,0014	200,0016	200,0014
11:15	-5,9	-7,1	-8,9	199,9977	199,9994	199,9995	199,9993
11:55	-14,8	-15,9	-17,8	199,9968	199,9995	199,9996	199,9994
12:10	-10,7	-12,9	-15,3	199,9979	200,0005	200,0007	200,0004
13:10	-8,4	-7,3	-9,1	199,9988	200,0007	200,0006	200,0004
13:35	-17,1	-15,3	-16,3	200,0019	200,0042	200,0041	200,0040

Tab. č. 5.7.4

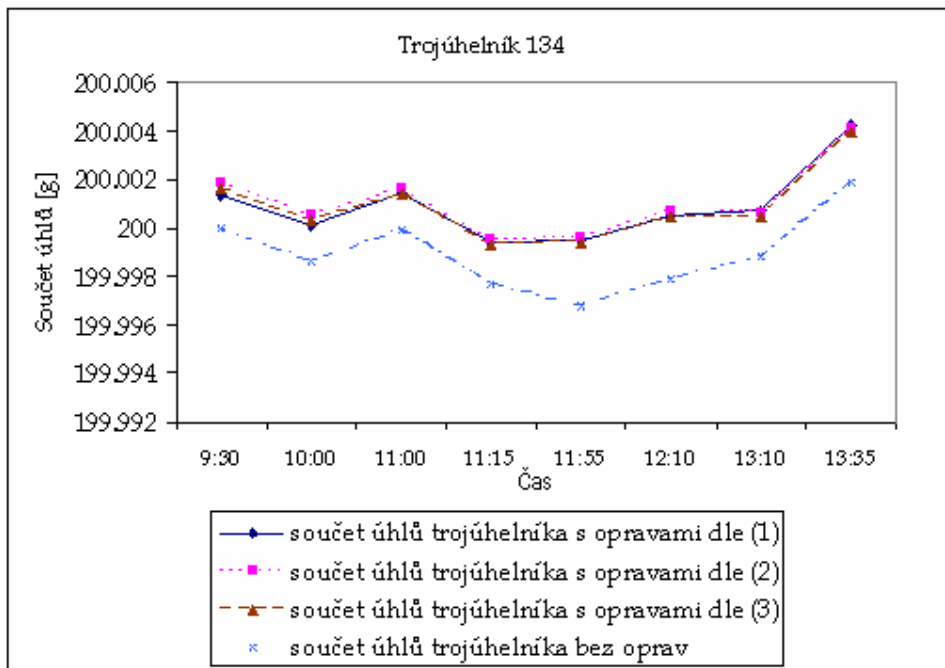
V cca třetině případů došlo ke zhoršení součtu od ideálních 200g. Ale je to spíše v řádu jednotek vteřin a při je směrodatné odchylce úhlu ve velikosti cca 5^{cc}, je toto ještě v mezích přesnosti měření.

V grafu č. 5.7.7 jsou vypočtené opravy pro záměru 13 z oprav pro záměru 14, z tabulky 5. 7. 4.



Graf č. 5.7.7

V grafu 5.7.8. jsou znázorněny hodnoty z tabulky 5.7.4 -součty úhlů trojúhelníku s vrcholy 134, kdy v jednom případě jde o součet úhlů bez zavedení oprav z refrakce a ve třech případech to je součet úhlů po zavedení vypočtených oprav z refrakce podle rovnic (1), (2) a (3).



Graf č. 5.7.8

Trojúhelník 124

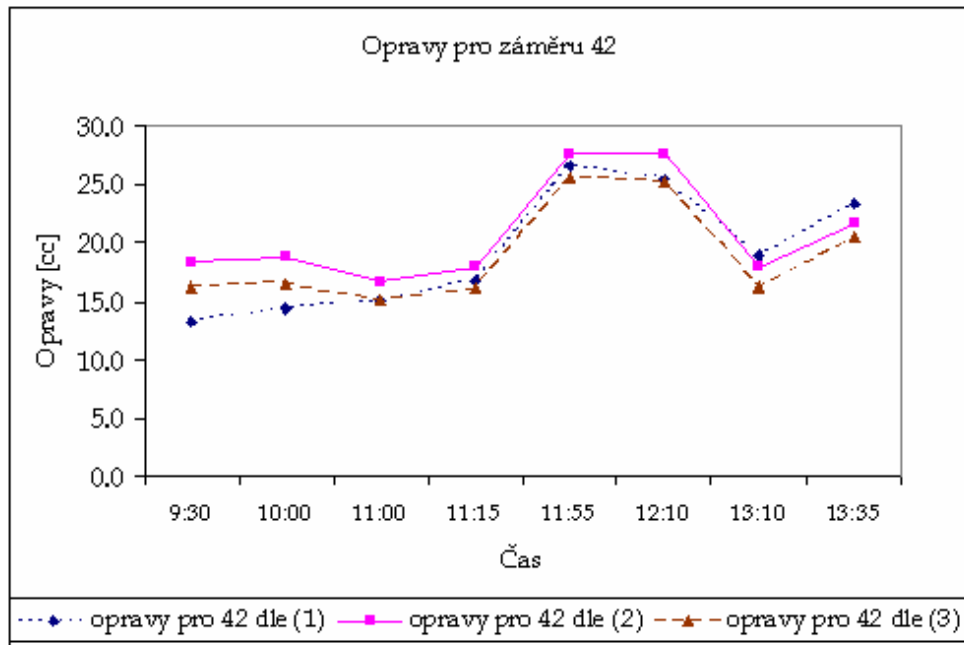
Pro trojúhelník 124 jsou uvažovány vlivy horizontální refrakce obdobně jako u trojúhelníku 341. Jeden úhel je bez vlivu horizontální refrakce a u dvou se vliv horizontální refrakce uvažuje. Vypočtené opravy pro záměru 42 a poté součet úhlů v trojúhelníku 124 je v tabulce 5.7.5

časy měření	Opravy pro 42 v [cc]			Součet trojúhelník 124 v [g]			
	opravy 42 dle (1)	opravy 42 dle (2)	opravy 42 dle (3)	bez oprav	s opravami dle (1)	s opravami dle (2)	s opravami dle (3)
9:30	13,2	18,3	16,1	200,0020	200,0020	200,0015	200,0013
10:00	14,4	18,8	16,5	200,0017	200,0017	200,0013	200,0010
11:00	15,0	16,6	15,0	200,0028	200,0023	200,0021	200,0020
11:15	16,7	17,9	16,1	199,9998	199,9992	199,9991	199,9989
11:55	26,5	27,6	25,6	200,0015	200,0001	200,0000	199,9997
12:10	25,5	27,6	25,2	200,0059	200,0049	200,0047	200,0044
13:10	19,0	17,9	16,2	200,0048	200,0040	200,0041	200,0039
13:35	23,3	21,5	20,5	200,0049	200,0032	200,0034	200,0033

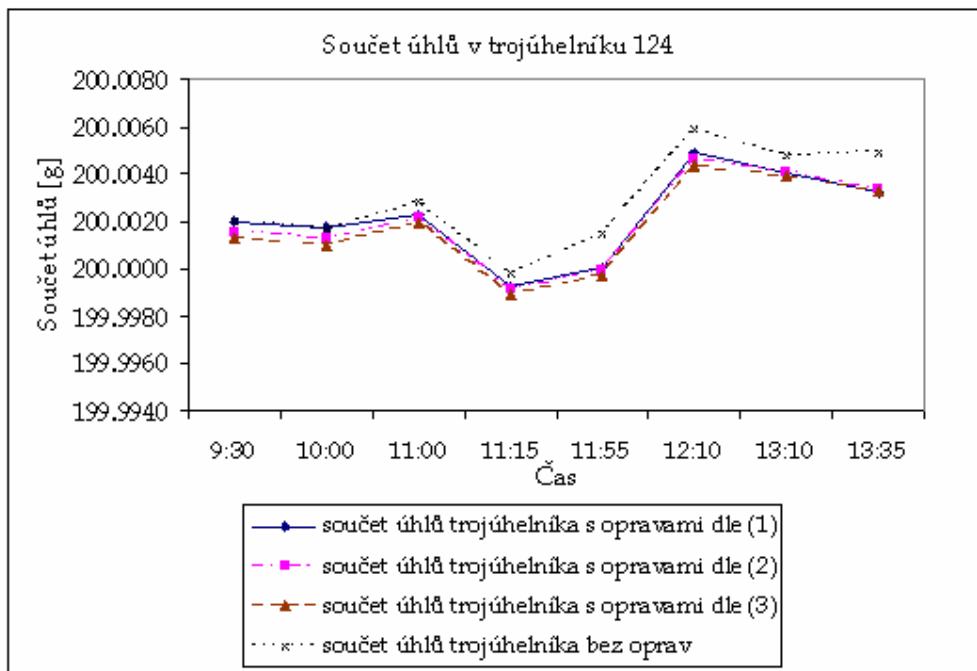
Tab. č. 5.7.5

U trojúhelníku 124 došlo zavedením oprav k měřeným úhlům k odchýlení od ideální hodnoty 200 ‰ jen v jednom případě pro všechny druhy výpočtu oprav a to v čase 11:15. Vzhledem k tomu, že se jedná o zhoršení výsledku hodnoty maximálně o 9 cc , je toto již za hranicí přesnosti měření.

Hodnoty z tabulky 5.7.5 jsou graficky znázorněny v grafech 5.7.9 a 5.7.10.



Graf č. 5.7.9



Graf č. 5.7.10

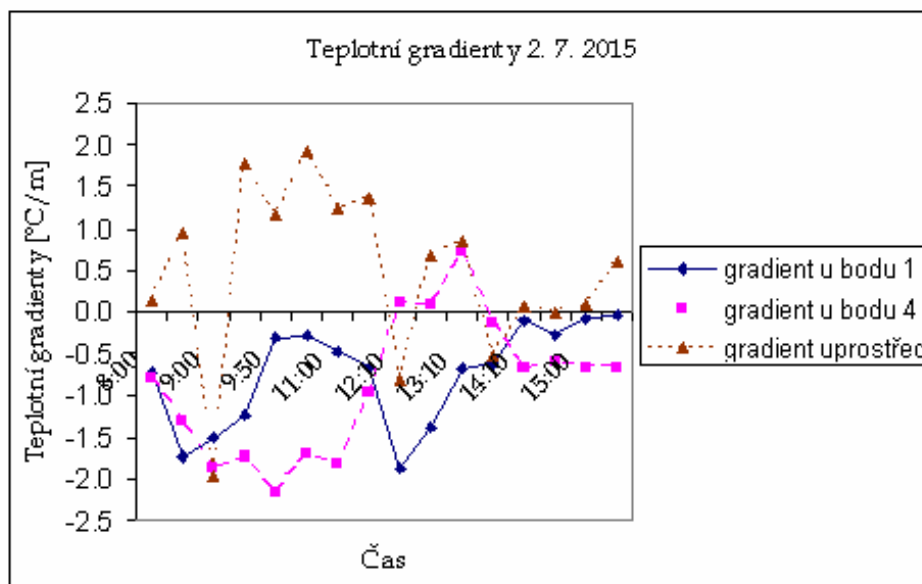
5.8 Měření 2. 7. 2015

V příloze tabulce P-5.8.1 na str. P-37 jsou měřené úhly a rozdíly od jejich průměru. Průměrná hodnota měřeného úhlu 412 je $96,08546^\circ$ se směrodatnou odchylkou $4,9^\circ$. A průměrná hodnota měřeného úhlu 341 je $103,20046^\circ$ se směrodatnou odchylkou $2,6^\circ$.

V příloze tabulce č. P-5.8.2 na str. P-38 jsou gradienty na jednotlivých bodech a z nich vypočtené koeficienty K. Hodnoty horizontálních teplotních gradientů se pohybovaly v rozmezí od $-2,0^\circ\text{C}/\text{m}$ (pro gradient 14 v čase 9:00) do $+1,9^\circ\text{C}/\text{m}$ (opět pro gradient 14, tentokrát v čase 10:40).

Tomu odpovídající koeficienty K se pohybovaly v rozmezí od $-0,021$ (koeficient K14 v čase 9:00) do $+0,021$ (opět koeficient K14 v čase 10:40).

Zatímco gradienty u bodů 1 a 4 jsou vesměs záporné (tzn. teplota fasády byla vyšší než okolní vzduch), gradient uprostřed byl téměř vždy kladný. Opět to bude způsobeno tím, že uvnitř budovy byla výrazně jiná teplota vzduchu než venku, v tomto případě bylo uvnitř chladněji, proto bylo okolí dveří chladnější než okolní vzduch. Výkyvy jsou hlavně v době 9 hod. a 12 hod., kdy byl častější pohyb turistů dveřmi Masarykovy koleje.



Graf. č. 5.8.1

V grafu č. 5.8.1 jsou vidět dva velké výkyvy u gradientu uprostřed. A to po 9 hodině, kdy turisté houfně vyráželi na prohlídku, a pak po 12 hodině, kdy

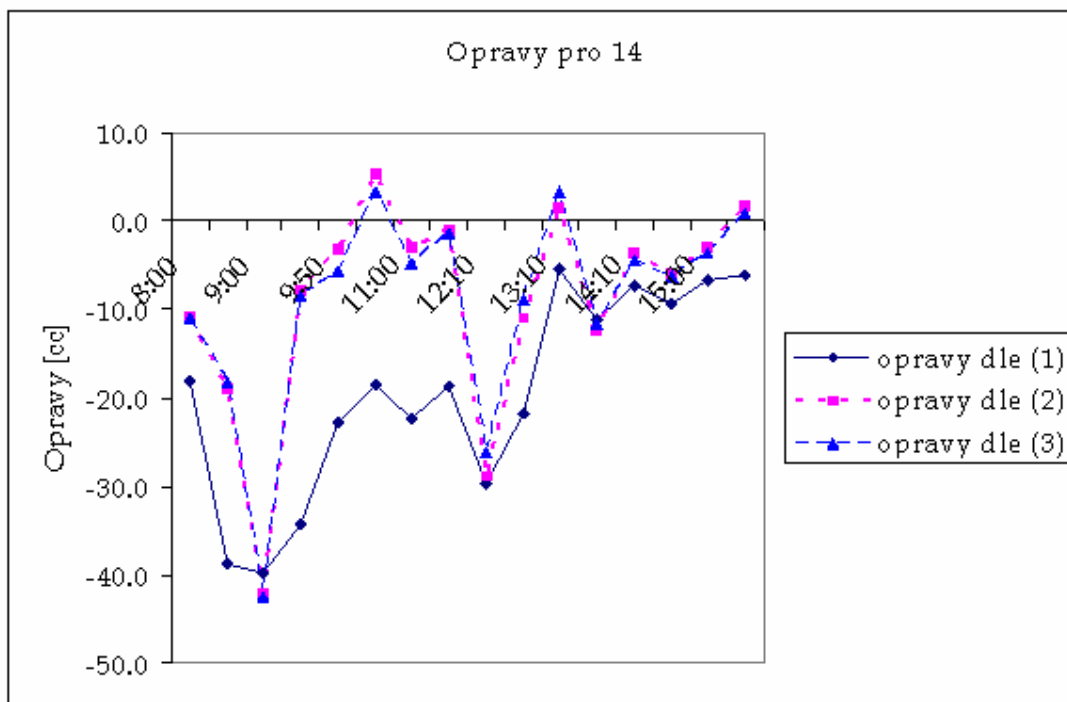
se opět vraceli. Gradient na bodě 1 má mnohem vyrovnanější průběh. Po celou dobu měření byla vyšší teplota u budovy než dále od ní. Výkyvy, kdy fasáda měla výrazněji vyšší teplotu mohou být způsobeny proměnlivým zastíněním stromy z parčíku.

V příloze tabulce č. P-5.8.3 na str. P-38 jsou vypočtené opravy dle rovnic (1), (2), (3). Hodnoty z tabulky jsou vyneseny do následujících grafů 5.8.2 a 5.8.3.

Největší rozdíl mezi různými výpočty oprav pro 14 je 26,5^{cc} v 9:30, kdy výpočet podle rovnic (1), (tedy s nulovou váhou gradientu uprostřed a s váhou 2 resp. 1 pro bod 1 resp. 4) vychází -34,3^{cc} a opravy podle rovnic (2), (tedy s váhou 2 pro gradient uprostřed a 3 resp. 1 pro gradientu u bodu 1 resp. 4) vychází jen -7,8^{cc}.

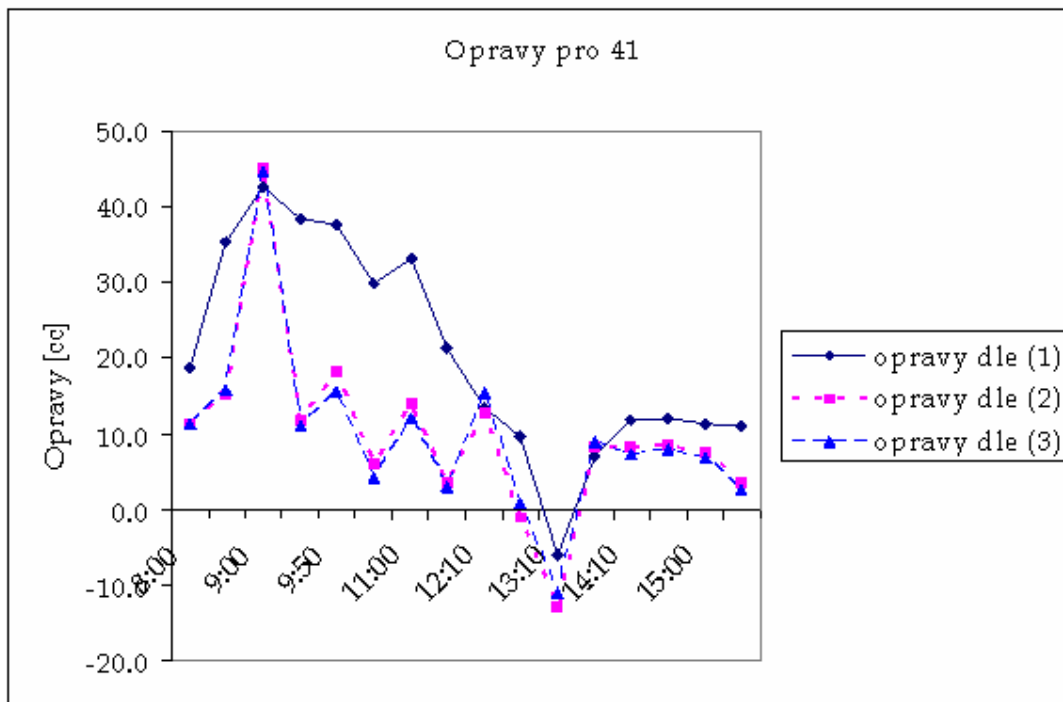
A pro opravy 41 to je opět v 9:30 a to 27,2^{cc}, kdy pro výpočet dle rovnic (1) je hodnota opravy 38,4^{cc} a pro opravy dle rovnic (3), (tedy váha gradientu uprostřed je 1,5 a váha gradientů u bodu 4 resp. 1 je 2 resp. 1) je hodnota opravy 11,2^{cc}.

Při výpočtu podél rovnic (2) a (3) již mezi opravami nejsou tak výrazné rozdíly. U těchto obou rovnic je již gradient uprostřed do výpočtu uvažován i když s jinou vahou. Největší rozdíl mezi opravami vypočtenými podle rovnic (2) a (3) je v 12:10 o hodnotu 2,7^{cc} a to pro obě záměry 14 i 41.



Graf č. 5.8.2 Graf vypočtených oprav pro záměr 14

Z grafu je zřejmé, že nejvyšších hodnot dosahovaly opravy mezi 9 a 10 hod. a dále pak mezi 12 a 13 hod. I přes tyto výkyvy je zřejmý klesající trend, kdy v čase po 15 hodině mají opravy hodnoty již jen vteřinové.



Graf č. 5.8.3 Graf vypočtených oprav pro záměru 41

Tabulka č. P-5.8.4 měřených úhlu 412 a 341 a jejich hodnoty po zavedení oprav dle rovnic (1), (2) a (3) je v příloze na str. P-39.

Tabulky rozdílů měřeného úhlu a úhlu vypočteného a rovněž rozdílů měřeného úhlu opraveného o vypočtené opravy z vlivu refrakce a úhlu vypočteného jsou v příloze na str. P-40 pod číslem P-5.8.4 pro úhel 412 a P-5.8.5 pro úhel 341.

U úhlu 412 je největší rozdíl mezi úhlem vypočteným z délek a úhlem měřeným je pro záměru v 8:30, kdy tento rozdíl byl -70,6 cc. Součet rozdílů úhlu vypočteného a měřeného úhlu 412 za celý den je -611,3 cc. Zatímco po zavedení oprav jsou největší hodnoty rozdílů úhlu vypočteného z délek a měřeného opraveného o vliv refrakce dle rovnic (1) -48,3 cc, dle rovnic (2) -55,8 cc a dle rovnic (3) -55,1cc.

A součet těchto rozdílů za celý den s opravami dle rovnic (1) je -301,0 cc, dle rovnic (2) -468,5 cc a dle rovnic (3) je -465,5 cc.

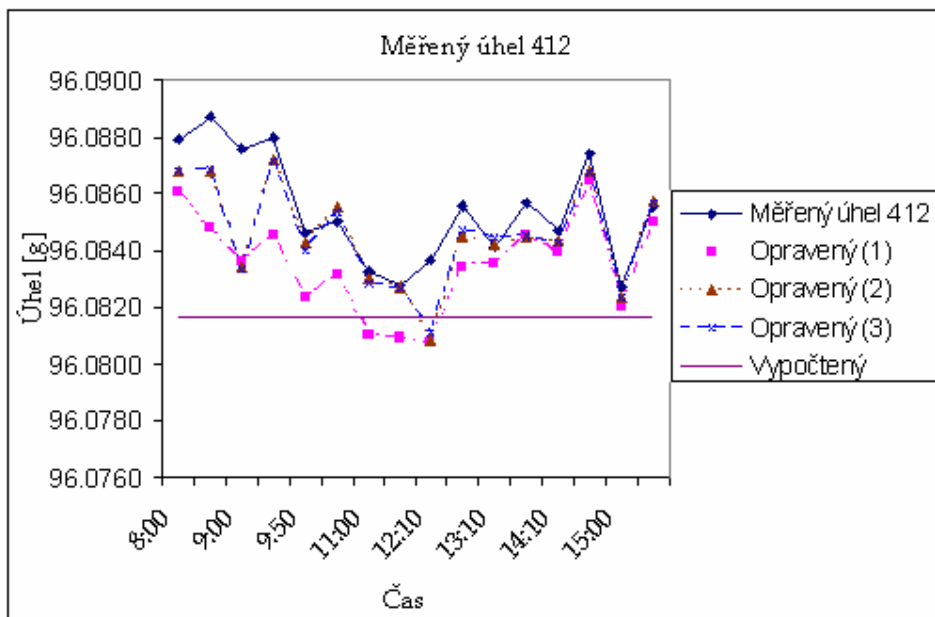
Tedy pro tento úhel se objevuje systematická chyba, která způsobuje že hodnoty měřeného úhlu jsou větší než vypočtené z délek (tedy předpokládané správné hodnoty) a tuto systematickou chybu se zavedením oprav podařilo částečně eliminovat.

U úhlu 341 dosahovaly rozdíly mezi vypočteným úhlem z délek a měřeným úhlem i se zavedením oprav menších absolutních hodnot, než v případě úhlu 412. Největší rozdíl mezi úhlem vypočteným z délek a úhlem měřeným je $43,4^{\circ}$ pro záměr v 15:20. A pro měřený úhel opravený dle rovnic (1) je největší odchylka od úhlu vypočteného z délek $34,4^{\circ}$, se zavedenou opravou dle rovnic (2) je největší rozdíl $39,3^{\circ}$, a dle rovnic (3) to je $40,8^{\circ}$. Součet rozdílů úhlu vypočteného a měřeného úhlu 341 za celý den je $+412,5^{\circ}$. A součet těchto rozdílů za celý den s opravami dle rovnic (1) je $+85,2^{\circ}$, dle rovnic (2) $+252,6^{\circ}$ a dle rovnic (3) je $255,4^{\circ}$.

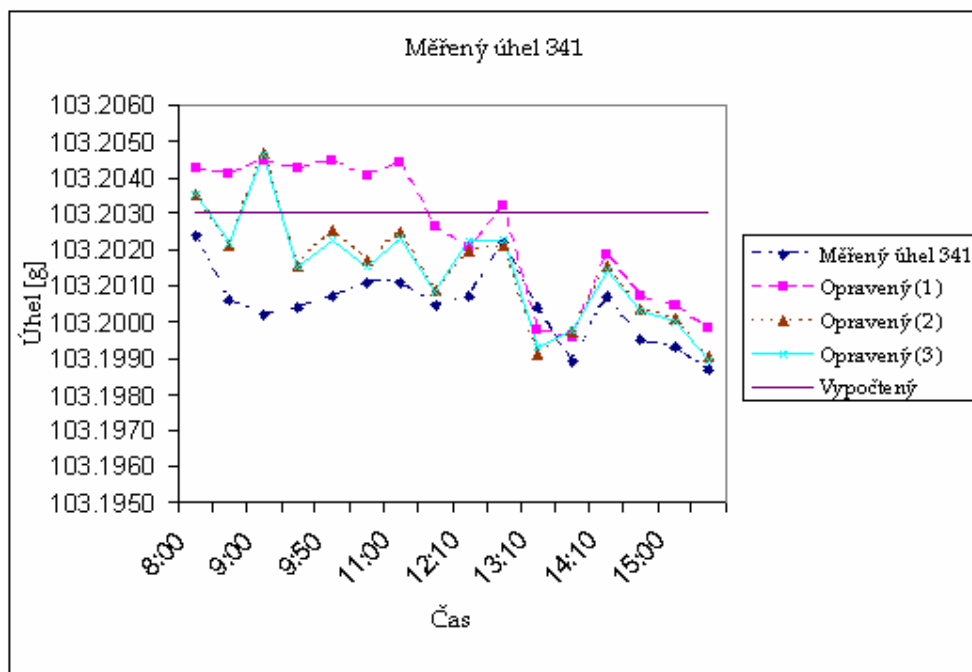
V tomto případě zde působila systematická chyba, kvůli níž byly hodnoty měřeného úhlu menší, než hodnoty úhlu vypočteného z délek.

Z těchto výsledků se jako nejvhodnější zdají opravy dle rovnic (1), jejichž zavedením se součet rozdílů mezi úhlem vypočteným z délek a úhlem měřeným před a po opravě dle rovnic (1) snížil o téměř 80% v případě úhlu 341 a o více než 50 % v případě úhlu 412.

V následujících grafech 5.8.4 a 5.8.5 jsou vyneseny hodnoty úhlů 412 a 341 – jsou zde hodnoty vypočtené z délek, měřené úhly i měřené úhly opravené o opravy vypočtené dle rovnic (1), (2) a (3).



Graf. č. 5.8.4



Graf. č. 5.8.5

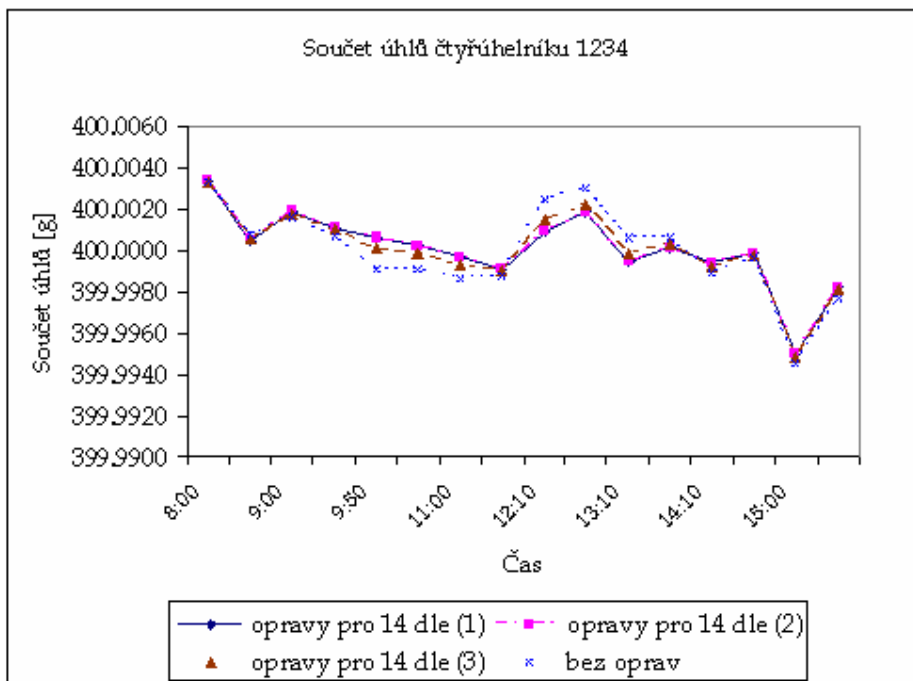
Čtyřúhelník

V tabulce č. 12 jsou součty úhlů čtyřúhelníka před a po zavedení oprav.

časy měření	Součet úhlů čtyřúhelníku bez oprav [g]	Součet úhlů čtyřúhelníku po zavedení oprav dle rovnic (1) [g]	Součet úhlů čtyřúhelníku po zavedení oprav dle rovnic (2) [g]	Součet úhlů čtyřúhelníku po zavedení oprav dle rovnic (3) [g]
8:00	400,0033	400,0034	400,0034	400,0033
8:30	400,0008	400,0004	400,0004	400,0006
9:00	400,0016	400,0019	400,0019	400,0018
9:30	400,0007	400,0011	400,0011	400,0010
9:50	399,9991	400,0006	400,0006	400,0001
10:40	399,9991	400,0002	400,0002	399,9999
11:00	399,9986	399,9997	399,9997	399,9993
11:20	399,9988	399,9990	399,9990	399,9990
12:10	400,0025	400,0009	400,0009	400,0014
12:30	400,0030	400,0018	400,0018	400,0022
13:10	400,0006	399,9995	399,9995	399,9998
13:30	400,0006	400,0002	400,0002	400,0003
14:10	399,9989	399,9994	399,9994	399,9992
14:30	399,9996	399,9999	399,9999	399,9998
15:00	399,9945	399,9950	399,9950	399,9948
15:20	399,9977	399,9982	399,9982	399,9980

Tab. č. 5.8.7

V tabulce č. 5.8.7 až na drobné výjimky došlo v naprosté většině případů zavedením oprav k přiblížení součtu úhlu čtyřúhelníka k ideálním 400 g. Hodnoty součtu úhlů čtyřúhelníku se zavedením různým způsobem vypočítaných oprav z tabulky 5.8.7 je v následujícím grafu 5.8.6.



Graf č. 5.8.6 Součet úhlů čtyřúhelníku opravený o různými způsoby vypočtené opravy

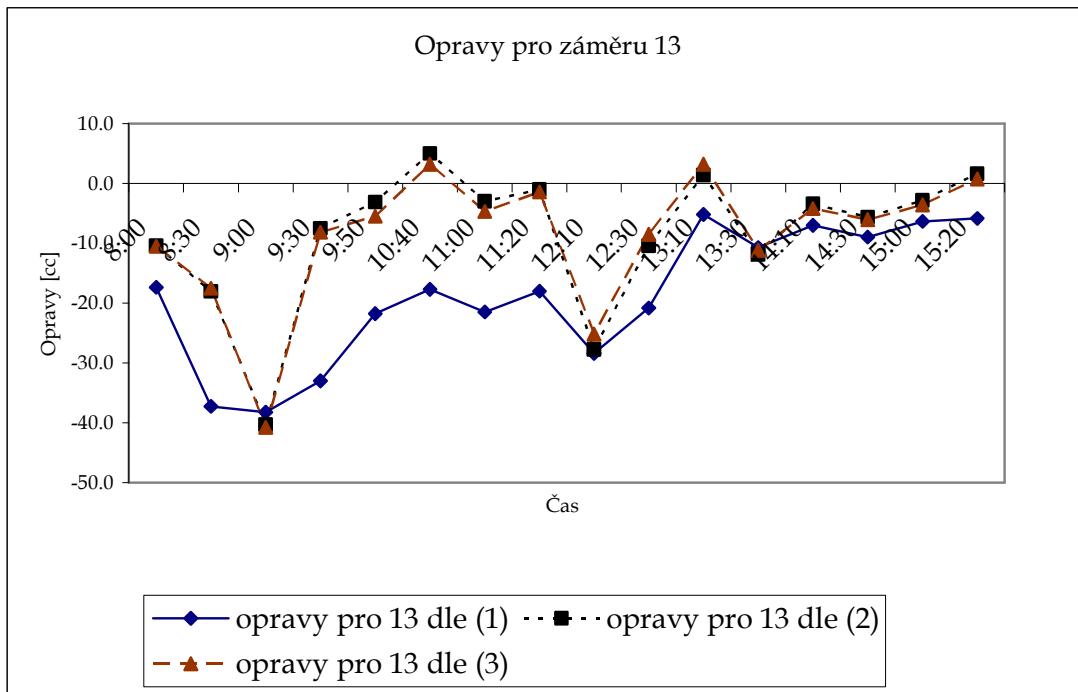
Řešení pro trojúhelníky

Trojúhelník 134

V tabulce č. 5.8.8 je výpočet oprav pro záměru z bodu 1 na bod 3 dle jednotlivých rovnic (1), (2) a (3) a kontrola součtu úhlů trojúhelníku. Hodnoty z této tabulky jsou následně graficky znázorněny v grafu č. P-5.8.1 v příloze na str. P-41.

časy měření	Opravy pro 13 v [cc]			Součet trojúhelník 134 v [g]			
	opravy 13 dle (1)	opravy 13 dle (2)	opravy 13 dle (3)	bez oprav	s opravami dle (1)	s opravami dle (2)	s opravami dle (3)
8:00	-17,3	-10,4	-10,5	199,9980	199,9998	199,9991	199,9991
8:30	-37,3	-18,0	-17,5	200,0015	200,0049	200,0029	200,0003
9:00	-38,2	-40,3	-40,8	199,9992	200,0033	200,0035	200,0035
9:30	-33,0	-7,5	-8,2	199,9980	200,0017	199,9992	199,9991
9:50	-21,8	-3,1	-5,5	200,0006	200,0043	200,0024	200,0021
10:40	-17,7	5,0	3,2	199,9984	200,0013	199,9990	199,9988
11:00	-21,4	-3,0	-4,7	200,0007	200,0039	200,0021	200,0019
11:20	-18,0	-1,0	-1,4	199,9994	200,0015	199,9997	199,9997
12:10	-28,4	-27,8	-25,2	199,9986	199,9998	199,9998	200,0000
12:30	-20,8	-10,4	-8,5	200,0022	200,0031	200,0021	200,0023
13:10	-5,2	1,4	3,2	200,0025	200,0019	200,0012	200,0014
13:30	-10,7	-11,8	-11,2	199,9978	199,9985	199,9986	199,9986
14:10	-7,0	-3,4	-4,2	200,0021	200,0033	200,0029	200,0028
14:30	-8,9	-5,6	-6,0	199,9997	200,0009	200,0005	200,0005
15:00	-6,4	-2,8	-3,6	199,9991	200,0002	199,9999	199,9998
15:20	-5,8	1,6	0,8	200,0004	200,0015	200,0008	200,0007

Tab. č. 5.8.8



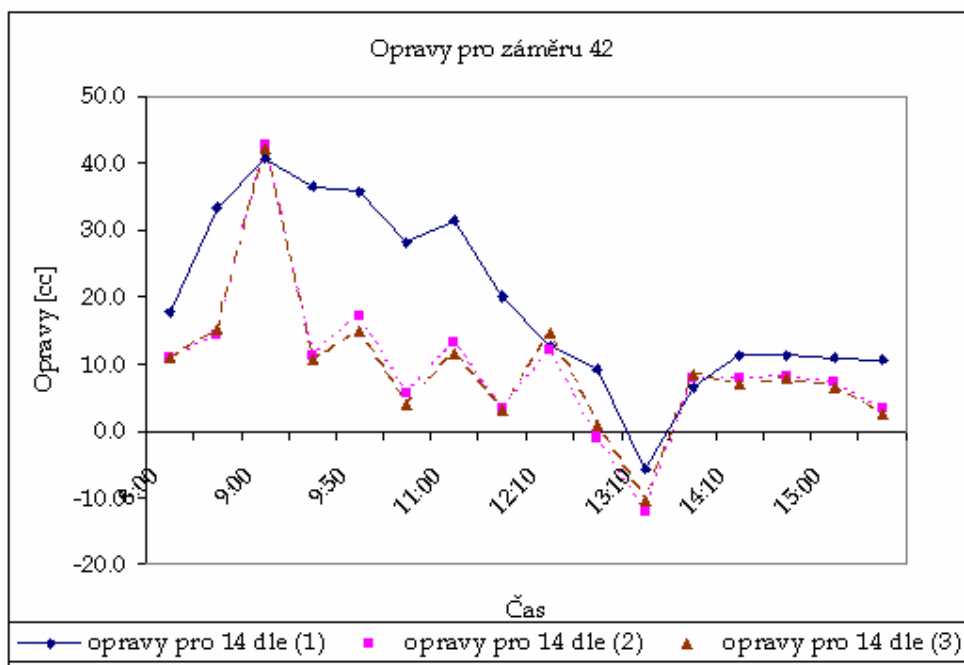
Graf č. 5.8.7

Trojúhelník 124

časy měření	Opravy pro 42 v [cc]			Součet trojúhelník 124 v [g]			
	opravy 42 dle (1)	opravy 42 dle (2)	opravy 42 dle (3)	bez oprav	s opravami dle (1)	s opravami dle (2)	s opravami dle (3)
8:00	17,7	10,9	10,8	200,0007	199,999	199,9997	199,9997
8:30	33,5	14,5	15,0	200,0021	199,9984	200,0003	200,0004
9:00	40,6	42,7	42,2	200,0021	199,9983	199,9981	199,9981
9:30	36,5	11,3	10,6	200,0007	199,9975	200,0000	199,9999
9:50	35,8	17,3	14,9	200,0017	199,9996	200,0015	200,0012
10:40	28,2	5,7	3,9	200,0001	199,9984	200,0007	200,0005
11:00	31,5	13,3	11,5	200,0003	199,9982	200,0001	199,9999
11:20	20,2	3,4	3,0	200,0006	199,9988	200,0005	200,0005
12:10	12,8	12,1	14,7	200,0037	200,0008	200,0009	200,0012
12:30	9,3	-1,0	0,9	199,9982	199,9961	199,9971	199,9973
13:10	-5,7	-12,2	-10,4	200,0014	200,0008	200,0015	200,0017
13:30	6,6	7,8	8,4	199,9998	199,9987	199,9986	199,9987
14:10	11,3	7,7	7,0	200,0010	200,0003	200,0007	200,0006
14:30	11,4	8,1	7,7	200,0052	200,0043	200,0047	200,0046
15:00	10,8	7,2	6,5	199,9987	199,9981	199,9984	199,9984
15:20	10,6	3,3	2,5	199,9993	199,9987	199,9995	199,9994

Tab č. 5.8.9

Hodnoty z této tabulky jsou znázorněny v grafu 5.8.8 a v P-5.8.2 v příloze na str. P-42. Zavedením oprav došlo v cca 70% případů k přiblížení k hodnotě 200 g.



Graf č. 5.8.8

Pro zjištění skutečného vlivu refrakce na záměru by bylo třeba zjistit index lomu vzduchu v každém bodě záměry, což není reálné. Znalost indexu lomu vzduchu by se dala přibližně nahradit znalostí teploty, tlaku a vlhkosti po celé délce záměry. Ale ani to není při měření v terénu realizovatelné. Z experimentu ale vyplývá, že i pouhým měřením teplot na konci, začátku a uprostřed záměry se dá zjistit oprava, jejímž zavedením dojde ve většině případů ke zlepšení. Ale jak je vidět z měření dne 13. 4. 2015, jsou i případy, kdy měření mohou zhoršit. Velice záleží na rozmístění čidel.

Součástí experimentu bylo i porovnávání měřených úhlů s úhly vypočtenými z měřených délek. Tyto úhly se dne 13.4. 2015 lišily o desítky vteřin, až o 40^{cc}, a dne 2. 7. 2015 se liší dokonce až o 60^{cc}. Zavedení oprav v drtivé většině případů přiblížilo měřené úhly úhlům vypočteným z délek. Výjimkou je den 5. 2. 2015, kdy zavedením oprav s použitím koeficientu K14 získaného z teplotního gradientu měřeného u vchodových dveří došlo ke zkreslení výsledků.

6. Zhodnocení výsledků

Pro zjišťování vlivu refrakce při nivelačním měření okolo a skrz knihovnu byla používána pro měření nepříznivá konfigurace, kdy na rozhraní vnitřního a vnějšího prostředí byl stroj. Podařilo se ukázat, že takovéto rozmístění je pro měření nevhodné, protože dochází k výzranému ovlivnění refrakcí. Extrémní hodnoty odchylek mezi měřením skrz knihovnu a okolo knihovny dosahovaly řádu milimetrů. Zavedením oprav vypočtených z teplotních gradientů se výsledky zpřesní. Avšak je důležité správné rozmístění teplotních čidel a také jejich vyšší počet. Ukázalo se, že tři teplotní profily v našem případě, kdy byly mezi vnitřním a vnějším prostředím dvoje dveře, není úplně dostačující, nepostihnou základní vlivy prostředí. Zatímco při měření se 6-ti teplotními profily došlo, zavedením vypočtených oprav z teplotních gradientů, ve všech případech k přiblížení hodnotám nivelovaným okolo knihovny, v případě tří teplotních profilů došlo zavedením vypočtených oprav ke zhoršení výsledků a to i ve více než třetině případů.

U rozmístění 6-ti teplotních profilů se také ukázala problematika zavedení vah, kdy při zavedení vah dle vzdálenosti došlo v některých případech ke zhoršení výsledků.

Při zjišťování vlivu horizontální refrakce u měření podél Masarykovy koleje se ukázalo, že zavedení oprav vypočtených z teplotních gradientů z měření teplot na počátečním i koncovém bodě dokáže vliv horizontální refrakce z větší části odstranit. Při experimentu se zjišťoval i teplotní gradient přibližně uprostřed záměry podél budovy, v místě kde je vchod do budovy. Avšak k zavedení tohoto gradientu do výpočtu bylo třeba zvolit vhodnou váhu, protože okolí vstupu má jiné teplotní vlastnosti než zbytek záměry (v závislosti na množství vstupujících do budovy), avšak má jen lokální působení. Pokud se teplotní gradient u vstupu do budovy zavede do výpočtu s obdobnou vahou jako teplotní gradienty zjištěné na koncích záměry, tak dojde ke zkreslení výsledků, protože se ve výpočtu předpokládá platnost jeho hodnoty na přibližně třetině dráhy paprsku, avšak jeho hodnota je platná pouze v řádu jednotek metrů – pouze v okolí vstupních dveří.

Extrémní hodnoty, o kolik se lišily úhly měřené s úhly vypočtenými z měřených délek byly v řádu desítek vteřin. Zavedení oprav vypočtených z teplotních gradientů v drtivé většině případů přiblížilo měřené úhly úhlům vypočteným z délek.

7. Použitá literatura:

[1] Blažek, Radim a Zdeněk Skořepa: Geodézie 30 – Výškopis, Praha, ČVUT 1999, ISBN 80-01-01598-X

[2] Blažek, Radim a Zdeněk Skořepa: Sledování velikosti a časových změn vlivu refrakce při geodetických měřeních, Geodetický a kartografický obzor, 47(89), 2001, č.2, ISSN 0016-7096

[3] Böhm, J., L. Hora a E. Kolenatý: Vyšší geodézie – díl 1, Praha, ČVUT 1982

[4] Buckem, B., P. Flach, A. Weiss a M. Hennes: Refraction influence analysis and investigations on automated elimination of refraction effects on geodetic measurements, XVI Imeko World Congress, Vienna 2000

<<http://www.geometh-data.ethz.ch/downloads/imeko.prn.pdf>>

[5] Dušek Radek a Zdeněk Skořepa,: Národní technická knihovna z pohledu superelipsy, Geodetický a kartografický obzor, ročník 58/100, 2012, číslo 3, , ISSN 0016-7096

[6] Flach, Philipp, Analysis of refraction influences in geodesy using image processing und turbulence models, disertační práce, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich 2000,

<<http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:23778/eth-23778-02.pdf>>

[7] Hauf, Miroslav a kol.: Geodézie – Technický průvodce 42, Praha, SNTL 1989, ISBN 80-03-00142-0

[8] Hradilek, Ludvík: Vysokohorská geodézie, Praha, Academia 1984

[9] Lipták, Miroslav a Štefan Sokol: Možnosti eliminácie vplyvu vertikálnem refrakcie při trigonometrických meraniach prevýšení, Geodetický a Kartografický obzor, 54(96), 2008, č. 11, ISSN 0016-7096

[10] Malachovský, Radim: Experimentální ověření Sanchezovy metody, diplomová práce, ČVUT, Praha 2004

[11] Mikš Antonín a Jiří Pospíšil: Počítačová simulace vlivu atmosféry na geodetická měření, Stavební obzor, 1997, č. 2, ISSN 1210-4027

[12] Pelikán, Miloš: Refraction Anomaly, Technical papers ČVUT, Praha 1984

[13] Pelikán, Miloš: Refrakční vliv při měření v bodovém poli, Nové předpisy a technologie v dopravní geodézii, Kurs 1988 – NADAS, Praha 1988

- [14] Pelikán Miloš, aproximace refrakční křivky hyperbolou, Acta Polytechnica – Práce ČVUT v Praze, vědecká konference 1982, ISSN 0322-7510
- [15] Pospíšil, Jiří: Sledování mikroklimatu v blízkosti stavebního objektu, Stavební Obzor, 6, 1997, č. 2, ISSN 1210-4027
- [16] Pospíšil, Jiří: Vliv atmosféry na šíření laserového záření při metodě záměrné přímky, Geodetický a Kartografický obzor 26(68), 1980, č. 1, ISSN 0016-7096
- [17] Sirůčková, Hana: Možnosti určení vlivu refrakce při terestrických měřeních, diplomová práce, Praha, ČVUT 2005
- [18] Sokol Štefan a Ján Ježko: Možnosti eliminácie vplyvu refrakcie na trigonometrické meranie výšok, Acta Montanistica Slovaca, číslo 2, Ročník 10 (2005), ISSN 1335-1788
- [19] Štroner Martin a Jiří Pospíšil: Modelování vlivu atmosféry na geodetická měření při požární zkoušce v Mokrsku, Stavební obzor, 2009, č. 2, ISSN 1210-4027
- [20] Turowski, Roman: Přesnost trigonometrického měření výškových rozdílů s ohledem na prostředí, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, disertační práce, Ostrava 2007
- [21] Vyskočil, Pavel: Studium možností snížení vlivu mikroklimatu na nivelační měření, kandidátská disertační práce, ČVUT Praha 1966
- [22] Vyskočil, Pavel : Refraction in levelling, Sborník výzkumných prací VÚGTK, svazek 14 (1982)
- [23] Vyskočil, Pavel,: Studium možností snížení vlivu mikroklimatu na nivelační měření, kandidátská disertační práce, ČVUT Praha 1966
- [24] Wilhelm W., Matthias H.J.: Empirische Bestimmung der Seitenrefraktion an 9 Objekten in der Praxis, X. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung, München, 12.-17. September 1988.
- [25] Witte, B., D. Deußen a N. Casott: Současné metody pro určení geodetické refrakce při pozemních přesných měřeních, Geodetický a kartografický obzor, 46(88), 2000 č. 1, ISSN 0016-7096