

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA SPECIÁLNÍ GEODÉZIE

Studijní program: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

Studijní obor: GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vliv atmosférických podmínek na stabilitu stativu

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Braun, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Nejman Jméno: Stanislav Osobní číslo: 439271

Zadávací katedra: K154 - Speciální geodézie

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie a kartografie

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vliv atmosférických podmínek na stabilitu stativu

Název diplomové práce anglicky: Influence of Atmospheric Conditions on the Tripod Stability

Pokyny pro vypracování:

Na základě kontinuálního měření deformací vyhodnoťte stabilitu stativu na stanovisku a zhodnoťte možný vliv atmosférických podmínek na stabilitu. Navrhněte experimentální postup pro určování deformací stativu vlivem vnějších podmínek (teplota, oslunění). Pro experiment využijte různé druhy stativů (dřevěné, hliníkové). Ověřte přesnost vodorovných směrů při použití automatického cílení referenčního přístroje dle normy ČSN ISO 17123-3.

Seznam doporučené literatury:

[1] Hampacher, M. - Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 2. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ČVUT v Praze, 2015. 336 s. ISBN 978-80-01-05843-5.

[2] ČSN ISO 17123-3: Optika a optické přístroje - Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů - Část 3: Teodolity. Český normalizační institut, Praha, 2005.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jaroslav Braun, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 20.2.2019

Termín odevzdání diplomové práce: 19.5.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

20.2.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Vliv atmosférických podmínek na stabilitu stavu“ jsem vypracoval samostatně, pouze s odbornou konzultací vedoucího práce Ing. Jaroslava Brauna, Ph.D. Veškerá použitá literatura a jiné podkladové materiály jsou uvedeny v seznamu literatury.

V Chrastavě, dne 19. 5. 2019

.....
Bc. Stanislav Nejman

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych velice poděkovat panu Ing. Jaroslavu Braunovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a konzultace při tvorbě mé diplomové práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině, která mi byla po celou dobu studia oporou.

ABSTRAKT

Tématem diplomové práce je zkoumání vlivu atmosférických podmínek na stabilitu stativu, se zaměřením na teplotní působení Slunce nebo umělého zdroje. Práce se zabývá tím, zdali dochází k posunu (pohybu) stativu vlivem teploty či nikoliv.

V části diplomové práce je na základě dlouhodobého kontinuálního měření deformací vyhodnocena stabilita stativu na stanovisku a provedeno zhodnocení možného vlivu atmosférických podmínek.

Dále jsou součástí diplomové práce experimentální postupy navržené pro určování vlivu teploty na stability stativu. V rámci experimentů jsou testovány 3 různé stativy. Součástí diplomové práce je i ověření přesnosti měření vodorovných směrů referenčního přístroje použitého při testech dle normy ČSN ISO 17123-3.

KLÍČOVÁ SLOVA

stativ, vliv teploty, teplotní roztažnost, vodorovný směr, vodorovný úhel, posun, stabilita stativu, monitoring

ABSTRACT

The topic of the thesis is the investigation of the influence of atmospheric conditions on the stability of the tripod, focusing on the thermal effects of the Sun or artificial source. The thesis deals with whether the tripod is moving or not due to temperature.

In the part of the diploma thesis, the stability of the tripod is evaluated on the basis of long-term continuous deformation measurement and the possible influence of atmospheric conditions is evaluated.

Furthermore, the thesis includes experimental procedures designed to determine the influence of temperature on the stability of a tripod. Three different tripods are tested in the experiments. Part of the thesis is also verification of the accuracy of the measuring horizontal directions of the reference instrument used in the measurement according to standard ČSN ISO 17123-3.

KEYWORDS

tripod, temperature influence, thermal expansion, horizontal direction, horizontal angle, shift, tripod stability, monitoring

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ČSN – Česká státní norma

ISO – International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)

Obsah

1. ÚVOD.....	10
2. TEORIE	12
2.1. Přístrojové chyby s vlivem na měření vodorovných směrů.....	12
2.2. Teorie prostupu tepla materiálem	14
2.2.1. Hustota tepelného toku konstrukcí, tepelný odpor a součinitel prostupu tepla	14
2.2.2. Rozložení teploty v konstrukci	17
2.3. Teplotní délková roztažnost materiálu.....	19
2.4. Teorie refrakce.....	20
2.5. Metodika testování úhlové přesnosti dle normy ČSN ISO 17123-3	22
3. PŘÍSTROJE A POMŮCKY	24
3.1. Totální stanice Leica MS60	24
3.1.1. Parametry přístroje	25
3.2. Pomůcky při testování	26
3.2.1. Testované stativy	26
3.2.2. Odrazné hranoly a optické centrovače.....	29
4. EXPERIMENTY	30
4.1. Dlouhodobý monitoring bodů.....	30
4.2. Určení experimentální směrodatné odchylky vodorovného směru přístroje Leica MS60	33
4.2.1. Lokalita	33
4.2.2. Výsledky	35
4.3. Určení stability stativů vlivem teplotního působení Slunce v reálném prostředí – úhlovým měřením	37
4.3.1. Výsledky experimentu	40
4.4. Určení stability stativů vlivem teplotního působení Slunce v reálném prostředí – měřením náklonů	43
4.4.1. Výsledky experimentu	45
4.5. Určení stability stativů vlivem teplotního působení umělého zdroje v laboratorních podmínkách – úhlovým měřením a měřením náklonů	49
4.5.1. První laboratorní testování.....	49
4.5.2. Druhé laboratorní testování	54
4.5.3. Výsledky laboratorních testování	54
5. ZÁVĚR.....	58
SEZNAM LITERATURY	60
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	62

SEZNAM TABULEK	63
SEZNAM PŘÍLOH.....	64

1. ÚVOD

Studiem různých vlivů na měření a chyby měření se zabývalo již velké množství autorů. Známá je teorie chyb, vyrovnávací počet a rozbor přesnosti. Velký důraz byl kladen i na vlivy refrakce a obecně atmosféry na měření, ať se jedná o vodorovné nebo svislé úhly či měřené délky. Zkoumány byly zejména vlivy na optický paprsek či na laserový paprsek [1].

Ale zatím nikdo se nejspíše nijak podrobněji nezabýval teplotním působením Slunce ve venkovním prostředí či působením umělého zdroje tepla v interiérech. V odborné literatuře, publikacích pro výuku, odborných člancích je jen obšrná poznámka autorů o tom, že je doporučeno používat slunečník či jinak chránit přístroj a stativ před slunečními paprsky při měření [2]. Zmiňovány jsou i pilíře s nucenou centrací u přehrad, které byly v minulosti obedňovány dřevem, kvůli minimalizaci teplotního působení [2].

Nikde však není zmíněna, ani alespoň orientační hodnota chyby, která nastane při zvýšení či snížení teploty působící na stativ.

Vliv atmosférických podmínek na stabilitu stativu je v celku obsáhlé téma, přičemž tato práce se zabývá pouze teplotními vlivy, ale vlivů ovlivňujících stabilitu stativu je více. Mezi další za úvahu stojící vlivy patří určitě vítr. Také druh a vlastnosti povrchu, na kterém stojí stativ, ať už je to třeba beton, asphalt (jehož reakce na teplo je zřejmá), nebo půda. Půda na jaře, ráno ještě zmrzlá, ale v průběhu dne měkne, či měření v zimě s umístěním stativu do sněhu nebo na led, dále podmáčená půda nebo stativ postavený v korytě potoka či v písku způsobují nestabilitu při měření. Dalším podstatným vlivem jsou jistě otřesy, které způsobují ku příkladu na stavbách těžké stavební stroje, ať už projížděním okolo stativů, tak i v rámci jejich činnosti, či v halách průmyslové stroje a turbíny.

V práci autorů z Polska se píše [3]: ...působení teploty na přístroj, jeho optické části, materiály a konstrukci má vliv, a největší vliv nastává v prvních 15 minutách, a tedy je doporučeno až po uplynutí této doby zahájit měření.

Hlavním důvodem výběru tématu byl zájem autora o objasnění vlivu teplotního působení na stativ a zejména zdali toto působení je významné či nikoliv. Motivací byl dlouhodobý



monitoring stavebního objektu, během něhož vznikaly posuny, které ale byly způsobeny zřejmě vlivem oslunění. Na základě tohoto zjištění byly navrženy testy pro určení velikosti deformace stativu vlivem změn teploty. V práci je popsána teorie vzniku chyb na měření a teplotního působení, dále jsou představeny výsledky dlouhodobého měření a odhady vlivu Slunce na stativ a poté jsou realizovány experimenty, které mají za cíl určit samotnou velikost vlivu změny teploty na stativ.

2. TEORIE

Následující kapitola obsahuje přehled hlavních zdrojů chyb s vlivem na měření. Dále je uvedena problematika prostupu tepla materiálem, teplotní délková roztažnost materiálu a také metodika testování úhlové přesnosti dle normy ČSN ISO 17123-3.

2.1. Přístrojové chyby s vlivem na měření vodorovných směrů

Pro správné měření vodorovných a zenitových úhlů by měl teodolit splňovat následující osově podmínky [4]:

- osa alhidádové libely má být kolmá na vertikální osu alhidády $L \perp V$ (není-li podmínka splněna, jedná se o nesprávnou horizontaci přístroje),
- záměrná osa (přímka) má být kolmá na točnou (klopnou) osu dalekohledu $Z \perp H$ (není-li podmínka splněna, jedná se o tzv. chybu kolimační),
- točná osa dalekohledu má být kolmá na vertikální osu alhidády $H \perp V$ (není-li podmínka splněna, jedná se o tzv. chybu úklonnou).

Chyba z nepevného postavení teodolitu [4]

Přesnost měření zejména vodorovných směrů je závislá na pevném postavení přístroje nad stanoviskem po celou dobu měření. Proto je nutno při přípravě teodolitu k měření pevně zašlápnout nohy stativu do terénu, přezkoušet pevnost hlavy stativu vůči jeho nohám a případnou vůli odstranit dotažením příslušných šroubů, překontrolovat pevnost ocelových špiček noh stativu a případnou vůli opět odstranit dotažením odpovídajících šroubů a konečně ověřit dostatečné ale citlivé utážení upínacího šroubu, spojujícího teodolit s hlavou stativu. (Poznámka: Přílišné utážení upínacího šroubu může nepříznivě omezit funkci stavěcích šroubů trojnožky teodolitu a znesnadnit urovnávání přístroje).

Pevnost postavení stativu může být narušena též neopatrným přecházením měřiče či zapisovatele v blízkosti noh stativu, a to zvláště v případě nestabilního (podmáčeného či promrzlého a postupně povolujícího) terénu. Velmi nepříznivě může ovlivnit výsledky



měření kroucení či natáčení stativu vlivem jednostranně zahřívání stativu slunečními paprsky. Kroucení stativu se přenáší na vodorovný kruh teodolitu a ovlivňuje přesnost výsledků, podobně jako nestejně ohřívání jednotlivých částí přístroje sluncem. Proto je nutno při vyšších požadavcích na přesnost měřených vodorovných směrů chránit teodolit i stativ před vlivem slunečních paprsků měřickým slunečníkem a omezit měření na co nejkratší dobu, tedy měřit pečlivě, ale dostatečně rychle.

Chyba z nesprávné horizontace přístroje [5]

Při nesprávném urovnání přístroje je osa alhidády odchýlena od svislice o úhel ν , o který je odkloněna i rovina limbu od vodorovné roviny (rovina limbu je kolmá k ose alhidády). Protože $H \nparallel V$, poruší se také vodorovnost točné osy. Vliv chybné horizontace přístroje na měřený vodorovný směr je stejný jako vliv chyby alhidádové libely (chyba z nesprávné horizontace se rovněž nedá vyloučit měřením ve dvou polohách dalekohledu), tedy:

$$\Delta_{\nu} = \nu * \cotg z * \sin \alpha.$$

Vliv nesprávné horizontace na měřený úhel je opět stejný jako vliv chyby alhidádové libely, tedy:

$$\Delta_{\nu\omega} = \Delta_{\nu 2} - \Delta_{\nu 1} = \nu * (\cotg z_2 * \sin \alpha_2 - \cotg z_1 * \sin \alpha_1).$$

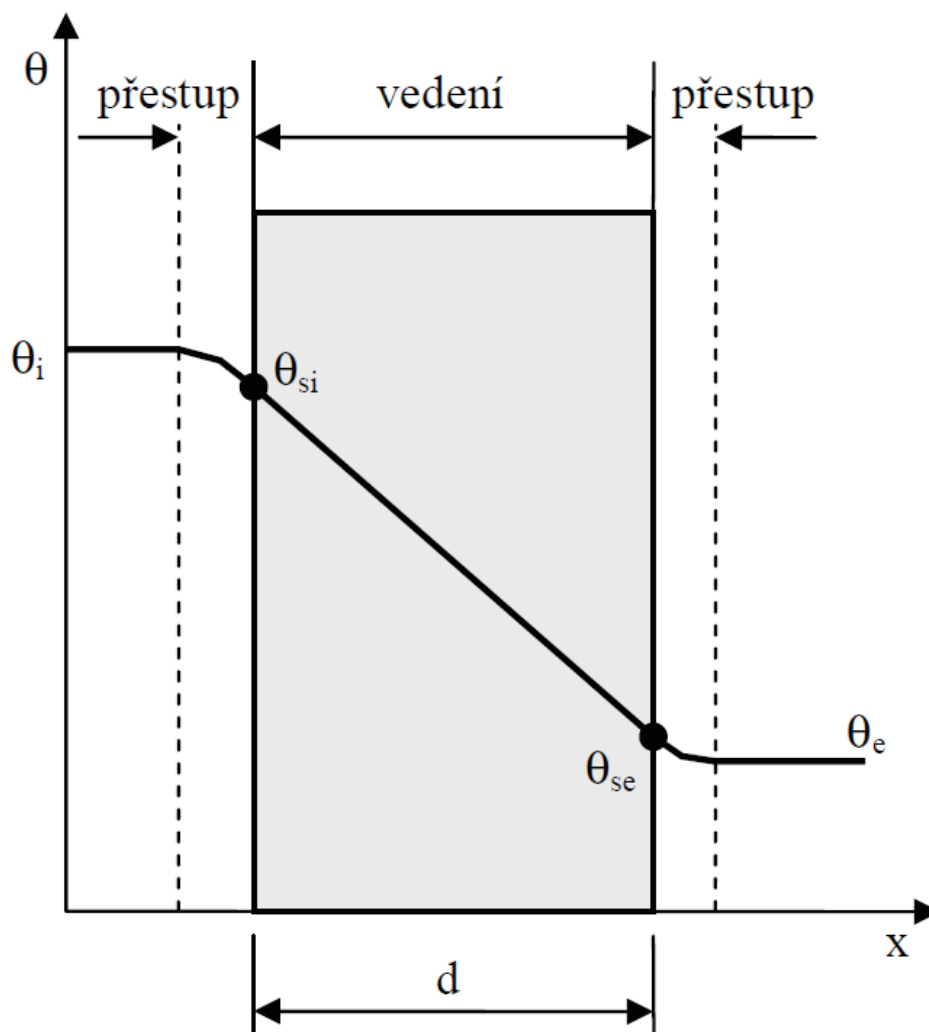
- Kde ν je úhel odklonu osy alhidády od svislice,
 α je úhel, který svírá záměrná rovina s rovinou, v níž došlo k odklonu osy alhidády,
 z je zenitový úhel záměry.

2.2. Teorie prostupu tepla materiálem

Převzato z [7]:

2.2.1. Hustota tepelného toku konstrukcí, tepelný odpor a součinitel prostupu tepla

Prostup tepla konstrukcí standardně zahrnuje jednak šíření tepla vedením samotnou konstrukcí (resp. šíření tepla vedením, sáláním a prouděním v nevětraných vzduchových dutinách v konstrukci) a jednak dvojí přestup tepla mezi povrchem konstrukce a okolním vzduchem.



Obr. 1 - Průběh teploty v jednovrstvé konstrukci s vyznačením přestupu a vedení tepla [7]



Na vnitřním i vnějším povrchu konstrukce dochází k přestupu tepla prouděním a sáláním.

Pro vnitřní povrch lze hustotu tepelného toku prouděním a sáláním vyjádřit jako:

$$q_{si} = h_{si}(\theta_i - \theta_{si}) \quad [W / m^2],$$

kde h_{si} je součinitel přestupu tepla na vnitřním povrchu konstrukce ve $[W / (m^2 \cdot K)]$,

θ_i teplota vnitřního vzduchu ve $[^\circ\text{C}]$,

θ_{si} teplota vnitřního povrchu konstrukce ve $[^\circ\text{C}]$.

Pro hustotu tepelného toku na vnějším povrchu se použije analogický vztah:

$$q_{se} = h_{se}(\theta_{se} - \theta_e) \quad [W / m^2],$$

kde h_{se} je součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu konstrukce ve $[W / (m^2 \cdot K)]$,

θ_e teplota vnějšího vzduchu ve $[^\circ\text{C}]$,

θ_{se} teplota vnějšího povrchu konstrukce ve $[^\circ\text{C}]$.

Hustotu tepelného toku vedením uvnitř konstrukce lze vyjádřit vztahem:

$$q_{cd} = \frac{\lambda}{d}(\theta_{si} - \theta_{se}) \quad [W / m^2],$$

kde λ součinitel tepelné vodivosti vrstvy konstrukce ve $W / (m \cdot K)$,

který platí v této formě pro jednovrstvou konstrukci.

V ustáleném stavu je hustota tepelného toku ve všech místech konstrukce (tedy i na jejím povrchu) shodná. Platí tedy

$$q_{cd} = q_{si} = q_{se} \quad [W / m^2].$$



Do vztahu lze proto dosadit vyjádření povrchových teplot ze vztahů předchozích a získat vyjádření hustoty tepelného toku konstrukcí ve tvaru:

$$q_{cd} = \frac{\theta_i - \theta_e}{\frac{1}{h_{si}} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_{se}}} \quad [W / m^2].$$

Obrácené hodnoty součinitelů přestupu tepla se obvykle nahrazují tepelnými odpory při přestupu tepla na vnitřním a na vnějším povrchu konstrukce:

$$R_{si} = \frac{1}{h_{si}} \quad [m^2 \cdot K / W],$$

$$R_{se} = \frac{1}{h_{se}} \quad [m^2 \cdot K / W],$$

a vztah pak přechází do tvaru

$$q = \frac{\theta_i - \theta_e}{R_{si} + \frac{d}{\lambda} + R_{se}} \quad [W / m^2],$$

kde d je tloušťka vrstvy konstrukce v [m],

λ součinitel tepelné vodivosti vrstvy konstrukce ve [W/(m.K)].

Tepelné odpory při přestupu tepla R_{si} a R_{se} se v technické praxi uvažují smluvními hodnotami. Pro odpor při přestupu tepla na vnitřním povrchu R_{si} se používají hodnoty 0,13 W/(m².K) pro vodorovný tepelný tok; 0,10 W/(m².K) pro tepelný tok vzhůru a 0,17 W/(m².K) pro tepelný tok dolů. Pro odpor při přestupu tepla na vnějším povrchu R_{se} se používají hodnoty 0,04 W/(m².K) pro povrchy v kontaktu s venkovním vzduchem; 0,13 W/(m².K) pro povrchy uvnitř větrané dutiny ve dvouplášťových stěnách; 0,10 W/(m².K) pro povrchy uvnitř větrané dutiny ve dvouplášťových střeších a 0,0 W/(m².K) pro povrchy v kontaktu se zeminou.

Podíl tloušťky a součinitele tepelné vodivosti definuje tepelný odpor konstrukce, který lze pro obecně vícevrstvou konstrukci vyjádřit jako:

$$R = \sum \frac{d}{\lambda} \quad [m^2K/W],$$

kde d je tloušťka vrstvy konstrukce v [m],

λ součinitel tepelné vodivosti vrstvy konstrukce ve [W/(m.K)].

Součet tepelného odporu a tepelných odporů při přestupu tepla se označuje jako tepelný odpor při prostupu tepla:

$$R = R_{si} + R + R_{se} \quad [m^2K/W].$$

Jeho obrácená hodnota vyjadřuje základní tepelně technický parametr stavební konstrukce – součinitel prostupu tepla, pro který se standardně používá vztah

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad [W/(m^2K)].$$

Dosadíme-li odvozené veličiny můžeme hustotu tepelného toku konstrukcí vyjádřit také jako

$$q = \frac{\theta_i - \theta_e}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{\theta_i - \theta_e}{R_T} = U \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad [W/m^2].$$

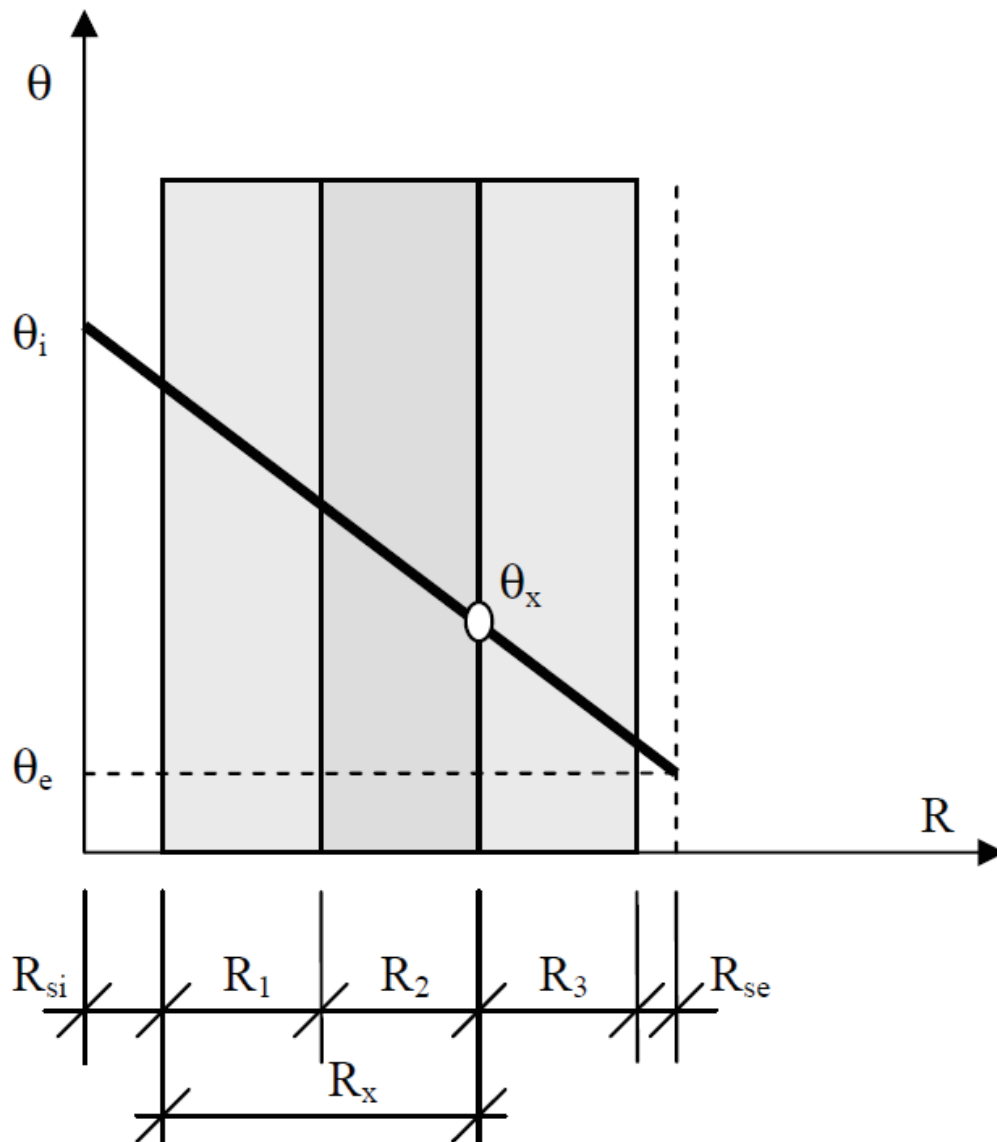
2.2.2. Rozložení teploty v konstrukci

Převzato z [7]:

Průběh teploty v konstrukci v ustáleném stavu lze stanovit buď graficky, nebo výpočtem. Grafická metoda vyžaduje vytvoření grafu, na jehož svislou osu se vynášejí teploty a na vodorovnou osu tepelné odpory jednotlivých vrstev konstrukce a tepelné odpory při přestupu tepla. Průběh teploty je reprezentován přímkou spojující známou teplotu

vnitřního vzduchu q_i a známou teplotu venkovního vzduchu q_e . Teplota v libovolném místě konstrukce se odečte přímo z grafu.

Pro analytické řešení se vyjde z již jednou použitého pravidla o shodné hustotě tepelného toku ve všech místech konstrukce. Hustota tepelného toku celou skladbou musí být tedy stejná jako hustota tepelného toku přes část konstrukce od interiéru k bodu x:



Obr. 2 - Grafické stanovení průběhu teploty v konstrukci o 3 vrstvách [8]

2.3. Teplotní délková roztažnost materiálu

Převzato z [6]:

Zvyšování teploty tělesa způsobuje zvyšování energie jeho molekul, a v konečném důsledku i zvětšení rozměrů tělesa. Teplotní roztažnost je charakterizována koeficientem teplotní roztažnosti α_l , který je definován podílem změny nového rozměru a rozměru původního při lineární závislosti na teplotě:

$$\alpha_i = \frac{l_T - l_0}{l_0 \Delta T},$$

kde: α_i - koeficient teplotní roztažnosti v i-směru [$mm^{-1}K^{-1}$],

l_0 - počáteční rozměr [m],

l_T - rozměr po změně teploty ΔT [m].

Koeficient teplotní roztažnosti α_i vyjadřuje změnu jednotkové délky materiálu při jeho ohřátí o 1°K.

Lineární rozměr tělesa při změně teploty o ΔT je možné vypočítat podle rovnice

$$l_T = l_0 + l_0 \alpha_i \Delta T = l_0 (1 + \alpha_i \Delta T).$$

kde: α_i - koeficient teplotní roztažnosti v i-směru [$mm^{-1}K^{-1}$],

l_0 - počáteční rozměr [m],

l_T - rozměr po změně teploty ΔT [m].

2.4. Teorie refrakce

Následující text je převzat z [8]:

Horizontální refrakce

Prostředí, jímž prochází světelné paprsky při měření úhlů, je nehomogenní: ve vzduchu, který má malou tepelnou vodivost, se teplo šíří od ohřátého zemského povrchu. Nad vodními plochami nebo nad lesy se vytvářejí nepravidelné kužely chladnějšího vzduchu; nad suchou neporostlou zemí, nad zrajícím obilím, nad skalami je vzduch teplejší. Hustota vzduchu poté závisí v prvé řadě na teplotě (chladnější vzduch je hustší), dále na tlaku, obsahu vodních par a jiných plynů. [8]

Při měření prochází světelný paprsek v různých výškách nad terénem prostředím různé hustoty, láme se a do dalekohledu vstupuje z jiného směru, než kdyby prostředí bylo naprosto homogenní. Odchylka paprsků ve směru vertikálním je poměrně značná a projevuje se při měření vertikálních úhlů. Podstatně menší, avšak nikoliv zanedbatelná je odchylka paprsku ve směru horizontálním; projevuje se jako horizontální refrakce (též příčná, boční či laterální). [8]

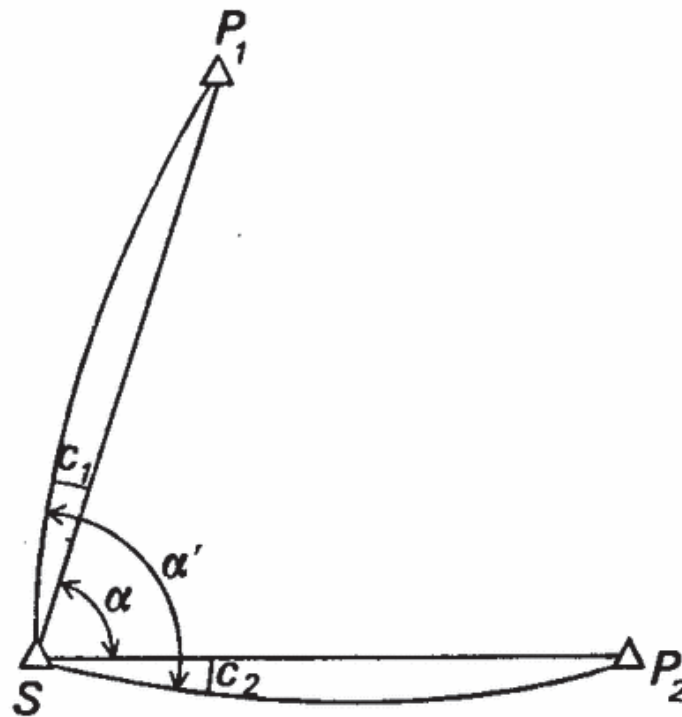
Refrakční chyba σ má složku systematickou c a složku proměnlivou γ [8]

$$\sigma = c + \gamma.$$

Systematická složka c v podstatě závisí na profilu pod záměrou, na jeho vlastnostech (vodní plochy, lesy apod.) a na klimatických poměrech v daném území. Má proto různou hodnotu pro jednotlivé směry na témže stanovisku a je také různá na různých bodech. Nelze ji vyloučit ani dlouhodobým měřením za různých atmosférických podmínek. [8]

Proměnlivá složka γ se mění mj. s denní dobou a se změnami atmosférických podmínek. Během jednoho měření úhlu (po krátkou dobu) působí chyba systematická; při měření v jiný den v jiné době a za jiných atmosférických podmínek může mít jinou hodnotu i znaménko – tím může nabýt charakteru náhodné chyby. Při dostatečném vystřídání podmínek bude její střední hodnota $E(\gamma) = 0$ a tedy střední hodnota refrakční chyby $E(\sigma) = c$. [8]

Střední chyba m měřeného směru (nebo úhlu) se skládá z měřické chyby μ a z chyby refrakční σ , tedy $m^2 = \mu^2 + \sigma^2$. Refrakční chyba se proto projevuje v uzávěrech trojúhelníků a má (rozhodující) nepříznivý vliv na přesnost sítí. [8]



Obr. 3 - Zobrazení vlivu refrakce na měřený vodorovný úhel [5]

Na obrázku (Obr. 3) je c_1 systematická složka refrakce v záměře na bod P_1 a c_2 v záměře na bod P_2 . V důsledku refrakce pak naměříme úhel α' namísto úhlu α , který bychom naměřili v homogenním prostředí. [5]

Studiem refrakce se zabývala řada autorů. Problém horizontální refrakce však stále není vyřešen. Výpočet refrakce vyžaduje (zvláště v členitém terénu) mnoho času, koeficienty v existujících vzorcích jsou empirické a nebudou vhodné pro jiné půdní, terénní a klimatické podmínky, než jsou ty, pro které byly určeny. [5]

Obvykle se tedy volí druhý způsob snížení vlivu refrakce. Opakovaná měření téhož úhlu se dělí do různých dnů (nejméně tři) s odlišnými atmosférickými podmínkami. Kombinuje se měření denní a noční. Nejvhodnější doba pro měření je asi 3–4 hodiny před západem Slunce a po něm: nejvhodnější podmínky jsou zatažená obloha, mírný vítr (při malých rozdílech denních a nočních teplot). Záměry mají vést nejméně 5 m nad terénem, nad porostem nebo objekty. Pilíř, na který se staví teodolit, musí být dostatečně vysoký,

aby všechny záměry byly nad přízemními vrstvami vzduchu, kde jsou nepříznivé refrakční podmínky. [5]

Ani uvedená opatření však refrakci zcela nevyloučí. [5]

Chyba z vibrace [5]

Vibrace způsobuje chvění cílové značky. Je způsobená turbulentním prouděním vzduchu. Teplejší přízemní vrstvy vzduchu jsou lehčí než nad nimi ležící vrstvy studenějšího vzduchu. Tím vzniká stálé stoupání teplých vrstev – vlnění, vibrace. Typická je pro letní dny při teplotách větších než 25°C. Závisejí ale také na vlhkosti půdy a úpravě povrchu terénu (např. asfalt). Vibrace však není nebezpečná, protože je viditelná. Pokud je vlnění silné a stěžuje cílení, přestaneme měřit. [5]

2.5. Metodika testování úhlové přesnosti dle normy ČSN ISO 17123-3

Kromě výše uvedených zdrojů chyb se na přesnosti měření podílí samotný přístroj. Pro určení směrodatné odchylky měření existují různé testy a jedním z nich je test pro určení směrodatné odchylky měření vodorovných směrů a zenitových úhlů podle normy ČSN ISO 17123-3 [9].

Metodika kompletního testu poskytuje zjištění nejlepší dosažitelné přesnosti konkrétního přístroje a jeho vybavení v terénních podmínkách. Umožňuje stanovit experimentální směrodatnou odchylku vodorovného směru a zenitového úhlu měřeného ve dvou polohách dalekohledu. [9]

Tento test dle [9] umožňuje zjistit:

- a) Přesnost měření přístroje určenou jedním týmem se stejným vybavením za daný čas.
- b) Přesnost měření přístroje se stejným vybavením za libovolný čas
- c) Přesnost měření několika totálních stanic a porovnání dosažených přesností za stejných podmínek



Konfigurace testovacího pole

Testovací bodové pole při metodice kompletního testu by mělo obsahovat 5 pevných a jednoznačně identifikovatelných cílů. Tyto cíle by měli být rozprostřeny rovnoměrně ve všech směrech v přibližně stejné výškové rovině a ve vzdálenosti přibližně mezi 100 m - 250 m od stanoviska. [9]

Při metodice kompletního testu se měří $m = 4$ série. Každá série se měří v $n = 3$ skupinách a ve 2 polohách dalekohledu na všech $t = 5$ neměnných cílů. Každá série by se měla měřit v jiný čas a v jiných atmosférických podmínkách. Měření by nemělo probíhat za extrémních teplot nebo extrémního větru. Při každé sérii se musí dbát na přesnou centraci a horizontaci. Každá skupina se měří po směru hodinových ručiček v první poloze dalekohledu a ve druhé poloze v protisměru.[9]

3. PŘÍSTROJE A POMŮCKY

3.1. Totální stanice Leica MS60

Leica MS60 je přesná automatická totální stanice s integrovaným 3D laserovým skenerem a také s unikátním samo-učícím se systémem sledování hranolu ATRplus a tichými rychlými piezo-motory. Může být používána samostatně nebo jako součást one-man systému, příp. doplněného GNSS senzorem. [10]



Obr.4 - Leica MS60 [10]



3.1.1. Parametry přístroje

Převzato z [11]:

- Úhlová přesnost 1"/0,3 mgon
- Měření délek na hranol do 10 000 m, 1 mm + 1,5 ppm
- Měření délek bez hranolu do 2 000 m, 2 mm + 2 ppm
- 3D laserový skener s rychlostí 1000 b/s a etalonovou přesností
- 2x velký širokoúhlý WVGA 5" displej, podsvícená numerická klávesnice pro obě polohy dalekohledu.
- Polní software Leica Captivate
- Dvě kamery přehledová a dalekohledová pro asistenci při měření, dokumentaci a průřezovou fotogrammetrii
- Tiché a rychlé piezo-motory
- Kompatibilní s kontrolérem CS20 Captivate a polním tabletem CS35

Lepší volbou pro přesná měření (inženýrskou geodézii) je model TS60, ve kterém není implementován laserový skener a má o polovinu lepší úhlovou přesnost, ale pro měření, která jsou obsahem této diplomové práce, je model MS60 (výrobní číslo: 885017) více než dostačující.

3.2. Pomůcky při testování

3.2.1. Testované stativy

Sokkisha – těžký dřevěný stativ

Vyroběn ze severoamerického javoru s kovovými součásti (bez plastu). Panty se jednoduše nastavují a mají trvanlivé nylonové průchodky pro hladký chod. Nohy stativu mají velké patky z kalené oceli s vyměnitelnými hroty. Má zářivě žlutý povrch a držadlo na přenášení. [12]

Stativ se zejména používá k přesným měřením v inženýrské geodézii, ale lze ho využít také při laserovém skenování a v dalších geodetických aplikacích. Pro experimenty vybrán jako zástupce těžkého stativu a také z důvodu jeho používání Katedrou speciální geodézie ČVUT v Praze pro přesná měření.

Základní parametry:

tloušťka nohy	$d = 0.02455 \text{ [m]} = 24.55 \text{ [mm]},$
koeficient teplotní délkové roztažnosti	$\alpha = 4.2 * 10^{-6} \quad \text{[K}^{-1}\text{]},$
součinitel tepelné vodivosti materiálu	$\lambda = 0.13 \quad \text{[W/m.K].}$



Obr. 5 - Těžký dřevěný stativ Sokkisha [12]

Leica GST120-9 – těžký dřevěný stativ

Tento stativ je vzhledem ke své stabilitě a odolnosti doporučen pro přesné totální stanice i nivelační přístroje. Má nohy vyrobené z vyschlého bukového dřeva, které jsou opatřeny speciálním nátěrem a fixovány šrouby. Všechny součásti stativu jsou provedeny v nejvyšší kvalitě a výrobce zaručuje vysokou torzní tuhost (1"), maximální výškovou stabilitu (0,02 mm) a minimální horizontální unášení (2" za 3 hodiny). [13]

Stativ se zejména používá k měřením v inženýrské geodézii, ale lze ho využít také při laserovém skenování a v dalších geodetických aplikacích. Pro experimenty vybrán jako zástupce kvalitního těžkého/středního stativu a také z důvodu jeho rozšířenosti mezi uživateli v praxi.

Základní parametry:

tloušťka nohy $d = 0.02385 \text{ [m]} = 23.85 \text{ [mm]}$,

koeficient teplotní délkové roztažnosti $\alpha = 4.9 \cdot 10^{-6} \text{ [K}^{-1}\text{]}$,

součinitel tepelné vodivosti materiálu $\lambda = 0.15 \text{ [W/m.K]}$.



Obr. 6 - Těžký dřevěný stativ Leica GST120-9 [13]

Sokkia – hliníkový

Lehký hliníkový stativ Sokkia o hmotnosti 3.6 kg, stříbrný se zelenými částmi a povrchovou úpravou pro zvýšení odolnosti. Dodává se s praktickým olověným hákem a ramenním popruhem pro snazší přenášení. K pevnému držení nohou na místě jsou určeny pevné rychloupínací svorky. [14]

Stativ se zejména používá k nivelačním měřením, kvůli své subtilní konstrukci ho lze využít při laserovém skenování, ale pouze pro lehčí typy laserových skenerů. Pro experimenty vybrán jako zástupce lehkého hliníkového stativu.

Základní parametry:

tloušťka nohy	$d = 0.02420 \text{ [m]} = 24.20 \text{ [mm]},$
koeficient teplotní délkové roztažnosti	$\alpha = 22.2 * 10^{-6} \quad \text{[K}^{-1}\text{]},$
součinitel tepelné vodivosti materiálu	$\lambda = 204 \quad \text{[W/m. K]}.$



Obr. 7 - Lehký hliníkový stativ Sokkia [14]

3.2.2. Odrazné hranoly a optické centrovače

Z důvodu vyšší přesnosti byly pro veškerá měření použity mini hranoly Leica GMP101 a optický centrovač Leica GZR3 s velmi citlivou trubicovou libelou.



Obr. 8 - Mini hranol Leica GMP101 [15]



Obr. 9 - Optický centrovač Leica GZR3 [15]

4. EXPERIMENTY

4.1. Dlouhodobý monitoring bodů

Částí této diplomové práce je zpracování velkého množství dat z monitoringu podrobných bodů, u kterých byl předpoklad, že by u nich mělo dojít k posunům. Při měření ale bylo zjištěno, že sice posuny z dat vycházejí, ale ve skutečnosti k pohybu bodů nedošlo. Jedinou možností bylo tedy určit jako původce posunů pohyb stanoviště, a tedy stativu s přístrojem.

Kontinuální měření bylo prováděno z volného stanoviště automaticky pomocí totální stanice Leica TS16 ovládané přes sériový port propojený s notebookem se speciálním programem. Samozřejmostí bylo nastavení automatického docilování.

Pro zpracování byly vybrány 4 sady měření. Každá sada obsahuje měření za celý den tedy přibližně 8 hodin kontinuálního měření s periodou přibližně půl minuty. Dny pro analýzu byly vybrány takové, kdy bylo jisté, že bylo jasno a bezvětrí a velmi vysoké tropické teploty. Jeden den je rozdělen na dvě sady měření, a to z toho důvodu že došlo k přerušení měření a opětovné přípravě přístroje k měření a určení nových souřadnic volného stanoviště.

Pro analýzu byly vybrány určené souřadnice bodů přístrojem po 15 minutách a k nim souřadnicového rozdíly vůči souřadnicím vztažným zaměřeným v nulté etapě.

Možné vlivy způsobující výsledné zdánlivé posuny sledovaných bodů, mohly být vodorovná refrakce, vibrace vzduchu a tím ovlivnění měření délek a zenitových úhlů, nestabilita stativu vlivem teploty od Slunce a náklon stativu.

Z výsledných hodnot posunů a jejich směrů na každém sledovaném bodě bylo usouzeno, že jelikož na všech bodech byl směr posunů od Slunce, to znamená ve směru, ve kterém nemohlo za žádných okolností dojít k posunům bodů, a tedy z tohoto vyplývá, že muselo dojít k posunu, pohybu, narušení stability stativu na stanoviště.

Přehlednějším znázorněním problematiky je následující výkres (Obr. 30), zobrazující směr a velikost posunů na všech sledovaných bodech v každé vybrané etapě měření a zároveň je znázorněn směr (zeleně) ke stanoviště.



Označení sledovaných bodů je:

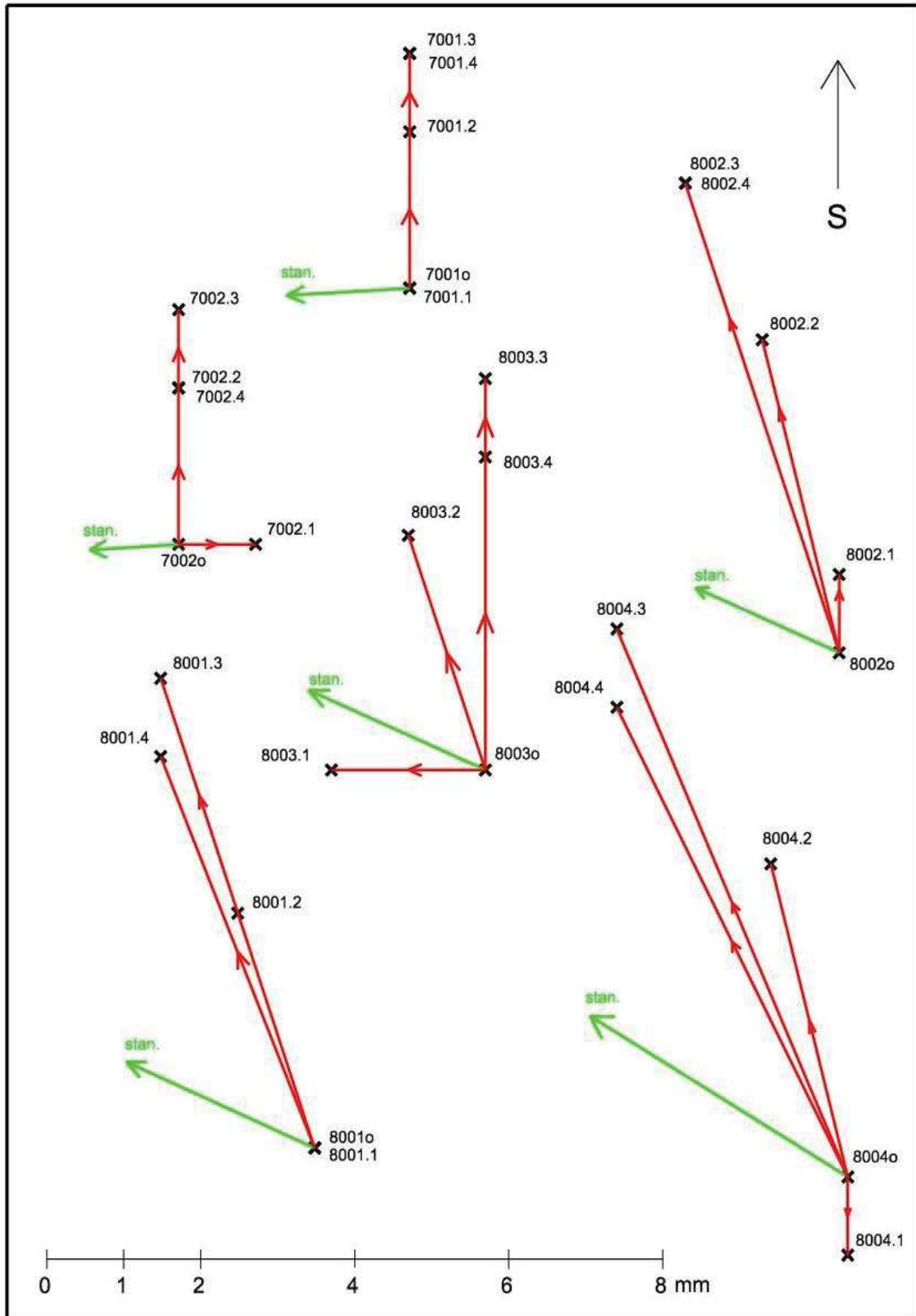
4001o – výchozí poloha bodu (základní etapa),

4001.1 – poloha daného bodu v 1. vybrané etapě měření daného dne,

a stejným způsobem jsou označeny i všechny ostatní podrobné body.

Na sledovaných bodech (4001, 4002, 4003, 4004, 7001, 7002) došlo k posunům o velikosti, v případě (Obr. 30) dne 1.8. 2018, až 8 mm na bodě 4004. Směr posunů bodů v jednotlivých etapách vůči poloze bodu v základní etapě, má zřejmou obecnou tendenci k severu, a tedy směr posunu bodů odpovídá směru působení a zdánlivému pohybu Slunce od východu na západ. Je i vidět, u prvních (dopoledních) etap, směrová tendence posunu severovýchodním směrem neboli ve směru působení dopoledních slunečních paprsků.

Výkresy se zobrazením směru a velikosti posunů na sledovaných bodech z dalších měřených dní jsou k nahlédnutí v Příloze č.1.



Obr. 10 - Zobrazení směru a velikosti posunů na sledovaných bodech dne 1.8. 2019

4.2. Určení experimentální směrodatné odchylky vodorovného směru přístroje Leica MS60

Cílem tohoto měření bylo ověřit, jestli přístroj použitý při experimentech svojí přesností měření vodorovného směru odpovídá přesnosti vodorovného směru udávané výrobcem, a tudíž zdali je možné přístroj a měřené hodnoty použít.

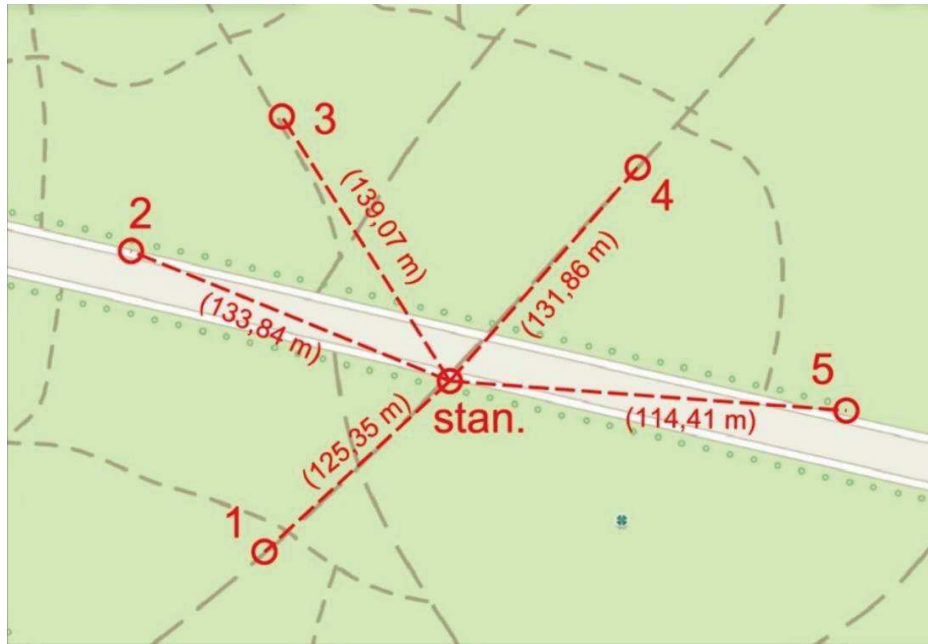
Byly provedeny dva kompletní testy dle [9], první

- a) měření skupin s automatickým ultra-jemným docilováním
- b) měření skupin s manuálním docilováním

Bylo zajištěno, aby všechny stativy včetně stanoviska byly umístěny ve stínu po celou dobu měření. Přístroj a pomůcky byly před měřením 20 minut temperovány v daných podmínkách. Dle [9] byly měřeny v obou kompletních testech 4 série po 3 skupinách, kdy mezi skupinami byla vždy pauza min. 10 minut. Mezi sériemi byla pauza 10 minut a mezi kompletními testy 15 minut.

4.2.1. Lokalita

Testování úhlové přesnosti přístroje Leica MS60 dle Normy ČSN ISO 17123-3 [9] probíhalo v oboře Hvězda v Praze Liboc, na hlavní cestě v blízkosti délkové základny (Obr. 11). Cíle byly dočasně stabilizovány stativy (cíle 1-4), signalizovány odraznými mini hranoly Leica GMP101 a mini-hranolem Leica v držáku (cíl 5).



Obr. 11 - Náskres lokality a konfigurace testovacího pole [16]



Obr. 12 - Leica MS60 na stanovisku v Oboře Hvězda



Obr. 13 - Cíl č.2

4.2.2. Výsledky

Výsledná experimentální směrodatnou odchylka vodorovného směru dle normy ČSN ISO 17123-3 (viz. Přílohy č.4 a č.5)

Tab. 1 - Výsledné hodnoty experimentální směrodatné odchylky vodorovného směru

manuální cílení [mgon]	automatické cílení [mgon]	výrobce [mgon]
0,26	0,28	0,30

Otázka a) chí kvadrát rozdělení

Nulová hypotéza předpokládá, že experimentální směrodatná odchylka s , určená z měření ve dvou polohách dalekohledu je menší, nebo rovna směrodatné odchylce σ , která je udávána výrobcem. Jestliže je následující podmínka splněna, přijmeme nulovou hypotézu [9]:

$$s \leq \sigma \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2(\nu)}{\nu}}$$

$$s \leq \sigma \sqrt{\frac{\chi_{0.95}^2(32)}{32}}$$

$$\chi_{0.95}^2(32) = 46.19$$

$$s \leq \sigma \sqrt{\frac{46.19}{32}}$$

$$s \leq \sigma * 1.20$$

Pro automatické cílení:

$$0.28 \leq 0.3 * 1.20$$

$$0.28 \leq 0.36$$

- podmínka je splněna a přijímáme nulovou hypotézu.

Pro manuální cílení:

$$0.26 \leq 0.3 * 1.20$$

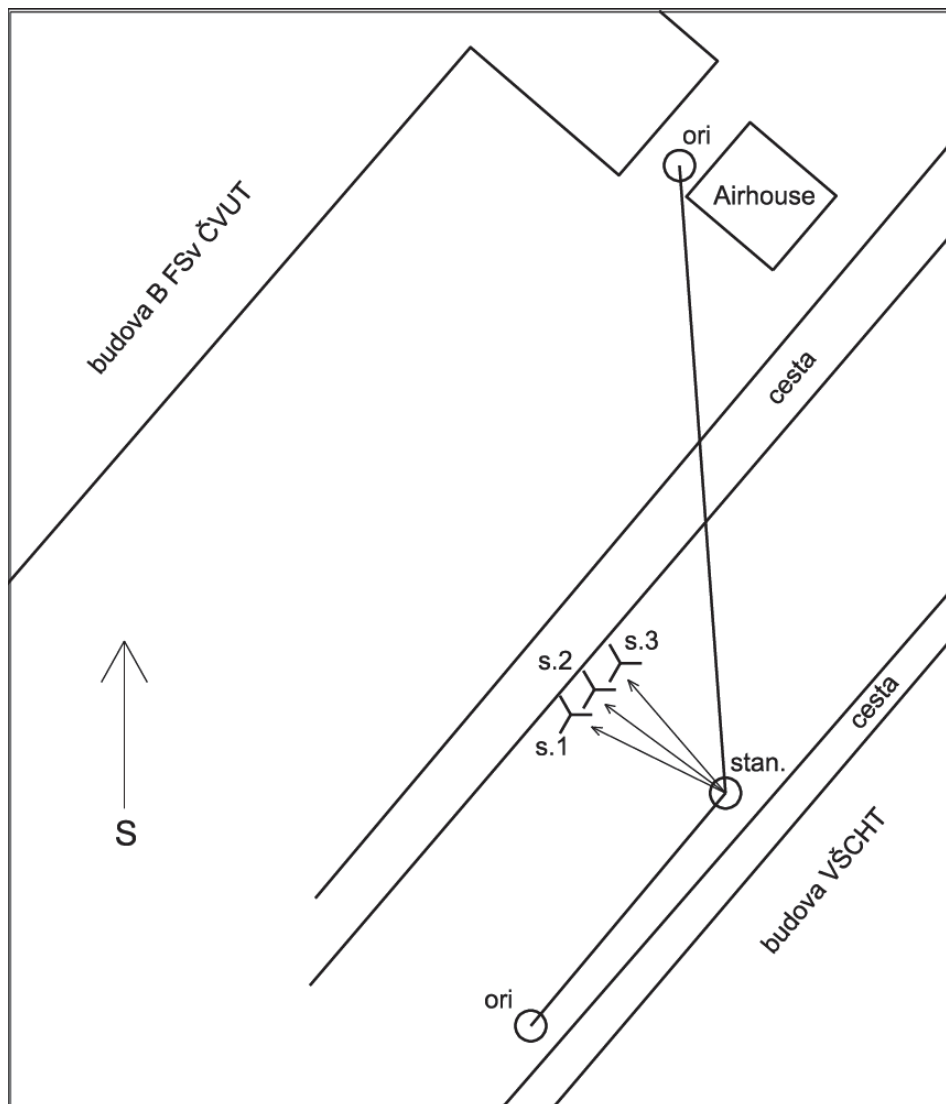
$$0.26 \leq 0.36$$

- podmínka je splněna a přijímáme nulovou hypotézu.

Obě výsledné experimentální směrodatné odchylky jsou menší než hodnota udávaná výrobcem a z tohoto důvodu je tato multistanice Leica MS60 vhodná pro velmi přesná měření.

4.3. Určení stability stativů vlivem teplotního působení Slunce v reálném prostředí – úhlovým měřením

Na základě úvah o vlivu teplotního působení Slunce na stabilitu stativu z kapitoly 4.1. *Dlouhodobý monitoring bodů*, byl jako první navrhnout experiment určení pohybů stativu v reálném (venkovním) prostředí s následující konfigurací:



Obr. 14 - Konfigurace venkovního úhlového experimentu



Obr. 15 - Stanovisko s přístrojem Leica MS60 při experimentu

Cílem bylo zjistit přímo v reálném prostředí a podmínkách, zda dochází k pohybům stativu vlivem působení slunečních paprsků a zdali jsou tyto pohyby měřitelné totální stanicí. Prostřednictvím měření zejména vodorovných směrů mezi orientačními body a sledovanými stativy ve vytvořené síti (konfiguraci) bodů (Obr.14).

Celkově byly zaměřovány 3 zkoumané stativy a 2 orientační body, vše signalizované Leica mini-hranoly v trnech a trojnožkách.

Stativy, resp. nohy stativů byly orientovány tak, aby jedna z noh směřovala na západ ke slunci, a tedy do směru největšího teplotního působení.

V experimentu je použito označení pro stativy takto:

STATIV 1 – těžký dřevěný stativ Sokkisha

STATIV 2 – dřevěný stativ Leica

STATIV 3 – lehký hliníkový stativ Sokkia



Obr. 16 - Testované stativy při experimentu v exteriéru

Měření vodorovných směrů, zenitových úhlů a šikmých délek bylo prováděno v 10 skupinách s přihlédnutím na předpokládanou přesnost přístroje 0,3mgon, kdy pro splnění požadované směrodatné odchylky měření 0,1mgon, bylo vypočteno z rozborů přesnosti 9 skupin, a tudíž bylo pro jistotu zvoleno pro experiment měření 10 skupin.

Kromě měření ve skupinách, byla v každé etapě měřena teplota bezkontaktním teploměrem na vnější straně noh stativu, se dvojitým odečtem, ve třech úrovních (nahore, uprostřed, dole).

Veškerá měření byla provedena v 15 etapách po 15 minutách v čase od 10:15 do 14:00.

Měření experimentu bylo provedeno multistanicí Leica MS60, která byla i s ostatním vybavením zapůjčena Katedrou speciální geodézie Fakulty stavební ČVUT v Praze.

Měření bylo provedeno automaticky programem měření v řadách a skupinách, s použitím automatického ultra jemného docilování. Stanovisko a orientační body byly zvoleny ve stínu se snahou, aby zůstaly ve stínu, ideálně po celou dobu měření experimentu. Cílové body byly umístěny tak, aby první etapa (základní) byla zaměřena za stálých podmínek, tedy že i cílové body (sledované stativy) byly ve stínu a tím byl zaměřen výchozí stav.

Nohy stativů byly velmi pevně zašlápnuty do země, která byla sice po mrazech, ale měkká, s kontrolou tenze (pnutí) noh a její redukci před měřením.

Zpracování vodorovných směrů bylo provedeno běžným způsobem dle [17].

4.3.1. Výsledky experimentu

Cílem při zpracování tohoto experimentu bylo zjistit změny ve vodorovných úhlech mezi orientačními body a sledovanými body na stativech.

Ze zpracovaných hodnot vodorovných směrů a z nich vypočtených úhlů mezi orientačním bodem 4002 a rozdílu úhlů od první (základní) etapy je vidno, že došlo k velmi malým změnám. Hodnoty rozdílů úhlů dosahovaly maximálně hodnot 0.4 mgon, což je hodnota neprokazatelná vzhledem k přesnosti. I z porovnání šikmých délek je vidět rozdíl od základní etapy až 0.7 mm, což je ale také neprokazatelné vzhledem k přesnosti měření délek použité totální stanice.

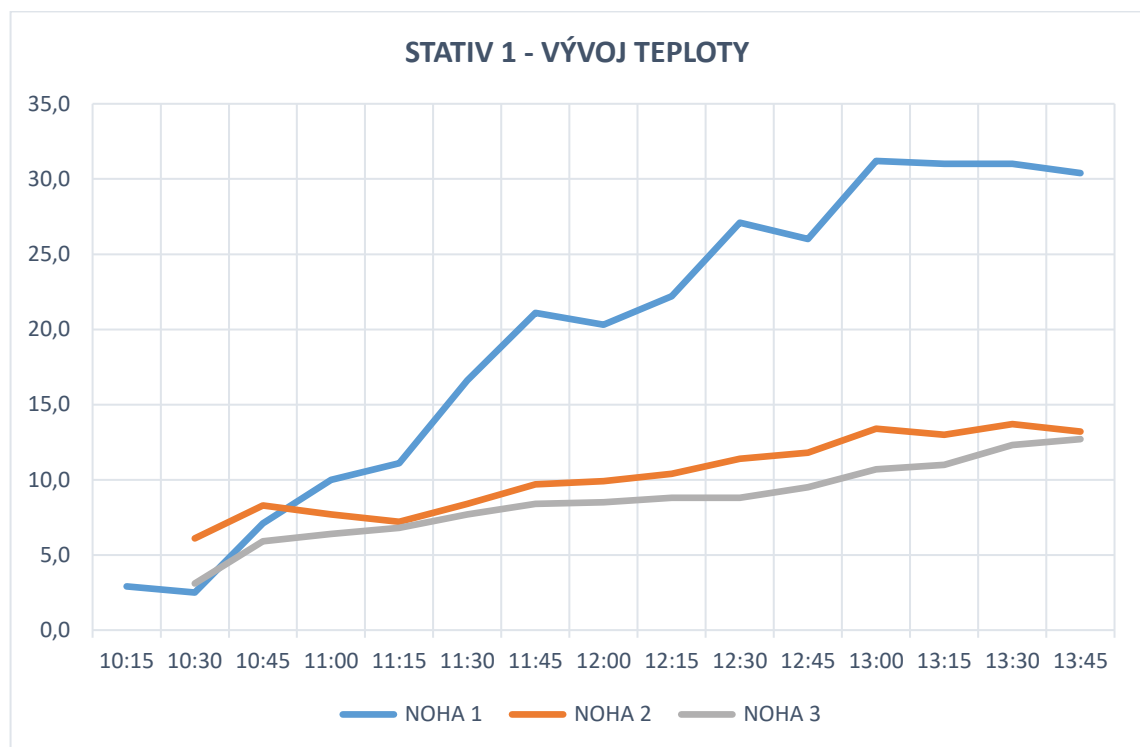
Měřené hodnoty a výsledky jsou obsahem Přílohy č.6 a č.7.

Vývoj teploty nohou stativů je zobrazen na Obr. 17-19. Během měření byla teplota vzduchu 4.1-12.9 °C a na stativech byla naměřena hodnota až 32°C.

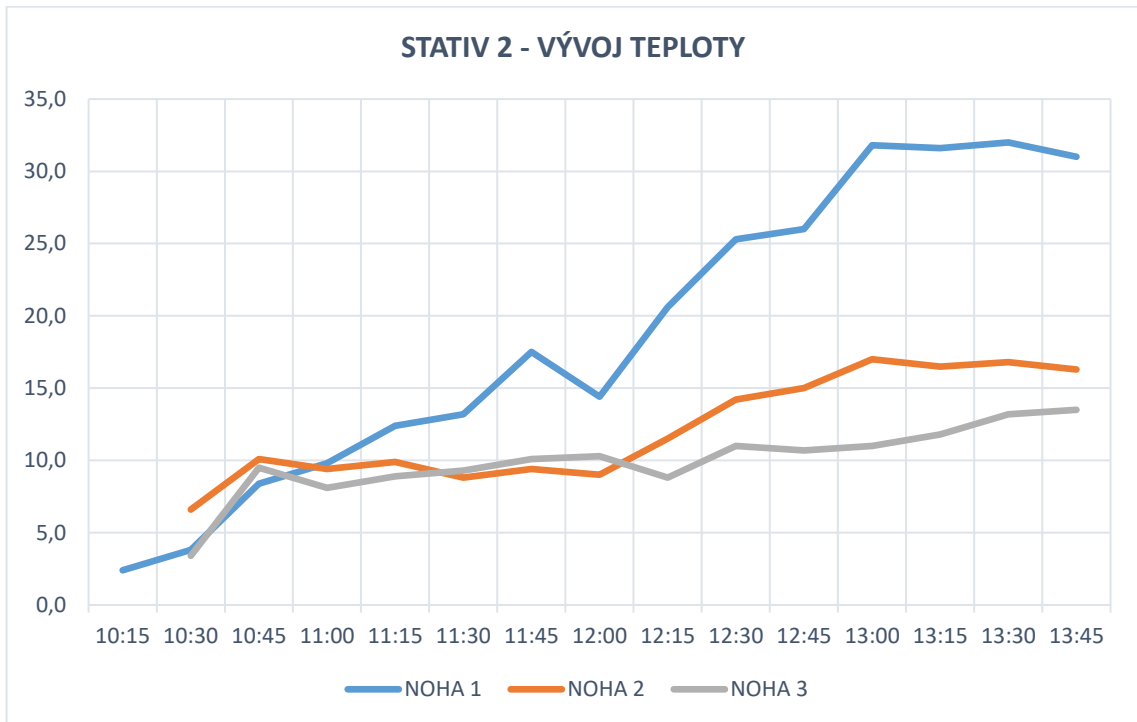
Noha 1 byla, jak je i z Obr. 14 patrné, u všech sledovaných stativů natočena jihovýchodním směrem ke Slunci, tudíž u ní pozorujeme výraznější vývoj teploty, kdy se zahřívá více než zbývající nohy stativu. Z Obr. 19 je vidět, že hliníkový stativ Sokkia se zahřívá nejvíce, ale rovnoměrně po celé konstrukci, na rozdíl od zbývajících stativů, kde převládá teplota Nohy 1.

Z výsledků nelze vytvořit jednoznačné závěry, jelikož během měření došlo k posunu/pohybu stativů, a to jak obou orientačních bodů, tak i stativu na stanovisku, kde to na konci měření bylo potvrzeno zobrazením náklonů libely, ze kterých bylo jasně vidět, že pohyb byl zejména ve směru osvitlu slunce (odklon od slunce). Na orientačních bodech byl také zjištěn náklon výběhem bubliny libely.

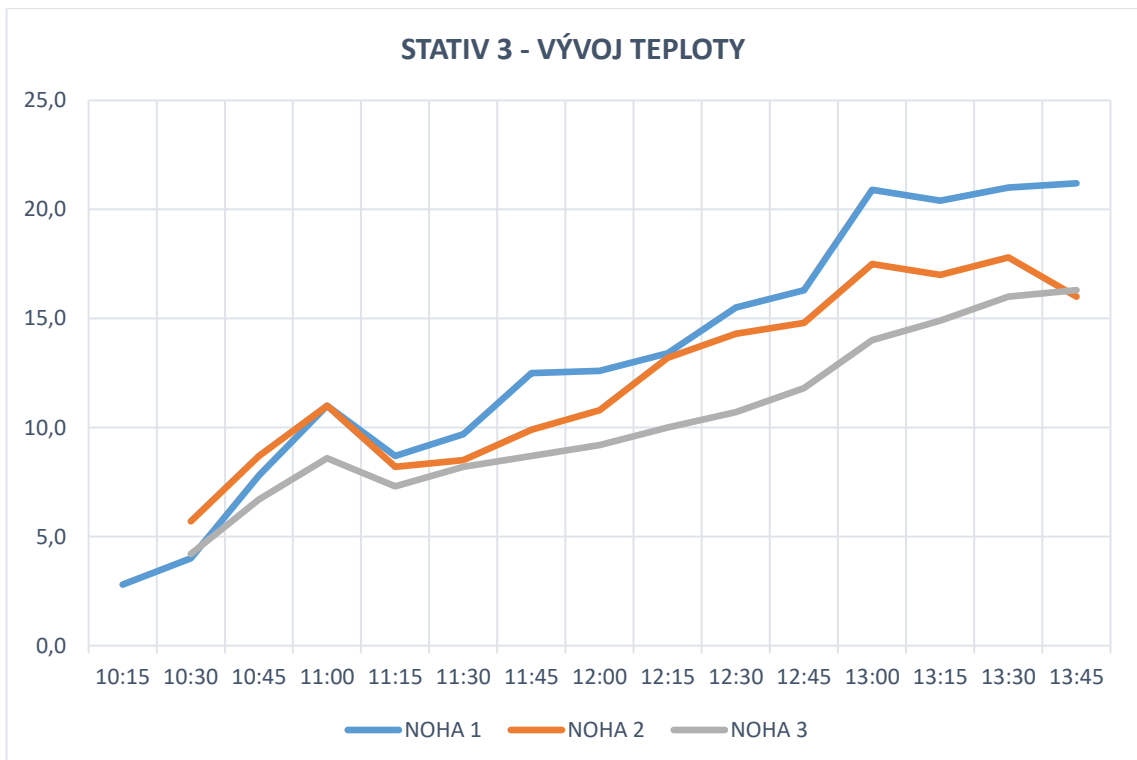
Zajímavým zjištěním bylo, že odražené sluneční paprsky od budovy B Fakulty stavební ČVUT v Praze, která byla v dané konfiguraci od cílových bodů (stativů) vzdálena přibližně 20 m, dokázali zvýšit povrchovou teplotu na statech přibližně o 2 °C. Tento faktor stojí za to vzít na vědomí při měření experimentů s podobnou konfigurací.



Obr. 17 - Graf vývoje teploty noh pro STATIV 1 - Sökkisha



Obr. 18 - Graf vývoje teploty noh pro STATIV 2 - Leica

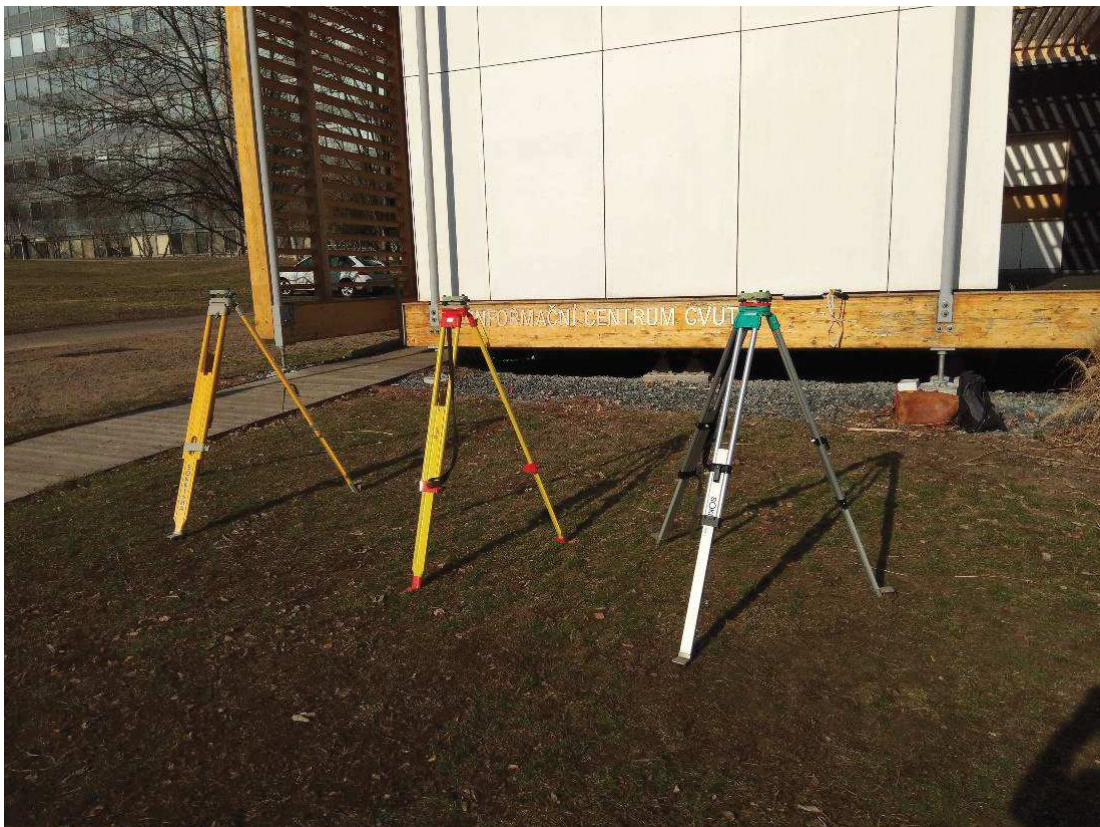


Obr. 19 - Graf vývoje teploty noh pro STATIV 3 - Sokkia (hliníkový)

4.4. Určení stability stativů vlivem teplotního působení Slunce v reálném prostředí – měřením náklonů

Na základě zkušeností z předchozího experimentu byl navržen pokus pouze se stativy, kdy byla sledována změna teploty a náklony pomocí citlivé trubkové libely centrovače.

Bylo provedeno testování stativu v přirozeném prostředí v reálných podmínkách před budovou Fakulty stavební ČVUT v Praze, kde byly všechny tři testované stativy umístěny vedle sebe ve stejné konfiguraci noh tzn. jedna noha přímo proti slunci. Stativy byly umístěny ráno za přítomnosti stínu, základní etapa byla měřena za výchozího klidového stavu. Na statech byly umístěny trojnožky určené pro přesná měření. U stativů byla zaznamenána teplota a náklon, dále byla zaznamenána teplota a tlak prostředí.



Obr. 20 - Konfigurace stativů při experimentu



Obr. 21 - Určování náklonů optickým centrovačem Leica GZR3

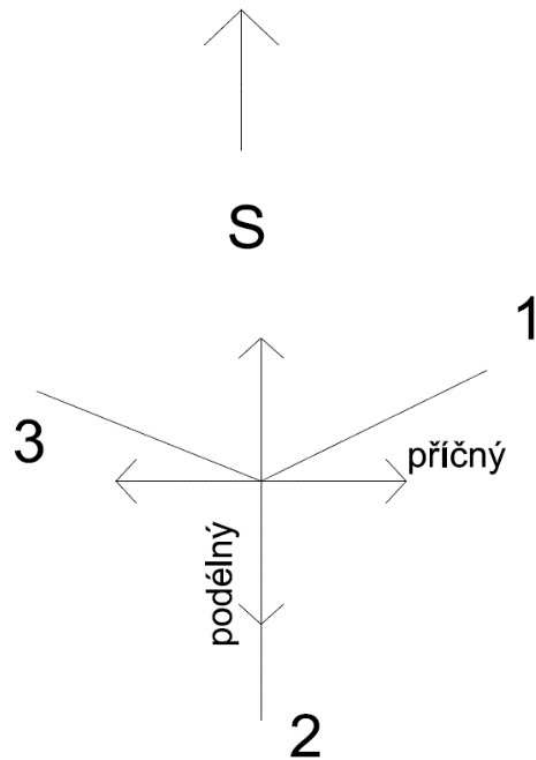
Teplota stativů byla určována bezkontaktním teploměrem ve třech úrovních (nahore, uprostřed, dole) nohy stativu z obou stran a se dvojitým průměrovaným odečtem.

Začátek experimentu byl v 8:30 (nultá – základní etapa) a následně bylo zaměřeno 8 etap po 30 minutách.

V průběhu času se Slunce svým zdánlivým pohybem přesunulo do polohy, kdy již osvětlovalo stativy zcela.

Měření bylo provedeno během teplého jarního dne s velkým rozdílem mezi ranní a odpolední teplotou prostředí při konci měření. Zároveň bylo jasno a téměř bezvětří, takže Slunce svým teplotním vlivem působilo v maximální míře. Teplota prostředí dosahovala hodnot 2,7 - 16,5 °C. Na stativech byla naměřena teplota až 25 °C.

Náklony byly určovány pomocí dvou optických centrovačů Leica GZR3 s trubicovými libelami s přesností 60"/2 mm, pro dvojí nezávislé určení náklonů. Určovány byly náklony příčné a podélné (ve směru nohy stativu). Centrovač, byl vždy při každém měření (odečtu) umístěn do trojnožky, avšak ne upnut z důvodu minimalizace vlivu pohybu stativu při upínání a odepínání.



Obr. 22 - Konfigurace noh stativů se znázorněním poloh odečtů náklonů

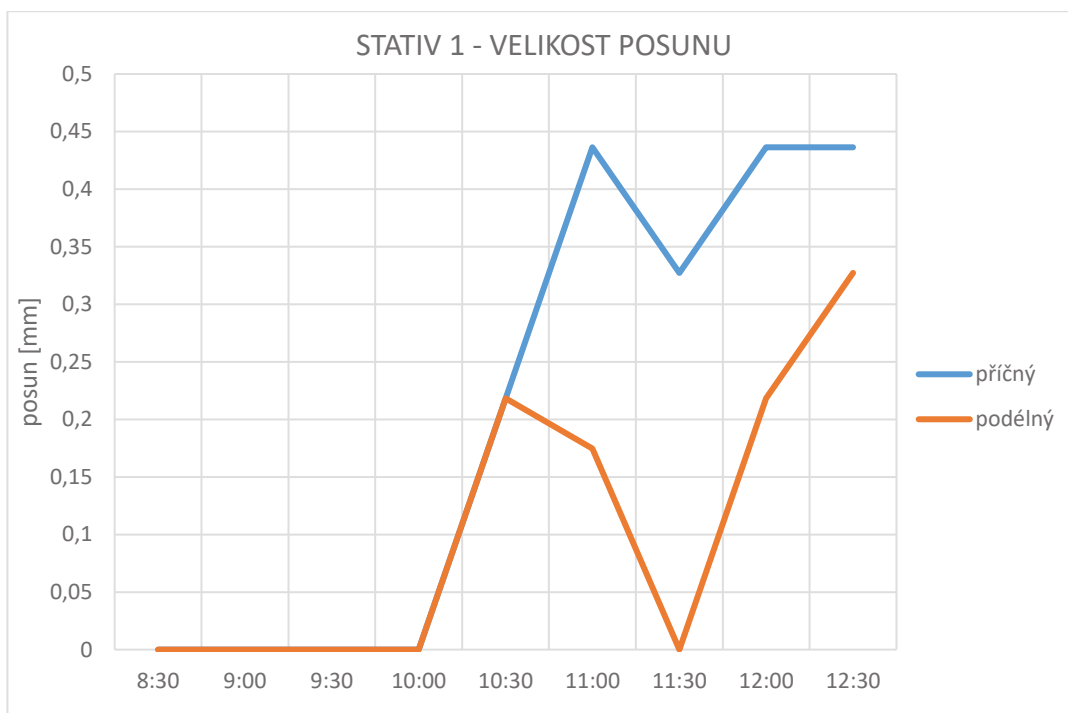
4.4.1. Výsledky experimentu

Výsledkem experimentu jsou posuny vypočtené z naměřených hodnot náklonů viz. tabulka níže (Tab. 2). Z výsledných hodnot je možné vyvodit, že k posunům dochází, jen není možné rozlišit, zdali je velikost posunů způsobená pouze zkoumaným teplotním vlivem Slunce či i jiným vlivem. V úvahu je možné brát ohřívání půdy, ve které byly stativy umístěny, a posuny noh stativu v ní. Evidentním poznatkem z níže uvedených grafů je, že dle předpokladu se NOHA 2 u všech stativů, zahřívala nejvíce (směřovala přímo na jih). Vývoj teploty noh stativu je přibližně lineární, dochází k postupnému zahřívání. Ke skokovým změnám teplot nedochází.

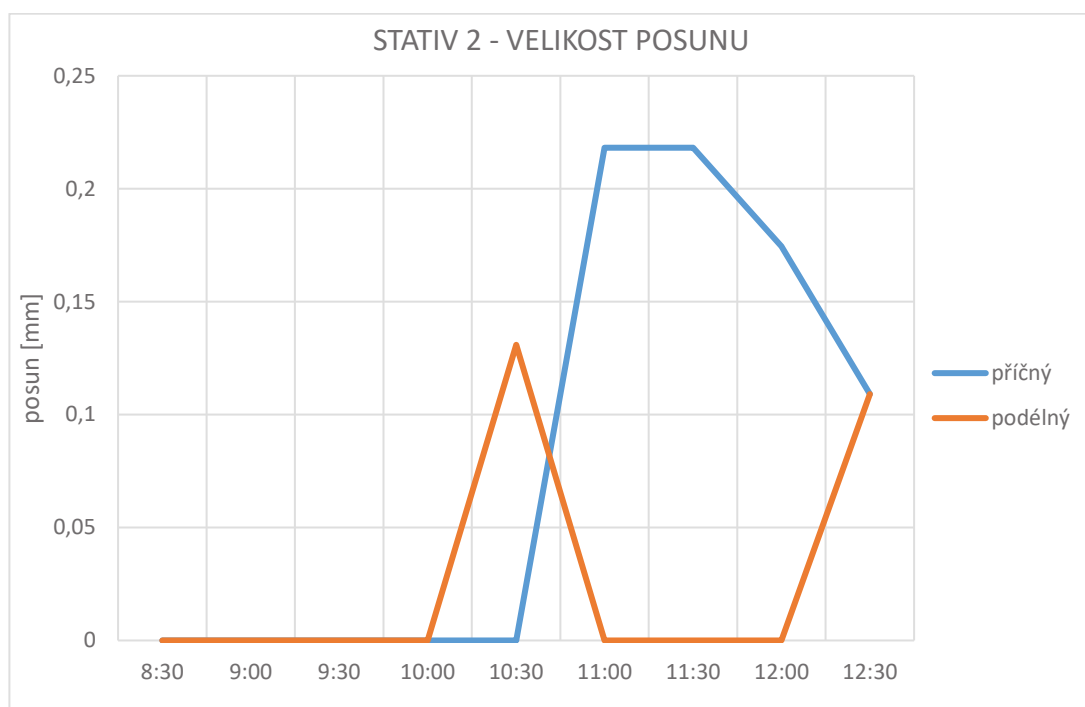
Nicméně ze získaných výsledků k největším posunům došlo u těžkého dřevěného stativu Sokkisha (STATIV 1), u kterého posun nabyl hodnoty v maximu 0,44 mm a u lehkého hliníkového stativu Sokkia (STATIV 3), u kterého posun nabyl hodnoty v maximu 0,44 mm. Nejlépe tedy z tohoto experimentu vychází dřevěný stativ Leica (STATIV 2), u kterého posun nabyl hodnoty v maximu 0,22 mm.

Tab. 2 - Výsledné hodnoty velikostí posunů vlivem náklonů

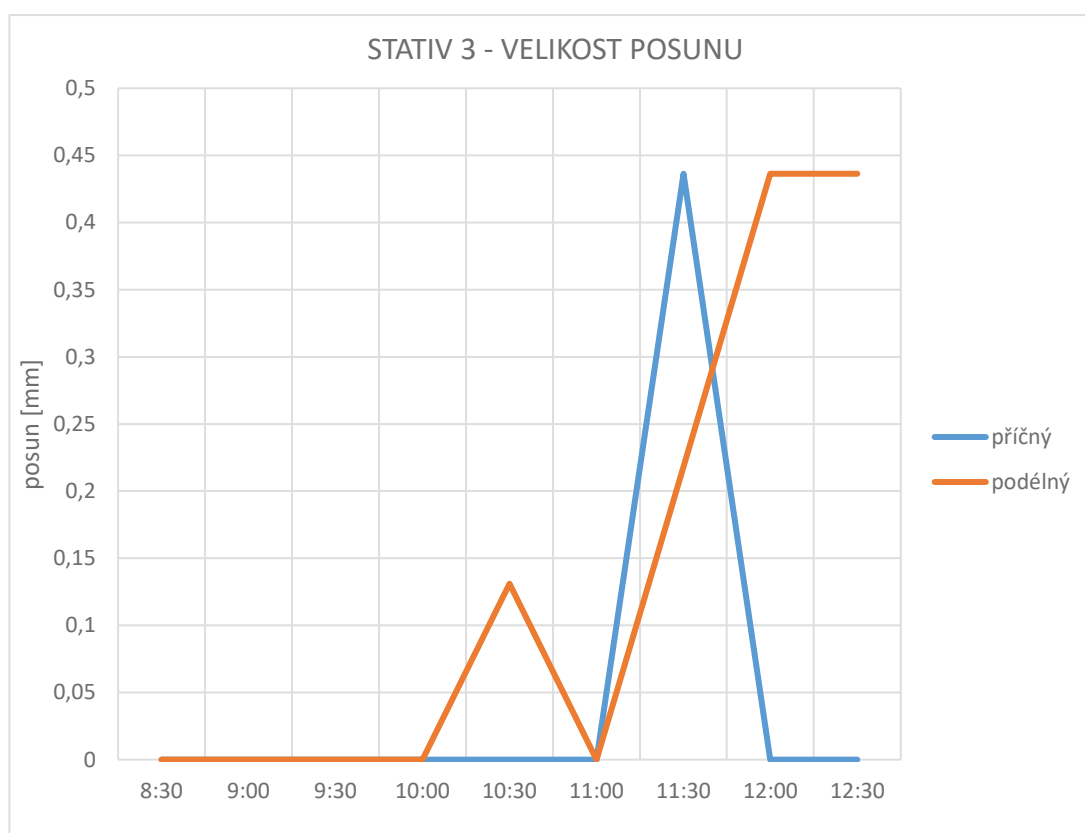
POSUN V LIVEM NÁKLONU [mm]							
etapa	čas měření	STATIV 1		STATIV 2		STATIV 3	
		příčný	podélný	příčný	podélný	příčný	podélný
0.	8:30	0	0	0	0	0	0
1.	9:00	0	0	0	0	0	0
2.	9:30	0	0	0	0	0	0
3.	10:00	0	0	0	0	0	0
4.	10:30	0,22	0,22	0,00	0,13	0,00	0,13
5.	11:00	0,44	0,17	0,22	0,00	0,00	0,00
6.	11:30	0,33	0,00	0,22	0,00	0,44	0,22
7.	12:00	0,44	0,22	0,17	0,00	0,00	0,44
8.	12:30	0,44	0,33	0,11	0,11	0,00	0,44



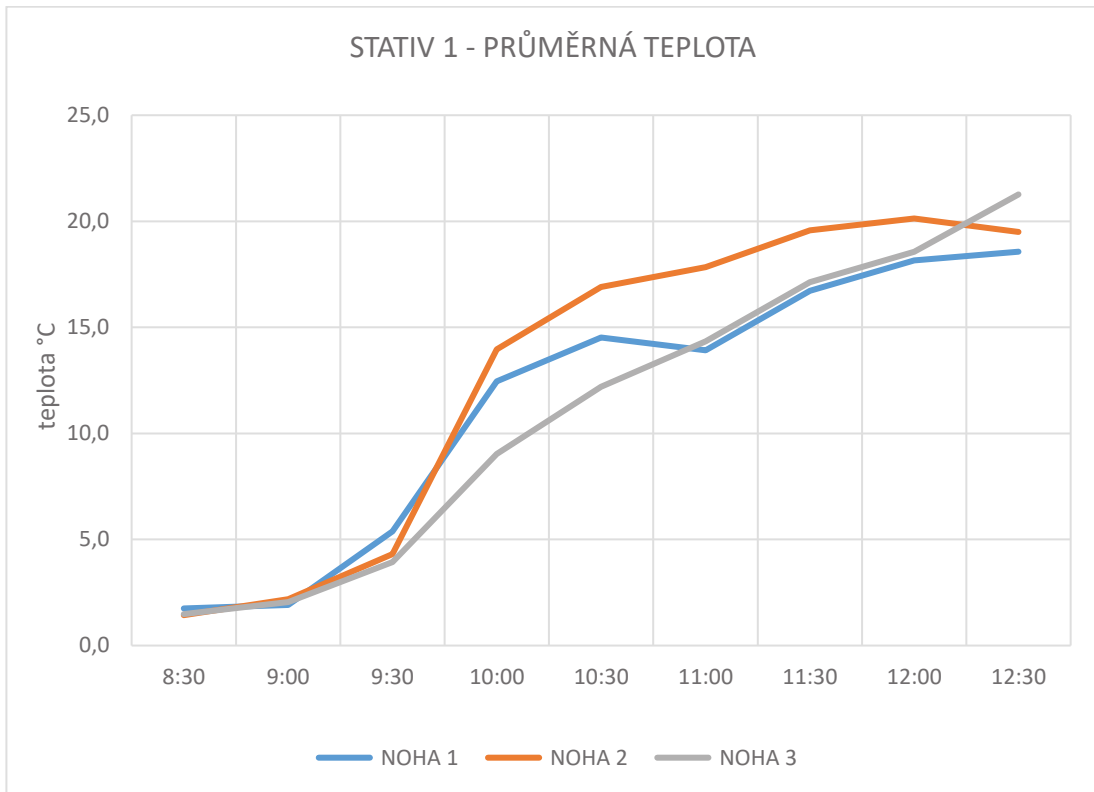
Obr. 23 - Graf velikosti posunu STATIV 1 - Sokkisha



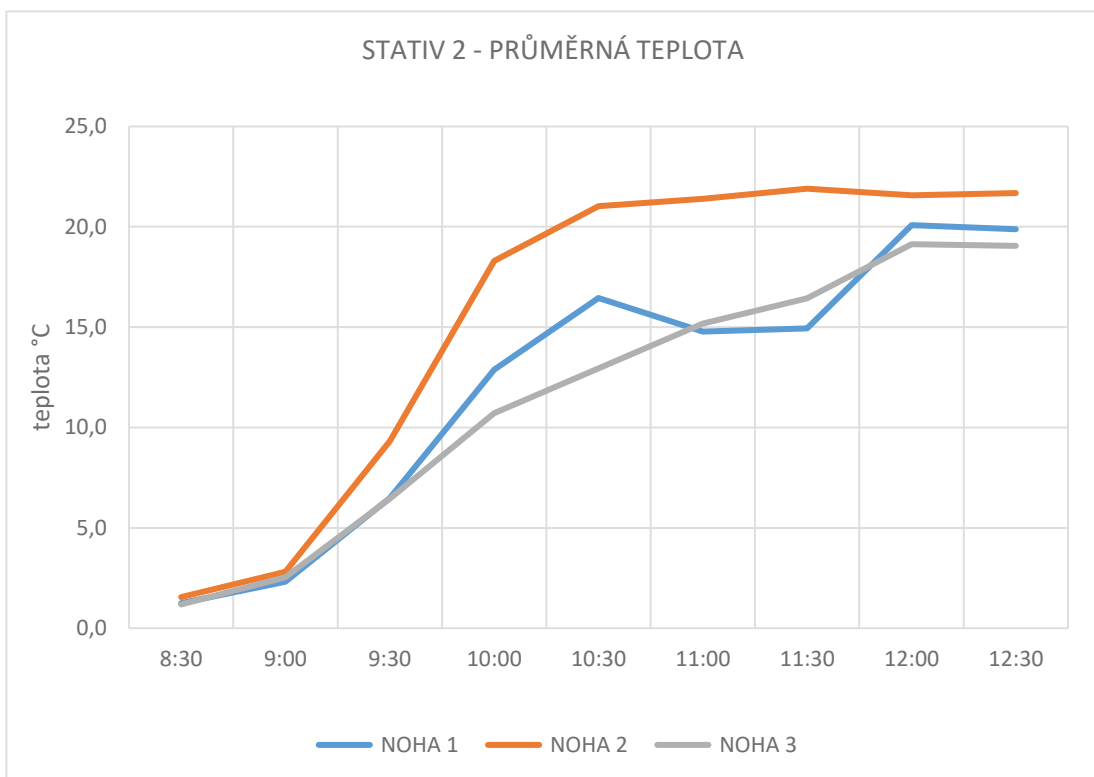
Obr. 24 - Graf velikosti posunu pro STATIV 2 – Leica



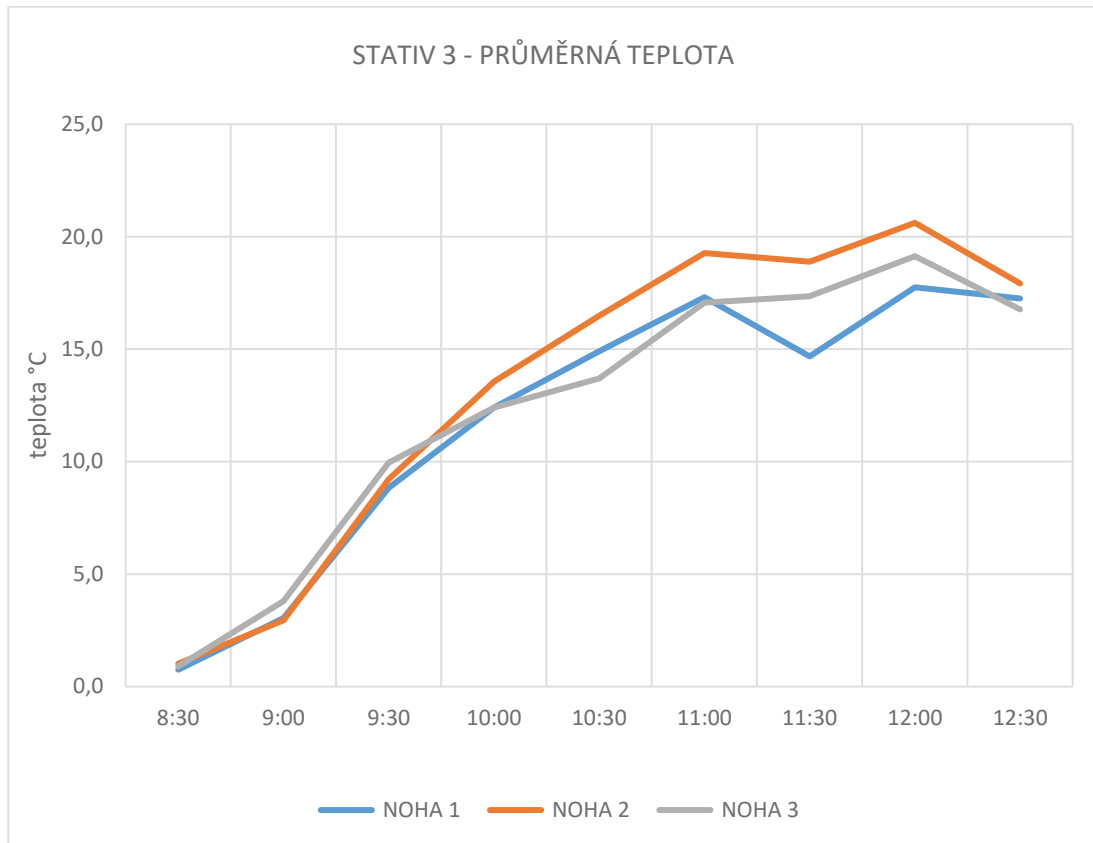
Obr. 25 - Graf velikosti posunu pro STATIV 3 – Sokkia (hliníkový)



Obr. 26 - Graf vývoje průměrné teploty noh pro STATIV 1 - Sokkisha



Obr. 27 - Graf vývoje průměrné teploty noh pro STATIV 2 – Leica



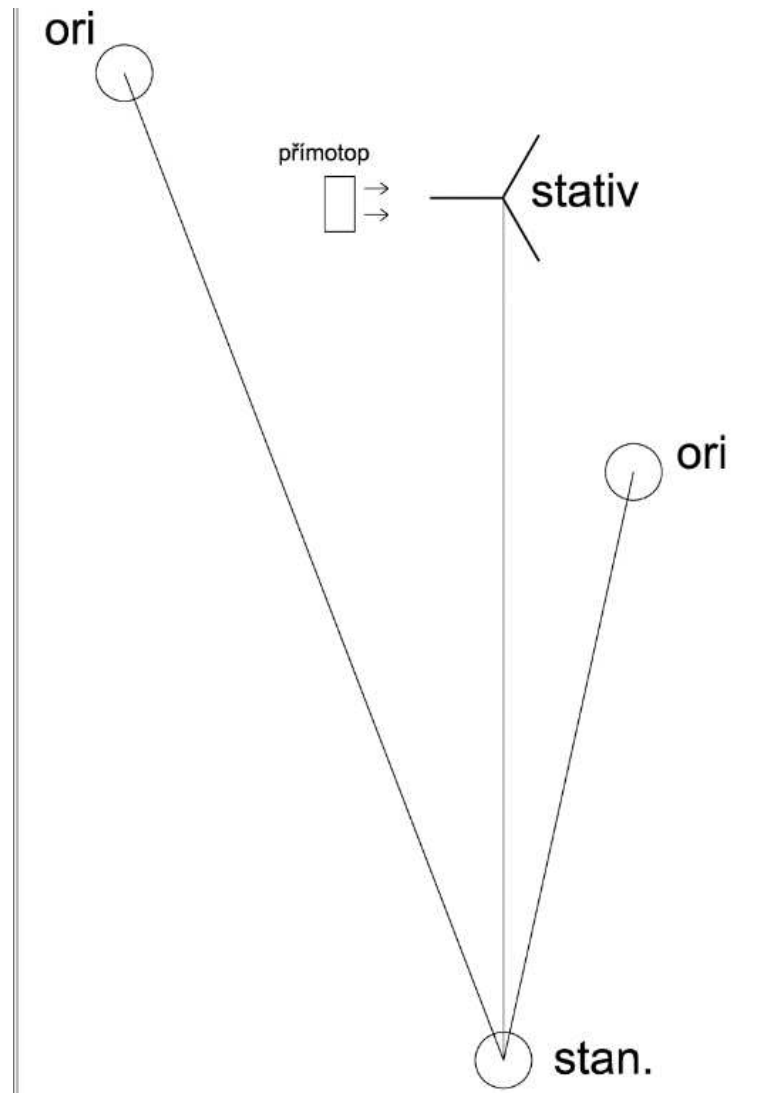
Obr. 28 - Graf vývoje průměrné teploty noh pro STATIV 3 - Sokkia (hliníkový)

4.5. Určení stability stativů vlivem teplotního působení umělého zdroje v laboratorních podmínkách – úhlovým měřením a měřením náklonů

4.5.1. První laboratorní testování

Z důvodu přesnějšího určení chování stativů byl navrhnut experiment v laboratorních podmínkách. Experiment byl proveden v laboratoři na Fakultě stavební ČVUT v Praze.

Jako stanoviště a orientační body byly použity nucené centrace na pilířích. Sledovaný stativ byl umístěn vyvýšeně na třech pilířích, z důvodu zaručení, pokud možno největší stability, se zajištěním hrotů noh stativu proti pohybu.



Obr. 29 - Konfigurace laboratorního experimentu

V rámci experimentu byl navrhnout ohřev vždy pouze jedné nohy stativu pomocí dvou přímotopů, z čehož první byl s ventilátorem, pro proudění teplého vzduchu. Tento přímotop byl umístěn z vnější strany v úrovni poloviny nohy stativu ve vzdálenosti cca 50 cm. Druhý přímotop byl schopen předávat pouze sálavé teplo, a proto byl umístěn dolů z vnitřní strany nohy stativu, teplo z něj tedy proudilo vzhůru a tím byl zajištěn ohřev spodní (vnitřní) strany nohy.

Těmito dvěma přímotopy byl zajištěn ohřev nohy stativu z obou jejích stran. Dále kvůli odstranění (minimalizaci) působení tepla na ostatní nohy stativu, byla použita umělá zábrana.



Obr. 30 - Nucená centrace při experimentu v laboratoři



Obr. 31 - Umístění přímotopů a tepelné izolace

Základem bylo měření osnovy směrů a tím zjištění úhlových rozdílů od orientace mezi etapami. Na základě úhlových rozdílů je možno stanovit velikost posunu stativu při zahřívání jedné jeho nohy.

Měření bylo provedeno totální stanicí Leica MS60 z pilíře s nucenou centrace vzdáleného 13 m od sledovaného cílového bodu na stativu. Každá etapa měření byla provedena s



měřením 5 ti skupin s automatickým cílením a ultra jemným docilováním. Nultá etapa byla zaměřena dvakrát v 5 ti skupinách.

Následovalo měření etap vždy po 10 minutách. V každé etapě byla měřena teplota, bezkontaktním teploměrem se dvojitým odečtem, všech noh stativu z vnější strany ve třech úrovních (nahore, uprostřed, dole), a stejně tak i z vnitřní strany. Zároveň byla v každé etapě zaznamenána teplota prostředí zprůměrovaná ze dvou teploměrů umístěných v laboratoři. Na začátku měření byl zaznamenán i tlak a vlhkost prostředí.

Průměrná teplota zahřívání nohy stativu během experimentu dosahovala hodnot v rozmezí pro stativ Sokkisha, v rozmezí

Vlivem zahřívání během experimentu dosáhla teplota materiálu uvnitř nohy stativu hodnot v rozmezí 23,5 – 63,5 °C pro stativ Sokkisha, v rozmezí 24,5 – 69,8 °C pro stativ Leica a v rozmezí 24,8 – 53,9 °C pro stativ Sokkia (hliníkový).

V každé etapě byly také měřeny náklony, odečítané z optického centrovače Leica GZR3, upnutého v trojnožce na sledovaném stativu. Jeho poloha byla nastavena tak, aby byla možnost v každé etapě odečítat náklon podélný, tedy ve směru zahřívání nohy, a tudíž ve směru působení tepla a ve směru předpokládaného posunu stativu.

Stativy před měřením byly aklimatizovány na teplotu v laboratoři, takže při začátku měření u každého z nich byla zaručena jednotná teplota s prostředím.

Po konci poslední etapy u každého stativu, byly přímotopy ponechány zapnuté a bylo provedeno měření náklonů (příčný, podélný) pro každou nohu stativu a opět s dvojitým odečtem.

Cílové hranoly byly použity Leica mini hranoly GMP101, usazené na trnech, v trojnožkách.

4.5.2. Druhé laboratorní testování

Druhé testování bylo po dohodě s vedoucím práce provedeno z důvodu ověření výsledků a dílčích hypotéz vyvozených z prvního laboratorního testování.

Test probíhal identicky se stejnými pomůckami, stejnou metodikou, stejnými sledovanými stativy jako při prvním laboratorním testování. V rámci možností byly umělé zdroje tepla umístěny do stejných pozic jako v prvním laboratorním testování.

Vlivem zahřívání během experimentu dosáhla teplota materiálu uvnitř nohy stativu hodnot v rozmezí 23,8 – 66,4 °C pro stativ Sokkisha, v rozmezí 24,5 – 62,8 °C pro stativ Leica a v rozmezí 25,0 – 51,1 °C pro stativ Sokkia (hliníkový).

4.5.3. Výsledky laboratorních testování

Zpracování vodorovných směrů bylo provedeno běžným způsobem dle metodiky uvedené v [17].

Tab. 3 - Výsledné hodnoty posunů stativů prvního laboratorního testování

První laboratorní testování – velikost posunu [mm]							
stativ	etapa 0	etapa 1	etapa 2	etapa 3	etapa 4	etapa 5	etapa 6
Sokkisha	0,00	0,24	0,25	0,22	0,19	0,14	0,11
Leica	0,00	0,03	0,18	0,28	0,28	0,29	0,27
Sokkia	0,00	0,33	0,98	1,10	1,14	1,13	1,15

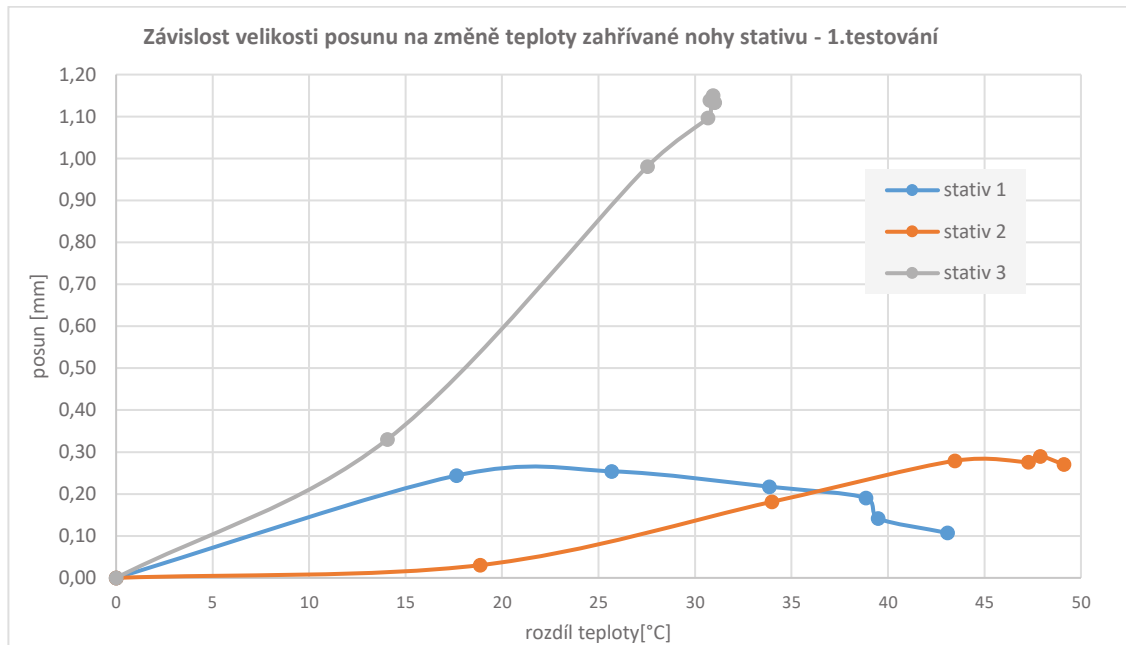
Tab. 4 - Výsledné hodnoty posunů stativů druhého laboratorního testování

Druhé laboratorní testování – velikost posunu [mm]							
stativ	etapa 0	etapa 1	etapa 2	etapa 3	etapa 4	etapa 5	etapa 6
Sokkisha	0,00	0,04	0,32	0,32	0,27	0,21	0,17
Leica	0,00	0,04	0,15	0,21	0,21	0,22	0,22
Sokkia	0,00	0,33	0,89	0,95	0,98	0,97	0,98

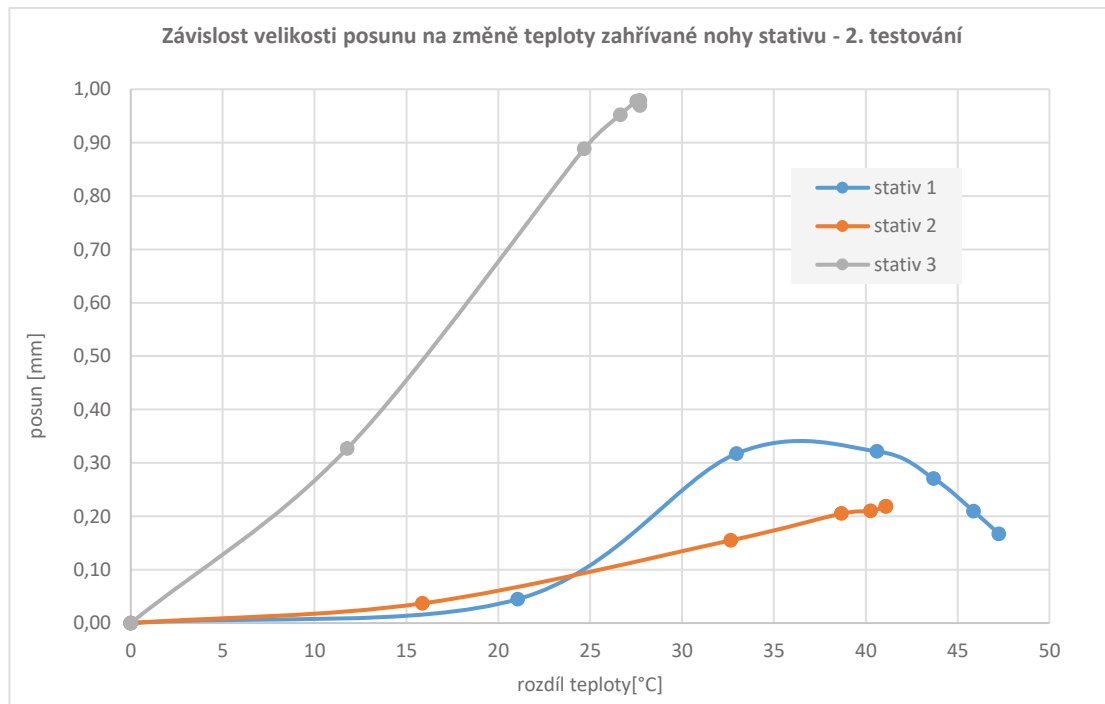
Zpracování bylo provedeno přepočtem z rozdílu úhlů mezi orientačním bodem a sledovaným bodem na stativu, mezi základní (nulou) etapou a dílčí etapou. Dále byly určeny posuny z měření náklonů optickým centrovačem.

Řešen byl také prostup tepla materiálem pro následné určení délkové teplotní roztažnosti zahříváné nohy stativu a porovnání těchto výsledků s hodnotami posunů získaných z úhlového měření.

V grafech: stativ 1 – Sokkisha; stativ 2 – Leica; stativ 3 – Sokkia (hliníkový).



Obr. 32 - Graf závislosti velikosti posunu na změně teploty zahříváné nohy stativu 1. testování



Obr. 33 - Graf závislosti velikosti posunu na změně teploty zahříváné nohy stativu 2. testování

Z obou testování v laboratorních podmínkách je možno vyvodit závěry, že dochází k posunům, pohybům, narušení stability stativů vlivem teplotního působení v tomto případě umělých zdrojů tepla (přímotopů).

U stativu 1 (Sokkisha) je možné na Obr. 32-33 pozorovat jeho tendenci růstu posunu s rostoucí teplotou jako u ostatních stativů, ale následně i přes pokračující zahřívání pozorujeme snižování hodnoty posunu. Tento jev byl pozorován u obou laboratorních experimentů, ale není možné přesně říci proč se tento stativ takto chová.

Tab. 5 - Velikost posunu vlivem náklonu 1.testování a 2. testování

Velikost posunu vlivem náklonu – 1.testování [mm]			
etapa	stativ 1	stativ 2	stativ 3
0.	0	0	0
1.	0,22	0	0,87
2.	0,44	0,22	0,87
3.	0,44	0,22	1,09
4.	0,44	0,33	1,09
5.	0,44	0,33	1,09
6.	0,44	0,44	1,20

Velikost posunu vlivem náklonu - 2.testování [mm]			
etapa	stativ 1	stativ 2	stativ 3
0.	0	0	0
1.	0,22	0,22	0,44
2.	0,22	0,22	0,87
3.	0,22	0,22	0,87
4.	0,22	0,22	0,87
5.	0,22	0,22	0,87
6.	0,22	0,22	0,87

Tab. 6 - Velikost teplotní délkové roztažnosti 1.testování a 2.testování

Teplotní délková roztažnost - 1.testování [mm]			
etapa	stativ 1	stativ 2	stativ 3
0.	0,01	0,02	0,11
1.	0,08	0,10	0,37
2.	0,11	0,17	0,67
3.	0,14	0,22	0,74
4.	0,16	0,23	0,75
5.	0,17	0,24	0,76
6.	0,18	0,24	0,75

Teplotní délková roztažnost - 2.testování [mm]			
etapa	stativ 1	stativ 2	stativ 3
0	0,02	0,02	0,11
1	0,09	0,09	0,33
2	0,14	0,17	0,62
3	0,17	0,20	0,67
4	0,18	0,21	0,68
5	0,19	0,21	0,69
6	0,19	0,21	0,69

Při porovnání výsledků z obou laboratorních experimentů je možno shledat, že výsledné hodnoty dosahují obdobné velikosti a hodnoty si odpovídají.



Pro Sokkisha stativ:

Při 1. experimentu v důsledku ohřevu nohy stativu o 40 °C došlo k jejímu protažení o 0.18 mm a náklonu stativu o 0.44 mm.

Při 2. experimentu v důsledku ohřevu nohy stativu o 43 °C došlo k jejímu protažení o 0.19 mm a náklonu stativu o 0.22 mm.

Pro Leica stativ:

Při 1. experimentu v důsledku ohřevu nohy stativu o 45 °C došlo k jejímu protažení o 0.24 mm a náklonu stativu o 0.44 mm.

Při 2. experimentu v důsledku ohřevu nohy stativu o 38 °C došlo k jejímu protažení o 0.21 mm a náklonu stativu o 0.22 mm.

Pro Sokkia (hliníkový) stativ:

Při 1. experimentu v důsledku ohřevu nohy stativu o 29 °C došlo k jejímu protažení o 0.75 mm a náklonu stativu o 1.20 mm.

Při 2. experimentu v důsledku ohřevu nohy stativu o 26 °C došlo k jejímu protažení o 0.69 mm a náklonu stativu o 0.87 mm.

- pozn. každé délkové protažení nohy vypočteno pro 1 m délky nohy daného stativu

5. ZÁVĚR

Výsledkem práce jsou hodnoty posunů stativů v závislosti na jejich teplotě. Na základě výsledků jsou navržena opatření pro zmírnění zkoumaných atmosférických vlivů na stabilitu stativu. V práci byly zkoumány změny polohy vlivem oslunění během dlouhodobého monitoringu. Velikost posunů dosahovala v rámci monitoringu ve vybraných dnech hodnoty až 8 mm. Na základě těchto výsledků byly navrženy laboratorní i venkovní experimenty pro určení vlivu změn teploty.

Z experimentů lze tedy vyvodit závěry, že teplotní působení Slunce má skutečně vliv na stativ a nezáleží na materiálu stativu (tedy pokud nebude bráno v potaz stativ případně vyrobený z invaru). Z experimentů je zřejmé, že nejlepší volbou pro měření je použití těžkých stativů ze dřeva (Leica GST120-9). Pro přesná měření či měření, kde hrozí riziko teplotního působení, nelze doporučit testovaný Sokkia hliníkový lehký stativ, jeho použití je omezeno na měření za stálých (teplotních) podmínek či při časově nenáročných měřeních např. nivelace.

Z celkového pohledu, při letních teplotách může dojít maximálně k podobným posunům jako při laboratorních experimentech, a tedy u testovaného stativu Sokkisha 0,32 mm, u testovaného stativu Leica 0,29 mm. U testovaného stativu Sokkia (hliníkový) může dojít k posunu 1,15 mm vlivem teplotního působení na konstrukci stativu při změně teploty materiálu o cca 30 °C.

Výsledky zejména laboratorních experimentů ukazují, že největší změny (posuny) nastávají v prvních 10 - 20 minutách od začátku teplotního působení na stativ. Dále také výraznější posun nastává při změně teploty stativu o 20 °C a více, což jsou zcela normální teplotní změny běžného dne, nemluvě o letních tropických dnech, kdy při začátku měření ráno teplota dosahuje např. 15 °C a přes den se teplota ve stínu vyšplhá až na hodnoty přes 35 °C i více, což pro stativ na přímém Slunci znamená ještě větší teplotu, dosahující hodnot rozhodně přes 50 °C. Tudíž následný rozdíl takovýchto teplot je 35°C a nastává zmíněná délková teplotní roztažnost materiálu noh stativu (nohy se „prodlouží“), při nerovnoměrném osvětlení všech noh stativu nastává i zkrut stativu a tím samozřejmě posun a změna polohy stanoviska/cíle.

Proměnnými ovlivňujícími velikost vlivu na daný stativ, jsou vlastnosti materiálu daného stativu (koeficient teplotní délkové roztažnosti, součinitel prostupu tepla materiálem) a dále také hodnota teploty působící na stativ.

Hlavním doporučením autora na základě zpracování práce je, pokud možno stativ chránit před teplotním působením Slunce či jiného zdroje tepla, protože jinak s velkou pravděpodobností dojde k pohybům stativu a tím ovlivnění výsledků měření a přesnosti měření, samozřejmě s uvážením požadované přesnosti výsledků. Je také možné tento vliv zohlednit v rozborech přesnosti, jako například přesnost centrace. V případě, že nejde stativ chránit, autor doporučuje po přípravě stativu a přístroje k měření, počkat přibližně 15 minut a nechat teplotu působit a až poté docentrovat, dohorizontovat a odstranit pnutí stativu a teprve potom zahájit měření. Provést tzv. aklimatizaci stativu na teplotní působení Slunce.

Kvůli zdánlivému pohybu Slunce během měření v exteriérech, je velice obtížné stanovit absolutně přesné vyjádření posunů stativů. Při osvětlení Sluncem dopadají sluneční paprsky, alespoň z části na každou nohu stativu a tím dochází k nerovnoměrnému zahřívání, čímž dochází k různým prostupům tepla materiálem, k teplotním délkovým roztažnostem a tím v podstatě k posunu a zkrutu stativu.

Možnostmi dalšího zkoumání teplotního působení na stabilitu stativu či i jiných vlivů, by mohly být metody fotogrammetrie, či interferometrie. Rozhodně by v případě pokračování výzkumu musely být provedeny další série opakovaných experimentů s např. již zmíněným interferometrem, který ale není zcela běžným a cenově dostupným vybavením. V laboratorních podmínkách by se simulace zdánlivého pohybu Slunce mohla provést pohybem umělého zdroje tepla okolo stativu pomocí zařízení s nastaveným chodem. Teplota by měla být měřena automatickými snímači připojenými přímo na nohy stativu v různých úrovních a náklony by mohly být měřeny také automaticky pomocí elektronického snímače náklonu.

**SEZNAM LITERATURY**

- [1] POSPÍŠIL, Jiří; Vliv atmosféry na šíření laserového záření při metodě záměrné přímky. Geodetický a kartografický obzor [online]. 1980, 26, 9-13 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://archivnimapy.cuzk.cz/zemvest/texty/Rok1980.pdf>
- [2] SYLABUS 11. PŘEDNÁŠKY Z INŽENÝRSKÉ GEODÉZIE. In: Katedra speciální geodézie ČVUT [online]. Praha, 2016 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: http://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie_geoinformatika/inge/Sylabus_IG_11.pdf
- [3] WOŽNIAK, Marek a Waldemar ODZIEMCZYK. Investigation of Stability of Precise Geodetic Instruments Used in Deformation Monitoring. Reports on Geodesy and Geoinformatics [online]. 2017, 104(1), 79-90 [cit. 2019-05-09]. DOI: 10.1515/rgg-2017-0017. ISSN 2391-8152. Dostupné z: <http://content.sciendo.com/view/journals/rgg/104/1/article-p79.xml>
- [4] SYLABUS 4. PŘEDNÁŠKY Z GEODÉZIE 1. In: Katedra speciální geodézie ČVUT [online]. Praha, 2018 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: http://k154.fsv.cvut.cz/vyuka/geodezie_geoinformatika/gdz1/prednaska_4.pdf
- [5] Určování úhlů libovolné velikosti In: Katedra matematiky Západočeská univerzita [online]: [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://kgm.zcu.cz/studium/gen1/html/ch05s02.html>
- [6] Teplotní roztažnost. In: Mendelova univerzita v Brně [online]: [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9182
- [7] SVOBODA, Zbyněk. Šíření tepla konstrukcí, tepelná bilance prostoru a vlhkostní bilance vzduchu v ustáleném stavu. In: Fakulta stavební ČVUT [online]. Praha, 2014 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: http://kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=4767
- [8] CIMBÁLNÍK, Miloš, Antonín ZEMAN a Jan KOSTELECKÝ. Základy vyšší a fyzikální geodézie. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03605-1. Skripta. ČVUT.
- [9] ČSN ISO 17123-3. Optika a optické přístroje-Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů: Část 3: Teodolity. Český normalizační institut, 2005.
- [10] Multistanice Leica MS60. Gefos-geosystems [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.gefos-leica.cz/produkty/totalni-stanice/ms60-multistanice>
- [11] Prospekt na multistanici Leica MS60 s technickými parametry. Gefos-geosystems [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: https://www.gefos-leica.cz/data/original/totalni-stanice/leica_nova_ms60_cz.pdf
- [12] Optical Engineering Co. Inc. E-shop [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://opticaleng.com/products/sokkia-7512-52-hardwood-tripod>
- [13] Webové stránky e-shopu. Gefos-geosystems [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: https://www.gefos-leica.cz/e-shop/prislusenstvi-geodeticke/stativy/gst120-9_667301



- [14] Tiger supplies. e-shop [online]. [cit.2019-05-09]. Dostupné z: https://www.tigersupplies.com/Products/Sokkia-Lightweight-Aluminum-Tripod__SOK724445.aspx
- [15] SCCS Survey equipment. e-shop [online]. [cit.2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.sccsurvey.co.uk/leica-gmp101-mini-prism-set-mounted-in-metal-holder.html>
- [16] Podkladová data Základní mapa – použita z mapy.cz
- [17] HAMPACHER, Miroslav a ŠTRONER, Martin. Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. Vydání druhé, upravené a doplněné. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN 978-80-01-05843-5.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Průběh teploty v jednovrstvé konstrukci s vyznačením přestupu a vedení tepla [7].....	14
Obr. 2 - Grafické stanovení průběhu teploty v konstrukci o 3 vrstvách [8]	18
Obr. 3 - Zobrazení vlivu refrakce na měřený vodorovný úhel [5].....	21
Obr.4 - Leica MS60 [10].....	24
Obr. 5 - Těžký dřevěný stativ Sokkisha [12].....	26
Obr. 6 - Těžký dřevěný stativ Leica GST120-9 [13].....	27
Obr. 7 - Lehký hliníkový stativ Sokkia [14].....	28
Obr. 8 - Mini hranol Leica GMP101 [15].....	29
Obr. 9 - Optický centrovač Leica GZR3 [15].....	29
Obr. 10 - Zobrazení směru a velikosti posunů na sledovaných bodech dne 1.8. 2019...	32
Obr. 11 - Náskres lokality a konfigurace testovacího pole [16].....	34
Obr. 12 - Leica MS60 na stanovisku v Oboře Hvězda	34
Obr. 13 - Cíl č.2	35
Obr. 14 - Konfigurace venkovního úhlového experimentu	37
Obr. 15 - Stanovisko s přístrojem Leica MS60 při experimentu	38
Obr. 16 - Testované stativy při experimentu v exteriéru	39
Obr. 17 - Graf vývoje teploty noh pro STATIV 1 - Sokkisha	41
Obr. 18 - Graf vývoje teploty noh pro STATIV 2 - Leica.....	42
Obr. 19 - Graf vývoje teploty noh pro STATIV 3 - Sokkia (hliníkový).....	42
Obr. 20 - Konfigurace stativů při experimentu.....	43
Obr. 21 - Určování náklonů optickým centrovačem Leica GZR3.....	44
Obr. 22 - Konfigurace noh stativů se znázorněním poloh odečtů náklonů.....	45
Obr. 23 - Graf velikosti posunu STATIV 1 - Sokkisha	46
Obr. 24 - Graf velikosti posunu pro STATIV 2 – Leica.....	47
Obr. 25 - Graf velikosti posunu pro STATIV 3 – Sokkia (hliníkový).....	47
Obr. 26 - Graf vývoje průměrné teploty noh pro STATIV 1 - Sokkisha.....	48
Obr. 27 - Graf vývoje průměrné teploty noh pro STATIV 2 – Leica.....	48
Obr. 28 - Graf vývoje průměrné teploty noh pro STATIV 3 - Sokkia (hliníkový)	49
Obr. 29 - Konfigurace laboratorního experimentu	50
Obr. 30 - Nucená centrace při experimentu v laboratoři	51
Obr. 31 - Umístění přímotopů a tepelné izolace	52
Obr. 32 - Graf závislosti velikosti posunu na změně teploty zahřívání nohy stativu 1.testování.....	55
Obr. 33 - Graf závislosti velikosti posunu na změně teploty zahřívání nohy stativu 2.testování.....	55
Obr. 34 - Výsledné zobrazení směru a velikosti posunů z měření první poloviny dne 3.8.2018	65
Obr. 35 - Výsledné zobrazení směru a velikosti posunů z měření druhé poloviny dne 3.8.2018	66
Obr. 36 - Výsledné zobrazení směru a velikosti posunů z měření dne 5.8.2018.....	67



SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - Výsledné hodnoty experimentální směrodatné odchylky vodorovného směru.	35
Tab. 2 - Výsledné hodnoty velikostí posunů vlivem náklonů	46
Tab. 3 - Výsledné hodnoty posunů stativů prvního laboratorního testování	54
Tab. 4 - Výsledné hodnoty posunů stativů druhého laboratorního testování	54
Tab. 5 - Velikost posunu vlivem náklonu 1.testování a 2. testování	56
Tab. 6 - Velikost teplotní délkové roztažnosti 1.testování a 2.testování	56



SEZNAM PŘÍLOH

TIŠTĚNNÉ PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Zobrazení posunů sledovaných bodů z monitoringu str. 63 až 65

ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY

Příloha č. 2: Měřená data z dlouhodobého monitoringu

<i>souradnice_180801.txt</i>	<i>zaznam_mereni_180801.txt</i>
<i>souradnice_180803_1.txt</i>	<i>zaznam_mereni_180803_1.txt</i>
<i>souradnice_180803_2.txt</i>	<i>zaznam_mereni_180803_2.txt</i>
<i>souradnice_180805.txt</i>	<i>zaznam_mereni_180805.txt</i>

Příloha č. 3: Zpracování dlouhodobého monitoringu *monitoring_vypocty.xlsx*

Příloha č. 4: Měřená data určování přesnosti přístroje *test_presnosti_mereni.txt*

Příloha č. 5: Zpracování a výsledky určování přesnosti přístroje
test_presnosti_vypocty_vysledky.xlsx

Příloha č. 6: Úhlové měření experimentu v exteriéru *merena_data.pdf*

Příloha č. 7: Zpracování a výsledky úhlového měření experimentu v exteriéru
vypocty_vysledky_uhlove.xlsx

Příloha č. 8: Měřená data experimentu v exteriéru určováním náklon *zapisnik_stativy.xlsx*

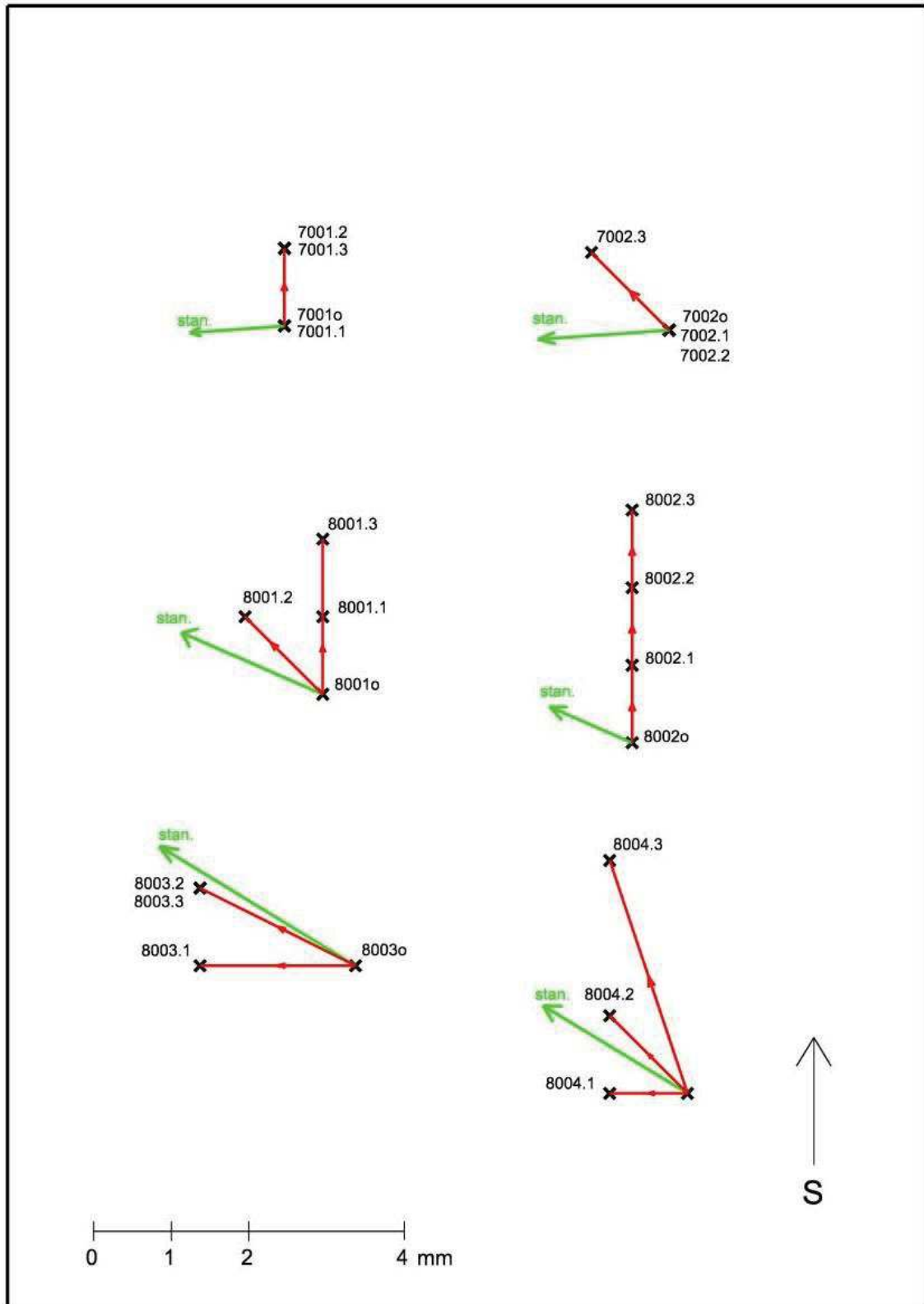
Příloha č. 9: Zpracování a výsledky experimentu v exteriéru určováním náklonů
vypocty_vysledky_naklony.xlsx

Příloha č. 10: Měřená data 1. laboratorního experimentu
merena_data_1.pdf *zapis_naklonu_teplo_1.xlsx*

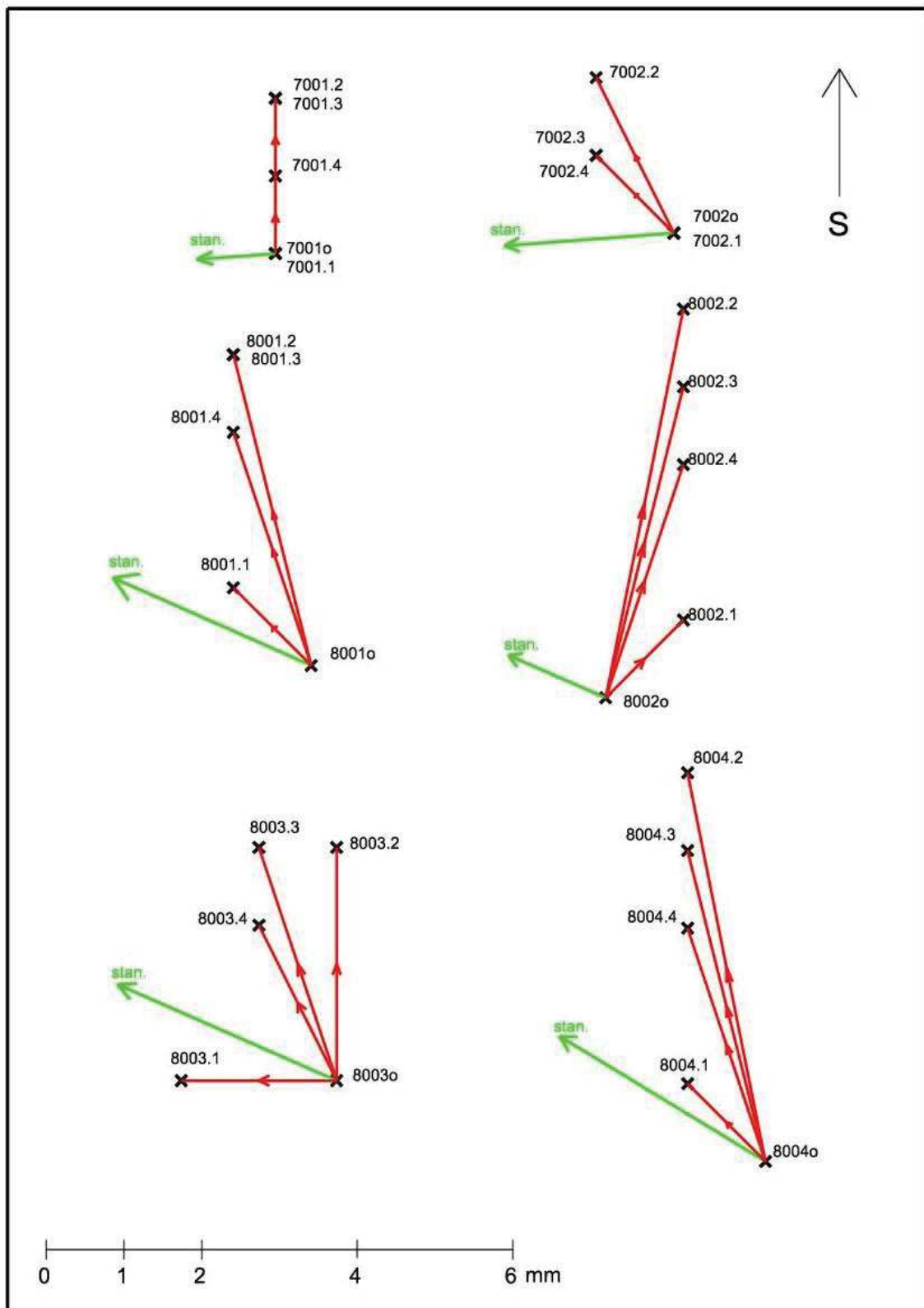
Příloha č. 11: Měřená data 2. laboratorního experimentu
merena_data_2.pdf *zapis_naklonu_teplo_2.xlsx*

Příloha č. 12: Výpočet prostupu tepla materiálem a teplotní délkové roztažnosti
prostup_teplo_roztaznost.xlsx

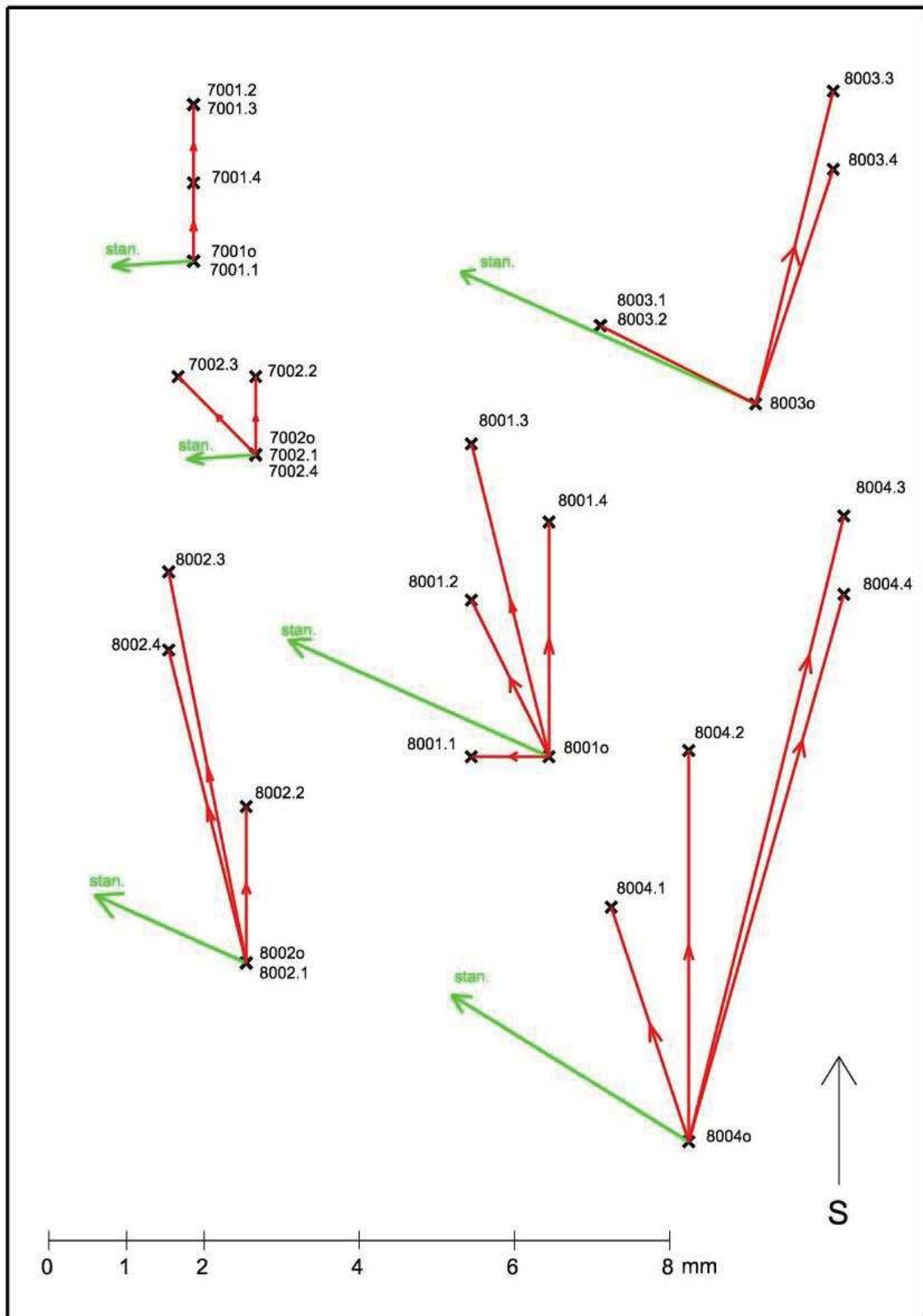
Příloha č. 13: Souhrnné výsledky laboratorních experimentů *souhrnne_vysledky.xlsx*

Příloha č. 1: Zobrazení posunů sledovaných bodů z monitoringu

Obr. 34 - Výsledné zobrazení směru a velikosti posunů z měření první poloviny dne 3.8.2018



Obr. 35 - Výsledné zobrazení směru a velikosti posunů z měření druhé poloviny dne 3.8.2018



Obr. 36 - Výsledné zobrazení směru a velikosti posunů z měření dne 5.8.2018