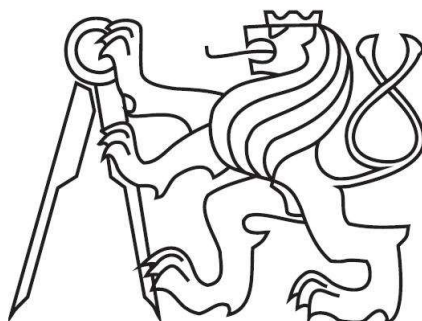


# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE

OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Testování přesnosti dilatometru TM-71**

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

Katedra speciální geodézie

Josef Souček



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE



Fakulta stavební  
Tháškova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Souček</u>	Jméno: <u>Joscf</u>	Osobní číslo: <u>458885</u>
Zadávací katedra: <u>katedra speciální geodézie</u>		
Studijní program: <u>geodézie a kartografie</u>		
Studijní obor: <u>geodézie, kartografie a geoinformatika</u>		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Testování přesnosti dilatometru TM-71</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Testing accuracy of TM-71 dilatometer</u>	
Pokyny pro vypracování: Návrh laboratorního experimentu pro zjištění přesnosti dilatometru. Praktické provedení experimentu. Rozbory přesnosti geodetické ověřovací metody. Sestavení výsledků a zhodnocení experimentu s ohledem na všechny měřicí metody.	
Seznam doporučené literatury: Urban, R.: Geodetické práce při měření posunů a přetvoření stavebních objektů. 1. vyd. Praha. CTU Publishing House, 2015. Štroner, M. - Hampacher, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 1. vyd. Praha: CTU Publishing House, 2011. 313 s. ISBN 978-80-01-04900-6.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>doc. ing. Rudolf Urban, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>21.2.2018</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>28.5.2018</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
<u>21.2.2018</u> Datum převzetí zadání	<u>[Signature]</u> Podpis studenta(ky)

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma „Testování přesnosti dilatometru TM-71“ jsem vypracoval samostatně. Použitou literaturu a prameny uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne .....

Podpis .....

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu doc. Ing. Rudolfu Urbanovi, Ph.D. za cenné rady a konzultace. Dále bych také rád poděkoval panu Ing. Janu Balkovi za pomoc při měření této práce.

## Abstrakt

Tato bakalářská práce byla vytvořena za účelem ověření přesnosti dilatometru TM-71. Bylo navrženo laboratorní testování, ve kterém byl dilatometr upnut na soustruh. Pomocí soustruhu byly realizovány posuny dilatometru. Dilatometr umožňuje odečítat posuny na dvou odečítacích pomůckách, které využívají moiré efekt. Pro ověření přesnosti určení posunu byly využity dvě srovnávací metody. První metoda určuje posuny pomocí strojírenského úchylkoměru a druhá pomocí totální stanice. Celý experiment byl proveden dvakrát. Výsledkem bylo porovnání obou metod.

## Klíčová slova

Dilatometr, přesnost, totální stanice, úchylkoměr, laboratoř, moiré efekt

## Abstract

This bachelor thesis was created in order to verify precision of dilatometr TM-71. We designed laboratory conditions for testing in which dilatometr was attached on lathe. Shift of dilatometr was realized via lathe. Dilatometr provides abatement of two subtracting devices with use of the Moiré effect. For verification of precision were used two comparing methods. First method determine movement via dial indicator. The second one uses total station. Whole experiment was repeated twice. Result of testing was comparison of both methods.

## Keywords

Dilatometer, precision, total station, dial indicator, laboratory, moiré effect

## Obsah

1. Úvod.....	8
2. Dilatometr.....	9
2.1 Efekt Moiré.....	11
3. Experiment .....	13
3.1 Metody měření.....	14
3.1.1 Úchylkoměr.....	14
3.1.2 Totální stanice Trimble S6 HP .....	14
3.1.3 Dilatometr.....	14
3.2 Měřičské vybavení.....	15
3.2.1 Úchylkoměr.....	15
3.2.2 Totální stanice Trimble S6 HP .....	15
3.2.3 Dilatometr.....	17
3.2.4 Odrazný štítek .....	18
3.2.5 Fotoaparát Canon EOS 500 D.....	18
4. Apriorní rozbor přesnosti .....	20
5. Výsledky.....	23
5.1 Průběh výpočtu – dilatometr.....	23
5.2 Průběh výpočtu – Totální stanice Trimble S6 HP .....	24
5.3 1. měření .....	25
5.4 2. měření .....	28
5.5 Porovnání 1. a 2. měření.....	31
6. Závěr.....	35
7. Seznam obrázků .....	37
8. Seznam tabulek .....	37
9. Seznam grafů.....	38
10. Seznam použitých zdrojů .....	38

11. Přílohy na CD..... 38

## 1. Úvod

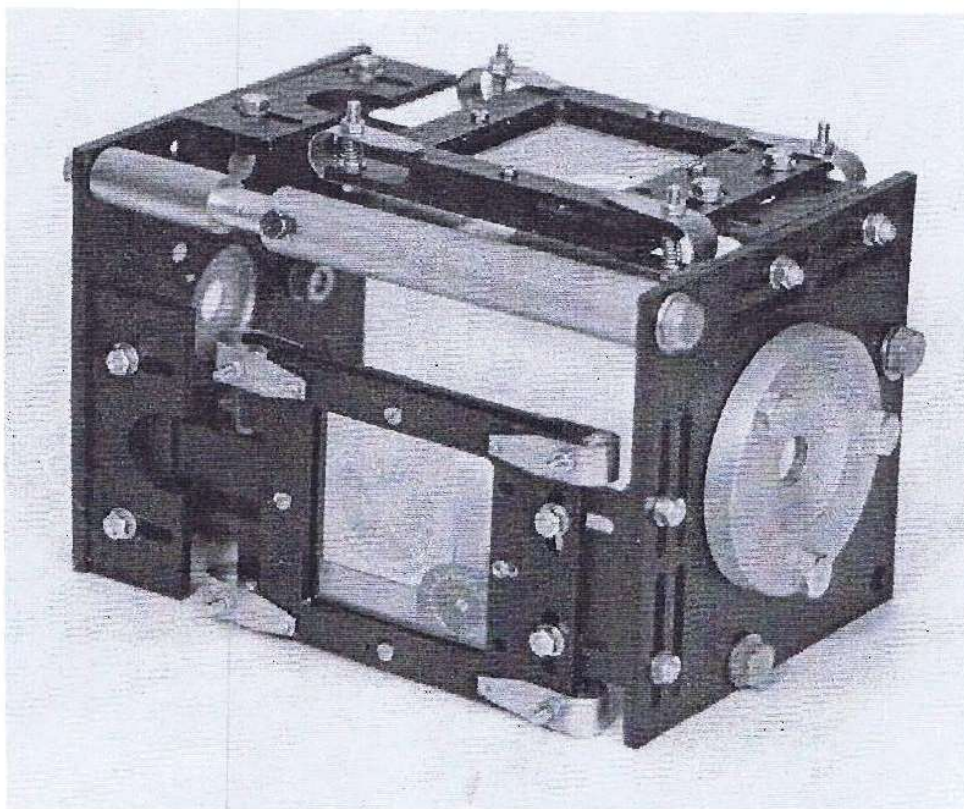
Dilatometry jsou přístroje běžně používané ke sledování skalních mikroposuvů či jiných deformací, které by mohly způsobit katastrofy v podobě lavin, skalních sesuvů apod. Dilatometry by se daly rozdělit na mechanické a elektronické. Zde jsou uvedeny některé mechanické dilatometry: sádrové terčíky, měřicí hodinky, posuvné mikrometry a dilatometrické skoby. Mechanické dilatometry bychom ještě mohli rozdělit na trvalé, které jsou zabudované na trvalo do trhliny a přenosné, které lze použít kdykoli. Uchycení bývá často provedeno pomocí dvou pevných držáků k můstku mezi dva objekty. K jejich monitorování mohou být použité různé metody. Běžně užívanou metodou je vizuální kontrola. Ta je realizována pomocí barevných značek na trhlíně. Dále se kontrola provádí pomocí indikátorových hodinek. Často využívané jsou také elektronické dilatometry, které využívají strunové tenzometry. Tenzometr je pasivní elektrotechnická součástka, používaná jako senzor k nepřímému měření mechanického napětí. Nebo laserové dilatometry, které využívají interferenční měření.

Tato bakalářská práce byla vytvořena za účelem ověření přesnosti dilatometru TM-71. Tento model byl navržen převážně k monitorování trhlin skalních masivů. Jeho výhodou je vysoká citlivost, čímž umožňuje zachytit posuny s přesností 0,01 mm. K tomu, aby bylo možné ověřit přesnost daného přístroje, musel být nejprve navržen vhodný experiment. V rámci experimentu byl pro určení posunů využit mechanický úchylkoměr a také totální stanice. Součástí ověření byl i výpočet apriorní přesnosti, které lze teoreticky dosáhnout. K potvrzení výsledků byl experiment proveden dvakrát. Veškeré práce probíhaly v prostorách stavební fakulty ČVUT. Použity byly přístroje patřící katedře speciální geodézie.



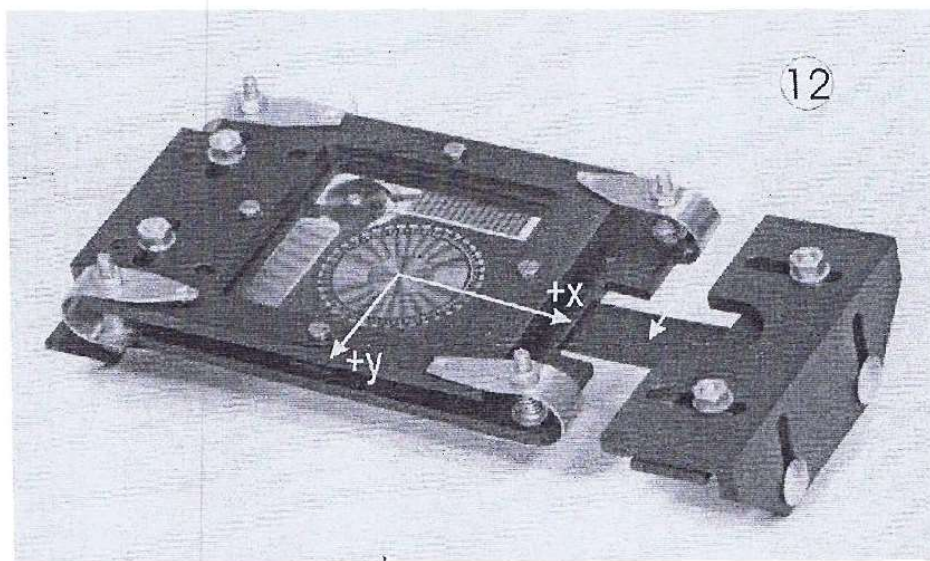
## 2. Dilatometr

Jelikož lidskou i přírodní činností vznikají procesy destruktivního charakteru, které mohou způsobit i masivní sesuvy půdy, je snaha tyto události předvídat. Za tímto účelem byl navržen dilatometr model TM71 (Obr. 1), který převážně slouží k měření prostorových mikroposuvů ve skalních masivech. Posuny jsou měřeny ve všech třech prostorových osách. Tento model se vyznačuje vysokou citlivostí a stabilitou. Měřidlo má indikátory lineárního posunu a rotace, které obsahují dvojici optických mřížek. Mřížky mají podobu malých kruhových terčů, které vytvářejí interferenční obrazce, tzv. moiré, v závislosti na malých posunech mezi mřížkami.



Obr. 1: Dilatometr

K k indikaci natočení se používá podobná soustava jako pro posun. Terčíky jsou na skleněných destičkách a jejich posun je dán vnějšími impulzy, které jsou sledovány. TM-71 má dva indikátory orientované ve dvou kolmých rovinách, a tak mohou poskytovat informace o posunech a rotacích ve dvou rovinách. Měřidlo je trvale umístěno v terénu a moiré obrazce jsou neustále monitorovány fotograficky nebo jinou videotechnikou.



Obr. 2: Osy indikátoru

Terčik se skládá z množství symetricky uspořádaných pruhů vystupujících ze středu. Obrazec je vyvolán excentricitou a definuje vektor, který je orientován podle osy souměrnosti. Důležitá je správná orientace indikátorů, které poskytují informace o pohybu, a to v navzájem kolmých souřadnicích  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . (Obr. 2)

Osa  $+x$  směřuje ze středu mřížky do  $0g$  na osové stupnici.

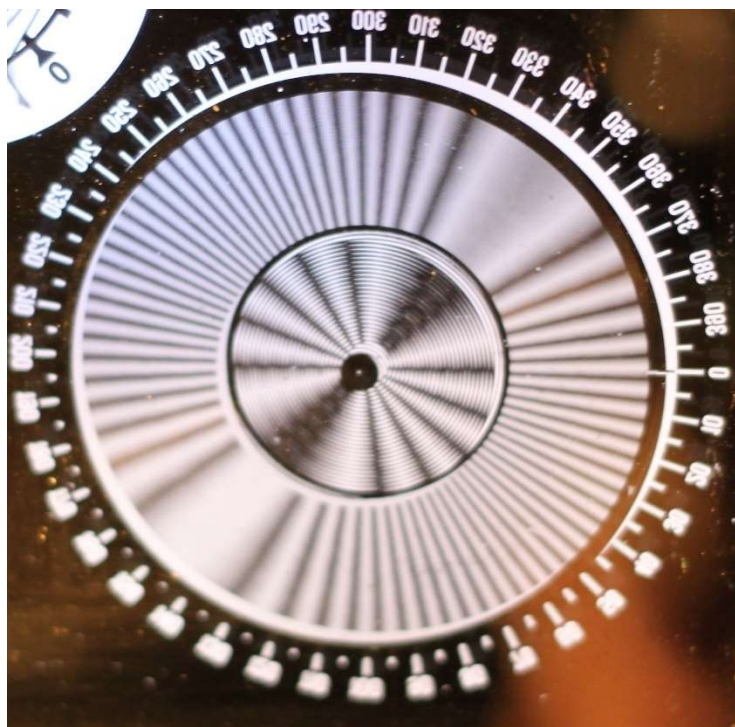
Osa  $+y$  směřuje ze středu mřížky do  $100g$  na osové stupnici.

Osa  $+z$  směřuje ze středu mřížky do  $100g$  na osové stupnici.

V této kapitole bylo čerpáno z [3] a [4].

## 2.1 Efekt Moiré

Moiré je efekt mechanické interference, která je vyobrazena v podobě bílých a černých proužků. (Obr. 3) Tyto obrazce jsou vyvolané působením světla na předřazené mřížky. Tento jev je vysoce citlivý k deformacím nebo posunu mřížek. Čím větší je hustota mřížky, tím větší je hustota moiré. Pohyby proužků jsou vyvolány pohybem mřížky. Je tedy zapotřebí dvou identických mřížek, z nichž jedna je posuvná. Při posuvu pak dochází k transformaci obrazců, které se analyzují a poté se vyčíslí posun. Na Obr. 3 a Obr. 4 je vidět rozdíl v obrazcích na indikátorech. Čili vlivem posunu se projevil moiré efekt.



Obr. 3: Moiré efekt

Mřížka tvořená soustavou soustředných kruhů o stejné vzdálenosti je neutrální vzhledem ke směru. Orientace mřížky pak neovlivňuje moiré a vliv má tak pouze posun mezi mřížkami. Naopak mřížka tvořená rovnoběžkami s konstantní vzdáleností je k posunům indiferentní, a tak na moiré v žádném směru vliv nemají. Hustota se mění pouze pokud nastane rotace mezi mřížkami. Těchto vlastností je využito pro tvorbu kombinovaného indikátoru, (Obr. 4) který obsahuje kruhový terčík a obdélníkové plochy.



Obr. 4: Kombinovaný indikátor

Tento indikátor obsahuje dvě jednotky, které jsou ve dvou vzájemně kolmých rovinách. V terčíku můžeme vidět hyperboly jako čáry, vedoucí ze středu. Jelikož je posun mezi mřížkami relativní, je nutné stanovit jednu z nich jako pevnou a připojenou k souřadnicím  $x$ ,  $y$ . Pak lze i zavést znaménko. Mřížky jsou konstruovány tak, aby stupnice s opačnou orientací byla sledována s odříznutím značek od okruží. Pak je orientace vektoru jednoznačná.

V této kapitole bylo čerpáno z [3] a [4].

### 3. Experiment

K ověření přesnosti dilatometru bylo nejdříve zapotřebí zvolit vhodné otestování. Po úvaze byly pro experiment vybrány tři metody. Jako první byl využit úchylkoměr, který byl uchycen k soustruhu, aby bylo možné provádět posuny určené k měření. Jako druhá byla využita totální stanice Trimble S6 HP. Pomocí totální stanice byly měřeny vodorovné směry a vzdálenosti na značky vytvořené na dilatometru. A třetí bylo vlastní měření dilatometrem. (Obr. 5) K tomu musel být použit fotoaparát, kterým se pořizovaly snímky sklíčků na dilatometru. Z fotografií se poté určoval posun. Nakonec bylo rozhodnuto, že celý experiment bude jednou opakován, aby se potvrdily výsledky. Pro měření byly využity prostory fakulty stavební ČVUT. Přesněji suterénní laboratoř, která se nachází vedle skladu geodetických přístrojů.



Obr. 5: Upevněný dilatometr

### 3.1 Metody měření

V této kapitole budou podrobněji rozebrány jednotlivé metody, které byly použity pro měření navrhnutého experimentu.

#### 3.1.1 Úchylkoměr

Tento přístroj byl připevněn k soustruhu a byly na něm nastavovány posuny. Zařízení bylo navrženo pro malé posuny, což bylo pro tento experiment nezbytné. Postupovalo se tak, že se posouvalo soustruhem, dokud na technických hodinkách nebyla požadovaná hodnota, a poté se při této konfiguraci měřilo totální stanicí a dilatometrem. Následně byl nastaven další posun a postup se opakoval. Hodnoty nastavené na úchylkoměru byly zaznamenávány, aby mohly být později použity pro srovnání.

#### 3.1.2 Totální stanice Trimble S6 HP

Pro účely experimentu byla totální stanice postavena na stanovisko asi 2 m od cíle. Po nastavení výchozí hodnoty pomocí soustruhu bylo provedeno měření totální stanicí. Proto byly vytvořeny na dilatometru dvě značky, jejichž vzdálenost se při každém posunu měnila. Na tyto značky bylo cíleno a ke změření vzdálenosti byl na značky přikládán odrazný terč. Vzdálenost byla měřena v rámci jednoho posunu na každou značku pouze jednou. Měření probíhalo ve třech skupinách, kdy skupina se skládala ze zaměření směru na levou značku, pak bylo dvakrát zacíleno na pravou značku a poté zpět na levou. Délka byla měřena pouze v první skupině na oba cíle. Tento postup byl opakován u všech měřených posunů. Při prvním testu bylo měřeno deset hodnot nastavených úchylkoměrem a během druhého testu jich bylo jedenáct.

#### 3.1.3 Dilatometr

Nejprve bylo třeba dilatometr upnout k soustruhu, aby na něm bylo možné provádět posuny nutné k měření. Jelikož není snadné naměřené posuny na dilatometru vyhodnotit ihned, tak byly pomocí fotoaparátu pořízeny snímky horizontálního a vertikálního sklíčka na dilatometru a hodnoty vyčísleny až později.

## 3.2 Měřičské vybavení

V této kapitole budou shrnuty základní informace o přístrojích či jiných pomůckách, které byly využity při provádění experimentu.

### 3.2.1 Úchylkoměr

Toto vybavení bylo zapůjčeno od techniků na fakultě. (Obr. 6) Bylo upevněno k dilatometru a sloužilo k nastavení výchozí hodnoty posunu, který byl následně zaměřen totální stanicí a dilatometrem. Zařízení je běžně užívané pro technické práce. Udávaný rozsah je 0–1 mm a přesnost 0,01 mm.



Obr. 6: Úchylkoměr

### 3.2.2 Totální stanice Trimble S6 HP

K zaměření směru a vzdálenosti na dané značky byla využita totální stanice Trimble S6 HP. (Obr. 7) Pro účely této práce byla totální stanice zapůjčena z katedry speciální geodézie FSv ČVUT v Praze. Základní parametry a přesnosti této totální stanice jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1: Parametry Trimble S6 HP

Dalekohled	
Zvětšení dalekohledu	30x
Rozsah ostření	1,5 m - ∞
Rychlost měření délek na hranol	
Standard	1,2 s
Tracking	0,4 s
Přesnost měření délek na hranol	
Standard	± ( 2 mm + 2 ppm )
Standardní odchylka dle ISO 17123-4	± ( 1 mm + 2 ppm )
Tracking	± ( 4 mm + 2 ppm )
Přesnost měření úhlů na hranol	
Přesnost (směrodatná odchylka dle DIN 18723)	2" (0,6 mgon)
Čtení úhlu (nejmenší dílek) standard	1" (0,3 mgon)
Čtení úhlu (nejmenší dílek) tracking	2" (0,6 mgon)



Obr. 7: Totální stanice Trimble S6 HP



### 3.2.3 Dilatometr

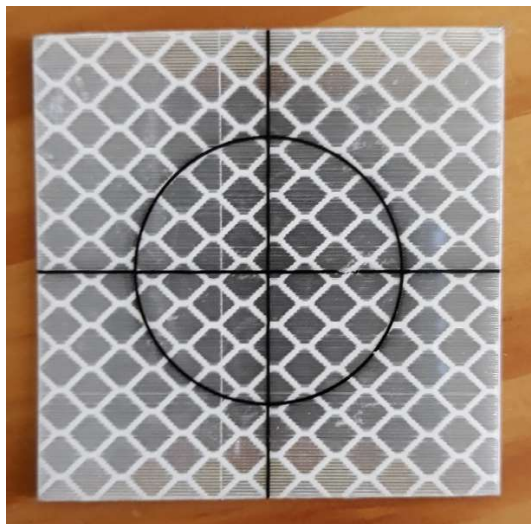
Zařízení na Obr. 8 bylo pro účely tohoto experimentu upevněno k soustruhu v laboratoři. Bylo tak možné velmi snadno provádět malé posuny, které byly nezbytné pro určení přesnosti. Jedná se o model TM-71. Je běžně užívám v terénu k monitorování skalních posuvů. Rozhodli jsme se otestovat jeho přesnost, protože to na tomto přístroji nebyla dosud ověřována.



Obr. 8: Dilatometr

### 3.2.4 Odrazný štítek

Při měření byl použit i jeden odrazný štítek 5 cm x 5 cm. (Obr. 9) Štítek byl vždy ručně přidržen u značek na dilatometru a totální stanicí byla změřena vzdálenost.



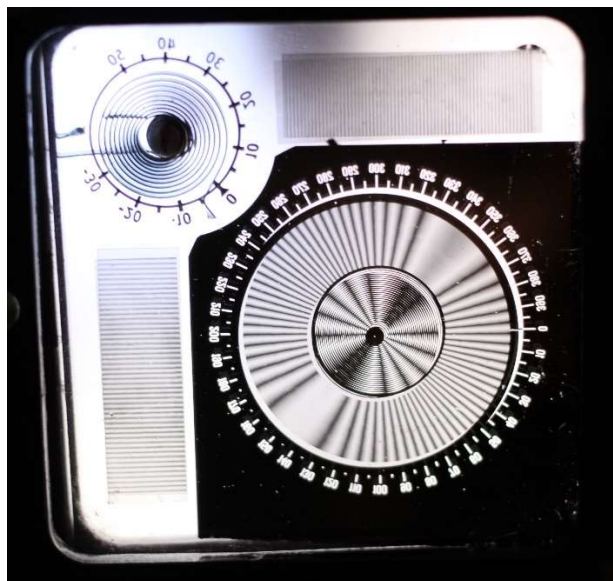
Obr. 9: Odrazný štítek

### 3.2.5 Fotoaparát Canon EOS 500 D

Snímky byly pořizovány zrcadlovkou značky Canon. (Obr. 10) Jeden snímek na ukázkou se nachází na Obr. 11.



Obr. 10: Fotoaparát Canon EOS 500 D



Obr. 11: Ukázka snímku

Fotoaparát disponuje rozlišením 15.1 Mpix a umožňuje snímky ukládat ve formátu JPEG a RAW. Při pořizování fotografií byl použit objektiv s ohniskovou vzdáleností 40 mm. (Obr. 12)

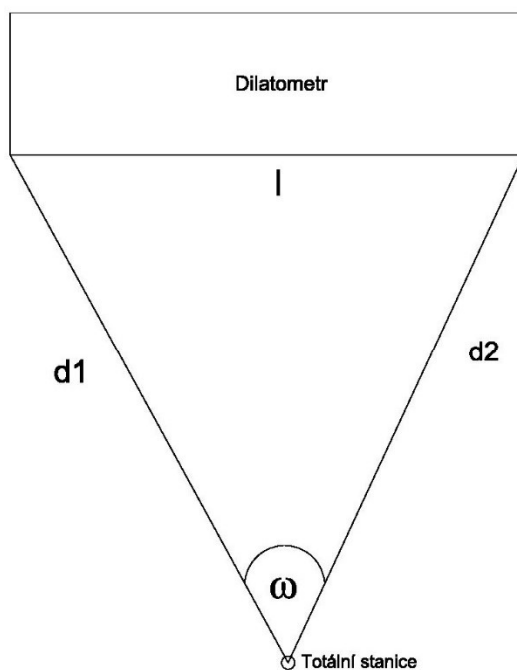


Obr. 12: Objektiv

## 4. Apriorní rozbor přesnosti

Ještě před začátkem měření bylo nutné určit, jakých přesností můžeme dosáhnout. Bylo tedy nutné vypočítat apriorní hodnotu směrodatné odchylky. Jelikož byly výsledné posuny počítány pomocí kosinové věty (1), tak bylo nutné tento vztah parciálně derivovat podle měřených délek a úhlu, který svírají (2), (3), (4). A podle zákona o hromadění směrodatných odchylek dostaneme rovnici (5). Předpokládáme, že délky byly měřeny se stejnou přesností. Na Obr. 13 můžeme vidět schématický obrázek kosinové věty.

Pro tuto kapitolu bylo čerpáno z [5].



Obr. 13: Kosinová věta

**Kosinová věta**

$$l^2 = d_1^2 + d_2^2 - 2 \cdot d_1 \cdot d_2 \cdot \cos \omega \quad (1)$$

- l ..... Vzdálenost desek dilatometru ve fixovaném stavu
- d1 ..... Délka měřená na levou značku
- d2 ..... Délka měřená na pravou značku
- ω ..... Úhel, který svírají měřené délky

**Parciální derivace kosinové věty podle d<sub>1</sub>**

$$\frac{\partial l}{\partial d_1} = \frac{d_1 - d_2 \cdot \cos \omega}{l} \quad (2)$$

**Parciální derivace kosinové věty podle d<sub>2</sub>**

$$\frac{\partial l}{\partial d_2} = \frac{d_2 - d_1 \cdot \cos \omega}{l} \quad (3)$$

**Parciální derivace kosinové věty podle ω**

$$\frac{\partial l}{\partial \omega} = \frac{d_1 \cdot d_2 \cdot \sin \omega}{l} \quad (4)$$

**Aplikace zákona o hromadění směrodatných odchylek**

$$\sigma_l^2 = \left(\frac{d_1 - d_2 \cdot \cos \omega}{l}\right)^2 \cdot \sigma_d^2 + \left(\frac{d_2 - d_1 \cdot \cos \omega}{l}\right)^2 \cdot \sigma_d^2 + \left(\frac{d_1 \cdot d_2 \cdot \sin \omega}{l}\right)^2 \cdot \left(\frac{\sigma_\omega}{\rho}\right)^2 \quad (5)$$

Apriorní hodnoty veličin a výsledná hodnota apriorní směrodatné odchytky je zobrazena v Tab. 2.

Jelikož úhel je rozdílem dvou směrů, tak byla směrodatná odchytká úhlu učena ze vztahu (6). Dle zkušenosti vedoucího práce byla směrodatná odchytká úhlu  $\sigma\omega$  zvolena 0,0016 (gon) s ohledem na zhoršenou přesnost na velmi krátké záměry. Což odpovídá posunu 0,05 mm na 2 m. Směrodatná odchytká délky  $\sigma d$  byla volena s ohledem na přesnost dálkoměru. Hodnoty  $d_1$ ,  $d_2$  a  $\omega$  byly hodnoty, které jsme předpokládali.

### Směrodatná odchytká úhlu

$$\sigma\omega = \sqrt{2} \cdot \sigma\varphi \quad (6)$$

Tab. 2: Apriorní hodnota směrodatné odchytky vypočítané délky  $\sigma l$

L (m)	0,219
d1 (m)	2,000
d2 (m)	2,000
$\sigma d$ (m)	0,001
$\omega$ (gon)	7,0000
$\sigma\omega$ (gon)	0,0016
$\rho$ (gon)	63,6620
$\sigma l$ (mm)	0,057

L .....	Vzdálenost desek dilatometru ve fixovaném stavu
d1 .....	Délka měřená na levou značku
d2 .....	Délka měřená na pravou značku
$\sigma d$ .....	Směrodatná odchytká měřené délky
$\omega$ .....	Úhel, který svírají měřené délky
$\sigma\omega$ .....	Směrodatná odchytká úhlu, který svírají měřené délky

Podle výsledků je patrné, že odhadovaná směrodatná odchytká vypočtené základny je **0,057 mm**. Což je hodnota, která by měla dostačovat k ověření přesnosti dilatometru, se kterou jsme předpokládali, že přístroj měří.

## 5. Výsledky

V této kapitole bude shrnuto, jak probíhaly výpočty, a také zde budou uvedeny vypočtené hodnoty týkající se experimentu.

### 5.1 Průběh výpočtu – dilatometr

Ke každému posunu byl pořízen snímek horizontálního a vertikálního sklíčka, který byl dále rozebírán. Z fotografie byl vždy odečten počet „proužků“ a to vždy jen na jedné straně osy souměrnosti. Dále se ještě odečítá hodnota orientace  $\alpha$ , která se odečítá na úhlové stupnici, a to v místě, kde jsou značky stupnice spojené. Poté je nutné uvážit konstantu mřížky  $c$ , která je pro použitou mřížku 1/20 mm. Pomocí těchto hodnot jsou počítány excentricity  $dx$  (7) a  $dy$  (8). Excentricity jsou posuny pro osu  $x$  a  $y$ . Slouží k určení výsledného posunu  $ds$ .

#### Excentricita $dx$

$$dx = \frac{1}{2} \cdot c \cdot N \cdot \cos \alpha \quad (7)$$

#### Excentricita $dy$

$$dy = \frac{1}{2} \cdot c \cdot N \cdot \sin \alpha \quad (8)$$

Poté byl pomocí pythagorovy věty a odečtením od výchozího stavu spočítán posun  $ds$  (9), který byl vždy porovnán s diferencí.  $ds$  je posun pravé značky na dilatometru oproti předchozí poloze této značky. Diference je rozdíl oproti předchozímu posunu.

#### Výpočet posunu

$$ds_i = \sqrt{(dx_0 - dx_i)^2 + (dy_0 - dy_i)^2} \quad (9)$$

## 5.2 Průběh výpočtu – Totální stanice Trimble S6 HP

Jako první krok bylo nutné naměřenou šikmou délkou redukovat na vodorovnou (10). Dále z rozdílu dvou směrů byl vypočítán úhel  $\omega$ . Jelikož pro jednu skupinu bylo úhlů šest, tak jako výsledná hodnota byl brán průměr. Poté pomocí délek  $d_1$ ,  $d_2$  a úhlu  $\omega$  byla kosinovou větou vypočítána vzdálenost značek 1 (1). Výsledný posun byl získán odečtením nově naměřené délky 1 od výchozí hodnoty  $l_0$ . Tento získaný posun byl porovnáván s hodnotou nastavenou úchylkoměrem. Na závěr byla ještě spočtena směrodatná odchylka měření (11).

### Redukce na vodorovnou délku

$$vd = šd \cdot \sin z \quad (10)$$

vd ..... vodorovná délka

šd ..... šikmá délka

z..... zenitový úhel

### Směrodatná odchylka měření

$$s_m = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n}} \quad (11)$$

$v_i$  ..... odchylka od průměru

n ..... počet měřených hodnot



### 5.3 1. měření

Po prvním měření jsme získali deset hodnot nastavených úchylkoměrem. V Tab. 3 je ukázka naměřených dat pouze pro první posun. Dále byly provedeny výpočty rozdílů posunů, které se nachází v Tab. 4 pro vertikální sklíčko dilatometru, v Tab. 5 pro horizontální sklíčko dilatometru a v Tab. 6 pro totální stanici. Sloupec relativní posun byl získán odečtením vypočtených délek mezi značkami na dilatometru, které se vztahují vždy k předešlému posunu. Důležitý je sloupec rozdíl posunů, který ukazuje rozdíl mezi diferencí a relativním posunem. Diference udává hodnotu o kterou se liší daný posun od přechozího a je udána v absolutní hodnotě.

Tab. 3: Ukázka naměřených dat - 1. měření (totální stanice)

Nastavený posun (mm)	Cíl	Šikmá délka (m)	Zenitový úhel (gon)	Vodorovný směr (gon)
0,00	Pravý	1,788	115,7065	0,0020
	Levý	1,792	115,7632	7,2545
	Pravý	1,788	115,7632	7,2545
	Levý	1,792	115,7061	399,9995
	Pravý	1,788	115,7061	0,0001
	Levý	1,792	115,7647	7,2555
	Pravý	1,788	115,7647	7,2538
	Levý	1,792	115,7067	399,9994
	Pravý	1,788	115,7067	399,9986
	Levý	1,792	115,7652	7,2542
	Pravý	1,788	115,7652	7,2549
	Levý	1,792	115,7065	0,0023

Tab. 4: Vertikální sklíčko (dilatometr)

<b>Posun (mm)</b>	<b>N</b>	<b><math>\alpha</math> (gon)</b>	<b>Dx (mm)</b>	<b>Dy (mm)</b>	<b>Ds (mm)</b>	<b>Diference (mm)</b>	<b>Rozdíl posunů (mm)</b>
0,00	31	145	0,503	0,589	-	-	-
0,20	31	145	0,503	0,589	0,00	0,2	0,20
0,40	31	147	-0,522	0,573	0,02	0,2	0,18
-0,30	37	70	0,420	0,824	0,97	0,7	-0,27
-0,60	45	54	0,744	0,844	0,32	0,3	-0,02
-0,90	55	45	1,046	0,893	0,31	0,3	-0,01
-0,70	45	52	0,770	0,820	0,28	0,2	-0,08
-0,90	55	45	1,046	0,893	0,28	0,2	-0,08
-0,70	45	52	0,770	0,820	0,28	0,2	-0,08
-0,60	37	60	0,544	0,748	0,24	0,1	-0,14

Tab. 5: Horizontální sklíčko (dilatometr)

<b>Posun (mm)</b>	<b>N</b>	<b><math>\alpha</math> (gon)</b>	<b>Dx (mm)</b>	<b>Dy (mm)</b>	<b>Ds (mm)</b>	<b>Diference (mm)</b>	<b>Rozdíl posunů (mm)</b>
0,00	21	205	-0,523	0,041	-	-	-
0,20	21	205	-0,523	0,041	0,00	0,2	0,20
0,40	21	205	-0,523	0,041	0,00	0,2	0,20
-0,30	7	370	0,156	0,079	0,68	0,7	0,02
-0,60	19	390	0,469	0,074	0,31	0,3	-0,01
-0,90	31	392	0,769	0,097	0,30	0,3	0,00
-0,70	25	395	0,623	0,049	0,15	0,2	0,05
-0,90	31	395	0,773	0,061	0,15	0,2	0,05
-0,70	25	397	0,624	0,029	0,15	0,2	0,05
-0,60	21	399	0,525	0,008	0,10	0,1	0,00

Tab. 6: Vypočtené hodnoty – Trimble S6 HP

Nastavený posun (mm)	Vodorovná délka (m)	$\varnothing\omega$ (gon)	Absolutní posun (mm)	Relativní posun (mm)	Diference (mm)	Rozdíl posunů (mm)
0,00	1,734	7,2543	-	-	-	-
	1,737					
0,20	1,735	7,2527	-0,07	0,07	0,20	0,13
	1,736					
0,40	1,735	7,2538	0,03	0,09	0,20	0,11
	1,737					
-0,30	1,735	7,2857	-0,89	0,87	0,70	-0,17
	1,737					
-0,60	1,735	7,2969	-1,14	0,24	0,30	0,06
	1,736					
-0,90	1,735	7,3070	-1,41	0,27	0,30	0,03
	1,736					
-0,70	1,735	7,2976	-1,22	0,19	0,20	0,01
	1,737					
-0,90	1,735	7,3072	-1,48	0,26	0,20	-0,06
	1,737					
-0,70	1,735	7,2962	-1,13	0,35	0,20	-0,15
	1,736					
-0,60	1,735	7,2892	-0,99	0,14	0,10	-0,04
	1,737					

## 5.4 2. měření

Po druhém měření bylo získáno jedenáct hodnot nastavených úchylkoměrem. V Tab. 7 je ukázka naměřených dat pouze pro první posun. Dále byly provedeny výpočty rozdílů posunů, které nachází v Tab. 8 pro vertikální sklíčko dilatometru, v Tab. 9 pro horizontální sklíčko dilatometru a v Tab. 10 pro totální stanici. Sloupec relativní posun byl získán odečtením vypočtených délek mezi značkami na dilatometru, které se vztahují vždy k předešlému posunu. Důležitý je sloupec rozdíl posunů, který ukazuje rozdíl mezi diferencí a relativním posunem. Diference udává hodnotu o kterou se liší daný posun od přechozího a je udána v absolutní hodnotě.

Tab. 7: Ukázka naměřených dat - 2. měření

Nastavený posun (mm)	Cíl	Šikmá délka (m)	Zenitový úhel (gon)	Vodorovný směr (gon)
0,00	Pravý	1,993	112,5982	12,2836
	Levý	2,005	112,6431	18,7136
	Pravý	1,993	112,6431	18,7126
	Levý	2,005	112,5961	12,2833
	Pravý	1,993	112,5961	12,2839
	Levý	2,005	112,6413	18,7148
	Pravý	1,993	112,6413	18,7148
	Levý	2,005	112,5975	12,2816
	Pravý	1,993	112,5975	12,2834
	Levý	2,005	112,6417	18,7164
	Pravý	1,993	112,6417	18,7142
	Levý	2,005	112,5957	12,2820

Tab. 8: Vertikální sklíčko

Posun (mm)	N	$\alpha$ (gon)	Dx (mm)	Dy (mm)	Ds (mm)	Diference (mm)	Rozdíl posunů (mm)
0,00	9	215	-0,219	-0,052	-	-	-
0,20	17	213	-0,416	-0,086	0,20	0,20	0,00
0,40	25	212	-0,614	-0,117	0,20	0,20	0,00
0,20	19	213	-0,465	-0,096	0,15	0,20	-0,05
0,40	25	211	-0,616	-0,107	0,15	0,20	-0,05
0,60	35	208	-0,868	-0,109	0,25	0,20	0,05
0,80	41	207	-1,019	-0,112	0,15	0,20	-0,05
0,60	35	207	-0,870	-0,096	0,15	0,20	-0,05
0,80	41	207	-1,019	-0,112	0,15	0,20	-0,05
1,00	49	207	-1,218	-0,134	0,20	0,20	0,00
0,40	27	205	-0,673	-0,053	0,55	0,60	-0,05

Tab. 9: Horizontální sklíčko

Posun (mm)	N	$\alpha$ (gon)	Dx (mm)	Dy (mm)	Ds (mm)	Diference (mm)	Rozdíl posunů (mm)
0,00	24	111	-0,103	0,591	-	-	-
0,20	27	124	-0,248	0,628	0,15	0,20	-0,05
0,40	30,5	139	-0,438	0,624	0,19	0,20	-0,01
0,20	27	132	-0,325	0,592	0,12	0,20	-0,08
0,40	31	137	-0,425	0,648	0,12	0,20	-0,08
0,60	37	155	-0,703	0,601	0,28	0,20	0,08
0,80	41	158	-0,810	0,628	0,11	0,20	-0,09
0,60	37	155	-0,703	0,601	0,11	0,20	-0,09
0,80	41	158	-0,810	0,628	0,11	0,20	-0,09
1,00	47	164	-0,992	0,630	0,18	0,20	-0,02
0,40	32	149	-0,557	0,575	0,44	0,60	-0,16

Tab. 10: Vypočtené hodnoty – Trimble S6 HP

Nastavený posun (mm)	Vodorovná délka (m)	$\omega$ (gon)	Absolutní posun (mm)	Relativní posun (mm)	Diference (mm)	Rozdíl posunů (mm)
0,00	1,954	6,4314	-	-	-	-
	1,966					
0,20	1,954	6,4269	0,03	0,03	0,20	<b>0,17</b>
	1,967					
0,40	1,954	6,4206	0,22	0,19	0,20	<b>0,01</b>
	1,967					
0,20	1,955	6,4258	0,08	0,15	0,20	<b>0,05</b>
	1,967					
0,40	1,955	6,4203	0,35	0,27	0,20	<b>-0,07</b>
	1,966					
0,60	1,955	6,4117	0,61	0,26	0,20	<b>-0,06</b>
	1,966					
0,80	1,954	6,4081	0,59	0,00	0,20	<b>0,20</b>
	1,967					
0,60	1,955	6,4123	0,59	0,02	0,20	<b>0,18</b>
	1,966					
0,80	1,954	6,4077	0,73	0,14	0,20	<b>0,06</b>
	1,966					
1,00	1,955	6,4010	0,94	0,21	0,20	<b>-0,01</b>
	1,966					
0,40	1,954	6,4185	0,40	0,54	0,60	<b>0,06</b>
	1,966					

## 5.5 Porovnání 1. a 2. měření

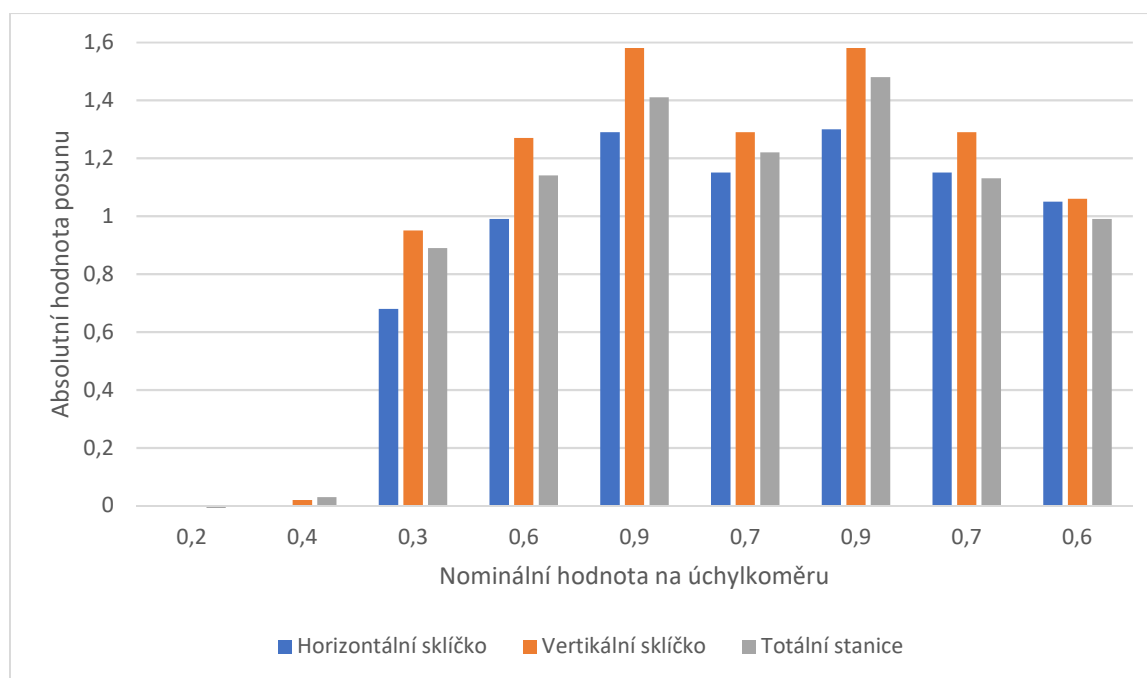
Celkové porovnání je zobrazeno v Tab. 11, kde jsou uvedeny posuny z prvního měření (úchytkoměr) a rozdíl od nominálních hodnot z úchytkoměru vůči dilatometru a totální stanici. V Tab. 12 je porovnání druhého měření v obdobném sestavení. V tabulkách se také nacházejí směrodatné odchylky jednotlivých metod. V obou tabulkách se jedná o směrodatnou odchylku měření, která byla počítána pomocí vzorce (11). Pro přehlednější ukázkou porovnání jednotlivých metod z obou měření byl vytvořen Graf 1 a Graf 2. Pro lepší názornost jsou v grafech hodnoty odečtené úchytkoměrem uvedeny v absolutní hodnotě.

Tab. 11 : Porovnání absolutních posunů - 1.měření

Posun (mm)	Horizontální sklíčko (mm)		Vertikální sklíčko (mm)		Totální stanice (mm)	
	Absolutní Posun	Rozdíl	Absolutní Posun	Rozdíl	Absolutní Posun	Rozdíl
0,00	-	-	-	-	-	-
0,20	0,00	-0,20	0,00	-0,20	-0,07	-0,27
0,40	0,00	-0,40	0,02	-0,38	0,03	-0,37
-0,30	-0,68	0,38	-0,95	0,65	-0,89	0,59
-0,60	-0,99	0,39	-1,27	0,67	-1,14	0,54
-0,90	-1,29	0,39	-1,58	0,68	-1,41	0,51
-0,70	-1,15	0,45	-1,29	0,59	-1,22	0,52
-0,90	-1,30	0,40	-1,58	0,68	-1,48	0,58
-0,70	-1,15	0,45	-1,29	0,59	-1,13	0,43
-0,60	-1,05	0,45	-1,06	0,46	-0,99	0,39
<b>Směrodatná odchylka (mm)</b>	<b>0,30</b>		<b>0,38</b>		<b>0,35</b>	

Pro vypočtené směrodatné odchylky byl brán úchytkoměr jako bezchybný.

Graf 1: Porovnání metod prvního měření



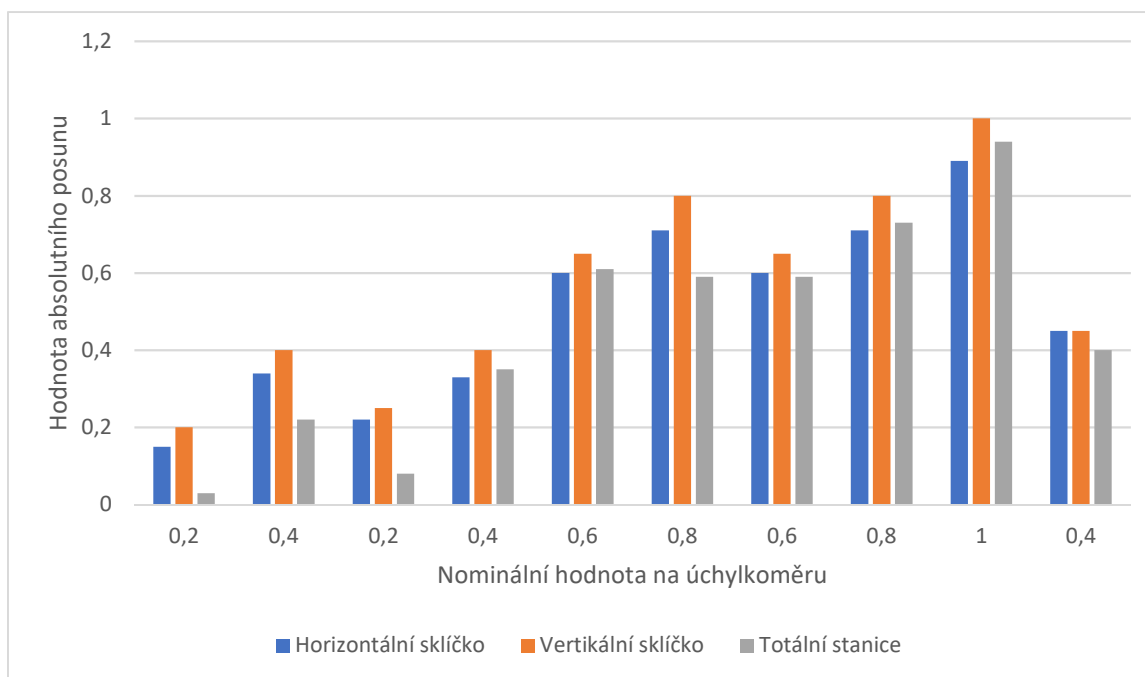
Tab. 12 : Porovnání absolutních posunů – 2.měření

Posun (mm)	Horizontální sklíčko (mm)		Vertikální sklíčko (mm)		Totální stanice (mm)	
	Absolutní Posun	Rozdíl	Absolutní Posun	Rozdíl	Absolutní Posun	Rozdíl
0,00	-	-	-	-	-	-
0,20	0,15	-0,05	0,20	0,00	0,03	-0,17
0,40	0,34	-0,06	0,40	0,00	0,22	-0,18
0,20	0,22	0,02	0,25	0,05	0,08	-0,12
0,40	0,33	-0,07	0,40	0,00	0,35	-0,05
0,60	0,60	0,00	0,65	0,05	0,61	0,01
0,80	0,71	-0,09	0,80	0,00	0,59	-0,21
0,60	0,60	0,00	0,65	0,05	0,59	-0,01
0,80	0,71	-0,09	0,80	0,00	0,73	-0,07
1,00	0,89	-0,11	1,00	0,00	0,94	-0,06
0,40	0,45	0,05	0,45	0,05	0,40	0,00
<b>Směrodatná odchylka (mm)</b>	<b>0,05</b>		<b>0,02</b>		<b>0,07</b>	



Pro vypočtené směrodatné odchylky byl brán úchylkoměr jako bezchybný.

Graf 2 : Porovnání metod druhého měření



Z výsledků směrodatných odchylek v Tab. 11 a v Tab. 12 je patrné, že druhé měření má mnohem lepší výsledky. Hodnoty prvního měření mohlo ovlivnit uchycení dilatometru, které nebylo pravděpodobně úplně správné. Proto bude prvnímu měření přikládána menší váha. Dále podle výsledků směrodatných odchylek v Tab. 11 a v Tab. 12 je zřejmé, že u druhého měření dilatometr dosahoval lepších výsledků než totální stanice. Z druhého měření, které bylo přesnější, také můžeme vidět, že na vertikálním sklíčku byly naměřeny nepatrně menší odchylky než na sklíčku horizontálním. Nicméně u prvního měření to bylo přesně naopak. U obou měření byla dosažená přesnost totální stanice horší, než byl apriorní odhad. Důvodem je směrodatná odchylka měření, která vyšla 1 mgon pro první měření a 0,7 mgon pro měření druhé. Tyto hodnoty ukazují, že měření úhlu na velmi krátkou vzdálenost může dělat problémy. Analýza měřených úhlů je uvedena v Tab. 13. Tabulka obsahuje průměrné úhly pro každý posun a směrodatnou odchylku, která byla spočítána podle (11). Výsledná směrodatná odchylka měření je průměr z jednotlivých směrodatných odchylek.

Tab. 13 : Analýza naměřených úhlů

1. měření		2. měření	
$\varnothing\omega$ (gon)	Směrodatná odchylka (gon)	$\varnothing\omega$ (gon)	Směrodatná odchylka (gon)
7,2543	0,0013	6,4314	0,0015
7,2527	0,0014	6,4269	0,0007
7,2538	0,0015	6,4206	0,0006
7,2857	0,0010	6,4258	0,0010
7,2969	0,0009	6,4203	0,0005
7,3070	0,0010	6,4117	0,0005
7,2976	0,0013	6,4081	0,0006
7,3072	0,0010	6,4123	0,0006
7,2966	0,0004	6,4077	0,0004
7,2891	0,0003	6,4010	0,0007
-	-	6,4185	0,0006
<b>Směrodatná odchylka 1. měření</b>		<b>Směrodatná odchylka 2. měření</b>	
<b>0,0010 (gon)</b>		<b>0,0007 (gon)</b>	

Výsledné hodnoty směrodatných odchylek měření v Tab. 13 nepřekračují apriorně stanovenou směrodatnou odchylku úhlu, která je 0,0016 gon.

## 6. Závěr

Byl proveden experiment za účelem ověření přesnosti dilatometru TM-71. Test se skládal z výpočtu apriorních přesností, aby bylo možno odhadnout, jakých výsledků jsme schopni dosáhnout. Dále bylo provedeno vlastní měření. Měřilo se pomocí dilatometru, který byl pro tyto účely upevněn k soustruhu v laboratoři na fakultě stavební ČVUT. Posuny byly realizovány pomocí soustruhu a hodnota posunu byla nastavena pomocí úchylkoměru, který byl také upevněn k soustruhu. Odečítání bylo provedeno pořízením snímků horizontálního a vertikálního sklíčka na dilatometru. Poté pomocí totální stanice byly měřeny vodorovné směry a vzdálenosti na vytvořené značky na dilatometru. Celé měření bylo stejným způsobem jednou opakováno. Po dokončení měřičských prací byly provedeny potřebné výpočty. Nejprve byly vyhodnoceny fotky sklíček dilatometru. Z nich se spočítaly posuny a následně byly porovnány s hodnotami odečtených úchylkoměrem. Poté se provedly výpočty posunů z dat pořízených totální stanicí. Po vyčíslení všech posunů byly použité metody a obě měření mezi sebou porovnány.

Výsledky prvního měření byly mnohem horší kvůli tomu, že dilatometr nebyl pravděpodobně úplně správně uchycen, nebo došlo k chybnému uchycení úchylkoměru. Při zpracování druhého měření se bohužel ukázalo, že přesnost dilatometru je nominálně lepší než navržená geodetická metoda, což nebylo očekávané. Hodnoty u druhého měření obdržené vertikálním sklíčkem byly mírně lepší než na sklíčku horizontálním. U prvního měření to bylo naopak.

Přesnost posunů naměřených totální stanicí byla u prvního měření 0,35 mm a u druhého 0,07 mm. Dosažená přesnost byla tedy zejména u prvního měření výrazně horší než v apriorním rozboru přesnosti. U druhého měření je již hodnota blízko očekávané hranice. Přesnost úhlu, která byla 0,0016 gon byla dodržena jak v prvním měření, kde byla 0,0010 gon, tak v měření druhém, kde byla 0,0007 gon. Je tedy možné, že pro toto testování nelze brát úchylkoměr jako bezchybný. Jeho přesnost je dle výrobce 0,01 mm, což v mezní odchylce může být i 0,03 mm. Zdá se tedy pravděpodobné, že dilatometr může dosahovat dokonce lepších přesností, než bylo zjištěno při druhém měření. Dále lze nepřesnost geodetické metody vysvětlit i možnou vůlí desek vůči odečítacím sklíčkům na dilatometru, kdy geodeticky bylo měřeno na svislou boční část desky, avšak odečty byly prováděny až na odečítacím sklíčku.

U prvního měření byla dosažená přesnost dilatometru 0,38 mm (horizontální sklíčko) a 0,30 mm (vertikální sklíčko). Nicméně větší váha je přiložena výsledkům druhého měření, kde

totožný dilatometr dosahoval přesností 0,05 mm (horizontální sklíčko) a 0,02 mm (vertikální sklíčko). Pokud výsledky zprůměrujeme s přihlédnutím k přesnějšímu (druhému) měření, tak dosažená přesnost dilatometru se pohybuje okolo **0,035 mm**.

## 7. Seznam obrázků

Obr. 1: Dilatometr .....	9
Obr. 2: Osy indikátoru.....	10
Obr. 3: Moiré efekt.....	11
Obr. 4: Kombinovaný indikátor .....	12
Obr. 5: Upevněný dilatometr.....	13
Obr. 6: Úchylkoměr.....	15
Obr. 7: Totální stanice Trimble S6 HP.....	16
Obr. 8: Dilatometr .....	17
Obr. 9: Odrazný štítek .....	18
Obr. 10: Fotoaparát Canon EOS 500 D.....	18
Obr. 11: Ukázka snímku.....	19
Obr. 12: Objektiv.....	19
Obr. 13: Kosinova věta.....	20

## 8. Seznam tabulek

Tab. 1: Parametry Trimble S6 HP .....	16
Tab. 2: Apriorní hodnota směrodatné odchylky vypočítané délky $\sigma_l$ .....	22
Tab. 3: Ukázka naměřených dat - 1. měření (totální stanice) .....	25
Tab. 4: Vertikální sklíčko (dilatometr).....	26
Tab. 5: Horizontální sklíčko (dilatometr).....	26
Tab. 6: Vypočtené hodnoty – Trimble S6 HP .....	27
Tab. 7: Ukázka naměřených dat - 2. měření .....	28
Tab. 8: Vertikální sklíčko .....	29
Tab. 9: Horizontální sklíčko .....	29
Tab. 10: Vypočtené hodnoty – Trimble S6 HP .....	30
Tab. 11 : Porovnání absolutních posunů - 1.měření.....	31
Tab. 12 : Porovnání absolutních posunů – 2.měření .....	32
Tab. 13 : Analýza naměřených úhlů.....	34

## 9. Seznam grafů

Graf 1: Porovnání metod prvního měření .....	32
Graf 2 : Porovnání metod druhého měření.....	33

## 10. Seznam použitých zdrojů

[3] Košťák, Blahoslav, Kombinovaný indikátor využívající metody moiré – příspěvek ze 3. mezinár. Symposia o polních měřeních v geomechanice, 1991 Oslo, Balkema, Rotterdam/Brookfield

[4] Urban, R.: Geodetické práce při zaměření posunů a přetvoření stavebních objektů. 1. vyd. Praha. CTU Publishing House, 2015

[5] Štroner, M. – Hampacher, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 1. vyd. Praha: CTU Publishing House, 2011. 313 s. ISBN 978-80-01-04900-6.

## 11. Přílohy na CD

- Excel soubory:
  - rozbor přesnosti
  - Test1
  - Test2
- Obrázky z měření dilatometrem – (62 souborů)
- Záznamy z totální stanice:
  - Dilat
  - Dilat2
- Bakalářská práce – (formát PDF)