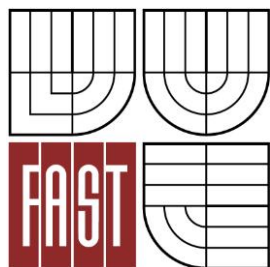




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

ANALÝZA ASTRONOMICKÉHO AZIMUTU ODVOZENÉHO Z MĚŘENÍ NA MĚSÍC

ANALYSIS OF THE ASTRONOMICAL AZIMUTH DERIVED FROM MEASUREMENTS ON THE
MOON

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

KATEŘINA ZÁHOROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. VLASTIMIL KRATOCHVÍL, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie a kartografie
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Kateřina Záhorová
Název	Analýza astronomického azimutu odvozeného z měření na Měsíc
Vedoucí bakalářské práce	doc. Ing. Vlastimil Kratochvíl, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2012
Datum odevzdání bakalářské práce	24. 5. 2013
V Brně dne 30. 11. 2012	

.....
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Internet:

<http://www.weizmann.ac.il/home/eofek/>, (funkce pro výpočet polohy Měsíce)

<http://www.stargazing.net/kepler/newlink.html#twig05>, o efemeridách planet sluneční soustavy

Literatura:

Fixel, J.: Geodetická astronomie I a základy kosmické geodézie, Vutium Brno, 2000

Kabeláč, J. - Kostecký, J.: Geodetická astronomie 10, Ediční stř. ČVUT Praha, 2001

Soubor funkcí pro astronomické výpočty zpracované v prostředí Scilab (k dispozici u vedoucího práce).

Zásady pro vypracování

Určení azimutu z měření na nebeská tělesa patří mezi měřické a výpočetně složitější úlohy a vyžaduje znalost přesných zdánlivých souřadnic nebeského objektu v okamžiku měření.

Cílem práce je prakticky ověřit přesnost určení astronomického azimutu z měření na levý a pravý okraj Měsíce. Měření proveďte nejméně ve čtyřech observačních dnech tak, aby bylo cíleno na levý a pravý okraj Měsíce. V každém observačním dni je třeba registrovat alespoň 20 úspěšných cílení (a registrací) v obou polohách dalekohledu. Z každého odečtení směru na Měsíc vypočítejte azimut orientační přímky a porovnejte s referenční hodnotou (azimutu). Statisticky vyhodnoťte výsledky určení azimutu.

Pokyny: K dispozici máte soubor funkcí, vytvořených v prostředí Scilab, které umožňují vypočítat azimut Měsíce pro zadaný čas a místo měření. Pro měření použijte elektronický teodolit s přesností alespoň 2" (0,6 mgon), který umožňuje registraci potřebných měření. Použijte časový údaj poskytovaný hodinami teodolitu.

Požadované výstupy: Popis způsobu a výsledky prověrky zpoždění registrace času odečtení směru na Měsíc. Popis postupu měření. Získané výsledky měření, tj. vypočítaných azimutů, analyzujte z hlediska přesnosti a časové náročnosti, zjištěné poznatky doplňte grafy a/nebo tabulkami.

Doporučení: Seznamte se s obsluhou funkcí potřebných pro výpočet azimutu Měsíce.

Zvládněte postup prověření osových podmínek a kalibraci teodolitu Leica T1800. Postup měření a registraci dat, export naměřených veličin a jejich zpracování. Naplánujte observační dny, které vyhovují požadavkům zadání.

Předepsané přílohy

.....

doc. Ing. Vlastimil Kratochvíl, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Prohlášení:

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

V Brně dne 23.5.2013

.....
podpis autora
Kateřina Záhorová

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 23.5.2013

.....
podpis autora
Kateřina Záhorová

Abstrakt

Cílem práce je navrhnout postup měření pro určení astronomického azimutu z měření na měsíc, přístrojem Leica T1800, tak, aby byla dosažena požadovaná přesnost a zjistit, jestli lze a je účelné použít tento přístroj pro danou úlohu. Na začátek práce budou uvedeny a vysvětleny některé důležité pojmy. Potom následuje popis činností, které předcházely měření, postupu měření a výpočtů. Na závěr budou shrnuty výsledky práce a dosažená přesnost.

Klíčová slova

časové soustavy, souřadnicové soustavy, azimut, rektascenze, deklinace, UTC střední hodnota, výběrová střední chyba, vnější přesnost, vnitřní přesnost, osově podmínky teodolitu

Abstract

Work intention is to derive astronomical azimuth from the measurements on the Moon, using theodolite Leica T1800 and to make a proposal of proceeding measurements with certain accuracy. At the beginning of work will be explained several important terminals. It continues with description of works done before measurements, actions during measurements and counting operations. The results will be summarized at the end of work.

Keywords

time systems, coordinate systems, azimuth, right ascension, declination, UTC, average, standard deviation, sample standard deviation, exterior accuracy, interior accuracy, axis condition of theodolite

Bibliografická citace VŠKP

ZÁHOROVÁ, Kateřina. *Analýza astronomického azimutu odvozeného z měření na Měsíc*. Brno, 2013. 51 s., 40 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Kratochvíl, CSc..

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce	doc. Ing. Vlastimil Kratochvíl, CSc.
Autor práce	Kateřina Záhorová
Škola	Vysoké učení technické v Brně
Fakulta	Stavební
Ústav	Ústav geodézie
Studijní obor	3646R003 Geodézie a kartografie
Studijní program	B3646 Geodézie a kartografie
Název práce	Analýza astronomického azimutu odvozeného z měření na Měsíc
Název práce v anglickém jazyce	Analysis of the astronomical azimuth derived from measurements on the Moon
Typ práce	Bakalářská práce
Přidělovaný titul	Bc.
Jazyk práce	Čeština
Datový formát elektronické verze	
Anotace práce	Cílem práce je navrhnout postup měření pro určení astronomického azimutu z měření na měsíc, přístrojem Leica T1800, tak, aby byla dosažena požadovaná přesnost a zjistit, jestli lze a je účelné použít tento přístroj pro danou úlohu. Na začátek práce budou uvedeny a vysvětleny některé důležité pojmy. Potom následuje popis činností, které předcházely měření, postupu měření a výpočtů. Na závěr budou shrnuty výsledky práce a dosažená přesnost.
Anotace práce v anglickém jazyce	Work intention is to derive astronomical azimuth from the measurements on the Moon, using theodolite Leica T1800 and to make a proposal of proceeding measurements with certain accuracy. At the beginning of work will be explained several important terminals. It continues with description of works done before measurements, actions during measurements and counting operations. The results will be summarized at the end of work.

Klíčová slova časové soustavy, souřadnicové soustavy, azimut, rektascenze, deklinace, UTC střední hodnota, výběrová střední chyba, vnější přesnost, vnitřní přesnost, osově podmínky teodolitu

Klíčová slova v anglickém jazyce time systems, coordinate systems, azimuth, right ascension, declination, UTC, average, standard deviation, sample standard deviation, exterior accuracy, interior accuracy, axis condition of theodolite

OBSAH

1 Úvod	19
2 Základní pojmy, teorie	20
2.1 Astronomické souřadnicové soustavy	20
2.2 Časové soustavy	25
2.3 Soubor funkcí <i>Astro</i>	27
2.4 Statistika	29
2.4.1 Charakteristiky přesnosti	29
2.4.2 Statistické testy	30
3 Průběh měření a jeho zpracování	32
3.1 Pomůcky, přístroj Leica T 1800	32
3.2 Lokalita	33
3.3 Plánování vhodné doby pro měření	34
3.4 Zjištění chyby při registraci času a zavedení korekce z diskretizace času	34
3.5 Postup při měření směrů	47
3.6 Zpracování naměřených údajů	48
3.7 Vyhodnocení	48
4 Závěr	55
5 Seznam použité literatury	56
5.1. Tištěné publikace	56
5.2 Elektronické zdroje	56
6 Seznam obrázků	57
7 Seznam tabulek	58
8 Seznam příloh, přílohy	58

1 Úvod

Tato práce se zabývá určením azimutu z astronomického měření na Měsíc. Z bodu o známých zeměpisných souřadnicích je měřen směr na levý, nebo pravý okraj Měsíce, čas v okamžiku měření a směr na orientační bod. Z těchto veličin je vypočítán azimut orientačního bodu. Správná hodnota azimutu je známá předchozích, přesnějších měření. Cílem je navrhnout postup měření, kterým by bylo možné dosáhnout výsledky s dostatečnou přesností a který by přitom nevyžadoval žádné speciální vybavení, resp. stačí daný přístroj a výpočetní nástroj. Práce se zakládá na vytvoření výběrového souboru dat opakovaným měřením veličin a následném statistickém vyhodnocení. Soustředila jsem se na tyto body: zjištění velikosti chyby při záznamu času a zavedení její částečné korekce, stanovení vhodného počtu opakování měření a možnosti využití tohoto postupu.

Na začátku práce se budu věnovat teorii, uvedu pojmy a použité vzorce, které jsou důležité pro orientaci v dané problematice. Uvedu použité pomůcky, a vlastnosti přístroje.

Další část se bude týkat praktického postupu měření - příprava před měřením, kalibrace přístroje a rozsáhlejší kapitola o zavedení korekce času, která zahrnuje měření časů a jeho vyhodnocení.

Následuje popis průběhu měření směrů na Měsíc a na orientační bod, výpočtu azimutu a vyhodnocení výsledků se stanovením vhodného postupu a předpokládané možnosti využití takovéto metody měření.

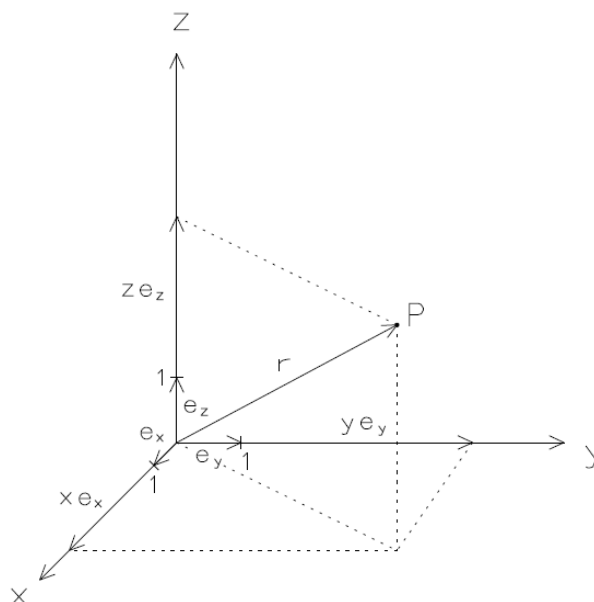
2 Základní pojmy, teorie

2.1 Astronomické souřadnicové soustavy

Souřadnicové soustavy používané v geodetické astronomii se dělí na sférické, pravoúhlé a dráhové. Všechny slouží k jednoznačnému určení polohy bodu v prostoru. Tato poloha se vyjádří pomocí úhlových, či délkových vzdáleností daného bodu od vztažných geometrických prvků (rovin, přímek, bodu). Volba vztažných geometrických prvků závisí na typu souřadnicové soustavy.

Pravoúhlé souřadnicové soustavy

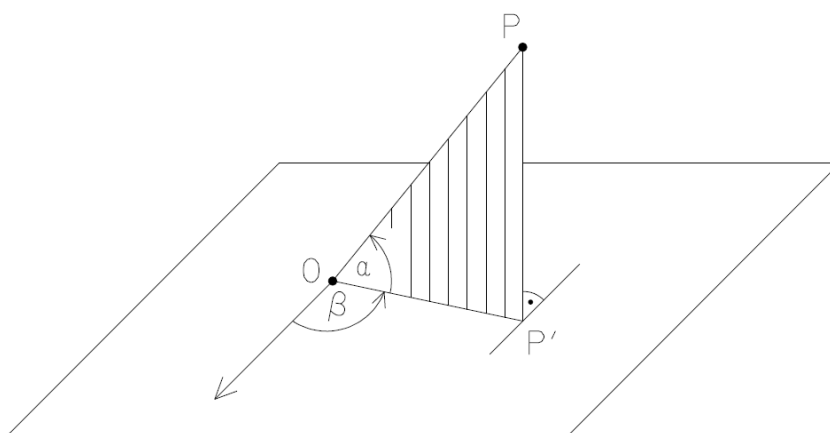
Pravoúhlé souřadnicové soustavy jsou tvořeny třemi vztažnými orientovanými přímkami - osami, které navzájem svírají pravé úhly, tzn.: jsou ortogonální. Podle toho, jak jsou osy orientované, se rozlišují pravotočivé a levotočivé soustavy. Poloha bodu je vyjádřena složkami vektoru $\mathbf{r}$, který začíná v počátku soustavy O , a končí v určovaném bodě P . Vektor $\mathbf{r}$ je složen ze tří vektorů: $\mathbf{r} = x\mathbf{e}_x + y\mathbf{e}_y + z\mathbf{e}_z$, kde $\mathbf{e}_x$, $\mathbf{e}_y$, $\mathbf{e}_z$ jsou jednotkové vektory, umístěné v počátku soustavy a orientované ve směru os. Souřadnice x , y , z , vyjadřují velikost průmětu vektoru $\mathbf{r}$ do jednotlivých os.



Obrázek 2.1.1: Pravoúhlá souřadnicová soustava

Sférické souřadnicové soustavy

Pro určení sférických souřadnic definujeme základní (vztažnou) rovinu, orientovanou přímkou (směr), která leží v této rovině a počátek soustavy O na přímce. Polohu bodu P určíme dvěma úhly α , β a vzdáleností ρ určovaného bodu P od počátku soustavy O . Úhel α je úhel mezi vztažnou rovinou a spojnici OP . Měří se rovině kolmé ke vztažné rovině, směrem od roviny po spojnici OP . Pro určení druhého úhlu se bod P svisle promítne do vztažné roviny, vznikne bod P' . Úhel β je úhel mezi vztažným směrem a spojnici OP' . Měří se od vztažného směru po OP' .



Obrázek 2.1.2: Sférická souřadnicová soustava

Protože při určování polohy kosmických těles je určení jejich vzdálenosti od počátku soustavy často obtížné, tak se určované body promítají ze středu na jednotkovou sféru, tj kouli se středem v počátku souřadnicové soustavy a s poloměrem rovným jedné. Vyjadřuje se potom poloha těchto promítnutých bodů, souřadnice ρ bude pro všechny body stejná a rovna jedné.

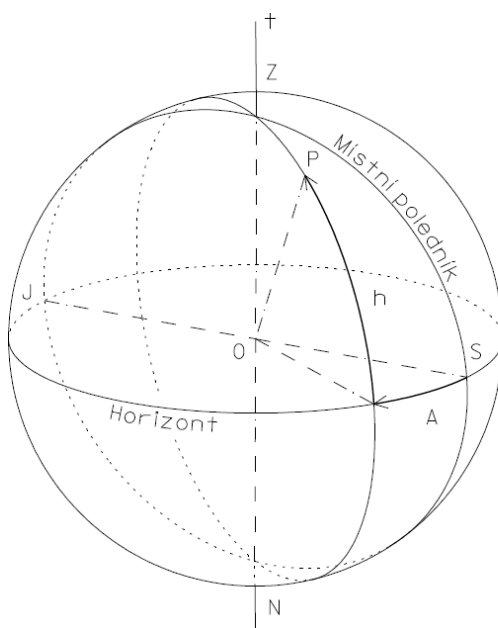
V geodezii umísťujeme sférickou soustavu vzhledem k referenční kouli, která nahrazuje Zemi. Střed soustavy můžeme umístit do středu koule, pak se jedná o soustavu geocentrickou nebo do místa pozorování na kouli, pak je soustava topocentrická.

Dále se rozlišují typy soustav podle umístění základní roviny:

Horizontální

Počátek soustavy leží v místě pozorování, je to topocentrická soustava. Jako základní se volí rovina horizontu, která prochází místem pozorování a je kolmá na tečnu k tížnici v místě pozorování. Tato tečna protne ve dvou bodech, v zenitu a v nadiru, pomyslnou jednotkovou kouli, umístěnou do počátku soustavy. Všechny hlavní kružnice, které procházejí zároveň zenitem a nadírem se označují jako výškové kružnice.

První souřadnicí je azimut A , úhel měřený v horizontu od jižní, resp. severní¹ větve místního poledníku, k rovině výškové kružnice procházející určeným bodem. Místním poledníkem nazveme výškovou kružnici, která prochází severním a jižním bodem na horizontu. Azimut se počítá při pohledu shora po směru hodinových ručiček a může mít hodnotu $\langle 0; 360^\circ \rangle$. Druhá souřadnice je výška h , úhel měřený po výškové kružnici od roviny horizontu po určený bod. Vztah mezi výškou a zenitovým úhlem je: $z + h = 90^\circ$.



Obrázek 2.1.3: Horizontální souřadnicová soustava

¹ v astronomii se počítá azimut od jihu, v geodézii, geografii, aj. se počítá od severu

Tato soustava je pevně spojená se Zemí, vůči okolí Země se pohybuje (není inerciální) a proto při určování souřadnic kosmických těles je nutné zaznamenat i čas, ke kterému se vztahují.

Rovníkové

Jde o soustavu geocentrickou, počátek je umístěn ve středu Země. Základní rovinou je rovina rovníku, rovina procházející středem Země a kolmá na rotační osu Země. Dělí se na dva typy:

Rovníková soustava prvního druhu (závislá na čase)

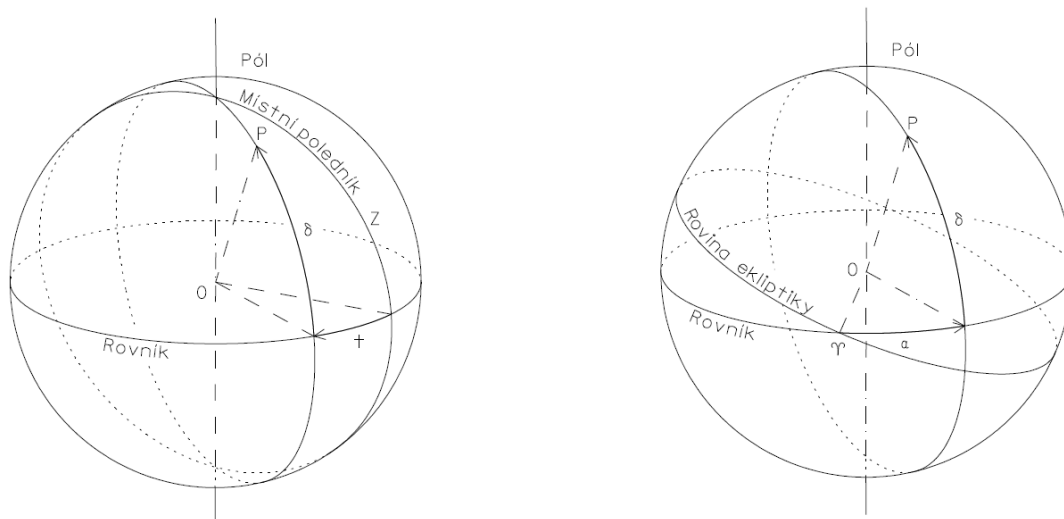
První souřadnice je v obou variantách stejná a s časem se nemění. Je to deklinace δ . Měří se po deklinační kružnici procházející určeným bodem, od roviny rovníku k určenému bodu. Deklinační kružnice jsou hlavní kružnice, které procházejí světovými póly. Druhá souřadnice, hodinový úhel t je úhel, který svírá rovina místního poledníku s rovinou deklinační kružnice určeného bodu.

Rovníková soustava 2. druhu (nezávislá na čase²)

První souřadnice je opět deklinace δ . Druhá souřadnice je rektascenze α . Rektascenze je úhel mezi směrem na jarní bod a rovinou deklinační kružnice určeného bodu. Jarní bod leží v místě, kde se nachází Slunce v době jarní rovnodennosti. Leží také na průsečnici roviny ekliptiky a roviny rovníku.

S časem se tyto souřadnice nemění, a proto se uvádí v astronomických ročenkách pro vyjádření polohy kosmických těles.

² Nezávislá na čase jen do jisté míry. Mění se zejména vlivem precese, nutace a pohybu pólu, ale v porovnání s rovníkovou soustavou 1. druhu se souřadnice v rovníkové soustavě 2. druhu mění jen málo.



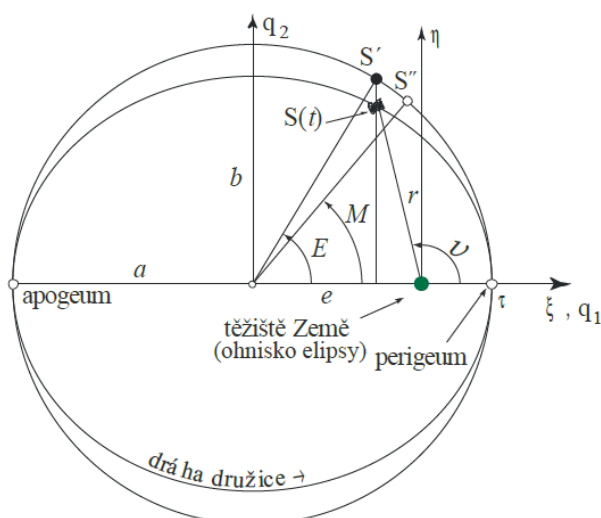
Obrázek 2.1.4: První a druhá rovníková souřadnicová soustava

Ekliptikální

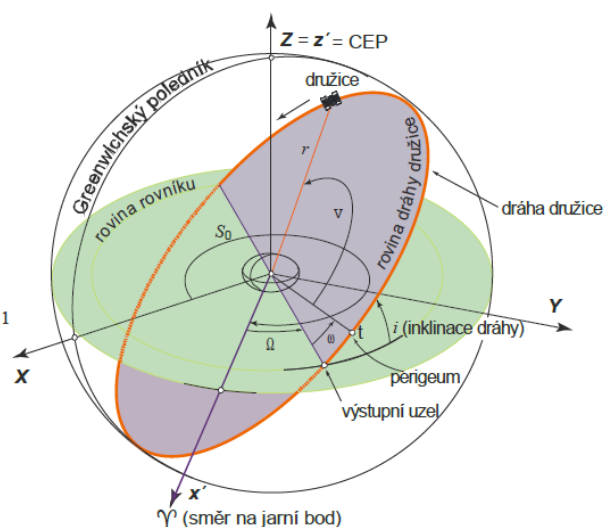
Hlavní rovinou je rovina ekliptiky – rovina, po které obíhá Země kolem Slunce nebo rovina zdánlivého pohybu Slunce pozorovaného ze Země. Tato rovina svírá úhel $23^\circ 26'$ s rovinou rovníku. Úhel mezi rovinou ekliptiky a spojnici počátku soustavy s určeným bodem je šířka β . Úhel mezi jarním bodem a průmětem spojnice počátku soustavy s určeným bodem do roviny ekliptiky je ekliptikální délka λ .

Dráhové soustavy

Dráhové soustavy popisují dráhu tvaru elipsy, po které se pohybuje kosmické těleso okolo centrálního tělesa. Dráhu popisují vnitřní parametry: velká poloosa dráhy a , číselná excentricita e , čas průchodu pericentrem τ_0 a vnější parametry: rektascenze výstupního uzlu Ω , sklon roviny dráhy i a argument pericentra ω .



Obr. 3 Parametry dráhy vnitřní



Obr. 4 Parametry dráhy vnější

Obrázek 2.1.5: Dráhová souřadnicová soustava [4]

2.2 Časové soustavy

Prvotně se čas odvíjí od pohybu Země, definují se časové úseky podle periody jevů, které v této souvislosti pozorujeme a vznikají tak časové soustavy označované jako rotační. Jejich hlavní vlastnost je, že čas neplyne rovnoměrně, ale zrychluje se nebo se zpomaluje, podle toho, jak se mění pohyb (rotace) Země. Vedle toho jsou fyzikální časové soustavy, které jsou rovnoměrné.

Rotační časy

Hvězdný čas

Jeden hvězdný den je doba mezi dvěma po sobě následujícími horními kulminacemi jarního bodu. Hvězdný čas je hodinový úhel jarního bodu.

Sluneční čas

Jeden sluneční den je doba mezi dvěma po sobě jdoucími spodními kulminacemi Slunce.

Čas na nultém, Greenwichském poledníku se označuje jako světový čas.

Následující definice jsou převážně převzaty ze studijních textů [4]

Světové časy

„UT0 (*Universal Time*) je světový čas odvozený z astronomických měření, která jsou ovlivňována okamžitou rotací Země.

UT1 je opět světový čas odvozený z rotace Země opravený na střední pól Země. Pól Země je se v čase pohybuje a proto se mění zeměpisné délky. Oprava odstraňuje vliv změny zeměpisné délky na čas UT0

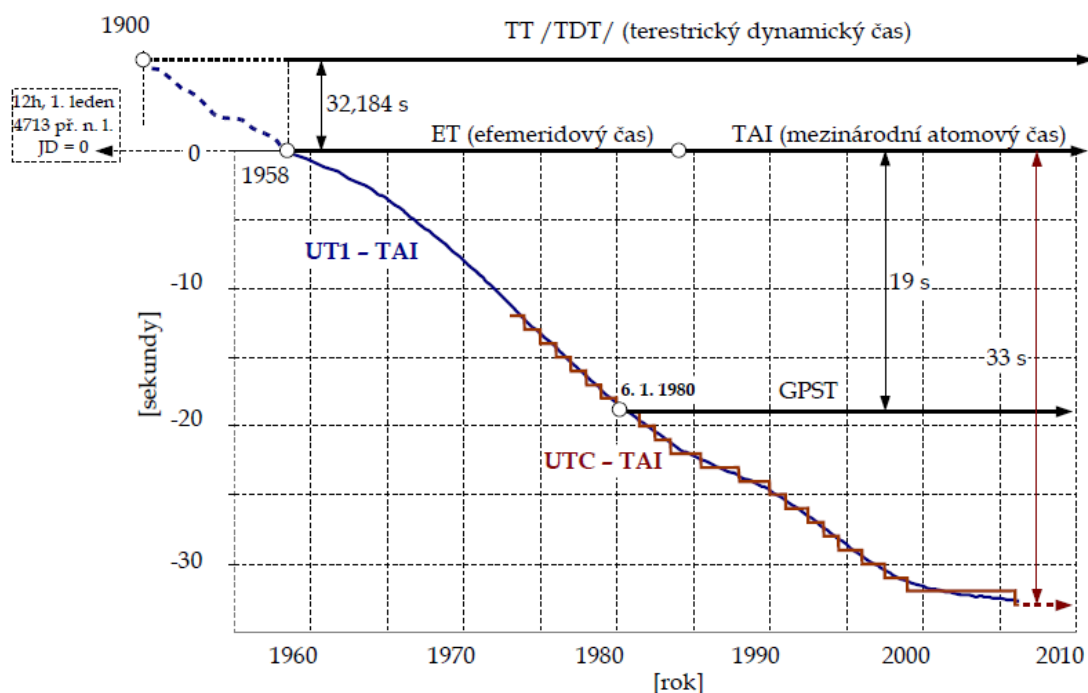
UT2 vychází z času UT1, který se opraví o vliv sezónních variací v úhlové rychlosti Země.“

Atomový čas

Tento čas je definovaný na základě fyzikálních vlastností atomu. „Atomová sekunda je určena dobou 9 192 631 770 kmitů, které přísluší atomu cesia 133 při přechodu mezi hladinami $F = 4$, $M = 0$ a $F = 3$, $M = 0$ základního stavu atomu cesia bez vlivu magnetických polí.“ Délka sekundy byla stanovena tak, aby se shodovala s délkou sekundy efemeridového času na začátku roku 1900. Vznikla tak mezinárodní časová soustava TAI.

Koordinovaná časová soustava (UTC)

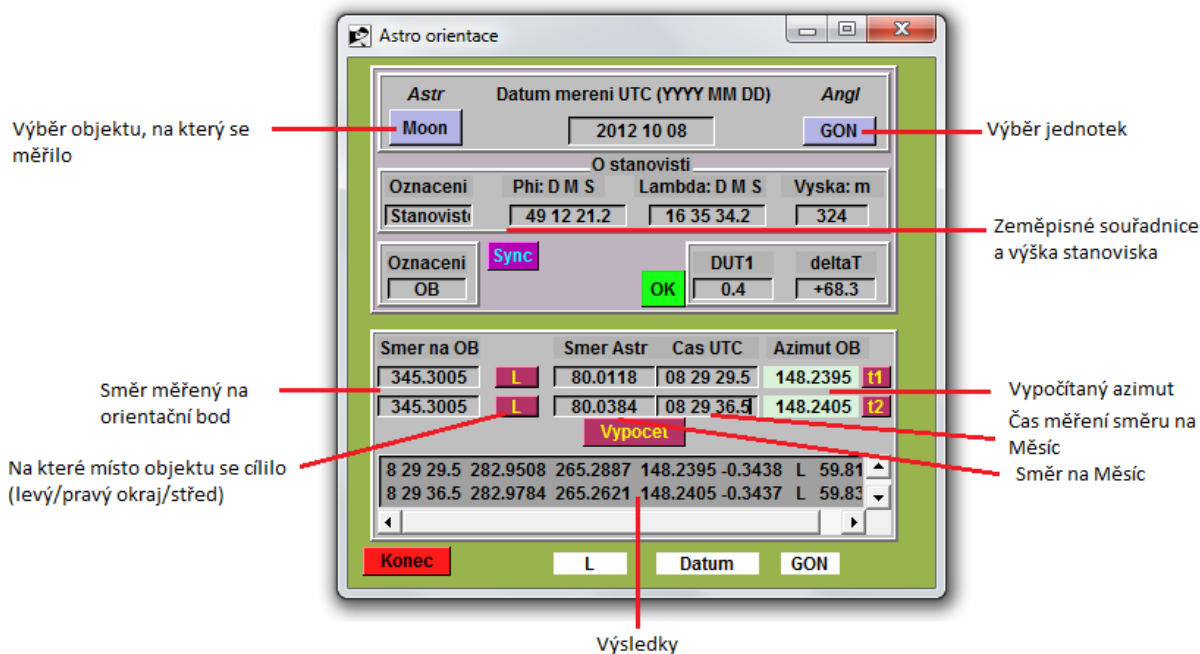
Čas TAI se postupně oddaluje od rotačního času, proto je zaveden čas UTC. Oba tyto časy mají shodnou, pevně stanovenou délku sekundy. UTC vzniká z TAI přičtením celého počtu sekund, a průběžně koordinován tak, aby se nelišil od rotačního času UT1 o více než 0,9 s. Když rozdíl $DUT1 = |UT1 - UTC|$ překročí 0,9 s, posune se čas UTC o 1s. Aktuální hodnotu DUT1 uvádí IERS (International earth rotation and reference systems service) v „BULLETIN A“ nebo stručněji i v „BULLETIN D“.



Obrázek 2.2.1: Vztahy mezi časy [4]

2.3 Soubor funkcí Astro

Jedná se o výpočetní nástroj, jehož autorem je doc. Ing. Vlastimil Kratochvíl, CSc. Funkce jsou vytvořené v prostředí *Scilab*. Po spuštění se objeví okno, kam se zadají vstupní veličiny a údaje: na který astronomický objekt a se měřilo a na který jeho okraj, datum, rok, zeměpisné souřadnice stanoviště, hodnota DUT1. Nakonec se zadají měřené veličiny: směr na orientační bod, směr na astronomický objekt a čas UTC. Z těchto údajů je vypočítán azimut orientačního bodu. Vypočítané údaje se uloží do textového souboru do zvláštního adresáře.



Obrázek 3.5.2: Ukázka výpočtu azimutu pomocí Astro

Autor uvádí popis postupu, jakým probíhá výpočet uvnitř souboru funkcí:

<http://www.weizmann.ac.il/home/eofek/matlab/ephem/moonpos.m>

Description: Calculate accurate ELP2000-82 ecliptic coordinates of the

% Moon, referred to the inertial mean ecliptic and equinox of
% date.

% Input : - Vector of julian days in TDT time scale.

% - Output coordinates type:

% 'q2000' : equatorial rectangular coordinates referred

% to the FK5 equator and equinox

% (i.e. mean equator and rotational mean

% equinox of J2000). - (default).

Základem výpočtu azimutu Měsíce je funkce moonpos.m zpracovaná pro Matlab verze 7 a převzatá ze stránek <http://www.weizmann.ac.il/home/eofek/matlab/ephem/moonpos.m> (19. květen 2013). Vstupní údaj funkce moonpos je juliánské datum uvedené v terestrickém dynamickém čase. Výstupem jsou ortogonální souřadnice Měsíce v systému FK5 vztažené ke střednímu rovníku a jarnímu bodu epochy J2000. Uvedená funkce byla převedena do prostředí Scilab 4.1.2 a vyšší. Vypočítané souřadnice jsou konvertovány do systému rovníkových souřadnic a korigovány o vliv precese a nutace (teorie nutace 1980 – viz Fixel [1]) k epoše (času) cílení na Měsíc. Vypočítané zdánlivé souřadnice byly porovnány se zdánlivými souřadnicemi Měsíce podle Astronomického Ježegodniku a hodnotami

vypočítanými programem ICE. Žádná z odchylek referenčních a vypočítaných rovníkových souřadnic nepřekročila 0.3 obloukové vteřiny. Azimut těžiště Měsíce je odvozen z topocentrických ($n, e, u = north, east, up$) souřadnic, které byly odvozeny z geocentrických souřadnic (x, y, z) stanoviště a Měsíce. Ve vypočítaném azimutu je zahrnutý vliv denní paralaxy Měsíce. Rychlost pohybu Měsíce vzhledem k Zemi byla počítána numericky, jako podíl změny souřadnic a časové difference ($Dx/Dt, Dy/Dt, Dz/Dt$). Hodnoty složek rychlosti byly konvertovány do topocentrické soustavy NEU a z nich odvozen vliv aberace na azimut Měsíce. Vliv denní není uvažován. Korekce azimutu na okraj Měsíce byl vypočítán z topocentrické vzdálenosti a zenitového úhlu spojnice „stanoviště přístroje – Měsíc“ a skutečného poloměru Měsíce (použitá hodnota $RM = 1737,4$ km). Vliv reliéfu Měsíce na azimut není uvažován (hodnota korekce je součástí výstupů výpočtu azimutu. Úplná chyba sestaveného algoritmu výpočtu azimutu okraje Měsíce by neměla překročit 1 až 2 obloukové vteřiny (je to odhad).

Poznámka 1: Časový údaj, který vstupuje do výpočtu, je ve stupnici UTC (rok, měsíc, den, hodina, minuta, sekunda). Ručně je nezbytné zadat korekci DUT1. Korekce na terestrický dynamický čas (TT) je počítána polynomem převzatým z <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEcat5/deltatpoly.html> nebo ji lze zadat ručně.

Poznámka 2: Korekce azimutu na střední pól zvolené epochy je rovněž zanedbána.

2.4 Statistika

2.4.1 Charakteristiky přesnosti

Podle charakteristik přesnosti si můžeme vytvořit detailnější představu o vlastnostech daného souboru měření. Výsledek několika měření reprezentuje střední hodnota, vypočítaná většinou jako aritmetický průměr $\bar{a}$. Z naměřených hodnot můžeme vypočítat střední chybu jednoho měření, vypočítanou podle vzorce:

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{a} - \alpha_i)^2}{n - k}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v^2}{n - k}},$$

kde n je počet měření a $n - k$ je počet stupňů volnosti, $k = 1$, protože odhadujeme střední hodnotu. Tato chyba vyjadřuje vnitřní přesnost měření, která zahrnuje zejména vliv náhodných chyb.

Pokud známe pravou hodnotu a měřené veličiny, můžeme vypočítat úplnou střední chybu jednoho měření:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A - \alpha_i)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon^2}{n}},$$

Úplná střední chyba zahrnuje vliv náhodných chyb i vliv systematických chyb, nevyloučených metodou měření.

Mezi střední chybou jednoho měření a střední chybou aritmetického průměru z n hodnot platí podle zákona přenášení chyb vztah:

$$m_{\bar{a}} = \frac{m}{\sqrt{n}}, \quad s_{\bar{a}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

2.4.2 Statistické testy

Statistické testy nám umožňují určit, zda platí stanovená hypotéza, při dané hladině významnosti. Prvním krokem při testování je stanovení nulové hypotézy H_0 a její alternativní hypotézy H_1 . Na základě nulové hypotézy se vypočítá testovací kritérium. Testovací kritérium je statistika, která má známé rozdělení pravděpodobnosti. Obor hodnot testovacího kritéria se dělí na obor přijetí a kritický obor. Pokud hodnota R testovacího kritéria padne do oboru přijetí, je přijata nulová hypotéza a pokud padne do kritického oboru, je přijata alternativní hypotéza. Velikost oboru přijetí a kritického oboru se volí na základě hladiny významnosti α . Hladina významnosti se nazývá také riziko nebo chyba prvního druhu a vyjadřuje pravděpodobnost, že zamítneme nulovou hypotézu, přestože platí.

Místo hodnoty testovacího kritéria se používá také p-hodnota. Následující definice je převzata z [5]: „p-hodnota je pravděpodobnost, že platí-li nulová hypotéza, bude mít testovací kritérium tu konkrétní hodnotu, která nám vyšla.“. p-hodnota se porovná s rizikem α a je-li $p < \alpha$, je nulová hypotéza zamítnuta.

X^2 test dobré shody

Testy shody se používají k testování hypotéz o typu rozdělení pravděpodobnosti. X^2 test lze použít pro různá rozdělení pravděpodobnosti. Při tomto testu si naměřená data rozdělíme do tříd a vypočítáme četnosti v jednotlivých třídách. Tyto četnosti by podle typu rozdělení měli mít přesně danou hodnotu. Dále sledujeme, jak se liší od teoretických četností skutečné četnosti naměřených dat.

Testovací kritérium se vypočítá podle:

$$R = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i^e - n_i^t)^2}{n_i^t},$$

kde k je počet tříd, n_i^e jsou četnosti zjištěné v jednotlivých třídách a n_i^t jsou četnosti, které bychom očekávali v těchto třídách při platnosti nulové hypotézy. Testovací kritérium má X^2 rozdělení pravděpodobnosti s $k - r - 1$ stupni volnosti, kde r je počet odhadovaných parametrů. $R \in \langle 0; \infty \rangle$. Ve prospěch nulové hypotézy svědčí co nejmenší hodnota R , tzn. co nejmenší rozdíly mezi očekávanými a skutečnými četnostmi v daných třídách. Hranici mezi přijetím a nepřijetím nulové hypotézy stanovuje hodnota kvantilu $X_{1-\alpha, k-r-1}^2$. Pokud je R větší, než tato hodnota, ocitá se v kritickém oboru a nulová hypotéza je zavržena.

Aby byl test spolehlivý, měl by se provádět pro dostatečný počet dat, tak aby:

ve většině tříd bylo $n_i^t \geq 5$

a ve všech třídách bylo $n_i^t \geq 1$.

Pokud tyto podmínky splněny nejsou, použije se jiný, vhodnější test.

3 Průběh měření a jeho zpracování

3.1 Pomůcky, přístroj Leica T 1800

Pro měření jsme používali přístroj *Leica T 1800*. Firma *Leica* je firma, která se zabývá výrobou a vývojem optických zařízení. Vedle geodetických přístrojů (*Leica Geosystems AG*) vyrábí také fotoaparáty (*Leica Camera AG*) a mikroskopy (*Leica Microsystems GmbH*).

Přístroj *Leica T 1800* je teodolit, ale je možné dodatečně připojit i dálkoměr. Níže uvedená technická data platí i pro další přístroje: *TC 1800*, což je totální stanice – teodolit se zabudovaným dálkoměrem a pro *TCA 1800*, automatickou totální stanici.

Technical data

Angle measurement

Standard deviation Hz, V to
Standard deviation
ISO 17123-3
1", 0.3 mgon
Display, smallest unit
shown: 1", 0.1 mgon

Angle-measuring principle:
absolute, continuous,
diametric

Units:
360° ' ", 360° decimal,
400 gon, 6400 mil, %

Distance measurement

With EDM attached:
T1800
With built-in EDM, coaxial:
TC/TCA 1800

Distance measurement
Standard deviation
ISO 17123-4

Normal measurement (DIST)
Accuracy: 1mm + 2ppm
Measuring time: 3s

Rapid measurement (DI)
Accuracy: 3mm + 2ppm
Measuring time: 1.5s

Tracking (TRK)
Accuracy: 5mm + 2ppm
Measuring time: 0.3s

Range under average
conditions:
Circular prism: 2500m
(8250ft)
360° reflector: 1300m
(4300ft)
Mini prism 1300m (4300ft)

Keyboard and display

LCD display: 8 rows of
30 characters
Language versions loadable
and switchable
Keyboard in both faces

Recording

PCMCIA SRAM: 0.5, 2 Mbyte
Number of data sets
2 Mbyte: 18000
RS232 interface for external
connection

Automatic correction

Collimation error, tilting-
axis error, vertical-index
error, vertical-axis tilt, earth
curvature and refraction

Two-axis compensator

Able/disable
Setting range: ± 0.07 gon
Setting accuracy: 0.1 mgon

Telescope

Magnification: 30x
Clear objective aperture:
42mm
Shortest focusing distance:
1.7m (5.6ft)

Tilting-axis height

Height above tribrach:
196mm

Sensitivity of bubble

Bull's-eye bubble 4' / 2mm
Least-count of electronic
bubble: 2"

Plummet

Optical plummet
(in tribrach)
Focusable, 2x magnification

Laser lot in alidade (option):
Accuracy at 1.5m instru-
ment height: ± 0.8 mm

EGL1 electronic light guide

Option: TC/TCA1800
Range: 150m (500ft)
Positioning accuracy: ± 3 cm

Temperature range

Measuring: -20°C to $+50^{\circ}\text{C}$
Storage: -40°C to $+70^{\circ}\text{C}$

Mechanical drives

Coarse/fine (T/TC1800)

Motorized drives

Infinity (TCA1800)
Speed of rotation: 50 gon/s

Automatic target recognition ATR, coaxial (TCA1800)

Positioning accuracy:
Accuracy with circular
prism at up to 400m
(1300ft): 2mm
To 360° reflector up to
400m (1300ft) away: 5mm

Measuring time: 1s

Range under average
conditions to circular prism /
360° reflector:
1000m / 500m (3300ft / 1650ft)

Maximum velocity of reflector
when tracking at 100m
(330ft): 5m/s (16.5ft/s)

Battery module

GEB 87, NiCd, 12V/1.2Ah

Number of measurements
Angle and distance:
TC1800: 600
TCM/TCA1800: 400

Weight

Without tribrach (0.9kg)
and without battery (0.3kg):

T1800: 5.9kg (13lb)
TC1800: 6.5kg (14.3lb)
TCA1800: 7.1kg (15.6lb)

Obrázek 3.1.1: Technické parametry přístroje [10]

Bohužel se výrobce nezmiňuje o přesnosti měření a zaznamenávání času, tento problém bude rozebrán v kapitole 3.4.

Přístroj umožňuje korigovat některé chyby směrů měřených v jedné poloze dalekohledu, způsobené přístrojovými systematickými vlivy: kolimační chyba, chyba z nekolmosti klopné osy dalekohledu a chyba z nesvislosti osy alhidády. To znamená, že pokud jsou korekce chyb správně nastaveny, stačí měřit v jedné poloze. Velikosti těchto chyb se zjistí postupem popsáním v příručce od výrobce, při kterém přístroj sám vypočítá velikosti chyb.

Naměřené údaje se automaticky zaznamenávají na kartu *PCMCIA*, do předem vytvořeného souboru. Výstupem je zápisník ve formátu *GSI*

Dále jsem při měření použila stopky *Quartz*, časový normál *DCF*, pro synchronizaci. Dalšími důležitými pomůckami byly výpočetní nástroje: *Microsoft Excel 2010*, *Scilab4.1*. Zvláštním výpočetním nástrojem je soubor funkcí *Astro*, o kterém se zmíním později podrobněji. Pro kreslení obrázků jsem použila grafický program *MicroStation 95*.

3.2 Lokalita

Měření probíhalo v areálu fakulty stavební, na terase budovy B. Zvolili jsme pro měření místo tak, aby nebránila žádná překážka v jakémkoli okamžiku, kdy je měsíc na obloze vidět a nebyla tak zbytečně omezovaná doba, kdy lze měřit. Přístroj byl postavený na pilíři s nucenou centrací, kdy polohová přesnost centrace je 0,1 mm. Jako orientační bod byl zvolen kostel sv. Jakuba, u kterého byl již dříve určen azimut přesnější metodou, jeho hodnota pak byla použita při vyhodnocení přesnosti jako referenční.

3.3 Plánování vhodné doby pro měření

Pro naplánování vhodné doby pro měření je potřeba sledovat jednak předpověď počasí a jednak čas východu a západu měsíce, jeho fázi a výšku nad horizontem. Předpovědi počasí, konkrétně oblačnosti jsem sledovala na stránkách:

http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ov/aladin/results/public/meteogramy/meteogram_page_portal/m.html,

kde se dá zjistit předpověď, maximálně na dva dny dopředu. Je aktualizovaná každé (2hod?), takže je třeba ji sledovat průběžně, protože se může měnit.

Na stránkách <http://www.astro.cz/obloha/mesic/> je uveden čas východu a západu měsíce a jeho fáze. Měsíc stejně jako Slunce vychází na východě, na jihu je na své dráze nejvýše nad obzorem a zapadá na západě.

3.4. Zjištění chyby při registraci času a zavedení korekce z diskretizace času

Pro výpočty azimutu je třeba znát čas, v okamžiku, kdy byl změřen vodorovný směr. V našem případě jsme využili možnosti přístroje, který čas v momentě měření automaticky zaznamená a to na celé sekundy. Před měřením bylo nutné ověřit správnost, přesnost této funkce a zvolit způsob, jakým se provede synchronizace hodin přístroje s časem UTC.

Hlavní otázkou bylo, jestli stačí měřit čas na sekundy, aniž by se tím výrazně zhoršila přesnost určeného azimutu a jestli by se pro zlepšení výsledků dala zavést korekce chyby, která vznikla diskretizací času. Vznikl první předpoklad: přístroj při zaznamenání času buď zaokrouhlí desetinná místa na celou sekundu, nebo zapíše celou sekundu a zbytek desetinných míst usekne. Kdyby desetinná místa usekával, vznikla by systematická chyba jednostranná, měla by pokaždé stejné znaménko. Střední hodnota této chyby by byla nenulová a mohli bychom ji zavést jako korekci.

Dále jsme zjišťovali, jestli přístroj nemá při zaznamenání zpoždění, tj. zda není rozdíl mezi časem, kdy jsme zmáčkli tlačítko a časem, který se zaregistroval.

Pro zkoumání těchto předpokladů jsem provedla řadu měření pomocí stopek. Nejprve jsme synchronizovali přístroj i stopky a potom jsme ve stejných okamžicích mačkali stopky a tlačítko na přístroji.

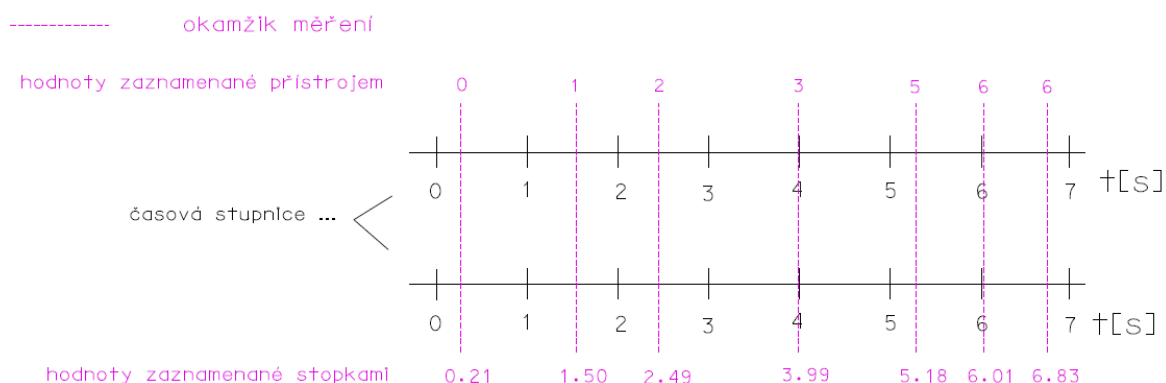
Znázornění postupu měření:

Pro názornost a pro vysvětlení postupu jsem nakreslila grafy, které vyjadřují předpokládaný průběh měření a předpokládané výsledky při variantách A: přístroj usekává nebo B: přístroj zaokrouhluje desetinná místa. Takhle by to vypadalo, kdyby se měřilo a zaznamenávalo nepřetržitě, ve skutečnosti jsou mezi jednotlivými hodnotami mezery (po několika sekundách).

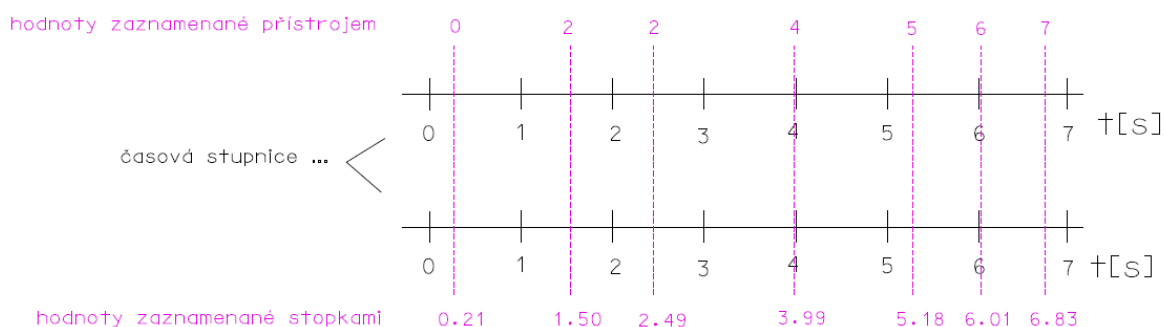
Dvě časové stupnice znázorňují čas na hodinách přístroje (nahore) a čas na stopkách (dole), nula je počátek měření, kdy se hodiny přístroje i stopky zároveň pustily (synchronizace).

Fialové čárkované čáry představují měření. Nahore u fialové čáry je napsaná hodnota, kterou zapíše přístroj a dole je hodnota, kterou ukáží stopky.

Přístroj usekává:



Přístroj zaokrouhluje:

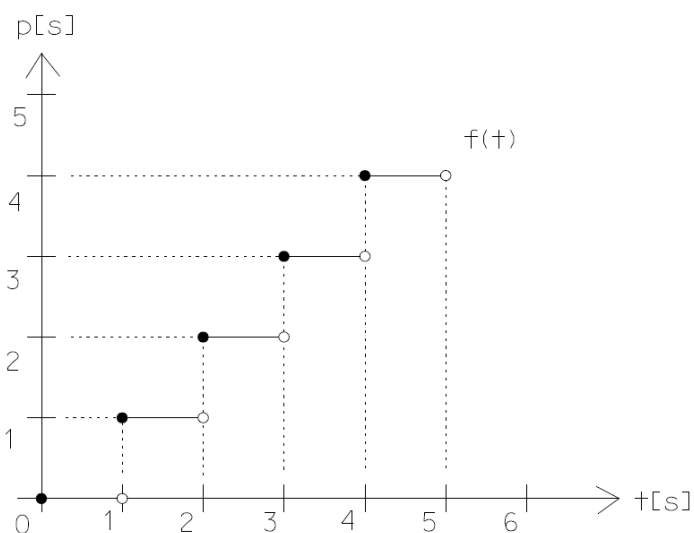


Obrázek 3.4.1: Znázornění postupu měření rozdílů časů

Grafy znázorňující zaznamenávání času

Funkce $f(t)$ vyjadřuje závislost hodnot času p , naměřených přístrojem, na skutečném čase t .

Za předpokladu A, že „usekává“:

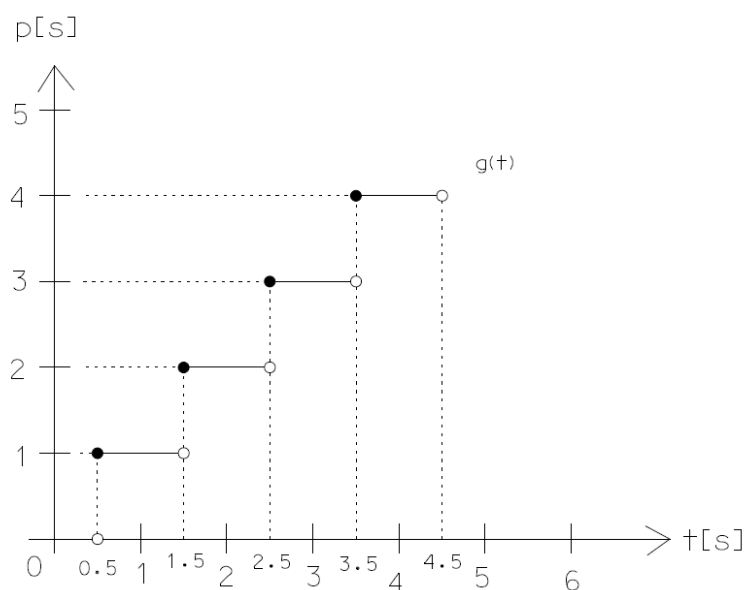


Obrázek 3.4.2: Závislost času registrovaného přístrojem na skutečném čase - A

Graf ukazuje, že v první sekundě měření je hodnota času, který zapisuje přístroj rovna nule, až teprve když uplyne 1s od počátku měření, tak zapisovaná hodnota skočí na jedničku, potom je zase po dobu jedné sekundy jedna, atd...

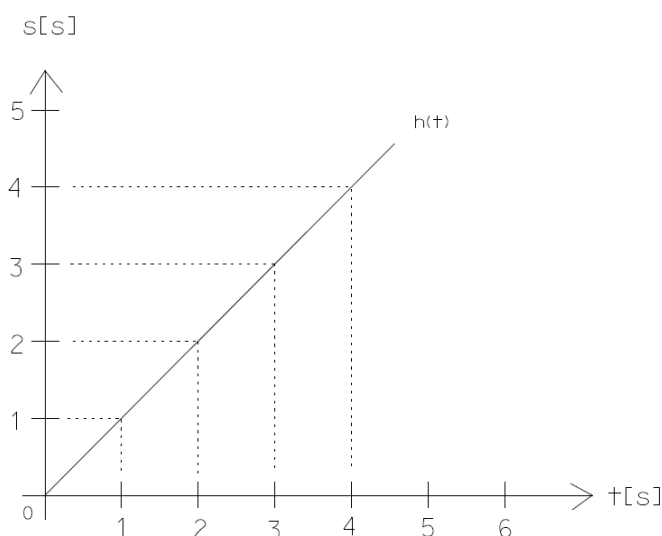
Funkce $g(t)$ vyjadřuje závislost hodnot času p , naměřených přístrojem, na skutečném čase t .

Za předpokladu B, že zaokrouhluje.



Obrázek 3.4.3 Závislost času registrovaného přístrojem na skutečném čase - B

Tady přístroj zapisuje nulu pouze do času 0,5s od počátku měření, potom už zapíše hodnotu 1, 1 zapisuje až do 1,5s, kdy ji zase zaokrouhlí na 2, atd...



Obrázek 3.4.4: Závislost času registrovaného stopkami na skutečném čase

Funkce $h(t)$ vyjadřuje závislost hodnot s , naměřených stopkami, na skutečném čase t .

Získala jsem několik souborů dvojic časů: čas změřený přístrojem a čas změřený stopkami. Porovnávala jsem čas přístroje s přesnějším údajem stopek, z každé dvojice se vypočítal rozdíl stopky - přístroj.

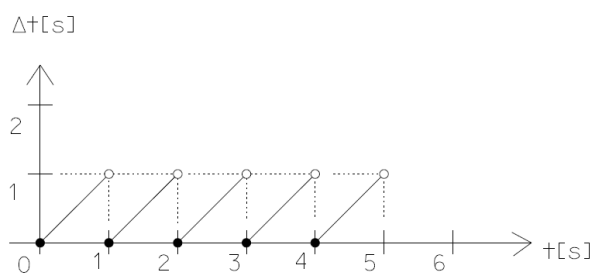
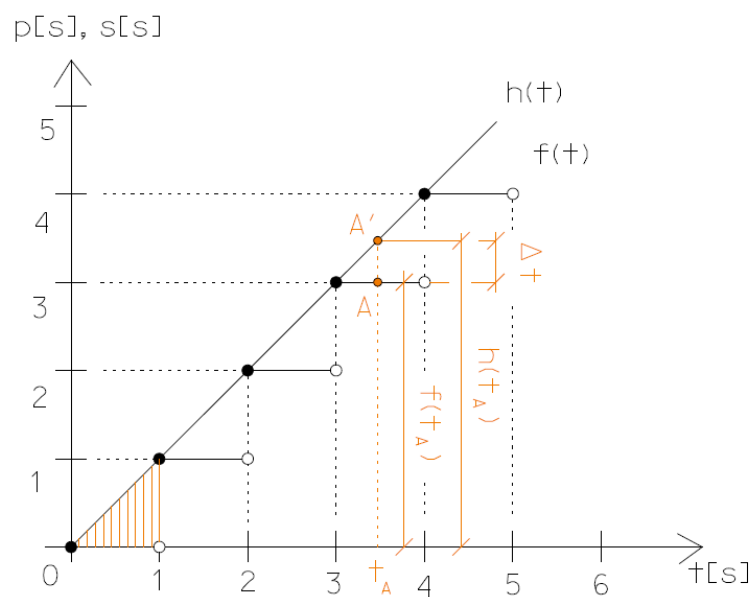
Grafy znázorňující rozdíly:

Účelem měření bylo porovnat čas změřený přístrojem s mnohem přesnějším údajem stopek a podle toho pak odhadnout, jestli platí předpoklad A nebo B, případně, jestli nedochází při zaznamenání ke zpoždění přístroje. Rozdíl se vypočítá:

$$\Delta t = s - p \Rightarrow \Delta t(t) = h(t) - f(t)$$

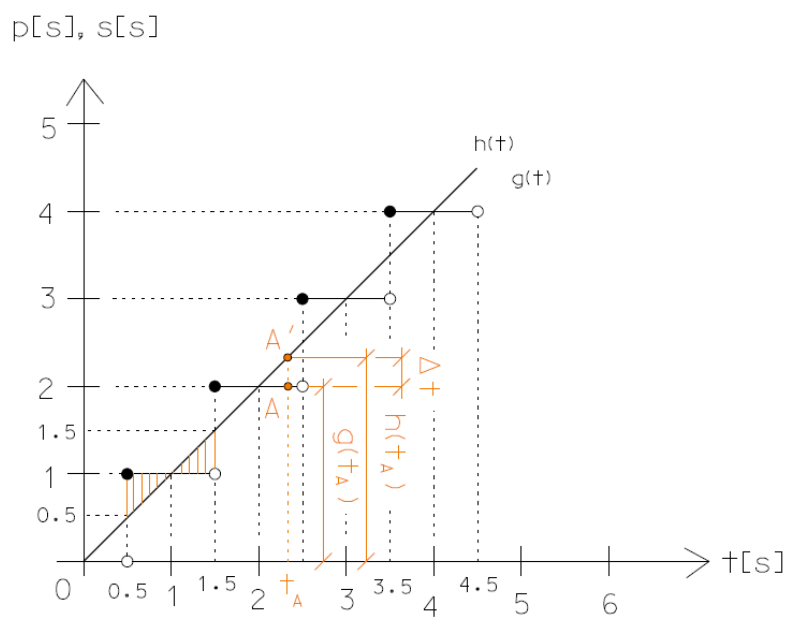
$$\text{nebo } \rightarrow \Delta t(t) = h(t) - g(t)$$

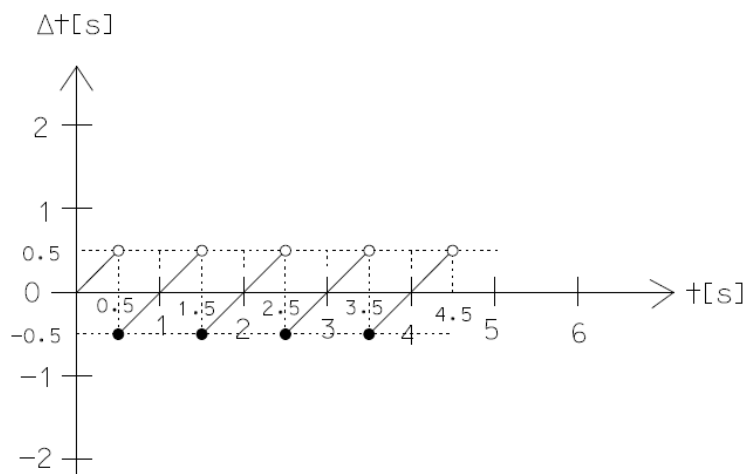
Graf znázorňuje obě funkce, které se od sebe odečítají. Vyšrafováním jsou naznačeny rozdíly, jako příklad je také vyznačen rozdíl v bodě (čase) t_A .



Obrázek 3.4.5.: Rozdíl mezi časem registrovaným přístrojem (možnost A) a stopkami

$$\Delta t(t) = h(t) - f(t)$$





Obrázek 3.4.6.: Rozdíl mezi časem registrovaným přístrojem (možnost B) a stopkami

$$\Delta t(t) = h(t) - g(t)$$

Z grafů tedy vyplývá, že pokud provedeme měření podle schéma, popsaného na obr. 3.4.1, získané rozdíly by se měli chovat podle jedné z možností zobrazené na obr. 3.4.5 nebo 3.4.6. Vlivem náhodných chyb ze zmáčknutí tlačítek a systematické chyby ze synchronizace stopek a přístroje se bude skutečnost odchýlovat od předpokladů. Abych zjistila, jestli je tvrzení, že výsledky se chovají podle předpokladu oprávněné, provedla jsem statistický testy nulových hypotéz:

Pokud se zaznamená celá sekunda (usekává desetinná místa), průměrný rozdíl bude 0,5 s a rozdíly budou v rozmezí (0 s; 1 s).

Pokud přístroj zaokrouhluje, průměrný rozdíl bude 0 a jednotlivé rozdíly budou v rozmezí (-0,5 s; 0,5 s).

H_0 : Rozdíly mají rovnoměrné rozdělení

H_1 : Rozdíly mají jiné, než rovnoměrné rozdělení.

Pokud by se zjistilo rovnoměrné rozdělení na intervalu $\langle 0; 1 \rangle$, odpovídalo by to předpokladu, že střední hodnota je 0,5 s. Pokud by se zjistilo rovnoměrné rozdělení na intervalu $\langle -0,5; 0,5 \rangle$, odpovídalo by to předpokladu, že střední hodnota je 0,0 s. A pokud by

vyšlo rovnoměrné rozdělení na jiném intervalu, ukazovalo by to zřejmě na projevení chyby ze synchronizace. Podle P. Urbana [6] je reakční doba 0,2 s, ale u různých lidí může být různá.

Průběh měření

V první části proběhla synchronizace hodin přístroje a stopek, ke které bylo použito tři různých způsobů:

První postup: Nejdříve se na přístroji nastavil čas, potom se stopky a přístroj synchronizovali podle času na přístroji. Následovala kontrola synchronizace – v okamžiku, kdy na přístroji naskočila celá minuta, popř. celá vteřina, zmáčkly se stopky a porovnálo se, o kolik se údaj na stopkách liší od celé sekundy. Buďto se synchronizace opakovala, nebo když se povedla, tak se pokračovalo v postupu.

Druhý postup: nejdřív nastavil čas na stopkách, potom se podle stopek synchronizoval čas na přístroji, následovala kontrola synchronizace.

Třetí postup: na přístroji se nastavil čas na celou minutu a potom se zároveň stisklo tlačítko na přístroji a na stopkách a opět se zkontrolovala synchronizace.

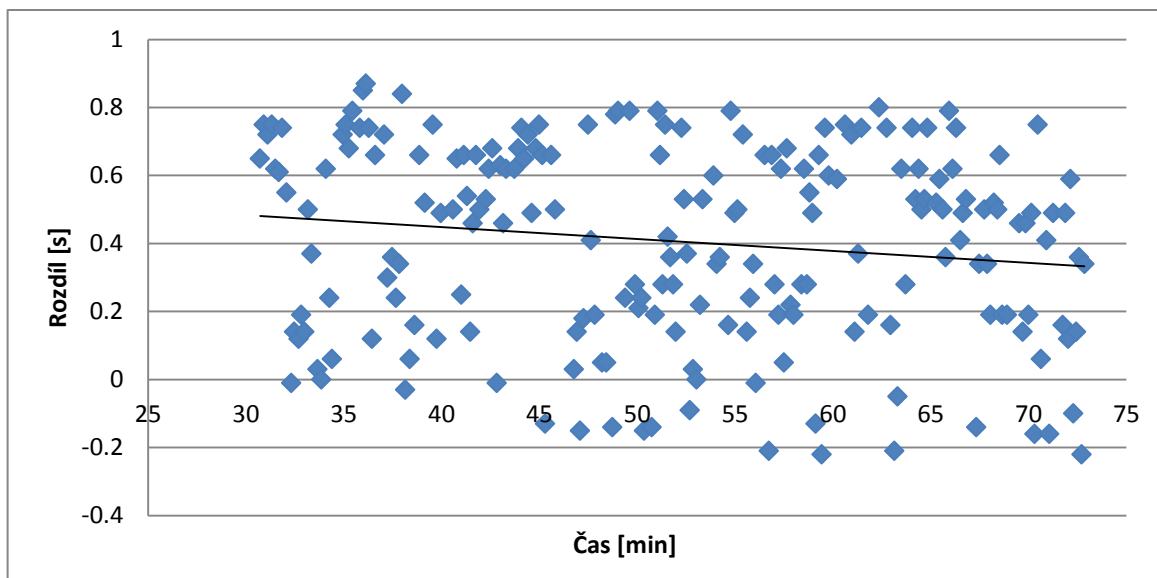
V další části se v náhodném čase ve stejném okamžiku mačkaly stopky a tlačítko přístroje.

Vyhodnocení:

Výsledky jsem vyhodnocovala v programu *Microsoft Excel*. Jako správný čas jsem zvolila čas na stopkách t_s a sledovala jsem, jak se od tohoto času liší čas na přístroji t_l :

$$\Delta t = t_s - t_l.$$

Hodnoty rozdílů byly zobrazeny v grafu a proloženy regresní přímkou.



Obrázek 3.4.7: Naměřené rozdíly mezi časy registrovanými přístrojem a stopkami – bez korekce zpoždění stopek

Směrnice přímky by měla být nulová, ale ve skutečnosti je mírně skloněná. To je způsobeno z části chodem stopek, který činí -5 s za den. Chod přístroje je -1 s za den, ten jsem vzhledem k době měření cca 1 hod zanedbala (0.04 s za hod). Dříve zjištěnou hodnotu chodu stopek jsem ověřila podle vysílaného radiového signálu – *Český rozhlas radiožurnál – přesný čas*. Korekci ze zpoždění stopek jsem vypočítala jako:

$$dt_s[s] = t_s[s] \cdot \frac{5}{24 \cdot 60 \cdot 60} = t_s[s] \cdot \frac{5}{86400}$$

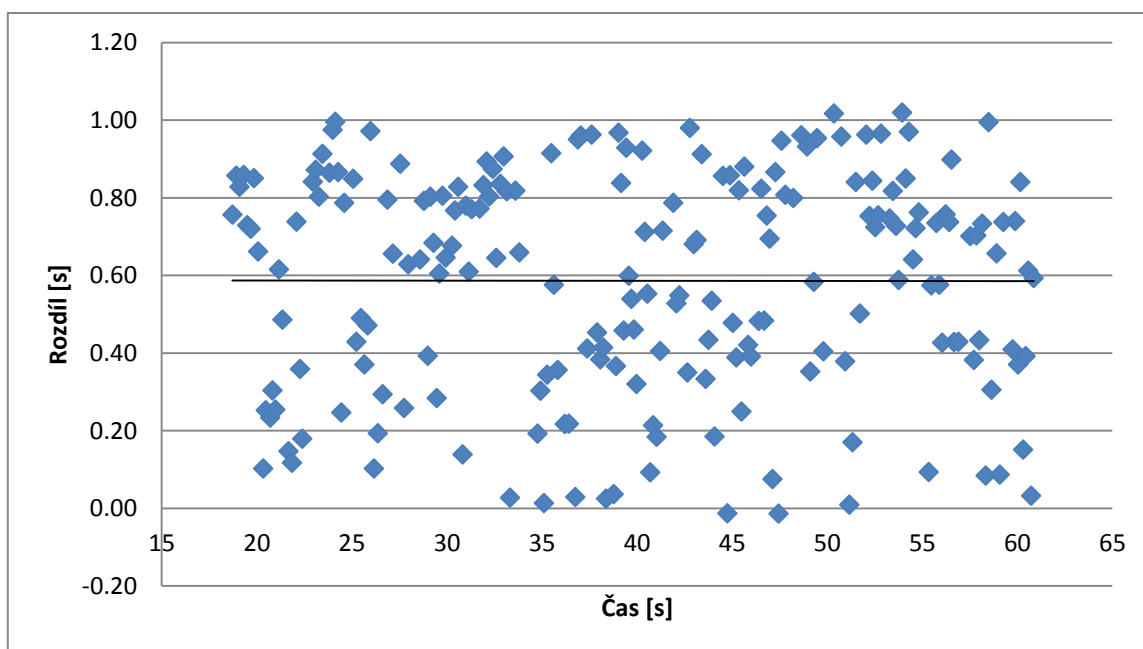
A opravený čas na stopkách:

$$t'_s = t_s + dt_s$$

Vypočetla jsem rozdíly opraveného času stopek a času hodin:

$$\Delta t' = t'_s - t_l$$

a sestrojila grafy z opravených hodnot rozdílů. Sklon přímky se nepodařilo odstranit úplně.



Obrázek 3.4.8: Naměřené rozdíly mezi časy registrovanými přístrojem a stopkami – s korekcí zpoždění stopek

V dalším vyhodnocení jsem pracovala pouze s časy opravenými o chod stopek. Pro každý soubor n rozdílů jsem vypočítala aritmetický průměr:

$$\overline{\Delta t'} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta t'}{n}$$

Dále jsem sestrojila histogramy pro jednotlivé soubory pomocí nástroje *Analýza dat*, hranice tříd jsem zvolila po 0,1 s od -0,5 s do 1 s. Součástí histogramu je tabulka tříd a četností. Podle grafu si můžeme udělat jen přibližnou představu o typu rozdělení pravděpodobnosti. U některých souborů je na první pohled zřejmé, že by mohlo jít o rovnoměrné rozdělení, otestovala jsem proto soubory pomocí funkce *chitest*, která porovná skutečné a teoretické četnosti v jednotlivých třídách a vrátí p – hodnotu, podle které se rozhodne o potvrzení nulové hypotézy. Protože délka (velikost) intervalu, ve kterém se mohou nacházet rozdíly, je teoreticky 1, ale neví se, kde se tento interval nachází na číselné ose, testovala jsem nulovou hypotézu postupně na všech možných takových intervalech: - 0,5 až 0,5, -0,4 až 0,6.....0 až 1. Na všech těchto intervalech jsem zjistila p – hodnotu a porovnála jsem, který interval nejlépe odpovídá rovnoměrnému rozdělení.

Výsledky měření a testování:

χ^2 test dobré shody

$$\alpha = 0,05$$

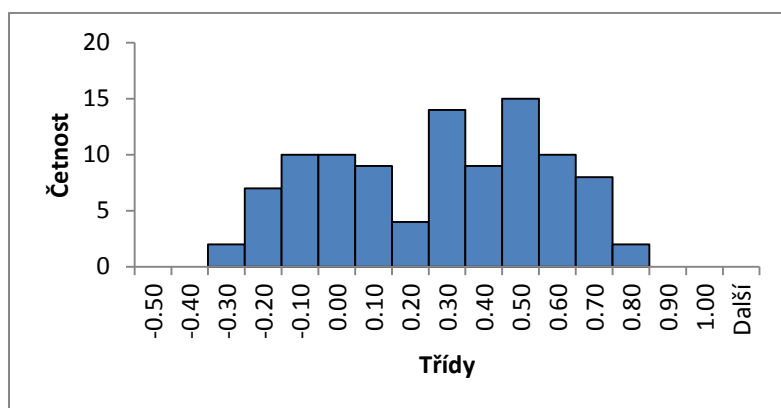
$p < \alpha \Rightarrow$ hypotéza nebyla přijata

$p > \alpha \Rightarrow$ hypotéza byla přijata

Měření ze dne: 19. 4. 2012

způsob synchronizace: 1. způsob

počet naměřených hodnot: 100



Obrázek 3.4.9: Histogram 1

Tabulka 3.4.1: p – hodnoty 1

interval <a; b>	0,5; 0,5	0,4; 0,6	0,3; 0,7	0,2; 0,8	0,1; 0,9	0;1
p	2,8E-03	0,086	0,42	0,10	3,3E-03	6,7E-05

Tabulka 3.4.2:

Rozdělení četností 1

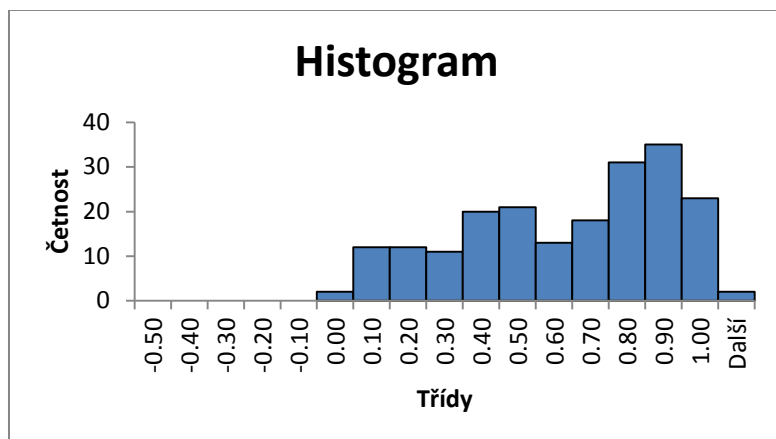
Třídy	Četnost
-0,50	0
-0,40	0
-0,30	2
-0,20	7
-0,10	10
0,00	10
0,10	9
0,20	4
0,30	14
0,40	9
0,50	15
0,60	10
0,70	8
0,80	2
0,90	0
1,00	0
Další	0

Na intervalu $\langle 0; 1 \rangle$ ani na intervalu $\langle -0,5; 0,5 \rangle$ hypotéza nebyla přijata, nejlépe odpovídá hypotéze interval $\langle -0,3; 0,7 \rangle$ a na tomto intervalu byla přijata. Střední hodnota by tedy měla být 0,2 s. Z naměřených hodnot byla vypočítaná střední hodnota 0,18 s. V tomto souboru měření se zřejmě vyskytuje systematická chyba, která vznikla při synchronizaci hodin.

Měření ze dne: 4. 6. 2012

způsob synchronizace: 2. způsob

počet naměřených hodnot: 200



Obrázek 3.4.10: Histogram 2

Tabulka 3.4.3: p – hodnoty 2

interval <a; b>	0,5; 0,5	0,4; 0,6	0,3; 0,7	0,2; 0,8	0,1; 0,9	0;1
p	6,9E-19	2,4E-15	2,0E-11	1,0E-08	4,6E-07	0,00031

Tabulka 3.4.4:

Rozdělení četností 2

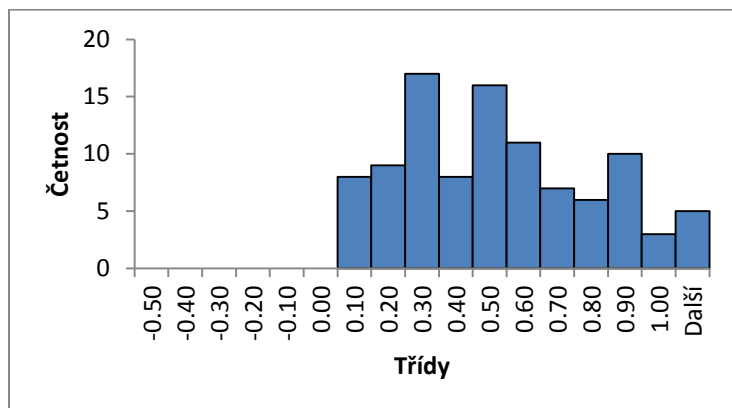
Třídy	Četnost
-0,50	0
-0,40	0
-0,30	0
-0,20	0
-0,10	0
0,00	2
0,10	12
0,20	12
0,30	11
0,40	20
0,50	21
0,60	13
0,70	18
0,80	31
0,90	35
1,00	23
Další	2

Hypotéza nebyla přijata na žádném intervalu velikosti 1. Střední hodnota byla vypočítaná jako aritmetický průměr z naměřených hodnot: 0,59 s.

Měření ze dne: 11. 6. 2012

způsob synchronizace: 2. způsob

počet naměřených hodnot: 100



Obrázek 3.4.11: Histogram 3

Tabulka 3.4.5: p – hodnoty 3

interval <a; b>	0,5; 0,5	0,4; 0,6	0,3; 0,7	0,2; 0,8	0,1; 0,9	0;1
p	1,8E-09	1,3E-07	6,4E-06	2,0E-04	0,0089	0,050

Tabulka 3.4.6:

Rozdělení četností 3

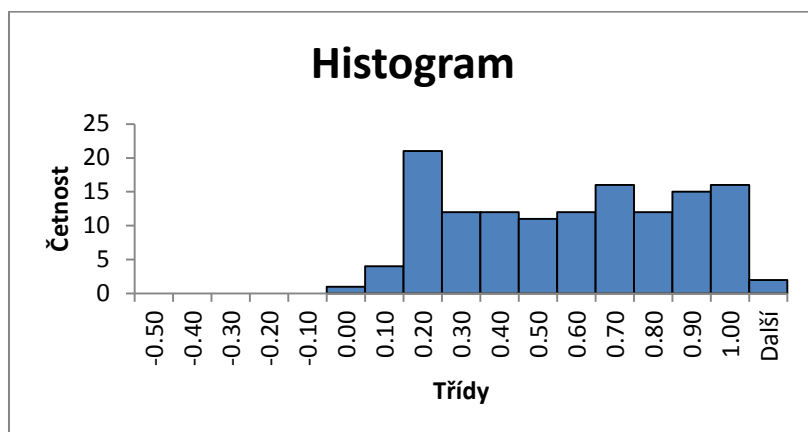
Třída	Četnost
-0,50	0
-0,40	0
-0,30	0
-0,20	0
-0,10	0
0,00	0
0,10	8
0,20	9
0,30	17
0,40	8
0,50	16
0,60	11
0,70	7
0,80	6
0,90	10
1,00	3
Další	5

Hypotéza byla přijata pro interval $\langle 0; 1 \rangle$, pro ostatní intervaly nebyla přijata. Střední hodnota by měla být 0,5 s. Z naměřených hodnot byla vypočítaná střední hodnota 0,48 s.

Měření, ze dne: 13. 2. 2012 (5.)

způsob synchronizace: 3. způsob

počet naměřených hodnot: 134



Obrázek 3.4.12: Histogram 4

Tabulka 3.4.7: p – hodnoty 4

interval <a; b>	-0,5; 0,5	-0,4; 0,6	-0,3; 0,7	-0,2; 0,8	-0,1; 0,9	0;1
p	7,3E-13	2,9E-10	8,5E-08	2,3E-05	0,0042	0,16

Tabulka 3.4.8:

Rozdělení četností 4

Třídy	Četnost
-0,50	0
-0,40	0
-0,30	0
-0,20	0
-0,10	0
0,00	1
0,10	4
0,20	21
0,30	12
0,40	12
0,50	11
0,60	12
0,70	16
0,80	12
0,90	15
1,00	16
Další	2

Hypotéza byla přijata pouze pro interval $\langle 0; 1 \rangle$ a teoretická střední hodnota je 0,5 s. Střední hodnota vypočítaná z naměřených hodnot je 0,54.

Závěr, shrnutí:

Tabulka 3.4.9: Intervaly s největšími p - hodnotami

způsob synchronizace	p hodnota	na intervalu	střední hodnota		
			teoretická	z měření	rozdíl
1	0,42	-0,3;0,7	0,20	0,22	0,02
2	0,00031	0;1	0,50	0,59	-0,09
2	0,05	0;1	0,50	0,48	0,02
3	0,16	0;1	0,50	0,54	-0,04

Při rozhodování mezi možnostmi zapisování času 1) Přístroj zaokrouhluje a rozdíly budou mít rovnoměrné rozdělení na intervalu $\langle -0,5; 0,5 \rangle$ nebo 2) Přístroj usekává desetinná místa a rozdíly budou mít rovnoměrné rozdělení na intervalu $\langle 0,0; 1,0 \rangle$, jsem se na základě měření a testování rozhodla pro možnost 2). Z toho vyplývá, že teoretická střední hodnota rozdílů bude 0,5 s a můžeme tuto hodnotu zavést jako korekci z diskretizace času.

Při měření směrů byly hodiny přístroje synchronizovány 2. způsobem.

3.5 Postup při měření směrů

Před měřením bylo zkontrolováno nastavení přístroje, a hodnoty osových chyb. Přístroj byl nejdříve přibližně urovnán podle krabicové libely. Potom následovalo zapnutí přístroje a elektronické libely. Podle elektronické kruhové libely na display byl přístroj dorovnán přesněji. Zbytkový náklon svislé osy v podélném a příčném směru – l , t byl korigován přístrojem: v nabídce „kalibrace“ se zmáčkne tlačítko l , t , poté se přístroj aretuje v libovolném směru a zahájí se měření. Po prvním zaměření se přístroj otočí o 200° a zaměří se podruhé. Přístroj vypočítá náklony l a t . Pro ověření jsem postup opakovala, a pokud vyšly ty samé hodnoty, zaregistrovala jsem je pro korekci chyby z náklonu. Další korekce, kolimační chyby c a chyby z nekolmosti klopné osy a se nastavují podobně, obě najednou pod tlačítkem c/a . Zacílí se na vzdálený bod a spustí se první měření, potom se proloží dalekohled do druhé polohy a znovu se zacílí na ten samý bod a zaměří. Přístroj vypočítá chyby a zobrazí i předchozí nastavení. Pokud se nově zjištěné hodnoty neliší od původních, ponechá se předchozí nastavení. Pokud se liší, postup se opakuje, a když se nové hodnoty potvrdí, nahradí se jimi ty původní.

Hodiny přístroje byly synchronizovány s časem UTC. V nabídce „konfigurace – datum a čas“ jsem přepsala čas, na celou minutu (tlačítko „edit“), potvrdila jsem nové nastavení („vloz“) a v okamžiku, kdy se nastavený čas shodoval s časem na přijímači přesného časového signálu, jsem spustila hodiny přístroje („enter“). Pro vrácení do výchozí nabídky – „cont“. Při pokusu o synchronizaci jiným způsobem (jinými tlačítky) došlo ke zpoždění mezi zmáčknutím tlačítka a spuštěním hodin, proto je nutné použít popsáný postup.

Definovala jsem jednu měřickou sérii jako posloupnost: cílení na orientační bod – čtyři nebo osm cílení na Měsíc (v jedné poloze dalekohledu) – cílení na orientační bod. Takto

jsem během jednoho observačního dne měřila několik sérií. Ve dvou dnech bylo měřeno na pravý okraj Měsíce a ve dvou dnech na levý okraj. V prvním a druhém dni jsem pro porovnání zaměřila i několik sérií s cílením na Slunce, s použitím tmavého filtru.

3.6 Zpracování naměřených údajů

V originálním zápisníku jsou veličiny označeny číselnými a znakovými kódy a zápis je bez vysvětlivek nečitelný. Na stránce:

http://www.hochschulebochum.de/fb5/baeumker/download/gsi_formatbeschreibung.pdf je tabulka s významy těchto kódů.

```
110038+0000000P2 84..16+00000000 85..16+00000000 86..16+00000000 87..16+00013000 88..16+00000000
110039+0000000J1 21.322+14117200 22.322+30132320 19....+06291703 18....+12460000
110040+000000002 21.322+16157560 22.322+31995920 19....+06291704 18....+12520000
110041+000000002 21.322+16160090 22.322+31995910 19....+06291704 18....+12580000
110042+000000002 21.322+16163140 22.322+31995900 19....+06291705 18....+12050000
110043+000000002 21.322+16165250 22.322+31995890 19....+06291705 18....+12100000
110044+000000002 21.322+16167880 22.322+31995890 19....+06291705 18....+12170000
110045+000000002 21.322+16170610 22.322+31995890 19....+06291705 18....+12230000
110046+000000002 21.322+16172950 22.322+31995890 19....+06291705 18....+12280000
110047+000000002 21.322+16177770 22.322+31995880 19....+06291705 18....+12400000
110048+000000002 21.322+16180250 22.322+31995880 19....+06291705 18....+12460000
```

Obrázek 3.5.1 Ukázka zápisníku

Zápis je uspořádan do několika sloupců tvořených šestnácti číslicemi nebo znaky. První dvě až tři místa značí, která veličina je vyjádřena v daném sloupci. Další důležité číslice jsou na 8. až 15. místě, které udávají hodnotu této veličiny. Ostatní číslice, 4. – 7. udávají informace o nastavení přístroje – zapnutí nebo vypnutí kompenzátoru a korekcí osových chyb, jednotky měřených veličin, ...). Zde v prvním řádku je registrováno stanoviště. První sloupec obsahuje číslo bodu, druhý sloupec horizontální úhel, třetí vertikální úhel, čtvrtý datum a čas: den, měsíc, hodinu a minutu a pátý sloupec: rok a sekundu.

Ze zápisníku měření jsem vybrala potřebné údaje: vodorovný směr, datum a čas UTC a sestavila jsem je do tabulky, přehledné pro čtení. Pro výpočet azimutu jsem použila soubor funkcí s pracovním názvem *Astro* (kapitola 2.3), který jsem dostala k dispozici.

3.7 Vyhodnocení

Získala z každého měřického dne soubor sérií, po čtyřech nebo po osmi cíleních na Měsíc, pro každé cílení byla vypočítána hodnota azimutu orientačního bodu. Dá se předpokládat, že v rámci jedné série budou všechny vypočtené azimuty zatíženy přibližně stejně velkou chybou – cílení proběhla v krátkém časovém úseku (1-3 min) a hodnota směru

na orientační bod byla do výpočtu zadána stejná pro celou sérii (průměr ze dvou cílení). Proto jsem azimuty z celé série shrnula do jedné výsledné hodnoty, vypočítané jako jejich aritmetický průměr.

Aritmetické průměry z jednotlivých sérií:

$$\bar{\alpha}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \alpha_i}{n_j},$$

kde j je pořadí série, i je pořadí prvku v sérii a n_j je počet prvků v sérii.

Odchylky průměrů série od správné hodnoty:

$$o_j = A - \bar{\alpha}_j,$$

Střední chyba, charakterizující vnitřní přesnost jednoho měření série:

$$m_{i,j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (\alpha_i - \bar{\alpha}_j)^2}{n_j - 1}},$$

Střední úplná chyba, charakterizující vnější přesnost jednoho měření série:

$$s_{i,j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (\alpha_i - A)^2}{n_j}},$$

kde A je správná hodnota azimutu.

Potom mě zajímalo, jak se od sebe liší průměry ze skupin v rámci jednoho dne:

Aritmetický průměr ze všech měření v daném dni (z průměrů ze sérií)

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i}{n},$$

Odchylka průměru ze všech měření v daném dni od správné hodnoty:

$$o = A - \bar{\alpha}$$

Střední chyba, charakterizující vnitřní přesnost jednoho průměru série v daném dni:

$$m_j = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_j} (\bar{\alpha} - \bar{\alpha}_j)^2}{n_j - 1}},$$

Pro výpočet těchto charakteristik přesnosti jsem vytvořila funkci v programu *Scilab* 5.3.3. Vstupem je textový soubor, kde jsou napsané hodnoty azimutu ve sloupci pod sebou a jednotlivé série jsou od sebe odděleny mezerou. Výstupem je jiný textový soubor, kde jsou vypsány výše uvedené charakteristiky

Posouzení správnosti zavedení korekce času

Nejdříve jsem chtěla zjistit, jestli je účelné zavedení korekce z diskretizace času + 0,5 s, kterou jsem zjistila v předchozím měření. Porovnála jsem po jednotlivých dnech výsledky dosažené bez korekce s výsledky dosaženými s korekcí.

Tabulka 3.6.1: Porovnání přesnosti výsledků bez korekce a s korekcí

Měsíc								
	26. 6., pravý okraj		29. 6., pravý okraj		10. 8., levý okraj		5. 3., levý okraj	
	bez korekce	s korekcí	bez korekce	s korekcí	bez korekce	s korekcí	bez korekce	s korekcí
$\bar{\alpha}$ [°]	148,2293	148,2320	148,2314	148,2336	148,2377	148,2396	148,2394	148,2413
σ [°]	0,0092	0,0066	0,0071	0,0049	0,0008	-0,0011	-0,0009	-0,0027
m_j [°]	0,0019	0,0019	0,00092	0,00078	0,00066	0,00058	0,0016	0,0017
σ_{jmax} [°]	0,0124	0,0096	0,0079	0,0055	0,0020	-0,0018	-0,0040	-0,0061
Slunce								
	26. 6., oba okraje		29. 6., oba okraje					
	bez korekce	s korekcí	bez korekce	s korekcí				
$\bar{\alpha}$ [°]	148,2363	148,2380	148,2356	148,2373				
σ [°]	0,0022	0,0005	0,0029	0,0012				
m_j [°]	0,0022	0,0005	0,0010	0,0010				
σ_{jmax} [°]	0,0022	0,0005	0,0042	0,0026				

Zavedením korekce se snížila maximální odchylka průměru jedné série od správné hodnoty z 0,0124 ° na 0,0096 °, a maximální odchylka průměru z celého dne od správné hodnoty z 0,0092 ° na 0,0066 °, proto jsem se rozhodla pro zavedení korekce času.

Stanovení vhodného počtu cílení v sérii a počtu sérií

Dalším krokem bylo stanovit vhodný počet cílení v jedné sérii. Měření ze všech dní jsem rozdělila do dvou souborů, jeden obsahuje pouze hodnoty naměřené v sérii po osmi cíleních a druhý pouze hodnoty naměřené v sériích po čtyřech cíleních. Sérií po čtyřech bylo naměřeno mnohem víc, než sérií po osmi, proto jsme do tohoto vyhodnocení zahrnula jen některé série po čtyřech, a to pokud možno tak, aby výběr neměl vliv na vyhodnocení. V různých dnech mělo měření různou přesnost, proto jsem se snažila vybrat z každého dne stejným dílem do obou souborů. Ovšem v prvním dni jsem měřila pouze po čtyřech cíleních a

druhý den pouze po osmi. Oba dny ale měli podobnou přesnost (přibližně stejně velké odchylky od správné hodnoty), proto jsem při výběru tyto dny považovala za rovnocenné.

Z prvního dne (26.6.2012) prvních deset sérií po čtyř, ze druhého dne (29.6. 2012) pět sérií po osmi, ze třetího dne (8.10.2013) dvě série po osmi a první čtyři po čtyř a ze čtvrtého dne (5. 3. 2013) čtyři série po osmi a prvních osm po čtyř. Oba soubory obsahovaly stejný počet cílení. Dohromady to bylo 11 sérií po osmi a 22 sérií po čtyřech cíleních.

Vypočítala jsem charakteristiky přesnosti obou souborů a porovnála jsem je.

Tabulka 3.6.2: Charakteristiky přesnosti sérií po osmi a po čtyř cílení

[^g]	po čtyřech	po osmi	
$\bar{\alpha}$	148,2373	148,23730	průměr
σ	0,00013	0,0012	odchylka průměru od pravé hodnoty
m_j	0,0051	0,0036	střední chyba jednoho průměru ze série
$\bar{m}_{i,j}$	0,0015	0,0014	průměrná střední chyba jednoho měření v sérii - vnitřní přesnost
$\bar{s}_{i,j}$	0,0049	0,0036	průměrná střední chyba jednoho měření v sérii - vnější přesnost
σ_{jmax}	0,0096	0,0055	maximální odchylka průměru série od správné hodnoty

Tabulka 3.6.3 Odchylky průměru ze série po osmi a po čtyř cílení od správné hodnoty

po osmi					
interval absolutní hodnoty odchylky [^{cc}]	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
počet odchylek v intervalu	4	3	4	0	0
procento z celkového počtu odchylek [%]	36	28	36	0	0
50 % odchylek je menší než 0,0037 ^g , 95% odchylek je menší než 0,0053 ^g .					
po čtyřech					
interval absolutní hodnoty odchylky [^{cc}]	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
počet odchylek v intervalu	4	6	5	4	3
procento z celkového počtu odchylek [%]	18	27	23	18	14
50 % odchylek je menší než 0,0040 ^g , 95% odchylek je menší než 0,0089 ^g .					

Průměry vypočítané ze sérií po čtyřech mají větší odchylky od skutečné hodnoty než průměry ze sérií po osmi.

Průměrná střední chyba jednoho měření, charakterizující vnější přesnost, je $\sqrt{2}$ krát menší u měření po osmi cíleních, než u měření po čtyřech. Totéž platí i pro střední úplnou chybu jednoho měření v celém souboru a pro střední chybu jednoho měření v souboru, charakterizující vnitřní přesnost. Aby byla při měření sérií po čtyř dosažená stejná přesnost

výsledků, jako v sériích po osmi, musely by se proti jedné sérii po osmi naměřit čtyři série po čtyřech.

Sérií po osmi cíleních bylo zaměřeno 11, sérií po čtyřech cíleních celkem 37, pokud jsem chtěla výsledné azimuty získat jako průměr ze čtyř sérií po čtyřech cíleních, musela jsem poslední sérii vyřadit, získala jsem pak pouze devět výsledků. Pro vyhodnocení průměrů ze dvou sérií po čtyřech cíleních jsem použila série vybrané pro předchozí vyhodnocení. Odtud jsem získala také devět výsledků.

Tabulka 3.6.4 Odchylky průměru od správné hodnoty

průměry jedné série po osmi

interval hodnoty odchylky [°]	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
počet odchylek v intervalu	4	3	4	0	0
procento z celkového počtu odchylek [%]	36	28	36	0.00	0.00
50 % odchylek je menší než 0,0036^g, 95% odchylek je menší než 0,0053^g.					

průměry ze dvou sérií po čtyřech

interval hodnoty odchylky [°]	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
počet odchylek v intervalu	3	0	2	3	1
procento z celkového počtu odchylek [%]	33	0	23	33	11
50 % odchylek je menší než 0,0050^g, 95% odchylek je menší než 0,0087^g.					

průměry ze čtyř sérií po čtyřech

interval hodnoty odchylky [°]	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
počet odchylek v intervalu	4	1	1	3	0
procento z celkového počtu odchylek [%]	45	11	11	33	0
50 % odchylek je menší než 0,0031^g, 95% odchylek je menší než 0,0074^g.					

Rozložení odchylek průměrů ze čtyř sérií po čtyřech hodnotách se blíží k rozložení odchylek průměrů jedné série po osmi.

Nejmenších výsledků bylo dosaženo u sérií po osmi cíleních, odchylky nepřekročily 0,0055^g. U průměrů ze dvou sérií po čtyřech cíleních se vyskytla odchylka až 0,0087^g a značný počet odchylek spadal i do rozmezí (0,0060 – 0,0080)^g. U průměrů ze čtyř sérií byla maximální odchylka 0,0074^g, nebylo tak splněno očekávání, přesnost prvního postupu (série po osmi cíleních) a posledního (průměrování čtyř sérií po čtyřech cíleních) bude stejná.

Domnívám se, že by to mohlo být způsobeno nesprávností výběru a sloučení dat z různých dnů a že by měla být porovnávána mezi sebou pouze stejnorodá data (naměřená v jednom dni). Přesto se radši přikloním k zaměření sérií po osmi.

Časová bilance: 1 série po čtyřech cíleních: zaměření trvá cca 2,5 min, čtyři takové série cca 12 min. 1 série po osmi cíleních trvá cca 3,5 min. Je tedy i z časového hlediska výhodnější zaměřit 1 sérii po osmi, než čtyři po čtyřech. Pro kontrolu by se měly zaměřit dvě takové série.

Shrnutí

Podle naměřených dat a jejich vyhodnocení bych navrhla takový postup:

1) Naplánování vhodné doby

Při měření se ukázalo, že při výškovém úhlu 40° je už cílení obtížné bez speciálního nástavce na okulár.

2) Horizontace a centrace, nastavení přístroje

Ve druhém bodě by bylo zahrnuto běžné postavení přístroje, jeho zkontrolování před měřením: vytvoření souboru, do kterého se budou data ukládat, zjištění osových chyb a nastavení jejich korekce a synchronizace a časem UTC.

3) Zaměření dvou sérií

Zaměření jedné série by znamenalo: jedno cílení na orientační bod (určovaný); osm cílení na levý nebo na pravý okraj Měsíce; znovu cílení na orientační bod. Vše v jedné poloze dalekohledu.

4) Výpočet

Ze dvou cílení na *OB* se vypočítá aritmetický průměr a zadá se do „kalkulačky“ jako směr na *OB*. Potom se zadají ostatní údaje a vypočítá se pro každé cílení azimut. Z každé série se vypočte průměr z osmi azimutů. Výsledná hodnota azimutu bude průměr ze dvou azimutů – z první a z druhé série.

Na závěr jsem vybrala soubor obsahující pouze série, kdy bylo měřeno po osmi cíleních. Průměry ze sérií byly již vypočtené z přechozího vyhodnocování. Následně jsem, podle navrženého postupu, průměry ze sérií rozdělila po dvou (v pořadí, jak byly série

měřeny) a z těchto dvou jsem znovu vypočítala průměry. Ty jsem již považovala za výsledné azimuty.

Tabulka 3.6.5 Odchyly výsledných azimutů od správné hodnoty

výsledná hodnota azimutu	odchylka od správné hodnoty
[^g]	[^g]
148.2334	0.0051
148.2368	0.0017
148.2412	-0.0027
148.2394	-0.00085

Možnost využití

Podle [7] jsou v kapitole 2 – Budování nebo revize a doplnění podrobného polohového bodového pole stanoveny metody zaměření bodů podrobného polohového bodového pole.

Pro zaměření polygonovým pořadem uvádí tyto kritéria:

Tabulka 3.6.6 Kritéria pro polygonový pořad [7]

Připojovací body	Mezní délka strany [m]	Mezní délka pořadu d [m]	Mezní odchylka v uzávěru pořadu	
			úhlová [cc]	polohová [m]
ZPBP, ZhB	200-1500	5000	$25.(n)^{1/2}$	$0,0025.(\Sigma d)^{1/2}$
ZPBP, ZhB	50-400	3000	$50.(n)^{1/2}$	$0,004.(\Sigma d)^{1/2}$
PPBP, ZPBP, ZhB	50-400	1500	$100.(n)^{1/2}$	$0,006.(\Sigma d)^{1/2}$

Navržená metoda by se dala využít pro orientaci polygonového pořadu s délkami (50 – 400) m připojeného na body PPBP (podrobného polohového bodového pole), ZPBP (základního polohového bodového pole) a ZhB (zhušťovací body).

Při měření mezi body polohových bodových polí nesmějí rozdíly mezi změřenými a ze souřadnic vypočtenými nebo původně určenými hodnotami vodorovných úhlů a délek překročit tyto mezní odchylky:

Tabulka 3.6.7 Kritéria pro měření mezi body [7]

		mezní odchylka	
		v úhlu [gon]	v délce [m]
a)	mezi body ZPBP nebo mezi jejich orientačními body OB1 a OB2	0,0015	0,03
b)	mezi bodem ZPBP a ZhB	0,0020	0,05
c)	mezi ZhB	0,0030	0,05
d)	mezi body podle písm. a), b), c) a orientačním bodem OB3	0,0060	-
e)	mezi body podle písm. b) a bodem podle písm. f)	0,0100	0,13
f)	mezi body PPBP	0,0300	0,15
g)	mezi body podle písm. f) na technických objektech přidružených k těmto určujícím bodům do vzdálenosti 50 m od něj	0,0500	0,04

Metoda by vyhovovala kritériím podle e), f), g).

4 Závěr

Závěrem práce jsou dva dílčí výsledky. V první části byla provedena měření, kde jsem zkoumala, jestli lze zpřesnit čas, zaregistrovaný přístrojem pouze na celé sekundy. Dospěla jsem k výsledku, že je možné zavedením korekce z diskretizace zlepšit přesnost času, a tím i přesnost azimutu vypočteného z tohoto času a z dalších hodnot. Hodnotu korekce jsem zjistila +0,5 s.

V další části jsem provedla měření pro výpočet azimutu dvěma metodami, které se od sebe lišili pouze počtem cílení na Měsíc – čtyři nebo osm cílení. Na základě výsledků jsem stanovila jako nejvýhodnější ze zkoumaných metod tu, při které se zaměří dvě série po osmi cíleních. Maximální odchylka výsledné hodnoty azimutu od správné hodnoty byla při této metodě 0,0051^g.

Domnívám se, že by se metoda určení azimutu z měření na Měsíc dala využít při budování podrobného polohového bodového pole.

5 Seznam použité literatury

5.1 Tištěné publikace

- [1] FIXEL, Jan. *Geodetická astronomie I a základy kosmické geodézie*. Brno: Vutium, 2000. ISBN 4 – 1082.713,183 s.
- [2] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Alexej VITULA a Jiří BUREŠ. *Inženýrská geodézie I: GE16 Modul 01*[<https://intranet.study.fce.vutbr.cz/studium/materi/>]. Brno, 2006 [cit. 2013-05-19], 102 s.
- [3] VYKUTIL, Josef. *Teorie chyb a vyrovnávací počet*. Brno, 1988. ISBN TK – A – 0237.855 4 – 0933.812., 309 s.
- [4] KRATOCHVÍL, Vlastimil. *Geodetická astronomie: pomocné učební texty UO*. 25s.
- [5] ZÁHORO VÁ, Věra. *Sbírka příkladů ke cvičením z pravděpodobnosti a statistiky*: studijní texty Univerzity Pardubice, 187 s.
- [6] URBAN, Pavel. *Přesné určení astronomického azimutu z měření na Měsíc*. Brno, 2010. Diplomová práce. UO. 70 s.
- [7] ČR. Návod pro obnovu katastrálního operátu a převod. In: Český úřad zeměměřický a katastrální, 2007, 6530/2007- 22.

5.2 Elektronické zdroje

- [8] [online]. [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: <http://www.astro.cz/obloha/mesic/>
- [9] [online]. [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: <http://www.leicashop.cz/default.asp?inc=inc/firma.htm>
- [10] [online]. [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: <http://www.invent.net16.net/ajalugu/images/leicatahum.pdf>
- [11] [online]. [cit. 2013-03-15]. Dostupné z: http://sirrah.troja.mff.cuni.cz/~mira/astrofyzika_pro_fyziky/2_souradnice/souradnice_preview.pdf
- [12] [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.iers.org/ IERS/EN/Publications/Bulletins/bulletins.html>
- [13] [online]. [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://www.hochschulebochum.de/fb5/baeumker/download/gsi_formatbeschreibung.pdf

6 Seznam obrázků

2.1.1: Pravoúhlá souřadnicová soustava

2.1.2: Sférická souřadnicová soustava

2.1.3: Horizontální souřadnicová soustava

2.1.4: První a druhá rovníková souřadnicová soustava

2.1.5: Dráhová souřadnicová soustava [4]

2.2.1: Vztahy mezi časy [4]

3.1.1: Technické parametry přístroje [10]

3.4.1: Znázornění postupu měření rozdílů časů

3.4.2: Závislost času registrovaného přístrojem na skutečném čase – A

3.4.3: Závislost času registrovaného přístrojem na skutečném čase – B

3.4.4: Závislost času registrovaného stopkami na skutečném čase

3.4.5.: Rozdíl mezi časem registrovaným přístrojem (možnost A) a stopkami

3.4.6.: Rozdíl mezi časem registrovaným přístrojem (možnost B) a stopkami

3.4.7: Naměřené rozdíly mezi časy registrovanými přístrojem a stopkami – bez korekce
zpoždění stopek

3.4.8: Naměřené rozdíly mezi časy registrovanými přístrojem a stopkami – s korekcí zpoždění
stopek

3.4.9: Histogram 1

3.4.10: Histogram 2

3.4.11: Histogram 3

3.4.12: Histogram 4

3.5.1 Ukázka zápisníku

3.5.2: Ukázka výpočtu azimutu pomocí Astro

7 Seznam tabulek

- 3.4.1: *p – hodnoty 1*
- 3.4.2: *Rozdělení četností 1*
- 3.4.3: *p – hodnoty 2*
- 3.4.4: *Rozdělení četností 2*
- 3.4.5: *p – hodnoty 3*
- 3.4.6: *Rozdělení četností 3*
- 3.4.7: *p – hodnoty 4*
- 3.4.8: *Rozdělení četností 4*
- 3.4.9: *Intervaly s největšími p – hodnotami*
- 3.6.1: *Porovnání přesnosti výsledků bez korekce a s korekcí*
- 3.6.2: *Charakteristiky přesnosti sérií po osmi a po čtyř cílení*
- 3.6.3 *Odchyłky průměru ze série po osmi a po čtyř cílení od správné hodnoty*
- 3.6.4 *Odchyłky průměru od správné hodnoty* Tabulka
- 3.6.5 *Odchyłky výsledných azimutů od správné hodnoty*
- 3.6.6 *Kritéria pro polygonový pořad [7]*
- 3.6.7 *Kritéria pro měření mezi body [7]*

8 Seznam příloh, přílohy

- 8.1 Zápisník měřených časů
- 8.2 Vyhodnocení rozdílů časů
- 8.3 Zápisník měřených směrů
- 8.4 Azimuty vypočítané pomocí souboru funkcí *Astro*
- 8.5 Statistické vyhodnocení azimutů
- 8.6 Funkce pro statistické vyhodnocení azimutů ve *Scilabu*