

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

ANALÝZA PŘESNOSTI VÝSLEDKŮ ASTRONOMICKÉHO URČENÍ POLOHY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN JALOVECKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADOVAN MACHOTKA, Ph.D.

BRNO 2012




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ


Studijní program N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3646T003 Geodézie a kartografie
Pracoviště Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Jalovecký Martin, Bc.
Název Analýza přesnosti výsledků astronomického určení polohy
Vedoucí diplomové práce Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce 30. 11. 2011
Datum odevzdání diplomové práce 25. 5. 2012
V Brně dne 30. 11. 2011




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


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

Podklady a literatura

KABELÁČ, J., KOSTELECKÝ J.: Geodetická astronomie 10, Praha 1998

MACHOTKA, R., Určování astronomických souřadnic - Metoda párů stejné výšky, Geodetický a kartografický obzor, Vesmír, Praha, 2005

MACHOTKA, R.; VONDRÁK, J., Využití motorizované totální stanice pro automatizaci astronomických měření, Geodetický a kartografický obzor, Vesmír, Praha, 2009

Zásady pro vypracování

Proveďte staniční testování Mobilního automatizovaného astronomického systému.

Vyhodnoťte přesnost astronomického určení polohy tímto systémem. Zaměřte se na vybrané systematické vlivy ovlivňující výsledky měření.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací



Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Tato diplomová práce je zaměřena na analýzu přesnosti výsledků astronomického určení polohy. Popisuje metody měření a nejnovější měřické systémy používané v geodetické astronomii. Dále je v práci popis měřického systému MAAS-1. Předmětem zpracování jsou data získaná měřením tímto systémem. Testování je zaměřeno na digitální kameru. Jsou zde provedeny analýzy výsledků zeměpisných souřadnic v závislosti na přesnosti určení úhlové velikosti pixelu a zároveň na přesnosti určení vstupních souřadnic.

Klíčová slova

Geodetická astronomie, astronomická zeměpisná délka, astronomická zeměpisná šířka, kalibrace kamery, hvězdný pár, úhlová velikost pixelu, pozorovací program, CCD senzor, digitální zenitová kamera, vstupní souřadnice,

Abstract

This diploma thesis is focused on the analysis of results accuracy of astronomical positioning. It describes observation methods and the latest surveying systems used in geodetic astronomy. Further in the thesis there is the description of surveying system MAAS-1. Subject of the elaboration is the data obtained by measuring with this system. Testing is focused on digital camera. There is also an analysis of the results of geographical coordinates, depending on the accuracy of determining the angled pixel size and also on the accuracy of the input coordinates.

Keywords

Geodetic astronomy, astronomical latitude, astronomical longitude, camera calibration, pair of stars, angled pixel size, observation plan, CCD sensor, digital zenith camera system, input coordinates,

Bibliografická citace VŠKP

JALOVECKÝ, Martin. *Analýza přesnosti výsledků astronomického určení polohy*. Brno, 2011. 54 s., 7 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Radovan Machotka, Ph.D..

Prohlášení:

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

V Brně dne 10.1.2012

.....

podpis autora

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu diplomové práce Ing. Radovanu Machotkovi, Ph.D. za ochotu a pomoc při školení a zpracování této diplomové práce. A také mým blízkým za vytvořené zázemí při studiu.

OBSAH

1. Úvod	8
2. Úlohy geodetické astronomie.....	9
2.1. Určování astronomických souřadnic.....	9
2.2. Měřické chyby.....	11
2.3. Současné aplikace geodetické astronomie.....	13
3. Vývoj přístrojů pro geodetickou astronomii v posledních letech.....	16
3.1. Moderní digitální přístroje se CCD senzory.....	17
4. Mobilní automatizovaný astronomický systém (MAAS-1).....	20
4.1. Popis řešení systému.....	21
4.2. Metoda párů stejné výšky.....	22
4.2.1. Podmínky pro výběr hvězdných párů.....	23
4.3. Automatizované zpracování snímků.....	24
5. Postup měření s MAAS-1.....	26
5.1. Pozorovací program.....	26
5.2. Postup měření.....	28
5.3. Zpracování měřených dat.....	30
6. Testovací měření systémem MAAS-1.....	33
6.1. Testovací měření – střed snímku, úhlová velikost pixelu.....	34
6.2. Zpracování naměřených hodnot.....	38
7. Analýzy zpracování výsledků.....	41
7.1. Grafické vyjádření.....	41
7.2. Závislost výsledků na přesnosti určení úhlové velikosti pixelu.....	45
7.4. Závislost výsledků na přesnosti určení vstupních souřadnic.....	47
7.3. Závislost výsledků na přesnosti určení úhlové velikosti pixelu a vstupních souřadnicích.....	49
8. Závěr.....	54
9. Seznam literatury.....	56
10. Seznam příloh.....	56
11. Seznam elektronických příloh.....	57

1. ÚVOD

Obsah této diplomové práce je zaměřen na metody měření a analýzu výsledků měření v oblasti astronomické geodézie. Obsah této práce lze rozdělit do dvou částí. První teoretická část je zaměřena na obor geodetické astronomie. Z tohoto oboru je především pro účel této práce zmíněna problematika určování astronomických zeměpisných souřadnic metodami geodetické astronomie. V této části jsou také zmíněny měřické chyby. Dále je podrobněji popsána metoda měření párů stejné výšky. Tato metoda je zmíněna především proto, že na této metodě spočívá princip měření testovaného systému MAAS-1.

Dále jsou v této práci popsány některé současné aplikace metod geodetické astronomie. S tím samozřejmě souvisí použití nejmodernějších měřících systémů. Proto je dále zmíněn historický vývoj těchto astronomických měřících systémů v posledních letech.

Obsah práce je především zaměřen na mobilní automatický astronomický systém (MAAS-1) vyvinutý na ústavu geodézie stavební fakulty VUT v Brně. Proto je v této části práce tento systém podrobněji popsán. Je zde popsáno samotné řešení systému, způsob měření v terénu i postup zpracování naměřených dat.

Druhá část práce je zaměřena na praktické zvládnutí ovládání a měření se systémem MAAS-1. Je zde popis vytvoření pozorovacího programu. Dále je uveden průběh měření a testování tohoto systému. Testování MAAS-1 bylo zaměřeno především na zpracování snímků digitální kamerou se CCD senzorem. Jedná se o kalibraci kamery prováděnou v terénu a způsob zpracování dat získaných z této kalibrace.

Výsledky těchto měření byly následně zpracovány a byly vypočteny zeměpisné souřadnice. Výsledky byly ovlivněny simulací chyb při měření a také především při zpracování. Snahou tohoto testování bylo zjištění systematického vlivu při ovlivnění úhlové velikosti pixelu, zjištěnou kalibrací kamery při měření, a vstupních přibližných souřadnic stanoviště.

V Závěru práce jsou shrnuty výsledky provedených analýz.

Z obrázku vyplývá, že v okamžiku S světového hvězdného času platí

$$\begin{aligned}\varphi &= \delta \\ \lambda &= \alpha - S.\end{aligned}\tag{2.1}$$

To znamená, že souřadnice φ , λ stanoviště je možno určit přímo z rovníkových souřadnic α , δ hvězdy nacházející se v čase S právě v zenitu Z daného stanoviště, a to pomocí rovnice (2.1).

Určování astronomických zeměpisných souřadnic v terénu patří k jednomu z nejdůležitějších cílů geodetické astronomie. V dnešní době se provádí pouze výjimečně. Existují ale případy, kdy je jejich určení požadováno. Některé příklady jsou uvedeny v kapitole 2.3.

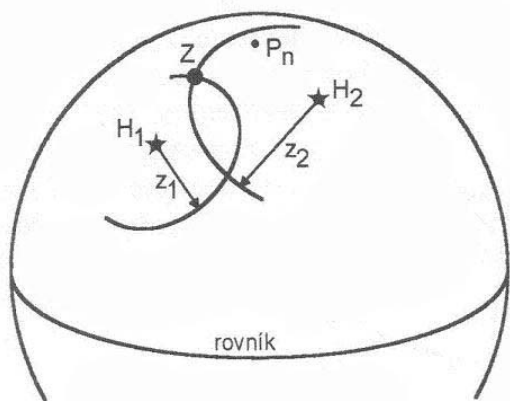
Podle publikace [4] se astronomické metody určování polohy dělí do dvou skupin. První metoda spočívá v určení polohy zenitu Z pomocí zenitových vzdáleností a druhá metoda pomocí vodorovných směrů.

Určení polohy zenitu Z pomocí zenitových vzdáleností

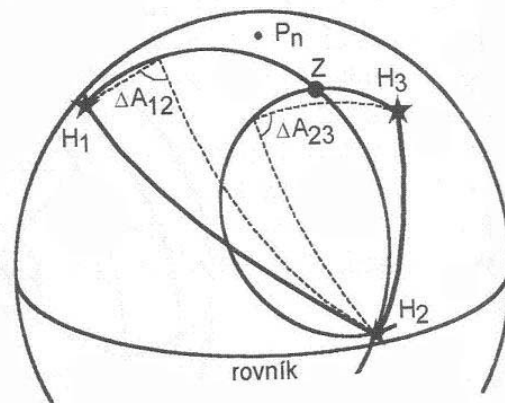
Situace je znázorněna na obrázku č.2. Hvězdy představují body H_1 a H_2 o známých souřadnicích α_1 , δ_1 a α_2 , δ_2 promítnuté na nebeskou sféru a Z_1 a Z_2 jsou jejich zenitové vzdálenosti zaměřené ze stanoviště o zenitu Z . Zenit Z potom leží v průsečíku dvou kružnic o poloměrech Z_1 a Z_2 opsaných kolem H_1 a H_2 na jednotkové kouli.

Určení polohy zenitu Z pomocí vodorovných směrů

Na stanoviště o zenitu Z se měří na 3 hvězdy H_1 , H_2 a H_3 . Získají se rozdíly čtení vodorovného kruhu $K_2 - K_1$ a $K_3 - K_2$ rovnajících se i rozdílům jejich astronomických azimutů ΔA_{12} a ΔA_{23} . Nad spojnicemi H_1, H_2 a H_2, H_3 na jednotkové kouli se sestrojí geometrická místa stejných úhlů ΔA_{12} a ΔA_{23} . Tato místa se protínají v zenitu Z . Situace této úlohy je znázorněna na obrázku č.3.



Obr.č.2 Určení polohy zenitu Z pomocí zenitových vzdáleností [4]



Obr.č.3 Určení polohy zenitu Z pomocí vodorovných úhlů [4]

2.2. Měřické chyby

V této kapitole je popsán vliv měřických chyb podle [3]. Přesnost určení astronomických zeměpisných souřadnic je dána působením náhodných a systematických chyb na měření. Náhodné chyby se ve velkých měřických souborech vesměs eliminují. Zůstává zachován vliv systematických chyb. Proto je u přesných měření nutné tento vliv odstranit. Dále bude popsán vliv těchto systematických chyb. Podle vzniku lze systematické chyby rozdělit na chyby mající původ v přístroji, v atmosféře, v měření času a v použitém matematickém modelu.

U metod určení polohy zenitu Z pomocí zenitových vzdáleností se z důvodů (přesvětlený horizont, opar, překážky nad úrovní horizontu, refrakce) měří hvězdy většinou v zenitových úhlech menších jak 50° . Při strmých záměrech se výrazně projevují vlivy nedokonalé horizontace a osových chyb přístroje. Podélná složka chyby se neprojevuje a příčná složka chyby horizontace se počítá s chybou ze sklonu klopné osy. V dalších úvahách bude tedy sklon klopné osy i zahrnovat i vliv nedokonalé horizontace.

Systematické chyby metod využívajících horizontálních směrů

Vliv sklonu klopné osy i na měřený horizontální směr je dán vztahem

$$\Delta i = i \cdot \cot g z \quad (2.2)$$

Vliv kolimační chyby c na měřený horizontální směr je dán vztahem

$$\Delta c = c / \sin z \quad (2.3)$$

Chyby se vyloučí při měření ve dvou polohách dalekohledu za předpokladu, že se nezmění hodnoty z , i , případně c . Při nedodržení stabilního postavení přístroje nebo změně hodnot osových chyb během měření či při nedodržení stejného zenitového úhlu záměr v první a druhé poloze je nutné zavádět korekce. Určení velikosti náklonu přístroje a přístrojových chyb při měření je obtížné. Vliv těchto chyb nelze tedy plně odstranit. Dále je tato metoda citlivá na stáčení pilíře (stativu) nebo obecně přístroje. Při měření na hvězdy s velkým zenitovým úhlem je nutno počítat s horizontální refrakcí. Nakonec by nemělo být opomenuto, že do výpočtu vstupují úhly získané jako rozdíl směrů. Podle zákona hromadění středních chyb mají úhly $\sqrt{2}$ krát větší střední chybu než směry.

Systematické chyby metod využívajících zenitových úhlů

U zenitových úhlů je jedno rameno definováno fyzikálně. Jde o tečnu k místní tížnici. V přístroji je realizována pomocí libely, kapalínového horizontu nebo kyvadlového horizontu. Zenitové úhly je proto možné měřit přímo.

Na měřené hodnoty má vliv indexová chyba. Vliv této chyby je nezávislý na velikosti zenitového úhlu. Za neměnnosti indexové chyby se její vliv vyloučí měřením ve dvou polohách.

Vliv sklonu klopné osy i na měřený zenitový úhel je dán vztahem

$$\Delta z = \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot \cot g z, \quad (2.4)$$

kde z je skutečný zenitový úhel.

Tato chyba je vždy kladná a nevyloučí se měřením ve dvou polohách. Chyba je velice malá, pro $z = 30^\circ$ a $i = 20''$ je chyba $\Delta z = 0,002''$. To je výrazně méně než odpovídající chyba horizontálního směru $\Delta i = 35''$

Vliv kolimační chyby c na měřený zenitový úhel je obdobný. Je dán vztahem

$$\Delta z = \frac{1}{2} \cdot c^2 \cdot \cot g z. \quad (2.5)$$

Tato chyba je opět vždy kladná a měřením ve dvou polohách se nevyloučí. Za normálních okolností je tato chyba zanedbatelná.

Nejvýraznější chybou ovlivňující měření je atmosférická refrakce. Refrakce je funkcí zenitového úhlu, teploty a tlaku vzduchu po celé dráze světelného paprsku v atmosféře. Největší vliv je u záměr blízko horizontu.

U přesných metod se osvědčila minimalizace vlivu refrakce měření hvězd ve vhodně sestavených párech (stejně zenitové úhly a azimuty záměr se liší o 180°). Tímto způsobem se vyloučí systematické chyby, které mají u obou hvězd páru stejnou hodnotu a znaménko. To znamená, že se vyloučí z měření jednoho páru vliv refrakce, indexová chyba, chyba ze sklonu klopné osy a kolimační chyba, pokud se nemění. Tudíž není nutné měřit ve dvou polohách dalekohledu.

Neměnnost přístrojových chyb během měření je důležitá. Chyby způsobené tímto vlivem jsou obecně závislé na teplotě. Ovlivněna je především indexová chyba. Korigovat výsledky je možno početně na základě matematického modelu chyby nebo upravením postupu měření tak, aby se chyba vyloučila v měřeném páru. Důležité je aby měření v páru následovala po sobě v co nejkratším časovém intervalu.

Vliv přístrojových chyb jako je nepravidelné dělení kruhu, excentricita kruhu nebo nepravidelnost čepů je u moderních přístrojů zanedbatelná.

2.3. *Současné aplikace geodetické astronomie*

V této kapitole jsou popsány úlohy geodetické astronomie v současnosti a praktické příklady použití těchto metod měření v posledních letech podle [1]. Astronomická geodézie má dnes využití v mnoha výzkumných oborech, kde je zapotřebí znát přesné horizontální a zejména výškové souřadnice (přesnou polohu a výšku). Mezi takové obory patří například geodézie, geofyzika, hydrologie a další. Uplatnění geodetické astronomie bychom dále našli tam, kde je zapotřebí znát přesné gravitační pole Země (popř. tížnicové odchylky). Jde například o modely geoidů. Pro výpočet geoidu jsou obvykle využívána gravimetrická data, ale astronomická pozorování tvoří samostatné sady dat, které slouží například pro ověřování nebo kombinované výpočty. Tížnicové odchylky získané metodami geodetické astronomie přispějí ke zpřesnění geoidu a jeho jemné struktury zejména v horských oblastech. Oblasti, kde je zapotřebí mít informace o lokálním gravitačním poli podél profilů nebo mezi jednotlivými body, jsou například strojírnoství, geofyzikální průzkumy, ověřování dalších pozorování gravitačního pole (gravimetrie,

satelitní data, GPS) nebo projekty vodohospodářských děl v geodeticky méně rozvinutých oblastech. Následují příklady aplikací geodetické astronomie v posledních letech.

Lokální geodetické sítě – například AlpTransit

Jde o evropský projekt, přesněji švýcarskou stavbu vysokorychlostního vlaku spojující hlavní evropská města. Nejnáročnější část trasy je tunel ve švýcarských Alpách o délce 57km napříč pohořím St. Gotthard. Požadovaná přesnost o podzemní ose tunelu z hlediska spolehlivosti a bezpečnosti vyžaduje vynikající znalost geoidu a tížnicových odchylek. Měření v blízkosti pěti důležitých portálů tunelu byla provedena pomocí systémů TZK2-D a DIADEM (Obr.č.6). Porovnáním výsledů obou zařízení byla zjištěna přesnost měření asi 0,1". Naměřené hodnoty sloužili ke zpřesnění geoidu. Systémem ICARUS byl měřen směr referenčního azimutu kvůli kalibraci přístrojů měřících v tunelu, jako jsou vysoce přesné geodetické gyroskopy. Přesnost opakovaně měřeného azimutu byla zjištěna 0,5". Popis těchto systémů je v kapitole č.3.

Kombinované určení gravitačního pole

Určení geoidu s přesností na několik centimetrů v zemích s normálním rovinným (hladkým) povrchem je poměrně snadné za předpokladu, že existují dostatečné gravimetrické údaje. V horských oblastech je bohužel určení geoidu gravimetrickým měřením obtížnější a bez informací o tížnicových odchylkách zde není možné dosáhnout centimetrové přesnosti. V takových případech měření tížnicových odchylek metodou geodetické astronomie podstatně zlepšuje řešení geoidu.

Geofyzika a určení jemné struktury gravitačního pole Země

V průzkumech jsou obvykle využívány gravimetrické, magnetické a seismické metody vzhledem k jejich citlivosti na změny hmotností a hustot. Místní rozložení hmot má vliv na směr tíže. Tudíž tyto anomálie mohou být lokalizovány pomocí metod geodetické astronomie.

Ověřování modelů gravitačního pole

Měření geodetické astronomie mohou poskytnout nezávislou kontrolu pro modely gravitačního pole určené gravimetrickými metodami.

Příklad takového měření byla kampaň v roce 2005 v severním Egejském moři ve spolupráci Aristotle University of Thessaloniki a GGL, ETH v Curychu. Úkol spočíval v ověření řešení gravimetrického geoidu. Údaje byly získány ze systému DIADEM (pro měření údajů na pevnině) a GPS, kterým byly vybaveny bóje a lodě na moři. Nebo další příklad je ověření modelu gravitačního pole NLGeo2004 EGG97 pomocí TZK2-D na řadě stanic v Nizozemsku na podzim roku 2005.

Monitorování refrakce

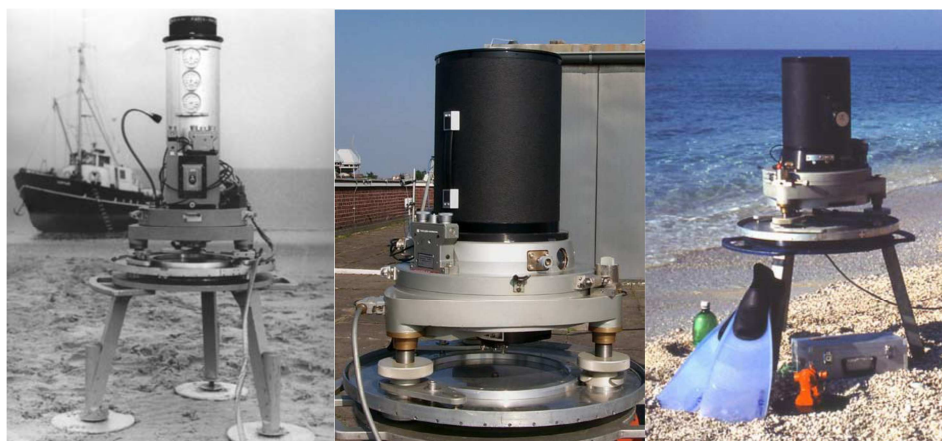
Refrakce je významným zdrojem chyb v astronomické geodezii. Charakteristiky refrakce zůstávají až do dnes méně známé. Nová generace přístrojů pro geodetickou astronomii jsou schopné sledovat výkyvy lomu ve směru zenitu. Poprvé byly provedeny dvě observace za minutu pomocí digitálních zenitových kamerových systémů. Časové řady v průběhu několika hodin v noci umožní zlepšit znalosti o chování refrakce (střední amplitudy, frekvence).

Geometricko-astronomická nivelace

V době satelitního určování polohy upadlo určování elipsoiditických výškových rozdílů metodou geometricko-astronomické nivelace do zapomnění. Hlavní myšlenkou této metody je spojit tradiční astronomickou nivelaci s geometrickou nivelací. Vzhledem k nedávným pokrokům v geodetické astronomii může být znovu geometricko-astronomická nivelace alternativní nebo doplňkovou metodou pro družicové určování výšky.

3. VÝVOJ PŘÍSTROJŮ PRO GEODETICKOU ASTRONOMII V POSLEDNÍCH LETECH

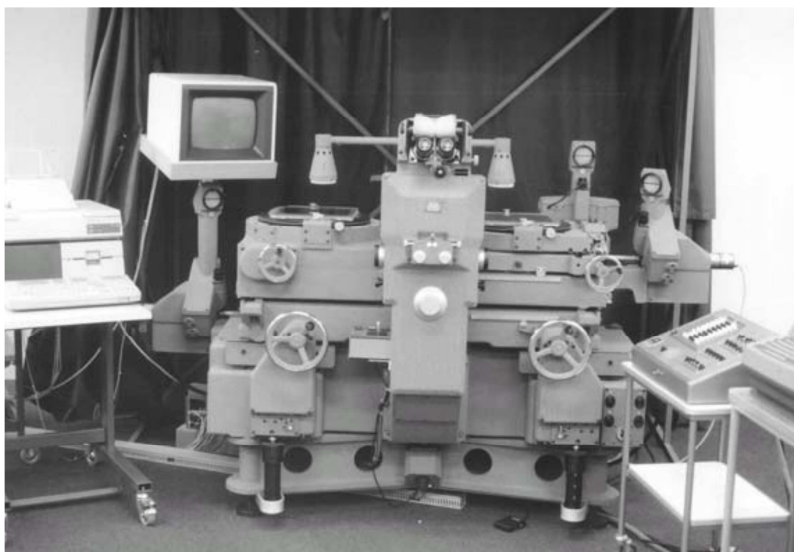
V posledních letech je snaha o automatizaci přístrojů pro astronomické měření z důvodů účinnosti a vyšší přesnosti měření. Optické přístroje byly nahrazeny přístroji s fotografickými (analogovými) kamerami. Mezi takové první přístroje patří například zenitové kamery pojmenované TZK1 ,2 a 3. Tyto kamery byly navrženy a vyrobeny na univerzitě v Hannoveru po roce 1970. Tyto kamery jsou na obrázku č.4.



Obr. č.4 Přepravní zenitové kamery TZK1, 2 a 3 [1]

Podobný vývoj probíhal v Itálii a Rakousku. Díky plně automatizované evidenci expozic jednotlivých epoch byl do značné míry odstraněn problém osobního ovlivnění výsledků. Ve srovnání s klasickými přístroji zenitové kamery zjednodušily a urychlily proces pozorování. Takovéto automatizované přístroje byly následně nasazeny v evropských a amerických zemích pro určování lokálních a regionálních geoidů a pro geofyzikální aplikace až do 90. let dvacátého století.

Hlavní nevýhodou fotografické techniky je získávání hvězdných souřadnic, prováděných ručně nebo poloautomaticky pomocí komparátoru. Takový komparátor je například od firmy Wild STK1 na obr. č.5. Zpracování jedné takové stanice trvá přibližně 3 až 5 hodin, vyžaduje obsluhu člověka a udržuje náklady na relativně vysoké úrovni.



Obr. č.5 Komparátor Wild STK1 [1]

Významná technologická změna nastala na počátku 21. století s použitím digitálních zobrazovacích snímačů CCD, které jsou schopné nahradit fotografické analogové přístroje. Digitální záznam obrazu urychluje, zjednodušuje a automatizuje měření a zpracování. CCD senzory, používané pro digitální zpracování obrazu hvězd, poskytují obrazová data přímo po pozorování. Tím jsou nevýhody fotografických metod (chemické vyvolávání fotografií, poloautomatické zpracování pomocí komparátoru) odstraněny.

3.1. Moderní digitální přístroje se CCD senzory

V geodetické astronomii je jedním z nejdůležitějších úkolů měření přesných astronomických souřadnic na bodech v terénu, např. pro určování tížnicových odchylek apod. V této kapitole jsou popsány některé přístroje, které byly pro tyto účely vyvinuty.

Prvním příkladem jsou digitální zenitové kamerové systémy. Na University of Hannover byl vyvinut systém TZK2-D. V principu jde o fotografické kamery TZK2 a TZK3, které byly přestavěny a vybaveny CCD senzorem. Jedna v Hannoveru a druhá v Curychu. Dále na ETH v Curychu byl vyvinut systém DIADEM. Tyto systémy jsou znázorněny na obr. č.6. Jde o mobilní systémy. Jsou to zenitové kamery o velkém poloměru (až 20cm) vybaveny citlivými CCD senzory. Tyto senzory zachycují i slabé hvězdy (až 14mag), což je zapotřebí, neboť snímají malou část hvězdné oblohy. Přístroje

pracují ve dvou až čtyřech polohách přístroje kvůli snížení vlivu systematických chyb. Digitální zenitové kamery jsou někdy vybaveny motorickým pohonem, který zkracuje dobu otočení mezi jednotlivými polohami. Přesnost měření je udávána podle [1] 0,05-0,1".



Obr. č.6 Digitální zenitové kamerové systémy TZK2-D (vpravo) a DIADEM (vlevo) [1]

Jiné přístroje pro účely geodetické astronomie jsou systémy založené na elektronických teodolitech nebo totálních stanicích [2]. Postupně vznikaly systémy manuálně ovládané s vizuálním sledováním hvězd, později motorizované s vizuálním sledováním, až po motorizované stanice se CCD senzory. Výhoda těchto systémů oproti zenitovým kamerám spočívá v používání jasnějších hvězd pro měření (5-6 mag). Proto nejsou kladeny tak vysoké nároky na světelnost optické soustavy a mohou být použity objektivy menších průměrů (4-5 cm). Proto je také možné měřit při větším světelném znečištění. Tyto systémy jsou lehčí. Používání kratších expozičních časů umožňuje lepší přiřazení času snímku. Mezi nevýhody patří nutnost měřit zenitové úhly, což snižuje přesnost. Hvězdy je nutno měřit v párech kvůli snížení vlivu vertikální refrakce. V neposlední řadě je pro měření těmito systémy nutný větší volný obzor.

Příkladem takového měřicího systému kromě systému MAAS-1, který je popsán podrobně v následující kapitole č.4, je systém ICARUS (viz obr.č.7). Jde o systém motorizované stanice s vizuálním sledováním. ICARUS byl vyvinut na GGL, ETH v Curychu. Systém umožňuje téměř plně automatické určování astronomických azimutů, zeměpisných souřadnic a tudíž směru tížnice. Zařízení se skládá z motorizované totální

stanice TCA 1800 od Leica Geosystems, malého GPS přijímače pro záznam času a získání souřadnic polohy, přenosného počítače a softwaru pro online zpracování ICARUS/AZIMUTH. Jakmile je přístroj zorientován (ve většině případů na Polárku/ α Ursae Minoris) systém automaticky zacílí na pozemní cíle případně na zvolené hvězdy. Jediným úkolem měřiče je zacílit přesně na hvězdy a jednou zacílit na pozemní cíl. Přesnost měření azimutu systémem ICARUS a vertikální střední chyba měření je udávána podle [1] cca 0,5".



Obr.č.7 Měřící systém ICARUS

4. MOBILNÍ AUTOMATIZOVANÝ ASTRONOMICKÝ SYSTÉM (MAAS-1)

MAAS-1 je přenosný systém pro měření astronomických souřadnic v terénu. Tento měřicí systém byl vyvinut na VUT v Brně stavební fakultě (FAST) v letech 2007-2008 členy ústavu geodézie. Následující informace o MAAS-1 pro tuto kapitolu i následující podkapitoly jsou čerpány z [2].

Jedná se o systém založený na motorizované totální stanici, která byla doplněna o CCD senzor, časovou základnu a přenosný počítač (viz obr.č.8).



Obr.č.8 MAAS-1 při měření na terase FAST, VUT v Brně

Podle rozdělení z minulé kapitoly jde tedy o motorizovaný systém se CCD senzorem. Proces měření je plně automatizován. Jediný zásah obsluhy představuje příprava, spuštění a ukončení měření. Proces měření je optimalizován z hlediska potlačení vlivu systematických chyb, hlavně vlivu atmosféry a přístrojových chyb. Pro návrh měřicího systému bylo použito standardně vyráběného a prodávávaného vybavení. Výhodou této koncepce je minimalizace vývojových nákladů počátečních stejně jako nákladů na budoucí modernizace systému. Nejdražší část systému je motorizovaná totální stanice. Její využití není v tomto případě omezeno jen na daný astronomický měřicí systém a lze ji v mezidobí využívat i pro jiné účely.

4.1. Popis řešení systému

Základem jak již bylo zmíněno je motorizovaná totální stanice Topcon GPT 9001A. Časovou základnu pro měření poskytují křemenné hodiny průběžně řízené sekundovými impulsy z GPS přijímače s časovým výstupem. Problematika automatizace registrace časů byla vyřešena náhradou lidského oka CCD čipem. Místo okuláru byla nainstalována miniaturní videokamera, která snímá zorné pole dalekohledu. Do každého snímku výstupního videosignálu je speciálním zařízením KIWI-OSD vkládán údaj o přesném čase expozice, jak je to uvedeno na obr. č.9.

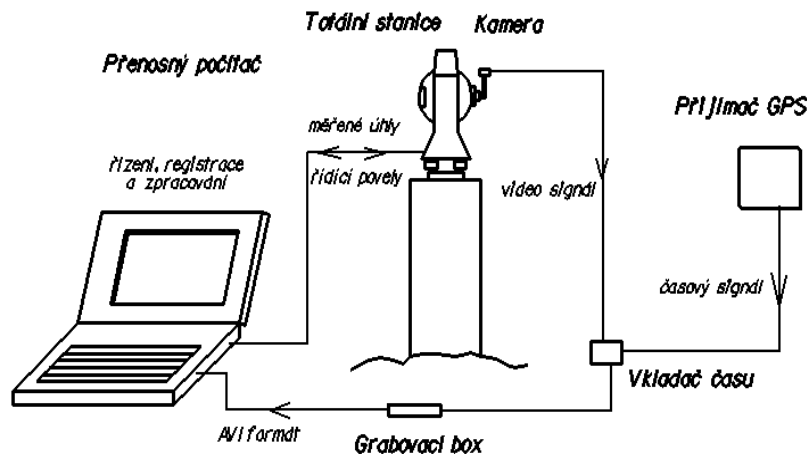


Obr. č.9 Snímek s vloženými údaji o čase

Totální stanice je ovládána dálkově z přenosného počítače. Ten slouží jak pro řízení měření, tak i pro ukládání dat a jejich zpracování. Snímky jsou pořizovány kamerou o rozlišení 720 x 576 pixelů s frekvencí 25 snímků za sekundu. V současnosti může popisovaný systém zaznamenávat měřické snímky s frekvencí 5 Hz. Jinými slovy je možné měřit úhlovou polohu cíle 5 krát za sekundu. Přesnost přiřazení času jednotlivým snímkům je 1/50 s. Úhlová velikost jednoho pixelu je přibližně 3". Na obrázku číslo 10 je schéma zapojení jednotlivých součástí MAAS-1.

Je využívána nová metoda měření hvězd, kterou vyvinul jeden z autorů speciálně pro totální stanice. Využívá jejich schopnosti přesného měření zenitových úhlů v libovolné výšce nad horizontem a azimutu. Totální stanice využívá vestavěné senzory náklonu, které automaticky opravují naměřené zenitové úhly o sklon přístroje. Pro snížení vlivu refrakce

jsou hvězdy měřeny v párech. Měří se šířkové i délkové páry, tudíž lze určit obě souřadnice bodu. Více o této metodě měření je popsáno v následující kapitole 4.2.



Obr. č.10 Schéma zapojení [2]

4.2. Metoda párů stejné výšky

Klasické metody geodetické astronomie pro určování polohy byly navrženy pro speciální přístroje. V posledních letech se ale vývoj těchto přístrojů zastavil. Určování polohy astronomickými metodami již není efektivní kvůli zastaralosti přístrojového vybavení. Moderní přístroje (elektronické teodolity, totální stanice) nelze pro tyto klasické metody využít. Přístroje nejsou vybaveny registračními mikrometry pro sledování zdánlivého pohybu hvězd, záměrnými obrazci s více rovnoběžnými vlákny ani měřickými libelami pro určování sklonu klopné osy nebo náklonu dalekohledu. Z těchto důvodů autor [3] Ing. Radovan Machotka Ph.D. vyvinul novou metodu astronomického určování polohy určenou pro elektronické teodolity.

Informace o této metodě pocházejí z jeho publikace pro časopis Geodetický a kartografický obzor [3]. Měření elektronickými teodolity má mnoho výhod. Jsou vybaveny elektronickým odečítáním kruhů a senzory náklonu. To urychluje měření a umožňuje získání větších souborů dat než u klasických přístrojů. Zvýšení počtu pointací lze dosáhnout pohybem celého dalekohledu tak, aby hvězda opakovaně procházela ryskou záměrného obrazce dalekohledu.

Hvězdy jsou měřeny v párech pro eliminaci proměnlivého vlivu refrakce a indexové chyby přístroje. Páry hvězd musí splňovat přesně dané geometrické a časové

podmínky. Metoda nevyžaduje měření meteorologických dat. Jde o metodu současného určení obou zeměpisných souřadnic. Metoda zahrnuje měření tzv. šířkových a délkových párů. Každý pár je složen ze dvou hvězd, které prochází krátce po sobě stejným almukantaratem a vertikální rovinou. Mají ale opačný azimut (dovolená odchylka je v řádu stupňů). Vertikální rovina šířkových párů je blízká místnímu poledníku. Vertikální rovina délkových párů je blízká prvnímu vertikálu. Odchylka těchto rovin může dosahovat až 10° . Měřené prvky jsou zenitový úhel a čas. Každá hvězda je měřena opakovaně. Časový interval je souměrný kolem okamžiku průchodu hvězdy daným almukantaratem. Sklon dalekohledu se mezi jednotlivými měřeními mění. Nejmenší (nutný) objem dat je jeden šířkový a jeden délkový pár.

Výsledné souřadnice jsou získány vyrovnáním. Každá záměra na hvězdu (zenitový úhel, čas) vstupuje do vyrovnání samostatně. Vliv refrakce je vypočítán porovnáním naměřených a teoretických zenitových úhlů. Pro každý pár jsou opravy z refrakce zaváděny samostatně.

Podrobně uvedená teorie zpracování měření je v [3].

4.2.1. Podmínky pro výběr hvězdných párů

Pro vysokou operativnost měření je nutná existence velkého množství hvězdných párů vyhovující podmínkám zvolené metody. Proto jsou na hvězdné páry kladeny jen nutné podmínky.

- Obě hvězdy páru by měly být měřeny bezprostředně po sobě z důvodu neměnnosti podmínek měření (stav přístroje, atmosféra). Časová prodleva mezi měřeními hvězdami v páru i mezi páry by měla být minimální, co nejbližší času nezbytnému pro přestavení přístroje a měření další hvězdy.
- Snížení vlivu proměnlivosti podmínek během měření lze dosáhnout měření více párů v téže vertikální rovině se střídáním počátečního směru (např. jeden pár začíná východní a druhý západní hvězdou).
- Rozmezí zenitových úhlů hvězd pro měření bylo zvoleno $20\text{--}35^\circ$. Hvězdy v menším zenitovém úhlu než 20° výrazně mění jejich azimut a rychlost pohybu v zenitovém úhlu. Projevují se zde přístrojové chyby a chyby v horizontaci přístroje. Větší zenitové úhly už jsou nepraktické kvůli překážkám v terénu.

- Výpočet polohy vyžaduje alespoň dva hvězdné páry, jejichž vertikální roviny se protínají pod úhlem blízcím se pravému. Při nadbytečném počtu párů lze jejich azimuty volit tak, aby rovnoměrně pokrývaly obzor. Tato podmínka je obtížně splnitelná, proto je výhodnější zvolit dvě na sebe kolmé vertikální roviny a vybírat pouze hvězdné páry v jejich blízkosti. Takovými přirozenými rovinami jsou místní poledník a první vertikál. Takové uspořádání měření je méně náchylné na výpadek některého páru a umožňuje opakování měření v dané vertikální rovině. Další výhodou je jednodušší modelace zpoždění při registraci času.
- Odchylka vertikální roviny páru od příslušné základní roviny není na závadu, pokud nenarušuje celkovou konfiguraci měřených párů. Vyhovující odchylka je do 10°
- V rámci každého páru by měly být splněny podmínky rovnosti zenitových úhlů a opačnosti azimutů. Podmínka rovnosti zenitových úhlů je důležitější z hlediska eliminace nepříznivého vlivu refrakce. Pár ji musí splňovat přesně. Pro azimut lze připustit odchylku v řádu stupňů.

4.3. Automatizované zpracování snímků

V první fázi vyhodnocování snímků se vyhledá obraz hvězdy, ve druhé fázi se určí střed obrazu hvězdy tzv. subpixelovou metodou. Přesnost určení středu je vyšší než 1 pixel. Dle [2] je střední chyba vyhodnocení hvězdy $1/3$ až $1/4$ pixelu. Čím je větší hvězda, tím přesnější je výsledek. Výsledkem tohoto zpracování jsou snímkové souřadnice obrazu hvězdy v pixelech. Pro výpočet zenitového úhlu hvězdy musíme znát přesně úhlovou velikost jednoho pixelu. Musíme samozřejmě ještě přičíst naměřený zenitový úhel totální stanicí. Pro čtení časů se využívá korelační techniky. Porovnávají se jednotlivé číslice zaznamenané na snímku se vzory číslic.

Důležitým aspektem automatizovaného zpracování snímků je průběžná kontrola výsledků jak vyhodnocení obrazu hvězdy, tak vyhodnocení času. Mezi nepříznivé vlivy ovlivňující vyhodnocení patří šum, vliv elektromagnetického rušení, či chvění obrazu hvězdy vlivem atmosféry. Tyto vlivy způsobují, že číslice jsou například málo kontrastní vůči pozadí nebo obraz hvězdy je protáhlý. Zpracování snímku musí obsahovat kontroly, které vyloučí případné nesprávné výsledky. Podle [2] se osvědčila kontrola založená na dvou nezávislých vyhodnoceních dané veličiny. Výsledek je správný pouze tehdy, pokud



se oba výsledky shodují. Vyhodnocení snímků probíhá během měření. Snímky tedy nemusí být vůbec ukládány a výstupem měření je pouze zápisník v podobě textového souboru.

5. POSTUP MĚŘENÍ S MAAS-1

Tato kapitola popisuje měření v terénu s mobilním automatizovaným astronomickým systémem MAAS-1. Konfigurace a popis tohoto systému je v kapitole č.4. V následujících částech této kapitoly je popsána příprava systému MAAS-1 k měření. Jedna z důležitých částí přípravy na měření je vytvoření pozorovacího programu. Následně je popsána příprava a postup měření v terénu. Zvláštní pozornost je zde věnována kalibraci digitální kamery. V mém testování tohoto systému se totiž zaměřuji na testování této kamery. V poslední části této kapitoly je popsáno zpracování naměřených dat.

5.1. Pozorovací program

Příprava pozorovacího programu patří k důležitým částem každého astronomického měření. Systém MAAS-1 využívá metodu měření párů stejné výšky. Autor této metody Ing. Radovan Machotka Ph.D. vytvořil také software pro vytvoření pozorovacího programu PRIPR34. Jak napovídá název, jde již o verzi 3.4 tohoto softwaru. Cílem je vytvořit textový dokument (PPROGRAM.TXT), ve kterém jsou uvedeny klíčové informace měřených párů hvězd pro zvolené datum a čas.

Po spuštění tohoto softwaru musíme nejprve vyplnit vstupní údaje, jak jsou například uvedeny na obr. č.11.

```

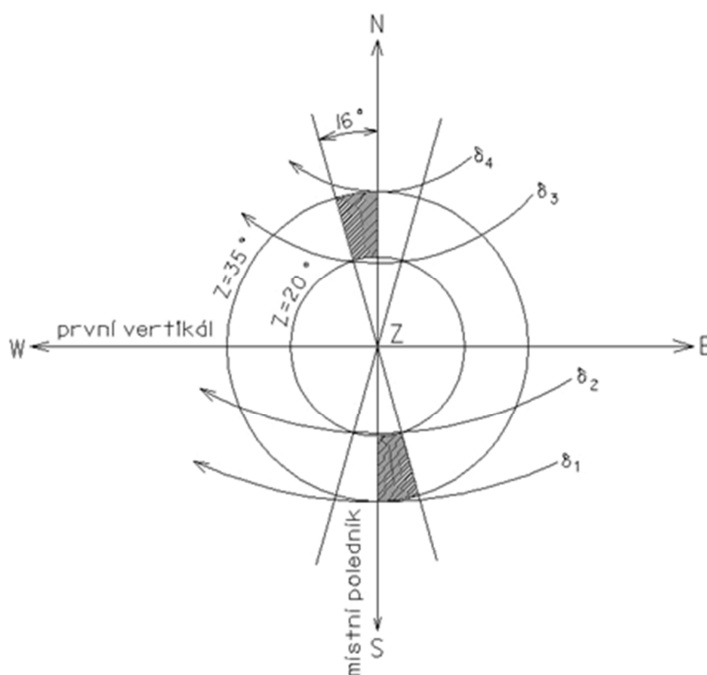
F:\DIPLOM~2\PROZOR~1\PRIPR34.EXE
PRIPRAVA
Software pro pripravu pozorovaciho programu
- mereni ve dvou kolmych rovinach -
(c)Radovan Machotka 2002-2008 verze 3.4

- Pro zemepisne souradnice fi <-55,55> a lambda <0,360> -
Greenwichske datum zacatku mereni - den mes rok
23 1 2012
Zacatek mereni - hod min (UTC)
19 00
Konec mereni - hod min (UTC)
21 00
Zemepisna sirka stanoviste - stupne minuty vteriny
49 12 20
Zemepisna delka stanoviste - stupne minuty vteriny
16 35 49
Minimalni doba mezi hvездami ve dvojici, max. prodleva sec a min. magnituda
90 210 6.1
Oddelene zobrazovat sirkove a delkove pary? a/n
    
```

Obr.č.11 Vyplněné vstupní údaje

Jde především o Greenwichské datum a čas (UTC) začátku a konce měření. Na tento údaj si musíme dát pozor, neboť čas UTC je proti našemu času posunut o -1 nebo -2 hodiny, podle toho zda je zimní nebo letní čas. Podle zkušeností z měření v terénu je vhodné pro spolehlivé a správné zpracování mít zaměřeny alespoň 4 délkové a 4 šířkové páry. Pro zaměření tohoto počtu hvězdných párů s přehledem postačuje vytvoření dvouhodinového observačního plánu. Dále vyplníme přibližné souřadnice stanoviště. Následující parametry jako je min. doba mezi hvězdami ve dvojici, max. prodleva v sekundách a min. magnituda jsou vyplněny podle praktických zkušeností z měření tímto systémem a důvodů uvedených v kapitole č. 4.2. a 4.2.1.

Po vyplnění všech vstupních údajů následuje automatická separace hvězdných párů z katalogu hvězd. Katalog hvězd tvoří textový soubor se základními informacemi o hvězdách. Software nejprve vypočte mezní hodnoty deklinací a rektascenzí pro severní a jižní hvězdy. Meze jsou počítány na základě zadané přibližné polohy a z předdefinovaných hodnot zenitových úhlů (maximální 35° , minimální 20°) a tolerance v azimutu (8°). Tyto údaje jsou čerpány z [6] a jsou uvedeny pro verzi programu 2.0. Mezní hodnoty rektascenze jsou počítány pro zadaný počátek a konec měření. Znázornění výběru šířkových párů je na obrázku č.12.



Obr.č.12 Výběr šířkových párů – Priprava 2.0 [6]

Po výpočtu mezí jsou vyhledány hvězdy do severní a jižní skupiny. Dále jsou ze severní skupiny načítány hvězdy a jsou k nim hledány protějšky z jižní skupiny. Pokud je nalezen nadějný kandidát, spočítají se okamžiky, kdy budou obě hvězdy procházet stejným almukantaratem. Po splnění dalších mezí, podrobněji v [6], je dvojice zařazena do výběru. Obdobně se provede i výběr východo-západních dvojic.

Výsledky jsou graficky znázorněny na časové ose. Nyní se provede ruční selekce párů. Pokud byla zvolena možnost *Odděleně zobrazovat šířkové a délkové páry*, bude následovat ruční výběr nejprve z délkových párů a potom z šířkových. Při měření, když se doba měření šířkových a délkových párů překrývá, si potom můžeme vybrat, kterému z nich dáme přednost. Obecně platí, že šířkových párů je méně a dáváme jim tedy při měření přednost. V opačném případě lze šířkové a délkové páry zpracovat najednou a nemusíme potom při měření pozorovací program upřesňovat.

Po skončení manuálního výběru párů se automaticky vytvoří dokument PPROGRAM.txt, který je nutno zkopírovat do složky se softwarem pro MAAS-1. Tím je vytvoření pozorovacího programu kompletní a systém je připraven k měření.

5.2. Postup měření v terénu

Při měření v terénu se přístroj staví na stativ. K přípravě a ovládní přístroje stačí jedna osoba. Nejprve je nutné postavit přístroj, zapojit všechny části tohoto systému a zapnout totální stanici a notebook. Přenos dat z měřicího přístroje do počítače je zajištěn přes port RS 232 (sériový port). Velice důležitá je dobrá horizontace přístroje. Příprava pozorovacího programu je v předchozí kapitole. Pro komunikaci mezi počítačem a přístrojem vytvořil autor Ing. R. Machotka proceduru, která pomocí soustavy textových příkazů dálkově ovládá přístroj.

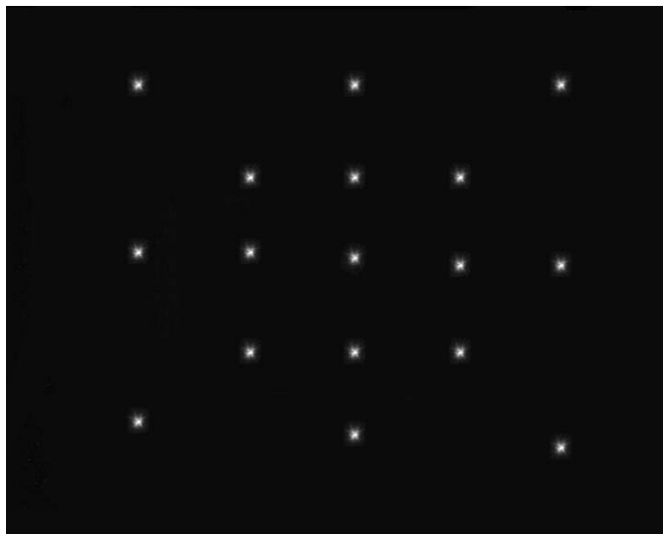
Dále je tedy nutné spustit ovládací program (MSV3 – program pro registraci astronomických měření). Po spuštění ovládacího programu se zvolí název výstupních souborů. Jsou to dva textové soubory do nichž se registrují mimo jiné měřené hodnoty a úspěšnost vyhodnocení. V prvním souboru (protokolu o měření) (*.PRT) se zaznamenávají následující informace: pořadový kód měřené hvězdy přiřazený programem, číslo hvězdy dle katalogu FK5, magnituda, orientace azimutu hvězdy (severní, jižní, východní, západní), úspěšnost vyhodnocení snímků. Tento soubor slouží měřiči k přehledu o počtu a úspěšnosti změřených párů hvězd. Druhý soubor (*.TXT) je v zásadě jakýsi

zápisník měření. V hlavičce jsou uvedeny informace o datu a čase měření a přibližné souřadnice stanoviska. Dále jsou uvedeny rektascenze a deklinace Polárky. Pod těmito úvodními daty následují jednotlivá měření. Každá hvězda je vyhodnocena z 21 měření (snímků). U každého měření je zaznamenáno: pořadový kód měřené hvězdy přiřazený programem, číslo hvězdy dle katalogu FK5, čas (GPS) přečtený ze snímku, zenitový a horizontální úhel, náklon ve směru záměry, snímkové souřadnice hvězdy a název snímku. Také se do tohoto souboru zaznamenávají kalibrace kamery. Příklady těchto souborů (*.PRT, *.TXT) jsou uvedeny v příloze č.1 a 2.

Po vyplnění názvu výstupního souboru se měřič dostane do hlavního ovládacího menu. Před započítím vlastního měření je nutné provést vždy několik kroků. Především je nutné připojit digitální kameru k programu. Po tomto kroku se na notebooku zobrazí okno s obrazem snímaným kamerou. V tomto okně lze ovládat pohyb přístroje z notebooku a pořizovat ručně snímky. V dalším kroku je nutno srovnat náš čas s přijímaným časem UTC.

Následně je nutné přístroj zorientovat. Pro orientaci přístroje do roviny místního poledníku, tak aby nulové čtení na horizontálním kruhu přístroje odpovídalo poloze dalekohledu k jihu, je využívána Polárka. Program počítá její azimut a příslušný úhel posunutí nuly horizontálního kruhu. V praxi to znamená, že v tomto kroku se přístroj nastaví na příslušný zenitový úhel Polárky a úkolem obsluhy je přístroj otáčením kolem vertikální osy nasměrovat tak, aby se Polárka objevila na snímku. Zbytek procesu obstará přístroj.

Dalším krokem je kalibrace digitální kamery. Není nutné provádět kalibraci kamery před každým měřením. To by značně prodloužilo dobu měření a nebylo by to vůbec účelné. Minimálně je nutné provést alespoň jednu kalibraci během noci, raději ale víckrát v průběhu noci. Kalibrací kamery se rozumí určení úhlové velikosti jednoho pixelu snímku ve svislém a horizontálním směru a stočení snímku vůči horizontu. Při kalibraci je Polárka postupně snímána celkem na 17 místech snímku (viz obr.č.13). Z těchto naměřených údajů se následně vyhodnotí tři výše zmíněné parametry.



Obr.č.13 Snímané body pro kalibraci kamery

Po provedení těchto kroků je přístroj připraven pro samotné měření hvězdných párů. Následující měření probíhá automaticky. Pro informace o měřených datech slouží právě výše zmíněné textové soubory. Výstupem z měření jsou tedy dva textové soubory a snímky jednotlivých hvězd (*.bmp). Zabezpečení před ztrátou naměřených dat je vyřešeno jejich uložením na pevný disk ihned po ukončení měření dané hvězdy. Informace pro tuto kapitolu jsou čerpány z [6], kde je také podrobnější popis tohoto softwaru.

5.3. Zpracování měřených dat

Zpracování naměřených dat probíhá postupně ve 4 programech.

1. Program HRUBE slouží k prvotnímu zpracování zápisníku. Vytvoří se nový soubor s časovými údaji ve světovém čase. Tento nový soubor má přibližně desetinovou délku (počet řádků) oproti původnímu.
2. Program EXPORT vytváří soubor obsahující seznam měřených hvězd a jejich časů měření – vstup pro program P_ZDP5.
3. Program P_ZDP5 počítá podle souboru vytvořeného předchozím programem zdánlivé souřadnice hvězd.
4. Program VYROV_34 umožňuje editaci měření a počítá výsledné astronomické souřadnice. Je jádrem softwaru pro zpracování měření.

V prvním kroku proběhne předzpracování naměřených dat získaných v souboru *.TXT pomocí programu HRUBE. Tento program vyhodnotí všechny přijaté časové značky signálu a zavede korekci pracovních hodin k_M . Ke zpracování dat je nutné, aby ve vstupním souboru *.TXT byla zaznamenána alespoň jedna kalibrace kamery. Pokud je v celém zápisníku zaznamenáno více kalibrací kamery program pro zpracování použije automaticky tu, která byla zaznamenána jako poslední. V případě, že v souboru žádná kalibrace kamery zaznamenána není, je potřeba zadat parametry (velikost pixelu ve vertikálním směru, stočení snímku vůči horizontu) ručně. Program umožňuje dále manuální doplnění časů ke snímkům, které se nepovedlo při měření automaticky vyhodnotit.

Výstupem z tohoto programu je soubor *.TX1. Tento soubor má asi desetinovou délku (počet řádků) oproti původnímu souboru. V hlavičce souboru jsou uvedeny informace: datum měření, parametry kalibrace kamery. Dále následují data: pořadový kód měřené hvězdy přiřazený programem, číslo hvězdy dle katalogu FK5, čas (GPS) přečtený ze snímku, zenitový úhel a horizontální úhel (vztažený ke hvězdě na snímku), korekce z náklonu. Příklad tohoto souboru je v příloze č.3.

Další zpracování se provede postupně v programech EXPORT, P_ZDP5 a VYROV_34. Dávkový soubor VYROVNAN.BAT spustí tyto tři programy pro zpracování postupně. Pro výpočet výsledných zeměpisných souřadnic stanoviště je zapotřebí mít k dispozici následující data ze dne měření: střední souřadnice pólu, DUT 1. Tyto data lze získat v publikaci Bulletin A. Tuto publikaci vydává IERS (Mezinárodní organizace pro rotaci Země). Je poskytnuta zdarma na webových stránkách IERS: <http://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/EarthOrientationData/eop.html>.

Vstupní soubor do tohoto zpracování je *.TX1. První program provede separaci dat a přípravu ke spočítání zdánlivých souřadnic hvězd. Výstup z prvního programu EXPORT jsou dva textové soubory HVEZDY.HVE a ZAPISNIK.HVE. Další program P_ZDP5 vytvoří textový soubor ZDPOLOHY.HVE. Tento soubor obsahuje vypočítané zdánlivé polohy hvězd.

Jako poslední se spustí program VYROV_34.EXE. Výsledkem zpracování jsou astronomické zeměpisné souřadnice. Souřadnice jsou získány vyrovnáním pomocí metody nejmenších čtverců.

Z měřených dat je nutno vyloučit nevhodné páry hvězd (malý počet použitelných záměr, osamocené hvězdy). Po separaci hvězdných párů lze takto upravený zápisník uložit.

K dispozici jsou tři možnosti zpracování. Typická je zpracování šířkových a délkových párů dohromady. Dále lze vyloučit ze zpracování všechny šířkové páry a počítat jen zeměpisnou délku nebo naopak vynechat všechny délkové páry a počítat pouze šířku. To znamená, že souřadnice zeměpisné šířky (přibližná) bude zafixována jako přesná a vyrovnávat se budou pouze délkové páry. Obdobně to platí i naopak kdy se zafixuje souřadnice zeměpisné délky. Třetí možnost je zpracování šířkových a délkových párů dohromady.

Výpočet vyrovnání proběhne automaticky. Vyrovnání probíhá iterativně. Velká pozornost je věnována vylučování odlehlých měření. První část výpočtu je počítána při mezním kritériu $v_{\max} = 5''$. Takto velká hodnota je použita pro zajištění stability výpočtu i při nepřesných výchozích souřadnicích bodu. V dalších iteracích, po zpřesnění výchozích souřadnic bodu se již používá přísnější kritérium pro vylučování odlehlých hodnot, v mém případě to bylo $v_{\max} = 2''$. Všechny výsledky jsou uloženy do textového dokumentu VYSLEDKY.TXT. Tento soubor obsahuje informace: Datum, střední souřadnice pólu, DUT 1, rozdíly posledních iterací $d\varphi$ a $d\lambda$, počet hvězd a záměr vstupujících do výpočtu, opravu, střední jednotkovou chybu m_0 , hladinu významnosti t , zeměpisné souřadnice φ a λ .

Při vyrovnání pouze délkových nebo šířkových párů je na konci výpočtu možnost spočítat výsledky jednotlivých párů zvlášť. Zjednodušeně jsou tyto výsledky uloženy v souboru PARY.TXT.

Podrobně rozepsaný způsob výpočtu a popis těchto čtyř zpracovatelských programů je v [6].

6. TESTOVACÍ MĚŘENÍ SYSTÉMEM MAAS-1

V této části jsou popsány vykonané měřické práce pro následující analýzy jejich výsledků. Testován je měřický automatický astronomický systém (MAAS-1). Cílem je určit možný systematický vliv na výsledné hodnoty způsobený kalibrací kamery a nesprávnými vstupními přibližnými souřadnicemi stanoviště v přípravě pozorovacího programu. Při kalibraci kamery jde o zjištění úhlové velikosti jednoho pixelu, především jeho velikosti ve vertikálním směru a stočení snímku vůči horizontu.

Testovací astronomická měření proběhla v měsících září a říjen v roce 2011. Tato měření byla provedena na terase budovy stavební fakulty VUT v Brně (viz obr.č.14). Dodatečná testovací měření laboratorního charakteru byla provedena v prostorách učeben téhož ústavu.



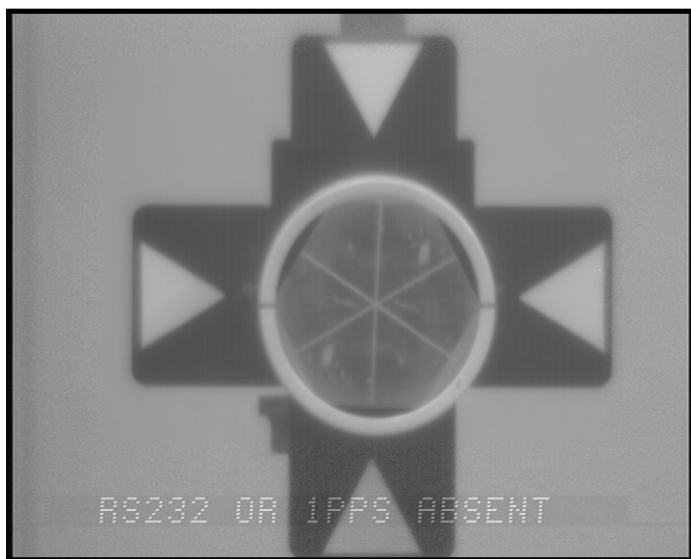
Obr.č. 14 Lokality testovacích měření terasa FCE VUT v Brně

Astronomická měření proběhla během tří nocí. V noci 15.9 2011 byla provedena dlouhá observace, kdy bylo zaměřeno přes 50 hvězdných párů. Během této noci byly provedeny 4 kalibrace kamery průběžně během celého večera.

V dalších nocích (tj. 26.9.2011 a 3.10.2011) byly provedeny testovací měření na vliv kalibrace kamery a vliv nesprávných vstupních souřadnic při přípravě pozorovacího programu. Pro každou noc bylo vytvořeno celkem 5 pozorovacích programů. Při přípravě jednotlivých pozorovacích programů byly pokaždé brány jiné vstupní souřadnice. Jedno měření bylo provedeno se správnými přibližnými souřadnicemi stanoviště. V dalších dvou měřeních zůstala zeměpisná délka správná a zeměpisná šířka se změnila o +10" a v druhém případě se změnila o -10". Pro poslední dvě měření zůstala nezměněna šířka a zeměpisná délka se změnila o +15" a v druhém případě o -15". Pro každé z těchto pěti měření byla provedena kalibrace kamery. Jako správné přibližné souřadnice byly použity souřadnice $\varphi=49^{\circ}12'20''$ $\lambda=16^{\circ}35'49''$.

6.1. Testovací měření – střed snímku, úhlová velikost pixelu

V této kapitole jsou nejprve popsány testovací měření provedená v učebnách školy a jejich zpracování. První testovací měření bylo zaměřeno na určení středu snímku z digitální kamery. Toto měření bylo provedeno dvakrát (3.10.2011 a 18.10.2011) v prostorách laboratorních učeben. Přístroj byl stabilizován na pilíři. Na protější straně byl na pilíři umístěn odrazný hranol. Po automatickém zacílení na hranol byl pořízen snímek (viz obr.č.15) a tento postup byl několikrát zopakován.



Obr.č.15 Snímek odrazného hranolu

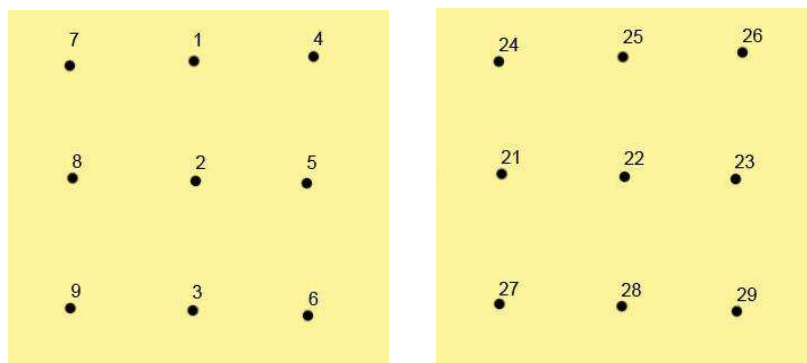
Vyhodnocení těchto snímků probíhá v jakémkoliv programu, který umožňuje určení středu hranolu na obrázku v pixelech. Vyhodnocené hodnoty z celkem 16 snímků jsou uvedeny v tabulce č.1.

Tab.č.1 Naměřené hodnoty středu snímku v pixelech

3.10.2011			18.10.2011		
Obrázek č.	Souřadnice (pix.)		Obrázek č.	Souřadnice (pix.)	
	X	Y		X	Y
1	383	312	1	385	308
2	383	312	2	384	308
3	386	310	3	382	307
4	386	309	4	384	309
5	385	310	5	384	308
6	385	308	6	385	309
7	386	309	7	384	308
8	386	309	8	385	309
Průměr	385	310	Průměr	384	308

Střed snímku bude mít tedy souřadnice $X=385$ a $Y=309$ pixelů. Tato zkouška je důležitá, protože jak je vidět, i když má snímek velikost 720×576 pixelů, neleží zjištěný střed uprostřed snímku. Tato odchylka je především způsobena nepřesnou montáží digitální kamery v totální stanici. Tudíž je třeba znát excentricitu středu snímku.

Další test přístroje byl zaměřen na zjištění úhlové velikosti jednoho pixelu snímku. Jde především o určení velikosti pixelu ve směru svislém neboli ve vertikálním směru, který je pro správné vyhodnocování souřadnic snímku nezbytný. Tato hodnota pixelu je v dalších kapitolách testována v analýzách, která navazují na tato měření. Tato zkouška proběhla na témže místě jako předchozí dne 18.10.2011. Totální stanice byla opět umístěna na pilíř a odrazný hranol na pilíř na protější straně učebny. Tentokrát bylo cíleno s přístrojem takovým způsobem, aby na pořizovaném snímku byl hranol v polohách podle obr.č.16.



Obr.č.16 Umístění hranolu na snímcích

U každého zacílení byly zapsány vertikální a horizontální směr. Nejprve byla provedena měření po svislicích, kdy pro každý sloupec zůstala horizontální poloha fixovaná (viz obr.č.16 vlevo). Tato měření sloužila pro určení velikosti pixelu ve vertikálním směru. Obdobně pro určení velikosti pixelu ve směru horizontu zůstal zafixovaný pro každou řadu zenitový úhel (viz obr.č.16 vpravo). Vyhodnocení souřadnic středů odrazných hranolů v pixelech na snímcích proběhlo jako v předchozím testu. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách č. 2 a 3.

Tab.č.2 Naměřené hodnoty středů hranolů při fixaci horizontálního pohybu

Obrázek č.	Úhly, přístroj (gon)		Souřadnice (pix.)		Obrázek č.	Úhly, přístroj (gon)		Souřadnice (pix.)	
	V	H	X	Y		V	H	X	Y
1	102,5880	328,5736	370	101	11	102,5929	362,5894	377	94
2	102,4506	328,5736	368	284	12	102,4490	362,5894	377	287
3	102,3205	328,5736	368	459	13	102,3093	362,5895	376	473
4	102,5797	328,3687	621	113	14	102,5889	362,3980	613	100
5	102,4443	328,3687	620	295	15	102,4449	362,3980	613	294
6	102,2957	328,3687	620	494	16	102,3077	362,3980	611	478
7	102,5880	328,7965	97	100	17	102,5903	362,8271	87	96
8	102,4436	328,7965	96	293	18	102,4431	362,8271	87	293
9	102,3036	328,7965	96	480	19	102,2911	362,8271	85	497

Tab.č.3 Naměřené hodnoty středů hranolů při fixaci svislého pohybu

Obrázek č.	Úhly, přístroj (gon)		Souřadnice (pix.)		Obrázek č.	Úhly, přístroj (gon)		Souřadnice (pix.)	
	V	H	X	Y		V	H	X	Y
21	102,4390	97,5212	86	298	31	102,4330	149,0106	114	307
22	102,4390	97,2936	365	299	32	102,4330	148,7962	377	308
23	102,4390	97,0854	621	301	33	102,4330	148,5946	625	309
24	102,5892	97,5093	103	98	34	102,5822	149,0202	104	106
25	102,5892	97,2835	379	99	35	102,5822	148,8127	359	108
26	102,5892	97,0904	616	100	36	102,5822	148,5991	621	109
27	102,3091	97,5106	98	474	37	102,3047	149,0291	92	479
28	102,3091	97,2821	379	475	38	102,3047	148,8000	373	480
29	102,3091	97,0781	630	476	39	102,3047	148,5887	632	481

Nyní je třeba vyhodnotit úhlovou velikost jednoho pixelu. Tu je možno získat z rozdílů hodnot směrů mezi jednotlivými měřenými body. Z každého snímku bylo provedeno šest rozdílů (dva v každém sloupci popř. řádku). Z těchto rozdílů mezi body se získá velikost úhlu a z rozdílů příslušných souřadnic těchto bodů se získá počet pixelů mezi nimi. Vydělením úhlu počtem pixelů se získá úhlová velikost jednoho pixelu. Rozdíly úhlů jednotlivých snímků jsou v tabulkách č. 4 a 5.

Tab.č.4 Vypočítané úhlové velikosti ve vertikálním směru

Px Zenit			Px Zenit		
z	do	1pix (cc)	z	do	1pix (cc)
1	2	7,51	11	12	7,46
2	3	7,43	12	13	7,51
4	5	7,44	14	15	7,42
5	6	7,47	15	16	7,46
7	8	7,48	17	18	7,47
8	9	7,49	18	19	7,45
Průměrné Px		7,47	Průměrné Px		7,46

Tab.č.5 Vypočítané úhlové velikosti v horizontálním směru

Px Horizont			Px Horizont		
z	do	1pix (cc)	z	do	1pix (cc)
21	22	8,16	31	32	8,15
22	23	8,13	32	33	8,13
24	25	8,18	34	35	8,14
25	26	8,15	35	36	8,15
27	28	8,13	37	38	8,15
28	29	8,13	38	39	8,16
Průměrné Px		8,15	Průměrné Px		8,15

Aritmetickým průměrem se dostane výsledná úhlová velikost pixelu $P_{xz}=7,47^{\text{cc}}$ a $P_{xH}=8,15^{\text{cc}}$.

6.2. Zpracování naměřených hodnot

V této kapitole je popsáno zpracování testovacích měření provedených na terase. Jde o měření provedená během tří observací. Popis těchto měření je v kapitole 6.

Naměřená data z astronomického pozorování je nejprve třeba zpracovat v programu HRUBE.EXE. Popis tohoto programu je v kapitole 5.3.

Jelikož při každé observaci bylo provedeno několik kalibrací kamery, je nutno určit střední hodnoty parametrů z těchto kalibrací pro každou noc (stočení snímku vůči horizontu, velikost pixelu ve vertikálním směru). Konkrétně pro měření dne 15.9.2011, kdy proběhlo jedno dlouhé měření, byly provedeny celkem čtyři kalibrace kamery během celé noci. Během dalších dvou nocí proběhlo vždy 5 měření a pro každé byla provedena kalibrace kamery. Výsledky kalibrací a jejich průměry z jednotlivých nocí jsou uvedeny v tabulkách č.6, 7 a 8.

Tab.č.6 Výsledky kalibrace 15.9.2011 [$^{\text{cc}}$]

Kalibrace č.	Stočení	Vel. Pix. Z	Vel. Pix. Hz	Pozn
1	-0,0057	7,42	8,12	OK
2	-0,0063	7,42	8,08	OK
3	-0,0064	7,43	8,09	OK
4	-0,0069	7,42	8,08	OK
Průměr	-0,0063	7,42	8,09	

Tab.č.7 Výsledky kalibrace 26.9.2011 [$^{\text{cc}}$]

Kalibrace	Stočení	Vel. Pix. Z	Vel. Pix. Hz	Pozn
26_09_11.1	-0,0062	7,42	8,14	$\varphi+10''$
26_09_11.2	-0,0063	7,43	8,13	$\varphi-10''$
26_09_11.3	-0,0087	7,43	8,13	$\lambda+15''$
26_09_11.4	-0,0083	7,45	8,09	$\lambda-15''$
26_09_11.5	-0,0091	7,44	8,12	OK
Průměr	-0,0077	7,43	8,12	

Tab.č.8 Výsledky kalibrace 3.10.2011 [$^{\text{cc}}$]

Kalibrace	Stočení	Vel. Pix. Z	Vel. Pix. Hz	Pozn
03_10_11.1	-0,0041	7,52	8,19	$\varphi+10''$
03_10_11.2	-0,0052	7,52	8,18	$\varphi-10''$
03_10_11.3	-0,0047	7,53	8,16	$\lambda+15''$
03_10_11.4	-0,0044	7,52	8,17	$\lambda-15''$
03_10_11.5	-0,0051	7,51	8,15	OK
Průměr	-0,0047	7,52	8,17	

Z těchto hodnot byly určeny aritmetickým průměrem střední hodnoty parametrů kalibrací pro každou noc zvlášť. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č.9.

Tab.č.9 Průměrné výsledky kalibrací [^{cc}]

Parametry zpracování A			
	15_09_11	26_09_11	03_10_11
Stočení	-0,0063	-0,0077	-0,0047
Vel. Pix. Z	7,42	7,43	7,52
Vel. Pix. Hz	8,09	8,12	8,17

Tyto hodnoty lze porovnat s hodnotami získanými z laboratorních měření. Především je nutno se zaměřit na hodnotu velikosti pixelu ve vertikálním směru. Je zřejmé, že hodnota $P_{xz}=7,47^{cc}$ získaná laboratorním měřením dne 18.10.2011 leží mezi hodnotami získanými automatickou kalibrací během nocí. První dvě kalibrace se liší minimálně. Rozdíl poslední kalibrace od ostatních je způsobený zřejmě revizí přístroje a jeho seřízením před posledním měřením.

Pro další zpracování a výpočet souřadnic budou použity hodnoty z tabulky č.9. Stejný výpočet souřadnic proběhne také s velikostí pixelu (vertikální), která bude záměrně změněna o $+0.05^{cc}$ a -0.05^{cc} (viz tab.č.10 a 11).

 Tab.č.10 Změněné parametry kalibrace $P_{xZ}= +0,05^{cc}$

Parametry zpracování B ($P_{xZ}=+0,05$)			
	15_09_11	26_09_11	03_10_11
Stočení	-0,0063	-0,0077	-0,0047
Vel. Pix. Z	7,47	7,48	7,57
Vel. Pix. Hz	8,09	8,12	8,17

 Tab.č.11 Změněné parametry kalibrace $P_{xZ}= -0,05^{cc}$

Parametry zpracování C ($P_{xZ}=-0,05$)			
	15_09_11	26_09_11	03_10_11
Stočení	-0,0063	-0,0077	-0,0047
Vel. Pix. Z	7,37	7,38	7,47
Vel. Pix. Hz	8,09	8,12	8,17

Dalším zpracováním (postup v kapitole 5.3.) byly získány zeměpisné souřadnice stanoviště. Postup výpočtu byl následující. V prvním kroku byly zpracovány délkové a šířkové páry dohromady a tím byly získány přesnější výchozí souřadnice zeměpisné šířky i délky. Následně proběhlo zpracování, při kterém se za výchozí souřadnice do výpočtu dosadily právě tyto souřadnice ze společného zpracování a proběhl nový výpočet odděleně šířkových párů a délkových párů. Tudíž zůstala ve výpočtu jedna ze souřadnic fixní a počítala se pouze souřadnice druhá. Podrobné výsledky všech hvězdných párů ze všech

měření jsou uvedeny v příloze č.4. V tabulce č.12 jsou průměrné výsledky z každého měření. Kvůli úspoře místa jsou uváděny pouze vteřiny zeměpisných souřadnic. Výsledky se totiž liší řádově až v desetínách vteřin a pro další analýzy postačuje vteřinový tvar výsledků.

Tab.č.12 Průměrné výsledky měření ["]

Měření	správně		Px zenit +0,05		Px zenit -0,05	
	šířka	délka	šířka	délka	šířka	délka
15_09_11	20,45	49,60	20,42	49,59	20,47	49,62
26_09_11.1 φ +10"	20,00	49,32	19,92	49,35	20,11	49,26
26_09_11.2 φ -10"	20,08	49,83	20,08	49,82	20,04	49,81
26_09_11.3 λ +15"	20,24	49,98	20,20	49,91	20,29	50,10
26_09_11.4 λ -15"	20,06	49,62	20,03	49,70	20,09	49,51
26_09_11.5 správně	20,47	49,68	20,39	49,65	20,49	49,74
03_10_11.1 φ +10"	20,24	49,77	20,12	49,81	20,32	49,71
03_10_11.2 φ -10"	20,00	50,08	20,04	50,13	19,98	50,05
03_10_11.3 λ +15"	20,12	49,90	20,08	49,82	20,18	49,97
03_10_11.4 λ -15"	20,01	49,93	19,95	50,05	20,05	49,86
03_10_11.5 správně	20,00	49,82	19,95	49,83	20,04	49,79

Základní informace z měření (nastavení kamery, použitý pozorovací program, ...) a výsledky jsou archivovány v elektronické podobě v elektronické příloze č.1 na přiloženém CD k této práci. V této složce jsou archivovány soubory PPROGRAM.TXT, dále soubory *.PRT, *.TXT, *.TX1. Dále jsou archivovány soubory MSV3.INI, kde je nastavení kamery a použitá verze programu MSV3.EXE. Ve složce *Výsledky-Páry* jsou uvedeny výsledky z vyrovnání v textových dokumentech a v podsložce *Páry* jsou jednotlivé výsledky všech párů.

7. ANALÝZY PŘESNOSTI VÝSLEDKŮ

V této kapitole jsou provedeny analýzy přesnosti výsledků astronomického určení polohy z měření popsanych v kapitole 6. Nejprve je zde uvedena rekapitulace dosažených výsledků, které slouží jako vstup pro další výpočty.

Jde o měření provedená měřickým systémem MAAS -1. Jak plyne z předchozích kapitol, je zde testován vliv úhlové velikosti pixelu snímku na výsledné zeměpisné souřadnice stanoviska. Jde o vliv kalibrace digitální kamery. Spolu s tímto vlivem je zde testován také vliv pozorovacího programu neboli vliv přesnosti výchozích přibližných souřadnic. V další řadě je zde testováno spolupůsobení těchto vlivů.

Vliv pozorovacího programu byl testován způsobem popsáním podrobněji v kapitole č.6 (pro každou noc vytvořeno 5 pozorovacích programů lišících se ve vstupních souřadnicích). Vliv úhlové velikosti pixelu byl testován při zpracování (viz kapitola 6.2.). Zpracování proběhlo třikrát s různou úhlovou velikostí pixelu (správná velikost z kalibrace kamery, potom o 0,05^{cc} větší a o 0,05^{cc} menší).

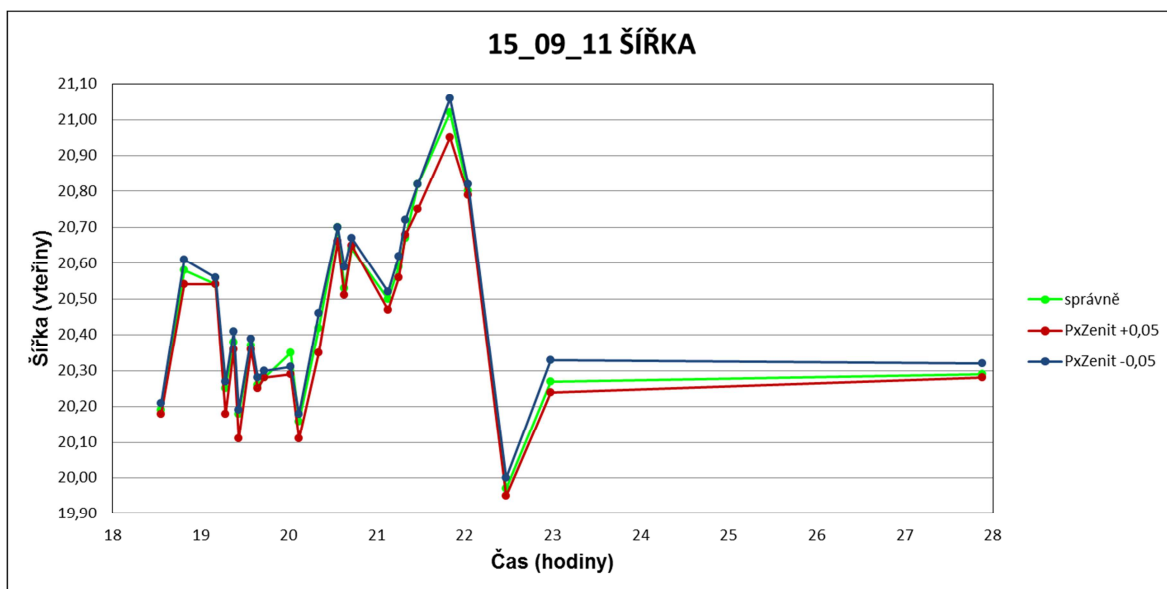
Podrobné výsledky všech párů jsou uvedeny v příloze č.4 a průměrné výsledky z jednotlivých pozorovacích programů jsou v tab. č.12.

7.1. Grafické vyjádření

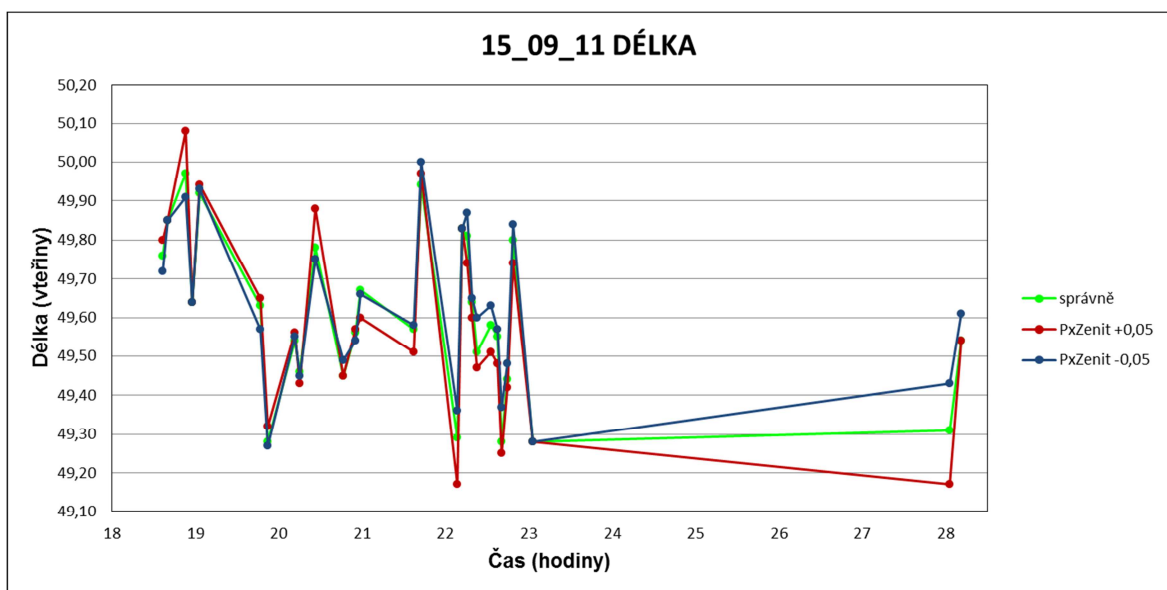
Podrobné výsledky z přílohy č.4 lze pro zjednodušení a přehlednost vynést do grafů. V této kapitole je provedeno vyhodnocení měření pomocí grafického znázornění v grafech. Na vodorovné ose je vynesena čas a na svislé ose je vynesena zeměpisná šířka (délka) pouze ve vteřinách. Pro umožnění vynesení dat do grafů je čas po 24. hodině vynášen ve formátu 24h + 1, 2, 3, atd.

Na grafu č.1 a 2 jsou vyneseny hodnoty z měření 15.9.2011.

Graf č.1 Zeměpisná šířka, měření 15.9.2011



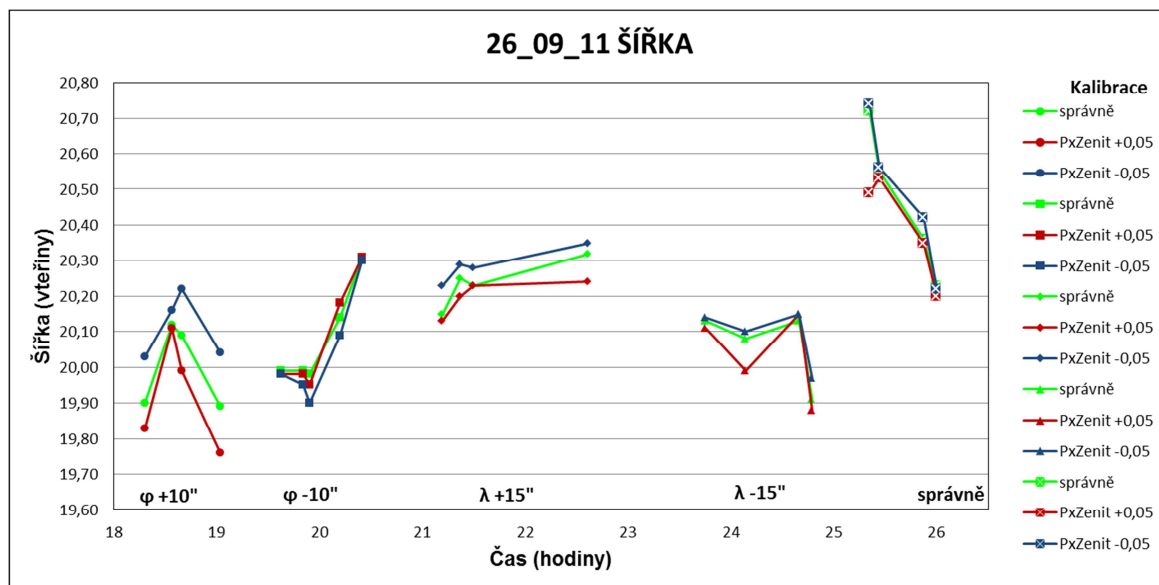
Graf č.2 Zeměpisná délka, měření 15.9.2011



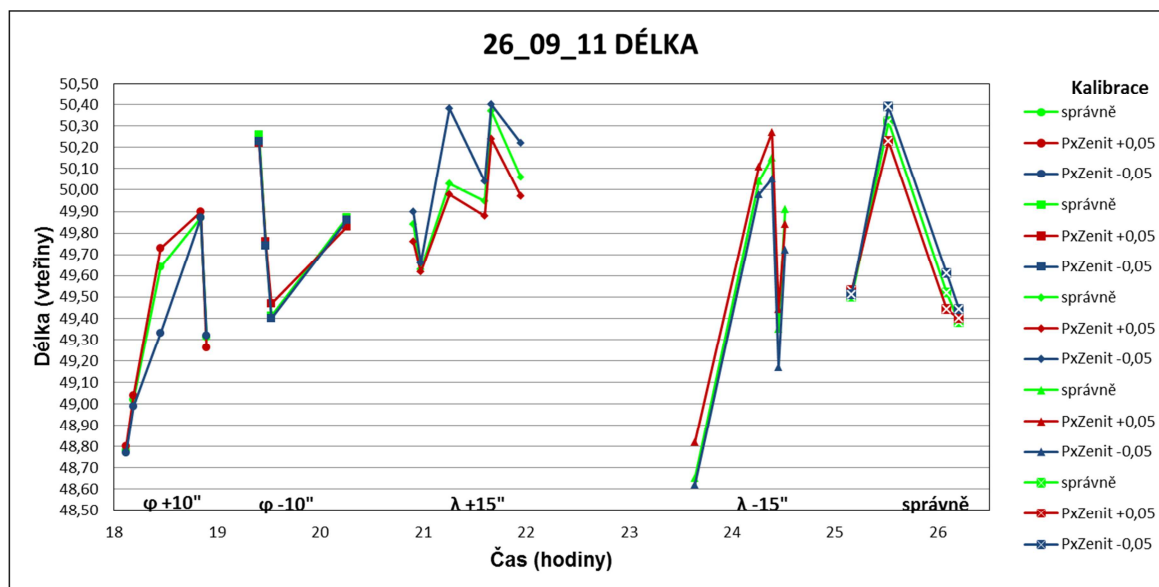
Z grafů č.1 a 2 je zřejmé, že výsledky zpracované se zmenšenou úhlovou velikostí pixelu ve svislém směru ($PxZenit -0,05^{cc}$) vychází, až na výjimky, výsledky zeměpisných souřadnic větší. Tyto výsledky jsou znázorněny v grafu modře. Naopak pokud je velikost pixelu zvětšena, výsledné souřadnice jsou menší (červené). U zeměpisné délky není tento vliv tak zřejmý.

Následující grafy č. 3 a 4 zobrazují výsledky z 26.9.2011 zobrazené stejným způsobem. Zde v těchto měřeních již byl testován vliv pozorovacího programu. Všechna měření, provedená v tento den, jsou vynesena vždy do jednoho grafu.

Graf č.3 Zeměpisná šířka, měření 26.9.2011

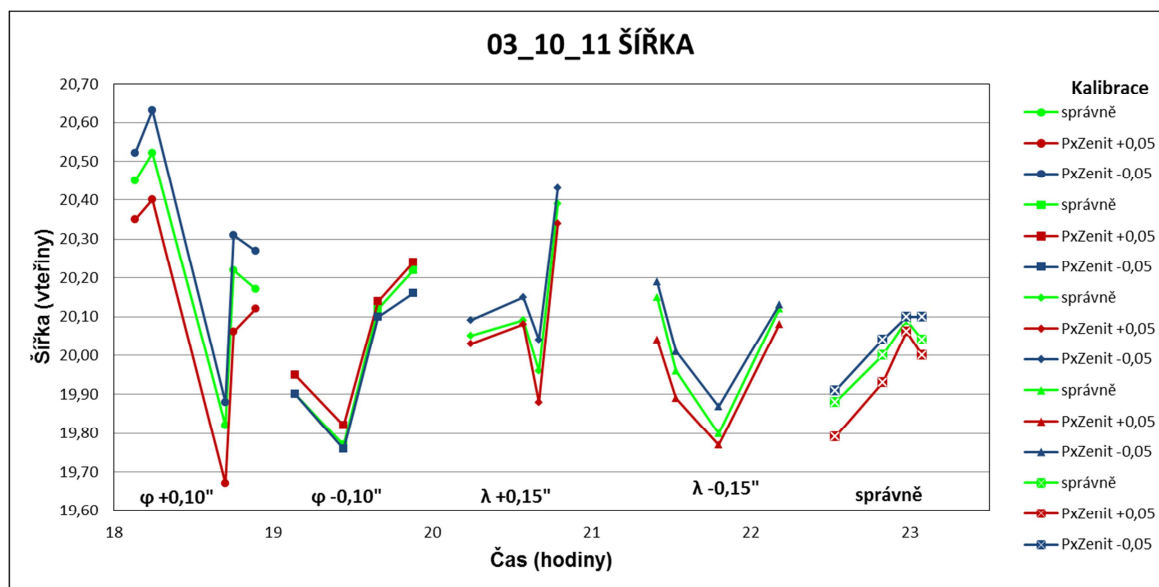


Graf č.4 Zeměpisná délka, měření 26.9.2011

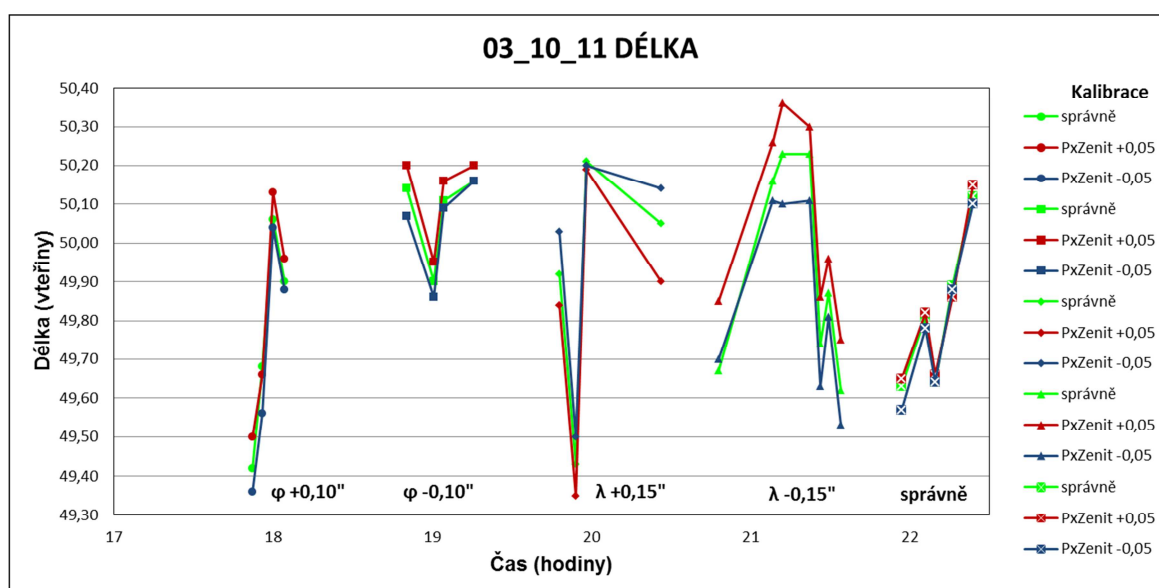


Dohromady s tímto měřením lze vyhodnotit také měření ze dne 3.10.2011, které je zaměřeno na stejnou problematiku. Tato měření jsou vynesena v grafech č.5 a 6.

Graf č.5 Zeměpisná šířka, měření 3.10.2011



Graf č.6 Zeměpisná délka, měření 3.10.2011



Z grafického znázornění grafů č.3 až 6 lze učinit několik závěrů. Při posledním měření 3.10.2011 vyšla z kalibrace kamery na Polárku nápadně větší úhlová velikost pixelu než v předchozích dvou měřeních (viz tab.č.9). Nyní jsou vyhodnocovány pouze správné výsledky bez jakýchkoliv simulovaných chyb. Vliv na výsledky lze vidět jednak na grafech a jednak v tabulce průměrných výsledků (viz tab.č.12). Zeměpisná šířka z 3.10.2011 vyšla výrazně menší než v předchozích nocích. U zeměpisné délky tento vliv není tak zřejmý.

Tento závěr se shoduje i s výsledky z testování úhlové velikosti pixelu při zpracování naměřených hodnot. Z grafů č. 3 a 5 (správné vstupní souřadnice) je zřejmé, že při vyhodnocení s menším pixelem (modré výsledky) vychází větší zeměpisná šířka. Toto platí i u zeměpisné délky, ale tento vliv je menší.

Tyto a další úvahy a analýzy je pro větší přehlednost vhodné doprovodit výpočty a grafickým znázorněním. Tyto úvahy jsou provedeny v následujících podkapitolách.

7.2. Závislost výsledků na přesnosti určení úhlové velikosti pixelu

V této kapitole je zkoumána závislost výsledků (zeměpisné šířky a délky) určené astronomickým měřením se systémem MAAS-1 na přesnosti určení úhlové velikosti pixelu. Výsledky měření byly zpracovány se správnou úhlovou velikostí pixelu a s velikostí pixelu zvětšenou a zmenšenou o $0,05^{\text{cc}}$. V tabulce číslo 13 a 14 jsou provedeny rozdíly výsledků podle vzorce (7.1). Pro analýzu byly zvoleny výsledky z 15.9.2011 a výsledky se správnými vstupními souřadnicemi z nocí 26.9.2011 a 3.10.2011.

$$\Delta_1 = P_{xz-0,05} - P_{xz+0,05} \quad (7.1)$$

, kde $P_{xz-0,05}$ jsou výsledky zpracovány s úhlovou velikostí pixelu zmenšenou o $0,05^{\text{cc}}$ a $P_{xz+0,05}$ jsou výsledky zpracovány s úhlovou velikostí pixelu zvětšenou o $0,05^{\text{cc}}$

Tímto způsobem se zjistí jestli, a případně jak velkou chybu, způsobí změna úhlové velikosti pixelu o $0,1^{\text{cc}}$.

Tab.č.13 Δ_1 šířkových párů ["]

Šířkové páry					
měření	pár		Pxz -0,05	Pxz +0,05	Δ_1
			šířka	šířka	
15_09_11	9	10	20,21	20,18	0,03
	15	16	20,61	20,54	0,07
	23	24	20,56	20,54	0,02
	25	26	20,27	20,18	0,09
	27	28	20,41	20,36	0,05
	29	30	20,19	20,11	0,08
	31	32	20,39	20,36	0,03
	33	34	20,28	20,25	0,03
	35	36	20,30	20,28	0,02
	41	42	20,31	20,29	0,02
	43	44	20,18	20,11	0,07
	49	50	20,46	20,35	0,11
	53	54	20,70	20,66	0,04
	55	56	20,59	20,51	0,08
	57	58	20,67	20,65	0,02
	65	66	20,52	20,47	0,05
	67	68	20,62	20,56	0,06
	69	70	20,72	20,68	0,04
	71	72	20,82	20,75	0,07
	77	78	21,06	20,95	0,11
81	82	20,82	20,79	0,03	
93	94	20,00	19,95	0,05	
105	106	20,33	20,24	0,09	
111	112	20,32	20,28	0,04	
26_09_11.5 správně	7	8	20,74	20,49	0,25
	11	12	20,56	20,53	0,03
	23	24	20,42	20,35	0,07
	27	28	20,22	20,20	0,02
03_10_11.5 správně	7	8	19,91	19,79	0,12
	11	12	20,04	19,93	0,11
	23	24	20,10	20,06	0,04
	27	28	20,10	20,00	0,10

 Tab.č.14 Δ_1 délkových párů ["]

Délkové páry					
měření	pár		Pxz -0,05	Pxz +0,05	Δ_1
			délka	délka	
15_09_11	11	12	49,72	49,80	-0,08
	13	14	49,85	49,85	0,00
	17	18	49,91	50,08	-0,17
	19	20	49,64	49,64	0,00
	21	22	49,93	49,94	-0,01
	37	38	49,57	49,65	-0,08
	39	40	49,27	49,32	-0,05
	45	46	49,55	49,56	-0,01
	47	48	49,45	49,43	0,02
	51	52	49,75	49,88	-0,13
	59	60	49,49	49,45	0,04
	61	62	49,54	49,57	-0,03
	63	64	49,66	49,60	0,06
	73	74	49,58	49,51	0,07
	75	76	50,00	49,97	0,03
	83	84	49,36	49,17	0,19
	85	86	49,83	49,83	0,00
	87	88	49,87	49,74	0,13
	89	90	49,65	49,60	0,05
	91	92	49,60	49,47	0,13
95	96	49,63	49,51	0,12	
97	98	49,57	49,48	0,09	
99	100	49,37	49,25	0,12	
101	102	49,48	49,42	0,06	
103	104	49,84	49,74	0,10	
107	108	49,28	49,28	0,00	
113	114	49,43	49,17	0,26	
115	116	49,61	49,54	0,07	
26_09_11.5 správně	3	4	49,51	49,53	-0,02
	15	16	50,39	50,23	0,16
	31	32	49,61	49,44	0,17
	35	36	49,44	49,40	0,04
03_10_11.5 správně	1	2	49,57	49,65	-0,08
	7	8	49,78	49,82	-0,04
	11	12	49,64	49,66	-0,02
	13	14	49,88	49,86	0,02
	17	18	50,10	50,15	-0,05

Z tabulky č.13 je zřejmé, že výsledky jsou ovlivněny systematickým vlivem. Všechny rozdíly Δ_1 mají stejné znaménko. Z toho vyplývá, že čím bude menší úhlová velikost pixelu, tím větší vyjde výsledná zeměpisná šířka a naopak. Pro zeměpisnou délku platí to samé, i když tento vliv je podstatně menší. Jako velkou chybu způsobí změna úhlové velikostí pixelu o $0,1^{\text{cc}}$ ve výsledku je uvedeno v tabulce č.15.

Tab.č.15 Průměrné výsledky Δ_1

Přibližné souřadnice	odchylky ["]	
	Δ_1 šířk	Δ_1 délk
správné	0,06	0,03

Jak lze posoudit z tabulky č.15 je systematický vliv působící na výsledky u šířkových párů asi dvojnásobný.

7.3. Závislost výsledků na přesnosti určení vstupních souřadnic

Samotný vliv pozorovacího programu (přesnost určení přibližných vstupních souřadnic) byl již testován v dřívější diplomové práci [5]. Autor [5] provedl astronomické testovací měření se systémem MAAS-1. Provedl několik měření, kdy pro každé vytvořil vlastní pozorovací program se simulovanými chybami ve vstupních souřadnicích. Stejně jako v měřeních v této diplomové práci záměrně změnil vstupní souřadnice o $\pm 10''$ v zeměpisné šířce a o $\pm 15''$ v zeměpisné délce. Dále provedl analýzu výsledků (zeměpisných souřadnic).

Tato analýza výsledků je provedena obdobným způsobem jako v [5]. Na závěr bude možné srovnat výsledky obou měření.

Průměrné výsledky z jednotlivých testovacích měření ze dne 26.9.2011 a 3.10.2011 jsou již uvedeny v tab.č.12. Jsou testovány pouze výsledky se správnou úhlovou velikostí pixelu. Nyní se vypočítají rozdíly mezi průměrnými výsledky jednotlivých pozorování (správných a se simulovanými chybami). Bude testováno, zda některý z rozdílů překročí mezní chybu rozdílu. Pro stanovení mezní chyby rozdílu průměrů jsou použity hodnoty středních chyb jednoho měření pro zeměpisnou šířku $m_\varphi = 0,3''$ a pro zeměpisnou délku $m_\lambda = 0,5''$. Tyto hodnoty jsou stejné, jako použil autor [5] a jsou získány z publikace [3]. Tyto hodnoty jsou výsledkem mnoha experimentálních testů. Více informací o těchto hodnotách středních chyb je uvedeno v [3]. Nyní jsou uvedeny vzorce pro výpočet mezních chyb rozdílů.

Střední chyba průměru z n měření:

$$m_{prům} = m_{\varphi(\lambda)} / \sqrt{n} \quad (7.2)$$

Střední chyba rozdílu průměrných hodnot:

$$m_{rozd} = \sqrt{m_{prům1}^2 + m_{prům2}^2} \quad (7.3)$$

Mezní chyba rozdílu průměrných hodnot

$$\Delta_m = t(2) \cdot m_{rozd} \quad (7.4)$$

V tabulce č.16 jsou uvedeny výsledky z provedených testovacích měření spolu s mezními odchylkami.

Tab.č.16 Rozdíly výsledků s mezními hodnotami ["]

rozdíly mezi soubory	rozdíly průměrovaných výsledků				mezní hodnoty rozdílů			
	26_09_11		03_10_11		26_09_11		03_10_11	
	šířka	délka	šířka	délka	šířka	délka	šířka	délka
$(\varphi_{správné}) - (\varphi + 10'')$	0,47	0,36	-0,23	0,05	0,42	0,67	0,40	0,67
$(\varphi_{správné}) - (\varphi - 10'')$	0,38	-0,15	0,00	-0,26	0,40	0,71	0,42	0,67
$(\varphi + 10'') - (\varphi - 10'')$	-0,08	-0,50	0,23	-0,31	0,40	0,67	0,40	0,71
$(\lambda_{správné}) - (\lambda + 15'')$	0,23	-0,30	-0,12	-0,08	0,42	0,65	0,42	0,67
$(\lambda_{správné}) - (\lambda - 15'')$	0,40	0,06	-0,01	-0,11	0,42	0,67	0,42	0,59
$(\lambda + 15'') - (\lambda - 15'')$	0,18	0,36	0,12	-0,03	0,42	0,61	0,42	0,63

V první polovině tabulky č.16 jsou uvedeny rozdíly výsledků a v druhé polovině tabulky jsou k nim přiřazeny mezní hodnoty rozdílů. Test je zaměřen na závislost vstupní zeměpisné šířky na výsledné zeměpisné šířce a obdobně u zeměpisné délky. Tyto hodnoty jsou v tabulce č.16 zvýrazněny žlutě a zeleně. Jak je vidět, tak mezní hodnota rozdílu byla mírně překročena v jediném případě (červeně zvýrazněný v tab.č.16). Žádný systematický vliv z těchto výsledků zřejmý není. Je možné, že systematický vliv z nepřesnosti určení vstupních souřadnic existuje, ale je menší než střední náhodná chyba a tudíž nelze jednoznačně prokázat.

Autor [5] provedl tuto analýzu také z rozsáhlých souborů měření poskytnutých Ing. Radovanem Machotkou, Ph.D. V jediném z testovacích souborů byla mírně překročena stanovená mezní odchylka a autor [5] došel ke stejným závěrům jako v této práci.

7.4. Závislost výsledků na přesnosti určení úhlové velikosti pixelu a vstupních souřadnic

V této kapitole je zkoumána závislost výsledků (zeměpisné šířky a délky) získaných astronomickým měřením na přesnosti určení úhlové velikosti pixelu a zároveň na přesnosti určení vstupních souřadnic. To znamená, že tyto vlivy jsou testovány ve spolupůsobení. Konkrétně jde o testovací měření provedená 26.9.2011 a 3.10.2011.

Způsob provedení měření je uveden v kapitole 6 a způsob zpracování je uveden v kapitole 6.2. Pro všechny soubory měření jsou provedeny rozdílky výsledků Δ_2 stejně jako v předchozí kapitole podle vzorce (7.1). Výsledky se správnými vstupními souřadnicemi jsou uvedeny již v tabulkách č.13 a 14. Nyní je zapotřebí provést ještě výpočty se záměrně změněnými vstupními přibližnými souřadnicemi. Výsledky jsou uvedeny v tabulkách č.17 až 24.

 Tab.č.17 Δ_2 šířkové páry ($\varphi+10''$) ["]

Šířkové páry					
měření	pár	Pxz -0,05	Pxz +0,05	Δ_2	
		šířka	šířka		
26_09_11.1	11 12	20,03	19,83	0,20	
	23 24	20,16	20,11	0,05	
	27 28	20,22	19,99	0,23	
	41 42	20,04	19,76	0,28	
03_10_11.1	11 12	20,52	20,35	0,17	
	17 18	20,63	20,40	0,23	
	37 38	19,88	19,67	0,21	
	41 42	20,31	20,06	0,25	
	43 44	20,27	20,12	0,15	

 Tab.č.18 Δ_2 délkové páry ($\varphi+10''$) ["]

Délkové páry					
měření	pár	Pxz -0,05	Pxz +0,05	Δ_2	
		délka	délka		
26_09_11.1	5 6	48,77	48,80	-0,03	
	9 10	48,99	49,04	-0,05	
	19 20	49,33	49,73	-0,40	
	35 36	49,87	49,90	-0,03	
	39 40	49,32	49,26	0,06	
03_10_11.1	23 24	49,36	49,50	-0,14	
	25 26	49,56	49,66	-0,10	
	29 30	50,04	50,13	-0,09	
	31 32	49,88	49,96	-0,08	

Tab.č.19 Δ_2 šířkové páry ($\varphi-10''$) ["]

Šířkové páry				
měření	pár	Pxz -0,05	Pxz +0,05	Δ_2
		šířka	šířka	
26_09_11.2	25 26	19,98	19,98	0,00
	33 34	19,95	19,98	-0,03
	37 38	19,90	19,95	-0,05
	47 48	20,09	20,18	-0,09
	53 54	20,30	20,31	-0,01
03_10_11.2	5 6	19,90	19,95	-0,05
	17 18	19,76	19,82	-0,06
	27 28	20,10	20,14	-0,04
	35 36	20,16	20,24	-0,08

 Tab.č.20 Δ_2 délkové páry ($\varphi-10''$) ["]

Délkové páry				
měření	pár	Pxz -0,05	Pxz +0,05	Δ_2
		délka	délka	
26_09_11.2	17 18	50,23	50,22	0,01
	19 20	49,74	49,76	-0,02
	21 22	49,40	49,47	-0,07
	49 50	49,86	49,83	0,03
03_10_11.2	9 10	50,07	50,20	-0,13
	21 22	49,86	49,95	-0,09
	23 24	50,09	50,16	-0,07
	31 32	50,16	50,20	-0,04

 Tab.č.21 Δ_2 šířkové páry ($\lambda+15''$) ["]

Šířkové páry				
měření	pár	Pxz -0,05	Pxz +0,05	Δ_2
		šířka	šířka	
26_09_11.3	7 8	20,23	20,13	0,10
	13 14	20,29	20,20	0,09
	17 18	20,28	20,23	0,05
	55 56	20,35	20,24	0,11
03_10_11.3	3 4	20,09	20,03	0,06
	13 14	20,15	20,08	0,07
	17 18	20,04	19,88	0,16
	21 22	20,43	20,34	0,09

 Tab.č.22 Δ_2 délkové páry ($\lambda+15''$) ["]

Délkové páry				
měření	pár	Pxz -0,05	Pxz +0,05	Δ_2
		délka	délka	
26_09_11.3	3 4	49,90	49,76	0,14
	5 6	49,66	49,62	0,04
	11 12	50,38	49,98	0,40
	21 22	50,04	49,88	0,16
	23 24	50,40	50,24	0,16
	33 34	50,22	49,97	0,25
03_10_11.3	5 6	50,03	49,84	0,19
	7 8	49,50	49,35	0,15
	11 12	50,20	50,19	0,01
	27 28	50,14	49,90	0,24

 Tab.č.23 Δ_2 šířkové páry ($\lambda-15''$) ["]

Šířkové páry				
měření	pár	Pxz -0,05	Pxz +0,05	Δ_2
		šířka	šířka	
26_09_11.4	9 10	20,14	20,11	0,03
	21 22	20,10	19,99	0,11
	33 34	20,15	20,15	0,00
	37 38	19,97	19,88	0,09
03_10_11.3	3 4	20,19	20,04	0,15
	7 8	20,01	19,89	0,12
	15 16	19,87	19,77	0,10
	27 28	20,13	20,08	0,05

 Tab.č.24 Δ_2 délkové páry ($\lambda-15''$) ["]

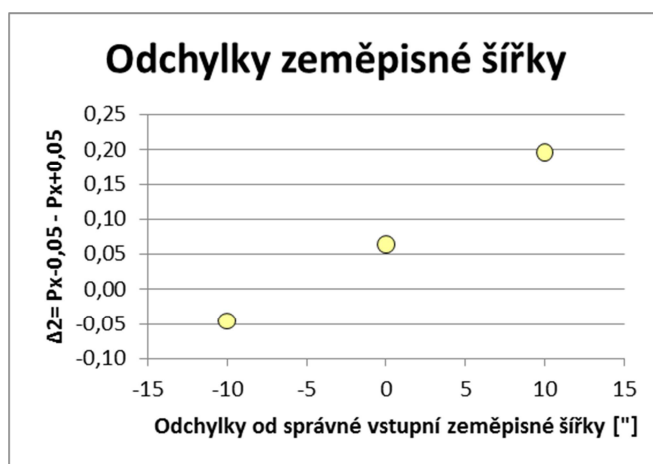
Délkové páry				
měření	pár	Pxz -0,05	Pxz +0,05	Δ_2
		délka	délka	
26_09_11.4	5 6	48,62	48,82	-0,20
	25 26	49,98	50,11	-0,13
	27 28	50,05	50,27	-0,22
	29 30	49,17	49,44	-0,27
	31 32	49,72	49,84	-0,12
03_10_11.3	1 2	49,70	49,85	-0,15
	11 12	50,11	50,26	-0,15
	13 14	50,10	50,36	-0,26
	19 20	50,11	50,30	-0,19
	21 22	49,63	49,86	-0,23
	23 24	49,81	49,96	-0,15
	25 26	49,53	49,75	-0,22

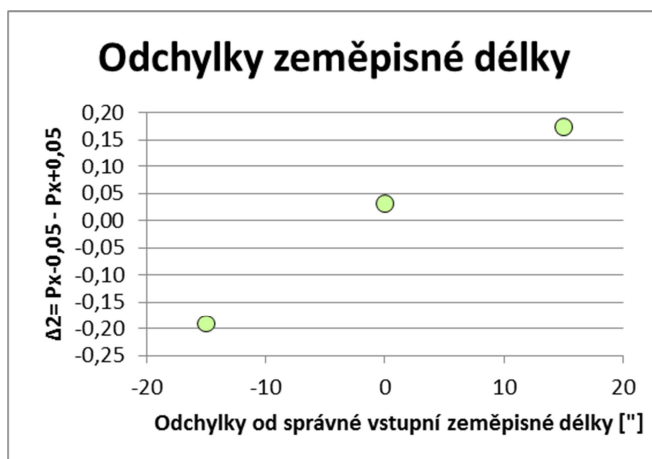
Dále lze všechny výsledky zprůměrovat a pro přehlednost sestavit do jedné tabulky výsledků (viz tab.č.25).

 Tab.č.25 Průměrné výsledky Δ_2

Přibližné souřadnice	odchyly ["]	
	Δ_2 šířk	Δ_2 délk
správné	0,06	0,03
$\varphi +10''$	0,20	-0,10
$\varphi -10''$	-0,05	-0,05
$\lambda +15''$	0,09	0,17
$\lambda -15''$	0,08	-0,19

Nyní se zaměříme na ovlivnění velikosti rozdílů výsledků Δ_2 při použití různých vstupních souřadnic. Z grafů č.3 až 6 je zřejmé ovlivnění výsledné zeměpisné šířky s nesprávnou úhlovou velikostí pixelu pochybenou vstupní zeměpisnou šířkou. Výsledná zeměpisná délka s nesprávnou velikostí pixelu je naopak ovlivněna vstupní zeměpisnou délkou. Pro grafické vyjádření lze tyto případy vynést do grafů. V grafech č.7 a 8 jsou vyneseny znázorněné hodnoty velikosti rozdílů Δ_2 z tabulky č.25 v závislosti na odchylce od správných vstupních souřadnic. Další úvahy jsou zaměřeny pouze na tuto zmíněnou závislost.

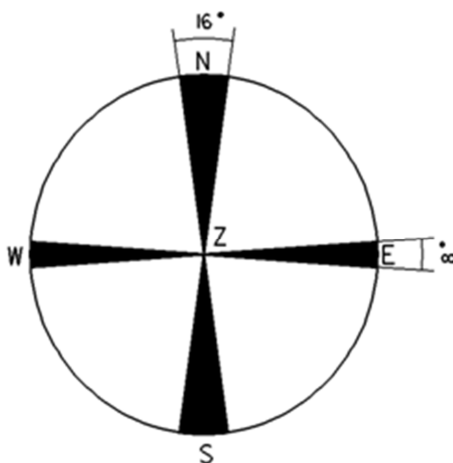
 Graf č.7 Závislost $\Delta_{2\text{šířk}} [^{\text{cc}}]$ na vstupní zeměpisné šířce ["]


Graf č.8 Závislost $\Delta_{2\text{délk}} [^{\circ}]$ na vstupní zeměpisné délce ["]


V grafech č.7 a 8 je vidět jak se rozdíly Δ_2 u zeměpisné šířky i délky mění v závislosti na chybě v určení zeměpisných souřadnic. Při správných vstupních souřadnicích by rozdíl Δ_2 měl být minimální. Při použití nesprávných vstupních souřadnic se tento rozdíl zvětší. U zeměpisných délek je tento vliv vidět jasněji. V grafu č.8 je jasně vidět, že při použití správných vstupních souřadnic, je rozdíl výsledků Δ_2 téměř nulový. Při použití nesprávných vstupních souřadnic se rozdíl Δ_2 zvětší. Pokud jsou vstupní souřadnice větší nebo menší než správné souřadnice, bude odchylka Δ_2 kladná nebo záporná. Tento vliv je dobře vidět na grafickém znázornění (Graf č.3 až 6), kdy se laicky řečeno červené a modré výsledky od sebe více odchýlí nebo se prohodí. Pokud by chyba vstupních souřadnic byla větší, je pravděpodobné, že se rozdíl Δ_2 zvětší. Rozdíl Δ_2 se také pravděpodobně zvětší, pokud se zvětší chyba v určení úhlové velikosti pixelu.

V případě zeměpisné šířky je vidět, že pro správné přibližné vstupní souřadnice vychází větší hodnota Δ_2 než v případě zeměpisné délky. Důvod tohoto rozdílu není zřejmý, ale mohl by být pravděpodobně způsoben následujícími faktory.

Při měření je u šířkových párů větší časová prodleva mezi měřeními první a druhé hvězdy každého páru. Především je ale pro šířkové páry, na rozdíl od délkových párů, dvojnásobná dovolená odchylka vertikální roviny páru od příslušné základní roviny (viz obr.č.17). Důvod této odchylky je nedostatečný počet vhodných hvězd k měření v rovině místního poledníku.



Obr.č.17 Dovolené odchylky vertikální roviny od základní [3]

Také při měření šířkového páru se každá hvězda pohybuje jinou úhlovou rychlostí.

Další závislosti velikosti rozdílů Δ_2 na vstupních souřadnicích již nejsou zřejmé. Zdá se například, že na výslednou zeměpisnou šířku s nesprávnou úhlovou velikostí pixelu podle grafů č.3 a 5 nemají vliv odchylky vstupní zeměpisné délky. A naopak u výsledné zeměpisné délky s nesprávnou úhlovou velikostí pixelu je podle grafů č.4 a 6 pravděpodobná závislost na vstupní zeměpisné šířce. Spolehlivější výsledky poskytne až testování rozsáhlejšího souboru naměřených dat.

8. ZÁVĚR

Tato práce je zaměřena na analýzu přesnosti výsledků astronomického určení polohy. Nejprve byl zmíněn vývoj geodetické astronomie v posledních letech. Také jsou v této práci uvedeny metody měření geodetické astronomie a především je zde popsána metoda párů stejné výšky. Dále je podrobně popsán měřický systém MAAS-1.

Tento měřický systém, respektive naměřená data z tohoto systému jsou předmětem testování této práce. Proto je zde také popis přípravy k měření a také způsob měření s tímto systémem. Samozřejmě je zde také uveden způsob zpracování naměřených dat.

Testování naměřených dat je zaměřeno na zjištění závislosti výsledků měření na určení úhlové velikosti pixelu snímku. Také se testuje spolupůsobení této závislosti spolu s přesností určení přibližných vstupních souřadnic stanoviště neboli vlivu pozorovacího programu.

Tomuto testování výsledků předcházela sběr měřených dat. Měření proběhla během tří nocí. 15.9.2011 proběhlo první dlouhé měření s velkým počtem naměřených dat. V druhých dvou měřeních (26.9.2011 a 3.10.2011) byly simulovány chyby určení vstupních souřadnic. Během každé noci bylo vytvořeno 5 pozorovacích programů. V jednom byly správné souřadnice stanoviště a v dalších simulované chyby zeměpisné šířky nebo délky ($\varphi \pm 10''$, $\lambda \pm 15''$).

Všechny naměřené hodnoty byly zpracovány celkem třikrát. Poprvé pro správné parametry získané z kalibrace kamery. V dalších dvou případech byly simulovány chyby $\pm 0,05''$ pro úhlovou velikost pixelu ve vertikálním směru.

Všechny dosažené výsledky jsou zpracovány do grafů. V grafech je na vodorovné ose vyneseno čas a na svislé ose zeměpisná šířka (délka). Toto grafické vyjádření slouží jako první podklad k vyhodnocení výsledků. Již z těchto grafů je vidět závislost výsledných souřadnic na velikosti pixelu.

První závěr je takový, že čím větší bude úhlová velikost pixelu, tím menší budou výsledné souřadnice. Tento důkaz byl ověřen i matematicky. Při změně pixelu o $\pm 0,05''$, to znamená celkově o $0,1''$ ($0,032''$), se výsledek liší o $0,06''$ u zeměpisné šířky a o $0,03''$ u zeměpisné délky.

Další analýza výsledků astronomického určení polohy byla zaměřena na přesnost určení výchozích veličin (vliv pozorovacího programu). Byly vypočítány rozdíly výsledků s různými vstupními souřadnicemi ($\varphi \pm 10''$, $\lambda \pm 15''$) a ze středních chyb měření, získaných

z dlouhodobých měření, byly vypočítány mezní hodnoty rozdílů průměrných výsledků. Jediný výsledek překročil mezní odchylku a to pouze mírně. Z toho důvodu lze vyvodit závěr, že chyba ($\varphi \pm 10''$, $\lambda \pm 15''$) ve vstupních souřadnicích nemá na výsledky významný vliv.

Poslední závěr plyne z testování závislosti výsledků na přesnosti určení úhlové velikosti pixelu a zároveň na přesnosti určení vstupních souřadnic. Z těchto testů plyne pravděpodobná závislost výsledné zeměpisné šířky zpracované s nesprávnou úhlovou velikostí pixelu na chybě ve vstupní zeměpisné šířce a závislost zeměpisné délky s nesprávnou úhlovou velikostí pixelu na chybě vstupní zeměpisné délky. Při pochybení těchto vstupních souřadnic se chyba výsledků zvětší. Zda bude chyba výsledku narůstat kladně nebo záporně závisí na tom, jestli vstupní přibližné souřadnice jsou větší nebo menší než pravé souřadnice stanoviště. Tento vliv je také zpracován do grafu. Pravděpodobné důvody těchto odchylek jsou uvedeny u příslušných testů v této práci.

9. SEZNAM LITERATURY:

- [1] HIRT, C. AND BÜRKI, B. *Status of geodetic astronomy at the beginning of the 21st Century*. [online]. In: Festschrift Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Günter Seeber anlässlich seines 65. Geburtstages und der Verabschiedung in den Ruhestand (ed. C. Hirt). Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik an der Universität Hannover Nr. 258, 2006, s. 81-99. [cit. 2012-05-16]. Dostupné z http://www.ife.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/pdf_seeberAbschied/hirt8.pdf
- [2] MACHOTKA, R.; VONDRÁK, J. *Využití motorizované totální stanice pro automatizaci astronomických měření*. Geodetický a kartografický obzor, Vesmír. Praha, 2009
- [3] MACHOTKA, Radovan. *Určování astronomických souřadnic – Metoda párů stejné výšky*. Geodetický a kartografický obzor, Vesmír. Praha, 2005.
- [4] KABELÁČ, J.; KOSTELECKÝ, J. *Geodetická astronomie 10*, Ediční středisko ČVUT, Praha, 1998
- [5] IŠTÓK, Branislav. *Astronomické určování tížnicových odchylek*. Brno, 2010. Diplomová práce. VUT v Brně fakulta stavební.
- [6] MACHOTKA, Radovan. *Využití metod geodetické astronomie pro určení převýšení lokálního kvazigeoidu*. Brno, 2004. Disertační práce. VUT v Brně fakulta stavební.

10. SEZNAM PŘÍLOH:

1. Ukázka protokolu (*.PRT)
2. Ukázka protokolu (*.TXT)
3. Ukázka protokolu (*.TX1)
4. Vypočítané zeměpisné souřadnice

11. SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH:

1. Archivované záznamy ze všech astronomických měření (složka Archivace)

Ukázka protokolu (*.PRT)

kod,	No,	magn,	azimut,	Text,	NCisl,	Setiny,	Slaba,	Soumer,	Uspesnost
5	3805	5.7	V	0	0	1	0	2	86%
6	3303	5.0	Z	0	0	0	0	0	100%
9	3336	6.1	Z	0	0	0	0	0	100%
10	3800	4.4	V	0	0	0	0	0	100%
11	3305	5.4	S	0	0	4	0	0	81%
12	1526	5.0	J	0	0	0	0	0	100%
15	3835	6.0	V	0	0	0	2	6	62%
16	626	3.5	Z	0	0	0	0	0	100%
19	3373	6.0	Z	0	0	1	0	0	95%
20	3805	5.7	V	0	0	0	0	1	95%
23	752	3.6	J	0	0	0	0	0	100%
24	700	5.7	S	0	0	0	0	1	95%
27	3384	5.8	S	0	0	0	0	0	100%
28	774	3.8	J	0	0	1	0	0	95%
31	778	4.4	J	0	0	0	0	0	100%
32	1646	6.1	S	0	0	0	3	6	57%
35	858	5.1	V	0	0	0	0	0	100%
36	663	3.7	Z	0	0	0	0	0	100%
39	1610	5.7	V	0	0	0	0	0	100%
40	3373	6.0	Z	0	0	0	0	1	95%
41	700	5.7	S	0	0	0	0	0	100%
42	3675	6.0	J	0	0	0	0	1	95%

Ukázka protokolu (*.TXT)

-4	0.296827	49.208333	16.596111	pilir1									
-1		17 53 59 832	26 9 2011	2 0 17 547									
-5	907	17 59 48 93	45.6027	201.0941	-0.0044	312.6654							
-1		18 5 29 38	26 9 2011	2 0 17 564									
5	3805	18 5 45 318	36.5458	299.0971	-0.0038	380.76	293.18	1	17	1	H_5_01		
5	3805	18 5 45 678	36.5458	299.0971	-0.0038	381.91	291.79	1	22	1	H_5_02		
5	3805	18 5 46 38	36.5458	299.0971	-0.0038	382.65	289.94	1	17	1	H_5_03		
5	3805	18 5 54 239	36.5225	299.1265	-0.0038	0.00	0.00	1	0	1	H_5_04		
5	3805	18 5 54 599	36.5225	299.1265	-0.0038	381.76	287.02	1	27	1	H_5_05		
5	3805	18 5 54 959	36.5225	299.1265	-0.0038	382.63	284.96	1	31	1	H_5_06		
5	3805	18 6 3 199	36.4947	299.1577	-0.0040	379.92	289.59	1	28	1	H_5_07		
5	3805	18 6 3 559	36.4947	299.1577	-0.0040	0.00	0.00	1	0	1	H_5_08		
5	3805	18 6 3 919	36.4947	299.1577	-0.0040	382.55	286.16	1	29	1	H_5_09		
5	3805	18 6 12 359	36.4642	299.1869	-0.0040	382.34	292.52	1	23	1	H_5_10		
5	3805	18 6 12 719	36.4642	299.1869	-0.0040	382.83	291.17	1	32	1	H_5_11		
5	3805	18 6 13 79	36.4642	299.1869	-0.0040	384.33	289.36	1	32	1	H_5_12		
5	3805	18 6 21 279	36.4390	299.2206	-0.0040	379.54	290.65	1	28	1	H_5_13		
5	3805	18 6 21 639	36.4390	299.2206	-0.0040	380.96	289.06	1	11	1	H_5_14		
5	3805	18 6 21 999	36.4390	299.2206	-0.0040	382.13	287.14	1	26	1	H_5_15		
5	3805	18 6 30 199	36.4102	299.2499	-0.0040	381.23	292.93	1	10	1	H_5_16		
5	3805	18 6 30 559	36.4102	299.2499	-0.0040	383.05	291.93	1	28	1	H_5_17		
5	3805	18 6 30 919	36.4102	299.2499	-0.0040	382.88	290.50	1	14	1	H_5_18		
5	3805	18 6 39 359	36.3826	299.2831	-0.0042	381.15	292.86	1	17	1	H_5_19		
5	3805	18 6 39 719	36.3826	299.2831	-0.0042	381.96	291.08	1	13	1	H_5_20		
5	3805	0 0 0 0	36.3826	299.2831	-0.0042	382.13	289.71	0	21	1	H_5_21		
-1		18 6 41 599	26 9 2011	2 0 17 562									
-1		18 6 58 999	26 9 2011	2 0 17 560									
6	3303	18 7 15 319	36.3854	105.5211	0.0002	378.96	289.91	1	50	1	H_6_01		
6	3303	18 7 15 679	36.3854	105.5211	0.0002	379.67	291.71	1	35	1	H_6_02		
6	3303	18 7 16 39	36.3854	105.5211	0.0002	380.32	293.40	1	37	1	H_6_03		
6	3303	18 7 24 239	36.4138	105.5507	0.0002	377.83	288.79	1	43	1	H_6_04		
6	3303	18 7 24 599	36.4138	105.5507	0.0002	378.35	290.26	1	46	1	H_6_05		
6	3303	18 7 24 959	36.4138	105.5507	0.0002	379.45	291.87	1	40	1	H_6_06		
6	3303	18 7 33 360	36.4385	105.5700	0.0000	383.80	292.76	1	45	1	H_6_07		

Ukázka protokolu (*.TXI)

26	9	2011	PxZenit: 7.48	PxHorizont: 8.24	Tilt: -0,0077
5	3805	0.0	65145.318	36.58021	299.1286 -0.0038
5	3805	0.0	65145.678	36.57916	299.1303 -0.0038
5	3805	0.0	65146.038	36.57778	299.1314 -0.0038
5	3805	0.0	65154.599	36.55230	299.1595 -0.0038
5	3805	0.0	65154.959	36.55075	299.1608 -0.0038
5	3805	0.0	65163.199	36.52643	299.1879 -0.0040
5	3805	0.0	65163.919	36.52385	299.1919 -0.0040
5	3805	0.0	65172.359	36.49811	299.2208 -0.0040
5	3805	0.0	65172.719	36.49709	299.2216 -0.0040
5	3805	0.0	65173.079	36.49573	299.2239 -0.0040
5	3805	0.0	65181.279	36.47153	299.2503 -0.0040
5	3805	0.0	65181.639	36.47033	299.2525 -0.0040
5	3805	0.0	65181.999	36.46888	299.2542 -0.0040
5	3805	0.0	65190.199	36.44442	299.2822 -0.0040
5	3805	0.0	65190.559	36.44366	299.2850 -0.0040
5	3805	0.0	65190.919	36.44259	299.2847 -0.0040
5	3805	0.0	65199.359	36.41677	299.3153 -0.0042
5	3805	0.0	65199.719	36.41543	299.3165 -0.0042
5	3805	0.0	65200.079	36.41441	299.3168 -0.0042
6	3303	0.0	65235.319	36.41738	105.5500 0.0002
6	3303	0.0	65235.679	36.41872	105.5510 0.0002
6	3303	0.0	65236.039	36.41998	105.5520 0.0002
6	3303	0.0	65244.239	36.44495	105.5778 0.0002
6	3303	0.0	65244.599	36.44604	105.5786 0.0002
6	3303	0.0	65244.959	36.44724	105.5803 0.0002
6	3303	0.0	65253.360	36.47258	105.6062 0.0000
6	3303	0.0	65253.720	36.47336	105.6072 0.0000
6	3303	0.0	65254.080	36.47470	105.6077 0.0000
6	3303	0.0	65262.280	36.49932	105.6333 0.0002
6	3303	0.0	65262.640	36.50029	105.6344 0.0002
6	3303	0.0	65263.000	36.50165	105.6351 0.0002
6	3303	0.0	65271.240	36.52627	105.6612 0.0000
6	3303	0.0	65271.600	36.52724	105.6623 0.0000

Vypočítané zeměpisné souřadnice

Vysvětlivky:

- 15_09_11 referenční měření na konci prazdnin na terase
 26_09_11.1 měření na terase simulace chyb sirka +10"
 26_09_11.2 měření na terase simulace chyb sirka -10"
 26_09_11.3 měření na terase simulace chyb delka +15"
 26_09_11.4 měření na terase simulace chyb delka -15"
 26_09_11.5 měření na terase simulace chyb referenční bechybné
 03_10_11.1 měření na terase simulace chyb sirka +10"
 03_10_11.2 měření na terase simulace chyb sirka -10"
 03_10_11.3 měření na terase simulace chyb delka +15"
 03_10_11.4 měření na terase simulace chyb delka -15"
 03_10_11.5 měření na terase simulace chyb referenční bechybné

15_09_11 [jednotky "]

šířkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
9	10	18,55	20,19	49,63	9	10	18,55	20,18	49,63	9	10	18,55	20,21	49,69
15	16	18,81	20,58	49,63	15	16	18,81	20,54	49,63	15	16	18,81	20,61	49,69
23	24	19,17	20,54	49,63	23	24	19,17	20,54	49,63	23	24	19,17	20,56	49,69
25	26	19,28	20,25	49,63	25	26	19,28	20,18	49,63	25	26	19,28	20,27	49,69
27	28	19,38	20,38	49,63	27	28	19,38	20,36	49,63	27	28	19,38	20,41	49,69
29	30	19,43	20,18	49,63	29	30	19,43	20,11	49,63	29	30	19,43	20,19	49,69
31	32	19,57	20,37	49,63	31	32	19,57	20,36	49,63	31	32	19,57	20,39	49,69
33	34	19,65	20,26	49,63	33	34	19,65	20,25	49,63	33	34	19,65	20,28	49,69
35	36	19,72	20,28	49,63	35	36	19,72	20,28	49,63	35	36	19,72	20,30	49,69
41	42	20,02	20,35	49,63	41	42	20,02	20,29	49,63	41	42	20,02	20,31	49,69
43	44	20,12	20,16	49,63	43	44	20,12	20,11	49,63	43	44	20,12	20,18	49,69
49	50	20,34	20,42	49,63	49	50	20,34	20,35	49,63	49	50	20,34	20,46	49,69
53	54	20,56	20,70	49,63	53	54	20,56	20,66	49,63	53	54	20,56	20,70	49,69
55	56	20,63	20,53	49,63	55	56	20,63	20,51	49,63	55	56	20,63	20,59	49,69
57	58	20,72	20,64	49,63	57	58	20,72	20,65	49,63	57	58	20,72	20,67	49,69
65	66	21,13	20,50	49,63	65	66	21,13	20,47	49,63	65	66	21,13	20,52	49,69
67	68	21,25	20,59	49,63	67	68	21,25	20,56	49,63	67	68	21,25	20,62	49,69
69	70	21,33	20,67	49,63	69	70	21,33	20,68	49,63	69	70	21,33	20,72	49,69
71	72	21,47	20,82	49,63	71	72	21,47	20,75	49,63	71	72	21,47	20,82	49,69
77	78	21,83	21,02	49,63	77	78	21,83	20,95	49,63	77	78	21,83	21,06	49,69
81	82	22,04	20,80	49,63	81	82	22,04	20,79	49,63	81	82	22,04	20,82	49,69
93	94	22,47	19,97	49,63	93	94	22,47	19,95	49,63	93	94	22,47	20,00	49,69
105	106	22,98	20,27	49,63	105	106	22,98	20,24	49,63	105	106	22,98	20,33	49,69
111	112	27,88	20,29	49,63	111	112	27,88	20,28	49,63	111	112	27,88	20,32	49,69
Σ			20,45	49,63	Σ			20,42	49,63	Σ			20,47	49,69

Vypočítané zeměpisné souřadnice

15_09_11 [jednotky "]

délkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
11	12	18,61	20,42	49,76	11	12	18,61	20,39	49,80	11	12	18,61	20,45	49,72
13	14	18,67	20,42	49,85	13	14	18,67	20,39	49,85	13	14	18,67	20,45	49,85
17	18	18,88	20,42	49,97	17	18	18,88	20,39	50,08	17	18	18,88	20,45	49,91
19	20	18,96	20,42	49,64	19	20	18,96	20,39	49,64	19	20	18,96	20,45	49,64
21	22	19,05	20,42	49,92	21	22	19,05	20,39	49,94	21	22	19,05	20,45	49,93
37	38	19,78	20,42	49,63	37	38	19,78	20,39	49,65	37	38	19,78	20,45	49,57
39	40	19,87	20,42	49,28	39	40	19,87	20,39	49,32	39	40	19,87	20,45	49,27
45	46	20,19	20,42	49,54	45	46	20,19	20,39	49,56	45	46	20,19	20,45	49,55
47	48	20,25	20,42	49,46	47	48	20,25	20,39	49,43	47	48	20,25	20,45	49,45
51	52	20,44	20,42	49,78	51	52	20,44	20,39	49,88	51	52	20,44	20,45	49,75
59	60	20,77	20,42	49,45	59	60	20,77	20,39	49,45	59	60	20,77	20,45	49,49
61	62	20,92	20,42	49,56	61	62	20,92	20,39	49,57	61	62	20,92	20,45	49,54
63	64	20,98	20,42	49,67	63	64	20,98	20,39	49,60	63	64	20,98	20,45	49,66
73	74	21,62	20,42	49,57	73	74	21,62	20,39	49,51	73	74	21,62	20,45	49,58
75	76	21,71	20,42	49,94	75	76	21,71	20,39	49,97	75	76	21,71	20,45	50,00
83	84	22,14	20,42	49,29	83	84	22,14	20,39	49,17	83	84	22,14	20,45	49,36
85	86	22,20	20,42	49,83	85	86	22,20	20,39	49,83	85	86	22,20	20,45	49,83
87	88	22,26	20,42	49,81	87	88	22,26	20,39	49,74	87	88	22,26	20,45	49,87
89	90	22,32	20,42	49,64	89	90	22,32	20,39	49,60	89	90	22,32	20,45	49,65
91	92	22,38	20,42	49,51	91	92	22,38	20,39	49,47	91	92	22,38	20,45	49,60
95	96	22,55	20,42	49,58	95	96	22,55	20,39	49,51	95	96	22,55	20,45	49,63
97	98	22,62	20,42	49,55	97	98	22,62	20,39	49,48	97	98	22,62	20,45	49,57
99	100	22,67	20,42	49,28	99	100	22,67	20,39	49,25	99	100	22,67	20,45	49,37
101	102	22,74	20,42	49,44	101	102	22,74	20,39	49,42	101	102	22,74	20,45	49,48
103	104	22,81	20,42	49,80	103	104	22,81	20,39	49,74	103	104	22,81	20,45	49,84
107	108	23,05	20,42	49,28	107	108	23,05	20,39	49,28	107	108	23,05	20,45	49,28
113	114	28,05	20,42	49,31	113	114	28,05	20,39	49,17	113	114	28,05	20,45	49,43
115	116	28,19	20,42	49,54	115	116	28,19	20,39	49,54	115	116	28,19	20,45	49,61
Σ			20,42	49,60	Σ			20,39	49,59	Σ			20,45	49,62

Vypočítané zeměpisné souřadnice

26_09_11.1 ($\varphi+10''$) [jednotky "]

šířkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
11	12	18,30	19,90	49,66	11	12	18,30	19,83	49,65	11	12	18,30	20,03	49,67
23	24	18,56	20,12	49,66	23	24	18,56	20,11	49,65	23	24	18,56	20,16	49,67
27	28	18,66	20,09	49,66	27	28	18,66	19,99	49,65	27	28	18,66	20,22	49,67
41	42	19,03	19,89	49,66	41	42	19,03	19,76	49,65	41	42	19,03	20,04	49,67
Σ			20,00	49,66	Σ			19,92	49,65	Σ			20,11	49,67
délkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
5	6	18,12	20,39	48,78	5	6	18,12	20,35	48,80	5	6	18,12	20,39	48,77
9	10	18,19	20,39	49,02	9	10	18,19	20,35	49,04	9	10	18,19	20,39	48,99
19	20	18,45	20,39	49,64	19	20	18,45	20,35	49,73	19	20	18,45	20,39	49,33
35	36	18,84	20,39	49,87	35	36	18,84	20,35	49,90	35	36	18,84	20,39	49,87
39	40	18,90	20,39	49,31	39	40	18,90	20,35	49,26	39	40	18,90	20,39	49,32
Σ			20,39	49,32	Σ			20,35	49,35	Σ			20,39	49,26

26_09_11.2 ($\varphi-10''$) [jednotky "]

šířkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
25	26	19,62	19,99	49,66	25	26	19,62	19,98	49,65	25	26	19,62	19,98	49,67
33	34	19,84	19,99	49,66	33	34	19,84	19,98	49,65	33	34	19,84	19,95	49,67
37	38	19,90	19,98	49,66	37	38	19,90	19,95	49,65	37	38	19,90	19,90	49,67
47	48	20,20	20,14	49,66	47	48	20,20	20,18	49,65	47	48	20,20	20,09	49,67
53	54	20,41	20,31	49,66	53	54	20,41	20,31	49,65	53	54	20,41	20,30	49,67
Σ			20,08	49,66	Σ			20,08	49,65	Σ			20,04	49,67
délkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
17	18	19,41	20,39	50,26	17	18	19,41	20,35	50,22	17	18	19,41	20,39	50,23
19	20	19,47	20,39	49,76	19	20	19,47	20,35	49,76	19	20	19,47	20,39	49,74
21	22	19,53	20,39	49,41	21	22	19,53	20,35	49,47	21	22	19,53	20,39	49,40
49	50	20,26	20,39	49,87	49	50	20,26	20,35	49,83	49	50	20,26	20,39	49,86
Σ			20,39	49,83	Σ			20,35	49,82	Σ			20,39	49,81

Vypočítané zeměpisné souřadnice

26_09_11.3 ($\lambda+15''$) [jednotky "]

šířkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
7	8	21,19	20,15	49,66	7	8	21,19	20,13	49,65	7	8	21,19	20,23	49,67
13	14	21,37	20,25	49,66	13	14	21,37	20,20	49,65	13	14	21,37	20,29	49,67
17	18	21,50	20,23	49,66	17	18	21,50	20,23	49,65	17	18	21,50	20,28	49,67
55	56	22,61	20,32	49,66	55	56	22,61	20,24	49,65	55	56	22,61	20,35	49,67
Σ			20,24	49,66	Σ			20,20	49,65	Σ			20,29	49,67
délkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
3	4	20,91	20,39	49,84	3	4	20,91	20,35	49,76	3	4	20,91	20,39	49,90
5	6	20,98	20,39	49,63	5	6	20,98	20,35	49,62	5	6	20,98	20,39	49,66
11	12	21,26	20,39	50,03	11	12	21,26	20,35	49,98	11	12	21,26	20,39	50,38
21	22	21,60	20,39	49,95	21	22	21,60	20,35	49,88	21	22	21,60	20,39	50,04
23	24	21,66	20,39	50,37	23	24	21,66	20,35	50,24	23	24	21,66	20,39	50,40
33	34	21,95	20,39	50,06	33	34	21,95	20,35	49,97	33	34	21,95	20,39	50,22
Σ			20,39	49,98	Σ			20,35	49,91	Σ			20,39	50,10

26_09_11.4 ($\lambda-15''$) [jednotky "]

šířkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
9	10	23,75	20,13	49,66	9	10	23,75	20,11	49,65	9	10	23,75	20,14	49,67
21	22	24,14	20,08	49,66	21	22	24,14	19,99	49,65	21	22	24,14	20,10	49,67
33	34	24,66	20,13	49,66	33	34	24,66	20,15	49,65	33	34	24,66	20,15	49,67
37	38	24,79	19,91	49,66	37	38	24,79	19,88	49,65	37	38	24,79	19,97	49,67
Σ			20,06	49,66	Σ			20,03	49,65	Σ			20,09	49,67
délkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
5	6	23,64	20,39	48,65	5	6	23,64	20,35	48,82	5	6	23,64	20,39	48,62
25	26	24,26	20,39	50,04	25	26	24,26	20,35	50,11	25	26	24,26	20,39	49,98
27	28	24,39	20,39	50,15	27	28	24,39	20,35	50,27	27	28	24,39	20,39	50,05
29	30	24,45	20,39	49,35	29	30	24,45	20,35	49,44	29	30	24,45	20,39	49,17
31	32	24,52	20,39	49,91	31	32	24,52	20,35	49,84	31	32	24,52	20,39	49,72
Σ			20,39	49,62	Σ			20,35	49,70	Σ			20,39	49,51

Vypočítané zeměpisné souřadnice

26_09_11.5 (správné) [jednotky "]

šířkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
7	8	25,35	20,72	49,66	7	8	25,35	20,49	49,65	7	8	25,35	20,74	49,67
11	12	25,44	20,55	49,66	11	12	25,44	20,53	49,65	11	12	25,44	20,56	49,67
23	24	25,87	20,36	49,66	23	24	25,87	20,35	49,65	23	24	25,87	20,42	49,67
27	28	26,00	20,23	49,66	27	28	26,00	20,20	49,65	27	28	26,00	20,22	49,67
Σ		20,47	49,66	Σ	20,39	49,65	Σ	20,49	49,67					
délkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
3	4	25,16	20,39	49,50	3	4	25,16	20,35	49,53	3	4	25,16	20,39	49,51
15	16	25,52	20,39	50,32	15	16	25,52	20,35	50,23	15	16	25,52	20,39	50,39
31	32	26,09	20,39	49,52	31	32	26,09	20,35	49,44	31	32	26,09	20,39	49,61
35	36	26,21	20,39	49,38	35	36	26,21	20,35	49,40	35	36	26,21	20,39	49,44
Σ		20,39	49,68	Σ	20,35	49,65	Σ	20,39	49,74					

03_10_11.1 (φ+10") [jednotky "]

šířkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
11	12	17,63	20,45	49,79	11	12	17,63	20,35	49,81	11	12	17,63	20,52	49,77
17	18	17,74	20,52	49,79	17	18	17,74	20,40	49,81	17	18	17,74	20,63	49,77
37	38	18,20	19,82	49,79	37	38	18,20	19,67	49,81	37	38	18,20	19,88	49,77
41	42	18,25	20,22	49,79	41	42	18,25	20,06	49,81	41	42	18,25	20,31	49,77
43	44	18,39	20,17	49,79	43	44	18,39	20,12	49,81	43	44	18,39	20,27	49,77
Σ		20,24	49,79	Σ	20,12	49,81	Σ	20,32	49,77					
délkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
23	24	17,87	20,00	49,42	23	24	17,87	19,95	49,50	23	24	17,87	20,04	49,36
25	26	17,93	20,00	49,68	25	26	17,93	19,95	49,66	25	26	17,93	20,04	49,56
29	30	18,00	20,00	50,06	29	30	18,00	19,95	50,13	29	30	18,00	20,04	50,04
31	32	18,07	20,00	49,90	31	32	18,07	19,95	49,96	31	32	18,07	20,04	49,88
Σ		20,00	49,77	Σ	19,95	49,81	Σ	20,04	49,71					

Vypočítané zeměpisné souřadnice

03_10_11.2 ($\varphi-10''$) [jednotky "]

šířkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
5	6	18,64	19,90	49,79	5	6	18,64	19,95	49,81	5	6	18,64	19,90	49,77
17	18	18,94	19,77	49,79	17	18	18,94	19,82	49,81	17	18	18,94	19,76	49,77
27	28	19,16	20,12	49,79	27	28	19,16	20,14	49,81	27	28	19,16	20,10	49,77
35	36	19,38	20,22	49,79	35	36	19,38	20,24	49,81	35	36	19,38	20,16	49,77
Σ		20,00	49,79	Σ	20,04	49,81	Σ	19,98	49,77					
délkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
9	10	18,84	20,00	50,14	9	10	18,84	19,95	50,20	9	10	18,84	20,04	50,07
21	22	19,01	20,00	49,90	21	22	19,01	19,95	49,95	21	22	19,01	20,04	49,86
23	24	19,07	20,00	50,11	23	24	19,07	19,95	50,16	23	24	19,07	20,04	50,09
31	32	19,26	20,00	50,16	31	32	19,26	19,95	50,20	31	32	19,26	20,04	50,16
Σ		20,00	50,08	Σ	19,95	50,13	Σ	20,04	50,05					

03_10_11.3 ($\lambda+15''$) [jednotky "]

šířkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
3	4	19,74	20,05	49,79	3	4	19,74	20,03	49,81	3	4	19,7	20,09	49,8
13	14	20,07	20,09	49,79	13	14	20,07	20,08	49,81	13	14	20,1	20,15	49,8
17	18	20,17	19,96	49,79	17	18	20,17	19,88	49,81	17	18	20,2	20,04	49,8
21	22	20,29	20,39	49,79	21	22	20,29	20,34	49,81	21	22	20,3	20,43	49,8
Σ		20,12	49,79	Σ	20,08	49,81	Σ	20,18	49,77					
délkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
5	6	19,80	20,00	49,92	5	6	19,80	19,95	49,84	5	6	19,80	20,04	50,03
7	8	19,90	20,00	49,43	7	8	19,90	19,95	49,35	7	8	19,90	20,04	49,50
11	12	19,97	20,00	50,21	11	12	19,97	19,95	50,19	11	12	19,97	20,04	50,20
27	28	20,44	20,00	50,05	27	28	20,44	19,95	49,90	27	28	20,44	20,04	50,14
Σ		20,00	49,90	Σ	19,95	49,82	Σ	20,04	49,97					

Vypočítané zeměpisné souřadnice

03_10_11.4 (λ -15")

šířkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
3	4	20,91	20,15	49,79	3	4	20,91	20,04	49,81	3	4	20,91	20,19	49,77
7	8	21,03	19,96	49,79	7	8	21,03	19,89	49,81	7	8	21,03	20,01	49,77
15	16	21,30	19,80	49,79	15	16	21,30	19,77	49,81	15	16	21,30	19,87	49,77
27	28	21,68	20,12	49,79	27	28	21,68	20,08	49,81	27	28	21,68	20,13	49,77
Σ			20,01	49,79	Σ			19,95	49,81	Σ			20,05	49,77
délkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
1	2	20,80	20,00	49,67	1	2	20,80	19,95	49,85	1	2	20,80	20,04	49,70
11	12	21,14	20,00	50,16	11	12	21,14	19,95	50,26	11	12	21,14	20,04	50,11
13	14	21,20	20,00	50,23	13	14	21,20	19,95	50,36	13	14	21,20	20,04	50,10
19	20	21,37	20,00	50,23	19	20	21,37	19,95	50,30	19	20	21,37	20,04	50,11
21	22	21,44	20,00	49,74	21	22	21,44	19,95	49,86	21	22	21,44	20,04	49,63
23	24	21,49	20,00	49,87	23	24	21,49	19,95	49,96	23	24	21,49	20,04	49,81
25	26	21,57	20,00	49,62	25	26	21,57	19,95	49,75	25	26	21,57	20,04	49,53
Σ			20,00	49,93	Σ			19,95	50,05	Σ			20,04	49,86

03_10_11.5 (správně)

šířkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
3	4	22,03	19,88	49,79	3	4	22,03	19,79	49,81	3	4	22,03	19,91	49,77
15	16	22,33	20,00	49,79	15	16	22,33	19,93	49,81	15	16	22,33	20,04	49,77
19	20	22,48	20,09	49,79	19	20	22,48	20,06	49,81	19	20	22,48	20,10	49,77
21	22	22,58	20,04	49,79	21	22	22,58	20,00	49,81	21	22	22,58	20,10	49,77
Σ			20,00	49,79	Σ			19,95	49,81	Σ			20,04	49,77
délkové páry														
správně				PxZenit +0,05				PxZenit -0,05						
pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka	pár	čas	šířka	délka			
1	2	21,95	20,00	49,63	1	2	21,95	19,95	49,65	1	2	21,95	20,04	49,57
7	8	22,10	20,00	49,81	7	8	22,10	19,95	49,82	7	8	22,10	20,04	49,78
11	12	22,16	20,00	49,64	11	12	22,16	19,95	49,66	11	12	22,16	20,04	49,64
13	14	22,27	20,00	49,89	13	14	22,27	19,95	49,86	13	14	22,27	20,04	49,88
17	18	22,40	20,00	50,12	17	18	22,40	19,95	50,15	17	18	22,40	20,04	50,10
Σ			20,00	49,82	Σ			19,95	49,83	Σ			20,04	49,79