



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

KONSTRUKCE PARALAKTICKÉ VIDLICOVÉ
MONTÁŽE ASTRONOMICKÉHO DALEKOHLEDU
CONSTRUCTION OF EQUATORIAL FORK MOUNT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JIŘÍ TŮMA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JAN PAVLÍK

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jiří Tůma

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Konstrukce paralaktické vidlicové montáže astronomického dalekohledu

v anglickém jazyce:

Construction of Equatorial Fork Mount

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte konstrukční řešení montáže astronomického dalekohledu s nosností cca 20kg vidlicového typu a to včetně náhonu obou os.

Cíle diplomové práce:

-Důkladná analýza problematiky

-Návrh variant řešení

-Výpočtová dokumentace, konstrukční návrh - 3D model, výkresová dokumentace vybraných částí.

Seznam odborné literatury:

www.meade.com

www.takahashi-europe.com

www.vixen-europe.com

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Pavlík

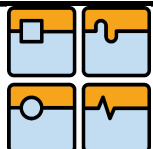
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 18.11.2009

L.S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

**Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá návrhem paralaktické vidlicové montáže astronomického teleskopu. Problematika zařízení pro pozorování vesmírných objektů je důkladně analyzována. Závěry analýzy jsou přeneseny do konstrukčního návrhu. Důležitými aspekty jsou přesnost chodu a vysoké rozlišení montáže. Tyto parametry jsou srovnávány se sériově vyráběnými montážemi.

Abstract

This master's thesis deals with design of equatorial fork mount for astronomical telescope. The issue of space object watching equipment is deeply analysed. The enclosures of analysis are used in design project. Important aspects are accuracy of motion and high resolution of mount. These parameters are compared with series manufactured equatorial mounts.

Klíčová slova

Paralaktická vidlicová montáž, teleskop, rozlišení, polární osa, deklinační osa

Key words

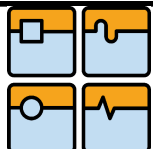
Equatorial fork mount, telescope, resolution, polar axis, declination axis



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bibliografická citace

TŮMA, J. *Konstrukce paralaktické vidlicové montáže astronomického dalekohledu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 85 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Pavlík.



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci Konstrukce paralaktické vidlicové montáže astronomického dalekohledu vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Pavlíka a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární a odborné zdroje

V Brně dne 28. května 2010

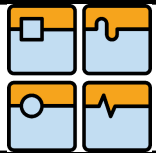
 Jiří Tůma



DIPLOMOVÁ PRÁCE

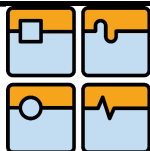
Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Pavlíkovi za odborné a systematické vedení diplomové práce a věcné připomínky. Dále pak děkuji svým rodičům za podporu během studia na vysoké škole.



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Large empty rectangular area for the diploma work content.



Obsah

1. Úvod.....	9
2. Souřadnice v astronomii.....	10
2.1 Souřadnice v nebeské mechanice dělíme podle různých kritérií na tyto základní skupiny:.....	10
2.1.1 Podle systému souřadnic.....	10
2.1.2 Podle polohy základní roviny na.....	10
3. Pohyby země.....	15
3.1.1 Pohyb kolem slunce.....	15
3.1.2 Pohyb kolem zemské osy.....	15
3.1.3 Precese zemské osy	16
4. Teleskopy.....	17
4.1 Refraktory.....	17
4.2 Reflektory.....	18
4.2.1 Newtonův dalekohled	19
4.2.2 Gregoryho dalekohled	19
4.2.3 Cassegrainův dalekohled	19
4.2.4 Schmidtova komora	20
4.2.5 Maksutovova komora	20
4.2.6 Schmidt-Cassegrain	20
4.2.7 Ritcheyho-Chrétienův teleskop.....	21
5. Montáže astronomických teleskopů.....	22
5.1 Členění montáží pro astronomické teleskopy.....	22
5.1.1 Z hlediska použití členíme montáže na.....	22
5.1.2 Z hlediska systému souřadnic dělíme montáže na:.....	23
5.2 Ustavení paralaktické montáže.....	24
5.2.1 Jednoduché ustavení.....	24
5.2.2 Scheinerova metoda	25
5.2.3 Nastavení deklinačního a hodinového děleného kruhu	26
5.3 Konstrukční typy montáží teleskopu	26
5.3.1 Německá montáž	27
5.3.2 Anglická osová montáž	27
5.3.3 Vidlicová montáž	27
5.3.4 Dobsonova montáž.....	28
5.3.5 Rámová montáž	29
5.3.6 Split ring montáž (dělený kruh).....	29
5.4 Konstrukční provedení vidlicové montáže.....	30
5.4.1 S nastavitelným sklonem polární osy.....	30
5.4.2 S pevnou základnou.....	31
5.5 Chyby ekvatoriální montáže	31
5.5.1 Zdroje nepřesnosti ekvatoriální montáže.....	31
5.5.2 Periodická chyba (PE).....	32
5.5.3 Kompenzace chyby montáže	33
5.6 Pohon vidlicové montáže.....	34
5.6.1 Uspořádání pohonné soustavy paralaktické montáže.....	35
5.6.2 Polohování os.....	37
6. Konstrukce vidlicové paralaktické montáže	42
6.1 Varianta 1.....	43

6.1.1 Vidlice.....	44
6.1.2 Rám.....	45
6.1.3 Pohony a převody.....	46
6.1.4 Zhodnocení Varianty 1.....	47
6.2 Konstrukce montáže na základě poznatků z varianty 1.....	48
6.2.1 Vidlice.....	48
6.2.2 Stojan.....	52
6.3 Pohonná soustava montáže.....	53
6.3.1 Pohon polární osy.....	53
6.3.1.1 Návrh motorů polární osy.....	53
6.3.1.2 Výpočet šnekového soukolí polární osy.....	56
6.3.1.3 Realizace přenosu kroutícího momentu z motoru na šnek.....	59
6.3.1.4 Odměrování polohy polární osy.....	62
6.3.1.5 Přehled rozlišení systému v závislosti na průměru prstence Renishaw.....	64
6.3.1.6 Konstrukční provedení pohonu polární osy.....	65
6.3.1.7 Uložení polární osy.....	66
6.3.2 Pohon deklinační osy.....	67
6.3.2.1 Návrh motoru pro pohon deklinační osy	67
6.3.2.2 Výpočet šnekového soukolí deklinační osy.....	68
6.3.2.3 Realizace přenosu kroutícího momentu na šnek.....	72
6.3.2.4 Uchycení ložisek šneků deklinační osy.....	73
6.3.2.5 Odměrování deklinační osy.....	74
6.3.2.6 Uložení deklinační osy.....	74
6.3.2.7 Uchycení teleskopu k deklinační ose.....	76
6.3.3 Vedení elektrických kabelů.....	77
6.4 Finální podoba montáže.....	78
7. Závěr.....	79
8. Seznam použité literatury.....	80



1. Úvod

Již od pradávna se lidé při pohledu na hvězdné nebe zabývali úvahami na co se to vlastně dívají. Vesmírným tělesům přisuzovali různé magické vlastnosti. V antickém Řecku jejich uskupení (suhvězdí) připomínaly mýtické postavy a božstva, jež známe dodnes.

Nicméně i v dobách prvního století n.l. se objevil v Číně názor, že Země je kulatá. To napovídá o pokrokovějším způsobu vnímání Země než v Evropě v 16. století. Evropa vůbec v tomto ohledu poněkud pokulhávala zejména díky silnému vlivu církve, která nové myšlenky na toto téma příliš nepodporovala. Dokonce několik prvních astronomů nechala upálit, protože jejich myšlenky popíraly tehdejší všeobecně uznávaný geocentrický názor, který říkal, že Země je placka ohraničená obzorem a hvězdy jsou zavěšené na nebeské klenbě.

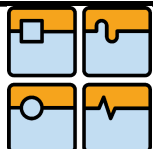
Prvním, kdo geocentrický názor veřejně zpochybnil svým dílem Šest knih o obězích sfér nebeských byl polský kněz Mikuláš Koperník. Tímto odstartoval velikou vlnu diskuzí. Tato kniha byla dalších sto let po vydání církví považována za nepřijatelnou, ale přesto přinesla základní obrat v chápání místa člověka v kosmu. Na myšlenky Koperníka po jeho smrti navázal Johannes Kepler, který působil již v liberárnějším prostředí rudolfinské éry. Jeho objevy a vynálezy jsou stále aktuální. Dal totiž světu 3 Keplerovy zákony a sestrojil refraktor, jehož princip je dodnes používán.

Na vývoji lidského smýšlení o vesmíru měla podíl ještě celá řada obevitelů. Isaac Newton, který položil základy fyziky a které byly zpochybněny až o 400 let později Albertem Einsteinem, Galileo Galilei, objevitel kráterů na měsíci a autor věty: „A přece se točí“.

Výše jmenovaní a mnozí další objevitelé a vynálezci přicházeli se svými objevy o vesmíru díky velké moudrosti, jíž oplývali a díky přístrojům, které jim umožňovaly přiblížit vesmírná tělesa. V těch dobách jim bohužel technické zázemí nepřálo natolik, aby tyto nasbírané data mohli publikovat například pomocí fotografie.

Touha po poznání vesmíru žene lidstvo k vývoji čím dál dokonalejších zařízení. Státy jsou ochotné investovat miliardy do projektů jako Hubbleův vesmírný dalekohled, observatoř Mauna Kea a Paranal Observatory v Chile. Tyto investice nejsou příliš ekonomicky přínosné, jejich význam spočívá v posouvání hranic lidského chápání. Čím lepší obrazy planet, glaxií, mlhovin a rodících se hvězd získáváme tím více si uvědomujeme, že tak rozsáhlému systému nebude ještě dlouho zcela porozuměno.

Tato práce má za cíl vytvořit zařízení, které by sloužilo lidem pro porozumění alespoň základů toho co dnes lidstvo o vesmíru ví. I toto zařízení si zaslouží adekvátní technickou úroveň, neboť zvětšení moderních teleskopů je tak veliké, že i drobné nepřesnosti jako například vůle v převodovém ústrojí či periodická chyba při sledování hvězdy může znehodnotit snímek během expozice. Pro dosažení odpovídajících vlastností snímků pořízených teleskopem dle zadání je třeba dodržet bezvůlovost šnekových soukolí a rozlišení pod 1", které zajistí navržená paralaktická vidlicová montáž.



2. Souřadnice v astronomii

Pro pozorování vesmírných objektů je nutné se zorientovat v prostoru tak, aby bylo možné definovat určitou polohu tělesa vůči Zemi. Musí být možné tuto souřadnici opětovně najít. Toto může být trochu problém, vezmeme-li v úvahu fakt, že vesmír je soustava navzájem se pohybujících těles. Tyto tělesa se ale pohybují podle určitých zákonitostí, které definoval pan Kepler. Z těchto zákonitostí můžeme usoudit, že se všechna vesmírná tělesa pohybují kolem těles s mnohem větší hmotností v porovnání s nimi samotnými a leží v jejich gravitačním poli a to převážně po eliptických drahách.

2.1 Souřadnice v nebeské mechanice dělíme podle různých kritérií na tyto základní skupiny:

2.1.1 Podle systému souřadnic

Pravoúhlý systém souřadnic

„obvykle značíme X , Y , Z . Souřadnicové osy jsou na sebe kolmé a ve většině případů uvažujeme tzv. pravotočivý systém: jestliže zahnuté prsty pravé ruky směřují od osy X k ose Y , pak vztyčený palec ukazuje ve směru osy Z (to lze definovat také pomocí vektorového součinu - jestliže x , y a z jsou jednotkové vektory ve směru souřadných os, pak platí: $z = x \times y$).

Sférický systém souřadnic

určující jednoznačně polohu bodu na kouli. Protne-li kouli rovinou, která prochází jejím středem, dostaneme na povrchu koule tzv. **hlavní kružnici**, jejíž poloměr se rovná poloměru koule. Zvolíme-li si jednu z rovin, procházejících hlavními kružnicemi, za **základní rovinu** a na hlavní kružnici jí vytyčenou na kouli bod, který nazveme **počátkem souřadnic**, můžeme polohu jiného bodu na kouli vzhledem k počátku vyjádřit dvěma souřadnicemi. První souřadnici, označme ji obecně **délka**, určíme jako odchylku dvou rovin kolmých k základní rovině a procházejících středem koule, z nichž jedna prochází počátkem souřadnic a druhá prochází daným bodem.

Druhou souřadnici, obecně **šířka**, určíme jako odchylku přímky procházející středem koule a daným bodem od základní roviny.

Pokud neurčíme polohu bodu na kouli (např. nebeské sféře), ale v prostoru, zavádíme ještě vzdálenost od počátku (těž průvodič, radius) r . V tomto případě ovšem rozumíme počátkem střed koule.“ [1]

2.1.2 Podle polohy základní roviny na

Rovníkové

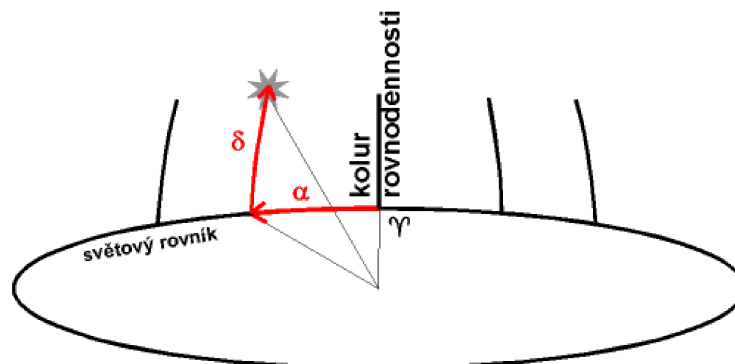
„jehož základní rovinou je rovina zemského rovníku, kolmá k ose rotace Země. Tato rovina protíná nebeskou sféru (pomyslnou kouli o nekonečném poloměru) v hlavní kružnici, zvané **nebeský rovník**. Každá kružnice na nebeské sféře, rovnoběžná s rovníkem, se nazývá **paralela**



DIPLOMOVÁ PRÁCE

(obdoba zemských rovnoběžek). Přímka, jež je prodloužením zemské osy, protíná nebeskou sféru ve dvou nebeských pólech, severním a jižním. Každá hlavní kružnice procházející oběma póly se nazývá **deklinační kružnice** (obdoba zemských poledníků). Z nich deklinační kružnice procházející na obloze zenitem (nadhlavníkem) a současně bodem na obzoru, směřujícím k jihu, je **meridián**. Počátkem souřadnic je **jarní bod** (značka Υ). To je bod, ve kterém se nachází na nebeské sféře Slunce v okamžiku jarní rovnodennosti (většinou 20. března; ve starých učebnicích psáno ještě 21.3.). Určuje ho průsečík nebeského rovníku a ekliptiky.

Poloha tělesa (hvězdy, planety) na nebeské sféře je určena dvěma souřadnicemi, které nazýváme **rektascenze** (α) a **deklinace** (δ).

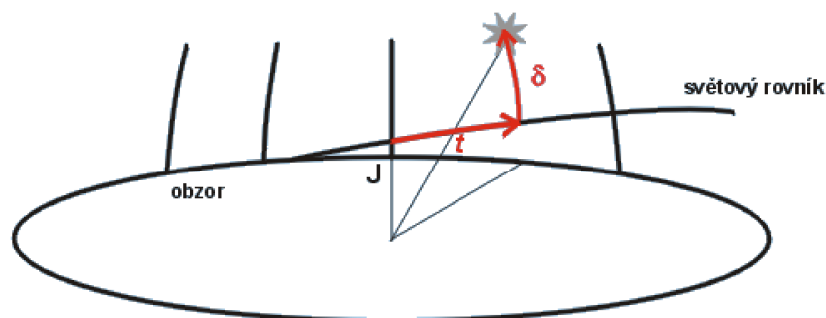


Obr. 1: Rovníkové souřadnice 2.druhu [19]

Souřadnici α definujeme jako úhel, který svírá deklinační kružnice tělesa s deklinační kružnicí procházející jarním bodem.

Rektascenzi měříme v hodinách, což je úhel, o který se pootočí hvězdná obloha za jednu hodinu ($1\text{ h} = 15^\circ$), minutách a sekundách kladně proti směru denního pohybu oblohy (tedy ve směru západ \rightarrow jih \rightarrow východ \rightarrow sever). Souřadnice δ je úhlová vzdálenost paralely, na níž těleso leží, od rovníku. Počítáme ji kladně k severu od 0° do 90° a záporně k jihu.

Tyto souřadnice nejsou závislé na denním pohybu oblohy, u planet se mění za den nejvýše řádově o desítky úhlových minut, u hvězd řádově desítky úhlových sekund za rok. Udávají vlastně polohu tělesa na pomyslném hvězdném glóbu. Neboli bude-li se pozorovatel nacházet v prostoru na místě Země a nebude rotovat s jejím povrchem, jediný pohyb těles v prostoru,



Obr. 2: Rovníkové souřadnice 1.druhu [19]

který uvidí, bude charakterizován změnou rovníkových souřadnic. Právě z tohoto důvodu se tyto souřadnice nemění s otáčením Země a s denní dobou a proto nejsou vhodné pro výpočet poloh na skutečné, z daného místa na zemském povrchu pozorovatelné, oblohy. Místo



DIPLOMOVÁ PRÁCE

rektascenze zavádíme tedy novou souřadnici, **hodinový úhel** t . Je to úhel, který svírá deklinační kružnice tělesa s meridiánem.

Hodinový úhel vyjadřujeme v časové míře (hodinách), ve směru denního pohybu oblohy (tedy ve směru východ \rightarrow jih \rightarrow západ \rightarrow sever)

Hodinový úhel pro každé těleso na obloze vzrůstá s časem. Závislost mezi hodinovým úhlem t a rektascenzí α určíme jako **hvězdný čas**

$$Q = \alpha + t,$$

což je hodinový úhel jarního bodu. To znamená, že v okamžiku svrchního průchodu jarního bodu meridiánem je $0^h 0^m 0^s$ hvězdného času.

Hvězdný čas pro daný okamžik se určuje numericky, z pozorování je odvozena přibližná aproximace pro jeho výpočet v závislosti na datu. Při určení místního hvězdného času pro daný okamžik postupujeme takto:

Určíme T - časový okamžik vyjádřený v juliánských stoletích od standardní epochy J2000.0:

$$T = (JD_0 - 2451\,545.0) / 36\,525,$$

kde JD_0 je juliánské datum pro daný den v 0 h světového času (UT).

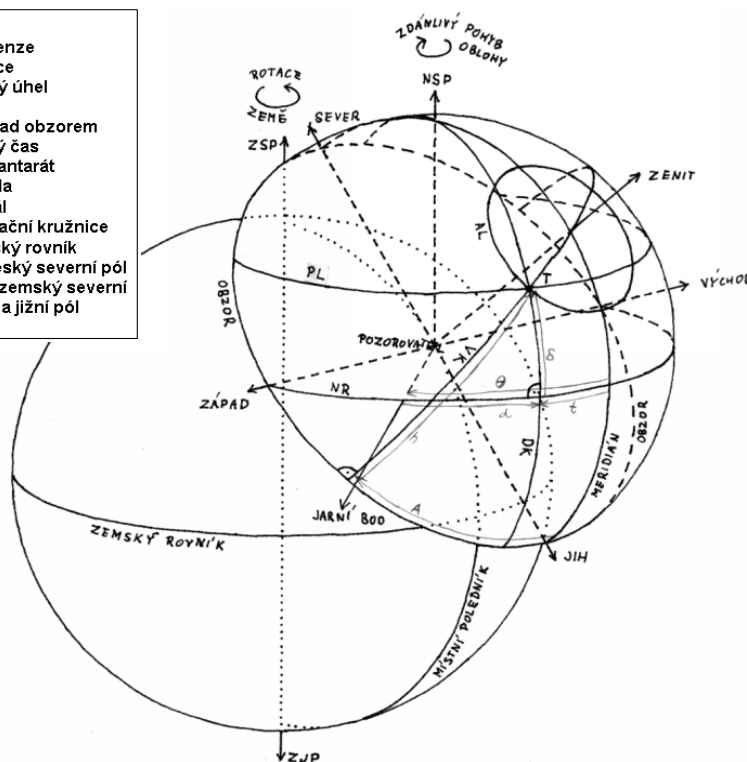
Vypočítáme S_0 - hvězdný čas v Greenwichi v 0 h UT:

$$S_0 = 6.697\,374\,558 + 2400.051\,336\,91 T + 0.000\,025\,862 T^2 - 0.000\,000\,0017 T^3$$

(hodnotu S_0 je třeba převést do intervalu 0 - 24 hodin).
Místní hvězdný čas v občanském (v praxi běžně užívaném) čase t je dán výrazem

$$S = S_0 + L.002\,737\,9093 t + P + l/15,$$

T - těleso
α - rektascenze
δ - deklinace
t - hodinový úhel
A - azimut
h - výška nad obzorem
Θ - hvězdný čas
AL - almukantarát
PL - paralela
VK - vertikál
DK - deklinační kružnice
NR - nebeský rovník
NSP - nebeský severní pól
ZSP, ZJP - zemský severní a jižní pól



Obr. 3: Přehled pojmů [1]



kde L je zeměpisná délka pozorovacího místa a P je rozdíl místního pásmového a světového času.

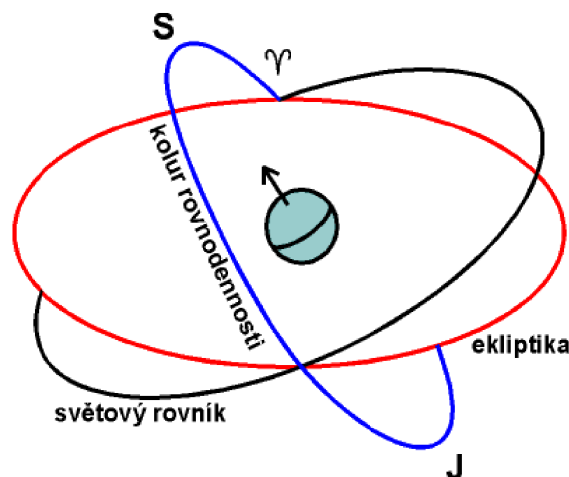
Ekliptikální

mají jako základní rovinu ekliptiky (rovnoběžná s rovinou oběhu Země kolem Slunce). U sférických je počátkem souřadnic jarní bod a souřadnice nazýváme **ekliptikální délka** (l) a **ekliptikální šířka** (b).

-**Ekliptikální délku** počítáme od jarního bodu od 0° do 360° kladně ve směru a) ročního pohybu Slunce po nebeské sféře (od východu k západu) (při použití na nebeské sféře pozemského pozorovatele)

b) ve směru oběhu Země kolem Slunce (při použití v prostoru pro pohyb těles ve Sluneční soustavě) (Oba úhly vyjadřují v podstatě totéž.)

-**Ekliptikální šířku** měříme od ekliptiky od 0° do 90° směrem k severnímu pólu ekliptiky, od 0° do -90° směrem k jihu. U pravoúhlých míří osa X k jarnímu bodu, osa Z k severnímu pólu ekliptiky.



Obr. 4: Ekliptikální souřadnice [19]

Azimutální

mají za základní rovinu rovnoběžnou s geometrickým obzorem v místě pozorovatele na zemském povrchu.

Je to Systém sférických souřadnic, jehož základní rovinou je rovina obzoru, kolmá ke směru zemské tíže v místě pozorování. Tato rovina protíná oblohu v hlavní kružnici zvané **obzor**. Vertikální přímka, tažená v prodlouženém směru tížnice, protíná oblohu ve dvou bodech: v **zenitu** (nadhlavníku) a **nadiru** (podnožníku). Každá hlavní kružnice procházející zenitem a nadirem se nazývá **vertikál**. Vertikál procházející nebeskými póly (meridián) protíná obzor v severním a jižním bodě. Počátek obzorníkových souřadnic je jižní bod. Všechny kružnice rovnoběžné s obzorem se nazývají **almukantaráty**.

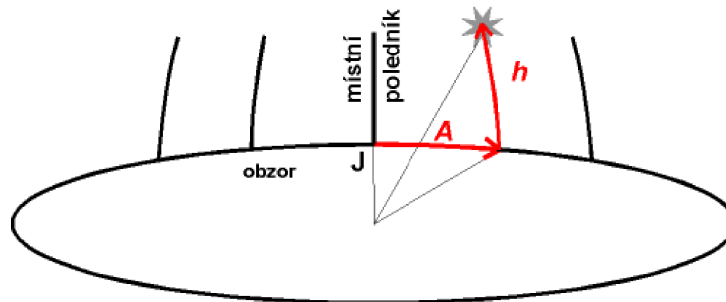
Poloha tělesa na obloze je určena dvěma souřadnicemi, které nazýváme **azimut** A a **výška nad obzorem** (úhlová) h .

A je úhel, který svírá vertikál procházející tělesem s meridiánem.



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Azimut počítáme v astronomii (tzv. astronomický azimut) kladně od jihu směrem k západu od 0° do 360° .



Obr. 5: Azimutální souřadnice [19]

Druhá souřadnice h je úhlová vzdálenost almukantaráty, procházející tělesem, od obzoru. Počítá se kladně od obzoru k zenitu od 0° do 90° , záporně od obzoru k nadiru.

Podle polohy počátku souřadnic na

Topocentrické

mají počátek v místě pozorovatele na povrchu Země o dané nadmořské výšce a zeměpisných souřadnicích. Uplatňují se zejména při určování zdánlivé polohy Měsíce a blízkých planetek, kdy geocentrické souřadnice nejsou dostatečným přiblížením.

Geocentrické

mají počátek ve středu Země.

Baryocentrické

mají počátek

a) v těžišti systému Země - Měsíc.

b) v těžišti Sluneční soustavy (které není přesně ve středu Slunce).“

[1]



3. Pohyby země

Země, tedy pozorovací stanoviště astronomů, pro něž je určena montáž, která je předmětem této práce vykonává v rámci sluneční soustavy tři pohyby

3.1.1 Pohyb kolem slunce

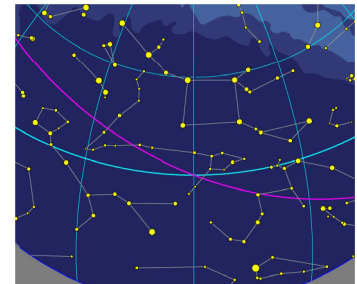
Tento pohyb zapříčiňuje proměnlivost sortimentu vesmírných objektů, které jsou pozorovatelné z jedné zeměpisné oblasti



Obr. 6: Jarní obloha [20]



Obr. 7: Letní obloha [20]



Obr. 8: Podzimní obloha [20]



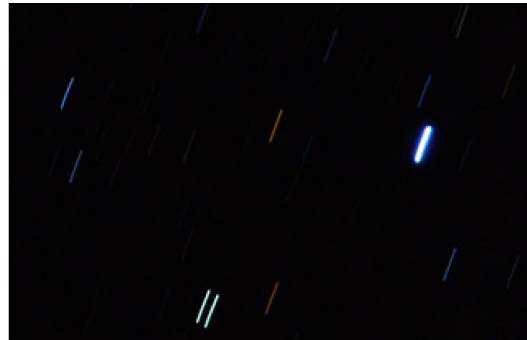
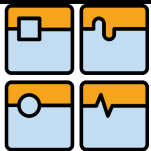
Obr. 9: Zimní obloha [20]



Obr. 10: Obtočná hvězdná mapa [20]

3.1.2 Pohyb kolem zemské osy

Pohyb zapříčiňující proměnlivost pozorovacích podmínek především díky změně světla v relativně krátkém časovém úseku (střídání dne a noci). Také působí veliký problém například při pořizování fotografií vesmírných těles na velmi dlouhý čas expozice a při velikém zvětšení tím, že tělesa takzvaně utíkají z obrazu a při špatném nastavení pohybu a ustavení montáže vznikají na snímcích místo zářících hvězd rozmazané čáry.



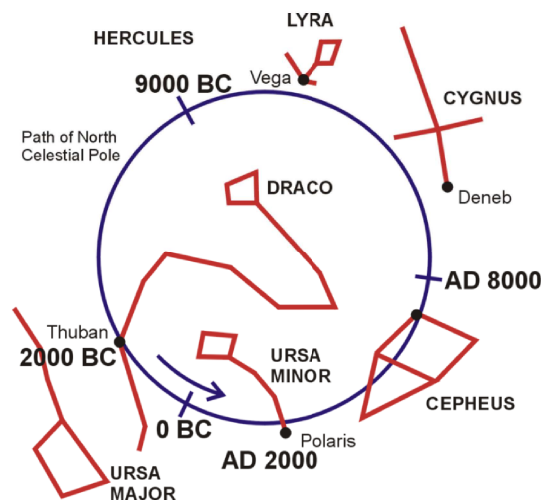
Obr. 11: Obrázek pořízený špatně ustavenou montáží [21]

3.1.3 Precese zemské osy

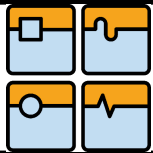
[2]

je krouživý pohyb zemské osy přibližně po plášti dvojkužele. Je to speciální případ obecného fyzikálního jevu, pozorovaného u rotujících hmotných těles. Na precesi zemské osy mají vliv ostatní hmotná tělesa v okolí Země. Při popisu tohoto jevu uvažujeme 2 složky lunisolární precese zemské osy (vlivem působení Měsíce 60% a Slunce 40%), která má roční výkyv o $50,4''$ a planetární precese zemské osy (vlivem všech ostatních hmotných těles v dosahu), která má roční výkyv $0,46''$. Složením vzniká všeobecná (generální) precese o ročním výkyvu $50,26''$. Díky tomu se nebeský (světový) pól vrátí přibližně na dnešní místo za 25 800 let. Tuto periodu nazýváme Platónský rok.

Pro astrometrická měření poloh nebeských objektů má precese velký význam, protože způsobuje posun jarního bodu, který je spolu s nebeským pólem výchozím bodem pro rovníkové souřadnice používané pro stanovení poloh hvězd, planet a dalších nebeských objektů.



Obr. 12: Precese Zemské osy [2]



4. Teleskopy

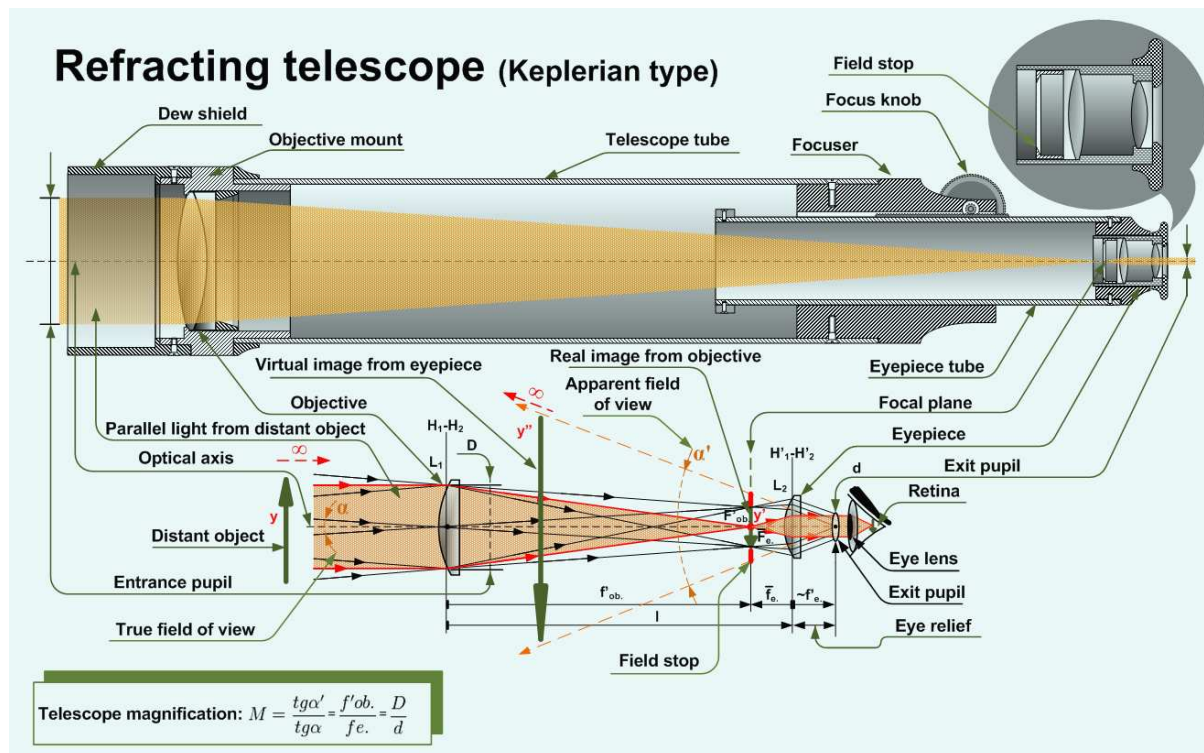
Pro pozorování velmi vzdálených vesmírných těles je nutností používat optické přístroje takové kvality, aby dokázaly daný objekt patřičně zvětšit. Toto ale s sebou nese řadu problémů spojených s kvalitou optických přístrojů, neboť při velikém zvětšení se projeví řada vad, kterými mohou optické přístroje trpět. Z toho důvodu je nutné si předem ujasnit pro jaký účel bude přístroj určen. Zda pro pouhé pozorování, nebo pro fotografii vesmírných objektů. Na trhu je celá řada optických přístrojů pro pozorování vesmírných těles, lišících se především konstrukčním principem a zpracováním optických prvků přístroje, popřípadě jejich kombinace.

Uvažujeme-li teleskopy jako zařízení pro pozorování vesmírných objektů, pak je nutné je rozčlenit na 2 hlavní skupiny:

4.1 Refraktory

Optické přístroje tvořené dlouhým tubusem a soustavou čoček, které zvětšují objekty dle vlastností čoček a jejich vzájemné polohy. Většinou se jedná o soustavu dvou čoček, kde první, vstupní čočka (objektiv) díky svému vypuklému tvaru láme svazek rovnoběžných paprsků směrem do ohniska této čočky. Ohniskové vzdálenosti musí být přizpůsoben tubus refraktoru tak, aby ohnisko leželo uvnitř tubusu, v ohniskové vzdálenosti druhé, sekundární čočky (okuláru). Tato sekundární čočka je menší oproti primární, má také menší ohniskovou vzdálenost a zpracovává obraz z objektivu tak, že láme svazek různoběžných paprsků na svazek různoběžných paprsků, přičemž vytváří zvětšený obraz pozorovaného objektu. Konstrukce výstupního okuláru je uzpůsobena tak, aby ohnisková vzdálenost byla na sítnici oka pozorovatele.

Refraktory byly jedněmi z prvních optických přístrojů použitých pro pozorování vesmíru. Vynálezcem byl Hans Lippershey, který si nechal koncepci roku 1608 patentovat. O využití v praxi se ale postaral Galileo Galilei, který prostřednictvím tohoto přístroje učinil značné objevy v astronomii, díky kterým se dostal do nemalých problémů s církví. V současnosti se převážně používají refraktory Keplerova typu.



Obr. 13: Refraktor Keplerova typu [22]

Tento typ teleskopu bývá použit především ve sféře amatérských astronomů, protože skleněné čočky s sebou nesou jisté nevýhody a tou je barevná vada, projevující se jako modrý nebo fialový okraj kolem jasných objektů (moderní apochromatické refraktory tuto vadu korigují na neznatelnou úroveň. Tato vada se jmenuje sférická aberace. Jedná se o optickou vadu zobrazení refraktorů, kdy se světelné paprsky na okraji čočky lámou víc, než poblíž optické osy.

Další nevýhodou je vysoká hmotnost, veliké rozměry a sklon k rosení čoček, malé zorné pole a nízká světelnost.

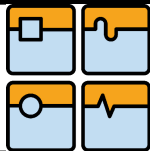
4.2 Reflektory

[3]

Reflektory jsou optické přístroje, využívající systému zrcadel k vytváření zvětšeného obrazu vzdáleného objektu. Jejich nástup byl nutný z důvodu nedokonalosti optických přístrojů využívajících systému čoček. Prvním člověkem provádějícím experimenty se zvětšováním vzdálených objektů pomocí systému konkávních bronzových zrcadel byl italský profesor Niccolò Zucchi už roku 1616.

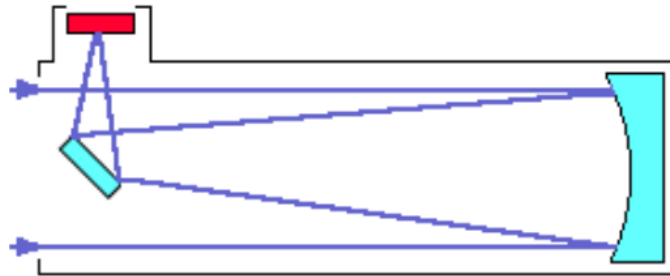
Hlavní výhodou oproti refraktorům je minimální aberace přístroje a díky krátkému a širokému tubusu mají velmi dobrý zisk světla. Optická aberace díky snadněji vyrobitelným zrcadlům je redukována na neznatelnou úroveň.

Díky velkým výhodám tohoto principu vzniklo mnoho druhů vnitřní konstrukce reflektorů.



4.2.1 Newtonův dalekohled

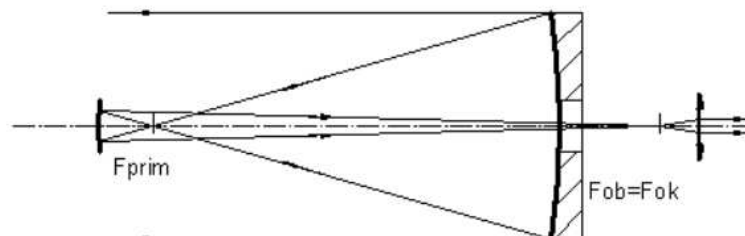
„Zrcadlový dalekohled, jehož objektivem je parabolické zrcadlo. Obraz objektu se pozoruje okulárem na boku tubusu po odrazení na pomocném rovinném zrcadle skloněném pod úhlem 45° na osu hlavního zrcadla. Obraz je stranově i výškově převrácený.“ [3]



Obr. 14: Newtonův dalekohled [3]

4.2.2 Gregoryho dalekohled

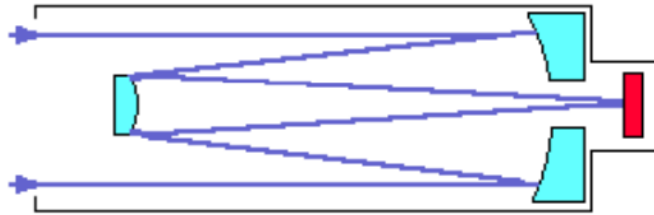
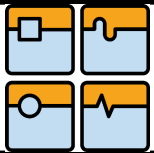
„Zrcadlový dalekohled z velkého konkávního parabolického zrcadla uprostřed provrtaného, ze kterého se světelné paprsky odrážely na malé pomocné eliptické zrcadlo. Obraz předmětu, který se pozoroval okulárem za otvorem v zrcadle, byl vzpřímený. Tento typ dalekohledu se moc nerozšířil, protože vyžadoval velmi dlouhý tubus.“ [3]



Obr. 15: Gregoryho dalekohled [23]

4.2.3 Cassegrainův dalekohled

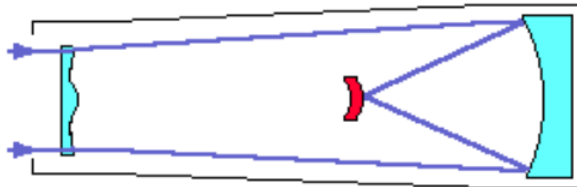
„Namísto pomocného konkávního eliptického zrcadla (Gregory) použito konvexní hyperbolické zrcadlo. Obraz je sice převrácený, ale dalekohled je kratší. Konvexním zrcadlem se prodlouží ohnisková vzdálenost bez prodloužení tubusu dalekohledu. Pozorování Cassegrainovým dalekohledem se neliší od pozorování normálním refraktorem, zato u Newtonova dalekohledu musí pozorovatel často zaujímat nepohodlnou polohu vysoko nad zemí. V obou případech vznikají určité ztráty světla otvorem v hlavní zrcadle, resp. zastíněním pomocným zrcadlem a odrazem od pomocných zrcadel. U velkých dalekohledů jsou tyto ztráty malé vzhledem k velké ploše hlavních zrcadel.“ [3]



Obr. 16: Cassegrainův dalekohled [3]

4.2.4 Schmidtova komora

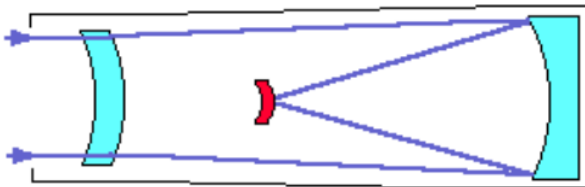
„používá jako objektiv sférické zrcadlo a jeho chyby zobrazení koriguje korekční čočka umístěná ve dvojnásobné ohniskové vzdálenosti před objektivem. Obraz vzniká mezi objektivem a korekční čočkou a rovina zobrazení je kulová. Dalekohled má dobré bodové zobrazení hvězd v zorném poli s průměrem až několik stupňů. Schmidtův dalekohled je velice rozšířený, vyznačuje se velkým relativním otvorem objektivu při velkém zorném poli a používá se výhradně na fotografování a nebo ve spojení se spektrografem.“ [3]



Obr. 17: Schmidtův dalekohled [3]

4.2.5 Maksutovova komora

„dalekohled má výhodu vysoké světelnosti, velkého zorného pole, malé délky tubusu s možností přímého pozorování. Nevýhodou je větší počet odrazných ploch a s tím spojená větší ztráta světla. Na docílení zmenšení ztrát světla odrazem se optické plochy pokrývají antireflexní vrstvou, která snižuje procento odraženého světla.“ [3]



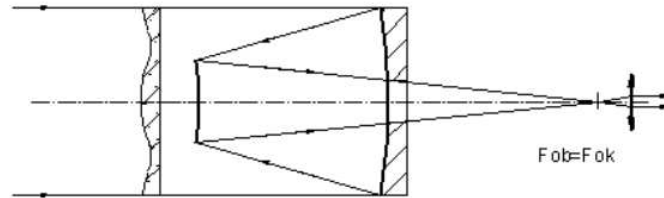
Obr. 18: Maksutovův dalekohled [3]

4.2.6 Schmidt-Cassegrain

„má v rovině sekundárního zrcadla předřazenou korekční desku (meniskus) velmi složitého tvaru, která koriguje různé vady dalekohledu. Deska je opticky umístěna před primárním



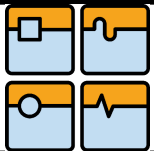
zrcadlem – paprsky tedy nejdříve procházejí jí a teprve pak dopadají na hlavní zrcadlo. Díky složitému tvaru je meniskus tenčí než u systému Maksutov-Cassegrain.“ [3]



Obr. 19: Schmidt-Cassegrain [23]

4.2.7 Ritcheyho-Chrétienův teleskop

„Dalekohled (podobný Cassegrainovu) se skládá ze dvou zrcadel vybroušených tak, aby se odstranila sférická aberace a koma. Touto úpravou se dosáhne větší užitečné zorné pole. Z podmínek kladených na objektiv dalekohledu splňuje zrcadlový objektiv tři: ohnisková vzdálenost je daná křivostí zrcadla, sférická aberace tvarem zrcadla a barevná chyba zde neexistuje. Koma není korigovaná, parabolické zrcadlo má dokonalé zobrazení jen v blízkosti optické osy, od osy se kvalita obrazu velmi zhoršuje, a proto zrcadlové dalekohledy mají o mnoho menší zorné pole než refraktory a jsou na studium individuálních objektů.“ [3]



5. Montáže astronomických teleskopů

5.1 Členění montáží pro astronomické teleskopy

5.1.1 Z hlediska použití členíme montáže na

Montáže pro amatérské využití

Montáže menších rozměrů využívané především nadšenci astronomií, kteří tvoří nedílnou součást této vědy.

Požadavky pro tyto účely jsou především snadná manipulovatelnost, malé rozměry, aby se dala montáž s teleskopem převážet v autě, odolnost vůči výkyvům teplot, přesnost a plynulý chod kvůli fotografiím.

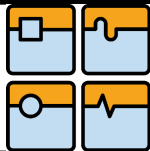
Pro elektronicky řízené montáže je v současnosti důležité, aby obsahovaly řídicí systém se zabudovanou databází vesmírných objektů a jejich souřadnic. Tento řídicí systém by měl mít zabudovaný systém GPS, který zajišťuje orientaci systému.

Montáže pro hvězdárny a výzkum

Hlavním požadavkem na hvězdářské montáže je především velká tuhost veškerých konstrukčních prvků. Vezmeme-li v potaz výzkumnou činnost, která bývá na mnohých hvězdárnách prováděna a množství snímků a videozáznamů, je nutností minimalizace a eliminace veškerých rušivých vlivů, které mají na výstup vliv. Z toho důvodu bývají montáže nesmírně předimenzované, aby nedocházelo k větším deformacím vlivem statického a



Obr. 20: Observatoř v Ondřejově



dynamického zatížení. Jelikož hvězdářské teleskopy bývají větších rozměrů a jejich zvětšení s přímou úměrou také roste je nutné, aby byly usazeny na pevný sloup.

5.1.2 Z hlediska systému souřadnic dělíme montáže na:

Azimutální montáže

Azimutální montáže bývají používány amatérskými astronomy především díky jednoduchosti a cenové dostupnosti s jakou se vyrábějí. Tyto montáže bývají většinou používány pouze pro pozorovací účely menších teleskopů. Montáž může být vybavena motorizovaným pohonem obou os i řídicím systémem s databází vesmírných objektů. Dá se použít jak pro reflektory tak pro refraktory, ale pořizování snímků na delší čas expozice je složitější kvůli nutnosti řízení obou os současně, což s sebou přináší veliké potíže hlavně díky celkové periodické chybě, která vzniká složením dílčích chyb obou os.

Azimutální montáže (alt-azimutální) se nazývají kvůli vlastnostem os:

Azimutální osa je po ustavení ve směru normály roviny tečné k zemskému povrchu. V ideálním případě by měla směřovat do středu Země. Vztažný bod, kde je azimut nulový a od kterého se počítá úhel azimutu je místní nejbližší poledník.

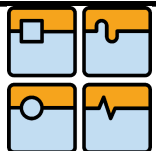
Výšková osa je v horizontální poloze, kolmá k azimutální ose. Pohybem této osy měníme výšku nad obzorem. Výška je pak znázorněna jako úhel mezi pozorovaným objektem a horizontem.



Obr. 21: Alt-azimutální montáž [11]

Paralaktické montáže

Paralaktické (nebo také ekvatoriální) montáže jsou určeny pro pokročilejší astronomy, kteří mají zájem v pořizování fotografií a videozáznamů. Paralaktické montáže se vyrábějí v celé řadě velikostí pro použití amatéry až po hvězdárny a výzkumné účely. Velikou výhodou



oproti azimutální montáži je při fotografování na dlouhý čas expozice pohyb pouze jednou osou, který je realizován kvůli kompenzaci otáčení Země kolem své osy.

Paralaktické montáže bývají právě díky své výhodné konstrukci osazovány motorizovaným pohonem, neboť pro astronoma - pozorovatele je zbytečná dražší paralaktická montáž bez poháněných os, protože pro stejné účely poslouží obyčejná jednoduchá azimutální montáž. Paralaktická montáž je také předmětem této práce, tedy bude probrána více do detailu. Montáž pracuje s rovnicovými souřadnicemi, tedy se nastavuje rektascenze a deklinace, tedy počátkem souřadnic je jarní bod, ve kterém se nachází na nebeské sféře Slunce v okamžiku jarní rovnodennosti.

„Paralaktická montáž má jednu osu namířenou na světový pól (tzv. polární či hodinová osa), zatímco druhá osa (osa deklinační) je na ni kolmá a zabezpečuje pohyb teleskopu do potřebné výšky nad a pod nebeským rovníkem.

Pokud však má paralaktická montáž plnit svou úlohu, musíme její polární osu co nejpřesněji namířit na světový pól, okolo kterého se zdánlivě otáčí celá obloha. Její výhodou je, že při sledování zdánlivého pohybu vesmírných objektů způsobených rotací Země, postačí, když otáčíme přístrojem okolo polární osy. Paralaktická montáž proto umožňuje delší nerušené pozorování a především fotografování oblohy.

Je potřebné připomenout, že údaje o pohybu hvězd v zorném poli odpovídají astronomickému dalekohledu, který má v porovnání se skutečností obrácené zorné pole. Jak při uvedených úkolech použijeme pravoúhlý zenitový hranol, nebo jinou převraccující soustavu, musíme si tuto skutečnost uvědomit a pozorované jevy hodnotit s ohledem na použitý optický systém.“
[4]

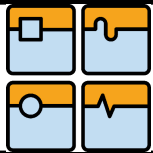
5.2 Ustavení paralaktické montáže

Při nastavování paralaktické montáže do správné polohy se snažíme co nejpřesněji namířit na světový pól, který se nachází na obloze nedaleko Polárky v souhvězdí Malé medvědice. Přitom se musíme především snažit o to, aby se polární osa dostala do roviny místního poledníku. Druhým požadavkem potom je nastavit tuto osu do správného úhlu vzhledem k vodorovné rovině.

Pro splnění podmínek správné orientace montáže se používají různé způsoby, jednak podle toho, jakou přesnost v orientaci požadujeme a jednak podle technického vybavení montáže.

5.2.1 Jednoduché ustavení

„Pro práci s malými přenosnými přístroji postačuje, když hodinovou osu namíříme přibližně do směru k pólu, nebo alespoň na Polárku. Tento způsob nastavení polární osy nám zabezpečí, že při pozorování malým dalekohledem budeme moci vybraný objekt dlouho sledovat otáčením dalekohledu okolo polární osy bez oprav v deklinaci. Jednoduchou kontrolu správné orientace polární osy vykonáme pozorováním hvězd na okolí nebeského pólu. Postupujeme přitom tak, že dalekohled namíříme přesně ve směru polární osy, takže v zorném poli slabšího okuláru (potřebujeme zorné pole přibližně s průměrem 2°) uvidíme Polárku a podle ostatních hvězd najdeme i světový pól, který se snažíme umístit do středu zorného pole a to regulací polohy celé montáže, nebo podstavce. Postupnou regulací osy se snažíme dosáhnout toho, aby při pohybu dalekohledu v rektascenzi (podle polární osy) Polárka opisovala v zorném poli přístroje soustřednou kružnici vzhledem na okraj zorného



pole okuláru. Správnou polohu polární či hodinové osy jemnými změnami ve sklonu oproti vodorovné rovině a otáčením montáže okolo svislé osy.

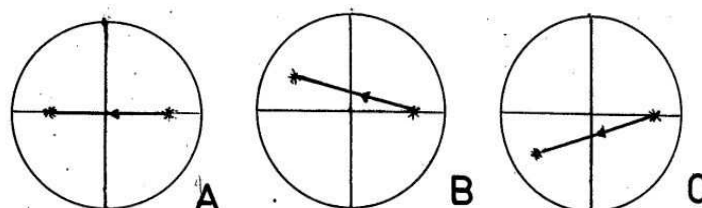
Velmi jednoduchý a rychlý způsob orientace paralaktické montáže umožňuje malý dalekohled, který je namontovaný do duté polární osy. Při orientaci takovéto montáže nastavíme celé zařízení tak, aby oblast pólu byla v zorném poli pomocného dalekohledu a rektifikací montáže a podstavce dalekohledu postupně nastavíme světový pól na střed zorného pole. Tím je tato přesná orientace hotova.“[4]

5.2.2 Scheinerova metoda

„V případě, že chceme přesněji orientovat montáž většího přístroje, použijeme Scheinerovu metodu. K tomuto účelu budeme potřebovat okulár s vláknovým křížem, který otočíme tak, aby jeho vlákna byla orientována podle osy montáže. Potom si vybereme v okolním terénu vhodný bod, vzdálený nejméně 1 km. Při otáčení okolo polární osy se musí zvolený objekt pohybovat podle jednoho vlákna (tzv. hodinového) a při otáčení podle deklinační osy poběží objekt podle druhého (deklinačního) vlákna. Otáčením okuláru okolo jeho osy nastavíme vlákna do správné polohy. Vlastní nastavení montáže uskutečníme v noci. Montáž postavíme tak, aby polární osa byla orientována na Polárku. Potom si vyhledáme hvězdu blízko poledníku v dostatečné výšce nad obzorem a nastavíme si ji do průsečíku obou vláken kříže. Potom sledujeme otáčení podle polární osy (ručním, nebo jiným pohonem) a udržujeme ji na průsečíku vláken. Podle deklinační osy však přístrojem nehýbáme. Sledujeme, zda se po uplynutí několika minut hvězda nezačne posouvat v zorném poli směrem na sever, nebo na jih, od hodinového vlákna. Když nastane odchylka, znamená to, že polární osa není přesně v rovině poledníku. Jestliže se hvězda odchyluje směrem na jih (v astronomickém dalekohledu směrem nahoru), jižní konec polární osy je potřebné pootočit směrem k východu. Když se hvězda pohybuje směrem na sever (v dalekohledu směrem dolů) musíme pootočit konec polární osy směrem k západu. Uvedený úkon několikrát opakujeme. Když už nezjistíme žádnou odchylku, orientace montáže do roviny poledníku je ukončena.

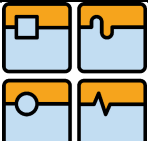
Při nastavování správného sklonu polární osy si vybereme některou jasnější hvězdu na západní obloze, přibližně 6 hodin po vyvrcholení. Potom ji sledujeme už popsaným způsobem v dalekohledu, jestliže hvězda stoupá nad hodinové vlákno, nebo jestliže klesá pod něj. Když hvězda klesá pod vlákno, je potřebné změnit sklon polární osy k obzoru, když hvězda stoupá nad vlákno je nutné zvýšit úhel polární osy. Pokud to konstrukce montáže dovoluje, uvedené korekce nastavíme přímo na polární ose, případně je převedeme. Též můžeme využít regulačních šroubků, na kterých stojí podstavec.

Celý postup rektifikace polární osy několikrát opakujeme, až docílíme toho, že se hvězda neodchýlí od hodinového vlákna alespoň po dobu 20-30 minut.“[4]



Obr. 22: Pohyb hvězd při nastavování paralaktické montáže do roviny poledníku

„Pohyb hvězd při nastavování paralaktické montáže do roviny poledníku; hvězda sleduje hodinové vlákno - montáž je správně nastavená dle poledníku (A), hvězda se vychyluje

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 26
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

směrem nad vlákno - jižní konec polární osy je potřeba posunout na východ (B), hvězda se vychyluje směrem pod vlákno - jižní konec polární osy je potřeba posunout na západ“ [4]

5.2.3 Nastavení deklinačního a hodinového děleného kruhu

„Větší paralakticky montované dalekohledy jsou vybaveny dělenými kruhy, které dovolují nastavit dalekohled na určitý objekt podle údajů o jeho deklinaci a rektascenze. Abychom mohli toto zařízení i využívat, musíme přezkoušet přesnost jejich funkcí a nastavit je do správné polohy.

Pokud se uspokojíme s menší přesností, můžeme použít metodu přezkoušení. Nejprve otočíme dalekohled tak, aby s polární osou svíral úhel 90° . Deklinační kruh by měl ukazovat 0° . Odchylku větší než 5° opravíme pootočením deklinačního kruhu, nebo posunem příslušné značky (indexu), ze které odečítáme údaje deklinačního kruhu.

Hodinový dělený kruh přezkoušíme tak, že nastavíme přístroj na deklinaci 50° a otáčením podle hodinové osy postavíme dalekohled do svislé polohy. Hodinový kruh by měl potom ukazovat 0, nebo 12 h, podle způsobu číslování kruhu a podle toho, zda jsme dalekohled nastavili do polohy, ve které deklinační osa následuje za dalekohledem, nebo ho předchází.

Přesnější nastavení deklinačního kruhu uskutečníme zaměřením na dostatečně vzdálený objekt (nejméně 1 km). Aby byla kontrola snadnější, nastavíme kruh přibližně na deklinaci 40° a hodinový úhel na 0, nebo 12 h. Potom se snažíme namířit dalekohled na zvolený objekt a to především otáčením okolo svislé osy. Montáž nemusí být přitom přesně orientována na severní pól oblohy. Když máme náš objekt ve středu zorného pole, odčítáme údaje deklinačního kruhu. Potom postavíme dalekohled od druhé polohy (s předcházející, nebo následující deklinační osou) a opět zamíříme na zvolené místo. Rozdíl v deklinaci v první a druhé poloze dalekohledu svědčí o tom, že deklinační kruh není správně nastaven. Opravu na deklinačním kruhu provedeme tak, že necháme přístroj ve druhé poloze a deklinační kruh nastavíme tak, aby ukazoval průměrnou hodnotu, kterou vypočítáme z údajů odečítaných v první a druhé poloze dalekohledu. Deklinační kruh by potom měl ukazovat v obou polohách stejnou deklinaci.

Při opravě polohy hodinového kruhu si nejprve vypočítáme dobu přechodu Slunce místním poledníkem. K tomu potřebujeme údaj z astronomické ročenky o kulminaci Slunce v den pozorování, který opravíme o časový rozdíl vyplývající z rozdílu v zeměpisné délce místa pozorování a místa, pro které platí údaj v ročence. Už před kulminací udržujeme obraz Slunce v zorném poli. V okamžiku kulminace by měl hodinový kruh ukazovat 0, nebo 12 hodin. Případný rozdíl potom opravíme pootočením hodinového kruhu. Současně si můžeme překontrolovat, jestli deklinační kruh ukazuje stejnou deklinaci, jako je pro Slunce v den pozorování uvedena v ročence.“ [4]

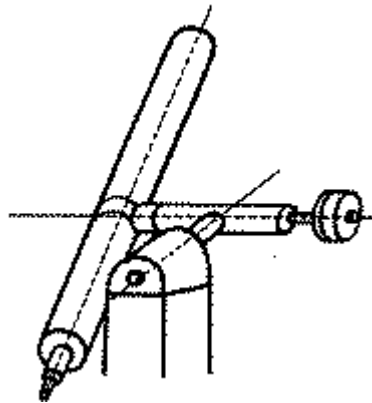
5.3 Konstrukční typy montáží teleskopu

Existuje mnoho druhů montáží pro teleskopy, čistě z důvodu individuálních potřeb astronomů, kteří montáže konstruovali.



5.3.1 Německá montáž

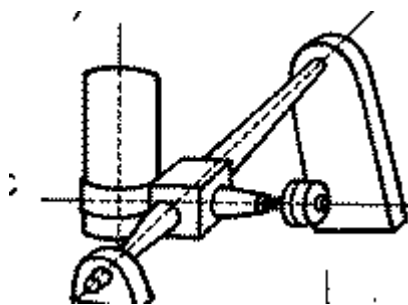
„Jedna z nejčastěji používaných paralaktických montáží. Polární osa spočívá pouze v jednom pilíři. Deklinační osa je kolmá na polární. Deklinační osa nese na jedné straně tubus dalekohledu a na druhé straně závaží. Jedná se proto o nesymetrickou montáž. Tato montáž se často používá pro dlouhé tubusy refraktorů.“[5]



Obr. 23: Německá montáž [5]

5.3.2 Anglická osová montáž

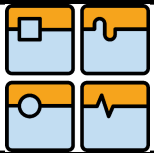
„Jedná se o paralaktickou nesymetrickou montáž (v případě pokud se jedná o anglickou osovou montáž). Oba konce jsou zachyceny v pilířích. Osová montáž má dalekohled montován podél polární osy. Dalekohled je nutné vyvážit protizávažím z důvodu mimoběžnosti polární a deklinační osy.“[5]



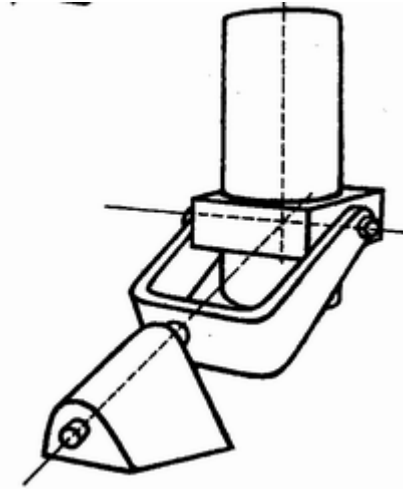
Obr. 24: Anglická osová montáž [5]

5.3.3 Vidlicová montáž

Jedná se o paralaktickou symetrickou montáž. Polární osa má na jednom konci vidlici. Ve vidlici se na deklinační ose otáčí refraktor. Tato montáž je určena pouze pro zrcadlové dalekohledy. Používá se tedy výhradně pro reflektory a Schmidty komory. Tento typ montáže je konstrukčně velice podobný azimutální montáži s tím rozdílem, že polární osa není pod úhlem, ale je svislá, čímž se z ní stane azimutální osa a deklinační osa je tím pádem vždy v horizontálním směru, tedy je z ní výšková osa. U přenosných montáží bývá možnost



polární osu sklápět a měnit z azimutální montáže na paralaktickou a naopak. V případech, kdy se to nedá je možné pod montáž pořídit paralaktické klíny.



Obr. 25: Vidlicová montáž [5]

5.3.4 Dobsonova montáž

„Montáž, která díky své jednoduchosti je často využívána amatérskými pozorovateli, kteří jsou schopni si tuto montáž sami sestavit. Jedná se o azimutální montáž, tvořenou základnou k níž je připevněna konstrukce plnící funkci jako vidlice. Tyto montáže bývají často díky své konstrukci vyráběny z překližky a osazují se Newtonovým refraktorem.“[5]



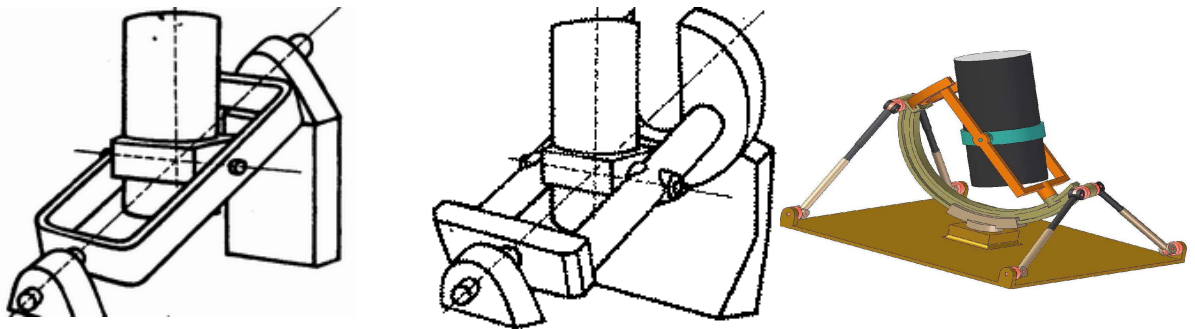
Obr. 26: Dobsonova montáž [25]



5.3.5 Rámová montáž

„Rámová montáž je symetrická. Jedná se o velmi bytelné zařízení určené pro velké dalekohledy. Jedinou nevýhodou je nemožnost zamíření dalekohledu k blízkosti světového pólu. Existuje proto varianta s podkovovitě vykrojeným koncem.“ [5]

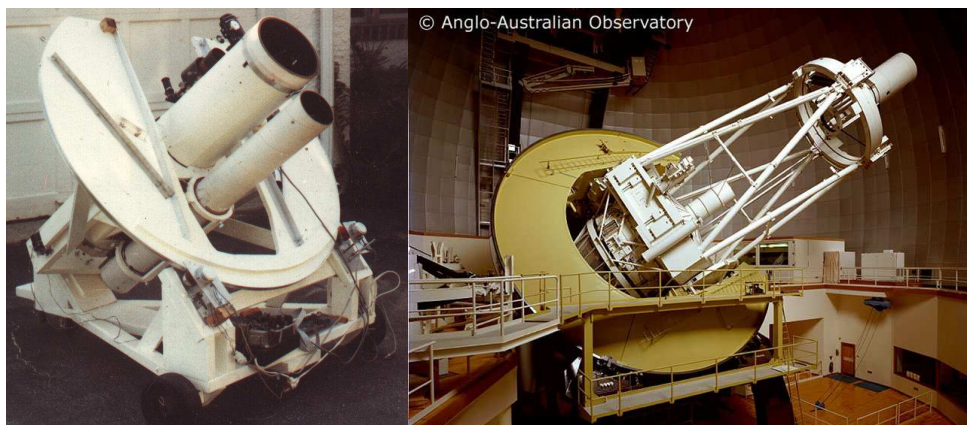
Další variantou je kolébka pro uchycení rámu, čímž se značně zjednoduší ustavení. Tato varianta je zejména vhodná pro astronomy na expedicích.



Obr. 27: Rámová montáž [5]

5.3.6 Split ring montáž (dělený kruh)

Dělený prstenec je hybridem mezi podkovovou montáží a vidlicovou montáží. Pohybem podkovy se mění rektascenze a pohybem dalekohledu v kolmé ose se mění deklinace. Jednou z nevýhod tohoto typu montáže je komplikovaný přístup k tubusu při pozorování. Montáž je také určena pro pevnou instalaci protože při převozu bude již nepřesná a pohyb bude muset být korigován v obou osách.



Obr. 28: Split ring [25]

5.4 Konstrukční provedení vidlicové montáže

5.4.1 S nastavitelným sklonem polární osy

Montáže s nastavitelnou základnou tvoří sortiment přenosných, např. expedičních montáží. Nastavitelnou základnou se myslí možnost změny úhlu polární osy. U menších montáží je to nutností, protože díky změně polohy člověka po Zemi se i mění poloha vzhledem k nebeskému pólu. Aby bylo tedy možné montáž správně ustavit je nutné tento sklon regulovat, ať už při použití metody s polárním hledáčkem, tak pomocí pointačního okuláru.

Nevýhodou tohoto způsobu konstrukce montáže je snížení tuhosti a vnášení dalších pohyblivých prvků do systému, které mohou být příčinou problémů a nepřesností. Na druhou stranu pro tento způsob hovoří značná univerzálnost použití ve všech místech Zeměkoule.

Montáž s nastavitelným sklonem polární osy se pak skládá z 3 hlavních konstrukčních dlů:

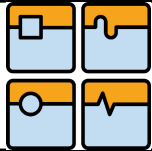
Základna montáže

Základna je prvek, který je pevně uchycen na sloup či stativ tak, aby byl co nejpevněji spojen se zemí. Tato základna je spojena s polární osou čepem a šroubem či lineárním pohonem, kterým se požadovaný sklon nastaví. Základna musí zpravidla být co nejtužší, aby následné prvky řetězce nebyly ovlivněny. Podmínkou je i přiměřeně nízká hmotnost z důvodu transportu. K tomuto účelu se vyrábí tenkostěnné žebrované odlitky či svařence.

Nastavitelná polární osa

Nastavitelná polární osa je důležitá z důvodu zachování co nejpřesnější rovnoběžnosti se zemskou osou tak, aby ustavení montáže bylo co nejpřesnější a zařízení mohlo plnit svoji funkci v závislosti na zvětšení optické soustavy.

Polární osa je tvořena jakousi platformou, ve které jsou zabudovány ložiska a pohonná soustava celé polární osy. Tato platforma je připevněna k základně čepem a šroubem pro nastavení sklonu



Obr. 29: Nastavitelný sklon polární osy [25]

5.4.2 S pevnou základnou

Montáže s pevnou základnou tvoří většina montáží umístěných na observatořích. Zde je zbytečné koncipovat proměnný sklon polární osy. Je to hlavně z důvodu, že je montáž jednou ustavena na betonový sloup ze kterého není sundána dokud slouží.

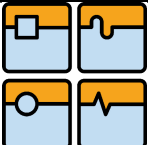
5.5 Chyby ekvatoriální montáže

[6]

Každá montáž teleskopu již z výroby trpí řadou nedostatků, způsobených nedokonalostí výroby. Tyto chyby potom znesnadňují pozorování vesmírných objektů a pořizování snímků. Důsledkem je pak nepřesně nastavená poloha, tedy po najetí na objekt z databáze, kdy se ukáže špatný objekt případně jen černo. Dalším důsledkem je rozmazaný snímek, kde bodové objekty tvoří čáry.

5.5.1 Zdroje nepřesnosti ekvatoriální montáže

Pro focení oblohy na delší čas expozice je nutné použít motorem poháněnou montáž. Teleskop připevněný na ekvatoriální montáž je poháněn tak, aby kompenzoval otáčení Země kolem své osy, tedy deklinační osa se otáčí v opačném směru. Tento pohyb s sebou nese značné problémy, které je nutné řešit a různými způsoby kompenzovat tak, aby byl výsledek co nejlepší. U menších montáží, kde je zvětšení teleskopu daleko menší jsou tyto chyby také méně markantní, u montáže, kterou se zabývá tato práce při zvětšení zhruba 200x a vyšším už dochází k velikým výkyvům od požadované hodnoty, které se při menším zvětšení zdály zanedbatelné. Toto chování ovlivňují následující faktory:

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 32
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- Nesprávné ustavení montáže a nastavení polární osy

Polární osa v ideálním případě je nasměrována rovnoběžně se zemskou osou. Každá odchylka způsobí nepřesnost chodu montáže

- Atmosférická refrakce

Při pozorování ze země dochází ke zkreslení obrazu vlivem lomu světla v atmosféře. To způsobí, že při pozorování v ideálních podmínkách montáž bez problémů najede z databáze daný objekt. Problém nastává, když se montáž na dané místo nastaví a objekt se v zorném poli nenachází, protože paprsky světla emitované nebo odražené od objektu jsou v atmosféře lomeny a pro pozorovatele se jeví, že objekt změnil pozici.

- Periodická chyba

Periodická chyba je způsobena rotujícími součástmi, které z výroby trpí nedokonalostmi. Tento jev je patrný u všech montáží, protože se nic nedá vyrobit absolutně přesně. U velkých a přesných montáží je tato periodická chyba v řádu desetin úhlových sekund. Nicméně i takovéto malé výkyvy způsobí při velkém zvětšení rozmazaný obraz. Periodická chyba je jedním z nejvíce diskutovaných faktorů a bylo učiněno mnoho pokusů, vyrobeno mnoho přístrojů s cílem tuto chybu změřit, analyzovat a eliminovat. Tato problematika je podrobněji zpracována v kapitole periodická chyba.

- Výrobní nedokonalosti nerotujících součástí

Výrobní nedokonalosti stejně jako periodická chyba značně ovlivňují chování montáže. Nicméně periodická chyba postihuje především rotační součásti, výrobními nedokonalostmi rozumíme různé tolerance souososti, kolmosti a podobné předepsané toleranční úchyly. Podle výroby je sice montáž v pořádku a součásti produktu se pohybují v předepsaném tolerančním poli, nicméně i toto má vliv na kvalitu pozorování a především pořizování snímků. Dále do této kategorie zdrojů chyb můžeme zahrnout i například chvění způsobené třením dvou ploch po sobě, což je známo jako efekt zvaný slip stick.

- Další vlivy

Do této kategorie zdrojů patří zejména vliv okolí, tedy vlhkost vzduchu, změny teplot, vibrace způsobené okolními zdroji, tuhost podkladu a stativu atp.

5.5.2 Periodická chyba (PE)

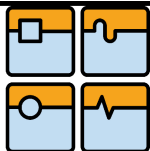
Jak již bylo zmíněno, periodická chyba postihuje všechny montáže, jejíž osy jsou poháněny motorem. Periodická chyba je pomalá oscilace v rektascenzi způsobená mechanickými nepřesnostmi ve všech soukolích R.A. pohonu. Jeden cyklus periodické chyby se rovná jedné otáčce soukolí a v případě, že je montáž vybavena přímým pohonem, tak jedné otáčce motoru. Nehledě na přesnost, všechny montáže mají nějakou periodickou chybu, jenom u kvalitní montáže bude menší než u méně kvalitní.

Měření periodické chyby

Existuje několik způsobů jak změřit periodickou chybu a graficky znázornit její průběh v závislosti na čase. Výsledky, které přinese analýza periodické chyby potom poslouží jako hlavní vstup pro korekci periodické chyby.

-Fotografie stopy nepřesně nastavené montáže

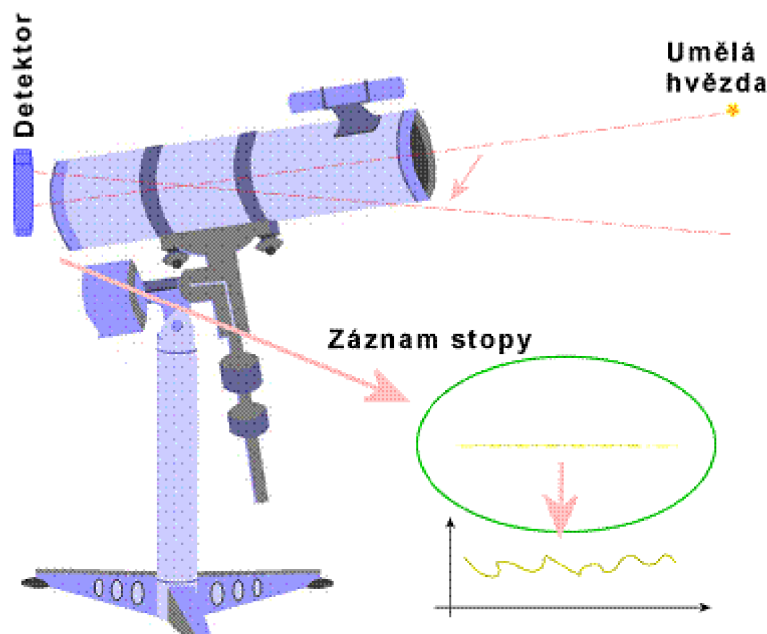
-Sledování polohy hvězdy



-Měření pomocí umělé hvězdy

„Touto metodou se dá poměrně snadno zjistit kvalita přístroje tak, že si vhodně zvolíme tzv. umělou hvězdu. Umělou hvězdou rozumíme nějaký jasný objekt ve vzdálenosti aspoň 1 km od pozorovatele, přičemž se objekt nachází na Zemi a vůči pozorovateli je v klidu. Na tuto umělou hvězdu se zaostří senzor např. CCD kamery nebo objektiv fotoaparátu, poté se zapne posuv patřičné osy.

Stopa má tvar čáry popř. mírného obloučku (záleží na poloze umělé hvězdy vůči ose otáčení). Pokud by montáž běžela rovnoměrně, tj. s nulovou chybou, byla by stopa homogenní bez viditelných zjasnění a ztmavení. Nerovnoměrný chod montáže se pak projeví zjasněním, popř. ztmavením, určitých úseků stopy hvězdy. Velikost těchto změn jasu je pak úměrná délce expozice jednotlivých obrazových pixelů a tím pochopitelně i průběhu PE.[7]



Obr. 30: Měření pomocí umělé hvězdy [7]

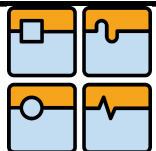
5.5.3 Kompenzace chyby montáže

Korekce periodické chyby

„Korekce periodické chyby nebo PEC je systém, který zlepšuje přesnost posuvu R.A. motoru. PEC je navržen na zlepšení kvality astronomické fotografie redukcí amplitudy chyby šneku a šnekového kola uvnitř montáže. Používání PEC funkce má dva kroky. Během prvního kroku je nutné ručně pointovat po dobu minimálně 8 minut a držet pointační hvězdu na středu pointačního kříže během doby, kdy systém nahrává korekce které provádíte. Druhý krok je přehrávání korekcí, které byly provedeny během nahrávací fáze, které mikropočítač uvnitř ovládací elektroniky provádí automaticky.. Funkce PEC může výrazně zmenšit periodickou chybu R.A. pohonu, nikdy jí však zcela neodstraní, proto i u montáží vybavených funkcí PEC neodpadá nutnost pointace při fotografování.“ [8]

Kompenzace vůle v deklinaci

Kompenzace vůle v deklinaci (backslash compensation) je funkce, které eliminuje vůli DEC pohonu, pokud motor při pointaci musí změnit směr ze severu na jih a naopak. Pokaždé, kdy



změníte směr dalekohledu v deklinaci, motor pokaždé běží vyšší rychlostí po přesně stanovenou dobu, která se nastaví na ovládací elektronice MTS-3SDI individuálně podle velikosti vůle konkrétní montáže. Tato funkce je důležitá zejména pro autoguidery.

Kompenzace pomocí autoguideru

„*Guider je výraz z angličtiny pro pointér neboli zařízení umožňující přesné vedení fotografického dalekohledu za objektem. Původně byl pointér druhý souosý dalekohled opatřený okulárem s dvojitým vláknovým křížem, do něhož se díval fotograf a případné odchýlení navigační hvězdy od kříže korigoval jemnými pohyby montáže. Tato činnost byla vždy velmi náročná, hlavně při delších expozicích. Současná technika umožnila vytvořit automatizovanou zařízením – autoguidery, která dokáží pomocí citlivé kamery a vyhodnocovací elektroniky řídit jemné pohyby motorizované montáže a tím nahradit člověka v této namáhavé činnosti.*

Autoguidery na amatérské a poloprofesionální úrovni lze rozdělit na dvě hlavní skupiny: na autoguidery softwarové a autonomní.

Softwarové autoguidery jsou řešeny specializovaným programem, do něhož vstupuje signál například z webkamery, zobrazující pointační hvězdu. Program si hlídá polohu této hvězdy vůči zornému poli kamery a případné posuny koriguje řídicími signály do motorizované montáže, připojené k počítači vhodným rozhraním. Hlavní nevýhodou tohoto řešení je nutnost běžícího počítače v průběhu fotografování, což bývá problémem hlavně proto, že jen málokdo fotografuje deep-sky objekty z místa bydliště, a proto je nutné provozovat tento druh autoguideru s notebookem. Samotná kamerka je jistě levnější než autonomní autoguidery, na druhou stranu notebook může být značná investice a navíc provoz v prostředí otevřené noční krajiny, kde padá rosa, nemusí být pro většinu běžných notebooků to nejpříznivější prostředí. Notebook je ovšem univerzální zařízení, které lze využít i jinak než jen k pointaci.

Autonomní skupina autoguiderů je zcela samostatná. Namísto notebooku je zde pouze jednodušší jednoúčelová elektronická krabička, která se stará o vyhodnocování videosignálu a řízení montáže. Zařízení se skládá z řídicí krabičky, obsahující veškerou elektroniku, všechny ovládací prvky, přehledný LCD a porty pro napájení, připojení kamery, montáže a pro případ úpravy firmware i port pro připojení počítače. Srdcem přístroje je vysokorychlostní obvod pro zpracování analogového televizního signálu. Celé zařízení je ovládáno pomocí jednoduchého menu, které je vkládáno do obrazu z kamery a zobrazuje se na displeji“.
[10]

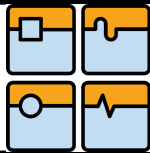
5.6 Pohon vidlicové montáže

Pro zajištění rovnoměrného a přesného chodu je nutné eliminovat lidský faktor v oblasti ovládání a nahradit jej automaticky řízenými osami. Výsledkem by pak měl být stroj, jež na základě požadavků vysílaných z řídicího systému pracuje automaticky od zaměření dané souřadnice po sledování daného objektu. V lepším případě automaticky provádí korekce chyby. K tomuto účelu je nutné zvolit vhodnou pohonnou jednotku a převodové ústrojí.

Důležité faktory, podle nichž se posuzuje kvalita pohybu montáže:

Rychlost chodu

Rychlost chodu je po důležitý zejména pro pozorování krátkodobých vesmírných úkazů, kdy je nutné zaměřit na souřadnici v co nejkratším čase, aby bylo možné je ještě pozorovat. U montáží obdobné velikosti jako je předmět této práce se vyskytují hodnoty rychlosti posuvu os okolo 10° za minutu. Což znamená, že celou otáčku kolem své osy je montáž schopna



provést za zhruba 40s. Na tuto maximální rychlost ale není třeba složitých regulací rychlosti, protože tento posuv je pouze za účelem zaměření souřadnice a tudíž se obraz nesnímá.

Mnohem důležitější je při samotném pozorování posuv pracovní, čímž rozumíme pohyb montáže při sledování objektu ať při pouhém pozorování, tak při fotografování. Tím rozumíme pohyb deklinační osy. Rychlost tohoto pohybu je přizpůsobena rychlosti otáčení země, tedy jednu otáčku za 24h.

Přesnost chodu

Přesnost je zejména dána u montáží rozdílem skutečné polohy od polohy požadované. Je to dáno zejména vůlemi v obou osách. Vůle mohou vznikat například právě v převodovém ústrojí. Důsledkem je pak špatný obraz a nekvalitní pořízené snímky. Z tohoto důvodu je nutno koncipovat pohon tak, aby se vůlím zcela zamezilo. Velikým problémem, který s tímto také souvisí je případ, kdy při automatické pointaci deklinační osa mění orientaci pohybu, čímž dojde ke změně směru otáčení montáže a největší příležitosti projevu vůle v deklinační ose. Toto se řeší buď elektronicky kompenzacemi v řídicím systému nebo návrhem bezvůlové převodovky.

Tlumení vibrací

Tlumení vibrací souvisí s přechodem z klidového stavu do pohybu a naopak. Tento přechod vlivem setrvačnosti soustavu rozkmitá. Cílem je tyto kmity co nejrychleji utlumit a pohlit. Tato vlastnost je hlavně vyžadována od pohonné soustavy, neboť funguje jako pohon a zároveň jako brzda pohybu os. Tedy při přechodu z rychloposuvu do klidu musí motor zabrzdit soustavu. V tento moment záleží na tlumících vlastnostech převodovky, zda tuto setrvačnou sílu celou pohlít nebo se část přenese i dále do celé montáže. To má potom za následek rozkmitání celé pozorovací soustavy.

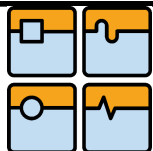
Tato problematika je spíše záležitostí volby vhodných materiálů a konstrukčního uspořádání montáže, protože se jimi řídicí systémy montáží vůbec nezabývají. Vibrace se dají utlumit vhodnou volbou rozběhové a brzdící rampy zrychlení, což je ale zase na úkor rychlosti najetí na souřadnici.

Rozlišení

Každá montáž je charakterizována různými parametry: rychlostí chodu, přesností chodu a rozlišením. Rozlišení udává nejmenší možný úhlový posun, jaký je schopen dosáhnout pohonná soustava. Tato hodnota se podle kvality přístroje udává v řádu několika úhlových minut až po jednotky úhlových sekund. Pro orientaci 360° má 1 296 000 úhlových sekund, tedy při rozlišení o velikosti jedné úhlové vteřiny může montáž zastavit v 1296000 polohách na jednu otáčku a v jednom stupni v 3600. Této hodnoty ovšem dosahují přesnější astronomické montáže, jež jsou osazeny teleskopy o velikých ohniskových vzdálenostech a průměrech primárního zrcadla přes 1m. Z toho důvodu je nutné zvážit pro jaký účel je potřeba montáž stavět. V případě menších teleskopů je zbytečné příliš velké rozlišení, protože tím roste i pořizovací cena montáže a ve výsledku se třeba i mine účinkem.

5.6.1 Uspořádání pohonné soustavy paralaktické montáže

Uspořádáním je myšleno jakési zjednodušené schéma použitého motoru a převodového ústrojí. Díky stále se rozšiřujícímu se sortimentu motorů a převodovek je možno volit z běžně dostupných produktů spousty variant, které budou více či méně plnit daný účel. Ovšem je potřeba vzít v potaz faktor pro uživatele nejdůležitější, čímž je pořizovací cena. Parametry



montáže mohou být sebedokonalejší, ale když ve srovnání s ostatními produkty stejného charakteru cena poroste neúměrně, nikdo si takovou montáž nepořídí.

Pro pohon os paralaktické montáže jsou na základě průzkumu trhu, diskuzí astronomů a známosti průmyslových uspořádání byly vybrány za vhodné následující uspořádání:

Krokový motor – šneková převodovka

Toto uspořádání je obvyklé pro většinu menších a amatérských montáží pro pozorování i fotografii vesmírných objektů. Zajišťuje poměrně dobré a laciné provedení pro daný účel. Krokový motor je připojen buď přímo ke šneku, nebo pomocí převodů s radiálním ozubením pro zvětšení převodového poměru. Důvod pro zvětšování převodového poměru je diskrétní počet poloh krokového motoru, který nedosahuje dostatečného rozlišení. Toto provedení s sebou nese velikou nevýhodu a to množství dalších rotujících součástí, které se podílejí na periodické chybě. Ta se sčítá a vytváří chaotickou soustavu, jež se těžko koriguje řídicím systémem.

Na cenu má i vliv to, že je možné zanedbat odměřování úhlu pomocí jiných zařízení a pouze pracovat s krokovým motorem. Pro uspořádání se šnekovou převodovkou nastává ale problém v momentě, kdy motor mění orientaci pohybu a vůle, která se nachází mezi šnekem a šnekovým kolem vnáší nepřesnost do soustavy. Toto se rovněž koriguje řídicím systémem (backslash compensation), nicméně to problém neřeší, protože drobná nepřesnost se vždy vyskytne. Dalším řešením tohoto problému je bezvúlová šneková převodovka.

Krokový motor – harmonická převodovka

Kombinace krokového motoru a harmonické převodovky poskytuje značné výhody oproti šnekové převodovce. Především je to absence vůle v soukolí. Harmonické převodovky mají oproti šnekovým soukolím větší převodový poměr při zachování malých zástavbových rozměrů, přičemž přenos kroutícího momentu je minimálně stejný jako u šnekových převodovek. Díky tomu, že je převodovka předepjatá a nemá žádnou vůli odpadá problematika kompenzace vůlí v deklinační ose, periodická chyba dosahuje velikosti řádově jednotek úhlových sekund. Harmonické převodovky se také vyrábějí s integrovanou planetovou převodovkou, která slouží ještě ke zvýšení převodového poměru. Harmonické převodovky se běžně vyrábí s převodovým poměrem 200 i více, planetové do 100 a krokové motory jsou s 200 polohami na otáčku. Což dohromady tvoří poměrně dostačující počet diskrétních poloh. Velikou nevýhodou tohoto uspořádání je velká pořizovací cena. Zde je nutné zvážit zda se vůbec vyplatí do tohoto drahého uspořádání tolik investovat, zda konstrukce bezvúlové šnekové převodovky nevyjde levněji, ale s menším převodovým poměrem.

Servomotor - šneková převodovka

Pro polohování v průmyslové praxi se běžně používají elektrické servomotory, které dokáží vhodným zpřevodováním dosáhnout velmi dobrých výsledků. Elektrické servomotory mají výhodu oproti krokovým motorům tu, že nejsou omezeny diskrétním počtem poloh a mají v sobě integrován systém odměřování relativního posunutí IRC encoder. Pomocí zabudovaného encodéru nebo pomocí externího odměřování lze nastavením polohové zpětné vazby teoreticky docílit rozlišení až 1 úhlové vteřiny. Nevýhodou tohoto spojení je již mnohokrát uváděná vůle v soukolí. Z tohoto důvodu by bylo nutné pro odměřování polohy použít externí odměřování, což s sebou přináší další nárůst ceny produktu.

Důvod pro použití této konfigurace je snížení nákladů na pořizování dražších převodovek a výhodou oproti jiným je i útlum vibrací způsobených setrvačností a nevyváženými hmotami.



Eliminace vůle v převodovce lze také docílit šnekovou převodovkou se dvěma šneky, poháněné dvěma motory v zapojení Master-Slave. To s sebou přináší nutnost zvětšení převodovky tak, aby byl vhodně umístěn i druhý motor. Odpadá nutnost použití externího odměřování, které je ale kvůli zvýšení rozlišení oproti integrovanému IRC vhodné. Takto uspořádaný pohon montáže je dobrý pro pohon pouze jedné osy a to polární. Deklinační osa by takto řídit šla taky, ale problém zřejmě nastane díky větším rozměrům, které to vyžaduje.

Přímý pohon

Argument pro konstrukci montáže s přímým pohonem je jednoznačně úspora místa. Přímý pohon se přišroubuje například přírubou k pohonné jednotce a přes nějakou spojku je kroučící moment veden do soustavy. Pro tento účel se zdají být vhodné prstencové tzv. torque motory. Ty se dají vestavět přímo do rámu montáže. Vyrábí se v různých provedeních s chlazením a bez něj. V paralaktické montáži nedochází k takovým vysokým otáčkám, aby docházelo k nadměrnému zahřívání motoru a nutnosti chlazení kapalinou. Odpadá zde potřeba převodu, neboť prstencové servomotory mají vysoký rozsah otáček, kde se udává minimální hodnota 1 otáčka za týden, což je pro použití při pozorování hvězdné oblohy více než dostačující. Nedochází ke zbytečnému navýšení periodické chyby vlivem působení nedokonalostí ozubených převodů.

Nevýhodou je nízký útlum kmitů, protože prstencové servomotory používají k brzdění magnetické pole. To je poměrně silné, protože prstencové motory se vyrábí s poměrně velikou hodnotou jmenovitého kroučícího momentu, z toho je patrná i síla vyvolaná magnetickým polem k brzdění. To má za následek rozkmitání soustavy při zastavení.

Z finančního hlediska příliš o úsporu nejde, protože pořizovací cena takového motoru vyváží rozdíl ceny při pořizování převodovky. Dále je nutnost externího odměřování, což podle kvality přístroje cenu navýší taktéž.

Servomotor – ozubený řemen

Ozubený řemen pro přenos kroučícího momentu se zdá velmi vhodný pro danou aplikaci. Z průmyslové praxe CNC obráběcích strojů je používán pro přenos kroučícího momentu jak pro obrábění tak pro polohování. Je dostatečně tuhý díky výztužím a zároveň má dobré vlastnosti pro tlumení vibrací díky materiálu z něhož je vyroben. Není nutné převod mazat. Nedochází k polygonálnímu jevu jako při použití řetězových převodů. Tato varianta se zdá být vhodná pro řízení deklinační osy díky přenosu kroučícího momentu na libovolnou vzdálenost navzájem rovnoběžných os.

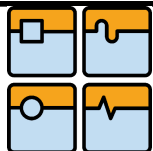
5.6.2 Polohování os

Pro určování natočení polohy je nutné zapojit odměřování. Lze jej realizovat pomocí zabudovaných IRC v servomotorech, externími zařízeními nebo řízením krokových motorů určitým počtem pulsů. Řízení os lze provádět pomocí smyčky se zpětnou vazbou, nebo přímým řízením krokových motorů.

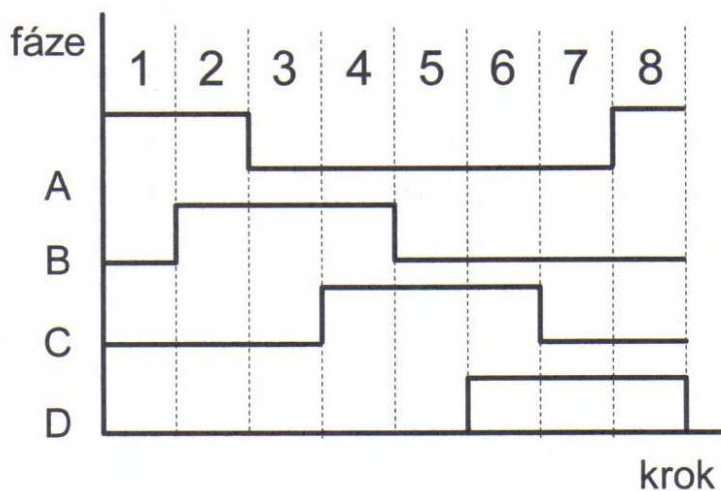
Řízení krokového motoru

[9]

*„Pro dosažení co nejvyššího rozlišení montáže volíme pokud možno tzv. osmitaktní řízení krokového motoru nebo mikrokrokování. Takzvané osmitaktní řízení vznikne „složením“ čtyřtaktního řízení s buzením jedné a dvou fází. Tento způsob řízení se z tohoto důvodu často nazývá také **osmitaktní řízení** s buzením jedné a dvou fází“. Při tomto způsobu se postupně střídá buzení jedné a dvou fází v sekvenci A – AB – B – BC – C – CD – D – DA –... pro jeden*



směr, případně pro směr druhý pro sekvenci opačnou a to $A - DA - D - CD - C - BC - B - AB$. Rotor se pootáčí o polovinu kroku.



Obr. 31: Fázový diagram osmitaktního řízení KM [9]

-Výhoda tohoto způsobu řízení je dvojnásobný počet kroků na otáčku. Tohoto je dosaženo bez jakékoli úpravy budicích obvodů.

-Nevýhoda u tohoto způsobu řízení je různá velikost maximálního momentu

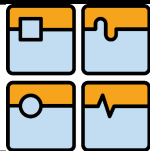
ve statické momentové charakteristice, která je různá pro napájení jedné fáze a pro napájení dvou fází. Tato vlastnost je však odstranitelná, avšak na úkor jednoduchosti budicích obvodů. Lze tedy odstranit tím, že v těch krocích, kdy jsou buzeny právě dvě fáze současně, budeme napájet tyto fáze nižším proudem. Přesná velikost tohoto proudu závisí na velikosti kroku, neboli jak jsou od sebe polohy statických momentových charakteristik sousedních fází vzdáleny. Další nevýhodou jsou dva odlišné, postupně se střídající časové průběhy oscilací rotoru.

Mikrokrokování jako způsob řízení krokového motoru je aplikován tam, kde je vyžadována velice jemná rozlišitelnost polohy krokového motoru jako jsou například zlomky stupně. Toto je aplikováno například u tiskáren, fototechnice, mikromechanice a robotice. Dále se mikrokrokování uplatňuje tam, kde je potřeba snížit možné mechanické rázy vznikající při změně polohy hřídele.

Úhel kroku může být zmenšen zvýšením počtu fází a/nebo rotorových zubů. V praxi je ale nevýhodné pracovat s počtem fází větším než čtyři a je obtížné a nákladné vyrobit rotor s více než sty zuby. Z tohoto důvodu jsou krokové motory s úhlem kroku pod 1° výjimkou. Existuje však způsob řízení krokového motoru známým jako „mikrokrokování“, který zvyšuje počet kroků na otáčku.

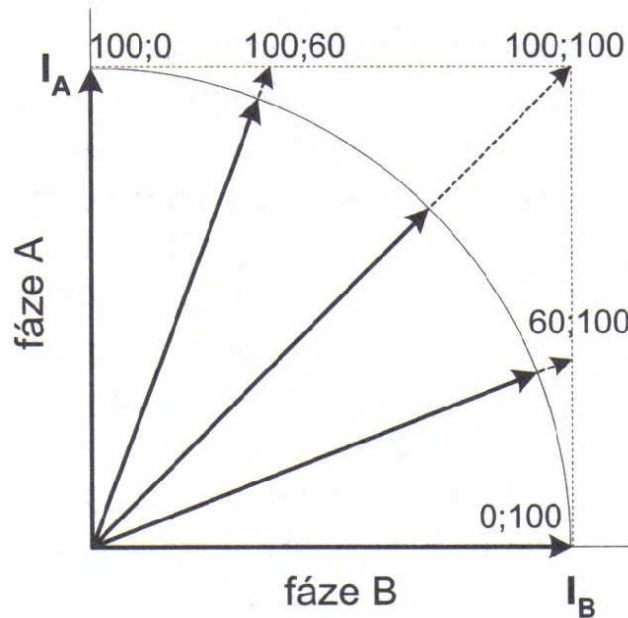
Tento způsob vychází z metody „magnetizace dvou fází“ popsaná výše v osmitaktním řízení a dělí tak každý krok na mikrokroky zpravidla stejné délky a to do maximálního počtu 64 – 128. Oproti magnetizaci dvou fází, kde byly obě fáze napájeny stejnou velikostí proudu, zde jsou záměrně velikosti proudů v jednotlivých mikrokrocích odlišné. Vhodnou volbou a řízením vzájemných velikostí proudů můžeme dosáhnout libovolné rovnovážné polohy mikrokroku mezi sousedními „základními kroky“ – určeno poměrem proudů a také stejného, případně různého momentu – dané velikostí proudů.

Nejprve je ve výchozí poloze fáze 1 buzena jmenovitým proudem I a fáze 2 není buzena vůbec. Z tohoto důvodu je rotor vyrovnán s fází 1. Následuje mikrokrok do polohy $1/4$ základního kroku, které je dosaženo současným buzením fáze 1 proudem I a fáze 2 částí proudu kI .



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Druhého mikrokroku je dosaženo současným buzením obou fází jmenovitým proudem I . Pro třetí mikrokrok je fáze 1 buzena proudem kI a fáze 2 buzena proudem I . K tomu, aby byl krok úplný je zapotřebí vypnout buzení fáze 1 a plně vybudit fázi 2 proudem I . Koeficient k je kladný a vždy menší než 1.



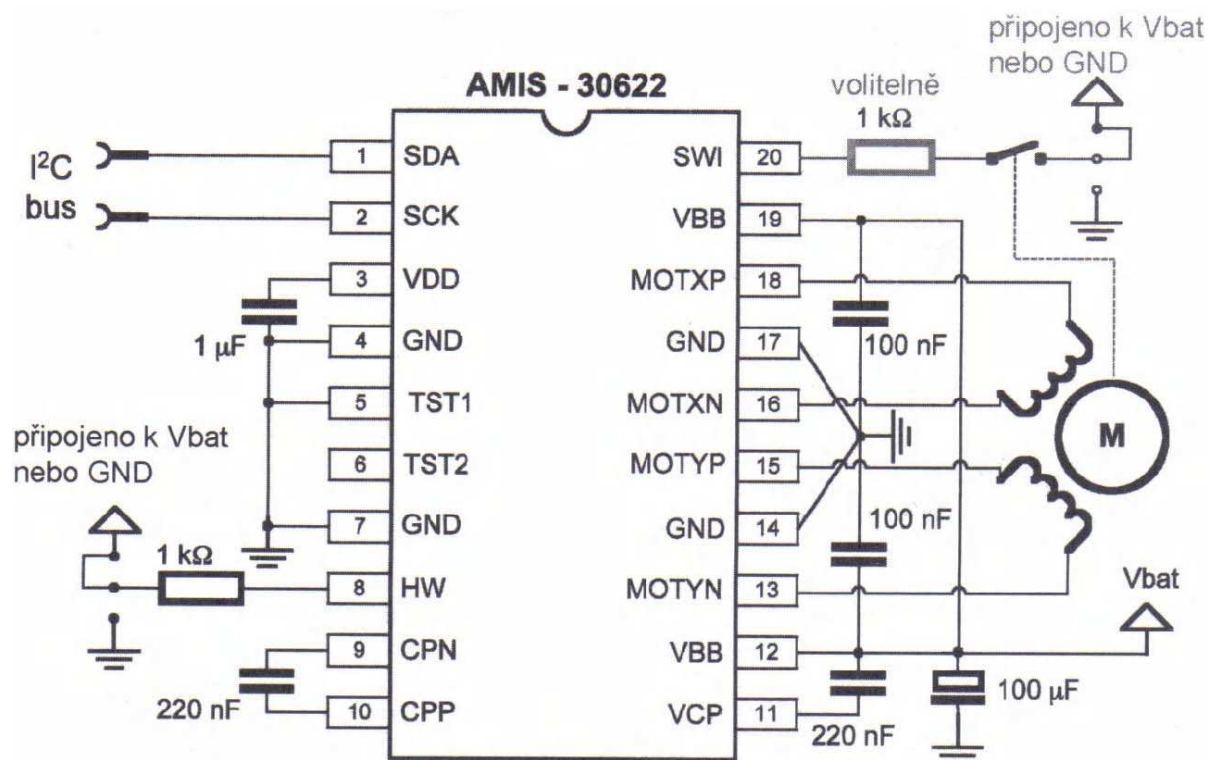
Obr. 32: Fázový diagram mikrokrokování [9]

Pro takovýto jednoduchý případ čtyř výše uvedených mikrokroků na jeden mikrokrok je zapotřebí dvouhladinový napájecí zdroj s hodnotami I a kI . Z toho vyplývá, že při vyšším počtu mikrokroků vzrostou požadavky na napájecí a spínací obvody. V současné době se vyrábí speciální integrované obvody přímo určené na buzení krokových motorů a zajišťujících mikrokrokování.

Přínosem mikrokrokování je mimo jemnou rozlišitelnost polohy krokového motoru také snížení jeho mechanických rezonancí. Tyto rezonance závisí také na charakteristikách poháněné zátěže a způsobu buzení jednotlivých fází krokového motoru. Rezonance mohou způsobit ztrátu synchronizace rotoru, což v důsledku způsobí ztrátu kroku nebo více kroků. V případě, že je použit v řídicím systému bez polohové zpětné vazby toto vede k závažné a neodstranitelné chybě polohy. “[9]

Řízení krokového motoru pomocí integrovaných obvodů.

„Jako příklad řídicího obvodu je uveden AMIS-30621 a AMIS-30622. Jsou to moderní mikrokontroléry s mikrokrokováním a instrukční sadou pro řízení polohy a rychlosti dvoufázového hybridního krokového motoru. Obvody obsahují také budící obvody.“[9]



Obr. 33: Zapojení mikrokontroleru AMIS – 30622 [9]

Řízení servomotoru

„Pro řízení paralaktické vidlicové montáže se v praxi využívají synchronní servomotory, případně DC servomotory.

Vlastnosti servomotoru vylepšuje použití snímačů pro odečet polohy. Signál těchto čidel lze využít k dalšímu řízení pohonu, například vypnout motor po dojezdu do krajní polohy. Zavedením lineární záporné zpětné vazby lze servomotorem řídit polohu zařízení v celém rozsahu jeho pracovní dráhy. Je k tomu zapotřebí řídicí systém zvaný regulátor.

Poloha hřídele servomotoru bývá zjišťována elektricky pomocí fotoelektrického snímače (encoder) nebo pomocí rozkladače (selsynu). Pro levné aplikace lze použít optické snímání pomocí kódového kotoučku či proužku, gray code. Nedoporučuje se potenciometr.

Signál snímače polohy je přiveden pomocí zpětné vazby na regulátor, který porovnává skutečnou polohu motoru s žádanou polohou. Na základě rozdílu žádané a skutečné polohy regulátor (často velmi složitý) řídí měnič a tak nastavuje motor na žádanou polohu.

Trojfázové synchronní servomotory jsou většinou napájené z trojfázové sítě 50 Hz přes měnič kmitočtu se stejnosměrným proudovým mezistupněm. Kmitočet pulsního střídavého proudu určuje otáčky a šířka impulsů výkon motoru. Snímač polohy rotoru předává informace elektronickému řídicímu systému. Ten na základě úhlu a mezi vektorem magnetického toku točivého pole statoru a vektorem magnetického toku pole kotvy řídí úhel otevření spínacích tranzistorů a tím šířku impulsů a tím velikost magnetického toku kotvy, tedy výkon motoru v závislosti na zatěžovacím momentu. (Zatěžovací moment mění úhel α). Mluvíme zde proto o vektorové regulaci (úhlu mezi vektory).

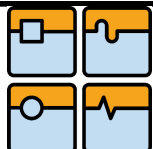
Snímač otáček (tachosnímač) předává informace do PI-regulátoru (proporcionálně integrální regulátor, viz dále kapitola regulátory), který optimalizuje regulaci celého systému tak, aby



DIPLOMOVÁ PRÁCE

řídící systém reagoval rychle a nekmital. I při skokových povelích měnících požadované otáčky npož (řídící veličinu regulátoru) mění řídící systém otáčky pole jen tak rychle, aby stačila kotva tyto změny sledovat, tj. aby úhel a nepřekročil polovinu úhlové rozteče mezi póly a kotva se neutrhla ze závěsu za točivým polem. Tato regulace dává motoru vlastnosti shodné s vlastnostmi stejnosměrného motoru, ve kterém se vektor magnetického toku kotvy odchyluje v závislosti na zatížení od pevného (nerotujícího) vektoru magnetického toku statoru. V trojfázovém motoru s točivým polem sice oba vektory (fázory) rotují, ale princip regulace jejich odchylky je stejný.

Vlastnosti trojfázových servomotorů: Při odpovídajícím provedení napájecího kmitočtového měniče je možné servomotory provozovat v obou směrech v motorovém i v brzděném (generátorovém režimu) v širokém rozpětí otáček, většinou od -5000 min^{-1} do $+5000 \text{ min}^{-1}$ a je možné je zatěžovat jmenovitým momentem v celém jmenovitém rozpětí otáček. Při rozběhu nebo zastavování může motor pracovat s trojnásobkem až pětinasobkem jmenovitého momentu M_n , což je spojeno s krátkodobým (impulsním) proudovým přetížením. Zde mluvíme o impulsním momentu. Ve statorovém vinutí je teplotní čidlo obsahující pozistor (PTC, Positive Temperature Coefficient = termistor s kladným teplotním součinitelem odporu), které hlídá teplotu vinutí. Motory mají vlastní chlazení a zapouzďení se stupněm krytí IP 65 chránícím proti nasávanému prachu a tryskající vodě. Servomotory jsou často konstruovány pro vyšší napětí 600 V, což umožňuje při daném výkonu pracovat s menšími proudy v síťovém transformátoru napěťového měniče, v jeho stejnosměrném mezistupni i v samotném motoru. Menší proudy znamenají menší průřezy vodičů, menší rozměry a menší hmotnost a také menší setrvačné momenty. “[26]



6. Konstrukce vidlicové paralaktické montáže

Samotné konstrukční provedení montáže bylo provedeno na základě posbíraných údajů o sériově vyráběných montážích s poznatky z průmyslově využívanými principy a přístroji, které by mohly vést k lepší funkce montáže.

Montáž je navržena pro použití teleskopu: **Vixen Cassegrain Teleskop C 330/4320 VMC330L OTA**[11]. Tento teleskop byl vybrán, protože jeho parametry a rozměry odpovídaly požadavkům zadání DP.



Obr. 34: Vixen Cassegrain Teleskop C 330/4320 VMC330L OTA [11]

Vixen VMC330L

Průměr primárního zrcadla	330mm (materiál Pyrex)
Ohnisková vzdálenost	4320mm
Průměr sekundárního zrcadla	86mm
Průměr tubusu	390mm
Délka	900mm
Hmotnost	20 Kg
Cena	14799,- EUR

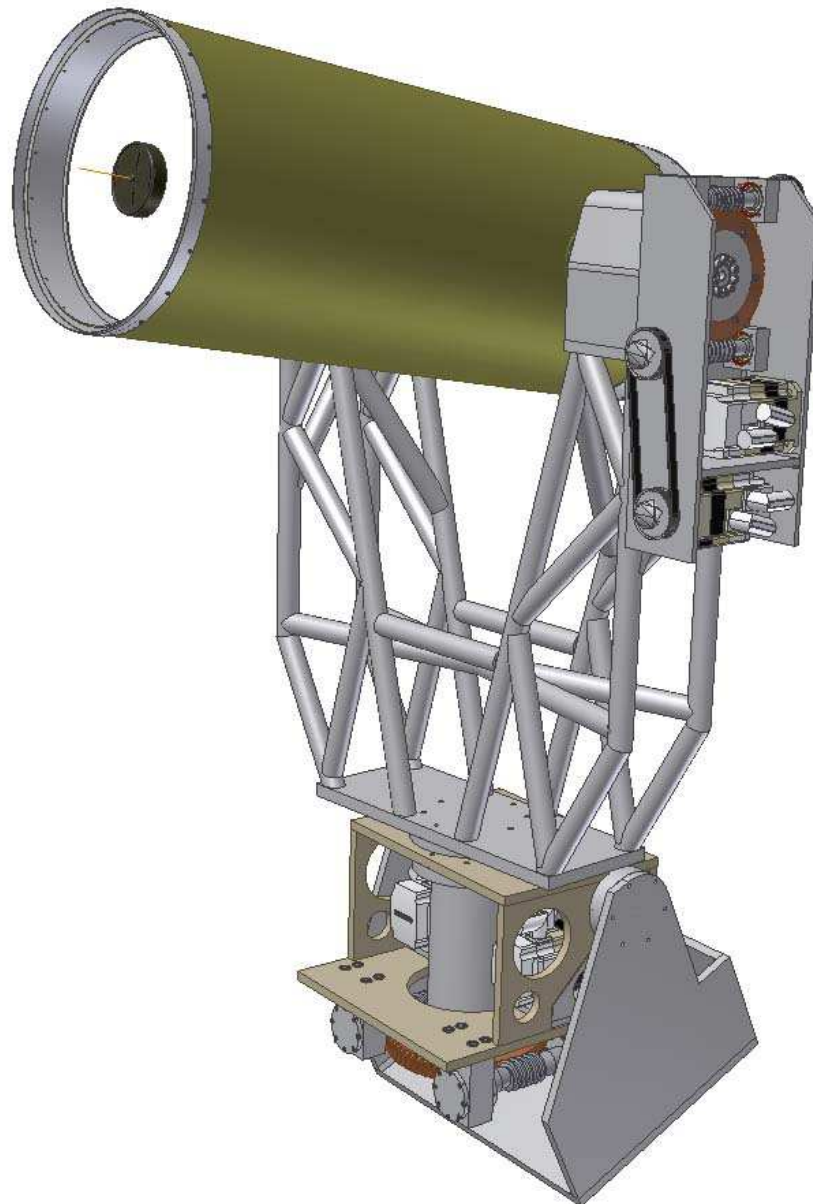
Tabulka 1: Vlastnosti teleskopu Vixen VMC330L [11]

Jedná se o teleskop vhodný pro použití pokročilejším astronomům, kteří jsou ochotni investovat do svého hobby i statisíce Kč, nebo pro hvězdárny. Díky rozměrům a geometrii zrcadel má poměrně velikou světelnost a je vhodný pro všestranné využití při pozorování Měsíce, planet, mlhovin, galaxií, vhodný pro astrografii i pozorování přírody.

Na základě této úvahy o všestrannosti byla vytvořena první varianta konstrukce montáže, od které se odvíjel celý vývoj až do finální podoby montáže.



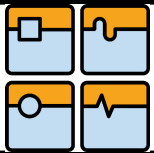
6.1 Varianta 1



Obr. 35: Varianta 1 návrhu montáže

Podle zadání (teleskop hmotnosti 20 Kg) byla navržena tato varianta, kde byly rozměry přizpůsobeny výše zmíněnému teleskopu. Tedy rozteč přírub pro montáž teleskopu 400mm, dostatečná výška vidlice kvůli průchodu teleskopu, který bude pravděpodobně osazen kamerou či fotoaparátem z důvodu snímání obrazu a pointování samotné montáže pro optimalizaci pořizování dobrých snímků, dále vybavení montáže pohony obou os.

Návrh této montáže byl osazen následujícími charakteristickými komponenty:

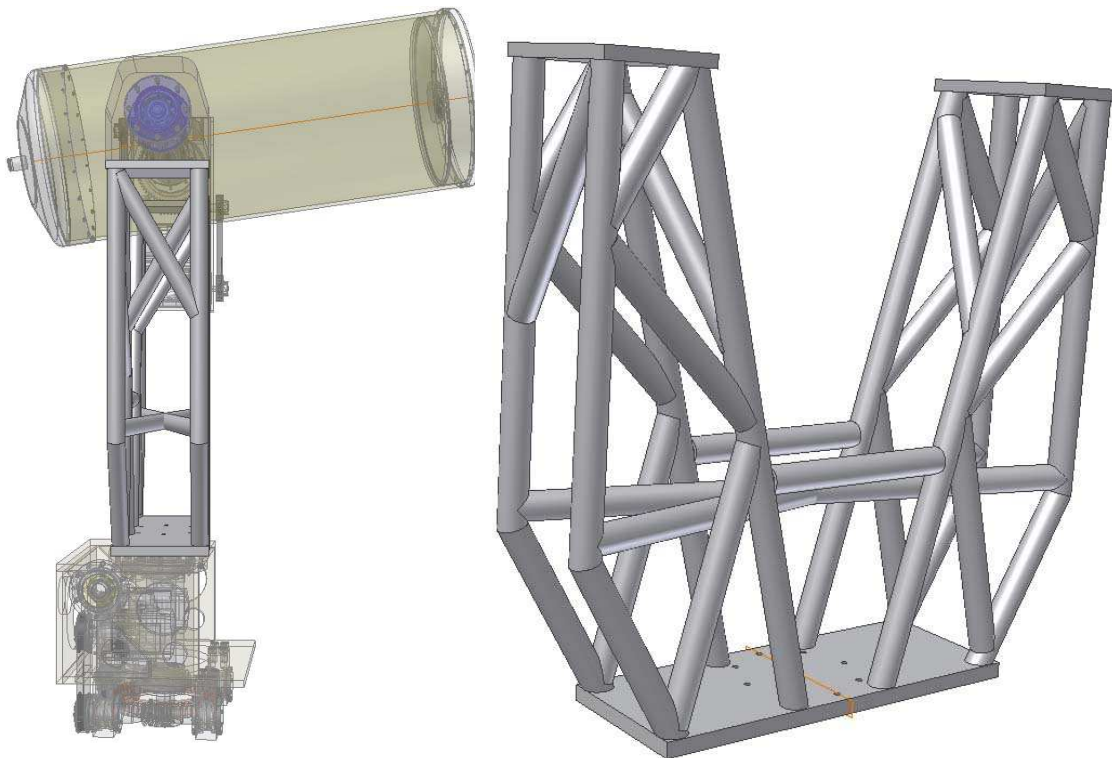


6.1.1 Vidlice

Vidlice byla kvůli minimalizaci hmotnosti konstruována jako svařovaná, příhradová. Toto najde své uplatnění i při převážení montáže na různá místa a pro pozorování ve volné přírodě kvůli minimalizaci povětrnostních vlivů působících nepříznivě na přesnost montáže.

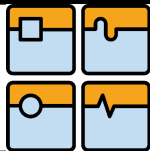
Nevýhody tohoto provedení jsou tyto:

- Nevhodné provedení příhradové konstrukce, které s sebou přináší značnou složitost při svařování
- Nízká tuhost spodní stavby vidlice, kde by hrozily značné deformace

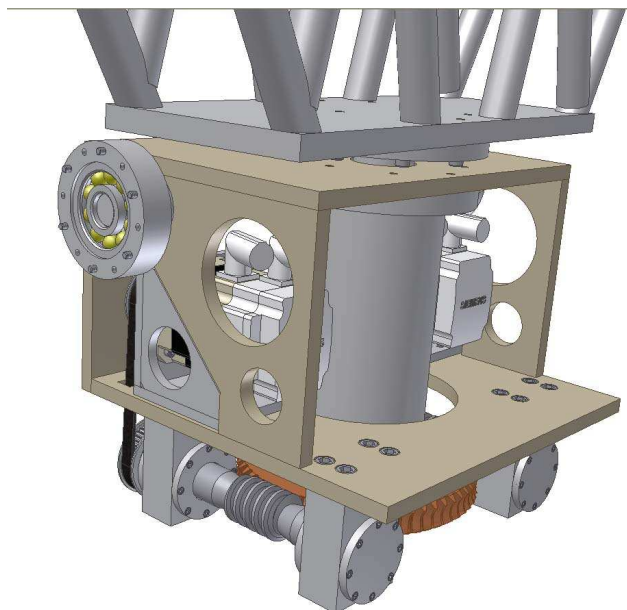


Obr. 36: Varianta 1 návrhu montáže

-Nízká tuhost v případě zatížení z přední strany vidlice, což je dáno rovnoběžnými stranami příhradové konstrukce. Paralaktické provedení montáže vyžaduje orientaci polární osy totožnou se zemskou osou. To může zapříčinit zatížení axiální pouze v případě umístění montáže na zemských pólech. V jiných případech se bude jednat o kombinované axiálně-radiální zatížení až do druhého extrému, kdy bude montáž umístěna na rovníku a zatížení od gravitační síly bude téměř kolmé k polární ose a vidlice bude zatížena čistě na ohyb.



6.1.2 Rám



Obr. 37: Varianta 1 návrhu montáže

Rám montáže je navržen jako svařenec z plechu tloušťky 15mm. Rám slouží pro připevnění motorů, převodového ústrojí a ložisek, k připevnění pouzdra polární osy a k samotnému pohyblivému členu nastavení sklonu polární osy.

Po důkladné analýze bylo dosaženo závěru, že se jedná o zbytečný konstrukční prvek vnášející do systému zbytečné složitosti a dochází ke snižování tuhosti především šroubovými spoji v sérii, stykové tuhosti a dalším přebytným členem, který je možno nahradit za jednodušší koncepci.

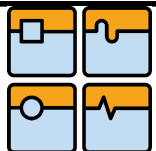
Polární osa

Uložení polární osy je realizováno v masivním pouzdře, kde jsou umístěny ložiska s kosoúhlým stykem a permanentní tukovou náplní. Díky nízkým otáčkám osy není nutno mazat ložiska olejovou lázní a tuková náplň postačí. Nevýhodou tohoto řešení je neúměrný průměr hřídele polární osy, který je nutno z tuhostních důvodů zvětšit. Sice statické i dynamické zatížení není natolik veliké, aby docházelo k plastickým deformacím, ale z hlediska tuhosti soustavy a tlumení vibrací je lepší průměr zvětšit. Pro ilustraci je zde uvedena tabulka průměrů polárních os v závislosti na průměru primárního zrcadla reflektoru vypracovaní firmou **Hvězdářské dalekohledy Drbohlav** [12]

Pro dostatečnou tuhost montáže se doporučují tyto poměry:

Průměr polární osy (mm):	25	50	65	75	90	100	125	150-200
Doporučený průměr zrcadla (mm):	100	200	250	300	350	400	500	600

Tabulka 2: Tabulka doporučených rozměrů polární osy



Pro univerzálnost použití této varianty je zkonstruován člen pro nastavení sklonu polární osy. Je realizován pomocí čepů připevněných na rámu montáže, které jsou otočně spojeny se základnou, která se připevní na stativ či betonový sloupek.

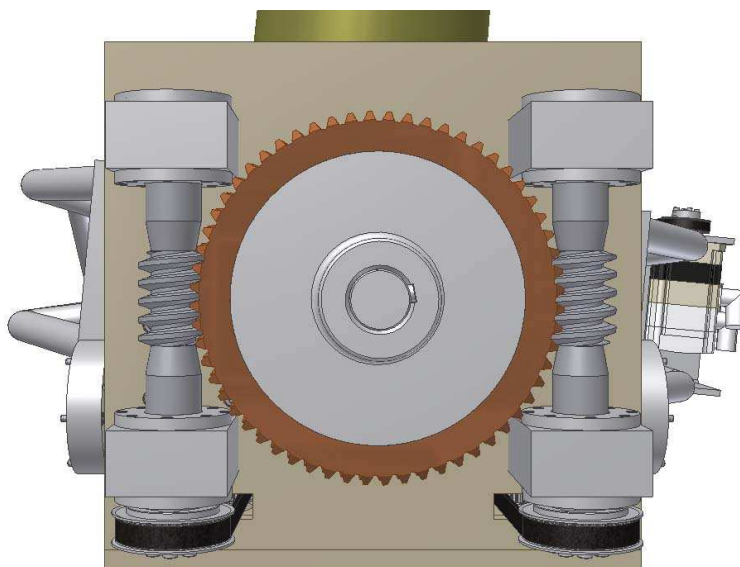
Deklinační osa

Realizace uložení deklinační osy je v této variantě provedeno pomocí domků s ložisky připevněných na návarcích příhradové konstrukce vidlice. Hřídele jsou uloženy v pouzdře pomocí dvojice ložisek s kosoúhlým stykem s možností předepnutí pomocí distančních kroužků. Každá hřídel je uložena na dvou ložiscích, což s sebou přináší komplikace ustavování ložisek při montáži, což je nutno přepracovat. Domečky ložisek jsou koncipovány jako odlitky s předlitou dírou, která je dále nutna opracovat.

6.1.3 Pohony a převody

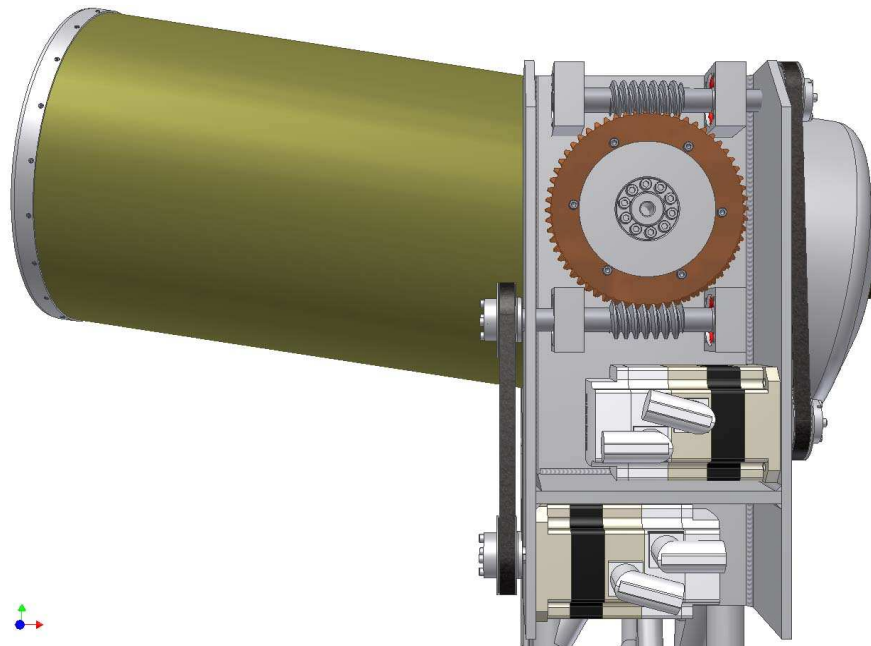
Prvek, který se promítá i do následujícího finálního řešení montáže je pohon os pomocí Master-Slave způsobu náhonu. Tím je myšleno, že každá osa je naháněna přes převodové ústrojí dvěma motory, které působí částečně proti sobě tak, aby převod (v provedení této montáže šnek-šnekové kolo) předepínaly a tím eliminovaly vůli, která by vznikla vlivem výrobních tolerancí. Tím pádem by vzniklo jakési mrtvé místo při změně orientace otáčení motorů. Tento problém by byl nejhorší během automatické korekce deklinační osy při snímání obrazu dané hvězdy. Tento prvek s sebou přináší značné zdražení montáže, což ale vzhledem k pořizovací ceně a kvalitě optického přístroje není neúměrné.

Převodové ústrojí polární osy je řešeno pomocí šnekové převodovky, kterou podle principu Master-Slave pohání 2 šneky. Ty jsou připevněny k rámu domečky s ložisky s kosoúhlým stykem, které se podobně jako u deklinační osy předepínají distančními kroužky.



Obr. 38: Převodové ústrojí polární osy

Převodové ústrojí deklinační osy je principiálně stejné s polární osou. Skříň s převodovkou je ale pevně připevněna k domku deklinační osy.



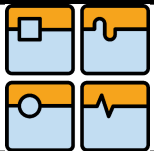
Obr. 39: Převodové ústrojí deklinační osy

Šneková kola jsou tvořena ozubeným věncem nalisovaným na náboji šnekového kola. Náboj šnekového kola je spojen s hřídelí svěrným spojem (na deklinační ose) a perem (na polární ose). V případě spoje s perem je nutné konstrukci přehodnotit, protože vůle, která může vzniknout spojem by znehodnotila Master-Slave eliminaci vůle ve šnekové převodovce. Svěrná pouzdra se jeví jako vhodný kandidát pro spojení řemenic a šnekových kol s hřídelí, zvláště pak samostředící pouzdra.

6.1.4 Zhodnocení Varianty 1

Varianta 1 slouží jako odrazový můstek pro finální podobu montáže. Zhodnocením jednotlivých konstrukčních celků se lze značně posunout ve zdokonalení celé montáže. Z varianty 1 plynou následující závěry:

- Montáž nadále nebude přenosná, ale konstruována pro uložení v observatoři, tudíž nebude možné nastavovat sklon polární osy, protože je to u pevně uložené motnáže zbytečné.
- Příhradová koncepce vidlice bude zachována, ale je nutné změnit geometrii a uspořádání výztuh příhrady, konstrukce pro zesílení spodní stavby vidlice. Dále je nutné přehodnotit uspořádání z technologického hlediska.
- Polární osu je nutno přizpůsobit empiricky získaným hodnotám firmy Drbohlav
- Zjednodušení uložení deklinační osy z pohledu montáže a ustavení domků.
- Zjednodušení a zpřehlednění uložení domků šneků obou os.
- Absence rámu, jako nosný prvek poslouží pouzdro polární osy
- Šnek deklinační osy nebude poháněn přes synchronní řemen, ale na přímo přes svěrnou spojku.

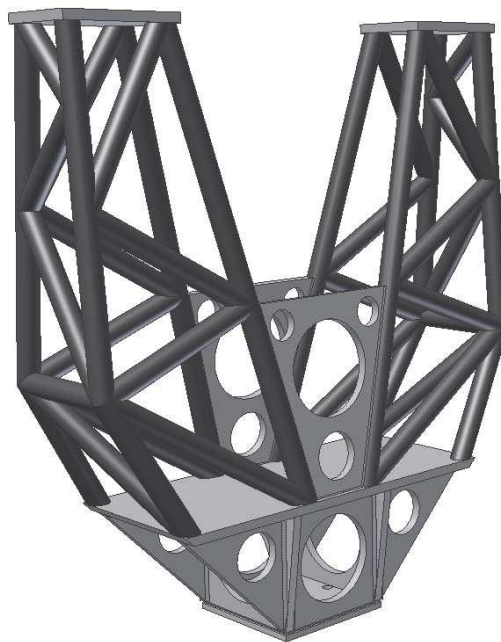


- Montáž bude vybavena přímým odměřováním natočení z důvodu zvětšení rozlišení, než jaké poskytuje odměřování v servopohonu. Pro tento účel se jeví jako vhodné produkty firmy Renishaw a jejich prstencové rotační úhlové snímače Signum Resm.
- Optimalizace designu domků ložisek deklinační osy z důvodu snížení hmotnosti.

6.2 Konstrukce montáže na základě poznatků z varianty 1

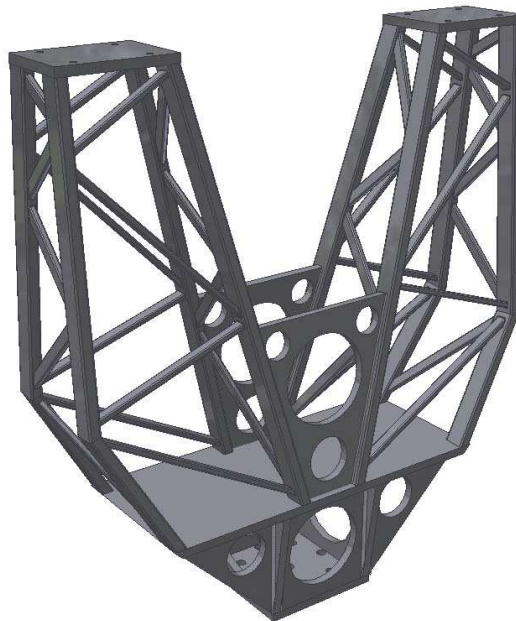
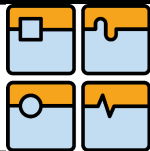
6.2.1 Vidlice

[13]



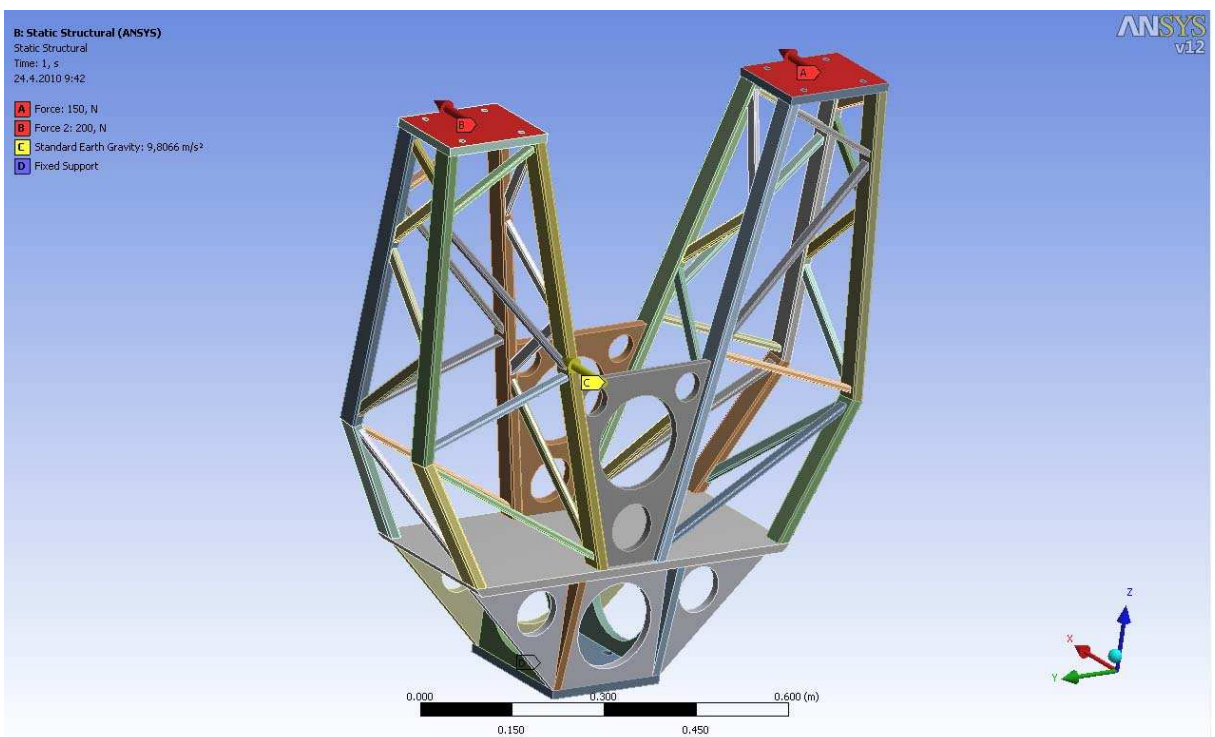
Obr. 40: Vidlice montáže z kulatých profilů

Princip konstrukce příhradové vidlice zůstal zachován. Jedná se o poměrně praktickou věc zejména kvůli snížení hmotnosti při zachování tuhosti a snížení vlivu povětrnostních podmínek díky snížení plochy na kterou působí vítr. Značnou komplikací ale přináší svařování, protože je nutné díly předzpracovat a nařezat tak, aby ve výsledku bylo dosaženo co nejlepšího výsledku. Z varianty 1 byl převzat hrubý tvar vnějšího tvaru vidlice. Vidlice se klínovitě zužuje směrem k horní části kde je zakončena návarky pro připevnění domků ložisek deklinační osy. Spodní stavba byla zesílena o konstrukci z 15mm plechů tak, aby bylo možné pohodlně přišroubovat přírubu deklinační osy. Tato část je dodělána z důvodu zvýšení tuhosti celé vidlice. Trubkovité vzpěry varianty 1 byly nahrazeny navařenými plechy s odlehčovacími otvory. Kvůli zjednodušení tvaru konstrukce, zjednodušení výroby a svařování byla vypracována také varianta kdy příhradová konstrukce bude tvořena trubkami obdélníkového průřezu 40x20x3mm pro hlavní nosníky a 20x40x2mm pro výztuhy příhradové konstrukce. Toto uspořádání vytvoří poměrně jednoduchý výrobitelný celek s dostatečnou tuhostí pro účely osazení teleskopem o hmotnosti 20Kg.



Obr. 41: Vidlice montáže z obdélníkových profilů

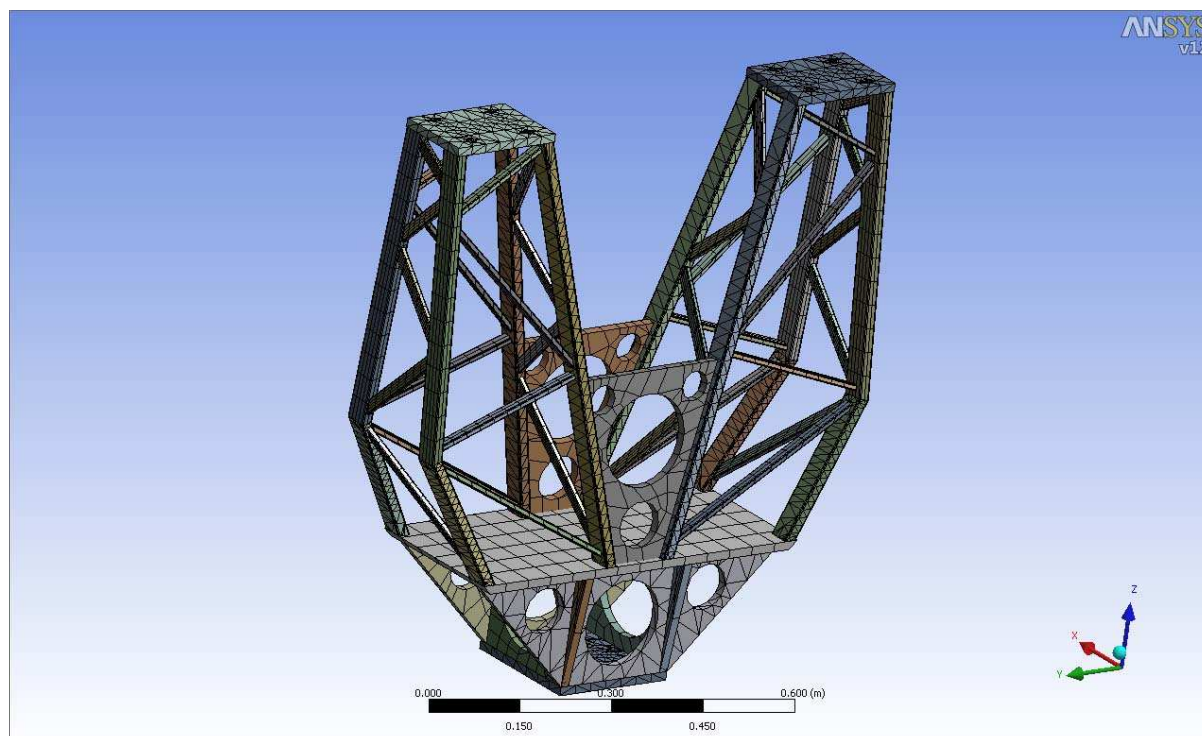
Únosnost vidlice byla ověřena na základě programu s podporou výpočtů MKP Ansys Workbench 12.0.1. Byla zde provedena analýza ekvivalentního napětí a deformace. Zatížení vidlice při výpočtu je záměrně přehnané z důvodu ověření tuhosti vidlice. Zatěžování bylo vybráno ve směru, kde se u vidlice vyskytuje nejmenší kvadratický modul průřezu. Pro tento výpočet byla nastavena síla o velikosti 200N působící kolmo k ose vidlice, z důvodu zjištění deformace při maximálním možném sklonu polární osy 90° , tedy potřebného sklonu v místě rovníku Země. Působící síla 200N na oba vrcholy vidlice simuluje zatížení 20kg teleskopu, převodového ústrojí a přístrojů připojených k teleskopu. Toto zatížení dohromady nepřekročí



Obr. 42: Rozvržení zatížení na vidlici

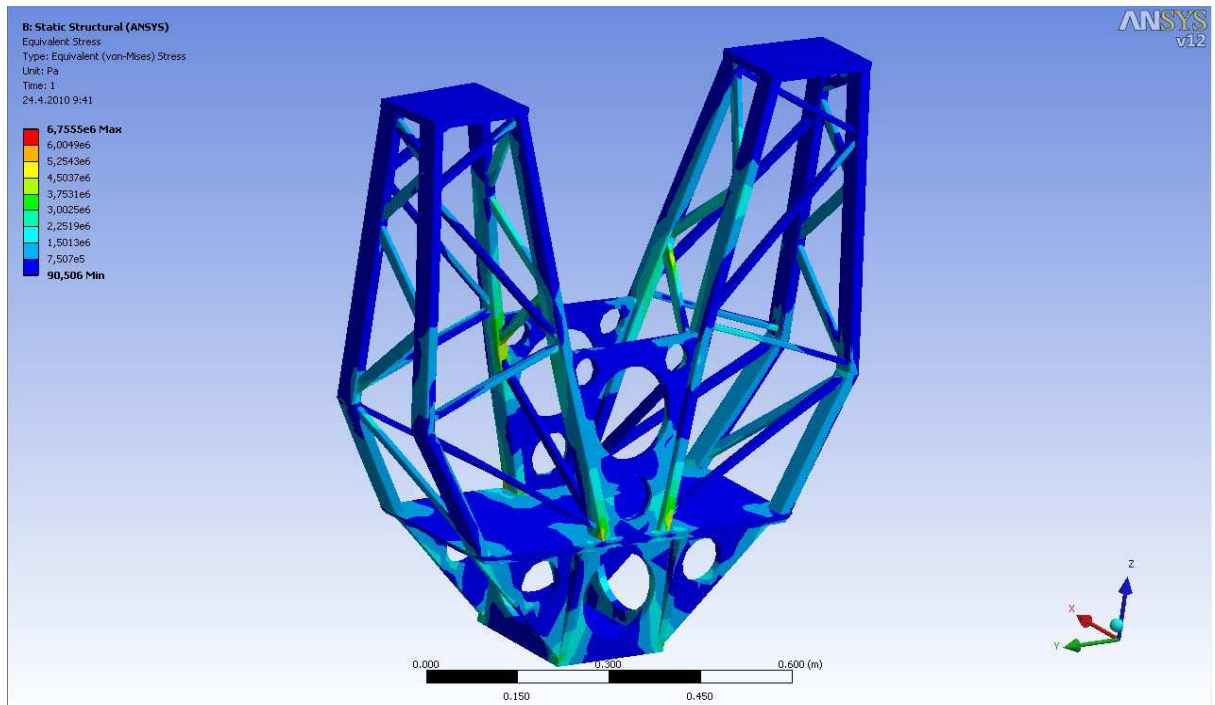
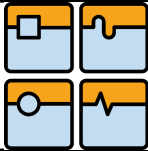


400N, ale z bezpečnostních důvodů je toto zatížení záměrně přehnané. Dále je vidlice zatížena vlastní vahou. Váha vidlice se pohybuje okolo 80kg. Spodek vidlice ke kterému se připevňuje příruba hřídele polární osy byla uvažována jako pevná podpora. Bylo využito uživatelského prostředí Ansys Workbench, které umožňuje pevnostní analýzu, přičemž uživatel nemusí složitě vytvářet síťování, umožňuje pevnostní analýzu sestav, což používaná CAD aplikace neumožňuje. Díky jednoduchému ovládání je možné docílit výsledků, které zřejmě nebudou dokonale přesné jako při expertní MKP pevnostní analýze, ale rozhodně poslouží pro představu, jak se daný konstrukční uzel bude při zatížení chovat.



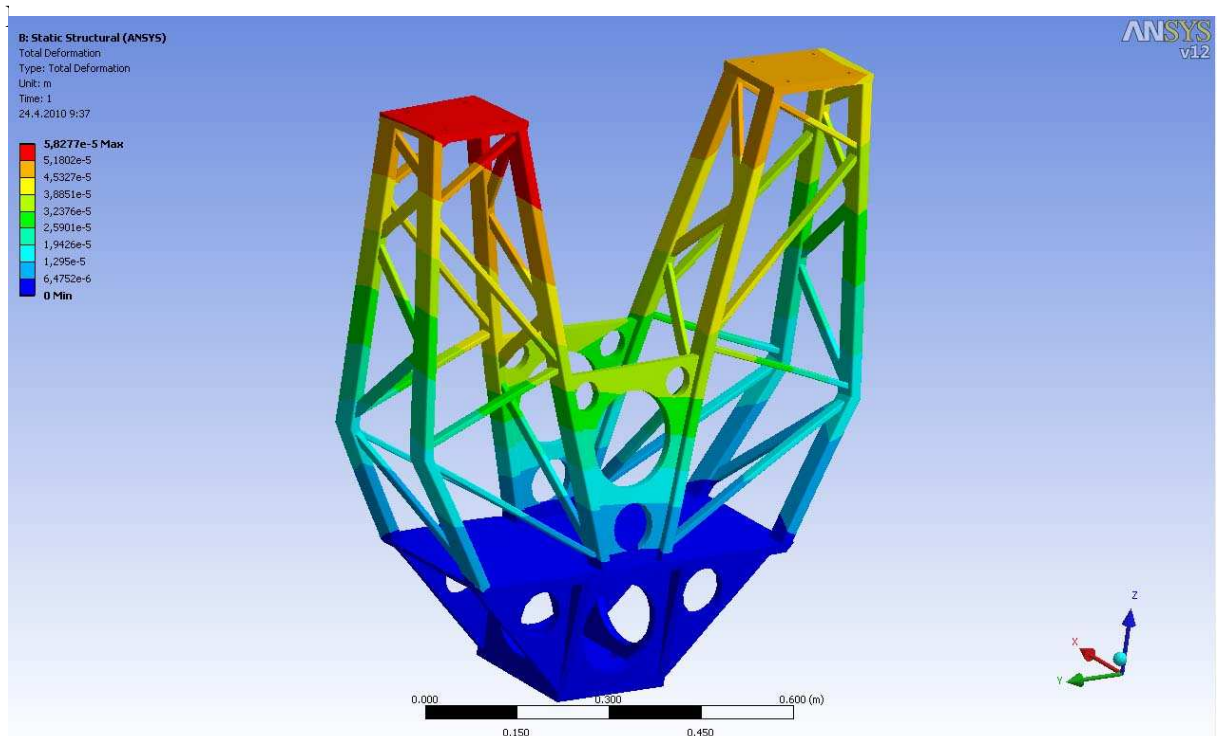
Obr. 43: Automaticky generované síťování MKP

Výsledek pevnostní analýzy potvrzuje předpoklad silně předimenzované konstrukce z tuhostních důvodů. Maximální hodnota 6,75MPa se vyskytuje pouze v koncentrátoch napětí, tedy ve svárech, kde se vyskytuje značná nedokonalost řešení touto metodou. Nicméně i při takovémto napětí je předimenzování konstrukce značně veliké a hodnota bezpečnostního koeficientu vzhledem k meznímu stavu plastické deformace je přes 20. Výsledek potvrzuje vhodnost řešení pro dané účely. Z pohledu pevnostního i z technologického konstrukce vyhovuje pro uchopení teleskopu a pozorování s velkým zvětšením.

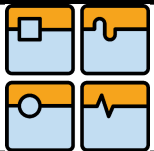


Obr. 44: Výsledek MKP pevnostní analýzy – ekvivalentní napětí

Deformační analýza ukazuje rozložení deformací na vidlici při daném zatížení. Se zvětšující se vzdáleností od pevné vazby vzrůstá i ohybový moment působící na vidlici, čímž se zvětšuje i průhyb konstrukce. Maximální hodnoty, které dosahuje průhyb ve vrcholech vidlice je 0,058mm. Při rychlém pohybu by tato deformace v případě tohoto optického přístroje jistě byla nepříjemná, nicméně v případě tohoto přístroje, kdy rychlost otáčení při pozorování je 1 otáčka za den se průhyb téměř nemění a při délce expozice např. 1 hodina se vidlice pootočí o 15°.



Obr. 45: Výsledek MKP pevnostní analýzy – deformace



Jelikož se jedná o svařenec složený z mnoha prvků je nutné celou konstrukci po svaření vyžítat za účelem snížení vnitřního napětí, které by mohlo vést k trhlinám v konstrukci.

6.2.2 Stojan

Stojan montáže slouží jako nosný prvek celého stroje. Jedná se o svařenec z obdélníkových ocelových profilů rozměru 300x200 mm o síle 5mm. Z varianty 1 vyplynula potřeba zjednodušení z hlediska technologického uspořádání, proto bylo pouzdro ložisek polární osy transformováno v nosný prvek celé montáže. Toto pouzdro je přivařeno ke stojně montáže.

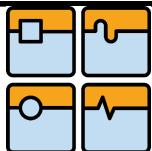


Obr. 46: Svařenec stojanu paralaktické montáže

K pouzdru ložisek polární osy je přivařena deska sloužící pro ustavení domků ložisek šnekového převodu. Tato deska je ze strany pro přišroubování domků obrobena, aby vznikla dosedací plocha pro ustavení domků. Z druhé strany je deska podepřena žebry, aby nedocházelo k větším deformacím při pohybu osy, nebo vlivem předepínání řemenu. Stojna je taktéž zpevněna přivařenými žebry kvůli zvýšení tuhosti. V základní desce stojny jsou díry kvůli ustavení a přichycení stavěcími šrouby.

Stojan montáže je nosným prvkem, ke kterému je připevněno celé zařízení. Slouží tedy jako nosný prvek pro:

- Motory polární osy, které jsou připevněny k boku stojny šroubovými spoji
- Napínací mechanismus řemenu
- Domky ložisek šneků polární osy
- Pouzdro ložisek polární osy



Konstrukce stojanu je záměrně silně předdimenzovaná z důvodu tuhosti, kdy má na přesnost vliv hmotnost samotného zařízení a jeho pohyb, například při rychloposuvu. Dalším významným zatěžujícím prvkem jsou povětrnostní vlivy, kterým musí stojan odolat v případě, že je montáž umístěna na pozorovatelně mimo kopuli, která poskytuje pouze potřebný průzor pro pozorování.

6.3 Pohonná soustava montáže

Pro pohyb obou os paralaktické vidlicové montáže byl vybrán princip Master-Slave. Tento způsob byl vybrán z důvodu eliminace vůle v obou osách. Jelikož je použit šnekový převod, který sám o sobě díky výrobním nedokonalostem není bezvůlový. A právě vůle by se mohla projevit zejména při změně směru orientace otáčení deklinační osy během automatické pointace, kde by způsobila rozostření obrazu.

Z tohoto důvodu osu pohání vždy dva motory, kdy jeden působí jako hlavní hnací člen a druhý působí proti němu. Řídící systémy obou motorů musí být proto spřaženy tak, aby nedocházelo k tomu, že vůle v převodovém ústrojí zůstane a oba šneky se otáčejí stejně. Také nesmí dojít ke stavu, kdy soustava stojí nebo se velice těžce otáčí a elektrické předpětí je příliš velké.

Většina frekvenčních měničů určených pro servomotory jsou schopny po spřažení s druhým měničem pracovat v režimu Master-slave. Proto není nutné se touto problematikou příliš detailně zabývat.

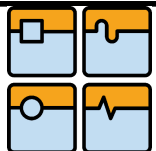
6.3.1 Pohon polární osy

6.3.1.1 Návrh motorů polární osy

[14]

Pro návrh motoru jsou uvažovány následující vstupní faktory:

- dosažení zrychlení rychloposuvu $8 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$ (zrychlení se dá nastavit podle potřeby, pro potřebu montáže volíme co nejvyšší zrychlení, ale v praxi se musí najít nejvhodnější podle velikosti rozkmitu vidlice)
- převodový poměr šnekové převodovky je 200, z důvodu co největšího snížení požadovaného kroutícího momentu motoru a co nejpresnějšímu chodu montáže
- moment setrvačnosti poháněné soustavy je $4,694 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ (hodnota odečtena z CAD programu Autodesk Inventor)



DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$\omega := 0.08 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$t := 0.01 \text{ s}$$

$$I_{ZZ} := 4.694 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$i := 200$$

$$\alpha := \frac{\omega}{t}$$

$$\alpha = 8 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

Uhlove zrychleni

$$M := I_{ZZ} \cdot \alpha$$

$$M = 37.552 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Moment potrebny z prevodovky

$$M_1 := \frac{M}{i}$$

$$M_1 = 0.188 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Potrebny moment motoru

$$P := M_1 \cdot \omega$$

$$P = 0.015 \text{ W}$$

Potrebny vykon motoru

Pro pohon obou os byly vybrány synchronní servomotory. Výrobců je celá řada (Siemens, SEW Eurodrive, Bosch Rexroth AG, Carl Rehfuß, SSB-Antriebstechnik, Aerotech, Lenord, Bauer & Co, Phytron Elektronik, RACO-Elektro-Maschinen, Schneider Electric Motion...). Produkty výrobců jsou parametry přibližně srovnatelné a jde spíše o mezipodnikovou spolupráci, nejvýhodnější cenu motoru a konstruktérovu osobní zkušenost pro kterého výrobce se rozhodne.

Pro návrh této montáže byly vybrány servomotory firmy Siemens, čistě z důvodu výborné podpory prodeje, přehledných on-line katalogů a snadné dostupnosti CAD modelů. Navíc firma Siemens se drží na trhu už od roku 1847.

Volba konkrétního motoru je odvozena od nutnosti mít potřebný kroutící moment při daných otáčkách. V případě polární osy je nutné dosáhnout rychlosti soustavy 0,08rad/s, což je vzhledem k běžnému použití tohoto typu servomotoru bez problémů. V přepočtu na potřebné otáčky motoru se jedná o hodnotu zhruba 150 ot/min, což motory řady 1FT6 splňují.

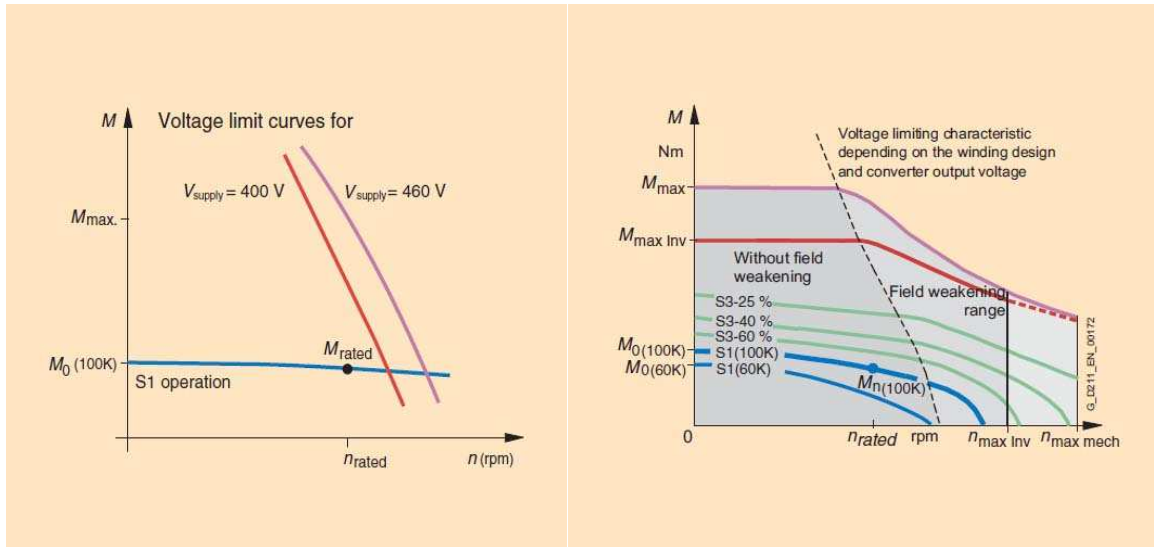
Motory řady 1FT6**[15]**

- jedná se o synchronní servomotory s rotorem tvořeným permanentními magnety
- integrovaný enkodér (pro účely montáže se jedná o zbytečnou věc, protože montáž je vybavena přímým odměřováním)
- veliké teplotní rezervy pro kontinuální aplikace a aplikace s přetížením motoru
- vysoká efektivita
- vysoká odolnost vůči postranním silám
- nízký rozkmit hodnoty momentu (1%)
- vzduchem chlazený motor (možnost chlazení vodou)
- nízký moment setrvačnosti rotoru
- vysoký stupeň ochrany
- napětí z výstupu frekvenčního měniče v rozsahu 400 až 480 V



DIPLOMOVÁ PRÁCE

- vícepólový resolver, inkrementální snímač sin/cos 1 Vpp, absolutní EnDat
- vhodný pro všechna průmyslová odvětví s vysokými nároky na přesnost polohy při vysoké dynamice: balící stroje, regálové zakladače, dopravní technika, ruční přístroje, tiskařské stroje.



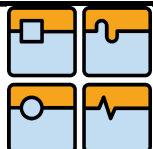
Obr. 47: Momentová charakteristika motorů 1FT6 [15]

Podle potřebného momentu motoru byl vybrán motor 1FT6021-4AK71-3AK0.

Rated speed	Shaft height	Rated power	Static torque	Rated torque ¹⁾	Rated current	1FT6 synchronous motors Natural cooling	Number of pole pairs	Rotor moment of inertia (without brake)	Weight (without brake)
n_{rated}	SH	P_{rated} at $\Delta T=100$ K	M_0 at $\Delta T=100$ K	M_{rated} at $\Delta T=100$ K	I_{rated} at $\Delta T=100$ K	Order No. Standard type		J	m
rpm		kW (HP)	Nm (lb _r -ft)	Nm (lb _r -ft)	A			10^{-4} kgm ² (10^{-3} lb _r -in-s ²)	kg (lb)
6000	28	0.19 (0.3)	0.4 (0.3)	0.3 (0.2)	1.1	1FT6021-6AK71 - ■■■■	3	0.21 (0.19)	1.2 (2.6)
		0.31 (0.4)	0.8 (0.6)	0.5 (0.4)	0.9	1FT6024-6AK71 - ■■■■	3	0.34 (0.30)	2.1 (4.6)
	36	0.47 (0.6)	1.0 (0.7)	0.75 (0.6)	1.2	1FT6031-4AK71 - ■■■■	2	0.65 (0.58)	3.1 (6.8)
		0.88 (1.2)	2.0 (1.5)	1.4 (1.0)	2.1	1FT6034-4AK71 - ■■■■	2	1.1 (0.97)	4.4 (9.7)
	48	1.1 (1.5)	2.6 (1.9)	1.7 (1.3)	2.4	1FT6041-4AK71 - ■■■■	2	2.9 (2.57)	6.6 (14.6)
		1.9 (2.6)	5.0 (3.7)	3.0 (2.2)	4.1	1FT6044-4AK71 - ■■■■	2	5.1 (4.51)	8.3 (18.3)
	63	1.3 (1.7)	4.0 (2.9)	2.1 (1.5)	3.1	1FT6061-6AK71 - ■■■■	3	6.0 (5.31)	8.0 (17.6)
		1.3 (1.7)	6.0 (4.4)	2.1 (1.5)	3.2	1FT6062-6AK71 - ■■■■	3	8.5 (7.52)	9.5 (20.9)
		1.3 (1.7)	9.5 (7.0)	2.1 (1.5)	3.5	1FT6064-6AK71 - ■■■■	3	13.0 (11.5)	12.5 (27.6)
	80	2.9 (4.0)	8.0 (5.9)	4.6 (3.4)	7.7	1FT6081-8AK71 - ■■■■	4	21.0 (18.5)	12.5 (27.6)
3.5 (4.7)		13.0 (9.6)	5.5 (4.1)	9.1	1FT6082-8AK71 - ■■■■	4	30.0 (26.5)	15.0 (33.1)	
4.1 (5.5)		20.0 (14.7)	6.5 (4.8)	9.2	1FT6084-8AK71 - ■■■■	4	48.0 (42.4)	20.5 (45.2)	

Obr. 48: Výběr motoru polární osy [15]

Udávané hodnoty jsou sice menší než potřebný výkon, ale podle momentové charakteristiky je patrné, že jmenovitý moment je udáván při otáčkách 6000ot/min, tedy hodnota momentu při otáčkách 152 ot/min značně vzroste. Dále je třeba si uvědomit, že motory budou použity 2 pro řízení Master-Slave.



6.3.1.2 Výpočet šnekového soukolí polární osy

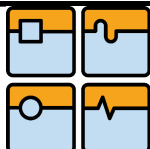
Výpočet byl proveden na základě programu Autodesk Inventor Professional 2008, jehož nástavba Design Accelerator umožňuje navrhovat různé typy převodů včetně výpočtů a kontroly zatížení převodu. Po zadání vstupních údajů provede program výpočty automaticky podle předdefinovaných údajů. Pro výpočet šnekového soukolí byla vybrána norma ČSN 01 4780.

V programu AIP2008 byly provedeny výpočty geometrie šneku, zatížení a kontroly na opotřebení.

Modul soukolí byl záměrně volen velmi malý, z důvodu malých momentů přenášených soukolím. Převodový poměr je 200 z důvodu zmenšení krutícího momentu při rozjezdu na rychloposuv a pro samotné z převodování při pořizování fotografií.

Geometrie

Převodový poměr	i	200
Modul	m	1,248 mm
Axiální Modul	mx	1,250 mm
Úhel šroubovice	γ	2,8624 deg
Úhel přitlaku	α	19,9770 deg
Průměrový koeficient šneku	q	20
Osová vzdálenost	aw	137,500 mm
Axiální rozteč zubů	px	3,9270 mm
Rozteč zubů	pn	3,9221 mm
Patní rozteč	pb	3,690 mm
Lead	pz	3,927 mm
Délka šneku	b1	110,000 mm
Tloušťka šnekového kola	b2	25,000 mm
Úhel působení axiálního tlaku	α_x	20,0000 deg
Úhel sklonu šroubovice	β_b	2,6900 deg
Koeficient kontaktu	ε	2,26
Příčný Koeficient kontaktu	ε_α	1,95
Koeficient přesahu	ε_β	0,32
Limit odchyly úhlu	F β	0,0090 mm
Mrtvý chod	j _{nmin}	0,063 mm
Limit odchyly průměru	fa	0,038 mm



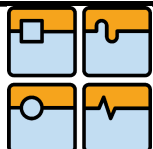
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Převody

		Šnek	Šnekové kolo
Počet závitů	N	1	
Počet zubů	N		200
Jednotková korekce	x	0	0
Průměr roztečné kružnice	d	25,000 mm	250,000 mm
Vnější průměr	da	27,500 mm	252,500 mm
Průměr patní kružnice	df	22,000 mm	247,000 mm
Outside Diameter	dae		253,750 mm
Hlavový průměr	db	23,492 mm	234,923 mm
Valivý průměr	dw	25,000 mm	250,000 mm
Úhel stoupání	δ		65,38 deg
Šířka zubu	s	1,961 mm	1,961 mm
Osová šířka zubu	sx	1,963 mm	1,963 mm
Mez obvodového házení	Fr	0,0120 mm	0,0360 mm
Mezní odchylka osově rozteče	fpt	0,0075 mm	0,0110 mm
Mezní odchylka patní rozteče	fpb	0,0070 mm	0,0100 mm
Virtuální počet zubů	Nv		200,75
Min. Doporučená korekce	xmin		-14,25

Zatížení

		Šnek	Šnekové kolo
Výkon	P	0,100 kW	0,033 kW
Otáčky	n	200,00 rpm	1,00 rpm
Krouticí moment	T	4,775 N m	316,718 N m
Účinnost	η		0,33
Radiální síla	Fr		926,843 N
Tečná síla	Ft	381,972 N	2533,747 N
Axiální síla	Fa	2533,747 N	381,972 N
Normálová síla	Fn		2712,896 N
Rychlost otáčení	v	0,262 m/s	0,013 m/s
Kluzná rychlost	vk		0,262 m/s



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Materiál

		Šnek 12050	Šnekové kolo CuAl9Fe3
Mez pevnosti	Su		450 MPa
Mez pružnosti	Sy		130 MPa
Youngův Modul pružnosti	E	206000 MPa	121000 MPa
Poissonovo číslo	μ	0,3	0,32
Ohybová kontaktní pevnost	Sn		200,0 MPa
Kontaktní únavová pevnost	Kw		0,9 MPa
Ohybová Mez únavy	σ_{Flim}		150,0 MPa
Kontaktní Mez únavy	σ_{Hlim}		200,0 MPa
Tvrdoost boku zubů	VHV		100
Min počet zatěžovacích cyklů při ohybu	N _{Flim}		250000000
Min počet zatěžovacích cyklů při kontaktu	N _{Hlim}		250000000
Ohybový Exponent Wöhlerovy křivky	q _F		9
Kontaktní Exponent Wöhlerovy křivky	q _H		8
Max. kluzná rychlost	v _{max}		4,000 m/s

Výpočet pevnosti

Dodatečné koeficienty zatěžování

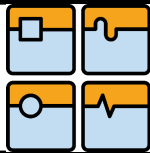
Aplikační koeficient	KA		1,2
Dynamický koeficient	K _{Hv}	1,000 ul	1
Plošný koeficient	K _{Hβ}	1,085 ul	1,08
Příčný koeficient	K _{Hα}	0,700 ul	0,7
Koeficient jednorázového přetížení	K _{AS}		1

Koeficienty kontaktu

Koeficient elasticity	ZE	163,99	
Koeficient plochy	ZH	2,49	
Koeficient kontaktu	Z ϵ	0,72	
Životnostní koeficient	ZN	1,8	
Koeficient mazání	ZL	1	
Rychlostní koeficient	Zv	1	

Koeficienty ohybu

Koeficient tvaru	YFA	1,26	
Koeficient úhlu šroub.	Y β	0,99	
Koeficient kontaktu	Y ϵ	0,61	
Koeficient změny zátěže	YA	1	
Životnostní koeficient	YN	1,81	
Velikostní koeficient	YX	1	



Výsledky

Koeficient bezpečnosti vzniku pittingu	SH	2,02
Koeficient bezpečnosti zlomení zubu	SF	4,85
Vychýlení šneku	y	0,1100 mm
Ztráty	Pz	0,070 kW
Max. Ztrátové teplo	Q	0,640 kW
Kontrola výpočtu		OK

Výpočet šnkového převodu provedený v programu Autodesk Inventor potvrzuje vhodnost volby geometrie, zatížení a materiálu pro použití u polární osy montáže. Nemělo by dojít k žádným závažným poruchám přístroje způsobených nevhodností aplikace, v rámci doby životnosti, což je 20 000 hodin provozu. Je to ovšem pochopitelné vzhledem nízkému zatížení převodovky a nízkým otáčkám i na rychloposuv.

Materiál šnekového kola byl zvolen hliníkový bronz CuAl9Fe3 díky svým dobrým kluzným vlastnostem. Šnek je vyroben jako ozubený věnec nalisovaný na náboji. Uložení ozubeného věnce je s přesahem H6/r5.

Materiál šneku je cementovaná 12 050 na HV 600. Důvod předimenzování je požadavek na dlouhou životnost z důvodu vysoké investice do samotné elektrické výbavy.

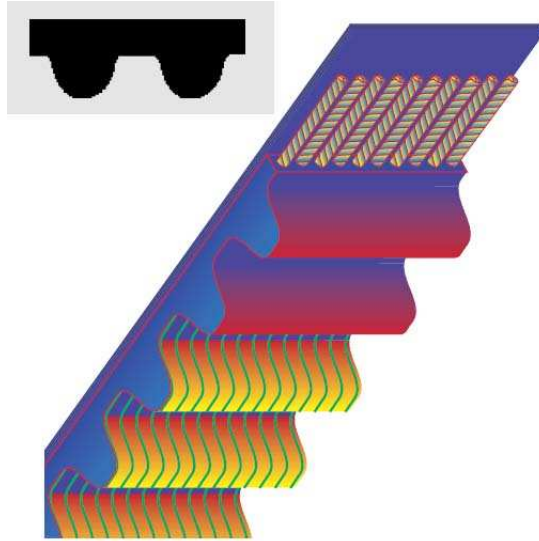
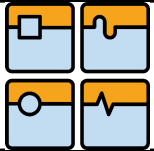


Obr. 49: Svěrné pouzdro SitLock 11S1 [18]

Šnekové kolo je spojeno s hřídelí polární osy svěrným samostředícím spojem Sit Lock 11S1 o vnitřním průměru 85mm, vnějším průměru 145mm a tloušťky 32mm.

6.3.1.3 Realizace přenosu kroučícího momentu z motoru na šnek [16]

Pro přenos kroučícího momentu na šnek byl vybrán jako vhodný kandidát synchronní řemen. Byl vybrán z důvodu jeho bezvůlovosti. Jiné varianty jako radiální ozubené soukolí, řetězový převod apod... pro přenos kroučícího momentu při rovnoběžných osách se zdají být díky přítomnosti vůlí nevhodné, právě díky samotnému master-slave řízení.



Obr. 50: Profil řemene Gates GT3 [16]

Volba samotného řemenu byla provedena na základě referencí z průmyslové praxe. Pro tuto aplikaci byly vybrány řemeny firmy Gates GT3. Obr.?? Řemen Gates GT3

Výhody Gates GT3 uváděné výrobcem:

„- Skleněná spirálovitě vinutá lanka vytváří tahový prvek řemenu a tím jeho nejdůležitější vnitřní část. Vyznačuje se velkou pevností v tahu, mimořádně dobrou ohebností a velkou podélnou tuhostí.

- Vrstva obklopující skleněné tažné vlákno má trvanlivou ohybovou poddajnost, protože je složena z upraveného polychlóprénu s vysokou adhezí k tažné vrstvě má přiměřenou ohybovou poddajnost. Chrání proti minerálním olejům v malém množství.

- Zuby jsou z polychloroprenové směsi, která je odolná a pevná ve střihu, a jsou navulkanizovány k vrstvě hřbetu tak, že tvoří kompaktní celek. Aby byl zaručen dokonalý záběr se zubní mezerou řemenice, mají polychloroprenové zuby přesný tvar zubu a rozteč, při čemž záběrová křivka řemenu se shoduje přesně se záběrovou křivkou řemenice.

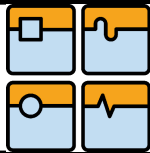
- Spodní stranu řemenu pokrývá houževnatá a otěruvzdorná nylonová tkanina, která chrání zuby před opotřebením, podobně jako povrchové vytvrzení u ozubených kol. Tato speciální tkanina má velmi malý součinitel tření a po určité době je povlak vyleštěn.

- Elektrostatická vodivost dle ISO 8435 zajišťuje použití v prostředí s nebezpečím výbuchu. Všechny dodávané řemeny 8MGT a 14 MGT jsou standardně vodivé. Ostatní řemeny s elektrostatickou vodivostí se vyrábějí na objednávku. Certifikát je třeba objednat. - Optimální poměr cena / výkon. Výkony do 525 kW.

- Přesnost převodu je podstatně vyšší, 0.06 mm oproti 0.24 mm u řemenu HTD, obojí při rozteči 3 mm.

- Vyšší odolnost o 50 - 90% proti přeskocení přes zuby řemenice ve srovnání s typem HTD.

- Je vhodný i pro malé rychlosti a vyšší kroutící momenty.



DIPLOMOVÁ PRÁCE

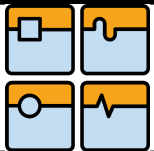
- Oproti řemeni typu HTD přenese o 80 - 100% vyšší výkon při stejných rozměrech pohonu.
- Hluk řemenu při vysokých rychlostech je nejnižší z vyráběných synchronizačních řemenů.
- Vlastnosti menších profilů jsou optimalizovány pro použití v přesných převodech, v ručním nářadí, kancelářských strojích, převodech na inkrementální čidla a v přesných servopohonech.
- Vlastnosti větších profilů jsou optimalizovány pro použití v pohonech vřeten obráběcích strojů, pohonech ventilátorů, čerpadel, kompresorů. PowerGrip® GT umožní konstrukci extrémně kompaktních pohonů s efektem snížené ceny a hmotnosti.
- Oproti klínovým řemenům má PowerGrip® GT podstatně nižší nároky na údržbu, zejména nevyžaduje dopínání a snižuje tak náklady na údržbu v nepřístupných místech a nepřetržitých provozech.
- Hluk pohonu při rychlostech nad 5000 ot/min vzniká vytlačováním vzduchu ze zubových mezer řemenice a je proto nutně vyšší v porovnání s klínovými řemeny. Hluk lze snížit rozdělením širokého řemenu na užší paralelní větve. „[16]

Volba řemene

Pro zajištění dostatečné tuhosti byl zvolen řemen profilu 5MGT (rozteč 5mm, šířka 15mm). Kladky jsou vybrány kvůli potřebným rozměrům pro umístění svěrného pouzdra větší než by byly potřebné a to s 40 zuby po obvodu s průměrem roztečné kružnice 63,66mm. Tyto kladky jsou vybaveny krytkami z boku, aby nedošlo k nechtěnému sjetí pásu z kladky. Osová vzdálenost motoru a šneku je 200mm.

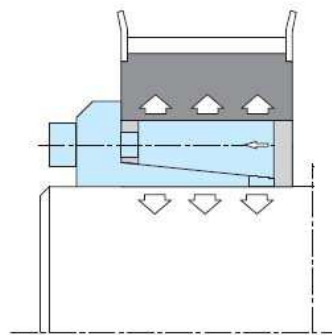
$$L_{min} = 2 \cdot a_w + \pi \cdot d = 2 \cdot 200\text{mm} + \pi \cdot 63,66\text{mm} = 600\text{mm} (599,99)$$

L_{min} je minimální délka řemene. Počet zubů je v tomto případě 120. Podle katalogu výrobce je patrné, že v tomto rozměru se řemen vyrábí. Proto volba řemene o délce 600mm je dostatečná. Je ale možné spekulovat zda nevybrat řemen délky 650mm a řemen předepnout, což stoprocentně zaručí potřebný rozměr řemene. Zvětší se tak úhel opásání kladek, což zvýší bezpečnost proti nechtěnému přeskočení zubů. Předepnutí zajišťuje napínací mechanismus dle obrázku. Jedná se o pákový mechanismus, jehož úhel naklonění se nastavuje šroubem, dokud nedosáhneme požadovaného napětí řemene. Napínací kladka je tvořena komponenty SKF.



Obr. 51: Napínací mechanismus synchronního řemene

Kladky pro synchronní řemen jsou připevněny k motoru a šneku pomocí samostředících pouzder Sit Lock 8 o vnitřním průměru 14mm a vnějším průměru 55mm.



Obr. 52: Samostředící pouzdro Sit Lock 8 [18]

6.3.1.4 Odměrování polohy polární osy

[17]

Z důvodu zvýšení přesnosti není použito odměrování nepřímé pomocí enkodéru zabudovaného v servomotoru, ale je použito odměrování přímého od firmy Renishaw. Od této firmy je použitý produkt Signum RESM. Tento typ odměrování se vyznačuje vysokou přesností a vysokým rozlišením. Pro astronomické potřeby vzhledem ke zvětšení reflektoru je požadováno rozlišení kolem 1". Toto dává 1296000 poloh na 1 otáčku stroje. Navíc přímé odměrování oproti nepřímému dává skutečnou polohu, nikoliv dopočítanou. V případě zabudovaného enkodéru v servomotoru by muselo mít při převodovém poměru 1/200 alespoň



6480 pulsů na otáčku (rozlišení 3'20"), což není nedosažitelné, ale nejspíš by docházelo k nepřesnostem vlivem převodu řemenem a šnekem.

Stupnice RESM

„Stupnice RESM vyniká mimořádnými parametry, které vyhoví i pro nejnáročnější aplikace (např. přesnost dělení až 0,5 úhlové vteřiny, rozlišení a opakovatelnost systému až 0,02 úhlové vteřiny) Velkou předností stupnice RESM je malá stavební výška a variabilita počtů rysek (8192 - 64 800) i průměrů (\varnothing 52 - 413 mm) pro snadné začlenění do systému. Každá stupnice je navíc vybavena patentovaným kuželovým uložením, které zjednodušuje montáž a



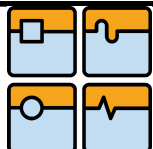
Obr. 53: Systém Signum RESM [17]

minimalizuje excentricitu, jež často vzniká při vestavbě úhlových snímačů a má velký vliv na přesnost instalovaného systému. Nízká hmotnost a malý moment setrvačnosti stupnice RESM nezatěžuje konstrukci přídatnými momenty, které často nutí konstruktéry ke snižování přesnosti a dynamických parametrů navrhovaného zařízení.“[17]

Technická specifikace čtecí hlavy SIGNUM RESM

Rozměry	14.8 mm x 36.0 mm x 16.5 mm (H x L x W)
Výstup (rozlišení)	RS422: 5 μ m, 1 μ m, 0.5 μ m, 0.2 μ m, 0.1 μ m, 50 nm, 20 nm, 10 nm, 5 nm.
	Analog: 1Vpp FANUC serial: 20 bit, 23 bit, 24 bit, 25 bit, 26 bit
Interpolace	Si interface (x4 to x4000)
Referenční značení	IN-TRACT™ auto-phase optická
Max. rychlost	4,500 ot/min

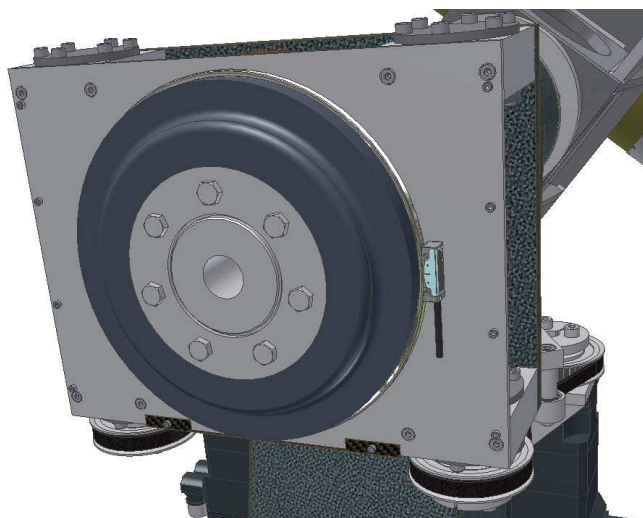
Tabulka 3: Parametry Signum RESM



6.3.1.5 Přehled rozlišení systému v závislosti na průměru prstence Renishaw

Jmenovitý vnější průměr (mm)	Rozlišení systému (")	Jmenovitý vnější průměr (mm)	Rozlišení systému (")
52	4.28	206	1.08
57	3.91	209	1.07
75	2.97	229	0.97
100	2.23	255	0.87
101	2.21	300	0.74
103	2.16	350	0.64
104	2.14	413	0.54
115	1.94	417	0.53
150	1.49	489	0.46
200	1.11	550	0.41

Tabulka 4: Závislost rozlišení na průměru prstence



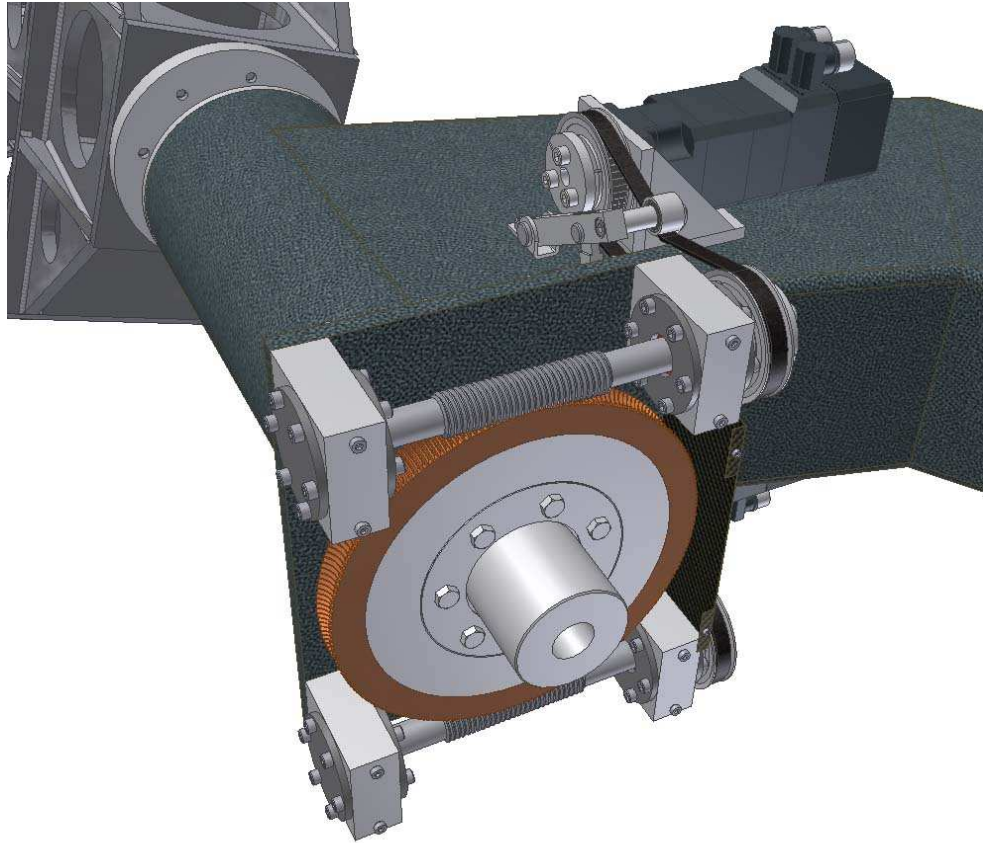
Obr. 54: Odměrování úhlu polární osy

Pro aplikaci přímého odměrování úhlu polární osy byl vybrán jmenovitý průměr prstence 255mm, který dostatečně splňuje požadavek na rozlišení. Prstenec je uchycen na disk pevně spojen s polární osou svěrným pouzdrem SitLock 11S1.



6.3.1.6 Konstrukční provedení pohonu polární osy

Pohon polární osy je kompletně připevněn k stojanu montáže. Ke svařenci jsou šrouby

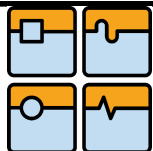


Obr. 55: Pohonné ústrojí polární osy

připevněny motory a domky ložisek šneků. Motory jsou připevněny na svařované konzolky, které jsou přišroubovány ke stojně montáže. Napínací mechanismus je přišroubován ke spodní straně stojny, která je pod úhlem vzhledem k ploše pro přišroubování domků šneků. Z toho



Obr. 56: Způsob krytování pohonu polární osy

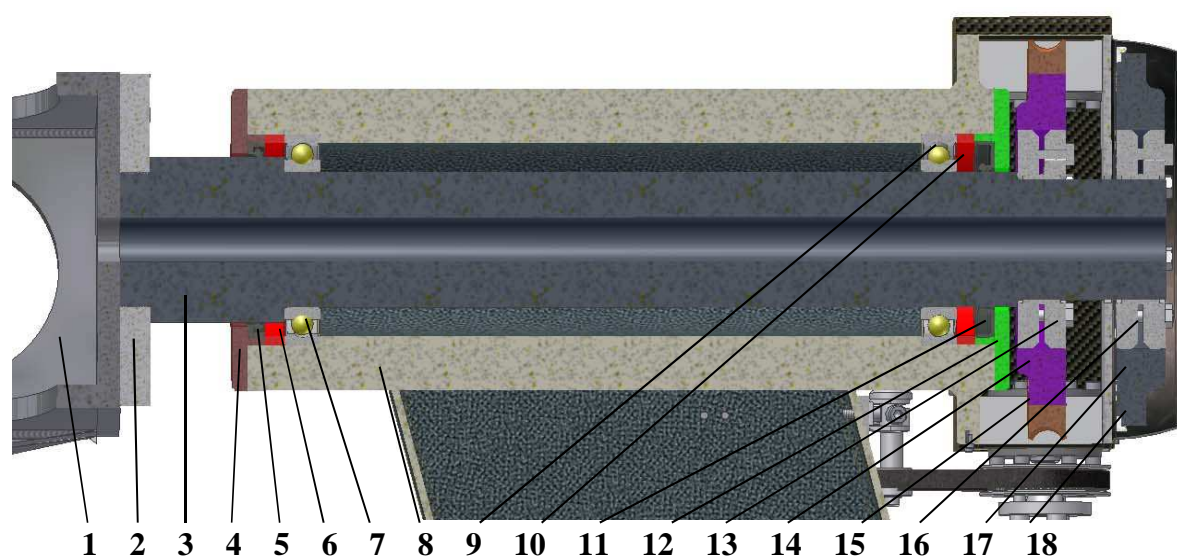


důvodu je podepřen klínovými podložkami, které tento sklon kompenzují. Na obrázku je znázorněna koncepce, kde není vyobrazen způsob uchycení odměřování, krytování mezi převodovým ústrojím a odměřováním a krytování celé pohonné soustavy polární osy.

6.3.1.7 Uložení polární osy

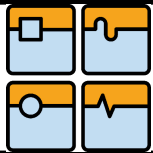
Polární osa je uložena v ocelovém pouzdře přivařeném ke stejné montáži. Toto pouzdro je tvořeno trubkou průměru 200mm. Polární osa tvořená dutou hřídelí je uložena na dvou kuličkových ložiscích s kosouhlým stykem firmy SKF 6018. Tyto ložiska jsou mazána trvalou tukovou náplní, tvořenou tuhými mazivy, která zůstává po celou dobu životnosti montáže. Soustava ložisek je uspořádána tak, že horní ložisko slouží především pro kompenzaci axiální složky zatížení, spodní ložisko slouží jako podpěra pro zajištění požadované souososti a tuhosti. Ložiska jsou nalisovány v pouzdře opřené o vybrání. Z druhé strany jsou zapřeny přesně nabroušenými distančními kroužky, které jsou přitlačeny víčky. Víčka se šroubují z čelní strany pouzdra. Víčka jsou uzpůsobeny tak, aby bylo možné do nich umístit hřídelové těsnění gufero, jež zabraňuje vniku nečistot do prostoru ložisek. Hřídel polární osy je osazena přivařenou přírubou, která slouží k připevnění vidlice. Válcové zakončení vidlice slouží jako upínací plocha pro šnekové kolo a disk s odměřováním, které jsou uchyceny pomocí svěrných pouzder Sit Lock.

Hřídel je dutá z důvodu průchodu kabeláže k ovládání deklinační osy a kamery připevněné na teleskop.



Obr. 57: Uložení polární osy

- 1 – Vidlice
- 2 – Příruba pro přichycení vidlice
- 3 – Hřídel polární osy
- 4 – Horní víčko polární osy
- 5 – Gufero
- 6 – Distanční kroužek
- 7 – Ložisko 6018
- 8 – Pouzdro polární osy
- 9 – Ložisko 6018



- 10 – Distanční kroužek
- 11 – Gufero
- 12 – Víčko spodní
- 13 – Svěrné pouzdro
- 14 – Náboj šnekového kola
- 15 – Věnc šnekového kola
- 16 – Svěrné pouzdro pro odměřování
- 17 – Disk pro dnměřování
- 18 – Prstenec odměřování polohy Renishaw

6.3.2 Pohon deklinační osy

Pohon deklinační osy je do odvozen od pohonu polární osy s drobnými rozdíly. Momentem setrvačnosti potřebným soustavy bude při zjednodušené koncepci pouze moment samotného teleskopu, jež je uchycený v těžišti. Bude tedy značně menší než moment setrvačnosti soustavy polární osy. Posuvové rychlosti budou setejné, zejména rychlost rychloposuvu. Provozní rychlost při pořizování snímků kompenzující otáčení země nebude nutná, protože při pořizování snímků se v ideálním případě pohybuje pouze polární osa. V reálném prostředí koná deklinační osa pohyb pouze kvůli korekcím při pointování a při najíždění na souřadnici.

Dále bude jiný způsob přenosu kroutícího momentu z motoru na šnek a to konkrétně pomocí pružných bezvůlových hřídelových spojek. Samotný převod bude podobný a to šnekový převod s poměrem 1/200, pohon master-slave a synchronní servomotory pro náhon šneků. Zde je pohon master slave také velice důležitý pro eliminaci mrtvého místa, v případě že by byla vůle ve šnekovém soukolí. U levnějších montáží se toto řeší krokovými motory a softwarovou korekcí, což ale u takovéto montáže není přípustné. Proto je použito prstencového přímého odměřování a pohonu master-slave.

6.3.2.1 Návrh motoru pro pohon deklinační osy

[14]

Pro pohon deklinační osy byly vybrány opět motory firmy Siemens řady 1FT6. Byly vybrány čistě z důvodu jednoty druhů motoru na stroji.

$$\omega := 0.08 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$t := 0.01 \text{ s}$$

$$I_{zz} := 2.279 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$i := 200$$

$$\alpha := \frac{\omega}{t}$$

$$\alpha = 8 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

Uhlove zrychlení

$$M := I_{zz} \cdot \alpha$$

$$M = 18.232 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Moment potrebný z prevodovky

$$M_i := \frac{M}{i}$$

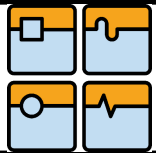
$$M_i = 0.091 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Potrebný moment motoru

$$P := M_i \cdot \omega$$

$$P = 7.293 \times 10^{-3} \text{ W}$$

Potrebný výkon motoru



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Na základě vypočtených hodnot byl proveden výběr motoru pro pohon deklinační osy. Z hodnot je patrný původní předpoklad, že nebude třeba příliš silného pohonu při použití šnekové převodovky s převodovým poměrem 1/200. Tyto motory rovněž nebudou využity na 100% svého výkonu, ale je potřeba mít jisté rezervy. Rychlost rychloposuvu je opět 10°/s. K tomu je potřeba vypočtený výkon a kroutící moment. Hodnoty otáček a momentů jsou blízko ke stavu statického momentu, proto hodnoty vypočtené o něco menší než hodnota statického momentu a přitom překračující jmenovitý moment jsou pro danou aplikaci motoru vhodné.

Rated speed	Shaft height	Rated power	Static torque	Rated torque ¹⁾	Rated current	1FT6 synchronous motors Natural cooling	Number of pole pairs	Rotor moment of inertia (without brake)	Weight (without brake)
n_{rated} rpm	SH	P_{rated} at $\Delta T=100$ K kW (HP)	M_0 at $\Delta T=100$ K Nm (lb _r -ft)	M_{rated} at $\Delta T=100$ K Nm (lb _r -ft)	I_{rated} at $\Delta T=100$ K A	Order No. Standard type		J 10^{-4} kgm ² (10^{-9} lb _r -in ²)	m kg (lb)
6000	28	0.19 (0.3)	0.4 (0.3)	0.3 (0.2)	1.1	1FT6021-6AK71 - ■■■■	3	0.21 (0.19)	1.2 (2.6)
		0.31 (0.4)	0.8 (0.6)	0.5 (0.4)	0.9	1FT6024-6AK71 - ■■■■	3	0.34 (0.30)	2.1 (4.6)
	36	0.47 (0.6)	1.0 (0.7)	0.75 (0.6)	1.2	1FT6031-4AK71 - ■■■■	2	0.65 (0.58)	3.1 (6.8)
		0.88 (1.2)	2.0 (1.5)	1.4 (1.0)	2.1	1FT6034-4AK71 - ■■■■	2	1.1 (0.97)	4.4 (9.7)
	48	1.1 (1.5)	2.6 (1.9)	1.7 (1.3)	2.4	1FT6041-4AK71 - ■■■■	2	2.9 (2.57)	6.6 (14.6)
		1.9 (2.6)	5.0 (3.7)	3.0 (2.2)	4.1	1FT6044-4AK71 - ■■■■	2	5.1 (4.51)	8.3 (18.3)
	63	1.3 (1.7)	4.0 (2.9)	2.1 (1.5)	3.1	1FT6061-6AK71 - ■■■■	3	6.0 (5.31)	8.0 (17.6)
		1.3 (1.7)	6.0 (4.4)	2.1 (1.5)	3.2	1FT6062-6AK71 - ■■■■	3	8.5 (7.52)	9.5 (20.9)
		1.3 (1.7)	9.5 (7.0)	2.1 (1.5)	3.5	1FT6064-6AK71 - ■■■■	3	13.0 (11.5)	12.5 (27.6)
	80	2.9 (4.0)	8.0 (5.9)	4.6 (3.4)	7.7	1FT6081-8AK71 - ■■■■	4	21.0 (18.5)	12.5 (27.6)
		3.5 (4.7)	13.0 (9.6)	5.5 (4.1)	9.1	1FT6082-8AK71 - ■■■■	4	30.0 (26.5)	15.0 (33.1)
		4.1 (5.5)	20.0 (14.7)	6.5 (4.8)	9.2	1FT6084-8AK71 - ■■■■	4	48.0 (42.4)	20.5 (45.2)

Obr. 58: Výběr motoru deklinační osy [15]

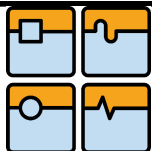
Podle vypočtených hodnot volíme motor 1FT6021, který svými charakteristikami odpovídá použití pro aplikaci použití pro náhon deklinační osy montáže. [15]

6.3.2.2 Výpočet šnekového soukolí deklinační osy

Výpočet soukolí proběhl obdobně jako u polární osy pomocí výpočtového modulu programu Autodesk Inventor. Modul byl volen velmi malý z důvodu nízkého zatížení šneku a šnekového kola, protože poháněnou soustavu tvoří pouze teleskop a příslušenství, což je umístěno co nejblíže těžiště, které je u samotného tubusu v místě přírub uchycení k deklinační ose. Osazením teleskopu kamerou posouvá těžiště směrem ke kameře, tudíž se nedosáhne perfektního vyvážení, ale při kompenzaci vůlí řízením Master-slave, lehce naddimenzovaném motoru a nízkých úhlových rychlostech toto lehké nevyvážení nepřináší žádný problém.

Geometrie

Převodový poměr	i	200
Modul	m	0,999 mm
Axialní Modul	m_x	1,000 mm
Úhel šroubovice	γ	2,8624 deg
Úhel přítlaku	α	19,9770 deg
Průměrový koeficient šneku	q	20
Osová vzdálenost	a_w	110,000 mm
Axiální rozteč zubů	p_x	3,1416 mm
Rozteč zubů	p_n	3,1377 mm

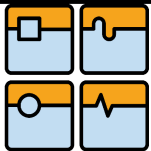


DIPLOMOVÁ PRÁCE

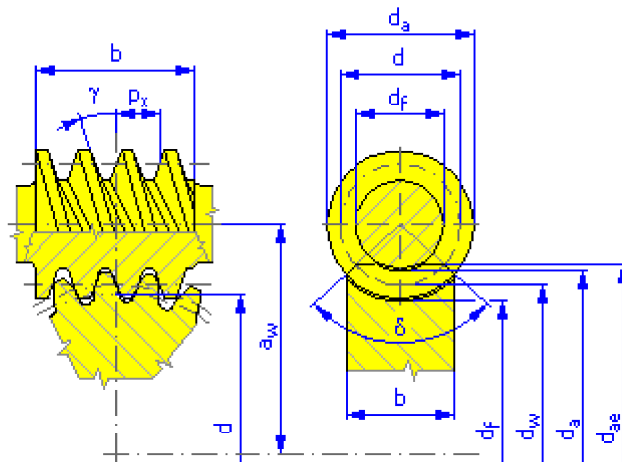
Patní rozteč	pb	2,952 mm
Lead	pz	3,142 mm
Délka šneku	b1	65,000 mm
Tloušťka šnekového kola	b2	20,000 mm
Úhel působení axiálního tlaku	α_x	20,0000 deg
Úhel sklonu šroubovice	β_b	2,6900 deg
Koeficient kontaktu	ε	2,26
Příčný Koeficient kontaktu	ε_α	1,95
Koeficient přesahu	ε_β	0,32
Limit odchyšky úhlu	F β	0,0090 mm
Mrtvý chod	j _{nmin}	0,054 mm
Limit odchyšky průměru	fa	0,032 mm

Převody

		Šnek	Šnekové kolo
Počet závitů	N	1	
Počet zubů	N		200
Jednotková korekce	x	0	0
Průměr roztečné kružnice	d	20,000 mm	200,000 mm
Vnější průměr	da	22,000 mm	202,000 mm
Průměr patní kružnice	df	17,600 mm	197,600 mm
Outside Diameter	dae		203,000 mm
Hlavový průměr	db	18,794 mm	187,939 mm
Valivý průměr	dw	20,000 mm	200,000 mm
Úhel stoupání	δ		65,38 deg
Šířka zubu	s	1,569 mm	1,569 mm
Osová šířka zubu	sx	1,571 mm	1,571 mm
Mez obvodového házení	Fr	0,0120 mm	0,0360 mm
Mezní odchyška osové rozteče	f _{pt}	0,0075 mm	0,0110 mm
Mezní odchyška patní rozteče	f _{pb}	0,0070 mm	0,0100 mm
Virtuální počet zubů	N _v		200,75
Min. Doporučená korekce	x _{min}		-14,25



DIPLOMOVÁ PRÁCE



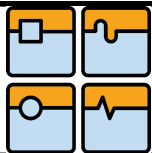
Obr. 59: Geometrie šneku

Zatížení

		Šnek	Šnekové kolo
Výkon	P	0,030 kW	0,010 kW
Otáčky	n	200,00 rpm	1,00 rpm
Krouticí moment	T	1,432 N m	95,016 N m
Účinnost	η		0,33
Radiální síla	Fr		347,566 N
Tečná síla	Ft	143,239 N	950,155 N
Axiální síla	Fa	950,155 N	143,239 N
Normálová síla	Fn		1017,336 N
Rychlost otáčení	v	0,209 m/s	0,010 m/s
Kluzná rychlost	vk		0,210 m/s

Materiál

		Šnek	Šnekové kolo
		12050	Hliníkový bronz CuAl9Fe3
Mez pevnosti	Su		500 MPa
Mez pružnosti	Sy		180 MPa
Youngův Modul pružnosti	E	206000 MPa	121000 MPa
Poissonovo číslo	μ	0,3	0,32
Ohybová kontaktní pevnost	Sn		200,0 MPa
Kontaktní únavová pevnost	Kw		1,0 MPa
Ohybová Mez únavy	σFlim		170,0 MPa
Kontaktní Mez únavy	σHlim		200,0 MPa
Tvrdoost boku zubů	VHV		110
Min počet zatěžovacích cyklů při ohybu	NFlim		250000000



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Min počet zatěžovacích cyklů při kontaktu	NHlim	250000000
Ohybový Exponent Wöhlerovy křivky	qF	9
Kontaktní Exponent Wöhlerovy křivky	qH	8
Max. kluzná rychlost	vmax	4,000 m/s

Výpočet pevnosti**Dodatečné koeficienty zatěžování**

Aplikační koeficient	KA	1,2
Dynamický koeficient	KHv	1
Plošný koeficient	KH β	1,09
Příčný koeficient	KH α	0,7
Koeficient jednorázového přetížení	KAS	1

Koeficienty kontaktu

Koeficient elasticity	ZE	163,99
Koeficient plochy	ZH	2,49
Koeficient kontaktu	Z ϵ	0,72
Životnostní koeficient	ZN	1,8
Koeficient mazání	ZL	1
Rychlostní koeficient	Zv	1

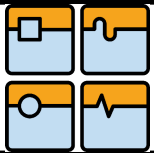
Koeficienty ohybu

Koeficient tvaru	YFA	1,26
Koeficient úhlu šroub.	Y β	0,99
Koeficient kontaktu	Y ϵ	0,61
Koeficient změny zátěže	YA	1
Životnostní koeficient	YN	1,81
Velikostní koeficient	YX	1

Výsledky

Koeficient bezpečnosti vzniku pittingu	SH	2,64
Koeficient bezpečnosti zlomení zubu	SF	9,37
Vychýlení šneku	y	0,0208 mm
Ztráty	Pz	0,021 kW
Max. Ztrátové teplo	Q	0,423 kW
Kontrola výpočtu		OK

Výpočet potvrzuje vhodnost návrhu šnekového soukolí. Vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům samotného elektrovybavení montáže je i značné předimenzování soukolí na místě z důvodu dlouhé životnosti montáže. V ideálním případě by šneková soukolí měla vydržet po celou dobu životnosti. U montáže telkopu, kde se rychlost otáčení nepohybuje v oblasti



vysokých hodnot není třeba olejové náplně, ale postačí mazání tuhými mazivy, které zajistí potřebnou kluznou vrstvu, ale je nutné tyto tuhá maziva po čase doplnit, což vyžaduje akorát demontáž krytu soukolí.

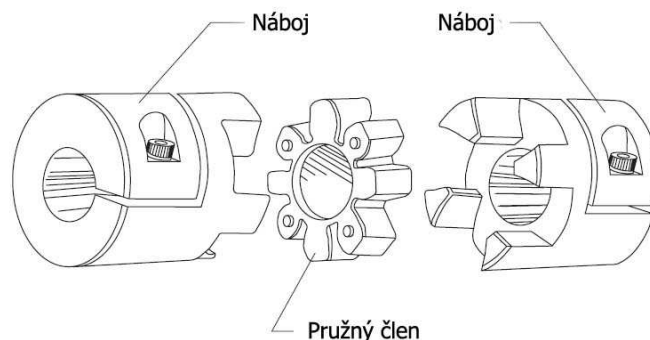
6.3.2.3 Realizace přenosu krouťícího momentu na šnek [18]

Na rozdíl od řešení polární osy, kdy je přenos krouťícího momentu řešen pomocí řemenového převodu je v případě deklinační osy použito bezvúlových hřídelových spojek TRASCO ES. Tento typ hřídelových spojek umožňuje přenášet krouťící moment, zachycovat nesouososti a vibrace hřídelí s požadovanou přesností, bez vůle (mrtvého chodu). Velice kompaktní provedení spojek nabízí jejich použití pro nejrůznější druhy strojních zařízení.

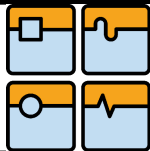


Obr. 60: Hřídelová spojka [18]

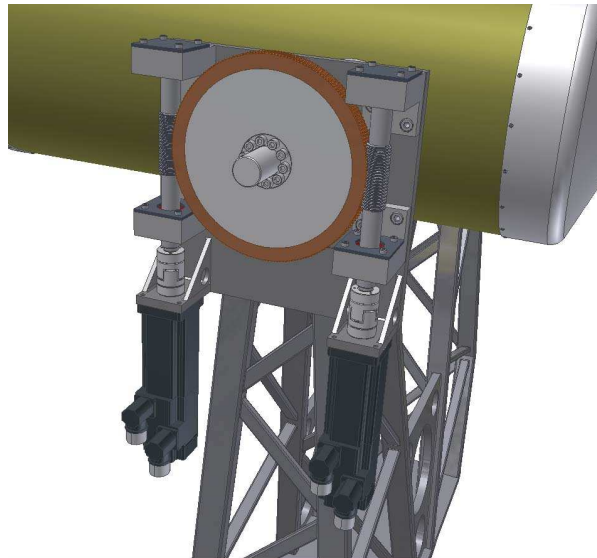
Samotné šnekové kolo je analogicky jako u polární osy upevněna ke hřídeli pomocí samostředících svěrných pouzder SitLock1 o vnitřním průměru 30mm a vnějším 55mm



Obr. 61: Hřídelová spojka Trasco ES [18]



6.3.2.4 Uchycení ložisek šneků deklinační osy



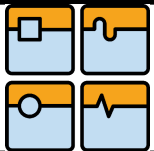
Obr. 62: Uchycení ložisek šneků

Domky ložisek jsou vyrobeny z ocelových hranolů, do nichž je vyvrtána díra, která je poté obrobena na patřičný rozměr. Ložiska jsou do těchto domků vlisována na doraz, kde se opřou osazení v domku. Z druhé strany jsou přichyceny distančním kroužkem, který je vyroben podle potřeby daného ložiska, nabroušen na potřebný rozměr a víčkem z druhé strany přitlačen, tak, aby předepnul ložisko s kosoúhlým stykem na patřičnou mez. Pro toto řešení jsou použity ložiska firmy SKF řady 7204, které jsou optřeny permanentní tukovou náplní. Není třeba je průběžně mazat olejem, ale je použita tuhá mazací hmota. Domky ložisek jsou přišroubovány šroubovým spojem k základně deklinační osy, která je kvůli dosažení přesnosti při montáži pod domky obrobena.

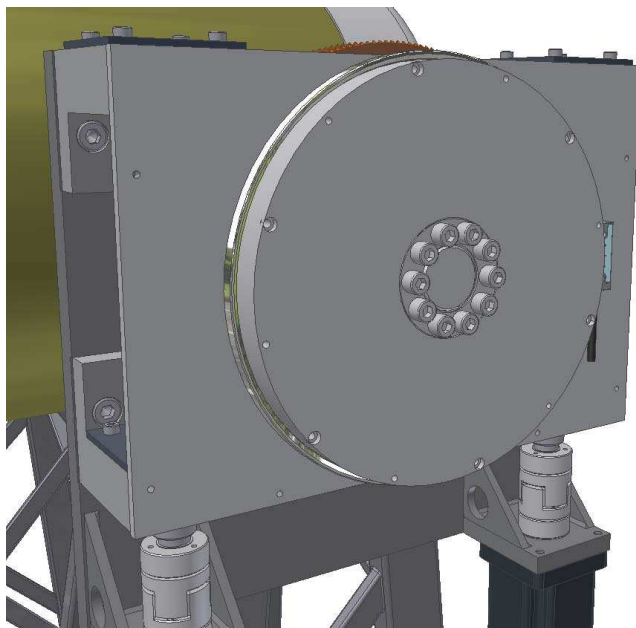
Základna deklinační osy je tvořena svařencem, jež obsahuje přivařené konzoly pro držení motorů. Tato základna je přišroubována k domku ložisek deklinační osy šroubovými spoji. Tento konstrukční prvek slouží jako nosný člen pohonného mechanismu deklinační osy.



Obr. 63: Základna deklinační osy



6.3.2.5 Odměrování deklinační osy



Obr. 64: Odměrování deklinační osy

Nejen pro polární osu je nutné vysoké rozlišení pohonné soustavy. Deklinační osa, respektive její náhon je sice v praxi méně využit než polární osy, nicméně rozlišení přístroje je dáno kombinací rozlišení polární a deklinační osy. Proto je zde zvolena varianta rovněž s přímým odměrováním od firmy Renishaw Signum Resm. Kvůli čistotě prostředí, na které je odměrování citlivé je přidána separační příčka mezi šnekovým soukolím a odměrováním., která je opatřena gumovou manžetou pro utěsnění prostoru. Někdy by docházet k nadměrnému špinění celé soustavy rozstříkáním mazací hmoty, ale rozhodně je lepší takovéto drahé zařízení preventivně opatřit krytím.

Samotné odměrování je potom řešeno prostřednictvím soustruženého disku, který je pevně spojen s hřídelí polární osy pomocí svérného pouzdra SitLock 1. Tento disk je vybaven otvory pro přimontování prstence odměrování. Čtecí hlava systému je přichycena přes podložku k přepážce mezi šnekovým soukolím a odměrováním.

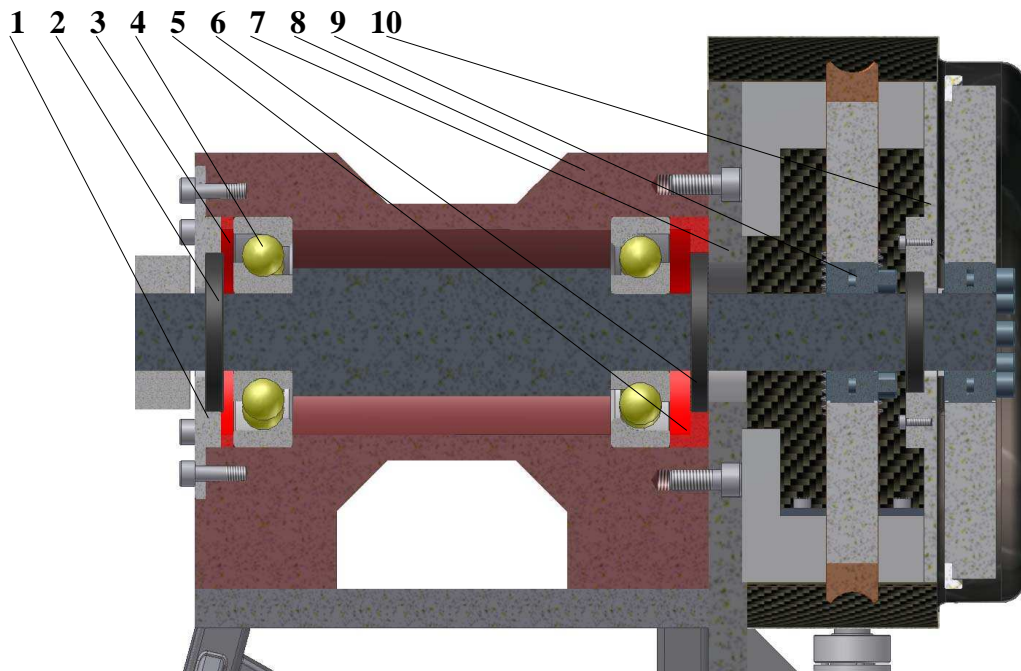
6.3.2.6 Uložení deklinační osy

Deklinační osa je uložena pomocí tří kuličkových ložisek. Dvě ložiska pro naháněnou část a jedno kuličkové ložisko pro podpůrnou část. Deklinační osu tedy dělíme na tyto dvě části dle své funkce.

Naháněná část navazuje na základnu a pohonnou část deklinační osy. Samotná naháněná část je uložena v masivním domku, který je pomocí šroubových spojů připevněn k upevňovacím deskám horní části vidlice. Hřídel deklinační osy je podepřena dvěma ložisky firmy SKF 7406. Tyto jednořadé kuličkové ložiska s kosoúhlým stykem jsou vybavena trvalou tukovou náplní z důvodu nízkých otáček soustavy. Ložiska jsou v domku zalisována na doraz, který tvoří osazení díry v domku. Z jedné strany je ložisko předepnuté pomocí distančního kroužku, který je přitlačován víčkem. Z druhé strany je ložisko předepínáno pomocí distančního kroužku přitlačovaného deskou základny deklinační osy. Oba kroužky je nutné vybrousit na přesný rozměr a podle potřeby vyladit předepnutí ložisek. V distančním kroužku je umístěno hřídelové těsnění, aby nedošlo k nechtěnému vniku nečistot k ložiskům, na druhé straně je



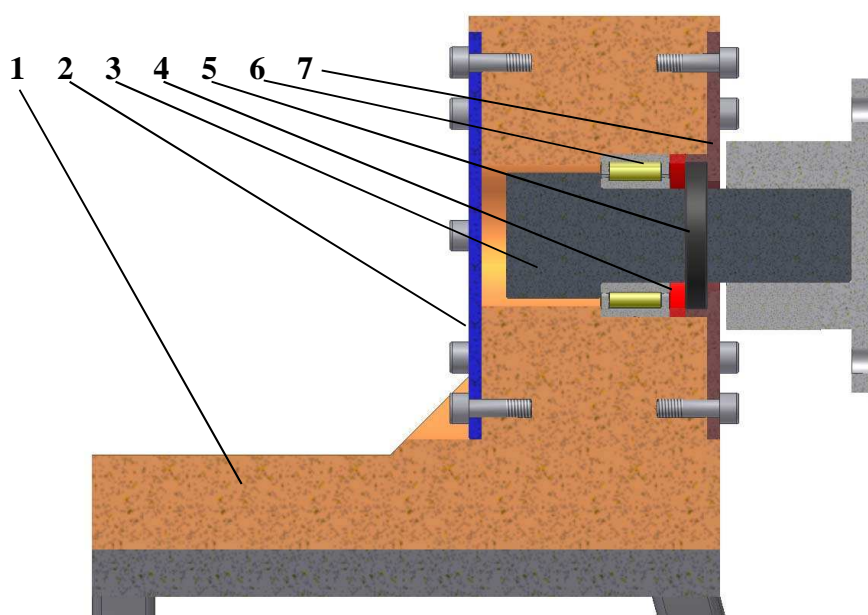
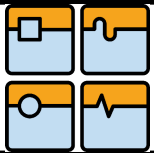
těsnění umístěno ve víčku. Hřídel je podepřena dvěma ložisky z důvodu eliminace průhybu při zatěžování hřídele. Sice by nedocházelo k velikému průhybu konce hřídele z důvodu rovnoměrného zatížení od Master-slave, ale uspořádání s jedním ložiskem by bylo značně nevyvážené. Přinese to sice drobné komplikace při ustavování, ale vlivem větší variability v podpůrné části to nebude natolik veliký problém aby bylo lepší udělat variantu s jedním ložiskem.



Obr. 65: Řez uložením naháněné části deklinační osy

- 1 - Víčko deklinační osy
- 2 - Gufero
- 3 - Distanční kroužek
- 4 - Kuličkové ložisko 7406
- 5 - Distanční kroužek s guferem
- 6 - Gufero
- 7 - Základna deklinační osy
- 8 - Domek ložisek deklinační osy
- 9 - Svěrné pouzdro Sit Lock 1
- 10 - Přepážka mezi šnek. soukolím a odměřováním

Podpůrná část slouží k naplnění funkce vidlicové montáže a to podpora teleskopu ze dvou stran. V tomto případě jedna část slouží jako náhon, druhá část jako podpora. Tato podpora je tvořena hřídelí deklinační osy, která je značně zkrácena, zachován je pouze průměr. Jelikož ložiska s kosouhlým stykem na naháněné části jsou předepnuta a koncipována tak, aby zachytila veškeré axiální zatížení, stačí jako podporu využít ložisek pouze radiálních. Pro tuto aplikaci bylo vybráno jehličkové ložisko firmy SKF NKIS 30. To je nalisováno v domku, kde je opřeno o osazení. Hřídel je rovněž osazená, aby byla poloha hřídele jasně určena. Poloha z druhé strany je zajištěna distančním kroužkem, který je přidržen šroubovacím víčkem. Celý domek je skrz provrtán z důvodu zjednodušení výroby, jinak by nebylo ani nutné ho celý provrtávat. Domek je ze spodu uchycen šroubovými spoji k horní části vidlice.

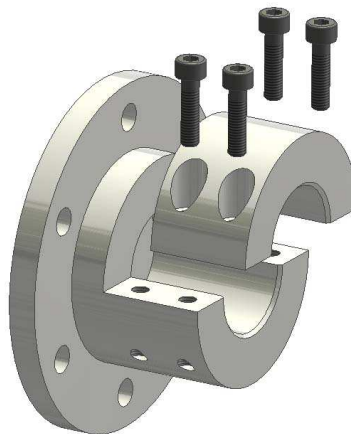


Obr. 66: Řez podpůrnou částí deklinační osy

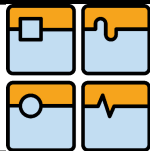
- 1 – Tělo domku ložisek
- 2 – Víčko neprůchozí
- 3 – Podpůrná hřídel
- 4 – Distanční kroužek
- 5 – Gufero
- 6 – Ložisko NKIS 30
- 7 – Víčko průchozí

6.3.2.7 Uchycení teleskopu k deklinační ose

Ukončení hřídelí deklinační osy je válcové. Pro uchycení teleskopu se většinou používá přírub, které jsou nějakým způsobem pevně spojeny s těmito válcovými konci. Požadavkem je



Obr. 67: Příruba teleskopu se svěrným členem

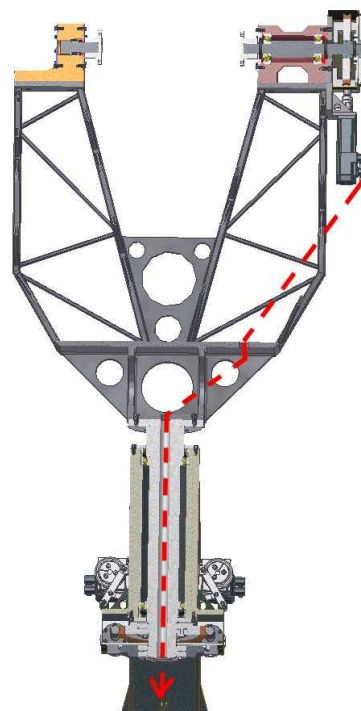


bezvúlový tuhý kontakt. Řešením tohoto problému se stal v montáži již využívaný princip svěrného spoje, který se vyskytuje při přichycování rotačních součástí k hřídeli. Problém je ten, že takováto součást nelze zakoupit sériově vyrobená, proto je nutné ji navrhnout.

Příruba je tvořena z tyče kruhového průřezu, jejímž soustružením je vyrobeno osazení příruby. Do této příruby je vyvrtáno 6 děr, které slouží pro našroubování teleskopu. Do kruhové součásti je vysoustružena díra, která se nasune na hřídel. Tato část příruby je z části frézovaná tak, aby se vytvořil prostor pro svěrný spoj. Přichycení teleskopu se potom provede přišroubováním protikusu, při dodržení souososti děr šroubů potom vznikne malá mezera v řádu desetin milimetru, která poslouží pro potřebné předepnutí k vyvození dostatečně velkého tření. Příruba je dále z čela osazena kalenými kolíky, které zachycují smykové napětí ve spoji.

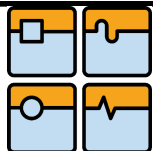
6.3.3 Vedení elektrických kabelů

Rozvod elektrické energie ve stroji přináší značné problémy zejména díky otáčející se soustavě. V tomto by mohlo dojít k případům překroucení a poškození drátů, které nejsou zrovna lacinou položkou. Problématické je zejména napájení deklinační osy, odměřování a



Obr. 68: Průchod kabeláže montáží

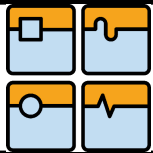
příslušenství teleskopu jako kamera. Z toho důvodu je hřídel polární osy řešena jako dutá hřídel, v jejíž dutině je prostor pro kabeláž. Z hlediska tuhosti tento průchozí otvor o průměru 30mm není zřetelný, neboť hmotnost, kterou hřídel nese je maximálně 130kg. Na druhou stranu to přinese veliký užitek, protože se kabeláž nebude nikde namotávat okolo osy, ale bude docházet ke zkrutu kabelu. To ale při rychlostech, kterými se otáčí vidlice i při rychloposuvu nebude nijak zvlášť nebezpečné.



6.4 Finální podoba montáže



Obr. 69: Finální podoba montáže



7. Závěr

Cílem práce bylo shrnout současný trend pozorovací techniky a navrhnout zařízení, které by tomuto trendu odpovídalo. Shrnutí se zaměřuje na současně používanou pozorovací techniku a příslušenství, výhody a problémy s tím související. Dále také způsoby dosažení požadované souřadnice vesmírného tělesa.

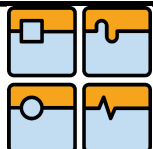
Konstrukce montáže byla zaměřena na maximální dosažitelnou přesnost a rozlišení. K tomu je využito průmyslových odměřovacích systémů, zajišťujících potřebné rozlišení.

Byla vypracována varianta, která neumožňuje nastavení sklonu polární osy, tedy staticky umístěná montáž v observatoři. Konstrukce tohoto typu montáže byla vybrána zejména proto, že díky rozměrům teleskopu a rozměrům samotné montáže by cestování s takovýmto zařízením nebylo příliš praktické.

Při konstrukci zařízení byl brán zřetel zejména na přesnost polohování a bezvůlovost montáže. Z toho důvodu je montáž poměrně nákladná, zejména zvolený typ pohonu master-slave, který není příliš typický pro astronomické montáže. Dalším charakteristickým prvkem jsou synchronní servomotory, ve zmiňované master-slave konfiguraci, které nebývají standardně používány. Místo těchto motorů se často používají krokové motory, které jsou v práci zmiňovány, nicméně jejich možnosti využití pro tuto montáž, kde je jedním z cílů rozlišení alespoň 1", byly nevyhovující.

Konstrukčním prvkem, který na první pohled zaujme i ne příliš zkušeného pozorovatele, je vidlice tvořena svařenými obdélníkovými profily do příhradové konstrukce. Běžně je totiž tento prvek tvořen odlitky či vypalovaným plechem. Je navržena tak, aby v případě otevřené observatoře minimalizovala nápor větru a samotnou hmotnost vidlice.

Naplněním cílů práce je výsledek v podobě návrhu paralaktické vidlicové montáže určené pro jeden typ teleskopu, který byl zvolen na základě zadání tj. teleskop o hmotnosti 20 kg, přičemž montáž má být vidlicová. Pro vidlicovou montáž jsou vhodné pouze určité typy teleskopů, a proto byl vybrán teleskop Vixen Cassegrain Teleskop C 330/4320 VMC330L OTA.



8. Seznam použité literatury

[1] *Nebeská mechanika* [online]. 2001-04-21 [cit. 2009-11-25]. Základní pojmy. Dostupné z WWW: <<http://nebmech.astronomy.cz/POJMY/pojmy.htm#JulDat>>.

[2] *Precese Zemské osy* [online]. 2008, 2010-05-13 [cit. 2009-11-25]. Wikipedie. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Precese_zemsk%C3%A9_osy>.

[3] BÍLEK, František. *Dalekohled* [online]. 2003-01-04 [cit. 2010-04-15]. Astrofoto. Dostupné z WWW: <<http://web.quick.cz/frantabilek/vybaveni/dalekohled/dalekohled.html>>.

[4] ZAJONC, Ivo. *Astro.cz* [online]. 2008-09-19 [cit. 2009-12-11]. Teleskopie. Dostupné z WWW: <<http://www.astro.cz/clanek/3364>>.

[5] RADA, Bohumír. *Astrosvet.com* [online]. 2006-01-14 [cit. 2010-01-12]. Astrotechnika - montáže dalekohledů. Dostupné z WWW: <<http://astrosvet.com/astrotechnika/montaze-dalekohledu>>.

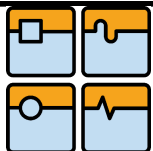
[6] KATERNIAK, Peter. *K3's Astronomy page* [online]. 2001-03-01 [cit. 2010-01-15]. Equatorial Mount Tracking Errors. Dostupné z WWW: <http://www.pk3.org/Astro/index.htm?astrophoto_mount_errors.htm>.

[7] ŘEHOŘ, Zdeněk. *Přístrojová a optická sekce ČAS* [online]. 2008-11-06 [cit. 2010-02-1]. Měření periodické chyby EQ montáže. Dostupné z WWW: <<http://posec.astro.cz/view.php?cisloclanku=2008110601>>

[8] KYML, Radek. *Astrofotografie* [online]. 2009-04-27 [cit. 2010-03-12]. Vybavení. Dostupné z WWW: <<http://astrofoto.kyml.cz/default.htm>>

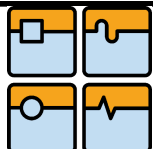
[9] FRIEDL, František. *Řízení otáček krokového motoru*. Zlín, 2008. 62 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky. Dostupné z WWW: <https://www.stag.utb.cz/apps/stag/dipfile/index.php?download_this_unauthorized=8994>.

[10] TRNKA, Ondřej. *Astronomická digitální fotografie*. Plzeň, 2008. 54 s. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta pedagogická. Dostupné z WWW: <<http://hvezdarna.plzen.eu/technika/bakalar/astrofoto.pdf>>.



DIPLOMOVÁ PRÁCE

- [11] *Astroshop.de* [online]. 2010 [cit. 2010-03-18]. Vixen Cassegrain Teleskop. Dostupné z WWW: <<http://www.astroshop.de/vixen-cassegrain-teleskop-c-330-4320-vmc3301-ota/p,4466>>.
- [12] *Hvězdářské dalekohledy Drbohlav výroba astronomické techniky* [online]. 2009-07-24 [cit. 2010-01-09]. Paralaktické montáže. Dostupné z WWW: <<http://www.dalekohledy-drbohlav.cz/montaze.html>>.
- [13] SKIBAR, Karel. *Technologičnost konstrukcí strojů*. Praha : SNTL, 1962. 374 s.
- [14] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha : MM publishing, 2006. 284 s. ISBN 12122572.
- [15] *Siemens* [online]. 2009 [cit. 2010-04-12]. Servomotory. Dostupné z WWW: <<http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=20b2919053&ctxp=home>>.
- [16] *Uzimex* [online]. 2006 [cit. 2010-02-11]. Řemeny Gates PowerGrip® GT3. Dostupné z WWW: <<http://www.uzimex.cz/Sortiment/Remenove-prevody/Gates/Synchronizacni-remeny-pryz/PowerGrip-GT3.html>>
- [17] *Renishaw* [online]. 2010 [cit. 2010-03-16]. Úhlový snímač SiGNUM™ RESM. Dostupné z WWW: <<http://www.renishaw.cz/cs/system-rotacniho-uhloveho-snimace-signum-resm--6454>>
- [18] *Tyma* [online]. 2010 [cit. 2010-02-11]. Hřidelové spojky. Dostupné z WWW: <Renishaw [online]. 2010 [cit. 2010-03-16]. Úhlový snímač SiGNUM™ RESM. Dostupné z WWW: >.
- [19] *Aldebaran* [online]. 2005 [cit. 2009-11-13]. Orientace:souřadnice a časomíra. Dostupné z WWW: <<http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/orientace/theory.html>>.
- [20] *Štefánikova hvězdárna* [online]. 2003 [cit. 2010-01-15]. Hvězdné mapy. Dostupné z WWW: <<http://www.observatory.cz/info/index.php?page=Encyklopedie/Obloha%20pruvodce/pruvodce.html>>.
- [21] *Vejrův zápisník* [online]. 2006 [cit. 2010-04-12]. Focení vesmírných objektů. Dostupné z WWW: <<http://www.kalista.cz/lukas/blog/komentare.php?id=44>>
- [22] Refractor. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , last modified on 2010-05-19 [cit. 2010-05-22]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Refractor>>.



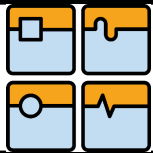
DIPLOMOVÁ PRÁCE

[23] *Přístrojová a optická sekce ČAS* [online]. 2006-04-17 [cit. 2010-04-03]. Základy optických přístrojů 2.díl. Dostupné z WWW: <<http://posec.astro.cz/rservice.php?akce=tisk&cislocclanku=2006020803>>.

[24] Hvězdárna Ondřejov. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , last modified on 2010-01-25 [cit. 2010-05-22]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hvezdarna_Ondrejov>.

[25] DHILLON, Vik. *Telescopes* [online]. 2009-09-30 [cit. 2009-12-22]. Alt-azimuth mountings. Dostupné z WWW: <http://www.vikdhillon.staff.shef.ac.uk/teaching/phy105/telescopes/phy105_tel_altaz.html>.

[26] VLČEK, Zdeněk. *Moderní elektronika* [online]. 2008 [cit. 2010-05-22]. Řízení, regulace, automatizace. Dostupné z WWW: <http://www.tzb-info.cz/download.py?file=docu/texty/0001/000102_at1.pdf>.

**Seznam příloh**

č.	Příloha
1	Výkres sestavy montáže
2	Výkres polární osy montáže
3	Výkres
4	3D model montáže