

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMU A
ROBOTIKY

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

KONSTRUKCE VIDLICOVÉ AZIMUTÁLNÍ MONTÁŽE

CONSTRUCTION OF AZIMUTH FORK MOUNT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAN DOSTÁL

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. Jan Dostál

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

obor: **Konstrukce strojů a zařízení (2302T010)**

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 vidlicové azimutální montáže astronomického dalekohledu

v anglickém jazyce:

Construction of Azimuth 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

ANOTACE:

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout konstrukční řešení montáže astronomického dalekohledu vidlicového typu s nosností do 20kg a to včetně náhonu obou os. Obsahem řešení je návrh variant vidlicových montáží, výpočtová dokumentace, konstrukční návrh a výkresová dokumentace hřídele, vidlice a sestavy montáže.

KLÍČOVÁ SLOVA

Azimutální vidlicová montáž dalekohledu, krokový motor, šnekové ozubení

ANNOTATION:

Purpose of this master's thesis is the construction proposal of azimuth fork mount with load capacity to 20kg including both axes drives. The solution contains design options of azimuth fork mount, calculations, design proposal of the mount and drawings of the shaft, fork and the assembly.

KEY WORDS:

Azimuth fork mount, stepper motor, worm gear

Bibliografická citace mé práce:

DOSTÁL, J. Konstrukce vidlicové azimutální montáže. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 84 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Pavlík.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s využitím zdrojů uvedených v seznamu použité literatury a za pomoci rad vedoucího mého diplomového projektu Ing. Jana Pavlíka.

V Brně, 20.května 2010

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ:

Tímto bych chtěl poděkovat všem, kteří mi poskytli cenné rady a informace při řešení problémů během vypracovávání mé diplomové práce. Zvláště bych rád poděkoval mému vedoucímu Ing. Janu Pavlíkovi, za cenné rady a připomínky a mé rodině za podporu a trpělivost.

OBSAH:

	Seznam použitých zkratk a veličin	11
1	Úvod.....	13
2	Historie dalekohledů	14
3	Dalekohled	16
3.1	Druhy dalekohledů	16
3.1.1	Rozdělení dalekohledů dle oblasti barevného spektra	16
3.1.2	Rozdělení dalekohledů podle druhu pozorování	16
3.1.3	Rozdělení dalekohledů podle typu optické soustavy	17
4	Montáž dalekohledu	23
4.1	Typy montáže	23
4.1.1	Azimutální montáž	23
4.1.2	Paralaktická montáž	25
4.1.3	Méně používané typy montáží	27
4.2	Sledování hvězdné oblohy v závislosti na typu montáže	29
4.3	Ustavení montáže	31
4.4	Pohony montáží	32
5	Přehled výrobců dalekohledů, montáží a příslušenství	33
6	Návrh konstrukčního řešení vidlicové azimutální montáže	34
6.1	Hlavní části montáže	34
6.2	Přehled pohybů montáže	35
7	Návrh jednotlivých prvků montáže	35
7.1	Seznam použitelných typů dalekohledů	36
7.2	Varianty čelistí pro uchycení tubusu na montáž	37
7.3	Převodové soustrojí pro nastavení výšky	42
7.3.1	Parametry šnekového soukolí	42
7.3.2	Pevnostní kontrola ložisek šneku	52
7.3.3	Parametry čelního ozubeného soukolí	53
7.3.4	Návrh hřídele a ložisek osy elevace	58
7.4	Převodové soustrojí pro azimutální osu	60
7.4.1	Parametry šnekového soukolí	61
7.4.2	Pevnostní kontrola ložisek šneku	69
7.4.3	Návrh hřídele a ložisek osy azimutu	70
7.5	Výpočet průhybu a zatížení vidlicového ramene montáže	71
8	Volba pohonu	72
8.1	Výpočet potřebného výkonu motoru	72
8.2	Možnosti napájení montáže	75
9	Volba řízení pohonu	76
9.1	Schéma zapojení	76
9.2	Softwarové varianty řízení navigace montáže	77
10	Návrh stativu	79
11	Kompletace řešení	80
12	Závěr	81
13	Seznam použité literatury	82
14	Seznam příloh	84
15	Výkresová dokumentace	

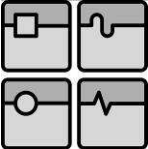
Seznam použitých zkratk

MWO - Mount Wilson observatoř, California, USA
 GO TO - naváděná montáž dalekohledu
 PDA - personal digital assistant (kapesní počítač)
 ALT - altitude (nastavení výšky)
 AZ - azimut (nastavení azimutu)

Seznam použitých veličin

Označení veličiny	Základní jednotka	Název veličiny
a	[m]	roztečná osová vzdálenost
a_w	[m]	osová vzdálenost
b	[m]	šířka
c	[-]	součinitel hlavové vůle šneku
C_0	[N]	základní statická únosnost ložiska
C10	[N]	základní dynamická únosnost ložiska
d	[m]	průměr
D_{OB}	[m]	průměr objektivu
d_{ok}	[m]	průměr zornice lidského oka
E	[Pa]	modul pružnosti v tahu
f	[s ⁻¹]	frekvence
f_{OB}	[m]	ohnisková vzdálenost objektivu
f_{OK}	[m]	ohnisková vzdálenost okuláru
F	[N]	síla
g	[m.s ⁻²]	tíhové zrychlení
h	[m]	výška
HB	[B]	tvrdost dle Brinella
i	[-]	převodový poměr
I	[mm ⁴]	moment průřezu
k	[-]	koeficient bezpečnosti
l	[m]	délka
L_h	[h]	trvanlivost ložiska
m	[kg]	hmotnost
m	[m]	modul ozubení
M	[Nm]	moment
n	[s ⁻¹]	otáčky
P	[Pa]	tlak
P	[W]	výkon
p	[m]	rozteč ozubení
p_z	[m]	stoupání šroubovice
q	[-]	součinitel průměru šneku
r	[m]	poloměr
Re	[Pa]	mez kluzu v tahu
Rm	[Pa]	mez pevnosti v tahu
T	[Nm]	točivý moment
u	[-]	převodové číslo
v	[m.s ⁻¹]	rychlost

x	[-]	součinitel posunutí profilu
X	[-]	součinitel dynamického radiálního zatížení
y	[m]	průhyb
Y	[-]	součinitel dynamického axiálního zatížení
z	[-]	počet zubů / chodů
z	[-]	zvětšení
α	[°]	úhel profilu (záběru)
γ	[°]	úhel stoupání šroubovice
φ	[°]	úhel skosení
η	[-]	účinnost
σ	[Pa]	normálové napětí
τ	[Pa]	tečné napětí
ω	[rad.s-1]	úhlová rychlost

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

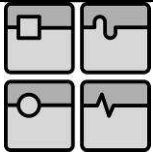
1 ÚVOD

"Nejkrásnější pocity vyplývají ze záhad. Jsou to pocity, které stojí u kolébky skutečného umění a skutečné vědy. Člověk, který tento pocit nezná, člověk, který už se neumí divit a který neumí žasnout, je prakticky mrtvý. Je jako zhasnutá svíce."

Albert Einstein

„Hvězdná obloha fascinovala lidstvo už odnepaměti a vždy v něm vyvolávala řadu otázek. Jak daleko jsou planety, které ze Země vidíme? Jak velký je vesmír? A kde končí? Jak vůbec vznikla Země? S touto palčivou touhou dotknout se nepoznaného se potýkali učenci starověkých kultur v Egyptě, Babylonu a Číně již 3 tisíce let př. n. l.“ [1, str. 30] Se zápallem a nadšením pozorovali oblohu a snažili se nalézt odpovědi na své otázky. Tito první astronomové dokázali postupem času určit a vypočítat, kdy na nebi dojde k událostem, jako je např. zatmění Slunce či Měsíce nebo pohyb některých planet – Marsu a Venuše. Schopnost zachytit čas měla v životě našich předků nemalý význam a to nejen z praktického hlediska (zejména v zemědělství), nýbrž i z duchovního (filosofie a náboženství). [1]

Základy moderní astronomie zpřístupnil v 17. století objev dalekohledu. Lidé se obraceli ke hvězdám stále častěji a zkoumali nové objekty. To ovšem přinášelo více otázek než odpovědí a tak se postupem času začal o astronomii zajímat stále větší počet lidí, jak na profesionální, tak i na amatérské úrovni. A právě spíše amatérské astronomii je věnována tato diplomová práce a její návrh vidlicové azimutální montáže dalekohledu s pohonem obou os.



2 HISTORIE DALEKOHLEDŮ

Dávné civilizace si musely při pozorování vystačit jen s lidským okem. Vynález dalekohledu se datuje až do 17. století a je připisován německo-holandskému brusiči skel Hansy (Johannu) Lippershey z Middelburgu (1570 – 1619). „*Nebyl sice úplně první, co se týče přibližovacích skel, ty používali už staří Peršané a Arabové, ale dalekohled vstoupil do dějin díky jemu.*“ [2] Jeho objev byl dílem náhody. V jedné ruce držel čočku. Do druhé ruky vzal jinou a když se přes ní podíval na tu první, s úžasem zjistil, že korouhev na věži, kterou přes tyto čočky uviděl, se k němu přiblížila. Svůj objev vylepšil. Opatřil čočky tubusem a tak vznikl první dalekohled (1608). Dalekohled, který zvětšoval jen 3x, byl zprvu používán pouze pro pozemské pozorování, hlavně pro holandské námořnictvo a armádu. [2]



Obr.2.1 - Hans Lippershey [2]

Prvním, kdo využil dalekohled pro astronomické účely, byl o rok později (1609) známý italský fyzik, matematik a astronom Galileo Galilei (1564 - 1642). O svých prvních pokusech s dalekohledem píše ve své knize *Siderius nuncius* (Hvězdný posel) vydané v roce 1610 v Benátkách. První jeho dalekohled zvětšoval třikrát, druhý zdokonalený přístroj dosahoval přibližně třicetinasobného zvětšení a učinil s ním svá první astronomická pozorování. Na sklonku roku 1609 objevuje jedinou viditelnou planetu Jupiter. Na začátku ledna 1610 potom Galileo objevuje Jupiterovy měsíce a fáze Venuše. Pozoroval Mléčnou dráhu, v níž rozlišil jednotlivé hvězdy, stejně jako hvězdokupu v souhvězdí Raka, v níž rozlišil asi 40 hvězd. Při pozorování povrchu Měsíce objevil jeho krátery a pozorování Slunce vedlo k objevu slunečních skvrn. Klasický Galileův dalekohled někdy též nazývaný

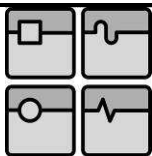


Obr.2.2 – Galileo Galilei [4]

holandský, se skládá ze dvou čoček. První, spojitou čočkou (objektivem) prochází světlo od pozorovaného objektu do druhé, rozptylové čočky (okuláru). Tento typ dalekohledu dává vzpřímený obraz, ale do oka vstupuje jen malá část paprsků, obraz je méně světlý, a tím i značně nevyhovující. Takový typ se dnes používá jen jako divadelní kukátko. [3, 4]

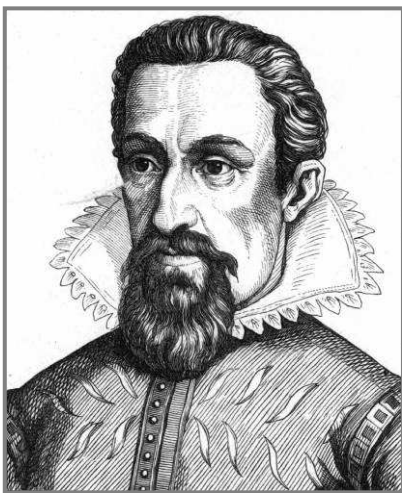


Obr 2.3 – Galileův dalekohled [3]



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Současníkem a přímým pokračovatelem Galileo Galileia byl německý matematik, astrolog a astronom Johanes Kepler (1571 - 1630). Po smrti vynikajícího pozorovatele oblohy Tycho de Braha působil jako astronom na dvoře císaře Rudolfa II. Na základě dat získaných



Brahem Kepler určil elipsovitou dráhu planety Mars. V roce 1609 ve spisu *Astronomia Nova* formuloval Kepler své první dva zákony, kterými se řídí pohyb planet a v roce 1619 publikuje svůj třetí zákon týkající se téhož. Navrhl také nový typ dalekohledu, v němž je okulárem i objektivem spojitá čočková soustava. Výhodou Keplerova dalekohledu je mnohem lepší světelnost obrazu (ostrost), ale také možnost umístit mezi čočky srovnávací stupnici nebo cílový kříž. Nevýhodou naopak převrácený obraz. Kepler také zavedl vlastní název dalekohledu, který se používá dodnes. Ten pochází ze dvou řeckých slov: tele - daleko a skopein - pozorovat. Česky tedy teleskop nebo-li dalekohled. [1, 4, 5]

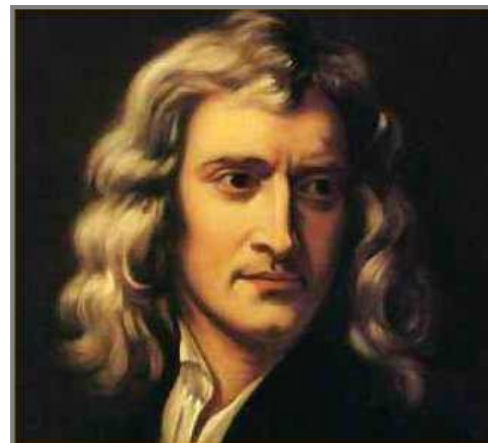
Obr 2.4 – Johanes Kepler [1]

Protože jak Galileův, tak Keplerův dalekohled byly čočkového typu (refraktory), trpěly dvěma vážnými optickými vadami: aberací – chromatickou (barevnou) vadou a sférickou (kulovou) vadou. A právě tyto vady objevil a popsal anglický fyzik, matematik, astronom a filosof Isaac Newton (1643 - 1727). Zjistil, že při průchodu



Obr 2.6 – Newtonův dalekohled [12]

světla čočkovou soustavou, dojde nejen k jeho ohybu, ale i rozkladu na barevné spektrum, což znesnadňuje pozorování a projevuje se duhovým efektem na okrajích pozorovaných



Obr. 2.5 – Isaac Newton [6]

objektů. Proto Newton navrhl nový typ dalekohledu (1668), zrcadlového typu (reflektoru). Tento typ dalekohledu používá místo čočky kulového zrcadla, které chromatickou vadu nezpůsobuje. Jeho dalekohled zvětšoval 38krát. [1, 6]

O čtyři roky později (1672) zdokonalil tento typ dalekohledu skotský matematik Guillaume Cassegrain. Do dnešní doby vzniklo ještě několik modifikací reflektorových dalekohledů jako např. Schmidtův dalekohled (1930) nebo Maksutovův dalekohled (1941). [1]

3. DALEKOHLED

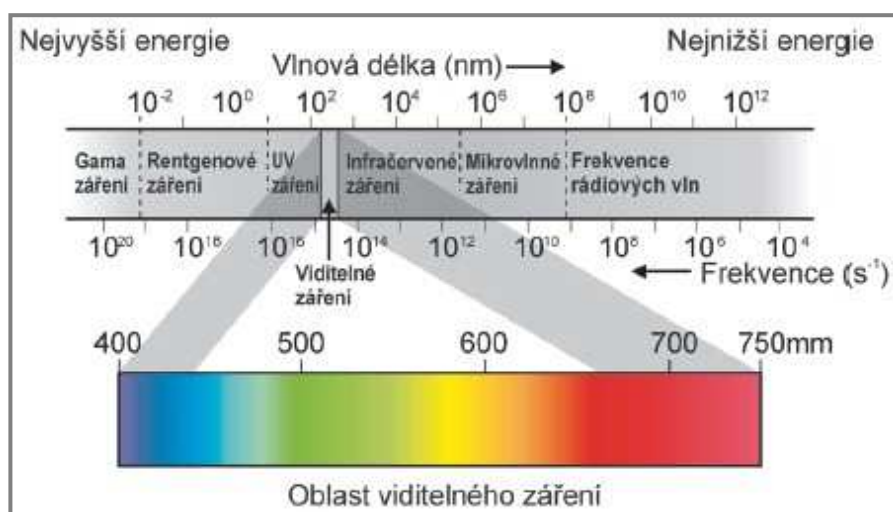
Dalekohled je přístroj. Optická soustava, která přes objektiv sbírá elektromagnetické záření a vytváří pomocí soustavy zrcadel a čoček jeho obraz, který pak pozorujeme v okuláru. U moderních přístrojů bývá okulár nahrazen fotoaparátem, CCD kamerou, spektrografem nebo dalšími detektory záření. Dalekohled je jedním z nejdůležitějších přístrojů astronomie, který nám již dokázal odhalit mnohá tajemství vesmíru.

3. 1. Druhy dalekohledů

U dalekohledů se můžeme setkat s mnoha odlišnými typy. Zaleží na tom podle jakého hlediska je srovnáváme.

3. 1. 1. Rozdělení dalekohledů dle oblasti barevného spektra

Většina dalekohledů pracuje ve viditelné části spektra elektromagnetického záření, ale jsou i takové, které pracují v jeho infračervené nebo ultrafialové části. „Barevné spektrum je lidským okem viditelná část spektra elektromagnetického záření o vlnových délkách 380 až 750 nm (odpovídá frekvenci 400-790 THz)...Tento rozsah vlnových délek je nazýván viditelné světlo nebo jednoduše světlo. Oko je nejcitlivější na elektromagnetické záření vlnové délky 555 nm (540 THz), tj. na zelenou barvu.“ [7]



Obr. 3.7 – spektrum elektromagnetického záření [7]

3. 1. 2. Rozdělení dalekohledů podle druhu pozorování

Každý z nás měl někdy v ruce dalekohled. Pozoroval jím dění okolo sebe. A některé z nás napadlo se s ním v noci podívat i na oblohu. Podle toho rozlišujeme dva typy dalekohledů:

- dalekohledy používané na pozorování pozemské – *TERESTICKÉ (pozemské)*
- dalekohledy používané na pozorování oblohy – *ASTRONOMICKÉ (hvězdářské)*

3. 1. 3. Rozdělení dalekohledů podle typu optické soustavy

Nejdůležitějšími parametry každého dalekohledu s optickou soustavou jsou:

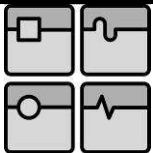
- světelný zisk – je poměrné číslo, která udává násobek, kolikrát je zesíleno (zeslabeno) světlo vstupující do objektivu ku světlu, které je zobrazováno na výstupu dalekohledu a pozorujeme ho našim okem. Jinými slovy, jak málo jasné (slabé) objekty dalekohledem uvidíme, souvisí přímo s velikostí (průměrem) objektivu dalekohledu. Tzn. že objektivem, jehož průměr je například 100 mm, uvidíme 156x slabší objekty než lidským okem (průměr zornice lidského oka je 8mm), u objektivu průměru 200 mm až 625x slabší objekty, při zanedbání ztrát v soustavě čoček. [10]

$$\text{světelný zisk} = \frac{D_{OB}^2}{d_{OK}^2}$$

- zvětšení - je poměr ohniskové vzdálenosti objektivu a ohniskové vzdálenosti okuláru. (Zároveň platí, že zvětšení dostaneme jako poměr průměrů vstupujícího svazku paprsků a vystupujícího svazku paprsků). U dalekohledu objektiv (čočka s velkou ohniskovou vzdáleností) vytvoří v ohniskové rovině obraz pozorovaného předmětu. Tento obraz, zvláště v případě astronomických objektů, není příliš velký. „Např. obraz Slunce promítnutý objektivem o ohniskové vzdálenosti 1 m je velký necelý 1 cm; obraz Jupitera vytvořený stejným objektivem by měl průměr jen necelou třetinu milimetru.“ [10] Proto u dalekohledu existuje okulár. Což je v podstatě lupa, která zvětšuje obraz vytvořený objektivem. „Čím silnější lupa (kratší ohnisková vzdálenost okuláru), tím větší zvětšení dalekohledu; a podobně: čím větší obrazek vytvořený objektivem (delší ohnisková vzdálenost objektivu), tím větší zvětšení dalekohledu.“ [10] Na druhou stranu, zvětšení nelze zvyšovat do nekonečna. Existuje pro to několik důvodů: především difrakce světla na vstupním otvoru a chvění vzduchu. Obojí způsobuje, že při příliš velkém zvětšení obraz nelze doostřit. [10]

$$\text{zvětšení } z = \frac{f_{OB}}{f_{OK}} = \frac{D_{VSTUP}}{D_{VÝSTUP}}$$

Tak jak se zlepšovaly vlastnosti dalekohledů, vznikaly stále nové typy. Podle typu optické soustavy rozdělujeme dalekohledy na čočkové dalekohledy (refraktory) a zrcadlové dalekohledy (reflektory).

**REFRAKTOR (čočkový dalekohled)**

Refraktor je dalekohled, jehož optická soustava – objektiv i okulár - je složena z jedné nebo více čoček. Tento typ dalekohledu v minulosti trpěl řadou optických vad, z nichž nejzávažnější je barevná vada (chromatická aberace). U dnešních dalekohledů se dají tyto vady korigovat přidáváním různých typů čoček z různých druhů skel (korundové sklo, flintové sklo). Dalekohled s korigovanou barevnou vadou se nazývá achromatický / apochromatický (achromát / apochromát) a umožňuje zvětšení bez rušivého efektu. Tyto dalekohledy jsou ovšem díky náročnosti výroby hodně drahé. „Refraktory se dnes používají na astronomických observatořích převážně jako pomocná zařízení, větších zrcadlových teleskopů a slouží víceméně jen pro vyhledávání objektů nebo kontrolu jejich polohy při fotografování.“ [9]



Obr. 3.8 – historický typ refraktoru [9]

Předností refraktorů je stabilita optického systému, který je uzavřen v tubusu, což snižuje negativní účinky proudícího vzduchu při pozorování a znesnadňuje vnikání prachových částic do optické soustavy. Obraz je proto kontrastnější.

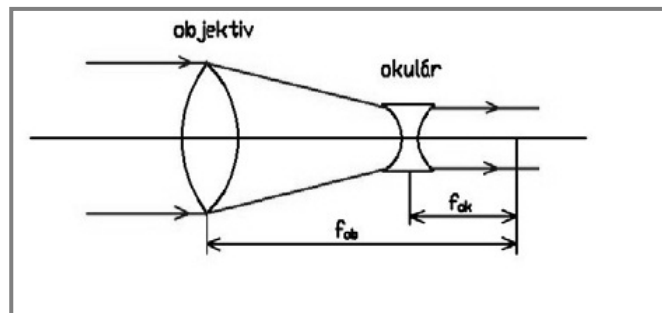
Nevýhodou jsou pak vysoké náklady spojené s výrobou čoček a ztráta přibližně 4% světla na každé optické ploše objektivu. Refraktory jsou také hodně dlouhé a těžké a je u nich nutné počítat s rozměrnou a náročnou montáží. Dalším negativem refraktorů je poměrně malá odolnost vůči chvění nebo nárazu. A pokud není okulár vybaven snímacím zařízením, má refraktor ještě jednu nepříjemnou vlastnost. Při pozorování objektů v zenitu musíme použít tzv. zenitový hranol, abychom nemuseli zaklánět hlavu, ovšem pak dostaneme stranově převrácený obraz, který znesnadňuje identifikaci pozorovaných objektů. [8, 9]



Obr. 3.9 – moderní typ refraktoru včetně zenitového hranolu [8]

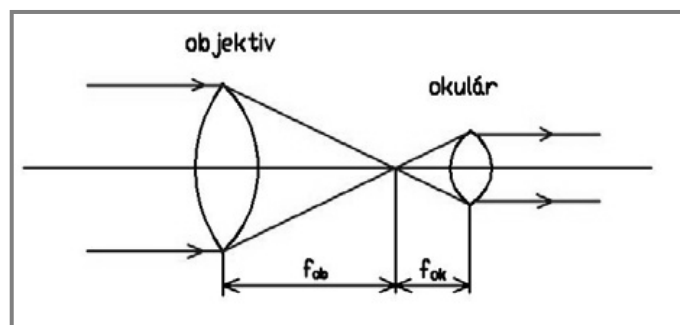
Příklady konstrukce historicky nejznámějších refraktorů:

Galileův (holandský) dalekohled – je dalekohled tvořený spojným objektivem, který má velkou ohniskovou vzdálenost f_{OB} , a rozptylným okulárem, který má malou ohniskovou vzdáleností f_{OK} . „*Obrazové ohnisko objektivu u tohoto typu dalekohledu splývá s obrazovým ohniskem okuláru. Tento typ dalekohledu se využívá např. jako divadelní kukátko, které poskytuje zhruba čtyřnásobné zvětšení.*“ [11]

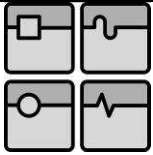


Obr. 3.10 – schéma Galileova dalekohledu [10]

Keplerův (hvězdářský) dalekohled – je dalekohled tvořený dvěma soustavami spojných čoček na společné optické ose. Objektiv má velkou ohniskovou vzdálenost f_{OB} , naopak ohnisková vzdálenost okuláru f_{OK} je malá. Obrazové ohnisko objektivu pak splývá s předmětovým ohniskem okuláru. „*Obraz velmi vzdáleného předmětu vytvořený objektivem se nachází v ohnisku okuláru, přičemž se jedná o obraz skutečný, zmenšený a převrácený. Tento obraz pak pozorujeme okulárem jako lupou. Obraz však zůstává převrácený i po zvětšení okulárem.*“ [11]



Obr. 3.11 – schéma Keplerova dalekohledu [10]

**REFLEKTOR (zrcadlový dalekohled)**

Reflektor je dalekohled, jehož hlavní optickou soustavu tvoří čočky, ale zrcadla. „Objektivem reflektoru je primární duté zrcadlo kulové, parabolické případně i hyperbolické, jehož plocha určuje světelnost dalekohledu. Obraz předmětu se odráží ještě tzv. sekundárním plochým zrcadlem a pak pozoruje okulárem.“ [11]

Předností reflektorů je nižší cena a nepřítomnost chromatické (barevné) vady, snazší výroba zrcadel a lepší uspořádání tubusu. „Světlo se v nich totiž odráží zrcadly, takže tubus má teoreticky jen poloviční délku a těžké zrcadlo je umístěno na straně pozorovatele, nikoli na vnějším konci tubusu jako je objektiv refraktoru.“ [11] Tím je zajištěno menší orosení zrcadlového objektivu při nižších teplotách a také snazší montáž takového dalekohledu. „K nevýhodám reflektoru patří především to, že si vyžadují větší opatrnost při používání. Otřesy se snadno poruší vzájemná správná poloha jeho optických částí. Do otevřeného tubusu snadno vniká prach a usazuje se na zrcadlech. Podle kvality ovzduší je potom zapotřebí každých 5 - 10 let obnovit hliníkovou reflexní vrstvu na zrcadle“ [9]. Další nevýhodou reflektoru je chvění obrazu a zkreslení či neostrost okraje obrazu následkem vzduchového proudění mezi otvorem tubusu a jeho okolím. Toto je patrné zvláště na začátku pozorování, než se vyrovná teplota dalekohledu s teplotou okolí. [9]



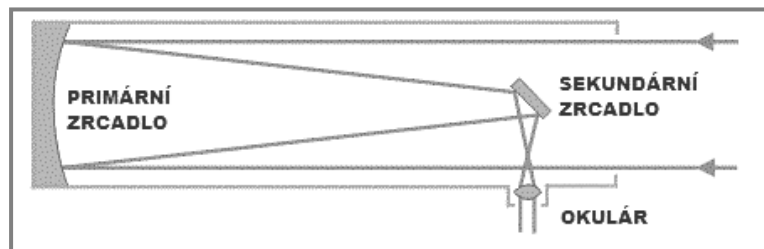
Obr. 3.12 – reflektor na Dobsonově montáži [9]



Obr. 3.13 – moderní typ reflektoru [9]

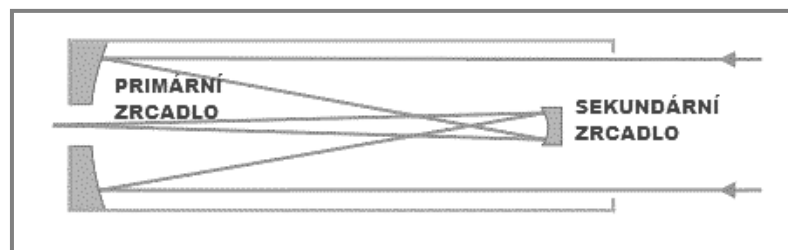
Příklady konstrukce reflektorů:

Newtonův dalekohled - je tvořen tubusem, ve kterém se nachází primární parabolické a sekundární rovinné zrcadlo. „Primární zrcadlo ... je uloženo ve spodní části tubusu. Přijímá přicházející světlo a odráží ho do svého ohniska, kde je umístěno malé sekundární zrcadlo, které odráží paprsky mimo tubus do okuláru na boku přístroje. Optická soustava dvou zrcadel a okuláru způsobuje, že vzniklý obraz je převrácen stranově a pólově.“ [11]



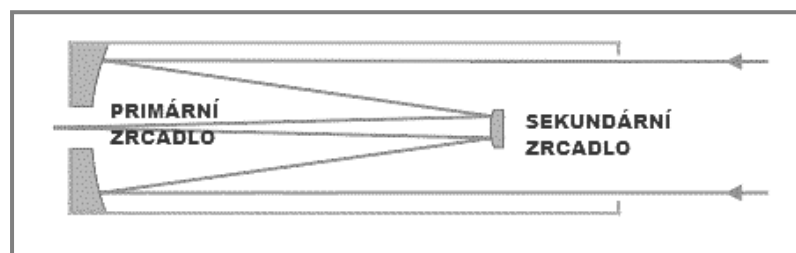
Obr. 3.14 – schéma Newtonova dalekohledu [12]

Gregoryho dalekohled – „...skotský matematik James Gregory navrhl v roce 1663 první zrcadlový dalekohled s vrtaným primárním zrcadlem a konkávním sekundárním zrcadlem za primárním ohniskem. Světelný svazek se odráží od sekundárního zrcadla a vrací se pak v ose dalekohledu otvorem v primárním zrcadle do okuláru. Výhoda tohoto typu spočívá v tom, že má podstatně delší ohniskovou vzdálenost a umožňuje tak větší rozlišení-zvětšení.“ [12] Na rozdíl od jiných dalekohledů není výsledný obraz převrácený. [11, 12]



Obr. 3.15 – schéma Gregoryho dalekohledu [12]

Cassegrainův dalekohled – je dalekohled s primárním vrtaným zrcadlem a s konvexním sekundárním zrcadlem. Obraz v tomto dalekohledu je stranově převrácený. Tento systém se stal standardem pro většinu zrcadlových dalekohledů. [11, 12]

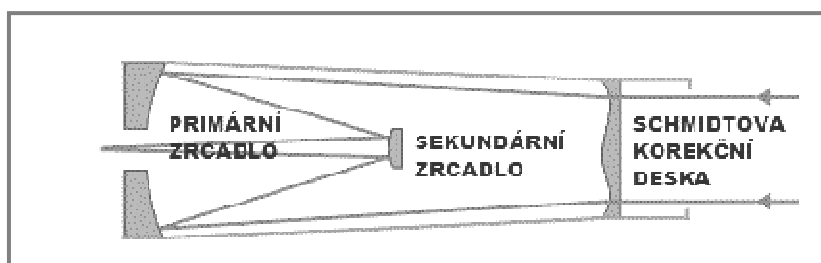


Obr. 3.16 – schéma Cassegrainova dalekohledu [12]

KATADIOPTRICKÉ SYSTÉMY (zrcadlo-čočkový dalekohled)

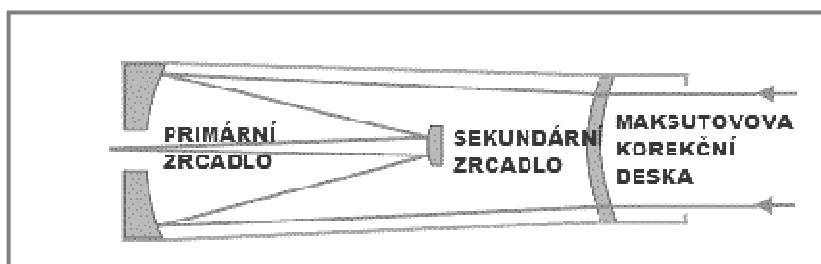
Klasické refraktory a reflektory mají své výhody, ale trpí i určitými nedostatky. Katadioptrické systémy se snaží tyto nedostatky korigovat a jsou kombinací jak odrazových prvků (zrcadel), tak prvků využívajících zákonu lomu (čoček a korekčních desek). Poprvé byla korekční deska představena estonským optikem Bernardem Schmidtem v roce 1930 u tzv. Schmidovy fotokomory určené výhradně pro fotografování. Tu o pár let později (1941) nahradil sovětský astronom Dmitrij Maksutov zakřivenou čočkou, tzv. meniskem. „Výrobně je tento systém jednodušší než Schmidova korekční deska s komplikovanou geometrií. Schmidova i Maksutovova komora se často kombinuje s klasickým Cassegrainovým systémem s provrtaným primárním zrcadlem. Vzniklé dalekohledy se nazývají Schmidt-Cassegrainův a Maksutov-Cassegrainův.” [12]

Schmidt-Cassegrainův dalekohled



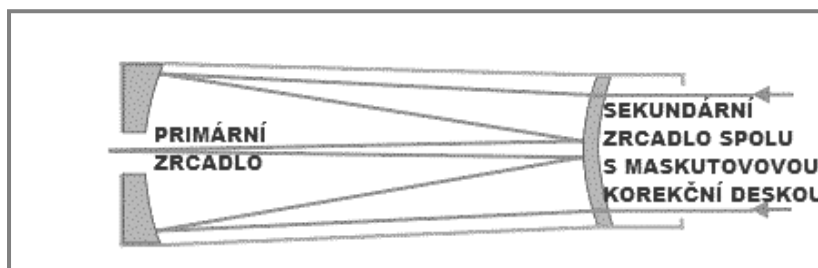
Obr. 3.17 – schéma Schmidt-Cassegrainova dalekohledu [12]

Maksutov-Cassegrainův dalekohled



Obr. 3.18 – schéma Maksutov-Cassegrainova dalekohledu [12]

Maksutov-Gregory-Cassegrainův dalekohled – v roce 1957 optik John Gregory pokovil meniskus - malou osovou část Maksutovovy korekční čočky a využil ji jakožto sekundární zrcadlo. [12]



Obr. 3.19 – schéma Maksutov-Gregory-Cassegrainova dalekohledu [12]

4. MONTÁŽ DALEKOHLEDU

Dřív lidé pozorovali hvězdy jen za pomoci vlastního zraku. Když vymysleli dalekohled, přišli na to, že při pozorování je mnohem lepší mít dalekohled pevně upevněn než ho držet v ruce. A to i v případě, že byl dalekohled malý a lehký. Asi každý z nás někdy zkoušel pozorovat obyčejným triedrem oblohu - Měsíc, hvězdy. A že to nebylo snadné? Obraz se chvěl a pořád někam uskakoval, jak se nám dalekohled v ruce třásl. A co teprve když chceme nějakou hvězdu na obloze najít. Okem to lze docela snadno, ale dalekohledem? Mít tak jemnější pohyb v rukou, bez chvění. A právě k tomu nám slouží montáž dalekohledu.

Montáž upevňuje dalekohled aby, tak aby mohl být při pozorování zaměřen potřebným směrem, popř. aby udržoval sledovaný objekt na obloze v zorném poli dalekohledu. Každá montáž umožňuje pohyb dalekohledu ve dvou osách svírajících navzájem pravý úhel a je nezbytně nutná pro každého astronoma při pozorování a fotografování oblohy a závisí na typu použitého dalekohledu. [13]

4.1. Typy montáže

Existuje mnoho druhů montáží, ale v astronomii se nejčastěji používají tyto dva základní typy:

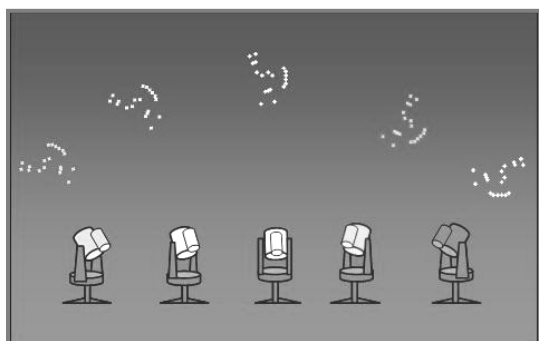
- *AZIMUTÁLNÍ MONTÁŽ*
- *PARALAKTICKÁ MONTÁŽ*

4.1.1. Azimutální montáž

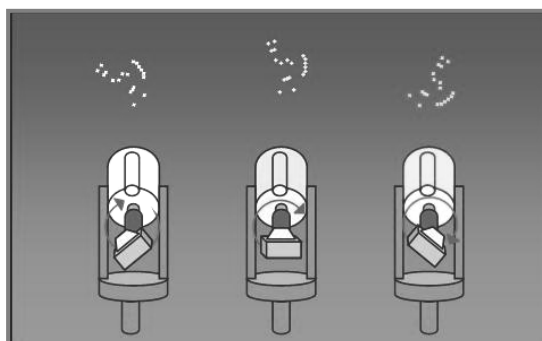
Azimutální montáž se většinou používá pro menší amatérské dalekohledy nebo pro větší dalekohledy sloužící k vizuálnímu pozorování hvězdné oblohy. Azimutální montáž umožňuje pohyb ve dvou osách. První osa je kolmá na vodorovnou rovinu (svislá) a otáčením okolo této osy se mění azimut (poloha vůči horizontu). Druhá osa (vodorovná) slouží k nastavování výšky (angl. altitude) nad obzorem. Proto se jí též někdy říká alt-azimutální montáž.

Hlavní nevýhodou azimutální montáže je, že pro sledování objektu na obloze je potřeba pohybovat dalekohledem v obou osách současně nestejnoměrnou rychlostí, čímž se vylučuje použití hodinového strojku (viz. kap. 4.1.2). Také pro fotografování s delšími expozičními časy je azimutální montáž nevhodná. Dochází k postupnému natáčení zorného pole obrazu a fotografované objekty se směrem od středu zobrazují jako stále větší obloučky, pouze objekt uprostřed zorného pole se zobrazuje jako bod. Proto se k tomuto typu montáží přidává při fotografování další mechanický člen, tzv. derotátor zorného pole, umístěný mezi okulár dalekohledu a fotoaparát, který kompenzuje jeho stáčení. Dříve se tento typ montáže, při obtížnosti synchronního pohybu obou os, hodil pouze pro optické pozorování oblohy, u dnešních moderních montáží při použití výpočetní techniky není problém pohybovat dalekohledem současně v obou osách a ještě stáčet zorné pole.

Výhoda těchto montáží oproti klasickým paralaktickým je, že ke svému provozu potřebují podstatně méně prostoru, jsou konstrukčně jednodušší a lehčí. Toho se využívá hlavně při stavbě velkých observatoří. Velkou výhodou těchto montáží je pak rychlá příprava k pozorování, není nutná pointace (viz. kap. 4.1.2). [13, 14]



Obr. 4.20 – stáčení zorného pole
azimutální montáže [14]



Obr. 4.21 kompenzace stáčení
zorného pole s využitím
derotátoru [14]

Vidlicová montáž – je jednou ze základních typů montáží používaných hlavně pro menší dalekohledy v amatérské astronomii. Tubus dalekohledu se upevňuje na vidlici, která bývá nejlépe vykloněná od kolmé osy tak, aby bylo možné dalekohledem pozorovat i objekty blízko zenitu. Nejčastěji se používá u dalekohledů určených k vizuálnímu pozorování, popř. k fotografování objektů s krátkými expozičními časy, kde se nestihne projevit natáčení zorného pole vlivem otáčení Země. [13, 14]



Obr. 4.22 – Newtonův dalekohled
na azimutální montáži vidlicového typu [13]



Obr. 4.23 – počítačem řízená
vidlicová azimutální montáž [14]

Dobsonova montáž – patří k další velmi konstrukčně jednoduché montáži oblíbené zejména u amatérských astronomů. Její výroba je snadná a poskytuje dostatečně tuhé a stabilní uchycení dalekohledu. Tuto montáž vymyslel amatérský astronom John Dobson a je zajímavá tím, že se dalekohled na plošinu nijak nepřipevňuje, ale je na ní pouze položen. Při použití správně vyváženého dalekohledu je potom manipulace dalekohledem velice snadná a není tak problém sledovat objekty na obloze. Tuto montáž lze bez problémů použít i pro velké amatérské dalekohledy o velkých průměrech objektivu až do 500 mm. Specialitou Dobsonovy montáže je možnost použití tzv. Poncetovy plošiny. Tím se Dobsonova azimutální montáž změní na paralaktickou a umožňuje nám provádět fotografování o delších expozičních časech. [12, 13, 15]



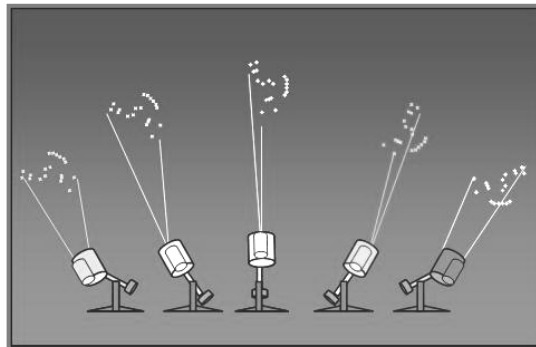
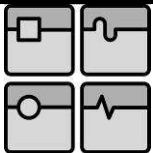
Obr. 4.24 – Dobsonova montáž [12]



Obr. 4.25 – Poncetova plošina [15]

4.1.2. Paralaktická montáž

Paralaktická montáž, někdy též nazývaná polární či rovníková, je velmi často používána pro astronomické fotografování. Pohybuje se ve dvou osách, ale narozdíl od azimutální montáže má jednu osu rovnoběžnou s osou rotace Země, tzv. polární a druhou osu na ni kolmou, deklinační, která zajišťuje správný náklon dalekohledu. Pro pohon polární osy se používá tzv. hodinového strojku. Ten zaručuje, že se dalekohled každou hodinu plynule pootočí o 15 úhlových stupňů, čímž se kompenzuje otáčení Země. Při správném nastavení montáže je tím odstraněn efekt natáčení zorného pole a pozorované objekty „neutíkají“ ze zorného pole dalekohledu. Paralaktická montáž je vhodná pro astronomická pozorování, avšak pro pozemská pozorování se příliš nehodí. Může být, stejně jako azimutální, motorizována a řízena počítačem. [12, 13, 14]



Obr. 4.26 – sledování oblohy paralaktickou montáží, bez efektu stáčení zorného pole [14]

Německá montáž s protizávažím - je jednou z klasických paralaktických montáží. Poprvé ji použil konstruktér J. Fraunhofer v roce 1816 a téměř v nezměněné podobě se používá dodnes. Její použití je velmi univerzální a je vhodná pro všechny typy dalekohledů různých velikostí a hmotností. „Mezi hlavní nevýhody patří poměrně velká hmotnost způsobená použitím protizávaží a nemožnost nastavit dalekohled do určitých poloh, kdy už tubus dalekohledu narazí na stativ a proto je nutné provést tzv. přeložení dalekohledu, tzn. otočení dalekohledu kolem obou os o 180 stupňů, a tím se vyhnout stativu.“ [13] Na tuto skutečnost je nutné myslet zejména během pořizování fotografií. Montáž má dvě osy, hodinová osa je většinou připevněná ke stativu a na ni je kolmá osa deklinační. Na jedné



Obr. 4.27 – Německá montáž [12]



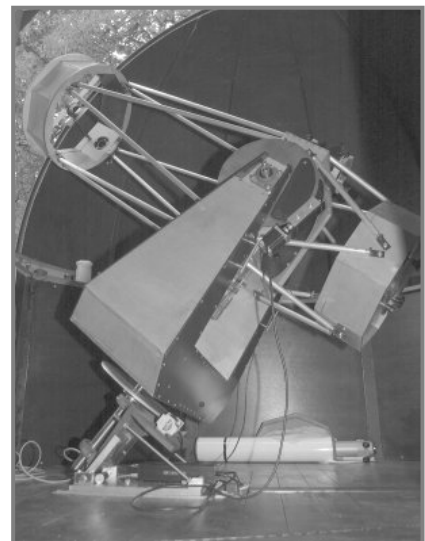
Obr 4.28 – ukázka „těžké“ Německé montáže pro větší typy dalekohledů [14]

straně této osy je umístěn samotný dalekohled a na straně druhé je vyvažovací protizávaží. Místo protizávaží se někdy umísťuje jiné zařízení, např. druhý pointační dalekohled nebo fotoaparát. Tato montáž bývá velmi často doplněna o pohon obou os, což usnadňuje navádění na pozorovaný objekt, a je více vhodná na fotografování než na vizuální pozorování, protože v některých polohách dalekohledu je pozorovatel přinucen k téměř „akrobatickým“ výkonům. [12, 13, 14]

Vidlicová paralaktická montáž – je dalším typem paralaktické montáže. Jejím charakteristickým znakem je upevnění tubusu dalekohledu ve vidlici, většinou oboustranné, které je velmi stabilní. Pro menší typy se někdy používá vidlice jednostranná. Vidlicová montáž postrádá protizávaží a proto se většinou konstruuje pro konkrétní typ dalekohledu. Protože vidlicová montáž nemá protizávaží, používá se pro dovyvážení dalekohledu posuvného závaží upevněné přímo na tubusu dalekohledu. Tato montáž se nejčastěji používá pro dalekohledy krátkých konstrukčních délek, nejčastěji typu Schmidt-Cassegrain, Maksutov-Cassegrain. Navíc nemá omezení otáčení kolem osy, tak jako Německá montáž. [13, 14]



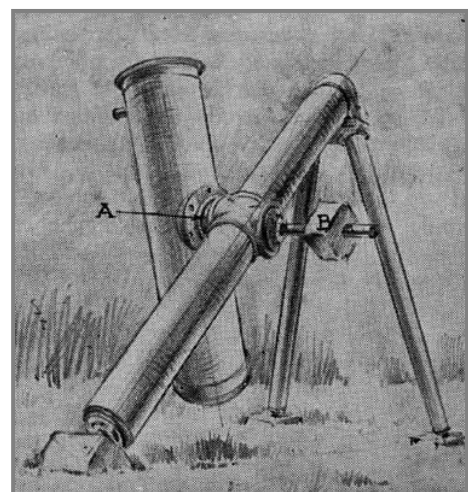
Obr 4.29 – paralaktická vidlicová montáž [14]



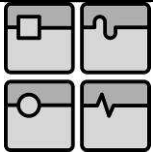
Obr 4.29 – paralaktická vidlicová montáž velkého reflektoru [14]

4.1.3. Méně používané typy montáží

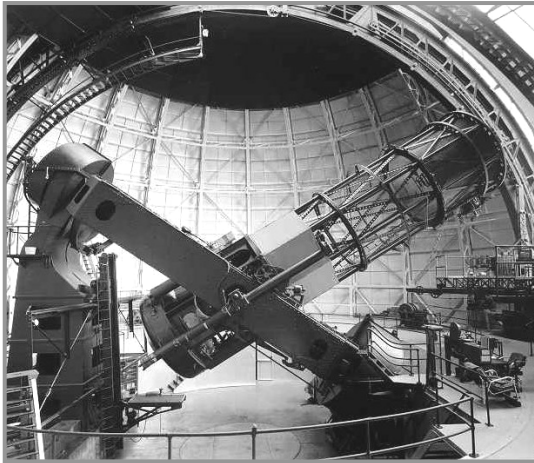
Anglická osová montáž – je speciální typ paralaktické montáže. Velmi se podobá Německé montáži s protizávažím. Její výhodou je, že její polární osa může být delší a je podepřena na obou koncích. To ji předurčuje k použití pro velké typy dalekohledů. Nevýhodou pak je, že jedna z podpěr polární osy musí být dostatečně vysoká (mohutnost montáže). Anglická montáž má tubus dalekohledu upevněn na jedné straně polární osy, proto vyžaduje použití protizávaží. [16, 17]



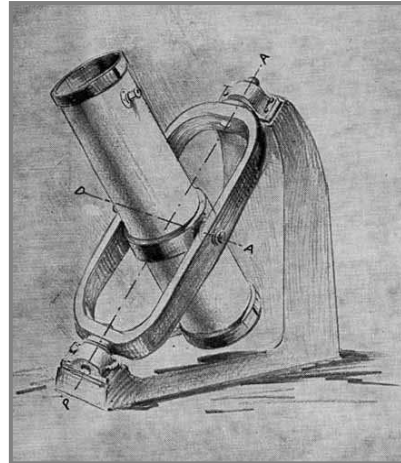
Obr. 4.30 – Anglická osová montáž [17]



Anglická rámová montáž – je odvozena od anglické osově montáže. Montáž neobsahuje protizávaží, čímž se zásadně snižuje zatížení podpěr polární osy a polární osy samotné. Uložení tubusu dalekohledu je symetrické, uvnitř rámu. Její výhodou je použití pro velké typy dalekohledů observatoří, nevýhodou pak nemožnost pozorovat objekty na obloze poblíž hvězdy Polárky. [16, 17]

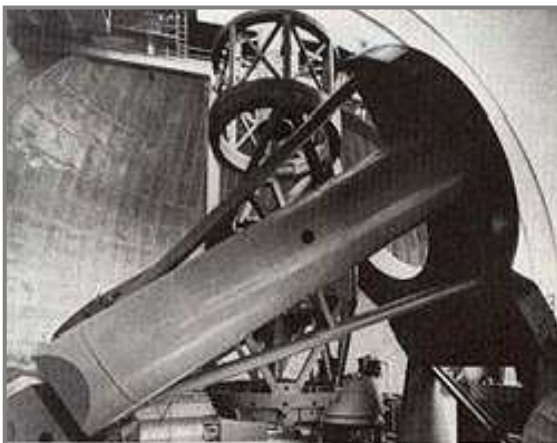


Obr. 4.31 – Hookerův dalekohled s anglickou rámovou montáží, observatoř MWO [14]

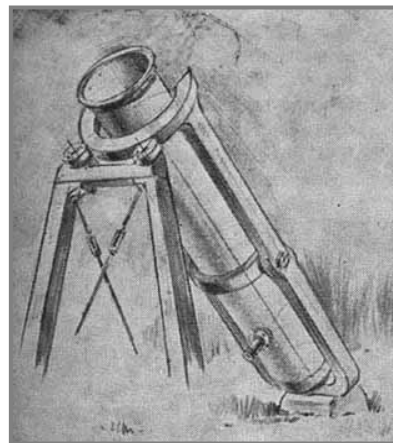


Obr. 4.32 – anglická rámová montáž [17]

Podkovová (rámová) montáž – je modifikací anglické rámové montáže, s tím rozdílem, že podpora severní strany polární osy je upravena do tvaru podkovy. Tato úprava již umožňuje pozorování hvězd v oblasti Polárky. Většinou se používá pro observatoře. [16, 17]

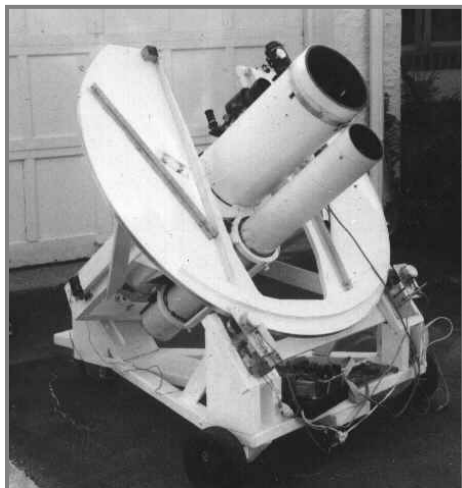


Obr. 4.33 – Mt. Palomar, s podkovovou montáží [14]

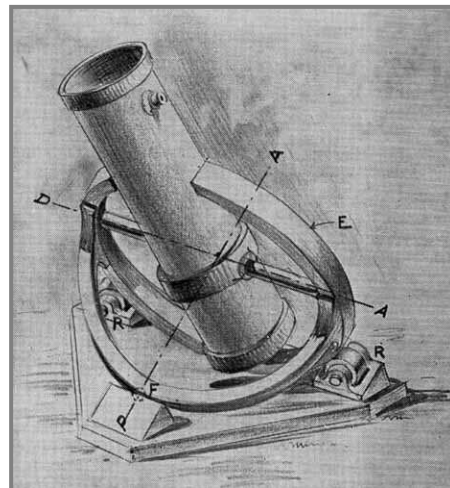


Obr. 4.34 – podkovová montáž [17]

Montáž dělený prstenec – tato montáž je hybridem podkovové a vidlicové montáže. Pohybem podkovy se mění deklinace a pohybem dalekohledu v ose na ni kolmé se mění deklinace. Nevýhodou této montáže je její nepřesnost po transportu a proto je spíše vhodná pro pevná pozorovací stanoviště. [16, 17]



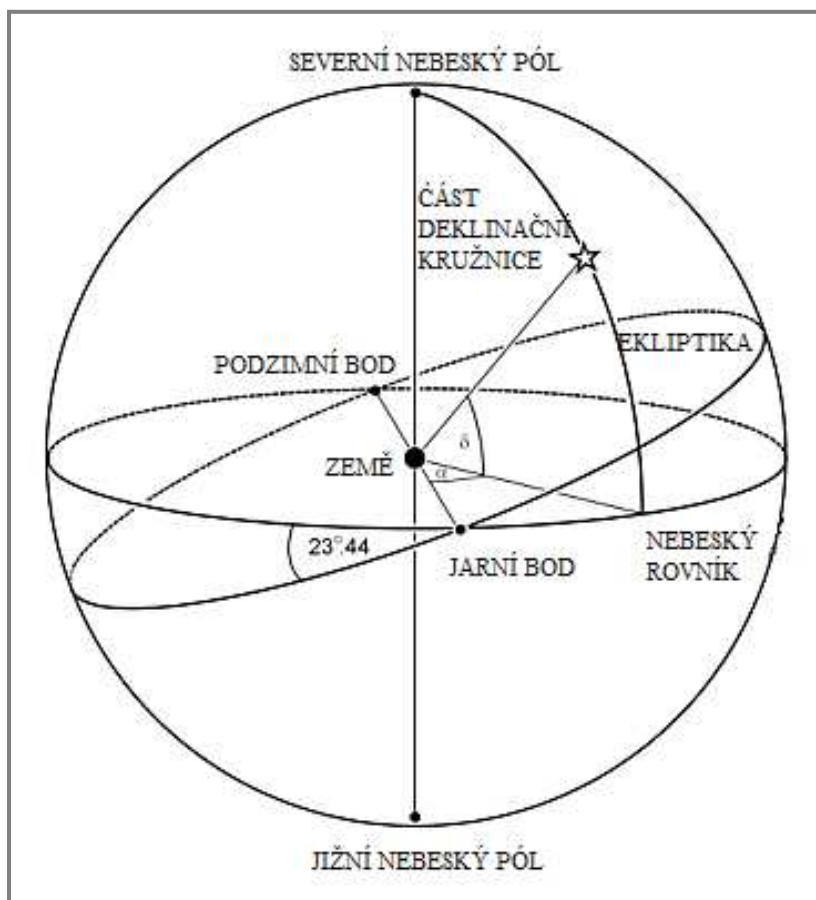
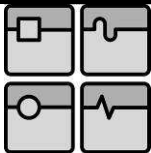
Obr. 4.35 – montáž dělený prstenec [14]



Obr. 4.36 – schéma montáže dělený prstenec [17]

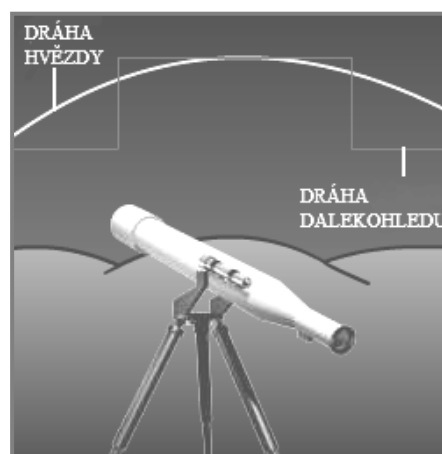
4. 2. Sledování hvězdné oblohy v závislosti na typu montáže

Pokud jste se někdy déle zadívali na oblohu, třeba na nějaké souhvězdí, zjistili jste, že se hvězdy pohybují a dokonce rotují. Je to způsobeno tím, že se pozorovatel nachází na povrchu Země, která se otáčí kolem své osy a přitom obíhá kolem Slunce. „V důsledku tohoto pohybu nebeské sféry pozorujeme zdánlivý pohyb hvězd. Všechny hvězdy opisují na nebeské sféře kružnice, přičemž do výchozí pozice se dostanou po úplné otočce nebeské sféry, tedy po 24 hodinách. Nebeská sféra (jakožto myšlená koule) se otáčí kolem osy procházející tzv. nebeskými póly (severním a jižním). Nebeské póly představují průměty zemských pólů, tzn. na severním pólu máme přímo nad sebou nebeský severní pól a podobně je tomu s jižním pólem.“ [20] Pokud promítneme zemský rovník na nebeskou sféru dostaneme tzv. nebeský světový rovník. Hvězdy ležící na nebeském rovníku opisují při otáčení nebeské sféry kružnice s největším poloměrem, čím blíže je hvězda k severnímu nebo jižnímu nebeskému pólu, tím menší je poloměr kružnice, kterou opisuje. „Dráha Slunce po nebeské sféře se nazývá ekliptika. Slunce projde celou dráhu ekliptiky za jeden rok. Rovina ekliptiky není shodná s rovinou nebeského rovníku (vlivem sklonění zemské osy).“ [20] Místa, kde se obě roviny protínají, se nazývají body rovnodennosti, tzv. jarní a podzimní bod. Kružnice kolmé k rovině nebeského rovníku se nazývají deklinační. „Pozorovatel na povrchu Země nevidí celou nebeskou sféru, ale pouze její část. Bod nebeské sféry, který má pozorovatel přímo nad sebou, se nazývá zenit (nadhlavník) a bod, který má pozorovatel přímo pod sebou, tzn. na části nebeské sféry, kterou nemůžeme pozorovat, se nazývá nadir (podnožník).“ [20] Kružnice spojující zenit a nadir se nazývá horizont. [19, 20, 21]



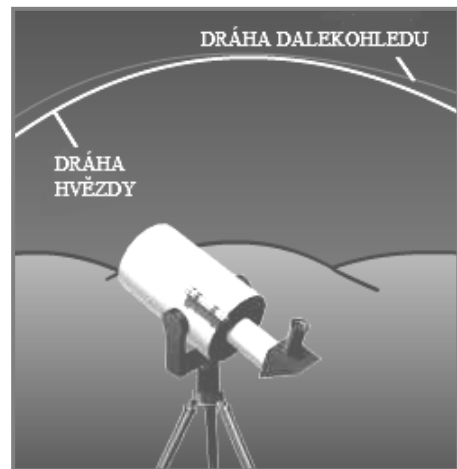
Obr. 4.37 – schéma nebeské sféry [20]

Pozorování oblohy azimutální montáží – při pozorování hvězdné oblohy touto montáží dochází k několika nepříjemným jevům. Pozorovaný objekt neustále uniká ze zorného pole a je třeba plynule korigovat pohyb dalekohledu v obou osách, jak azimutální (svislé), tak vodorovné pro nastavení výšky dalekohledu. Navíc dochází k rotaci pozorovaného objektu. [20, 22]



Obr. 4.38 – sledování hvězdy alt-az montáží [22]

Pozorování oblohy paralaktickou montáží – protože paralaktická montáž má, narozdíl od azimutální montáže, svislou osu rovnoběžnou s osou rotace Země a pomocí hodinového strojku neustále sleduje její pohyb, odstraňuje se tím nepříjemný efekt stáčení zorného pole. [20, 22]



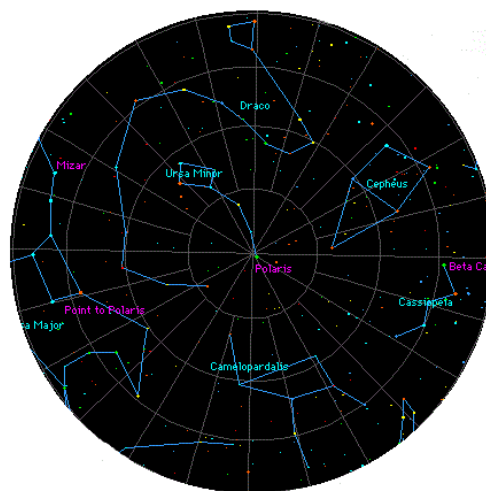
Obr. 4.39 – sledování hvězdy paralaktickou montáží [22]

4. 3. Ustavení montáže

Při profesionálním fotografování hvězdných objektů s dlouhými expozičními časy s objektivy delších ohniskových vzdáleností je nutné klást důraz na správné ustavení montáže. To se týká v podstatě jen montáže paralaktické, neboť u azimutální montáže není ani jedna z os rovnoběžná s osou Země a hvězdy se budou vždy natáčet v zorném poli dalekohledu. Proto je třeba při nastavování paralaktické montáže seřídít polární osu tak, aby byla co nejvíce rovnoběžná s osou zemské rotace. Svislá rovina, která prochází takto orientovanou polární osou, pak protíná nebeskou sféru v místním poledníku, tzv. meridiánu, a její sklon vůči vodorovné rovině odpovídá zeměpisné šířce pozorovacího místa a azimut polární osy je roven 180° . Každá malá nepřesnost při nastavování se potom může projevit na výsledných snímcích rozmazáním hvězd do čar a obloučků. Existuje několik metod, jak paralaktickou montáž pro pozorování seřídít. [23]

Ustavení pomocí přibližných metod - obvykle využívají faktu, že v blízkosti severního nebeského pólu se nachází hvězda Polárka, „jejíž střední vzdálenost od pólu představuje asi 47.5 obloukové minuty, což je více jak jeden a půl průměru Měsíce při úplňku“ [23]. Tato metoda je ovšem jen orientační a dochází při ní k chybě asi 1° , což může vyhovovat maximálně pro nenáročné fotografování s objektivy s krátkou ohniskovou vzdáleností a expozičními časy do několika minut. Daleko přesnějších výsledků seřízení paralaktické montáže dosáhneme s použitím tzv. polárního hledáčku. [23]

Ustavení paralaktické montáže pomocí polárního hledáčku - některé typy paralaktických montáží mají tzv. polární hledáček zabudován přímo v duté polární ose. Uložen je tak, že s ním lze otáčet kolem jeho optické osy. Polární hledáček je vlastně malý dalekohled se záměrným obrazcem v obrazové rovině, na němž jsou vyznačeny póly, poloha Polárky a některých jejích blízkých hvězd. Samotné nastavení montáže je pak už jednoduchá záležitost. Montáž umístíme na místo odkud chceme provádět pozorování, tak že ji ustavíme přibližně do vodorovné polohy. Poté se již pomocí manuálního pohybu v obou osách montáže snažíme dostat Polárku do středu polárního hledáčku. Toto nastavení je dostatečné pro krátké expoziční časy s objektivem s ohniskovou vzdáleností do 250mm. Pro delší expoziční časy, kolem 45 minut s objektivem větších ohniskových vzdáleností je nutné provést ještě další korekci otáčením polárního hledáčku. Jakmile se skutečné hvězdy dostanou do poloh vyznačených na hledáčku, je ustavení montáže jejím zajištění hotovo. Ovšem pro dlouhé expoziční časy a objektivem s ohniskovou vzdáleností nad 500mm je i tato metoda nedostačující a je nutné použít jednu z přesnějších metod, jako např. Driftovou metodu, někdy též nazývanou Scheinerovu. [23]



po

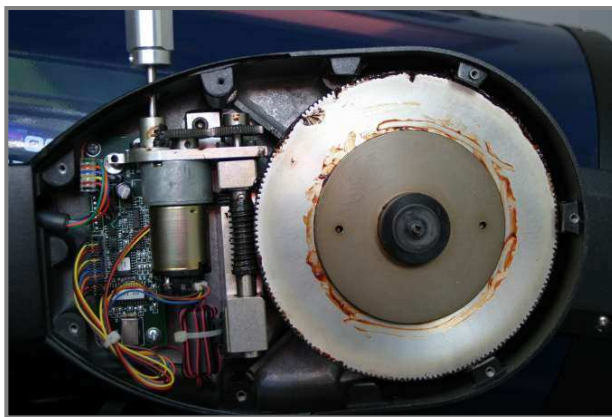
Obr. 4.40 – polární hledáček [14]

Ustavení paralaktické montáže pomocí driftové metody – k provádění této ustavovací metody je nutné mít na dalekohledu zařízení zvané pointační okulár, který s dalekohledem zajistí dostatečné, aspoň stonásobné zvětšení (z důvodu přesnosti) při jemném dolaďování montáže v azimutu a elevaci. Nejprve se vybere hvězda procházející zhruba meridiánem a deklinací okolo 0° až $+20^\circ$. Tuto hvězdu zamíříme do středu pointačního okuláru. Poté zapneme hodinový pohon montáže, pro kompenzaci rotace a pozorujeme, kam se hvězda v okuláru pohybuje a podle směru jejího pohybu nastavujeme azimut montáže dokud hvězda zdánlivě setrvává uprostřed pointačního kříže několik minut. Stejnou metodu použijeme pro nastavení elevace montáže, při použití zaměřování hvězdy v deklinaci 0° až $+20^\circ$ a ve výšce okolo 10° až 20° nad východním obzorem. Čím přesněji polohy obou os nastavíme, tím delší expoziční časy můžeme pro fotografování použít. [23, 38, 39]

4. 4. Pohony montáží

K pohonu os montáže dalekohledu můžeme použít různých druhů pohonů. Od pohonu manuálního, pomocí vlastních rukou, až po motorizované montáže řízené počítačem. Ruční pohon je nejčastěji realizován otáčením šneku soukolí, realizovaného přes nějaký pružný prvek, např. bowden, pro odstranění chvění. Nejstarším známým pohonem polární osy dalekohledu je pohon pomocí hodinového strojku, poháněného závažím s odstředivým regulátorem otáček. V dnešní době je možné pro pohon os použít nejrůznějších elektromotorů. Na pohon polární osy je možné použít synchronní motor, který má otáčky nezávislé na zatěžovacím momentu, pouze na frekvenci střídavého proudu. Tím je zaručen jemný a plynulý pohyb. Častěji se však pro pohon os používají krokové motory. Řízení

takového motoru je pak realizováno řídicím počítačem, popř. čipem, který tak minimalizuje nároky na velikost a celé zařízení se tím velmi miniaturizuje. Nevýhodou krokových motorů je neplynulost chodu. Jejich trhavý chod je nutný řešit použitím různých typů převodů a převodovek. Hlavní převod (hodinové i deklinační) osy je nejčastěji realizován pomocí ozubeného šnekového soukolí. „Kvalita opracování tohoto soukolí je kritická a na ní je závislá přesnost a plynulost pohybu montáže.“ [13] Pokud dojde při výrobě k nepřesnostem, projevuje se to nepravidelným pohybem montáže v dané ose, což způsobuje nutnost mnoha korekcí během expozice. [13, 24]



Obr. 4.41 – ukázka řešení pohonu deklinační osy [24]

5 Přehled výrobců dalekohledů, montáží a příslušenství

Na trhu existuje nepřeberné množství výrobců dalekohledů a jejich příslušenství. Nejznámější z nich jsou:

- **Celestron** (www.celestron.com) – americká firma vyrábějící dalekohledy i montáže
- **Meade** (www.meade.com) – americký výrobce high-tech přesných montáží a dalekohledů s vynikající optikou
- **Vixen** (www.vixenoptics.com) – japonská firma zabývající se výrobou dalekohledů
- **Bushnell** (www.bushnell.com) – americká firma vyrábějící špičkové dalekohledy
- **Skywatcher** (www.skywatchertelescope.net) – americká firma vyrábějící dalekohledy a montáže, převážně paralaktické
- **Coronado** (www.coronadofilters.com) – firma zabývající se výrobou filtrů a příslušenství k dalekohledům
- **Losmandy** (www.losmandy.com) – americký výrobce montáží a příslušenství dalekohledů

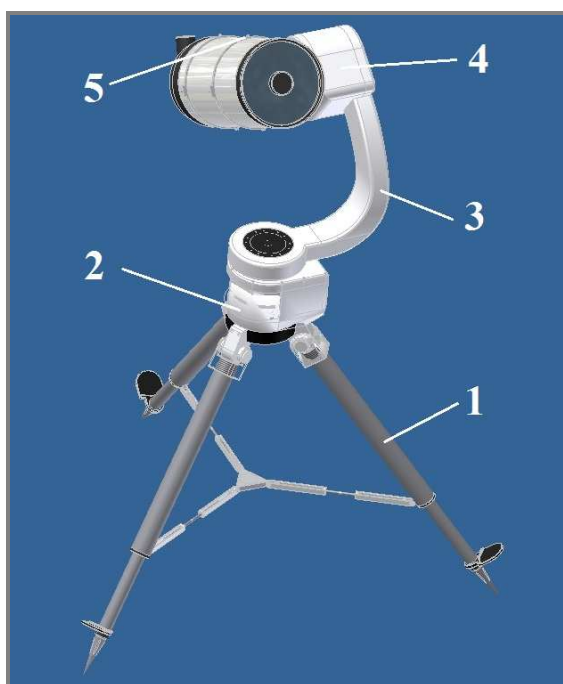
6. NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ VIDLICOVÉ AZIMUTÁLNÍ MONTÁŽE

Samotná montáž dalekohledu má vliv na spoustu faktorů. Ovlivňuje volbu použitelných teleskopů, jejich typ (Newton, Schmidt-Cassegrain, Maksutov-Cassegrain), možnost jejich uchycení (rybinové vedení, objímkové uchycení), jednoduchost manipulace, rychlost sestavení a ustavení montáže, možnost navádění a sledování objektů na obloze (manuální, naváděné GO-TO systémy) a v neposlední řadě kvalitu samotného pozorování/fotografování (tuhost montáže a velikost vůlí jednotlivých pohybů). U konstrukčního řešení je pro svou univerzálnost použita modifikace již existujících montáží na trhu, přičemž byla zvolena jednostranná vidlicová montáž (pro snížení celkové váhy a elegantnější vzhled). Na montáž je možné připevnit jakýkoliv typ dalekohledu v rozsahu do průměru objektivu kolem 300mm a maximální hmotnosti 20kg.

6. 1. Hlavní části montáže

Každá montáž, aby správně plnila svou funkci, se musí skládat z několika hlavních částí. U zvolené azimutální montáže můžeme tyto části rozdělit dle následujícího schématu, viz. obr 6.42.

1. stativ - někdy též nazýván trojnožka, slouží k samotnému ustavení montáže na pozorovacím stanovišti, má výškově stavitelné nohy a nese celou vlastní montáž dalekohledu
2. pouzdro azimutálního pohonu – je válcová část montáže, upevňující se přímo na stativ, obsahuje samotný pohon azimutální osy
3. vidlice montáže – je uchycena na pouzdro azimutální osy, nese pouzdro pro pohon montáže pro výškovou stavitelnost, tzv. alt osu a její tvar je uzpůsoben možnosti namíření dalekohledu k zenitu



Obr.6.42 – hlavní části azimutální vidlicové montáže se stativem

4. pouzdro alt osy – válcová část umožňující výškovou stavitelnost dalekohledu, obsahuje vlastní pohon alt osy a její stupnici
5. uchycení tubusu dalekohledu - umožňuje ustavení dalekohledů různých velikostí, při použití různých velikostí objímek a rybinového vedení centruje polohu dalekohledu do středu obou os pohybů, jak ALT, tak AZ osy

6. 2. Přehled pohybů montáže

Azimutální montáž musí pro správnou činnost umožňovat dva hlavní druhy pohybů. Jeden pro správné nastavení dalekohledu v azimutu (poloha vůči horizontu) a druhý pro nastavení výšky nad horizontem. Kromě toho montáž umožňuje ještě několik dalších pohybů, sloužících pro samotné její sestavení a uchycení tubusu dalekohledu, tak jak je ukazuje obr. 6.43



Rotační pohyb, zajišťující nastavení výšky dalekohledu



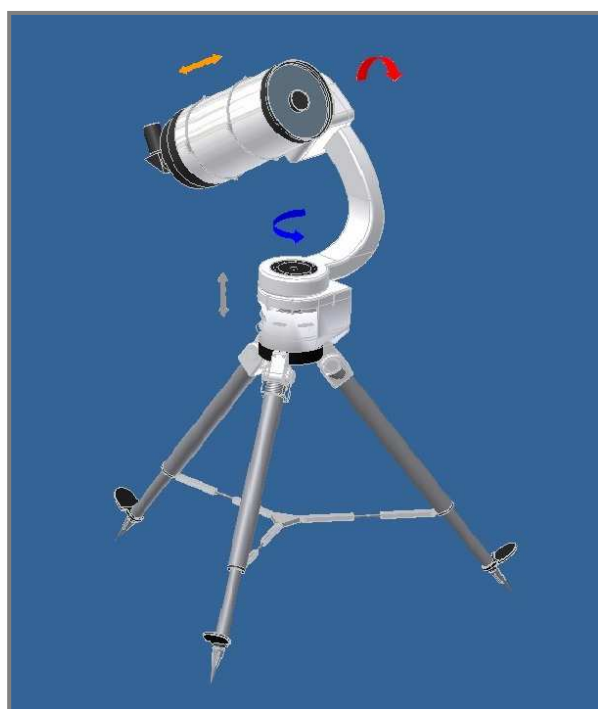
Rotační pohyb, zajišťující nastavení azimutu



Translační pohyb, zajišťující polohu objímek v závislosti na délce tubusu



Translační pohyb, vlastní uchycení montáže na stativ



Obr.6.43 – přehled pohybů montáže

7. NÁVRH JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ MONTÁŽE

Během návrhu montáže bylo zohledněno několik faktorů. Montáž je azimutálního typu, což sebou přináší komplikace při navádění na pozorovaný objekt, je nutný současný pohyb v obou rotačních osách montáže, navíc různou rychlostí. Pohyb montáže není realizován manuálně, ale pomocí elektrického pohonu a řízení přes astro-navigační program z PC. Pro pohyb v obou osách je tak nutný jemný pohyb, řízený elektronikou se zpětnou vazbou okamžité polohy natočení obou os. Nosnost samotné montáže je uvažována 20kg včetně možnosti připojení různých příslušenství k dalekohledu (fotografický přístroj, pointační hledáček, CCD kamera).

7. 1. Seznam použitelných typů dalekohledů

Navržená montáž je vhodná pro mnoho typů dalekohledů různých rozměrů a hmotností. V tabulce 7.1 jsou uvedeni zástupci dalekohledů, v současnosti běžně dostupní na trhu.

výrobce	název dalekohledu	průměr objektivu	délka tubusu	typ dalekohledu	hmotnost
SkyWatcher	TSC/SKY POINTER 70/500	70 mm	510 mm	Refraktor	1,15 kg
Vixen	TSC/VIXEN 26260 REFRAKTOR NA-140SSF	140 mm	1025 mm	Refraktor	6,5 kg
Orion Optics	TSC/ORION EUROPA 150/750mm LX	150 mm	1110 mm	Newtonův	4 kg
Orion Optics	TSC/ORION EUROPA 200/900mm	200 mm	1230 mm	Newtonův	7 kg
Orion Optics	TSC/ORION EUROPA 250/1200mm	250 mm	1330 mm	Newtonův	10 kg
Orion Optics	TSC/ORION SPX 300S 300/1200mm	300 mm	1510 mm	Newtonův	15 kg
SkyWatcher	TSC/SKY MAKSUTOV 102/1300mm	102 mm	1500 mm	Maksutov - Cassegrain	2 kg
Vixen	TSC/VIXEN 2632 VC 200 L "VISAC"	200 mm	600 mm	Maksutov - Cassegrain	6,3 kg
Celestron	TSC/CEL #11069 NEXSTAR 8 SE	203 mm	450 mm	Maksutov - Cassegrain	11 kg
Orion Optics	TSC/ORION OMC 300mm	300 mm	1160 mm	Maksutov - Cassegrain	13 kg
Celestron	TSC/CEL 150 XLT	150 mm	330 mm	Schmidt - Cassegrain	6,5 kg
Meade	LX 200	254 mm	560 mm	Schmidt - Cassegrain	12,5 kg
Meade	RCX 400	305 mm	670 mm	Schmidt - Cassegrain	17 kg

Tab. 7.1 – vybrané typy běžně dostupných dalekohledů na trhu

7. 2. Varianty čelistí pro uchycení tubusu na montáž

Podmínkou správné funkce dalekohledu nejsou jen jeho optické parametry a možnost jeho natáčení za cíleným objektem na obloze, ale také možnost jeho správného a pevného uchycení na dané montáži. Osa tubusu dalekohledu by měla korespondovat s rovinou obou os natáčení soustavy, tzn. jak s osou pro nastavení výšky, tak s osou azimutální. Navíc je nutné rovnoměrné rozložení sil působících na tubus při jeho uchycení. Tubus dalekohledů má funkci spíše obalovou a není vhodné ho zatěžovat nerovnoměrně. Proto pro samotné uchycení tubusu bylo navrženo několik variant, jak je ukazují obr. 7.44 – 7.52.

Pro stavitelnost všech variant čelistí v závislosti na průměru tubusu dalekohledu bylo navrženo stejné řešení. Nastavování je prováděno pomocí otáčení závitových tyčí s protilehlými závity, čímž dochází k svírání, resp. rozevírání rybinového uchycení daných čelistí. Každá závitová tyč se otáčí ve dvou valivých jednořadých kuličkových ložiskách, typ LOŽISKA 6001 2RS. Ložiska jsou uložena ve dvou částech svorky spojených k sobě šrouby. Svorka je nasazena na výstupním konci hřídele ALT osy. Rybinové vedení u variant 2,3 a 4, slouží k nastavování vzdáleností použitých čelistí v závislosti na délce tubusu dalekohledu. Navíc umožňuje použití více kusů čelistí např. 4, při uchycení obzvláště těžkých dalekohledů, čímž dojde k rovnoměrnějšímu rozložení sil působících na tubus.

Varianta čelistí č.1

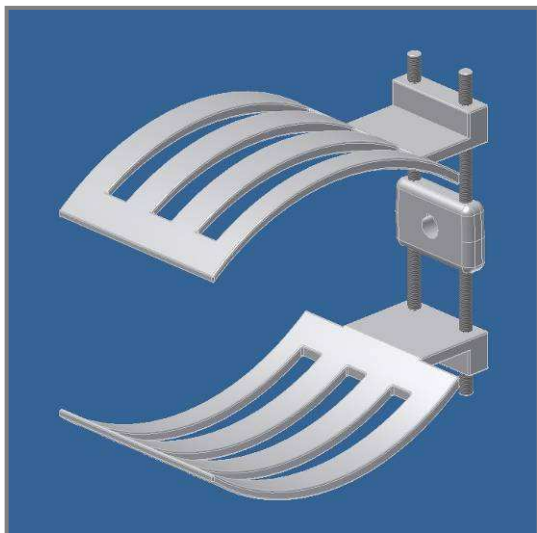
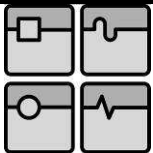
Montáž tubusu do tohoto typu čelistí je velmi jednoduchá. Postupným sevřením čelistí dojde k uchycení tubusu dalekohledu. Bohužel síly při uchycení tubusu, působí pouze bodově, což se dá vyřešit sadou čelistí pro různé průměry tubusů. Výroba takovýchto čelistí je poměrně složitá.

Výhody:

- snadná a rychlá montáž
- univerzálnost při použití tubusu dalekohledů různých průměrů

Nevýhody:

- síly působí na tubus dalekohledu pouze bodově, v jedné přímce (za předpokladu, že rádius čelisti neodpovídá průměru poloměru tubusu)
- složitější výroba čelistí



Obr.7.44 a 7.45 – varianta čelistí č.1 pro uchycení tubusu dalekohledu

Varianta čelistí č.2

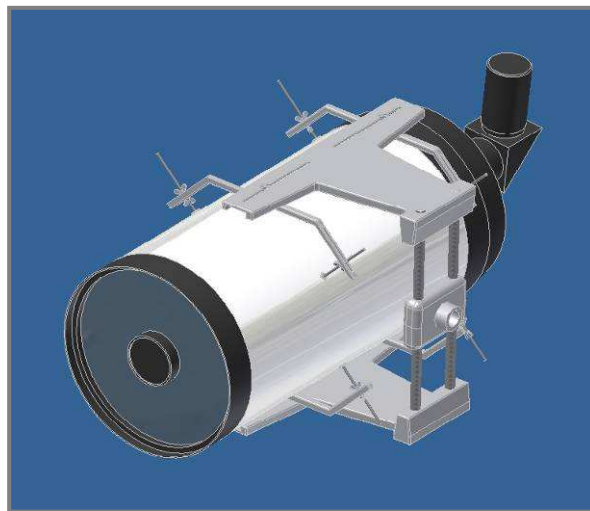
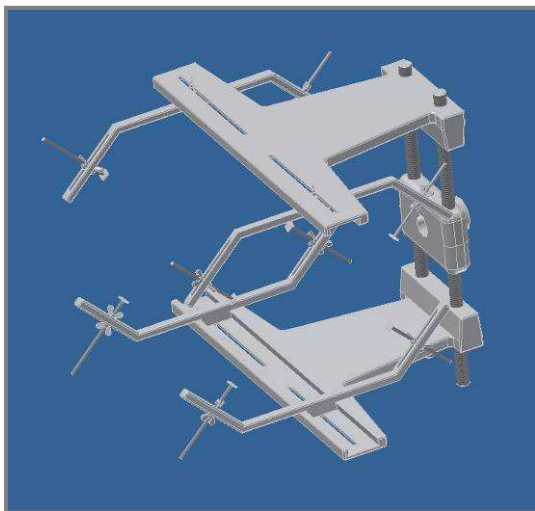
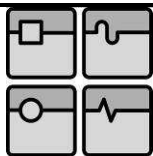
Tento typ čelistí je univerzální svou možností nastavení různých průměrů pomocí stavěcích šroubů, umístěných po dvou v každém rameni čelisti. Tento systém ovšem přináší nevýhodu zdoluhavého ustavování všech 8 stavěcích šroubů, tak aby osa dalekohledu ležela v rovinách kolmých na osy otáčení montáže. Další nevýhodou tohoto řešení je působení sil při uchycení montáže pouze v osmi bodech tubusu dalekohledu.

Výhody:

- univerzálnost čelistí při použití dalekohledů různých průměrů bez nutnosti čelisti vyměňovat

Nevýhody:

- síly působí na tubus dalekohledu pouze bodově, v osmi bodech tubusu dalekohledu
- složitější výroba čelistí
- komplikované nastavení čelistí a vystředění osy tubusu dalekohledu



Obr.7.46 a 7.47 – varianta čelistí č.2 pro uchycení tubusu dalekohledu

Varianta čelistí č.3

Pro třetí typ čelistí je použito uchycení pomocí klasických objímek a rybinového vedení se svěrným spojem, které se uchycuje přímo na výstupní konec hřídele. Její výhodou je nízká hmotnost při zachování možnosti nastavování polohy objímek tubusu.

Výhody:

- snadná montáž tubusu dalekohledu pomocí čelistí
- nízká hmotnost (nižší zatížení vidlice montáže)
- působení sil na tubus je rovnoměrnější a je rozloženo po obvodu tubusu

Nevýhody:

- při použití dalekohledu menších je nutné použití různých typů objímek a různých typů rybinového vedení



Obr.7.48 a 7.49 – varianta čelistí č.3 pro uchycení tubusu dalekohledu

Varianta čelistí č.4

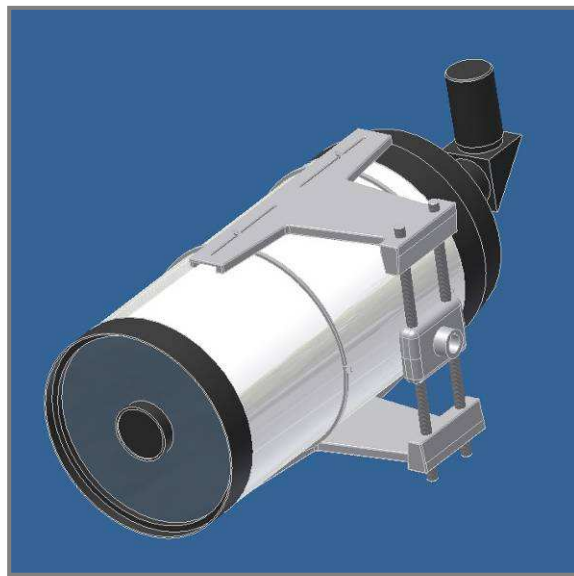
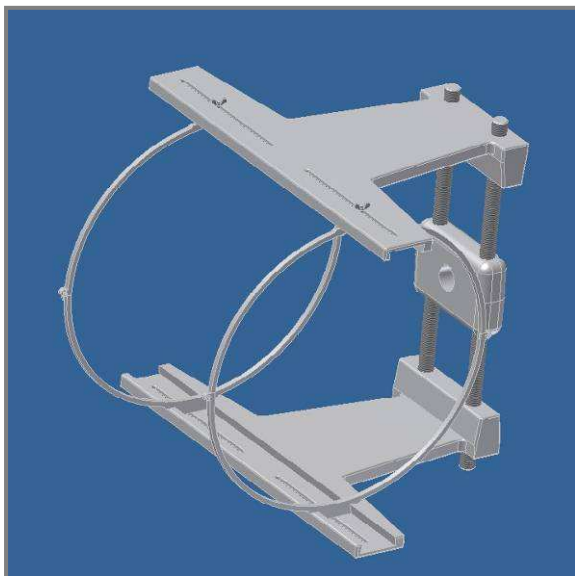
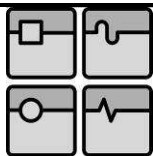
Poslední varianta čelistí využívá pro uchycení tubusu dalekohledu klasických objímek. Jejich montáž na tubus dalekohledu je jednoduchá a umožňuje jeho pevné uchycení. Navíc je možné si objímky namontovat na tubus dalekohledu dopředu a poté je při sestavování montáže jen zasunout do rybinového vedení čelistí. Jejich nevýhodou je nutnost různých objímek pro různé průměry.

Výhody:

- snadná montáž čelistí na tubus dalekohledu
- pevné uchycení tubusu dalekohledu
- rovnoměrné rozložení sil působících na tubus dalekohledu po celém obvodu

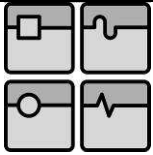
Nevýhody:

- nutnost použití různých objímek pro různé průměry tubusů



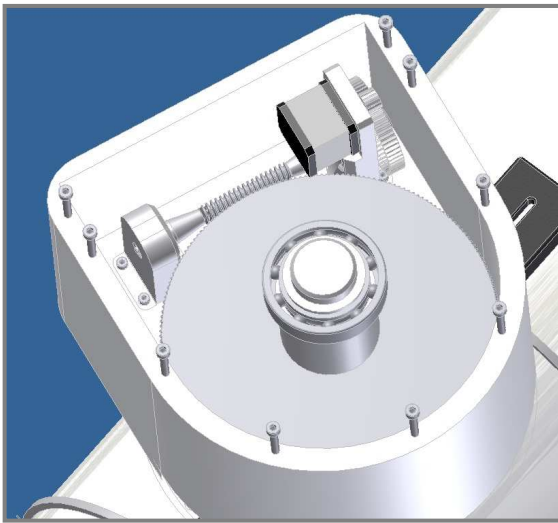
Obr.7.50 a 7.51 – varianta čelistí č.4 pro uchycení tubusu dalekohledu

Ze všech variant čelistí se nejvíce vhodná je varianta č.3, která umožňuje montáž objímek na tubus dalekohledu předem a usnadňuje tím tak samotné sestavování montáže. Navíc síly působící na tubus při jeho uchycení v objímkách jsou nejrovnoměrněji rozloženy, což snižuje samotné namáhání tubusu dalekohledu a hmotnost tohoto typu čelistí je nižší oproti předešlým, čímž se sníží namáhání samotné vidlice. Ani nutnost použití různých typů objímek pro různé průměry tubusů se v tomto případě nejeví jako zásadní nevýhoda, neboť výroba objímek je snadná a je možné jich mít větší počet. Pro centrování polohy dalekohledu v ose azimutu je potom nutné použití různých velikostí rybinového vedení.



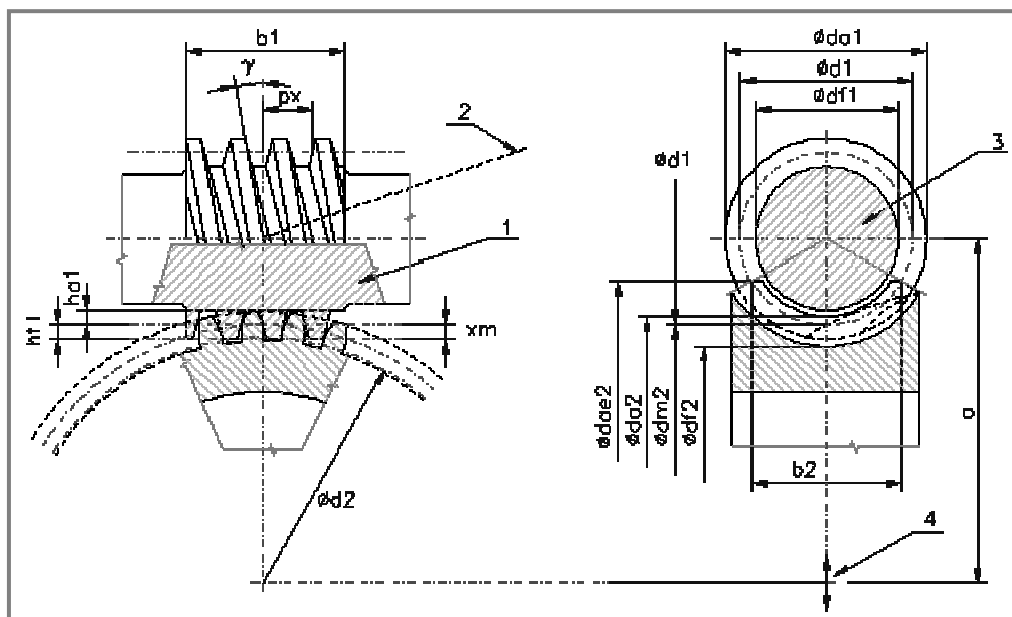
7. 3. Převodové soustrojí pro nastavení výšky

Pro jemný pohyb v ose pro nastavení výšky je navržen šnekový mechanismus s převodovým poměrem 200:1, který je poháněn elektrickým pohonem a propojen s ním přes soustavu čelních ozubení typu N s převodovým poměrem 4:1. Celkový převodový poměr je tedy roven 800:1. Pro šnekové soukolí je použito nejčastějšího řešení šnekového mechanismu, soukolí s válcovým šnekem a globoidním kolem s nákrůžkem z bronzu. Jeho výhodou jsou malé rozměry, nízká hmotnost. Vyznačuje se klidným a tichým chodem a má schopnost samosvornosti.



Obr. 7.52 a 7.53 – detail převodového soustrojí osy elevace

7. 3. 1. Parametry šnekového soukolí



Obr. 7.54 – schéma šnekového soukolí a jeho hlavních parametrů

1. převodové číslo u:

u ... voleno dle [25], str. 600

$$u = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2}; u = 200 [-]$$

Kde:

z_1 ...počet chodů šneku [-]

z_2 ...počet zubů kola [-]

n_1 ...otáčky šneku

n_2 ...otáčky ozubeného kola [-]

2. počet zubů z:

$z_1 = 1$...voleno dle [25], str. 600

$$z_2 = u \cdot z_1 = 200 \cdot 1 = 200$$

Kde:

z_1 ...počet chodů šneku [-]

z_2 ...počet zubů kola [-]

u...převodové číslo [-]

3. úhel profilu α :

Nejčastěji voleno 20° ; $\alpha = 20^\circ$

4. kontrola na korekci (posunutí) profilu zubu x:

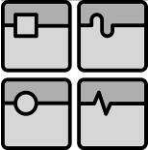
$$z_{\min} = \frac{2}{\sin^2 \alpha} = \frac{2}{\sin^2 20} = 17; z_2 > z_{\min} \gg x=0$$

Kde:

$z_{\min}$... mezní počet zubů [-]

α úhel záběru [$^\circ$], normalizovaný, zvoleno $\alpha = 20^\circ$...[27], str.58

x součinitel posunutí profilu zubu [-]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 44
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

5. modul m:

$m=1\text{mm}$, dle [26], str. 87

6. součinitel průměru šneku q:

$$q = \frac{d_1}{m}, \text{ zvoleno } q = 10 \text{ dle [26], str. 87}$$

$$d_1 = q \cdot m = 10 \cdot 1 = 10\text{mm}$$

Kde:

m ..., modul ozubení [mm]

d_1 ...průměr roztečné kružnice šneku [mm]

7. úhel stoupání šroubovice $tg\gamma$:

$$tg\gamma = \frac{z_1}{q} = \frac{m \cdot z_1}{d_1} = \frac{1 \cdot 1}{10} = \frac{1}{10} = 0,1$$

$$\gamma = 5^\circ 42'$$

Kde:

mmodul ozubení [mm]

z_1 ...počet chodů šneku [-]

d_1 ...průměr roztečné kružnice šneku [mm]

8. rozteč ozubení p:

$$p = p_x = \pi \cdot m = 3,1416 \cdot 1 = 3,1416$$

Kde:

mmodul ozubení [mm]

9. stoupání šroubovice p_z :

$$p_z = \pi \cdot d_1 \cdot \tan \gamma = 3,14 \cdot 10 \cdot 0,1 = 3,1416 \text{ mm}$$

Kde:

d_1 průměr roztečné kružnice šneku [mm]

$\tan \gamma$...úhel stoupání šroubovice [-]

10. průměr roztečné kružnice d :

$$d_1 = \frac{z_1 \cdot m}{\tan \gamma} = q \cdot m = 10 \cdot 1 = 10 \text{ mm}$$

$$d_2 = z_2 \cdot m = 200 \cdot 1 = 200 \text{ mm}$$

Kde:

mmodul ozubení [mm]

z_1 ...počet chodů šneku [-]

z_2počet zubů kola [-]

$\tan \gamma$...úhel stoupání šroubovice [-]

11. valivý průměr d_w :

$$d_{w1} = d_1 = 10 \text{ mm}$$

$$d_{w2} = d_2 + 2 \cdot x \cdot m = 200 + 2 \cdot 0 \cdot 1 = 200 + 0 = 200 \text{ mm}$$

Kde:

d_1 ...průměr roztečné kružnice šneku [mm]

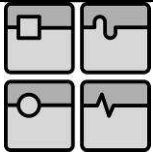
d_2 ...průměr roztečné kružnice kola [mm]

mmodul ozubení [mm]

xsoučinitel posunutí profilu zubu [-]

12. vzdálenost os převodu a_w :

$$a_w = a = 0,5 \cdot (d_1 + d_2) = 0,5 \cdot (10 + 200) = 105 \text{ mm}$$



Kde:

d_1 ...průměr roztečné kružnice šneku [mm]

d_2 ...průměr roztečné kružnice kola [mm]

13. výška hlavy zubu h_a :

$h_a^* = 1$, dle [26], str. 87

$h_{a1}^* = h_a^* \cdot m = 1 \cdot 1 = 1mm$

$h_{a2}^* = (h_a^* + x) \cdot m = (1 + 0) \cdot 1 = 1mm$

Kde:

h_a^* ..součinitel výšky hlavy zubu [-]

m....modul ozubení [mm]

x.....součinitel posunutí profilu zubu [-]

14. výška paty zubu h_f :

$c = 0.2$, voleno dle [26], str.87

$h_{f1}^* = h_f^* \cdot m = (1 + c) \cdot m = (1 + 0,2) \cdot 1 = 1,2 \cdot 1 = 1,2mm$

$h_{f2}^* = (h_f^* - x) \cdot m = [(1 + 0,2) - 0] \cdot 1 = 1,2 \cdot 1 = 1,2mm$

Kde:

h_f^* ..součinitel výšky zubu [-]

c součinitel hlavové vůle šneku [-]

m....modul ozubení [mm]

x.....součinitel posunutí profilu zubu [-]

15. průměr hlavové kružnice d_a :

$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot h_{a1} = 10 + 2 \cdot 1 = 12mm$

$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot h_{a2} = 200 + 2 \cdot 1 = 202mm$

Kde:

d_1 ...průměr roztečné kružnice šneku [mm]

d_2 ...průměr roztečné kružnice kola [mm]

h_{a1} ..výška hlavy zubu šneku [mm]

h_{a2} ..výška hlavy zubu kola [mm]

16. průměr základní kružnice d_{b2} :

$$d_{b2} = d_2 \cdot \cos \alpha = 200 \cdot \cos 20 = 187,939 \text{ mm}$$

Kde:

d_2 ...průměr roztečné kružnice kola [mm]

α úhel záběru [°]

17. průměr patní kružnice d_f :

$$d_{f1} = d_1 - 2 \cdot h_{f1} = 10 - 2 \cdot 1,2 = 7,6 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot h_{f2} = 200 - 2 \cdot 1,2 = 197,6 \text{ mm}$$

Kde:

d_1 ...průměr roztečné kružnice šneku [mm]

d_2 ...průměr roztečné kružnice kola [mm]

h_{f1} ..výška paty zubu šneku [mm]

h_{f2} ..výška paty zubu kola [mm]

18. tloušťka zubů a šířka mezer v osově rovině s_x, e_x :

$$s_{x1} = e_{x1} = 0,5 \cdot \pi \cdot m = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1 = 1,57 \text{ mm}$$

$$s_{x2} = 0,5 \cdot \pi \cdot m + 2 \cdot x \cdot m \cdot \tan \alpha = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1 + 2 \cdot 0 \cdot 1 \cdot \tan 20 = 1,57 \text{ mm}$$

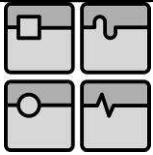
$$e_{x2} = 0,5 \cdot \pi \cdot m - 2 \cdot x \cdot m \cdot \tan \alpha = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1 - 2 \cdot 0 \cdot 1 \cdot \tan 20 = 1,57 \text{ mm}$$

Kde:

mmodul ozubení [mm]

xsoučinitel posunutí profilu zubu [-]

α ... úhel záběru [°]

**19. délka šneku (šroubovice) b_1 :**

$$b_1 \approx (11 + 0,06 \cdot z_2) \cdot m = (11 + 0,06 \cdot 200) \cdot 1 = 23 \text{ mm}$$

Kde:

m....modul ozubení [mm]

 z_2počet zubů kola [-]**20. šířka věnce kola b_2 :**

$$b_2 \approx (0,75 \cdot (1 + \frac{2}{q}) \cdot d_1) = 0,75 \cdot (1 + \frac{2}{10}) \cdot 10 = 9 \text{ mm}$$

Kde:

 d_1 ...průměr roztečné kružnice šneku [mm]

q.....součinitel průměru šneku [-]

21. největší průměr kola d_{ae2} :

*

 $v = 0,75$, dle [26], str. 87

*

$$d_{ae2} = d_{a2} + 2 \cdot v \cdot m = 202 + 2 \cdot 0,75 \cdot 1 = 203,5 \text{ mm}$$

Kde:

 d_{a2} ...průměr hlavové kružnice kola [mm]

*

 v součinitel hlavového převýšení kola

m.....modul ozubení [mm]

22. úhel skosení věnce φ :

$$\sin \varphi = \frac{b_2}{d_{a1}} = \frac{9}{12} = 0,75$$

$$\varphi = 48^\circ 35'$$

Kde:

b_2 ... šířka věnce kola [mm]

d_{a1} ... průměr hlavové kružnice šneku [mm]

23. úhel os:

$\Sigma = 90^\circ$, dle skutečnosti, smysl stoupání šroubovice: pravý

24. součinitel záběru ε_a :

$$\varepsilon_a = \frac{\sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} + \frac{2.m.(1+x)}{\sin \alpha_x} - d_2 \sin \alpha}{2.\pi.\cos 20} = \frac{\sqrt{202^2 - 187,939^2} + \frac{2.1.(1-0)}{\sin 20} - 200.\sin 20}{5,904} = 1,946$$

Kde:

α úhel záběru [$^\circ$]

d_{a2} ... průměr hlavové kružnice kola [mm]

d_{b2} ... průměr základní kružnice [mm]

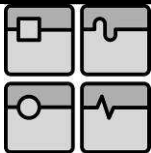
25. podmínka samosvornosti $\gamma < \varphi'$:

$\tan \varphi' = 0,06 - 0,1$, dle [28], str. 165

$\varphi' = 5^\circ 08'$

$\gamma = 5^\circ 42'$

pro mezní $\tan \varphi'(0,1) = 5^\circ 42'$, čímž není splněna podmínka samosvornosti, pro všechny ostatní hodnoty podmínka samosvornosti splněna » šnekový převod je v mezi samosvornosti, pro zajištění samosvornosti nebudou boky zubů šneku broušeny » větší drsnost a zvýšení tření v dotyku zubu

**26. účinnost šnekového převodu η :**

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \varphi')} = \frac{\operatorname{tg} 5,7}{\operatorname{tg}(5,7 + 5,13)} = \frac{0,0998}{0,1913} = 0,52, \eta = 52\%$$

Kde:

$\operatorname{tg} \gamma$...úhel stoupání šroubovice [-]

27. součinitel tvaru zubů z_H :

$$z_H = \sqrt{\frac{4 \cdot \cos \gamma}{\sin(2 \cdot \alpha_n)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \cos 5,7}{\sin(2 \cdot 20)}} = \sqrt{\frac{3,98}{0,643}} = 2,488$$

Kde:

$\operatorname{tg} \gamma$...úhel stoupání šroubovice [-]

α úhel záběru [°]

název veličiny	značka	šnek	šnekové kolo
převodové číslo	u	50	
modul	m	1 mm	
počet zubů	z	$z_1 = 1$	$z_2 = 50$
úhel profilu	α	20°	
rozteč ozubení	p	3,1416 mm	
vzdálenost os převodu	a_w	30 mm	
úhel stoupání šroubovice	$\text{tg}\gamma$	0,1	
průměr roztečné kružnice	d	10 mm	50 mm
průměr hlavové kružnice	d_a	12 mm	52 mm
průměr patní kružnice	d_f	7,6 mm	47,6 mm
výška hlavy zubu	h_a	1 mm	1 mm
výška paty zubu	h_f	1,2 mm	1,2 mm
délka šneku/šířka věnce kola	b	14 mm	9 mm

Tab. 7.2 – hlavní geometrické hodnoty šnekového soukolí osy pro nastavení výšky

28. obvodová síla na roztečné kružnici F_{t2} :

$$F_{t2} = \frac{2 \cdot T_2}{d_2} = \frac{2 \cdot 16}{0,05} = 640 \text{ N}$$

Kde:

T_2 ... točivý moment na šnekovém kole (způsobeno nevyvážením tubusu dalekohledu, popř. špatným uchycením, či přidáním dalších přístrojů), odhadem zvoleno $M=16 \text{ N.m}$

d_2 ...průměr roztečné kružnice kola [mm]

29. síly působící na šnek

$$F_{a1} = -F_{t2} = -640N$$

$$F_{n1} = \frac{F_{a1}}{\cos \alpha \cdot \cos \gamma - f \cdot \sin \gamma} = \frac{640}{\cos 20^\circ \cos 5,7^\circ - 0,1 \sin 5,7^\circ} = \frac{640}{0,935 - 0,099} = 765,5N$$

$$F_{r1} = F_{n1} \cdot \sin \alpha = 765,5 \cdot \sin 20^\circ = 261,8N$$

$$F_{t1} = F_{n1} \cdot (\cos \alpha \cdot \sin \gamma + f \cdot \cos \gamma) = 765,5 \cdot (\cos 20^\circ \sin 5,7^\circ + 0,1 \cos 5,7^\circ) = 765,5 \cdot (0,093 + 0,99) = 829N$$

$$F_{rc} = \sqrt{F_{r1}^2 + F_{t1}^2} = \sqrt{261,8^2 + 829^2} = 274,6N$$

Kde:

F_{r1} ...radiální síla působící na šnek

F_{t1} ...obvodová síla působící na šnek

F_{t2} ...obvodová síla na roztečné kružnici

α úhel záběru [°]

fkoeficient tření, pro bronz $f=0,1$

7. 3. 2. Pevnostní kontrola ložisek šneku

Ložiska zvolena kuličková jednořadá 2ks typ LOŽISKA 6200 dle [29]

$$F_a = \frac{F_{a1}}{2} = \frac{640}{2} = 320N$$

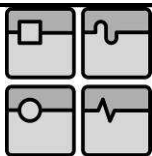
$$F_r = \frac{F_{rc}}{2} = \frac{274,6}{2} = 137,3N$$

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{0,32}{2,36} = 0,136, \text{ z tabulky dle [29] } e=0,19; X=0,56, Y=2,30 \text{ pro normální vůle}$$

$$\frac{F_a}{V \cdot F_r} = \frac{320}{1 \cdot 137,3} = 2,33 > e \Rightarrow \frac{F_e}{V \cdot F_r} = X \cdot Y \cdot \frac{F_a}{F_r}$$

$$F_e = X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0,56 \cdot 1 \cdot 137,3 + 2,3 \cdot 320 = 76,888 + 736 = 812,888N$$

$$C_{vyp} = a_f \cdot F_e \cdot \left(\frac{60 \cdot L_h \cdot n}{10^6} \right)^{\frac{1}{A_k}} = 1,3 \cdot 812,9 \cdot \left(\frac{60 \cdot 10000 \cdot 0,1}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 1,3 \cdot 812,9 \cdot 0,39 = 412,1N$$



» $4,1\text{kN} < 5,4\text{kN}$ » $C_{\text{vyp}} < C$

2x LOŽISKO 6200 vyhovuje

Kde:

F_a ...axiální síla působící na ložisko [N]

F_r ...radiální síla působící na ložisko [N]

Vsoučinitel ložiska rotujícího kroužku [-] , $V=1$ pro rotující vnitřní kroužek

C_{vyp} ..základní vypočítaná dynamická únosnost ložiska [kN]

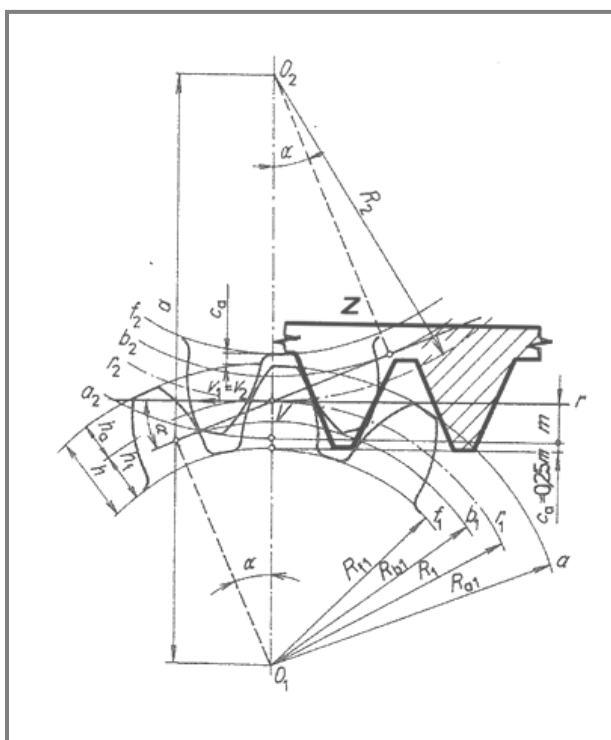
C tabulková střední hodnota dynamické únosnosti ložiska [kN]

C_0 ...základní statická únosnost ložiska [kN]

L_h ...trvanlivost ložiska [hod]

a_fprovozní součinitel

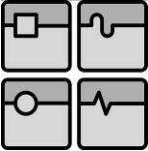
7. 3. 3. Parametry čelního ozubeného soukolí



Obr. 7.55 – schéma čelního ozubení a jeho hlavních parametrů

1.převodové číslo u:

$$u = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1} \quad \text{voleno dle [30] } u=4$$

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 54
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

$z_1=15$, $z_1 > z_m$, $z_m = 14$; nedochází k podřezání paty zubu, není nutná korekce posunutí profilu zubu; $x=0$

$z_2=60$

Kde:

z_m ...mezí počet zubů [-] pro $\alpha=20^\circ$

xsoučinitel posunutí profilu [-]

2.parametry základního profilu:

*
 $c=0,25$

*
 $h_a = 1$

* * *
 $h_f = h_a + c = 1,25$

Kde:

*
 h_a ..součinitel výšky hlavy zubu [-]

*
 h_f ..součinitel paty zubu [-]

*
 c součinitel hlavové vůle [-]

3.modul m:

$m=0,8$ mm, zvoleno dle [31]

4. rozteč ozubení p:

$p = \pi \cdot m = \pi \cdot 0,8 = 2,512 \text{ mm}$

Kde:

m ...modul ozubení [mm]

5. průměr roztečné kružnice:

$$d_1 = z_1 \cdot m = 15 \cdot 0,8 = 12 \text{ mm}$$

$$d_2 = z_2 \cdot m = 60 \cdot 0,8 = 48 \text{ mm}$$

Kde:

z_1 ... počet zubů kola 1 [-]

z_2 ... počet zubů kola 2 [-]

m ... modul ozubení [mm]

6. valivý průměr d_w :

$$d_{w1} = d_1 \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} = d_1 = 12 \text{ mm}$$

$$d_{w2} = d_2 \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} = d_2 = 48 \text{ mm}$$

7. vzdálenost os převodu a_w :

$$a_w = a = 0,5 \cdot (d_{w2} \pm d_{w1}) = 0,5 \cdot (d_1 + d_2) = 0,5 \cdot (12 + 48) = 30 \text{ mm}$$

Kde:

d_1 ... průměr roztečné kružnice kola 1 [mm]

d_2 ... průměr roztečné kružnice kola 2 [mm]

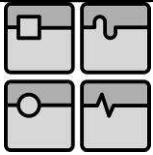
8. výška hlavy zubu h_a :

$$h_{a1} = h_a^* \cdot m = 1 \cdot 0,8 = 0,8 \text{ mm}$$

$$h_{a2} = (h_a^* + x) \cdot m = (1 + 0) \cdot 0,8 = 0,8 \text{ mm}$$

Kde:

h_a^* ... součinitel výšky hlavy zubu [-]



m....modul ozubení [mm]

x.....součinitel posunutí profilu [-]

9. výška paty zubu h_f :

$$h_{f1} = (h_a^* + c^*) \cdot m = (1 + 0,25) \cdot 0,8 = 1mm$$

$$h_{f2} = (h_a^* + c^*) \cdot m - x \cdot m = [(1 + 0,25) \cdot 0,8] - (0 \cdot 0,8) = 1mm$$

Kde:

h_a^* ..součinitel výšky hlavy zubu [-]

c^* součinitel hlavové vůle [-]

m....modul ozubení [mm]

10. průměr základní kružnice d_b :

$$d_{b1} = d_1 \cdot \cos \alpha = 12 \cdot \cos 20 = 4,8mm$$

$$d_{b2} = d_2 \cdot \cos \alpha = 48 \cdot \cos 20 = 19,59mm$$

Kde:

d_1 ...průměr roztečné kružnice kola 1 [mm]

d_2 ..průměr roztečné kružnice kola 2 [mm]

αúhel záběru [°]

11. průměr hlavové kružnice d_a :

$$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot h_a^* \cdot m = 12 + 2 \cdot 1 \cdot 0,8 = 13,6mm$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot h_a^* \cdot m = 48 + 2 \cdot 1 \cdot 0,8 = 49,6mm$$

Kde:

d_1 ...průměr roztečné kružnice kola 1 [mm]

d_2 ..průměr roztečné kružnice kola 2 [mm]

h_a^* ..součinitel výšky hlavy zubu [-]

m....modul ozubení [mm]

12. průměr patní kružnice d_f :

$$d_{f1} = d_1 - 2 \cdot (h_a^* + c^*) \cdot m = 12 - 2 \cdot (1 + 0,25) \cdot 0,8 = 10 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot (h_a^* + c^*) \cdot m = 48 - 2 \cdot (1 + 0,25) \cdot 0,8 = 46 \text{ mm}$$

Kde:

d_1 ...průměr roztečné kružnice kola 1 [mm]

d_2 ..průměr roztečné kružnice kola 2 [mm]

h_a^* ..součinitel výšky hlavy zubu [-]

c^* součinitel hlavové vřle [-]

mmodul ozubení [mm]

13 tloušťka zubů a šířka mezer roztečné kružnice :

$$s_1 = e_1 = 0,5 \cdot \pi \cdot m = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,8 = 1,256 \text{ mm}$$

$$s_2 = e_2 = 0,5 \cdot \pi \cdot m = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,8 = 1,256 \text{ mm}$$

Kde:

mmodul ozubení [mm]

14 šířka zubů b :

$\Psi_m = 12$, volí se nejčastěji 10 až 15 dle [30]

$$b_1 = \Psi_m \cdot m = 12 \cdot 0,8 = 9,6 \text{ mm}$$

$$b_2 = \Psi_m \cdot m = 12 \cdot 0,8 = 9,6 \text{ mm}$$

Kde:

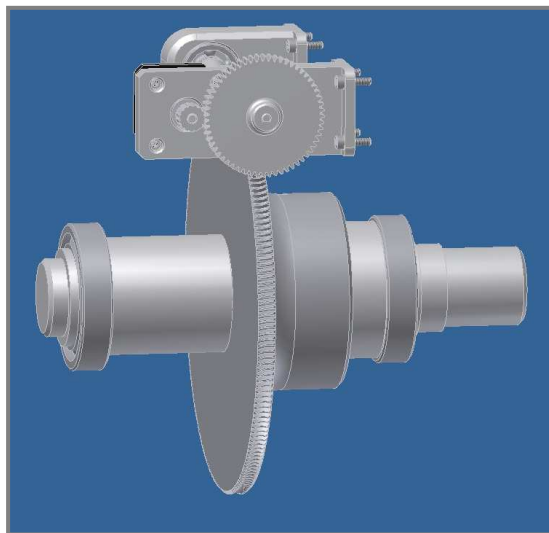
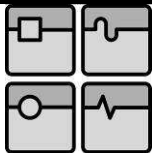
mmodul ozubení [mm]

název veličiny	značka	ozubené kolo 1 (pastorek)	ozubené kolo 2
převodové číslo	u	4	
modul	m	0,8 mm	
počet zubů	z	$z_1 = 15$	$z_2 = 60$
úhel profilu	α	20°	
rozteč ozubení	p	2,51 mm	
vzdálenost os převodu	a_w	30 mm	
průměr roztečné kružnice	d	12 mm	48 mm
průměr hlavové kružnice	d_a	13,6 mm	49,6 mm
průměr patní kružnice	d_f	10 mm	46 mm
výška hlavy zubu	h_a	0,8 mm	0,8 mm
výška paty zubu	h_f	1 mm	1 mm
Šířka zubu	b	9,6 mm	9,6 mm

Tab. 7.3 – hlavní geometrické hodnoty čelního ozubeného soukolí

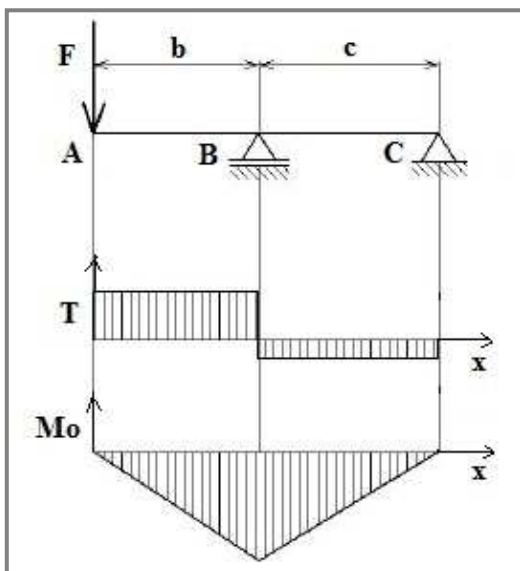
7. 3. 4. Návrh hřídele a ložisek osy elevace

Pro návrh hřídele osy elevace je brán v potaz požadavek na velmi dobrou tuhost celé soustavy. Proto je průměr hřídele pro zvýšení tuhosti volen vyšší [32]. Osa elevace je opatřena dvěma jednořadými kuličkovými radiálními ložisky typu 6009 v axiálním směru je vůle vymezena přitlačným vlnovcem.



Obr. 7.56 –detail osy
Elevace

Silové poměry



Obr. 7.57- průběh posouvající síly
a ohybového momentu

Osa elevace je zatěžována na svém výstupním konci silou, kterou na ni působí tubus dalekohledu spolu s vidlicí, tak jak ukazuje schéma, viz. obr. 7.57.

Zadáno:

$$F = m \cdot a = 22,5 \cdot 10 = 225 \text{ N}$$

(tubus dalekohledu , příslušenství a vidlice)

$$b = 42,5 \text{ mm}$$

$$c = 153 \text{ mm}$$

bezpečnost $k=2$

materiál zvolen dle ČSN 11423:

$$R_m = 420 \text{ MPa}$$

$$R_e = 226 \text{ MPa}$$

$$HB = \text{max. } 185$$

$$\sigma_{DO'} = 65 \text{ MPa [25]}$$

$$M_{o_{\max}} = M_b = F \cdot b = 225 \cdot 0,078 = 17,53 \text{ N.m}$$

$$\sigma_{DO} = \frac{\sigma_{DO'}}{K} = \frac{65}{2} = 32,5 \text{ MPa}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32}{\pi} \cdot \frac{M_o}{\sigma_{DO}}} = \sqrt[3]{\frac{32}{3,14} \cdot \frac{17530}{32,5}} = 17,6 \text{ mm} \gg \text{volím průměr hřídele s ohledem na požadovanou}$$

tuhost soustavy 40mm [32]

kde:

F.....velikost působící síly na hřídel [N]
m.....hmotnost dalekohledu a vidlice [kg]
a.....zrychlení tělesa ($a=g$) [m.s^{-1}]
k.....koeficient bezpečnosti [-]
b.....vzdálenost působíště síly od ložiska B [mm]
c.....vzdálenost mezi ložisky B,C [mm]
Rm....mez pevnosti materiálu [MPa]
Re....mez kluzu materiálu [MPa]
HB....tvrdost materiálu dle Brinella [HB]
Mo....ohybový moment [N.mm]
 σ_{DO} ..dovolené napětí v ohybu [MPa]
d.....minimální průměr hřídele [mm]

7. 4. Převodové soustrojí pro azimutální osu

Pro jemný pohyb v ose azimutu je navržen šnekový mechanismus s převodovým poměrem 230:1, který je poháněn elektrickým pohonem. Propojen s ním je přes soustavu čelních ozubení typu N s převodovým poměrem 4:1 stejných jako pro osu elevace. Celkový převodový poměr je tedy roven 920:1. Pro šnekové soukolí je použito opět soukolí s válcovým šnekem a globoidním kolem.



Obr. 7.58 a 7.59 – detail převodového soustrojí osy azimutu

7. 4. 1. Parametry šnekového soukolí

1. převodové číslo u:

u ... voleno dle [25], str. 600

$$u = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2}; u = 230 [-]$$

Kde:

z_1 ...počet chodů šneku [-]

z_2 ...počet zubů kola [-]

n_1 ...otáčky šneku

n_2 ...otáčky ozubeného kola [-]

2. počet zubů z:

$z_1 = 1$...voleno dle [25], str. 600

$$z_2 = u \cdot z_1 = 230 \cdot 1 = 230$$

Kde:

z_1 ...počet chodů šneku [-]

z_2 ...počet zubů kola [-]

u...převodové číslo [-]

3. úhel profilu α :

Nejčastěji voleno 20° ; $\alpha = 20^\circ$

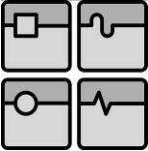
4. kontrola na korekci (posunutí) profilu zubu x:

$$z_{\min} = \frac{2}{\sin^2 \alpha} = \frac{2}{\sin^2 20} = 17; z_2 > z_{\min} \gg x=0$$

Kde:

$z_{\min}$... mezní počet zubů [-]

α úhel záběru $[\circ]$, normalizovaný, zvoleno $\alpha = 20^\circ$...[27], str.58

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 62
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

x součinitel posunutí profilu zubu [-]

5. modul m:

m=1mm, dle [26], str. 87

6. součinitel průměru šneku q:

$$q = \frac{d_1}{m}, \text{ zvoleno } q = 10 \text{ dle [26], str. 87}$$

$$d_1 = q \cdot m = 10 \cdot 1 = 10 \text{ mm}$$

Kde:

m..., modul ozubení [mm]

d_1 ...průměr roztečné kružnice šneku [mm]

7. úhel stoupání šroubovice $tg\gamma$:

$$tg\gamma = \frac{z_1}{q} = \frac{m \cdot z_1}{d_1} = \frac{1 \cdot 1}{10} = \frac{1}{10} = 0,1$$

$$\gamma = 5^\circ 42'$$

Kde:

m....modul ozubení [mm]

z_1 ...počet chodů šneku [-]

d_1 ...průměr roztečné kružnice šneku [mm]

8. rozteč ozubení p:

$$p = p_x = \pi \cdot m = 3,1416 \cdot 1 = 3,1416$$

Kde:

m....modul ozubení [mm]

9. stoupání šroubovice p_z :

$$p_z = \pi \cdot d_1 \cdot \tan \gamma = 3,14 \cdot 10 \cdot 0,1 = 3,1416 \text{ mm}$$

Kde:

d_1 průměr roztečné kružnice šneku [mm]

$\tan \gamma$...úhel stoupání šroubovice [-]

10. průměr roztečné kružnice d :

$$d_1 = \frac{z_1 \cdot m}{\tan \gamma} = q \cdot m = 10 \cdot 1 = 10 \text{ mm}$$

$$d_2 = z_2 \cdot m = 230 \cdot 1 = 230 \text{ mm}$$

Kde:

mmodul ozubení [mm]

z_1 ...počet chodů šneku [-]

z_2počet zubů kola [-]

$\tan \gamma$...úhel stoupání šroubovice [-]

11. valivý průměr d_w :

$$d_{w1} = d_1 = 20 \text{ mm}$$

$$d_{w2} = d_2 + 2 \cdot x \cdot m = 230 + 2 \cdot 0 \cdot 1 = 230 + 0 = 230 \text{ mm}$$

Kde:

d_1 ...průměr roztečné kružnice šneku [mm]

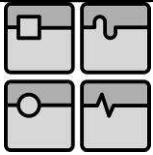
d_2 ...průměr roztečné kružnice kola [mm]

mmodul ozubení [mm]

xsoučinitel posunutí profilu zubu [-]

12. vzdálenost os převodu a_w :

$$a_w = a = 0,5 \cdot (d_1 + d_2) = 0,5 \cdot (10 + 230) = 120 \text{ mm}$$



Kde:

d_1 ...průměr roztečné kružnice šneku [mm]

d_2 ...průměr roztečné kružnice kola [mm]

13. výška hlavy zubu h_a :

$h_a^* = 1$, dle [26], str. 87

$h_{a1}^* = h_a^* \cdot m = 1 \cdot 1 = 1mm$

$h_{a2}^* = (h_a^* + x) \cdot m = (1 + 0) \cdot 1 = 1mm$

Kde:

h_a^* ..součinitel výšky hlavy zubu [-]

m....modul ozubení [mm]

x.....součinitel posunutí profilu zubu [-]

14. výška paty zubu h_f :

$c = 0.2$, voleno dle [26], str.87

$h_{f1}^* = h_f^* \cdot m = (1 + c) \cdot m = (1 + 0,2) \cdot 1 = 1,2 \cdot 1 = 1,2mm$

$h_{f2}^* = (h_f^* - x) \cdot m = [(1 + 0,2) - 0] \cdot 1 = 1,2 \cdot 1 = 1,2mm$

Kde:

h_f^* ..součinitel výšky zubu [-]

c součinitel hlavové vůle šneku [-]

m....modul ozubení [mm]

x.....součinitel posunutí profilu zubu [-]

15. průměr hlavové kružnice d_a :

$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot h_{a1} = 10 + 2 \cdot 1 = 12mm$

$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot h_{a2} = 230 + 2 \cdot 1 = 232mm$

Kde:

d_1 ...průměr roztečné kružnice šneku [mm]

d_2 ...průměr roztečné kružnice kola [mm]

h_{a1} ..výška hlavy zubu šneku [mm]

h_{a2} ..výška hlavy zubu kola [mm]

16. průměr základní kružnice d_{b2} :

$$d_{b2} = d_2 \cdot \cos \alpha = 230 \cdot \cos 20 = 216,129 \text{ mm}$$

Kde:

d_2 ...průměr roztečné kružnice kola [mm]

α úhel záběru [°]

17. průměr patní kružnice d_f :

$$d_{f1} = d_1 - 2 \cdot h_{f1} = 10 - 2 \cdot 1,2 = 7,6 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot h_{f2} = 230 - 2 \cdot 1,2 = 227,6 \text{ mm}$$

Kde:

d_1 ...průměr roztečné kružnice šneku [mm]

d_2 ...průměr roztečné kružnice kola [mm]

h_{f1} ..výška paty zubu šneku [mm]

h_{f2} ..výška paty zubu kola [mm]

18. tloušťka zubů a šířka mezer v osově rovině s_x, e_x :

$$s_{x1} = e_{x1} = 0,5 \cdot \pi \cdot m = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1 = 1,57 \text{ mm}$$

$$s_{x2} = 0,5 \cdot \pi \cdot m + 2 \cdot x \cdot m \cdot \tan \alpha = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1 + 2 \cdot 0,2 \cdot \tan 20 = 1,57 \text{ mm}$$

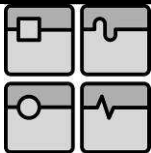
$$e_{x2} = 0,5 \cdot \pi \cdot m - 2 \cdot x \cdot m \cdot \tan \alpha = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1 - 2 \cdot 0,2 \cdot \tan 20 = 1,57 \text{ mm}$$

Kde:

mmodul ozubení [mm]

xsoučinitel posunutí profilu zubu [-]

α ... úhel záběru [°]

**19. délka šneku (šroubovice) b_1 :**

$$b_1 \approx (11 + 0,06 \cdot z_2) \cdot m = (11 + 0,06 \cdot 230) \cdot 1 = 24,8 \text{ mm}$$

Kde:

m....modul ozubení [mm]

 z_2počet zubů kola [-]**20. šířka věnce kola b_2 :**

$$b_2 \approx (0,75 \cdot (1 + \frac{2}{q}) \cdot d_1) = 0,75 \cdot (1 + \frac{2}{10}) \cdot 10 = 9 \text{ mm}$$

Kde:

 d_1 ...průměr roztečné kružnice šneku [mm]

q.....součinitel průměru šneku [-]

21. největší průměr kola d_{ae2} :*
 $v = 0,75$, dle [26], str. 87

$$d_{ae2} = d_{a2} + 2 \cdot v \cdot m = 232 + 2 \cdot 0,75 \cdot 1 = 233,5 \text{ mm}$$

Kde:

 d_{a2} ...průměr hlavové kružnice kola [mm]*
 vsoučinitel hlavového převýšení kola

m.....modul ozubení [mm]

22. úhel skosení věnce φ :

$$\sin \varphi = \frac{b_2}{d_{a1}} = \frac{9}{12} = 0,75$$

$$\varphi = 48^\circ 35'$$

Kde:

b_2 ... šířka věnce kola [mm]

d_{a1} ... průměr hlavové kružnice šneku [mm]

23. úhel os:

$\Sigma = 90^\circ$, dle skutečnosti, smysl stoupání šroubovice: pravý

24. součinitel záběru ε_a :

$$\varepsilon_a = \frac{\sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} + \frac{2.m.(1+x)}{\sin \alpha_x} - d_2 \sin \alpha}{2.\pi.\cos 20} = \frac{\sqrt{232^2 - 216,129^2} + \frac{2.1.(1+0)}{\sin 20} - 230.\sin 20}{5,904} = 1,951$$

Kde:

α úhel záběru [$^\circ$]

d_{a2} ... průměr hlavové kružnice kola [mm]

d_{b2} ... průměr základní kružnice [mm]

25. podmínka samosvornosti $\gamma < \varphi'$:

$\tan \varphi' = 0,06 - 0,1$, dle [28], str. 165 pro materiál ocel-litina

$\varphi' = 5^\circ 08'$

$\gamma = 5^\circ 42'$

pro mezní $\tan \varphi'(0,1) = 5^\circ 42'$, čímž není splněna podmínka samosvornosti, pro všechny ostatní hodnoty podmínka samosvornosti splněna » šnekový převod je v mezi samosvornosti, pro zajištění samosvornosti nebudou boky zubů šneku broušeny » větší drsnost a zvýšení tření v dotyku zubu

26. účinnost šnekového převodu η :

$$\eta = \frac{\tan \gamma}{\tan(\gamma + \varphi')} = \frac{\tan 5,7}{\tan(5,7 + 5,13)} = \frac{0,0998}{0,1913} = 0,52, \eta = 52\%$$

Kde:

$\text{tg}\gamma$...úhel stoupání šroubovice [-]

27. součinitel tvaru zubů z_H :

$$z_H = \sqrt{\frac{4 \cdot \cos \gamma}{\sin(2\alpha_n)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \cos 5,7}{\sin(2 \cdot 20)}} = \sqrt{\frac{3,98}{0,643}} = 2,488$$

Kde:

$\text{tg}\gamma$...úhel stoupání šroubovice [-]

α úhel záběru [°]

název veličiny	značka	šnek	šnekové kolo
převodové číslo	u	60	
modul	m	2 mm	
počet zubů	z	$z_1 = 1$	$z_2 = 60$
úhel profilu	α	20°	
rozteč ozubení	p	6,2832 mm	
vzdálenost os převodu	a_w	70 mm	
úhel stoupání šroubovice	$\text{tg}\gamma$	0,1	
průměr roztečné kružnice	d	20 mm	120 mm
průměr hlavové kružnice	d_a	22 mm	122 mm
průměr patní kružnice	d_f	15,2 mm	115,2 mm
výška hlavy zubu	h_a	2 mm	2 mm
výška paty zubu	h_f	2,4 mm	2,4 mm
délka šneku/šířka věnce kola	b	29,2 mm	18 mm

Tab. 7.2 – hlavní geometrické hodnoty šnekového soukolí osy azimutu

28. obvodová síla na roztečné kružnici F_{t2} :

$$F_{t2} = \frac{2 \cdot T_2}{d_2} = \frac{2,8}{0,12} = 133,3N$$

Kde:

T_2 ... točivý moment na šnekovém kole (poloha vidlice nesouměrná, pouze na jedné straně)
zvoleno odhadem $M=8 \text{ N.m}$

d_2 ...průměr roztečné kružnice kola [mm]

29. síly působící na šnek

$$F_{a1} = -F_{t2} = -133,3N$$

$$F_{n1} = \frac{F_{a1}}{\cos \alpha \cdot \cos \gamma - f \cdot \sin \gamma} = \frac{133,3}{\cos 20^\circ \cdot \cos 5,7^\circ - 0,1 \cdot \sin 5,7^\circ} = \frac{133,3}{0,935 - 0,099} = 159,45N$$

$$F_{r1} = F_{n1} \cdot \sin \alpha = 159,45 \cdot \sin 20^\circ = 54,5N$$

$$F_{t1} = F_{n1} \cdot (\cos \alpha \cdot \sin \gamma + f \cdot \cos \gamma) = 142,7 \cdot (\cos 20^\circ \sin 5,7^\circ + 0,1 \cdot \cos 5,7^\circ) =$$

$$= 159,45 \cdot (0,093 + 0,99) = 172,68N$$

$$F_{rc} = \sqrt{F_{r1}^2 + F_{t1}^2} = \sqrt{54,5^2 + 172,68^2} = 181N$$

Kde:

F_{r1} ...radiální síla působící na šnek

F_{t1} ...obvodová síla působící na šnek

F_{t2} ...obvodová síla na roztečné kružnici

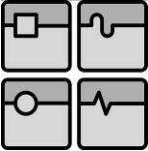
α úhel záběru [°]

fkoeficient tření, pro bronz $f=0,1$

7. 4. 2. Pevnostní kontrola ložisek šneku

Ložiska zvolena kuličková jednořadá 2ks typ LOŽISKA 6200 dle [29]

$$F_a = \frac{F_{a1}}{2} = \frac{133,3}{2} = 66,7N$$

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 70
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

$$F_r = \frac{F_{rc}}{2} = \frac{181}{2} = 90,5N$$

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{0,067}{1,96} = 0,034, \text{ z tabulky dle [29] } e=0,19; X=0,56, Y=2,30 \text{ pro normální vůle}$$

$$\frac{F_a}{V.F_r} = \frac{66,7}{1.90,5} = 0,74 > e \gg \frac{F_e}{V.F_r} = X.Y. \frac{F_a}{F_r}$$

$$F_e = X.V.F_r + Y.F_a = 0,56.1.90,5 + 2,3.66,7 = 50,68 + 153,41 = 204,09N$$

$$C_{vyp} = a_f . F_e . \left(\frac{60.L_h.n}{10^6} \right)^{\frac{1}{A_k}} = 1,3.204,09. \left(\frac{60.10000.0,1}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 1,3.204,09.0,39 = 103,47N$$

$$\gg 1,04kN < 1,56kN \gg C_{vyp} < C$$

2x LOŽISKO 6200 vyhovuje

Kde:

F_a ...axiální síla působící na ložisko [N]

F_r ...radiální síla působící na ložisko [N]

V.....součinitel ložiska rotujícího kroužku [-] , V=1 pro rotující vnitřní kroužek

C_{vyp} ..základní vypočítaná dynamická únosnost ložiska [kN]

C.... tabulková střední hodnota dynamické únosnosti ložiska [kN]

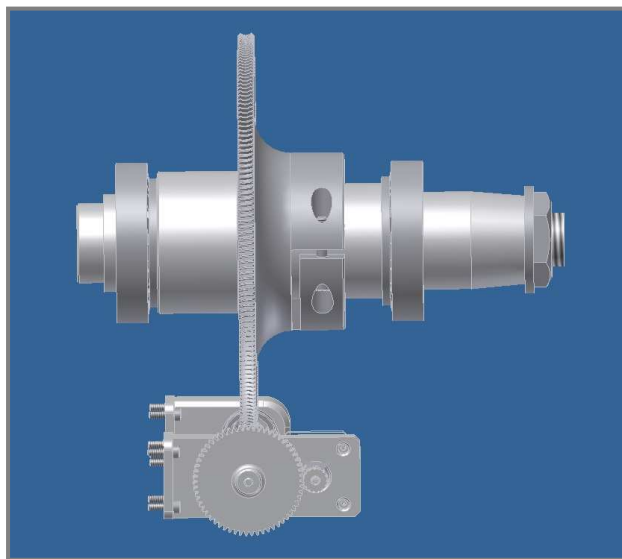
C_0 ...základní statická únosnost ložiska [kN]

Lh...trvanlivost ložiska [hod]

a_fprovozní součinitel

7. 4. 3. Návrh hřídele a ložisek osy azimutu

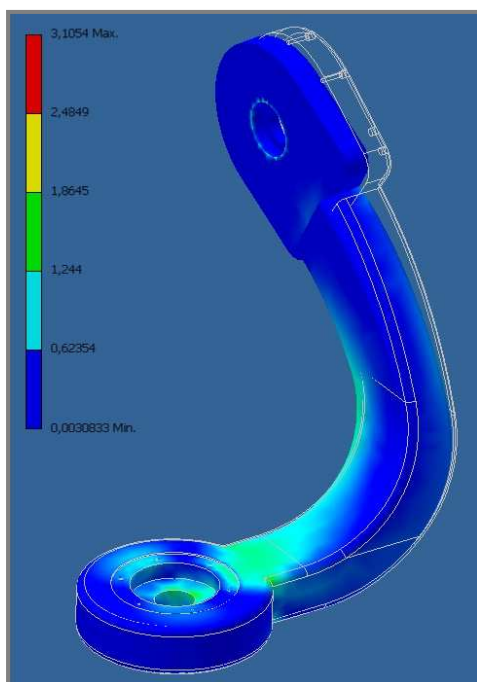
Pro návrh hřídele osy azimutu je podobně jako u osy elevace zohledněn požadavek na velmi dobrou tuhost celé soustavy. Proto je průměr hřídele pro zvýšení tuhosti volen vyšší a to 55mm [32]. Osa azimutu je opatřena dvěma kuželíkovými ložisky typu 32011 VC/P5 s malou vůlí.



Obr. 7.60 – detail osy azimutu

7. 5. Výpočet průhybu a zatížení vidlicového ramene montáže

Vzhledem k nízkému zatížení vidlice montáže, cca 30kg není nutné provádět pevnostní kontrolu vidlice. Pro zajímavost byla provedena analýza zatížení vidlice pomocí metody konečných prvků (MKP) v programu Autodesk Mechanical Desktop. Rozložení napětí jsou zobrazeny na obr. 7,61 a 7,62. Maximální hodnota průhybu byla vypočtena na 0,04 mm a je z hlediska tuhosti soustavy zanedbatelná.



Obr. 7.61 a 7.62 – rozložení napětí a průhyb vidlice montáže dalekohledu

8. VOLBA POHONU

Pro pohon obou os montáží byl zvolen krokový motor. Volba jeho parametrů byla vypočítána na základě požadavků na výstupní otáčky obou os hřídelí. Oproti servo pohonům je nutný delší časový úsek pro najetí na nový objekt na obloze. Výhodou krokového motoru je možnost přesného nastavení polohy a udržení této polohy i přes působení sil a pokud nedochází k přetěžování motorů, můžeme na základě počtu kroků vyhodnotit aktuální pozici i bez zpětné vazby. Jejich nevýhodou je naopak stálý odběr proudu i když se motor netočí. Samotný princip krokového motoru je jednoduchý. Proud procházející cívkou statoru vytvoří magnetické pole, které přitáhne opačný pól magnetu rotoru. Vhodným zapojováním cívek dosáhneme vytvoření rotujícího magnetického pole, které otáčí rotorem. Jeden krok je otočení rotoru z jedné klidové magnetické polohy do druhé. U nezatíženého motoru jsou zuby magnetů rotoru a statoru souhlasně orientovány, motor má nulový statický vazební moment, při zvětšování zátěže dochází ke zvětšování momentu. Hlavním parametrem, který ovlivňuje otáčky krokového motoru je frekvence [Hz]. Počet otáček krokového motoru pak je dán vztahem:

$$n = \frac{60 \cdot f \cdot \alpha}{360}$$

Kde:

f ...kmitočet řídicího signálu [Hz]

α úhel kroku motoru [°]

8.1. Výpočet potřebného momentu motoru

Aby byl dalekohled schopen sledovat nebeské objekty musí se pohybovat určitou minimální rychlostí. Proto pro výpočet byla použita hodnota středního siderického dne, což odpovídá střední rychlosti otáčení oblohy.

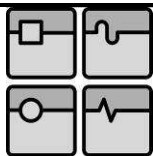
$$1 \text{ siderický den} = 86164,1 \text{ s} = 23,935 \text{ hod} \gg \text{rychlost otáčení} = 6,9633 \cdot 10^{-4} \text{ min}^{-1}$$

Osa elevace

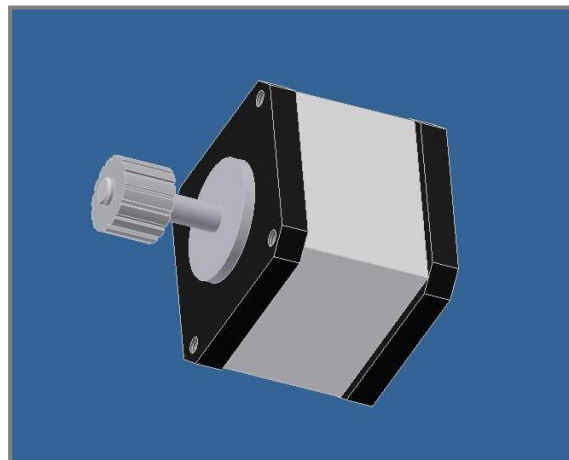
$$n_{2 \text{ MIN}} = 6,9633 \cdot 10^{-4} \text{ min}^{-1}$$

$$n_1 = u \cdot n_2 = 800 \cdot 6,9633 \cdot 10^{-4} = 0,557 \text{ min}^{-1}$$

$$P_2 = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n_2}{60} \cdot T_2 = 2,3,14 \cdot \frac{6,9633 \cdot 10^{-4}}{60} \cdot 16 = 0,00161 \text{ W}$$



$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{0,1661 \cdot 10^{-2}}{0,45} = 0,36 \cdot 10^{-2} \text{ W}$$
$$T_1 = \frac{P_1}{2\pi \cdot \frac{n_1}{60}} = \frac{0,36 \cdot 10^{-2}}{2,3,14 \cdot \frac{0,557}{60}} = 0,06 \text{ N.m}$$



Obr. 8.63 – pohon montáže dalekohledu

Osa azimutu

$$n_{2MIN} = 6,9633 \cdot 10^{-4} \text{ min}^{-1}$$
$$n_1 = u \cdot n_2 = 920 \cdot 6,9633 \cdot 10^{-4} = 0,886 \text{ min}^{-1}$$
$$P_2 = 2\pi \cdot \frac{n_2}{60} \cdot T_2 = 2,3,14 \cdot \frac{6,9633 \cdot 10^{-4}}{60} \cdot 8 = 0,081 \cdot 10^{-2} \text{ W}$$
$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{0,081 \cdot 10^{-2}}{0,45} = 0,18 \cdot 10^{-2} \text{ W}$$
$$T_1 = \frac{P_1}{2\pi \cdot \frac{n_1}{60}} = \frac{0,18 \cdot 10^{-2}}{2,3,14 \cdot \frac{0,886}{60}} = 0,02 \text{ N.m}$$

Kde:

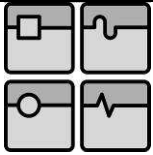
 n_2 ...otáčky na výstupním konci hřídele [min^{-1}] n_1 ... otáčky na hřídeli motoru [min^{-1}]

u.... celkový převodový poměr [-]

 T_1 ...točivý moment motoru [N.m] T_2 ...točivý moment na hřídeli dané osy [N.m] P_1 ...potřebný výkon na motoru [W] P_2 ...potřebný výkon na hřídeli [W]

Z výpočtu je patrné, že pro samotný pohyb montáže během sledování stačí krokový motor o velmi malém točivém momentu. Ovšem motor je nutné dimenzovat také pro rychloposuv montáže.

Požadované otáčky pro rychloposuv, volím rychlost přenastavení azimutální osy z krajních poloh, tzn. 180° za 30s » 0,5 ot za 30s » 1 min^{-1} (pro osu elevace jsou požadované otáčky nižší)



DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$n_{2MIN} = 1 \text{ min}^{-1}$$

$$n_1 = u \cdot n_2 = 920 \cdot 1 = 920 \text{ min}^{-1}$$

$$P_2 = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n_2}{60} \cdot T_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{1}{60} \cdot 8 = 0,837 \text{ W}$$

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{0,837}{0,45} = 1,86 \text{ W}$$

$$T_1 = \frac{P_1}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n_1}{60}} = \frac{1,86}{2 \cdot 3,14 \cdot \frac{920}{60}} = 0,02 \text{ Nm}$$

Kde:

n_2 ...otáčky na výstupním konci hřídele [min^{-1}]

n_1 ... otáčky na hřídeli motoru [min^{-1}]

u ... celkový převodový poměr [-]

T_1 ...točivý moment motoru [N.m]

T_2 ...točivý moment na hřídeli dané osy [N.m]

P_1 ...potřebný výkon na motoru [W]

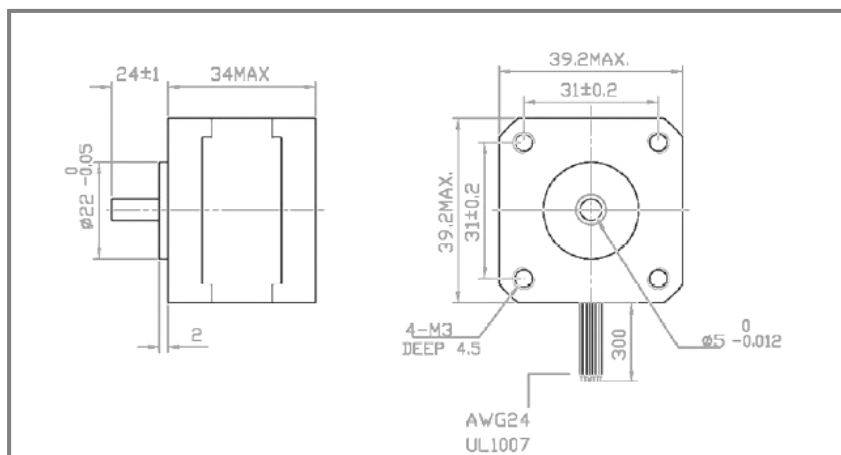
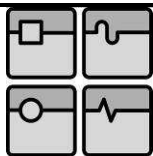
P_2 ...potřebný výkon na hřídeli [W]

Pro pohon obou os byl zvolen typ 39SH34-0306A od fy. DPM s napájecím napětím 12V [34]. S charakteristiky závislosti rychlosti a momentu tohoto motoru vyplývá, že motor má cca při $k=2$ cca 0,04Nm při 1500 otáčkách za minutu » maximální rychlost přestavení je:

$$n_2 = \frac{n_1}{u} = \frac{1500}{920} = 1,63 \text{ min}^{-1} \gg 0,5 \text{ otáčky za } 0,31 \text{ min} = 18,6 \text{ s} \gg \text{motor vyhovuje}$$

Model	39SH34-0306A
Velikost příruby (mm)	39
Průměr hřídele (mm)	5
Krok/ ot.	200
Přídržný moment (Nm)	0,29
Hmotnost(g)	250

Tab. 8.3 – hlavní parametry krokového motoru



Obr. 8.64 – schéma použitého krokového motoru

8.2. Možnosti napájení montáže

Každé elektrické zařízení potřebuje nějaký zdroj energie. A proto i krokové motory pohánějící azimutální montáž potřebují pro svůj provoz zdroj elektrické energie. A protože se nepředpokládá, že by jsme s dalekohledem pozorovali oblohu někde, kde se připojíme k zásuvce, potřebujeme zdroj přenosný, nebo v lepším případě aspoň mobilní. Pro pohon krokových motorů můžeme použít následujících zdrojů.

Akumulátorové baterie



Lze z nich seskládat sadu baterií. Jsou přenosné a není problém mít několik náhradních sad. Jejich nevýhodou je malá kapacita a nutnost propojení článku pro požadované napětí. Pro napájení krokových motorů nejsou příliš vhodné pro svou nízkou kapacitu a hodí se pouze jako nouzová záloha.

Obr. 8.65 – baterie typu AA [18]

Přenosný akumulátor (autobaterie)

Jako mnohem lepší variantou se jeví použití nějaké přenosné baterie. Popř. upravení např. autobaterie. Obnáší to použití transformátoru, pokud ho už baterie neobsahuje. Její nespornou výhodou je mnohem větší kapacita, než u akumulátorových baterií, nevýhodou potom nutnost přenášet další těžké zařízení [35].



Obr. 8.66 – upravená autobaterie [37]

Napájení s využitím mobilních zdrojů

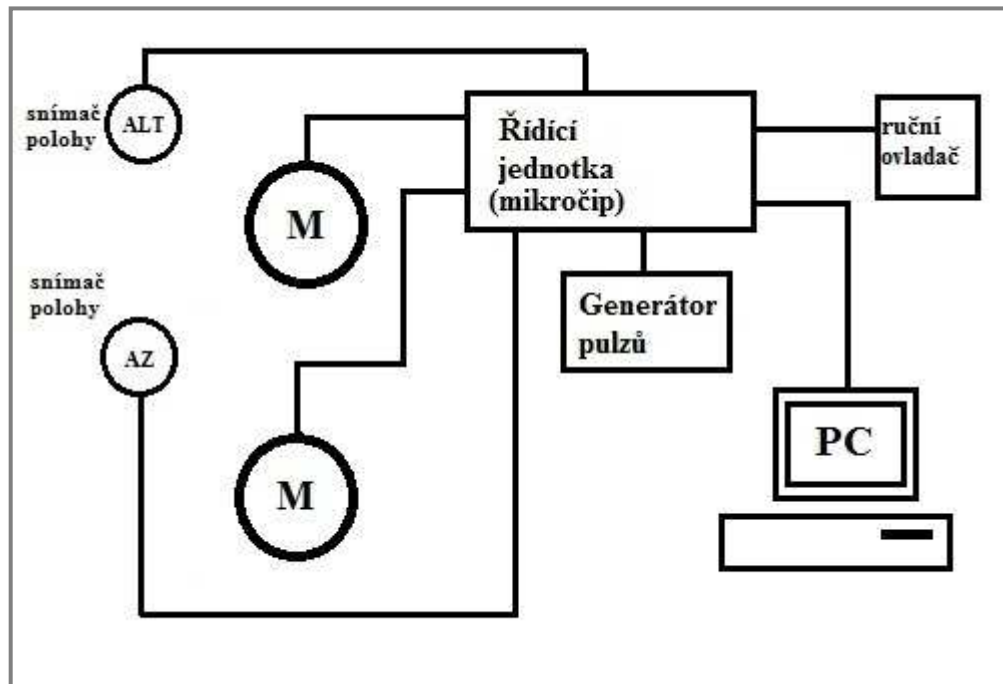
Pokud nemáme po ruce elektrickou síť či nabíječku, je možné použít např. měniče 12 » 230V a zdroje z přistaveného auta . Bohužel ne všude se s autem během pozorování dostaneme, čili tato metoda není příliš vhodná. Na druhou stranu její kapacita je neomezená až do vyčerpání autobaterie.

9. VOLBA ŘÍZENÍ POHONU

Protože je montáž dalekohledu motorizována, potřebuje ke své správné funkci řízení, které bude vyhodnocovat aktuální polohu obou os dalekohledu (popř. polohu natočení krokových motorů) a řídit jejich natočení požadovaným směrem. Azimutální montáž musí vykonávat při sledování objektu současný pohyb v obou osách a to proměnnou rychlostí. Takový pohyb vyžaduje sofistikovanější řízení, a proto se jako nejlepší v dnešní době jeví využití služeb výpočetní techniky a připojení montáže k PC, nejlépe k přenosnému laptopu či PDA. Navigaci samotnou potom může obstarávat jeden z mnoha astro – programů dostupných na trhu. Pro manuální ovládání je vhodné použít ruční ovladač, ať už ovládací kříž nebo přímo joystick.

9.1. Schéma zapojení

Pro správnou funkci krokových motorů spolu s řídícím softwarem je nutné vhodné zapojení, tak jak je ukazuje obr. 9.67. Ve schématu je alternativně zobrazena i zpětná vazba polohy, kterou mohou být např. inkrementální snímače polohy.



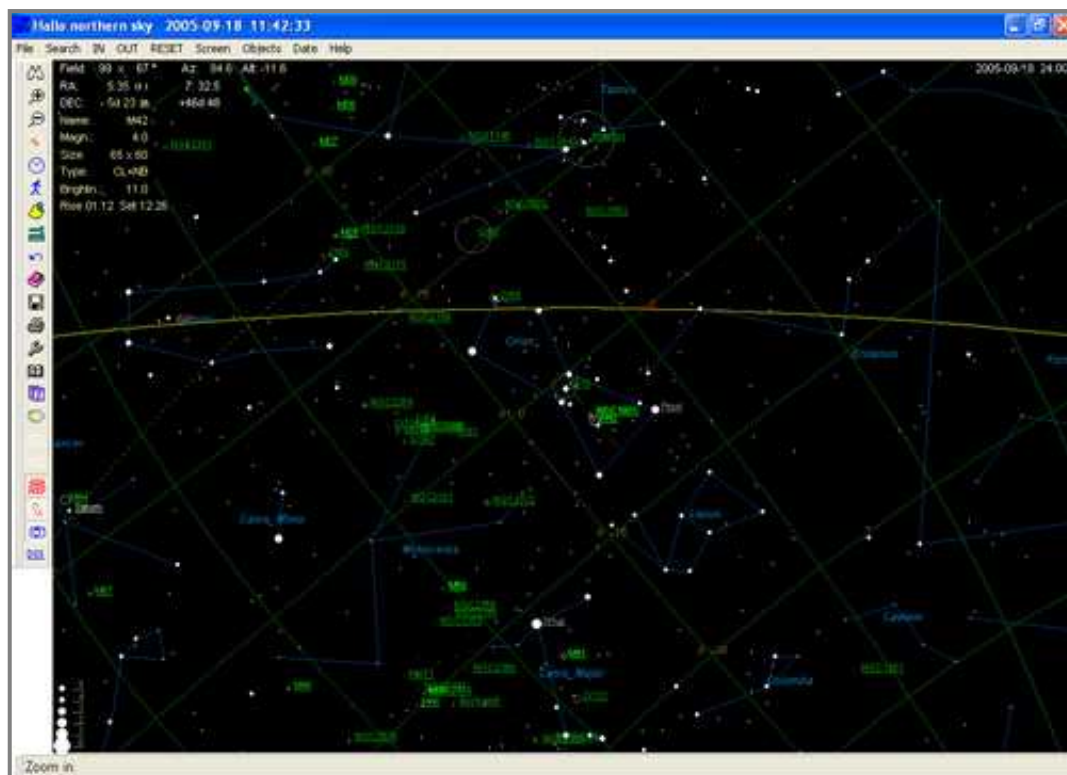
Obr. 9.67 – blokové schéma zapojení

9.2. Softwarové varianty řízení navigace montáže

Pro správnou funkci systému navigace dalekohledu je nutné použít vhodný software. Takovýto software obsahuje databázi nebeských objektů a je schopen sám na příslušnou hvězdu dalekohled natočit. Takovýto typ softwaru se nazývá GOTO software. Příklady takovýchto navigačních softwarů jsou uvedeny níže [36]:

Hallo Northern Sky Planetarium (HNSKY)

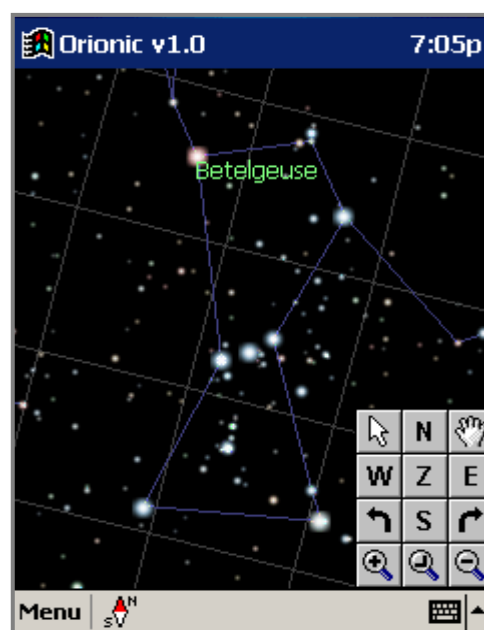
Astro-software určený pro operační systém Windows s rozsáhlou databází a 3D oblohou.



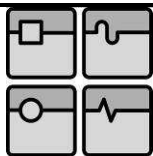
Obr. 9.68 – ukázka programu HNSKY [36]

Orionic

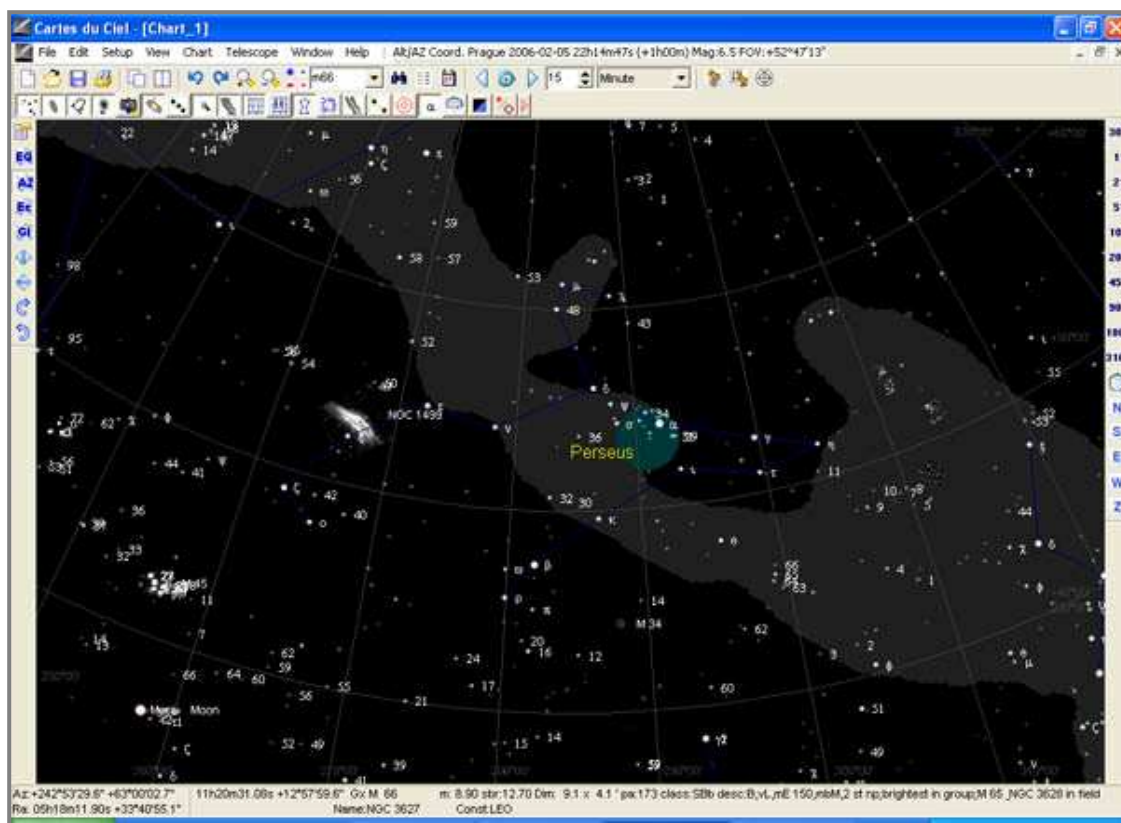
Software určený pro kapesní počítače PDA.



Obr. 9.69 - Ukázka softwaru určeného pro kapesní počítače PDA [36]

**Cartes du Ciel (Sky Chart)**

Jeden z prvních tzv. freeware programů.



Obr. 9.70 – ukázka programu Sky Chart [36]

Z dalších programů jmenujme např. TheSky6 PRO, Tachyon či PAE.

10. NÁVRH STATIVU

Stativ je možnou alternativou pro ustavení azimutální montáže. Slouží k pevnému uchycení samotné montáže a umožňuje nám ustavení dalekohledu v terénu pro pozorování. Návrh stativu dalekohledu obnáší variantu se třemi výsuvnými (stavitelnými) nohami. Pro dostatečné upevnění v měkkém terénu je stativ vybaven závrtnými kolíky a nášlapnými patkami. Pro rychlé ustavení polohy stativu je na každé jeho noze aretační šroub.



Obr. 10.71 – návrh stativu

11. Kompletace řešení

Vidlicová azimutální montáž je složena ze tří základních částí. Sestavy pro pohyb osy v azimutu, samotné vidlice a na ni nasazené sestavy pro pohyb dalekohledu v elevaci. Sestava pro pohyb osy v azimutu se na stativ upevňuje vsazením do základny stativu a dotažením 3 rychloupínacích šroubů. Vidlice se na hřídel stativu usadí přes kuželový svěrný spoj dotažením matice a na vidlici se osadí za pomoci šroubů sestava pro pohyb dalekohledu v elevaci. Samotné uchycení tubusu dalekohledu je realizováno opět za pomoci svěrného spoje přes rybinové vedení.

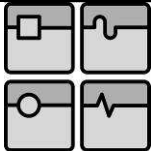


Obr. 11.72 a 11.73 – sestava montáže dalekohledu spolu se stativem a tubusem

12. Závěr

V této diplomové práci byly popsány základní druhy dalekohledů a jejich montáží, které jsou v současné době hojně používány. Cílem práce bylo navrhnout vidlicovou azimutální montáž s motorizovaným pohonem obou os, tak aby byl dalekohled schopen pomocí řízení sledovat dané nebeské objekty. Konstrukční návrh dalekohledu je modifikací již existujících řešení s jednoramennou vidlicí a je vhodný spíše pro amatérskou astronomii. Díky uchycení tubusu je možné použít velký rozsah a typ dalekohledů pro vlastní pozorování (do 20kg hmotnosti dalekohledu a průměru tubusu do 300mm). Mírnou nevýhodou je nutnost výměny rybinového vedení a objímek tubusu při změně velikosti dalekohledu. Samotná vidlice dalekohledu je odkloněna od osy azimutu tak, aby montáž nepřekážela při pozorování objektů na obloze v blízkosti zenitu. Pro zvýšení tuhosti a eliminace průhybů je rameno vidlice obrobena z hliníkové slitiny EN-AW 7075 a je masivnějších rozměrů.

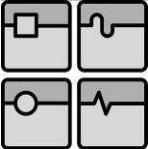
Pro správnou funkci azimutální montáže byly řešeny pohyby ve dvou hlavních osách. Pro pohyb bylo použito šnekového převodu s velkým převodovým poměrem 200:1, resp. 230:1, a pro připojení samotného šnekového převodu k pohonné jednotce využito čelních přímých ozubení s převodovým poměrem 4:1. Toto řešení zabezpečilo dostatečnou přesnost (jemnost kroku) při pointaci a natáčení os montáže. Pro pohon montáže bylo zvoleno použití krokových motorů s dostatečnou jemností kroku. Jejich mírnou nevýhodou je ovšem větší spotřeba a pomalejší přestavování (rychloupřesun) v řádu desítek sekund. Pro samotné řízení pak bylo využito některého z dostupných softwarů s astronomickou databází. Manuální možnost pohybu os byla zahrnuta vzhledem k nutnosti pohybovat ve dvou osách dalekohledu současně, pointování by tak bylo komplikované. Součástí návrhu montáže je i návrh stativu, který umožňuje pevné ustavení montáže na pozorovacím stanovišti. Stativ je výškově stavitelný, klasické konstrukce. Správná funkčnost montáže pak byla ověřena na základě pevnostních výpočtů. Z pevnostního hlediska byly zkontrolovány šneková ozubení, ložiska, hřídel pro pohyb v elevaci a vidlice montáže. Dále byly vypočteny charakteristiky jednotlivých šnekových převodů a čelního ozubení obou os. Pro tvorbu 3D modelu a výkresové dokumentace vybraných součástí bylo využito softwaru Autodesk Inventor a pro výpočet zatížení samotné vidlice potom software Autodesk Mechanical Desktop s využitím MKP.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 82
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

13. Seznam použité literatury

- [1] kolektiv autorů. Historie lidského poznání: Velké poznání vědy. 3.vyd. REBO productions CZ spol s.r.o., 2009. 400 s. ISBN 978-80-255-0206-8
- [2] <http://www.seaplanet.eu/index.php/cs/vesmir/lide/253-hans-lippershey-z-middelburgu-vynalezl-dalekohled>
- [3] <http://www.jiast.cz/clanky/galileo-galilei-1564-1642>
- [4] <http://www.ct24.cz/kalendarium/64755-vynalez-dalekohledu-je-spjat-se-jmenem-galileo-galilei/>
- [5] http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/prof/Tesar/diplomky/obr_dopl_optika/optika/dalekohledy/historie.htm
- [6] <http://fyzika.zskrestova.cz/isaac-newton/>
- [7] http://cs.wikipedia.org/wiki/Barevn%C3%A9_spektrum
- [8] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Refraktor>
- [9] <http://www.jiast.cz/clanky/teleskopie-i-jaky-dalekohled-je-vhodny-pro-astronoma-amatera>
- [10] <http://sirrah.troja.mff.cuni.cz/~mira/astronomie/Astrofyzika/astrodal/astrodal.html#zisk>
- [11] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Dalekohled>
- [12] <http://www.aldebaran.cz/astrofyzika/orientace/dalekohledy.html>
- [13] <http://web.quick.cz/frantabilek/vybaveni/montaz/montaz.html>
- [14] <http://astronomyasylum.com/index.html>
- [15] <http://www.astromaniak.pl/viewtopic.php?t=233&sid=be26631f230cb8a8486a5e526894cfa3>
- [16] <http://stelweb.asu.cas.cz/web/dalekohled/montaz.php>
- [17] http://home.earthlink.net/~indig/DesignMusings/text/Design_Mountings.html
- [18] <http://www.kalista.cz/lukas/blog/komentare.php?id=52>
- [19] <http://nebmech.astronomy.cz/frames.htm>
- [20] http://cs.wikipedia.org/wiki/Nebesk%C3%A1_sf%C3%A9ra
- [21] <http://abyss.uoregon.edu/~js/ast121/lectures/lec03.html>

- [22] <http://science.howstuffworks.com/telescope5.htm>
- [23] <http://web.quick.cz/frantabilek/astrofoto/ustaveni/ustaveni.html>
- [24] http://jatobservatory.org/images/LX200_Dec_fix/Dec_fix.html
- [25] Strojnické tabulky, 4. doplněné vyd. ALBRA – pedagogické nakladatelství, 2008. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7
- [26] KŘÍŽ, Rudolf. Strojnické tabulky II. Pohony: Hřídele, ozubené převody, řetězové a řemenové převody. 1.vyd. Ostrava: Montanex, 1997. 213 s. ISBN 80-85780-51-8
- [27] KLIMEŠ, Pavel. Části a mechanismy strojů II. Tribologie, ložiska, převody. 1. vyd. VUT, 2003. 70 s. ISBN 80-214-2422-2
- [28] BOHÁČEK, František. Části a mechanismy strojů III, Převody. 2.vyd. Brno: VUT, 1987. 267 s. ISBN 55-618-87
- [29] http://www.skf.com/portal/skf_cz/home/catalogues?contentId=258974&lang=cs
- [30] ČSN 031013
- [31] ČSN 014608
- [32] <http://www.dalekohledy-drbohlav.cz/>
- [33] <http://www.mateza.cz/pdf/017001.pdf>
- [34] <http://www.lamia.info/dpm.htm>
- [35] <http://foto.astronomy.cz/mvyb.htm>
- [36] <http://posec.astro.cz/view.php?cislocclanku=2005091801>
- [37] <http://www.astro-forum.cz/cgi-bin/yabb/YaBB.pl?num=1244616699/15>
- [38] <http://astrosvet.com/kurza.astrofoto/astrofoto-3>
- [39] <http://foto.astronomz.cz/fot.htm>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 84
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

14. Seznam příloh

- model azimutální montáže dalekohledu
- výkresová dokumentace