

**Pohon hodinové osy astronomického dalekohledu
s využitím pružného prvku**

Karolina Vosátková

Abstrakt

Pohon hodinové osy astronomického dalekohledu musí splňovat následující podmínky:

1. plynulé otáčení velmi malou rychlostí
2. vysoká tuhost
3. možnost rychlého přestavení polohy
4. možnost pointačního zásahu do základního pohonu

Pohonný systém je součástí speciálního dalekohledu (pro pozorování zatmění Slunce) s nárokem na dobrou transportovatelnost. Předložený projekt řeší podmínky zejména z hlediska tuhosti konstrukce- to se týká např. uložení šneku do ložiska typ INA NKIB 5908. Směrovou přesnost spolu s vysokou tuhostí uložení garantuje aplikace ložiska typ THK RU 178 (G). Z hlediska pohybového řetězce se jedná o sériově spojený šesti - paprskový pružný kloub s hlavním šnekovým pohonem. Pointační pohyby jsou řešeny nůžkovým mechanismem, který podle údaje inkrementálního rotačního čidla Renishaw SR 100 A kompenzuje zbytkové chyby pohonu.

Klíčová slova

Řízení dalekohledu, pointace, pružný kloub

Abstract

The drive for the polar axis of an astronomical telescope has to fulfill the following features:

1. fluent rotation at low speeds
2. high rigidity
3. possibility of a quick change of position
4. possibility of pointing interference into the main drive unit

The drive unit is a part of a construction of a telescope (for observing the eclipse of the Sun) with accent on easy transportation of the system. This project solves the desired features mainly from the point of rigidity of the construction- this concerns the worm support in bearings INA NKIB 5908. The directional precision along with the high rigidity is guaranteed by application of the THK bearing RU 178 (G). From the point of a kinetic chain we used a serial connected 6-ray-joint to the main worm drive. Pointation moves are solved by a scissor mechanism, which according to the data gained from the incremental rotation device Renishaw compensates the remnant inaccuracies of the drive.

Keywords

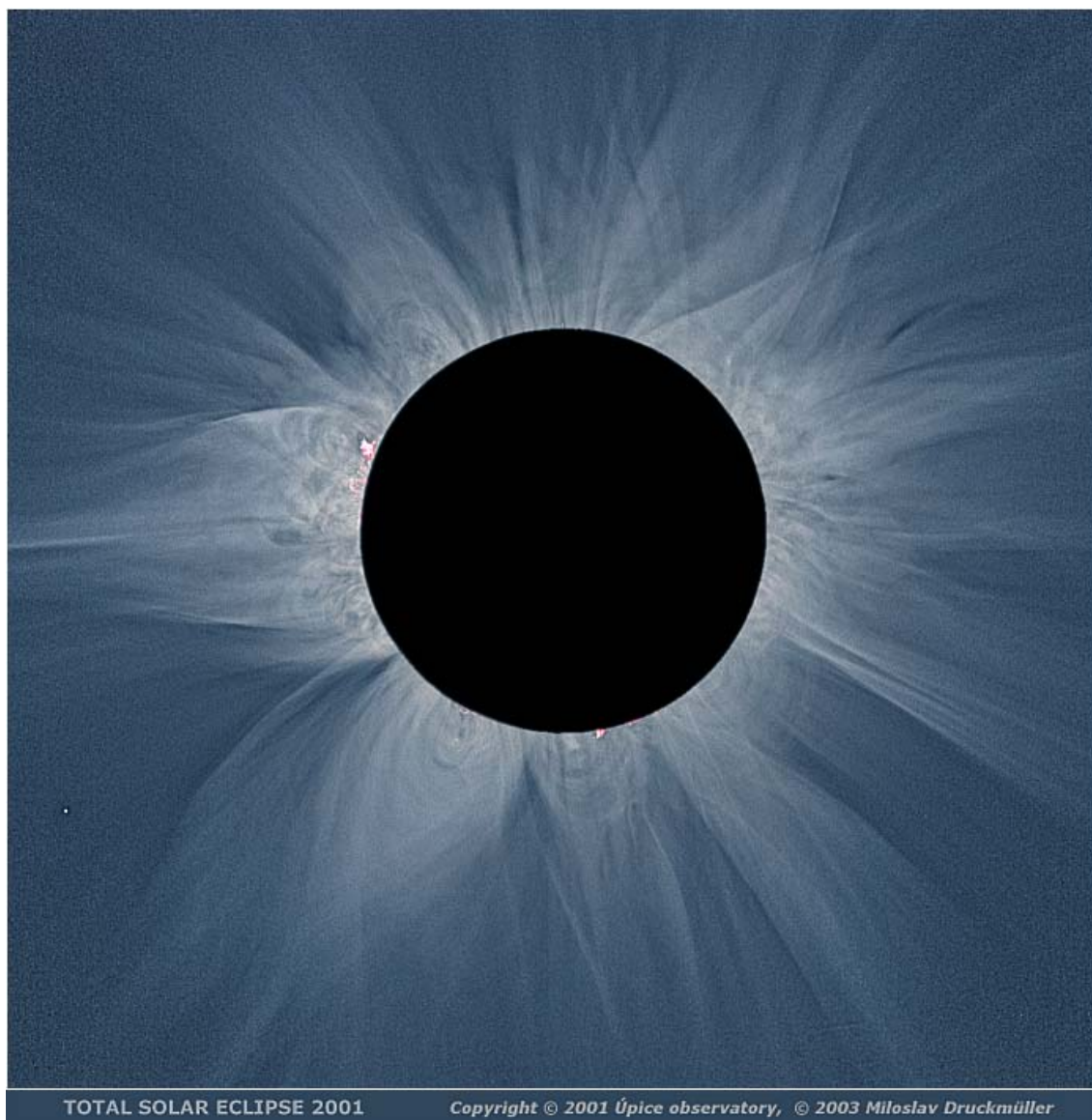
Telescope control, pointation moves, flexural hinge

1 Úvod

1.1

Profesor RNDr. Miloslav Druckmüller, Csc., působící na brněnské VUT, vyvinul novou matematickou metodu vizualizace sluneční koróny. Tato metoda je založena na porovnání několika desítek až set samostatných snímků s různými nastaveními expozic a jejich složením dohromady. Výsledkem metody je skutečný a detailní obraz sluneční koróny. Na výsledném obraze jsou vidět všechny cenné detaily strukturálních útvarů pro zkoumání – koronární paprsky, koronární díry, smyčky, oblouky, protuberance. Tyto útvary jsou odrazem topologie slunečního magnetického pole.

Úplná zatmění se odehrávají vzácně, jsou viditelná pouze z úzkého pásu zemského povrchu a trvají zpravidla v řádu sekund – maximální délka je 7 minut. Za tuto dobu je třeba pořídit co nejvíce obrazového materiálu pro následné počítačové zpracování a vyhodnocení.



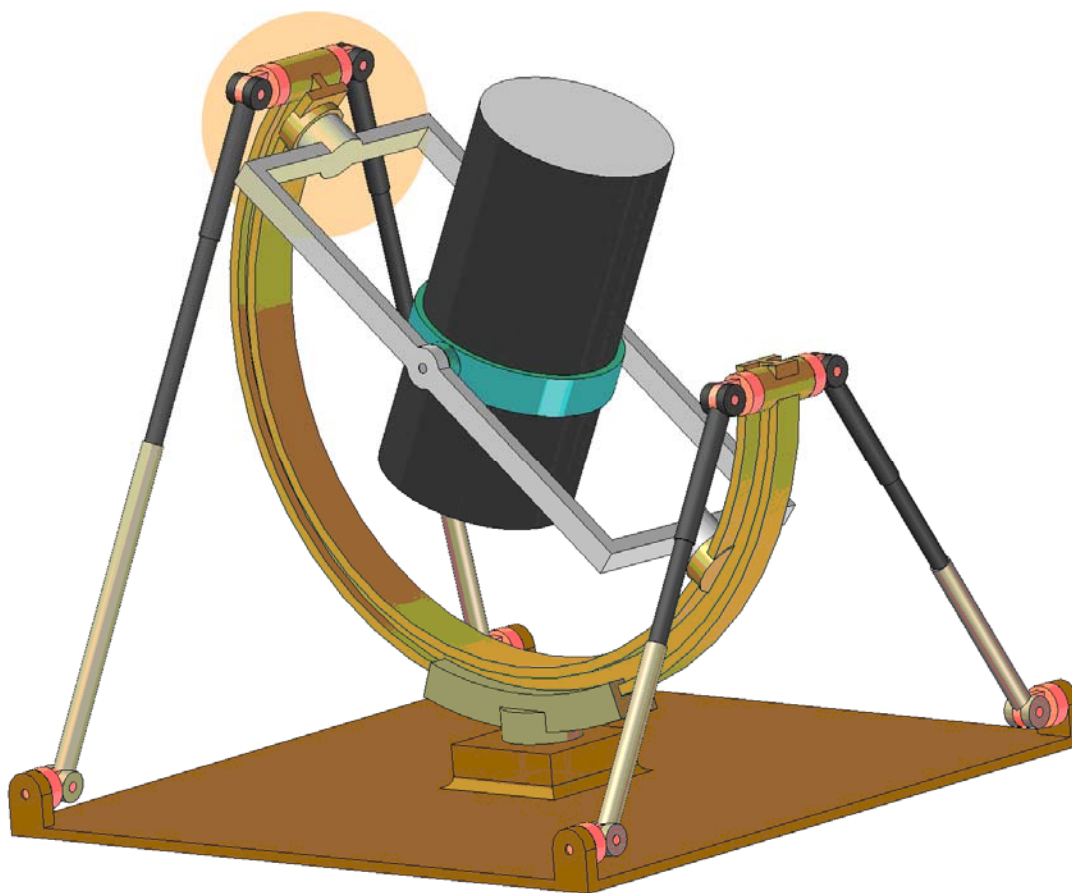
Obr. 1.1 Snímek zatmění Slunce pořízený prof. M. Druckmüllerem

1.2 Specifikace

Pro tato pozorování bylo nutno vytvořit speciální přístroj – nový přenosný dalekohled. Bude vybavený sedmi objektivy se sedmi digitálními fotoaparáty pro nasnímání značného množství snímků (až 1000) s různými expozičními dobami v jednom okamžiku. Z charakteru zadání vyplynuly požadavky na extrémní tuhost a přesnost konstrukce.

Použití přístroje musí být univerzální s ohledem na zeměpisnou šířku a vlivy prostředí, jako jsou prach, vítr, déšť, vzdušná vlhkost a vysoká nebo nízká teplota vzduchu. Hmotnost a rozměry přístroje se musí řídit následujícími požadavky. Musí být rozebratelné na několik dílů do 20kg pro snadnou manipulaci ve dvou lidech. S ohledem na dopravu musí být celková váha celé konstrukce co nejmenší. Na zřetel je třeba vzít i obecné požadavky letecké dopravy na přepravovaná zavazadla.

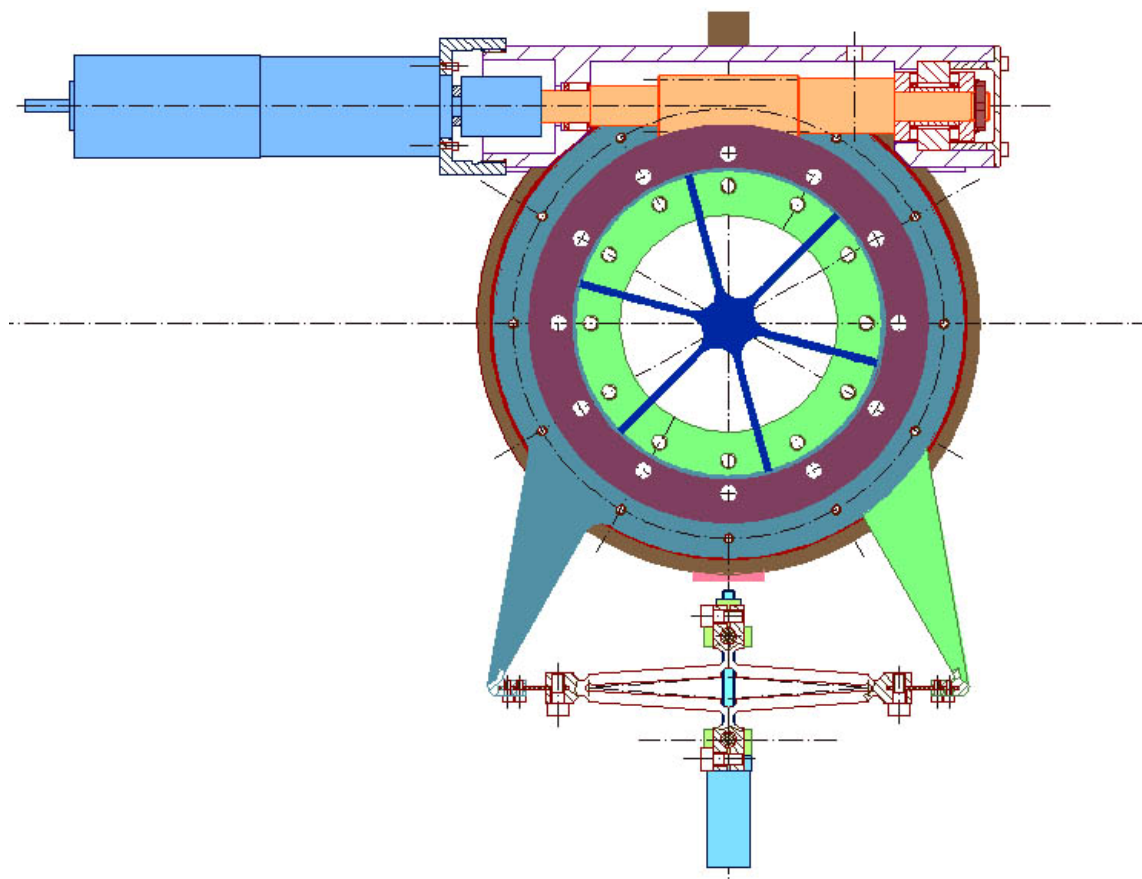
Jako nejvhodnější typ montáže byla zvolena tří-osá montáž, kde jedna osa pohybu bude sloužit pro nastavení hodinové osy vzhledem k zeměpisné poloze (sklonu zemské osy) v místě pozorování. Montáž musí umožňovat pozorování v zeměpisných šířkách blízko pólů a hlavně v rovníkových oblastech. Pozorování musí být možné i nad obzorem.



*Obr. 1.2 Nástin celé konstrukce dalekohledu,
(oranžový kruh vyznačuje oblast, je konstruovaný díl)*

Na základě těchto požadavků jsem navrhla konstrukci pohonu hodinové osy dalekohledu.

2 Konstrukce

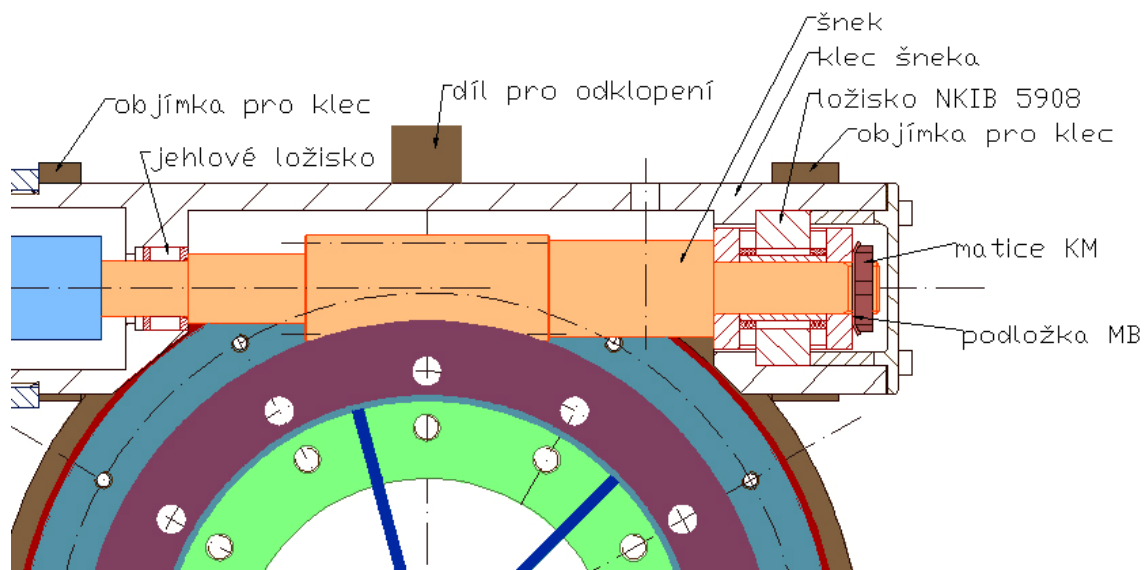


Obr. 2 - Sestava

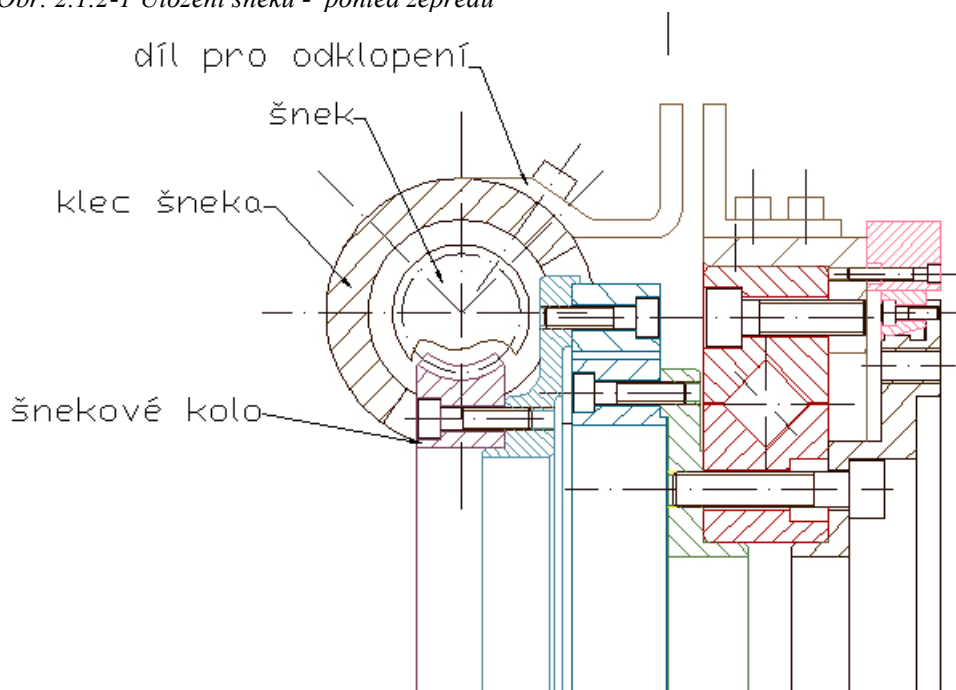
2.1 Hlavní pohon

2.1.1 Motor

Potřebná přesnost pohonu byla řešena na základě parametrů zadání. Lukáš Marek [2007] stanovil přesnost následovně: „Pro velikost pixelu snímače $6,4 \cdot 10^{-3}$ mm vyjde úhlové rozlišení snímače $0^{\circ}0'2,4''$. Tento úhel znamená rozlišení snímače polohy 1500 čar na stupeň. Dále je nutné udržet rychlost pohybu 0,00666rpm během celé expozice (10 min) pro eliminaci vlivu otáčení země.“ Tento pohyb bude realizovaný motorem s převodovkou, která bude integrovaná na šnekové soukolí s převodem 1:120. To znamená požadované otáčky motorku 0,8 rpm. Hlavní pohon celé soustavy je motor Papst BCI 5230 s integrovanou převodovkou Zeitlauf PGN 50.2 s převodem $i=119:1$. Přenos kroutícího momentu je zajišťován membránovou spojkou. Motor je s převodovkou pevně spojen do jednoho celku. Celá jednotka je připojena šroubovací přírubou a pojištěna čtyřmi šrouby M3 k dílu, ve kterém je uložen šnek.



Obr. 2.1.2-1 Uložení šneku - pohled zepředu

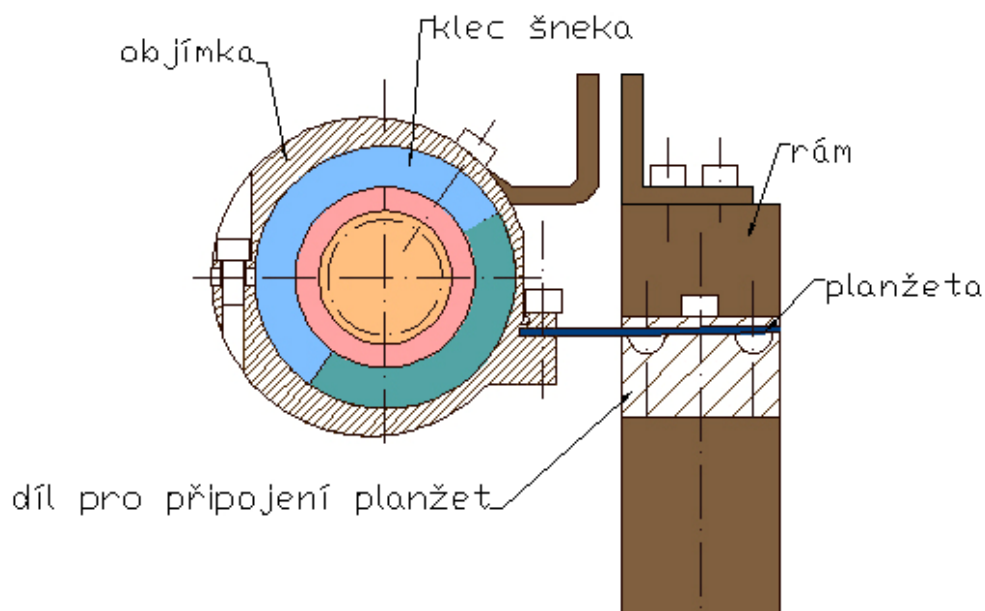


Obr. 2.1.2-2 Uložení šneku - pohled z boku, v řezu

2.1.3 Klec

Šnek je uložen ve válcové kleci, která plní funkci jak mechanickou tak ochrannou. Konstrukci je třeba alespoň minimálně chránit před prachem a vlivy podnebí.

Celá klec šneka je přes dvě planžety ve funkci pružného přitlačného mechanismu připevněna k rámu. Kolem klece je svěrným spojením upevněna objímka s přichycenými planžetami. Planžety jsou uchyceny pod úhlem, který zabezpečuje jejich předepnutí a tím správný přitlak šneku na šnekové kolo. K rámu jsou planžety připevněny pomocí tvarovaných dílů s plochami pro dosednutí. Planžety jsou opatřeny tvarovým zámekem, aby se zabránilo jejich vyklouznutí nebo posunutí. K oběma koncovým úchytům jsou připevněny šrouby.



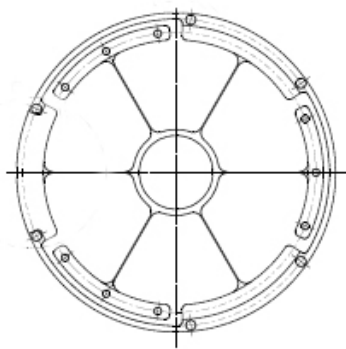
Obr. 2.1.3 Upevnění klece šneku k rámu

2.2 Kinematický řetězec pohonu

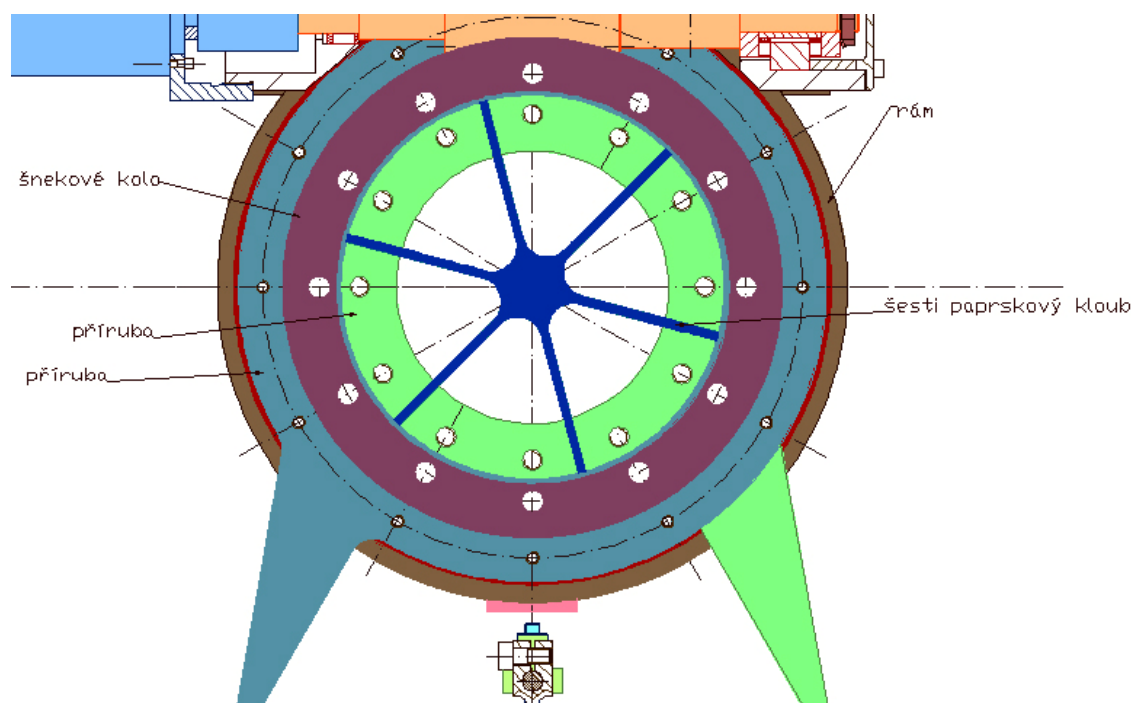
2.2.1 Šnekové kolo a šesti-paprskový kloub

Kroutící moment motoru přenesený přes šnek, se dále přenáší na šnekové kolo. To je již vyrobeno ve vysoké kvalitě. Šnekové kolo je dvanácti šrouby M5 přichyceno ke členu, který ho připojuje k vnějšímu okruhu šesti-paprskového kloubu. Součástí tohoto dílu je rameno vedoucí od korekčního mechanismu (popsáno v kapitole 2.3). Toto rameno koriguje pohyby otáčení mechanismu.

Pohyb hlavního motoru se spolu s korekčním natáčením přenáší přes pružné lamely šesti-paprskového kloubu dále do kinematického řetězce. Pružný kloub je použitelný jen pro malé úhly natočení. Jako mechanismus je bez vůle a pasivních odporů - tření. Nevýhodou je direktivní síla. Tato síla však konstrukci z důvodu přebytku kroutícího momentu nevádí. Z vnějšího okruhu se moment přenes na vnitřní „kotvičky“, které jsou dohromady svázány samostatným dílem. Díl je na vnitřní kotvičky přišroubován dvanácti šrouby M5 a spojuje je do jednoho kinematického celku. Součástí tohoto dílu je druhé rameno korekčního mechanismu.



Obr. 2.2.1-1 Šesti-paprskový kloub



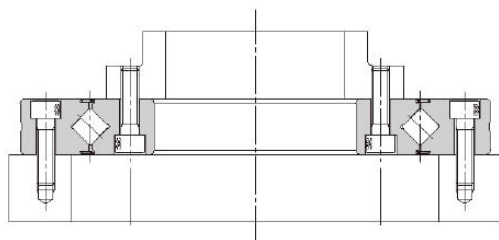
Obr. 2.2.1-2 Šnekové kolo a šesti-paprskový kloub

2.2.2 Ložisko a rám

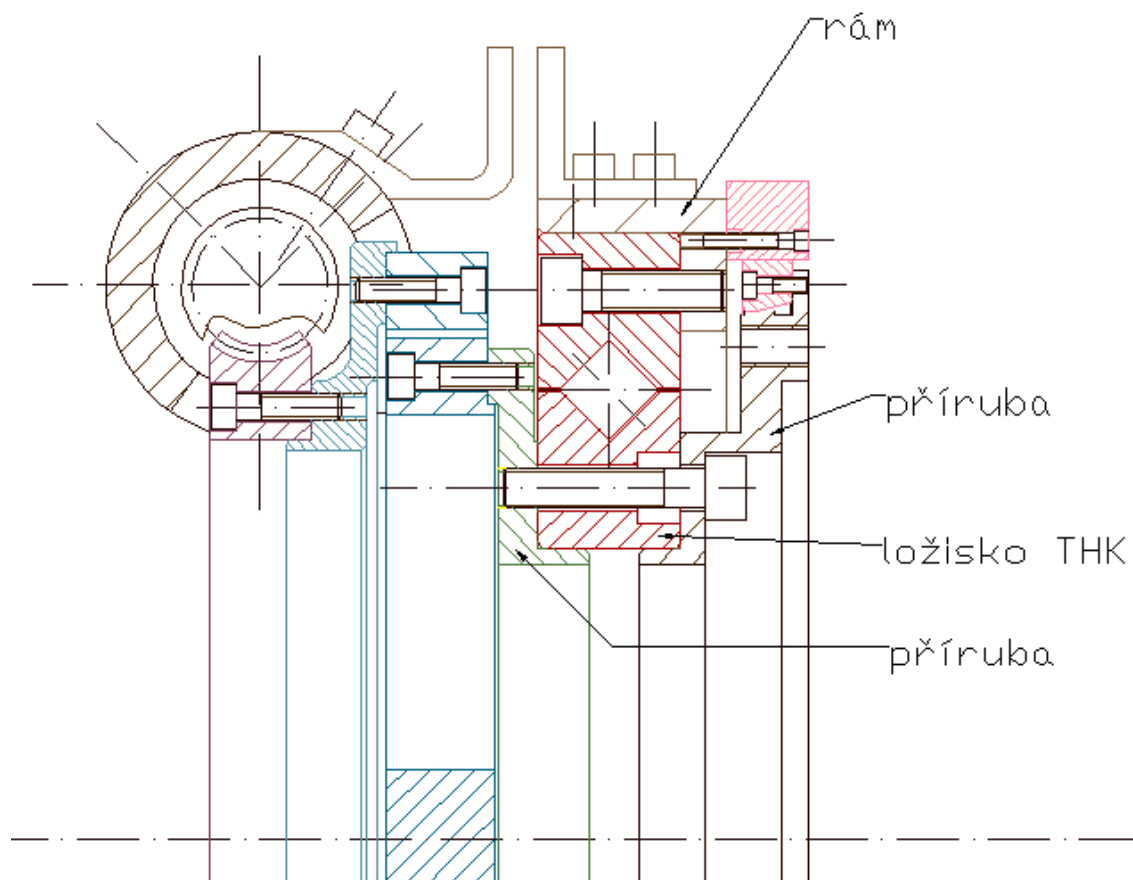
Z vloženého dílu, který spojuje vnitřní kotvičky pružného kloubu se moment přenáší na ložisko firmy THK typ RU 178 (G) se zkříženými válečky ve zvýšené přesnosti. Válečky v ložisku jsou navzájem uspořádány křížovým způsobem a odvalují se v pravouhle vybroušených drážkách. Válečky jsou odděleny rozpěrným kroužkem. Tato konstrukce umožňuje zatěžovat ložisko ve všech směrech, včetně zatížení radiálního, axiálního a momentového. Je velice tuhé a dovoluje velká zatížení. Pro účely konstrukce byla nejpodstatnější tuhost a přesnost ložiska. Rozpěrný kroužek drží válečky ve správných pozicích. Odstraňuje i tření mezi válečky a zajišťuje stálý točivý moment. Obě přitlačné příruby jsou přizpůsobeny tak, aby co nejvíce vyhovovaly aplikaci ložiska.

Druhá příruba je k ložisku přišroubována dvanácti šrouby M8. Prošroubování spojuje obě dvě přitlačné příruby. Řešení zkrátí stavební délku celého řetězce a propojí související části.

Vnější kroužek ložiska je dalšími dvanácti šrouby připevněn k samotnému rámu. Prozatím je rám řešen jako jednoduchý, bez uchycení. To se přidá v návaznosti na dokončení projektu rámu celé konstrukce dalekohledu. Upevnění bude řešeno přírubou s otvory na přišroubování k rámu.



Obr. 2.2.2-1 Ložisko THK

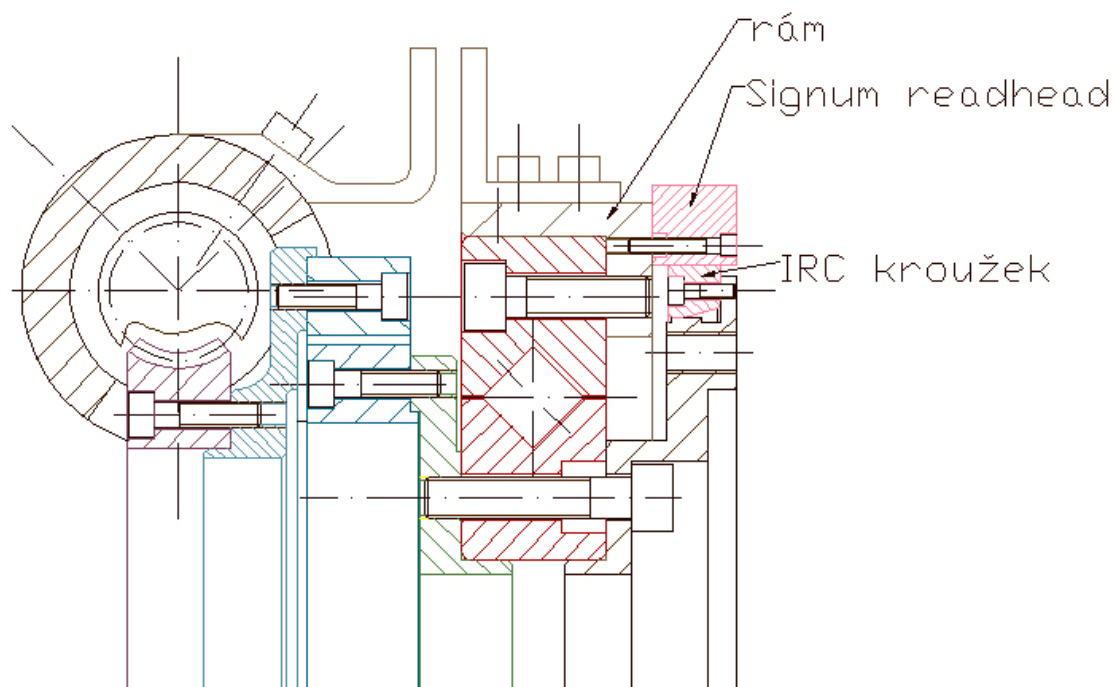


Obr. 2.2.2-2 Uchycení ložiska

2.2.3 Optický úhlový snímač polohy

Pro problematiku přesného řízení je nutné znát aktuální polohu. Pro tyto účely byl zvolen optický úhlový snímač. Firma Renishaw dodává úhlové snímače zcela vyhovující požadavkům. Odměřovací systém se skládá z kruhové stupnice RESM, čtecí hlavice SR 100 a interface Si. Pro zpřesnění odečtu byly navrženy dvě odečítací hlavice umístěné naproti sobě pod úhlem 180°. Snímač RESM je kompaktní kroužek z nerezavějící oceli, který je připevněn na přírubový díl vedoucí od ložiska THK. K přírubě je připevněn dvanácti šrouby M 3. Velikosti RESM jsou dostupné v široké škále. Z důvodů větší dosažitelné přesnosti byl vybrán $\varnothing 229$. Na obvodu je vyznačeno dělení 20 μm . Díky přesnosti $\pm 0.5'$ a rozlišení i opakovatelnosti $\pm 0.2'$ zcela vyhovuje této aplikaci.

Čtecí hlavice je odolná, schopná provozu v nejrůznějších provozních podmínkách. K rámu je připevněna dvěma šrouby dle požadavků výrobce. Signál ze čtecí hlavice zpracovaný pomocí interface slouží ke stanovení aktuální velikosti hodinového úhlu a jako zdroj signálu polohové zpětné vazby. Na přírubovém dílu je dvanáct vnitřních závitů, které budou sloužit pro připojení konstrukčního celku tubusu s dalekohledy.



Obr. 2.2.3-1 Snímač polohy



Obr. 2.2.3-2 Signum RESM firmy Renishaw

2.3 Korekční člen

2.3.1 Lineární pohon

Pro kompenzování chyb celého pohonu a přesnou pointaci byl navržen korekční člen ve formě poháněného nůžkového mechanismu. Nůžkový mechanismus byl řešen na bázi pružných kloubů, z důvodu nejlepšího získání požadované přesnosti pro správnou funkci kompenzačního mechanismu. Tento mechanismus je nutné pohánět. Z adekvátního sortimentu výrobků byla vybrána firma MAXON Motors (v České republice zastoupená firmou Uzimex). Ta dodává komplety motoru s lineární převodovkou a pohybovými šrouby $\varnothing 6$ s metrickým závitem na výstupu. Součástí dodávky je matice s přírubou. Na tuto přírubu se našroubuje speciální díl pro uchycení pružných mechanismů. Výhodou těchto motorů jsou jejich malé rozměry a váha. Motor bude řízen analogovým signálem z úhlového odečítacího zařízení.

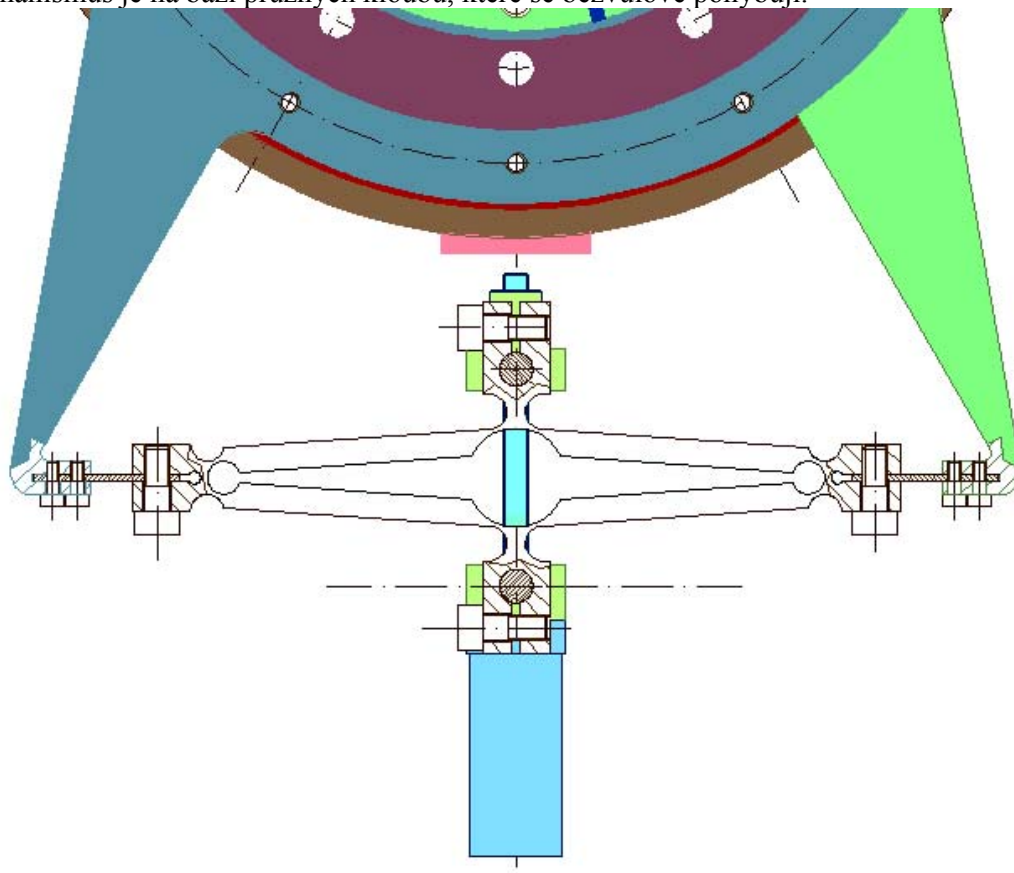


*Obr. 2.3.1 Ilustrační fotka motoru s lineární převodovkou a kuličkovým šroubem Maxon
(v konstrukci použitý metrický pohybový šroub)*

Pointace se provádí zpětnovazebně. Po odečtu údaje o hodinovém úhlu z odečítacího zařízení dojde k spuštění motoru. Počítá se s pohybem rovnajícím se zhruba jedné otáčce šroubu. Přes pohybový šroub dojde ke změně rozměrů pružného mechanismu. Tyto změny se promítnou na pohybu ramen, které vůči sobě natočí vnější a vnitřní okruh šesti-paprskového kloubu a tím dojde k pointaci tubusu.

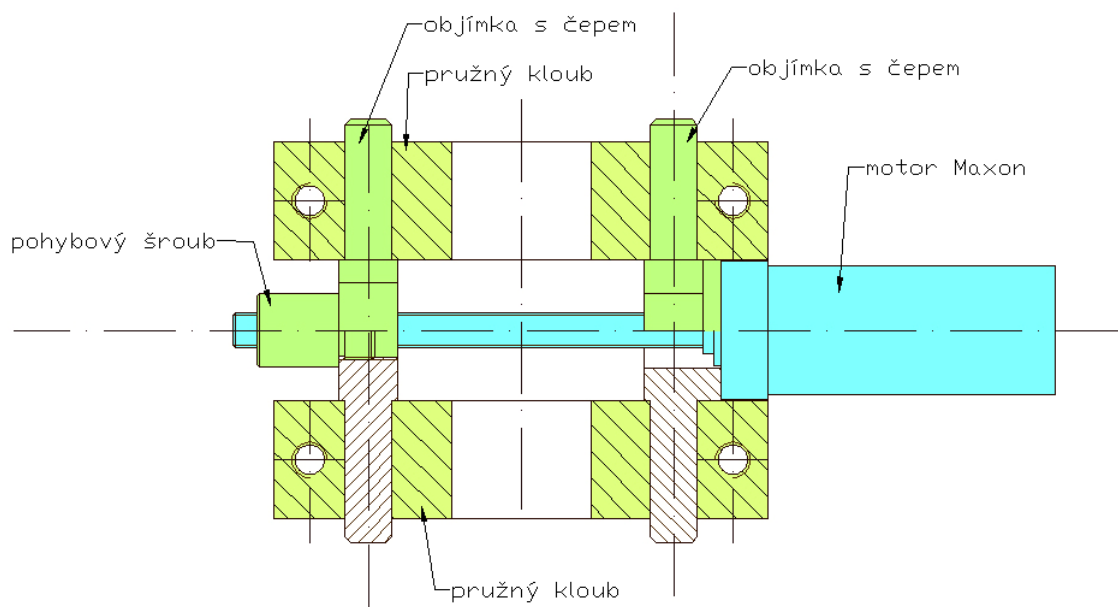
2.3.2 Pružný mechanismus.

Pružný mechanismus byl navržen a propočítán podle materiálů Ing. Jiřího Maršíka. Mechanismus je na bázi pružných kloubů, které se bezvůlově pohybují.



Obr. 2.3.2-1 Pružný kloub

Pružné klouby jsou duplicitně umístěny symetricky nad sebou. Navzájem jsou spojené přes čep držený svěrným spojením. Tento čep je součástí příruby připojené na pohybový šroub motoru. Druhý čep na objímkovém dílu je pevně přichycen šrouby k přírubě motoru. Na krajích jsou zároveň svěrným spojením připojené planžety, které přenášejí impuls posunu mechanismu na ramena k šesti-paprskového kloubu. Planžety se mohou mírně deformovat. Nevnášejí žádné pasivní odpory ani vůle, pouze direktivní sílu.



Obr. 2.3.2-2 Pružný kloub – pohled z boku

3 Realizace

Zároveň s doladováním a optimalizací konstrukce se jednalo s dodavatelskými zainteresovanými firmami. S firmou Uzimex je rozjednaná koupě motoru Maxon s převodovkou a pohybovým šroubem. Čeká se na stanovení prodejní ceny setu. U firmy Renishaw je dohodnutá koupě odečítacího kroužku a dodání odečítacích hlavíc a zapůjčení rozhraní pro odzkoušení funkčnosti celého systému řízení pohonu. Výroba všech kovových dílů sestavy je dohodnuta s firmou BMD, a.s. v Teplicích. Všechna potřebná ložiska jsou již získána, nebo objednána od firmy Ložiska Praha - Václav Symůnek a čeká se na jejich dodání. Další spotřební materiál jako planžety a spojovací materiál je již v dostatečném množství přítomen.

4 Závěr

V tomto příspěvku popsaná konstrukce se blíží díky nezměrnému úsilí a práci Doc. Ing. Josefa Zichy, Csc. ke své konečné realizaci. Uvedená konstrukce by měla zcela splňovat parametry zadání a nároky na ní kladené. Po odzkoušení prototypu a vyladění chodu bude předána expedičnímu týmu pro další testy. Do budoucna se počítá s dalšími úpravami a vylepšeními dílů. Další snaha by měla směřovat směrem k odlehčení konstrukce a snadnější transportovatelnosti.

Na základě poznatků expedičního týmu prof. Druckmüllera se bude postupovat v úpravách a inovaci konstrukce. V závěru, po všech odzkoušeních, by expedice měla s dalekohledem odejet na pozorování zatmění Slunce a na základě jejich získaného materiálu se posoudí úspěšnost celého projektu.

5 Literatura

- [1] Erhart, Vilém: Amatérské astronomické dalekohledy, Praha : SNTL, 1962
- [2] Ing. Maršík, Jiří: Pružné klouby a MKP
- [3] Šesták David: Montáž speciálního dalekohledu pro pozorování slunečních zatmění, (Diplomová práce), 2007
- [4] Produktové informace firmy Renishaw, www.renishaw.com
- [5] Produktové informace firmy Maxon, www.uzimex.cz