

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**ZÁVĚREČNÁ
PRÁCE**

2018

**DAGMAR
NÉMETHOVÁ**



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Némethová** Jméno: **Dagmar** Osobní číslo: **364152**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav přístrojové a řídicí techniky**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Přístrojová a řídicí technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Experimentální ověření některých parametrů šestipaprskového kloubu

Název diplomové práce anglicky:

Experimental verification of some parameters of the six-rays-joint

Pokyny pro vypracování:

Na hotovém vzorku hodinového pohonu speciálního astronomického dalekohledu experimentálně stanovte poddajnost, dovolené namáhání, pracovní rozsah a velikost direktivního momentu šestipaprskového kloubu. Po vyhodnocení výsledků a stanovení dosažitelných hodnot porovnejte výsledky s dříve popsány výsledky rozborů vykonanými MKP. Podle astronomicky stanovených kritérií na pozorování zatmění rozhodněte, zda navrhovaný pohon může být odvozen pouze od deformací kloubu a nebo zda uvedená deformace bude použita pouze pro pointaci při pozorování s motorickým hodinovým pohonem.

Seznam doporučené literatury:

Diplomová práce Ing. Miroslavy Jirsově
Kleczek : Encyklopedie astronomie

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

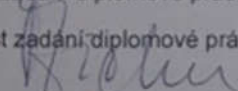
doc. Ing. Josef Zicha, CSc., ústav přístrojové a řídicí techniky FS

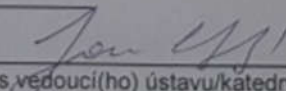
Jméno a pracoviště druhý(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

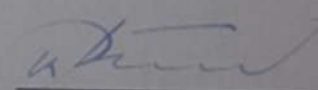
Datum zadání diplomové práce: **30.10.2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **19.01.2018**

Platnost zadání diplomové práce:


Podpis vedoucí(ho) práce

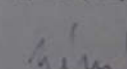

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

30.10.2017
Datum převzetí zadání


Podpis studentky

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně s tím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího diplomové práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků diplomové práce nebo její podstatné části, pokud budu uvedena jako její spoluautor.

Dne.....

Podpis ...

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Jana', written in a cursive style.

Abstrakt

Tato práce se zabývá úpravou konstrukce pohonné jednotky astronomického dalekohledu určeného pro pozorování úplného zatmění Slunce. Dále zkoumá vlastnosti šestipaprskového kloubu, který je součástí konstrukce.

Při experimentu došlo k zatěžování šestipaprskového kloubu, přičemž byla měřena jeho deformace. Na základě tohoto měření byly zjištěny mechanické vlastnosti kloubu. Dále byla zjednodušena konstrukce pohonné jednotky.

Abstract

The thesis focuses on design modification of the Astronomical Telescope's drive unit intended for observation of the complete eclipse of the Sun.

It further examines properties of a six-ray joint that is a part of the drive unit design. The six-ray joint was examined during mechanical loading and its deformation was measured.

Based on this measurement, the mechanical properties of the six-ray joint were determined. Further, the drive unit design was simplified.

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Josefu Zichovi, CSc. za jeho neunavitelnou ochotu zodpovídat mé dotazy ohledně diplomové práce, za rozšíření mých znalostí v otázkách astronomie a konstrukce, za jeho nekonečnou laskavost při konzultacích. Ing. Bc. Šárce Němcové, Ph.D. děkuji za poskytnutí materiálů. Prof. RNDr. Miloslavu Druckmüllerovi, CSc. a Ing. Haně Druckmüllerové, Ph.D. za jejich odbornou konzultaci. Ing. Mgr. Miroslavě Jirsové za rady.

Dále děkuji svému manželovi Ondřeji Némethovi, že mi byl oporou v náročné době psaní diplomové práce a našemu synovi Filipu Némethovi, že byl moc hodný a zvládal účast na konzultacích.

Obsah

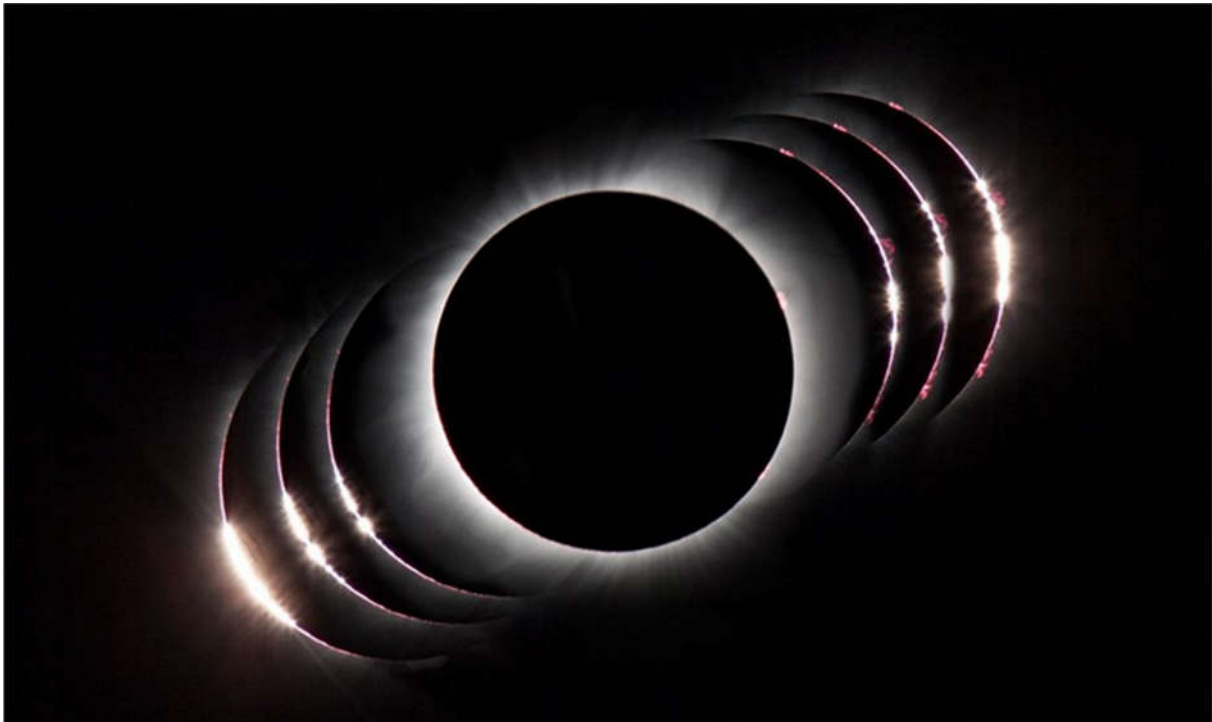
1. Úvod.....	6
2. Konstrukční prvky.....	8
2.1. Astronomická montáž.....	8
2.2. Pružné prvky	12
Pružiny.....	13
Pružiny poddajných tvarů	14
Pružné klouby.....	15
Výhody a nevýhody použití pružných kloubů oproti nepružným.....	15
Typy pružných kloubů	18
3. Konstrukční řešení.....	26
3.1. Volba montáže	27
3.2. Pointační mechanismus.....	31
3.3. Nový mechanismus.....	35
4. Praktická část	43
4.1. Měření	43
4.2. Velikost direktivního momentu	48
4.3. Poddajnost.....	50
4.4. Pracovní rozsah.....	52
4.5. Dovolené namáhání.....	53
5. Závěr.....	55
Zdroje	57

1. Úvod

Astronomie je věda, která neumožňuje opakování experimentů, proto je potřeba, aby používané přístroje měly vysokou spolehlivost a přesnost, protože chyba v experimentu je fatální.

Problematice konstrukce přístrojů s vysokou spolehlivostí a přesností se odbor přesné mechaniky a optiky ústavu přístrojové a řídicí techniky na Fakultě strojní na ČVUT věnuje již velmi dlouhou dobu.

Mgr. Ing. Miroslava Jirsová věnovala svou diplomovou práci [1] návrhu konstrukce pointačního systému speciálního dalekohledu určenému k fotografování sluneční koróny při úplném zatmění Slunce, viz Obr. 1.



Obr. 1: Časová posloupnost průběhu zatmění (21. srpna ve státě Idaho v USA), obrázek převzat z [2]

Jak uvádí Horálek [3], tento jev je i není vzácný, záleží na úhlu pohledu. Úplné zatmění Slunce nastává přibližně každých 18 měsíců, což není tak zlé, ovšem na stejném místě nastane přibližně pouze jednou za 400 let.

Viditelné je toto úplné zatmění pouze v relativně úzkém pásmu, které se nazývá pás totality. Pás totality je široký maximálně 270km.

Z čehož plyne, že za úplným zatměním Slunce je třeba cestovat na velmi dlouhé vzdálenosti, což je samozřejmě komplikované a nákladné, nebo mít velké štěstí a žít ve správném století na správném místě.

Proto pokud chce někdo zdokumentovat či studovat tento jev, potřebuje zařízení, které je **vysoce spolehlivé**.

Zatmění vzniká díky Měsíci, který na velice krátkou dobu zakryje sluneční kotouč. Měsíc je sice asi 400 krát menší, než Slunce, avšak je také asi 400 krát blíže k Zemi, než Slunce, díky čemuž může k zatmění dojít. Když je sluneční kotouč zakrytý, je vidět vnější část sluneční atmosféry - koróna.

Ta se dá pozorovat koronografy, ty jsou buď družicové, či pozemské, dojde tak k zastínění umělému. Ovšem toto pozorování nepřináší tak dobré výsledky, nejvýhodnější je pozorování koróny při úplném zatmění Slunce.

2. Konstrukční prvky

2.1. Astronomická montáž

Astronomické dalekohledy bývají umístěny na stativu, aby je pozorovatel nemusel držet v ruce, to je jak kvůli váze, tak kvůli době pozorování. Některé dalekohledy mají váhu takovou, že by ani ruční držení nepřipadalo v úvahu. Tomuto stativu se říká montáž.

Pokud je ze Země sledován určitý astronomický objekt, například Slunce, koná zdánlivý pohyb po obloze, od východu k západu. To je dáno rotací Země.

Čím větší má astronomický přístroj zvětšení, tím menší má zorné pole. Tedy pokud je pozorovaný objekt hodně zvětšený, bude v zorném poli dalekohledu pouze tento.

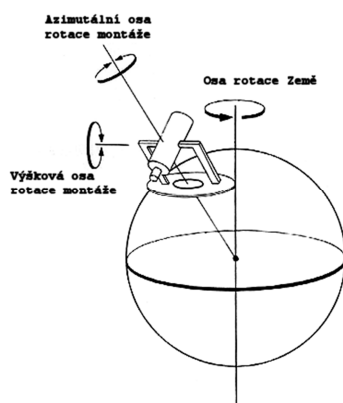
Z toho plyne, že pokud nebude prováděn pohyb dalekohledem, pozorovaný objekt při konání zdánlivého pohybu zmizí ze zorného pole.

Proto je nutné, aby montáž umožňovala vyhledání libovolného objektu na obloze a jeho sledování při zdánlivém pohybu.

Provádí se dva typy montáží:

- altazimutární
- paralaktická

Altazimutární montáž je velice jednoduchá, konstrukčně je velice podobná fotografickému stativu. Umožňuje pohyb podél dvou os. První osa umožňuje otáčení v azimutu, to je kolem vodorovné roviny. Druhá osa umožňuje otáčení ve výšce, to jest ve svislé rovině. Viz Obr. 2.



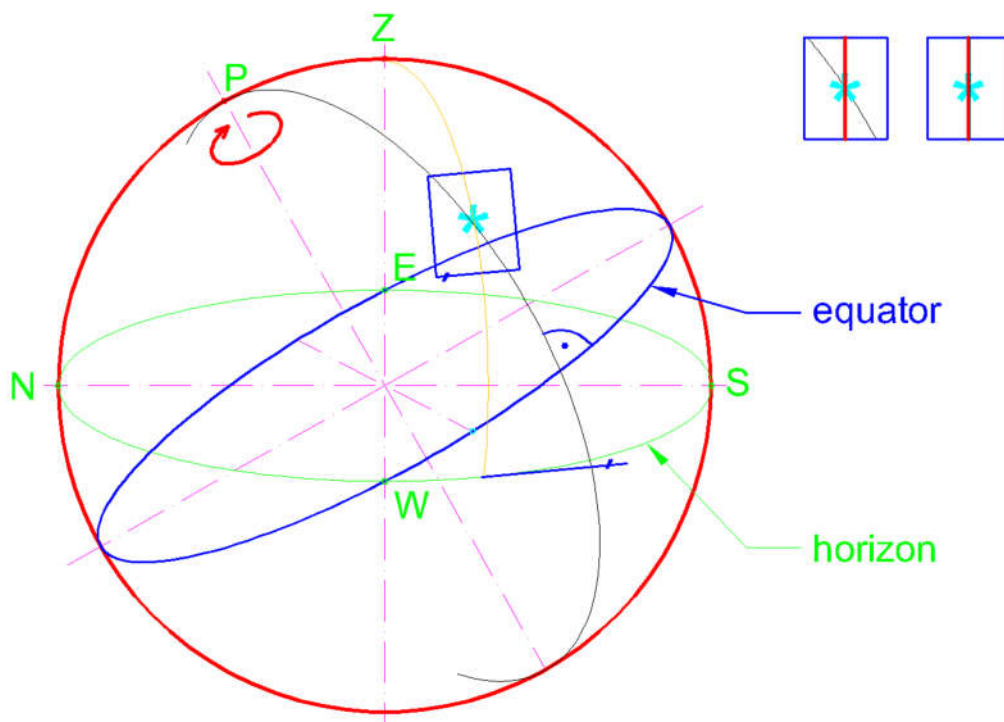
Obr. 2: Nastavení os u altazimutární montáže, obrázek převzat z [5]

Velikou výhodou tohoto typu montáže je nejen konstrukční jednoduchost, ale také velmi snadné intuitivní vyhledávání astronomických objektů a díky tomu je vhodný pro pozorování rychle se pohybujících objektů.

Velice výhodné je, že je montáž univerzální pro všechny zeměpisné šířky.

Nevýhodou je, že při sledování objektu na obloze je nutnost pohybovat oběma osami najednou.

Další nevýhodou této montáže je, že se pozorovaný objekt v objektivu otáčí. Vystvětlení problematiky je názorně zobrazeno na Obr. 3. Pro kompenzaci tohoto problému se do systému dalekohledu montují takzvané derotátory. Tyto sice kompenzují rotaci obrazu, ovšem znamená to zvětšování konstrukce a řešení přidružených konstrukčních a optických problémů.

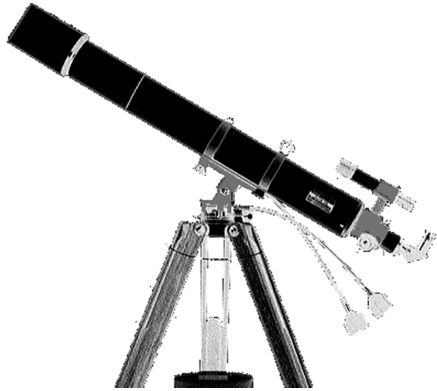


Obr. 3: Otáčení obrazu u altazimutární montáže, obrázek převzat z [9]

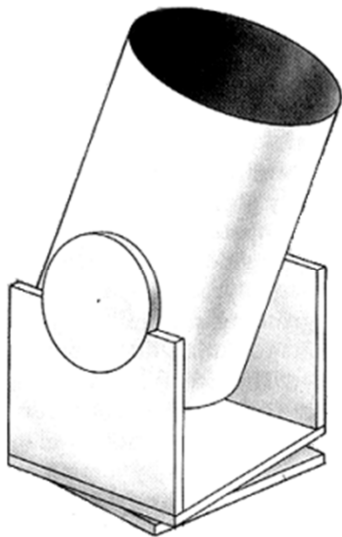
Dále nastavení přístroje do bodu zenitu, to je bod, který se nachází přímo nad pozorovatelem na obloze.

Altazimutární montáže se nejčastěji dělají ve dvou provedeních:

- Křížová montáž na stativ, viz Obr. 4
- Dobsonova montáž, viz Obr. 5



Obr. 4: Křížová montáž na stativ, obrázek převzat z [5]

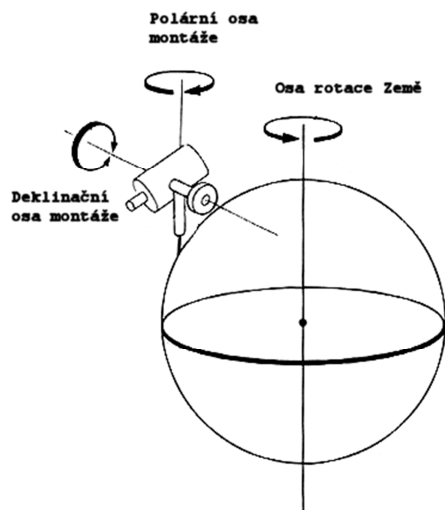


Obr. 5: Dobsonova montáž, obrázek převzat z [5]

Paralaktická montáž má svislou osu orientovanou do zenitu. Tato osa tak s osou rotace Země svírá úhel závislý na zeměpisné šířce místa, kde stojí pozorovatel.

Tato svislá osa se nazývá polární či hodinová. Druhá osa se nazývá deklinační. Při altazimutární montáži se měří úhel a výška objektu, při paralaktické to jsou hodinový úhel a deklinace.

Při pozorování se pro kompenzaci pohybu Země polární osa sklání, aby byla rovnoběžná s osou rotace Země. Tedy aby svírala s vodorovnou rovinou úhel úhel rovný zeměpisné šířce místa pozorovatele. Pro udržení objektu v zorném poli se přístroj kolem této osy otáčí rychlostí rovné jedné otáčce za den.



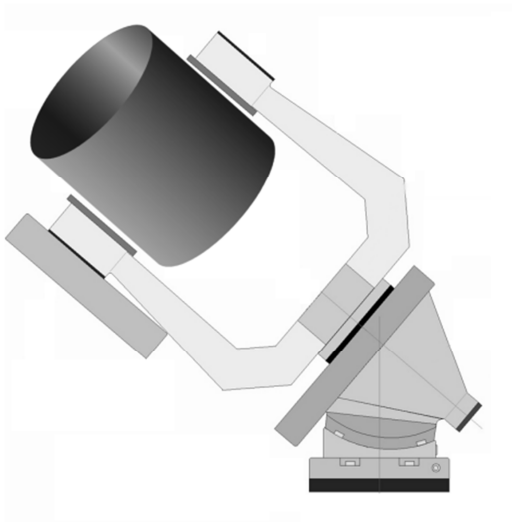
Obr. 6: Nastavení os u paralaktické montáže, obrázek převzat z [5]

Nejnámější druhy paralaktických montáží jsou:

- Německá, viz Obr. 7
- Vidlicová, viz Obr. 8



Obr. 7: Německá montáž, obrázek převzat z [5]



Obr. 8: Vidlicová montáž, obrázek převzat z [5]

2.2. Pružné prvky

Pružné prvky ve strojírenství jsou velice rozsáhlý pojem. Obvykle se používají jako pružné spoje, pružné hřídelové spojky, či těsnění.

Pružné spoje se užívají k:

- zmírnění dynamických účinků
- zajištění vratného pohybu
- akumulaci energie
- vymezení vůle

Pokud se mezi dva prvky vloží pružný element, nedochází k přenosu zatížení přímo, ale s časovým zpožděním a zmírněním dynamických účinků. To chrání součásti před poškozením, protože jsou tlumeny rázy a vibrace. Tohoto účinku se využívá například u motorových vozidel.

Pro zajištění vrtného pohybu se používají pružiny u vaček či ventilů vratných a pojistných, kde je nastavena pružina na určitý tlak, který ji stlačí, čímž dojde k otevření ventilu. Jakmile se kapalina uvolní a dojde ke zmírnění tlaku, pružina se vrátí do původní polohy a ventil se zavře.

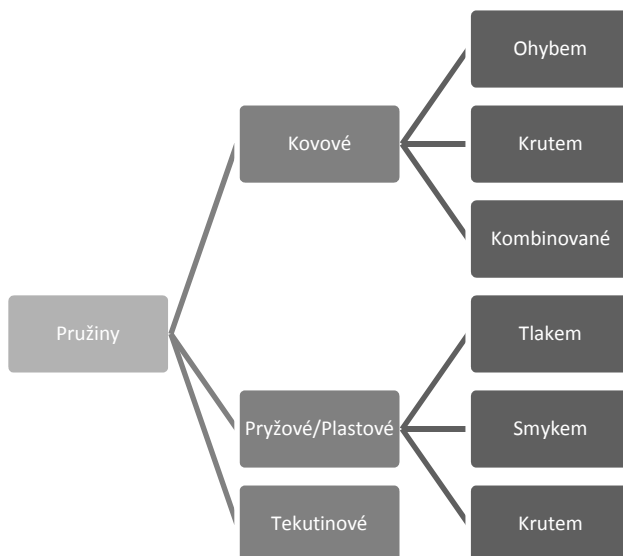
Schopnost akumulace energie se používá u hnací pružiny v hodinkovém strojku. Je všeobecně známo, že se hodinky musí natahovat, aby šly. To, co není vidět, je hnací pružina, která se navine, čímž akumuluje energii a pomalu ji uvolňuje a zaručuje tak rotační pohyb.

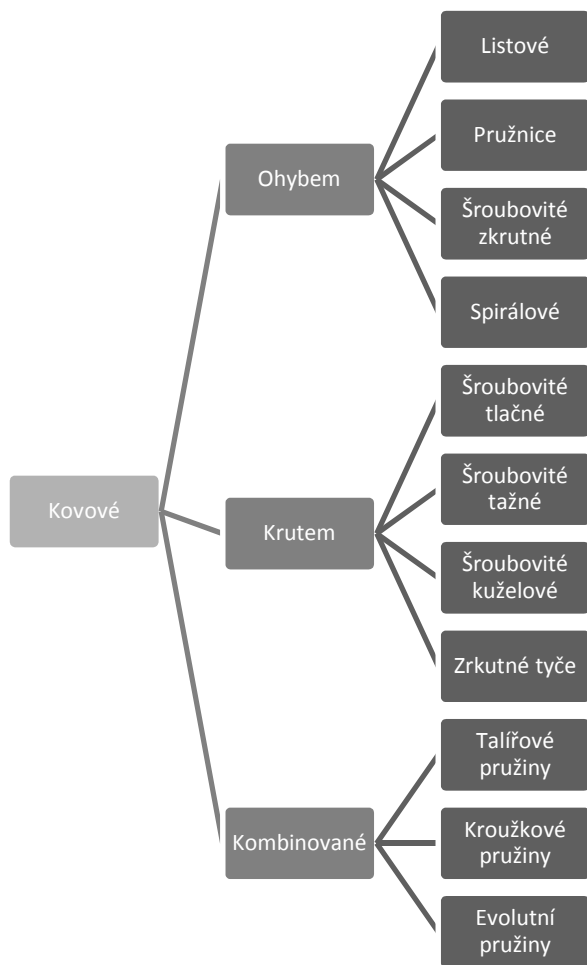
Co se vymezení vůle týče, vůle do mechanismu zanáší nepřesnosti. Proto je žádoucí vůle odstranit. Vymezení vůle pružinou se provádí například u kulových kloubů či u vedení.

Pružiny

Pružiny jsou jednoduché pružné prvky s nezastupitelnou úlohou ve strojírenství. Jejich základní dělení je podle materiálu a způsobu namáhání.

Pružiny pro zatěžování **podélnými silami** jsou tahové či tlakové. Pro zatěžování **příčnými silami** jsou pružiny ohybové a konečně pružiny pro zatěžování **točivými momenty** jsou pružiny krutové.





Pružiny poddajných tvarů

Tyto pružiny pracují na principu pružných deformací poddajných tvarových prvků. Bývají obvykle kovové, eventuálně plastové.

Jsou to pružiny:

- Tahové
 - Prutové
 - Šroubovitě
- Tlakové
 - Kroužkové
 - Talířové a deskové
 - Šroubovitě

- Ohybové
 - Listové
- Krutové
 - Tyčové
 - Spirálové
 - Šroubovité
- Kombinované

Pružné klouby

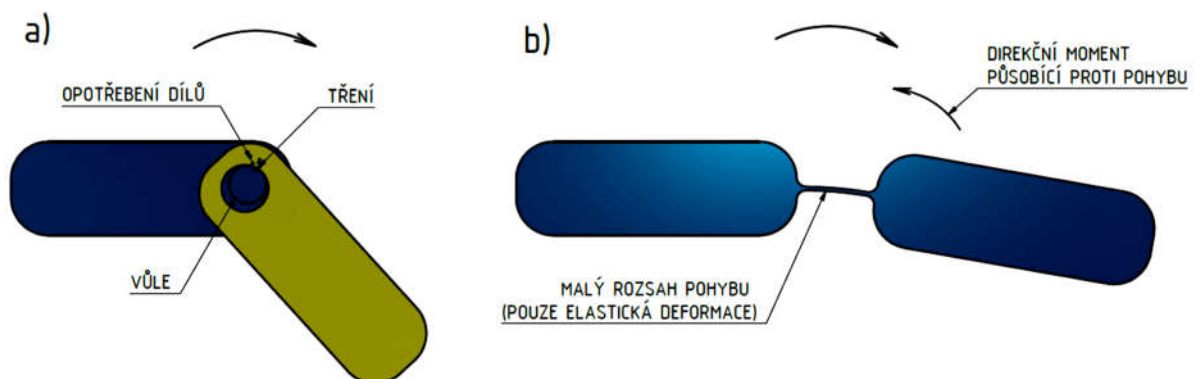
Pružné klouby obsahují zeslabené místo, které je díky tomu více poddajné. Při zatížení se materiál v tomto místě elasticky deformuje a tím se docílí požadovaného pohybu.

Využití pružných kloubů je k vymezení vůle a docílení přesného a plynulého pohybu.

Výhody a nevýhody použití pružných kloubů oproti nepružným

Porovnání kloubu pružného a nepružného viz Obr. 9.

U klasického nepružného rotačního kloubu dochází ke tření ve spojích a tím následně k opotřebování, díky čemuž dochází ke zvětšování vůle.



Obr. 9: Porovnání kloubu běžného a pružného, a) rotační kloub běžný b) jednoduchý pružný kloub obrázek převzat z [1]

Příliš velká vůle způsobuje zhoršenou přesnost celého kinematického řetězce a zhoršují opakovatelnost pohybu.

Dalším nežádoucím jevem u kloubů je slip-stick efekt. K němu dochází při nízkých kluzných rychlostech a při vysokém zatížení.

Slip-stick efekt vzniká tak, že je součinitel tření za klidu vyšší, než součinitel tření v pohybu. Tedy že koeficient tření závisí na rychlosti. Působí-li dostatečně velká síla, aby bylo překonáno statické tření, těleso se začne pohybovat, tření se změní na kinetické, tedy dojde k poklesu součinitele tření a tím i ke skokové změně rychlosti. Česky bychom to nazvali přilepování a klouzání.

Tento jev je možné omezit větším mazáním, kapalinové tření bez porušení kluzného filmu tento jev nevykazuje.

Výhoda pružných kloubů oproti běžným je ta, že v pružných kloubech se vůle ani tření nevyskytuje.

Díky tomu je pohyb plynulý a přesný. Kloub reaguje okamžitě, bez zpoždění a bez zadržávání. Při používání nedochází ke zvětšování vůle.

Další výhodou oproti běžným kloubům je to, že pružné klouby nevyžadují mazání, tudíž se zmenšují nároky na jejich údržbu. Dále neovlivňuje jejich činnost znečištění, nehrozí jim zanesení.

Velkou nevýhodou je konečný rozsah pohybu, který je daný dovoleným napětím materiálu. Maximální natočení jednoho kloubu se pohybuje v jednotkách stupňů, což je oproti klasickým kloubům velice málo.

Samozřejmě je možné rozsah natočení zvětšit větším počtem kloubů, Ovšem tím se mechanismus stává složitým.

Další vlastností pružných kloubů je nutnost překonat direkční sílu či moment pro vyvození pohybu. Dále kloub umožňuje pohyby, které nejsou žádoucí, tedy kloub určený k otáčení okolo jedné osy umožňuje i částečné natáčení kolem osy k ní kolmé.

Jednoduché pružné klouby vykazují jev, který se nazývá axis drift. Jedná se o to, že během pohybu se pohybuje osa rotace kloubu, což značně komplikuje hlavně popis pohybu matematickými modely.

Pro klouby se musí vybrat vhodný materiál, křehké materiály jsou zcela nevhodné, stejně tak materiály, které výrazně mění mechanické vlastnosti v závislosti na teplotě.

Jelikož se jedná o pružné elementy, hrozí zde vznik vlastních kmitů a kmitání celkově. Je proto důležité vědět, jaká je vlastní frekvence kloubu.

Pro snazší orientaci shrnutí výhod a nevýhod pružných kloubů níže.

Výhody:

- bez vůle
- bez mrtvého chodu
- bez slip-stick efektu
- bez ztrát třením
- snadná údržba, bez mazání
- kompaktní

Nevýhody:

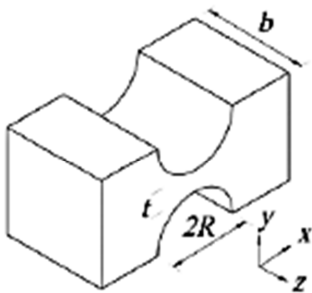
- malý rozsah pohybu
- nelineární charakteristika pohybu
- nežádoucí pohyby
- citlivé na změny teplot
- nevhodné pro křehké materiály
- nutnost překonat směrní síly
- nebezpečí kmitání
- hystereze

V posledních dvaceti letech se pružné mechanismy začínají těšit větší oblibě. Rostou nároky na přesnost strojů, začínají se využívat velmi přesné mikro a nanotechnologie, proto je přesnost zcela zásadní, bezvůlová přesnost, kterou nabízejí právě pružné součástky.

Tyto mohou být přesné díky přesným metodám obrábění v konvenční i nekonvenční sféře, jako je například elektrojiskrové obrábění.

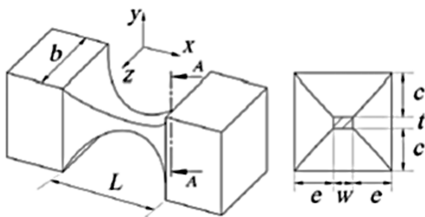
Typy pružných kloubů

Jednoosé klouby, jak napovídá název, se otáčejí kolem jedné osy. Ostatní pohyby jsou tedy nežádoucí (parazitní). Tyto klouby mají jednoduchou konstrukci (viz Obr. 10), tuhá součást má zeslabené místo, které se stává poddajným a umožňuje pohyb. Nazývají se také jednoduché nebo 2D klouby.

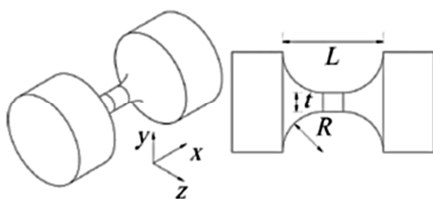


Obr. 10: Jednoosý pružný kloub, obrázek převzatý z [7]

Dvouosé klouby a víceosé klouby jsou pohyblivé ve dvou osách, zároveň však vykazují více nežádoucích pohybů. Nazývají se také 3D klouby. Ukázka konstrukce dvouosého kloubu je na Obr. 11 a víceosého na Obr. 12, tento umožňuje sférický pohyb.

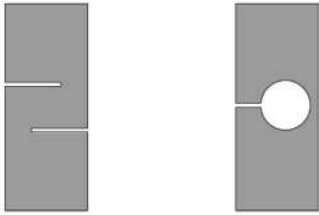


Obr. 11: Dvouosý kloub, obrázek převzatý z [7]



Obr. 12: Víceosý kloub, obrázek převzatý z [7]

Nejjednodušší možnou konstrukci pružného kloubu tvoří dva zářezy do materiálu či otvor a zářez, jak je znázorněno na Obr. 13, Obr. 14 a Obr. 15.



Obr. 13: Jednoduché konstrukce pružného kloubu, obrázek převzat z [1]

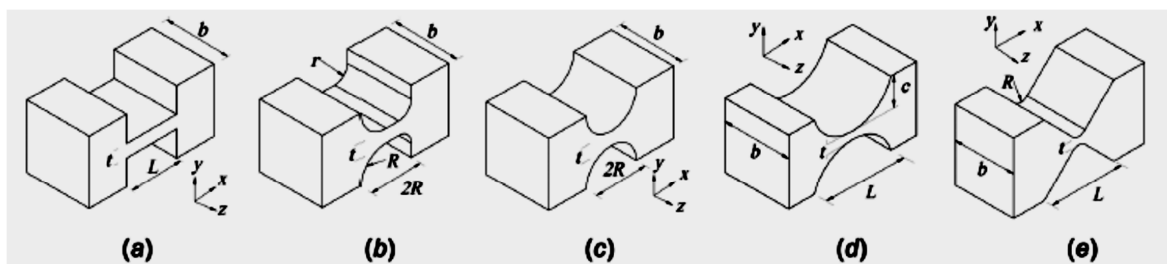


Obr. 14: Jednoduchá konstrukce pružného kloubu, obrázek převzat z [10]



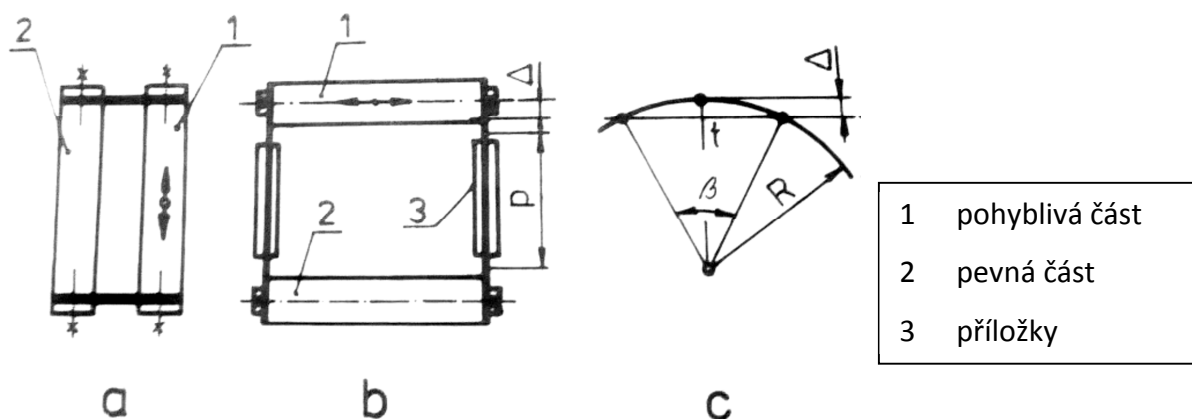
Obr. 15: Jednoduchá konstrukce pružného kloubu, obrázek převzat z [10]

Pro větší rozsah pohybu se však tato konstrukce nehodí, zde je nutné vytvořit výraznější zeslabené místo v materiálu. Tato zeslabení mohou mít velice variabilní tvary, záleží na způsobu výroby.



Obr. 16: Základní druhy zeslabení pro dvourozměrný ohyb – a) obdélníkové (planžetové), b) obdélníkové se zaoblením, c) půlkruhové d) jiná křivka (například parabolické, eliptické, hyperbolické) e) V-tvar, obrázky převzaty z [7]

Kombinací pružných kloubů či planžet je možné vytvořit součásti s možnostmi různých pohybů. Na Obr. 17 je paralelogram, který je tvořen dvěma planžetami. Tento umožňuje translační pohyb. Koná ovšem také parazitní pohyb nahoru a dolů a k natáčení pohyblivé části (těleso 1).



Obr. 17: Paralelogram, obrázek převzat z [8]

Klouby je možné tvořit jak mechanickým spojením tuhého prvku a planžety, tak zeslabením.

Nevýhody pružných kloubů z materiálových kombinací spočívají v deformaci planžet v místě spoje, které se časem deformují v místě spoje a mění tak své vlastnosti, když je jeden materiál výrazně měkčí, třeba ocelová planžeta a duralové čelisti.

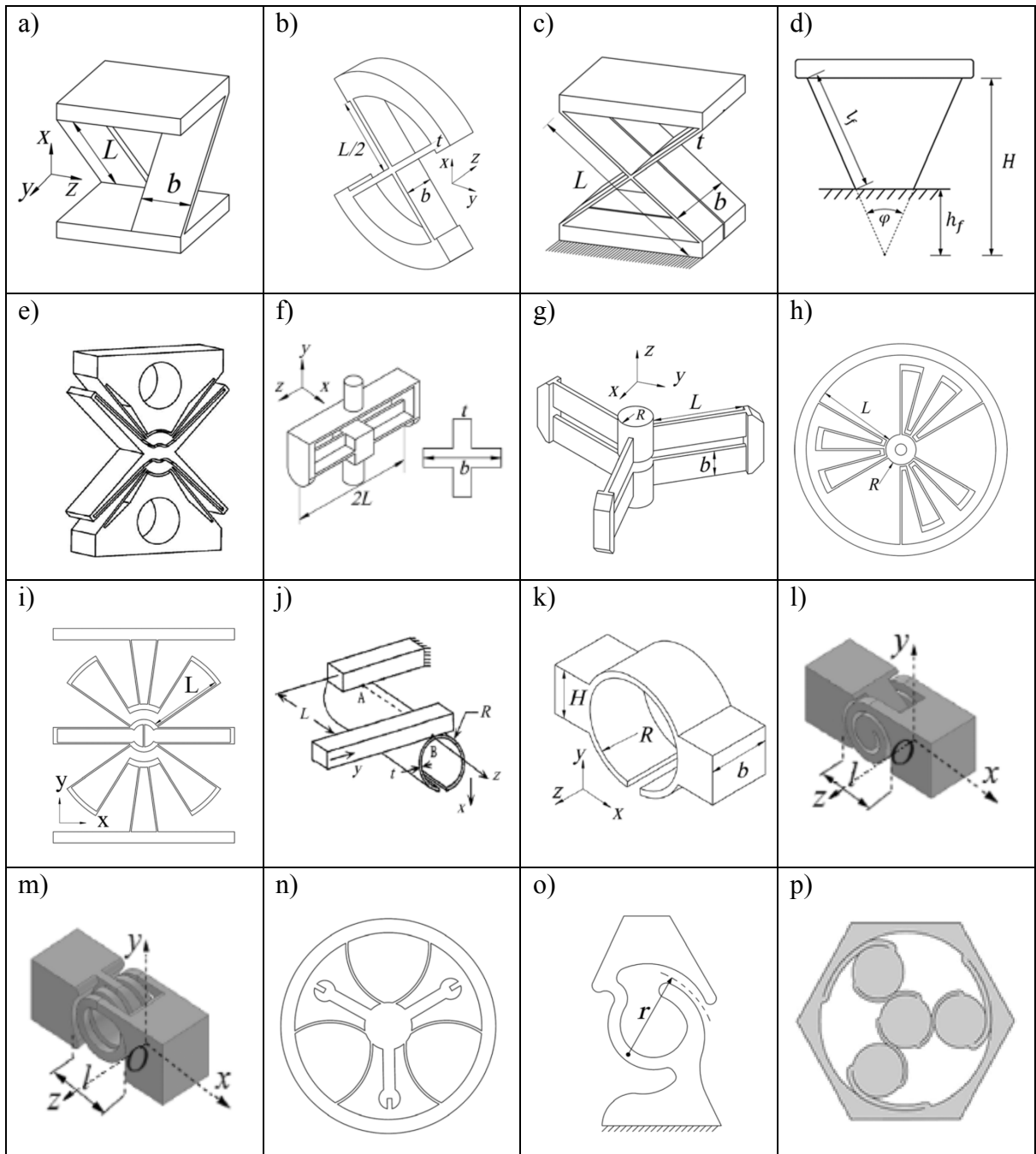
Zároveň je takové spojení výrobně náročné obsahuje velké množství součástek, sestavování je velmi složité. Proto se pro složitější klouby tato možnost nehodí.

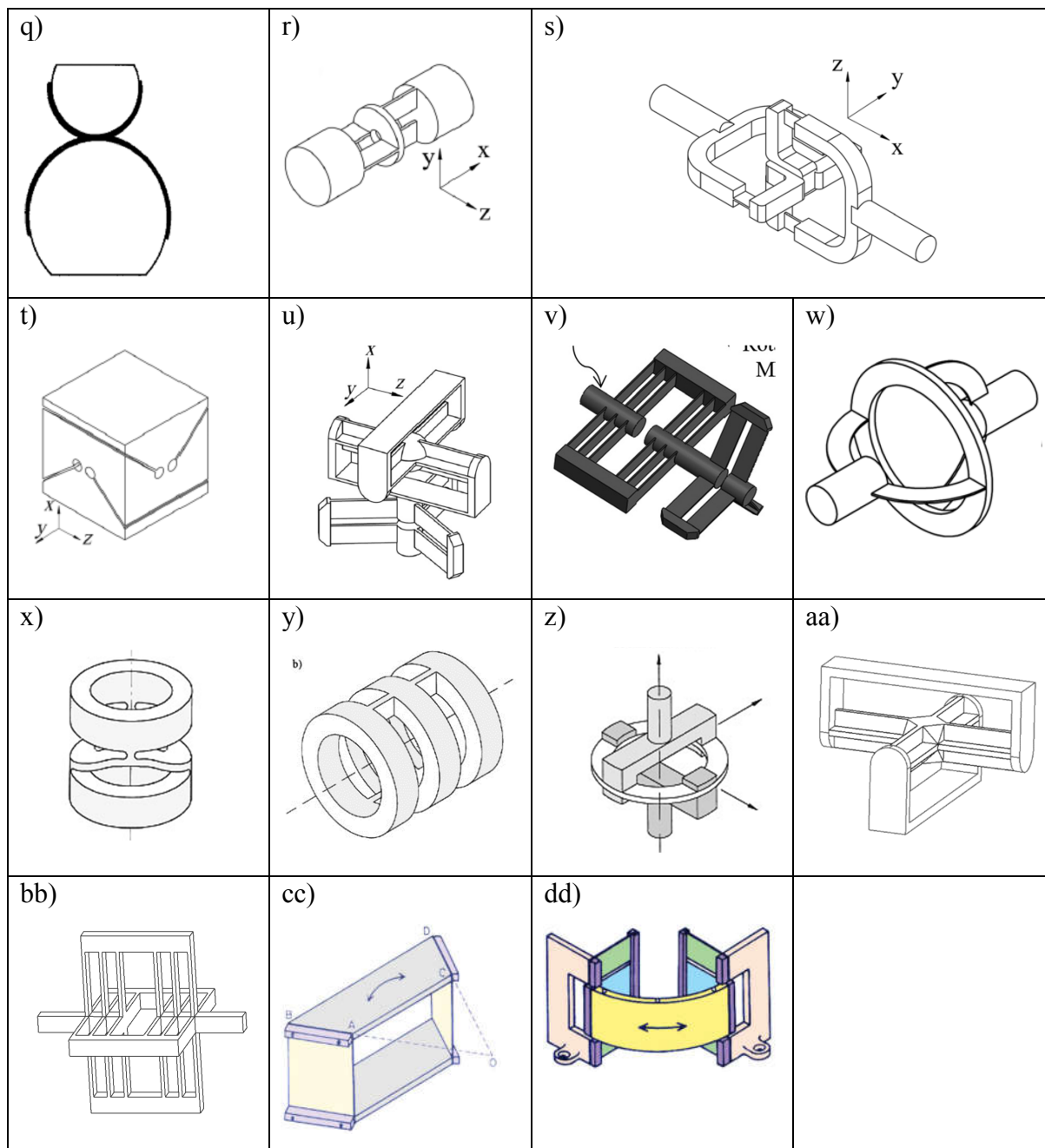
U pružných kloubů z jednoho materiálu odpadá náhlá skoková změna napjatosti při změně průřezu v místě spoje, je snazší dodržení správných konstrukčních zásad.

Jirsová ve své práci [1] uvádí velice rozsáhlou ukázkou různých provedení pružných kloubů, viz Obr. 18.

V tomto vyčerpávajícím výčtu ani v práci Maršíka [10] však není šestipaprskový pružný kloub, který je použitý pro konstrukci pointačního mechanismu, kterým se zabývala Jirsová.

Tento šestipaprskový kloub je pravděpodobně prací doc. Ing. Josefa Zichy, CSc. 3D model kloubu je k vidění na Obr. 19.





Obr. 18: Příklady složitějších pružných prvků, obrázky převzaty z [1]



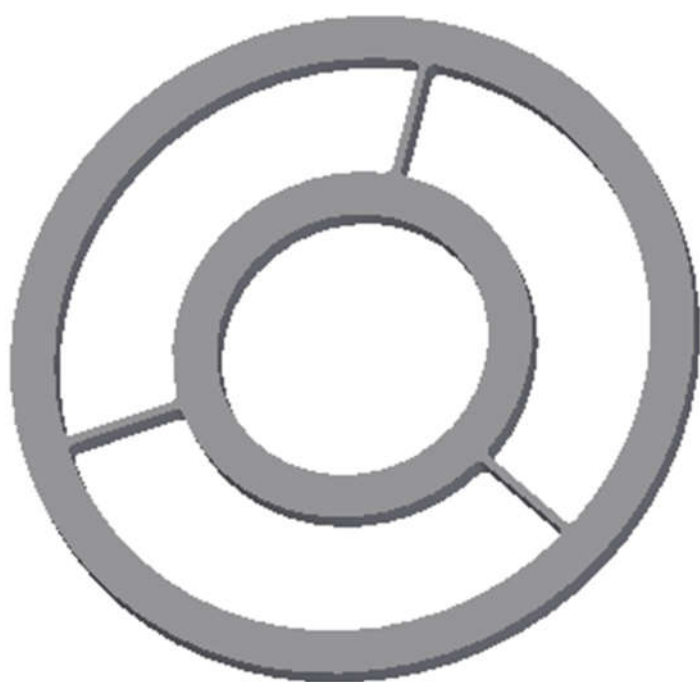
Obr. 19: Šestipaprskový pružný kloub

Jak je znázorněno na Obr. 19 je šestipaprskový kloub tvořen přírubou, která je třemi pružnými planžetami spojená se středem. Ze středu vycházejí další tři pružné planžety, které jsou přichyceny ke kotvičkám. Tyto kotvičky nejsou pevně spojeny s objímkou a díky tomu se mohou kotvičky a objímka vzájemně pootáčet.

U šestipaprskového kloubu během řešení této práce padla otázka, zda by bylo možné zkonstruovat jej tak, aby se skládal ze dvou prstenců vcelku, aby jeden prsteneček nebyl rozložen na kotvičky.

Bylo navrženo řešení, u kterého jsou dva prstence vcelku, viz Obr. 20. Není ovšem známo chování takového kloubu, kde by byl střed otáčení a jak by se během práce kloubu pootáčel.

Protože tato myšlenka padla až na konci řešení diplomové práce, nebylo možné zkoumat chování takového kloubu, toto zůstává otevřené pro navazující práce.



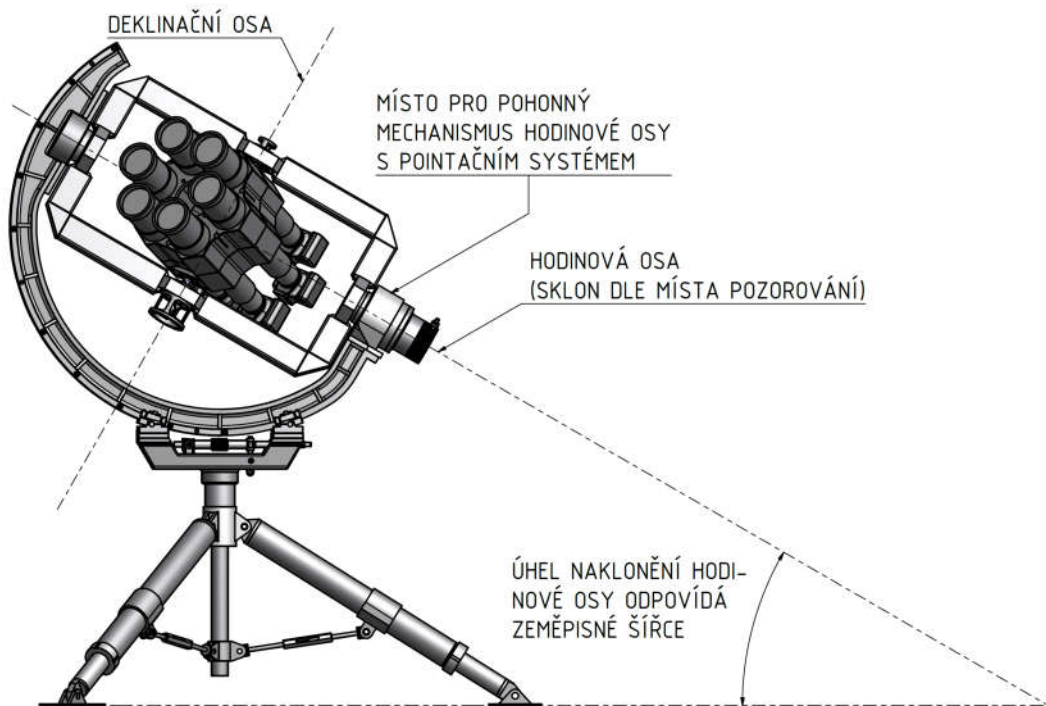
Obr. 20: Úprava šestipaprskového kloubu

3. Konstrukční řešení

Na odboru přesné mechaniky a optiky ústavu přístrojové a řídicí techniky na Fakultě strojní na ČVUT v Praze se již v roce 2006 začal realizovat projekt s názvem Sedmihlavá saň, jedná se o dalekohled určený k pozorování zatmění Slunce. Tento dalekohled má sedm objektivů a odtud i neobvyklý název.

Šesták ve své diplomové práci [6] navrhl více variant provedení. Jako nejvhodnější varianta byla navržena paralaktická montáž, díky tomu, že se obraz během pozorování neotáčí.

Na Obr. 21 je znázorněna celková montáž dalekohledu. Řízeno je otáčení hodinové osy.

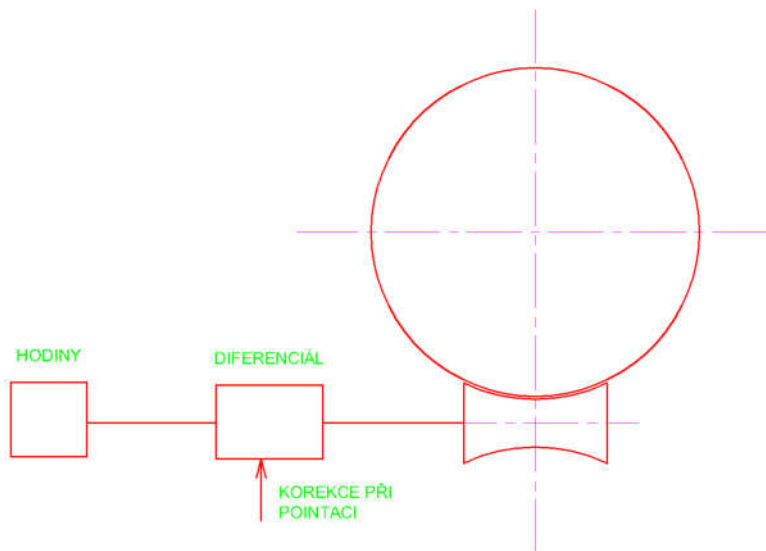


Obr. 21: Sestavení celkového dalekohledu, 3D model převzat z [6]

Tento návrh však nebude využit, protože celá robustní konstrukce vyvíjí velkou zátěž na ložisko. Jedna z nejbližších zatmění budou pozorovatelná v Chile, kde je zeměpisná šířka asi 30°. Jelikož u paralaktické montáže odpovídá úhel naklonění hodinové osy zeměpisné šířce, bylo by ložisko vystaveno velkému klopnému momentu a muselo by být obří.

Předpokládá se, že každá z obou os bude obsahovat jeden unifikovaný šestipaprskový kloub s pohonnou jednotkou, zatímco druhé ložisko bude klasické valivé jehlové nebo válečkové.

S ohledem na malý rozsah nebude použit klasický systém se šnekovou převodovkou, ten je schematicky znázorněn na Obr. 22, ale k pokrytí pracovního rozsahu stačí deformace pružného kloubu, což vede k výraznému zjednodušení konstrukce, tím je i zjednodušena problematika montáže a v neposlední řadě i váha tohoto prvku.



Obr. 22: Klasický šnekový pohon dalekohledu, obrázek převzat z [9]

Vzhledem k tomu, že pozorování zatmění Slunce se provádí na těžce přístupných místech, je snadná montáž, váha a možnost ručního přenesení dalekohledu velice důležitá.

3.1. Volba montáže

Je známé, že každá astronomická montáž, tím, že je tvořená soustavou k sobě kolmých os, je v podstatě kardanův kloub. Aplikace tohoto systému jsou pak odvozeny od orientace os v prostoru. Jestliže jedna osa je rovnoběžná s osou zemské rotace, dostáváme některý z typů paralaktické montáže. V případě, že jedna z os je svislá a druhá vodorovná, získáváme typ altazimutární montáže.

Poslední, málo využívanou možností, je montáž typu atitude-altitude (viz Obr. 23), která je charakterizována tím, že ve výchozím stavu leží obě osy ve vodorovné rovině.



Obr. 23: Montáž typu altitude-altitude

Protože navrhovaný dalekohled má být dobře transportabilní (to znamená lehký a demontovatelný na menší prvky) a je určen ke speciálnímu použití, pozorování krátkodobých předpověditelných jevů, je postačující, aby soustava tubusů, jejichž osy jsou ve výchozím stavu svislé, naklápěla o úhel zhruba $\pm 30^\circ$, což je dáno sklonem roviny ekliptiky vůči rovině rovníku.

Pokud by byla paralaktická montáž stavěna vcelku, byla by použitelná pouze pro jedno místo pozorování, nebylo by možné s ní libovolně cestovat, jelikož je závislá na místě pozorování kvůli natočení o zeměpisnou šířku, viz výše v popisu montáží.

Po krátké úvaze je tedy zřejmé, že konstrukci dalekohledu je účelné rozdělit na dvě části, a to na část základní (alt-alt systém) a paralaktickou podložku, která bude konstruována vždy podle potřeby a podle zeměpisné šířky místa, v kterém se uskuteční pozorování. Model altitude-altitude montáže a zvláště paralaktické podložky je na Obr. 24.



Obr. 24: Montáž altitude-altitude s paralaktickou podložkou

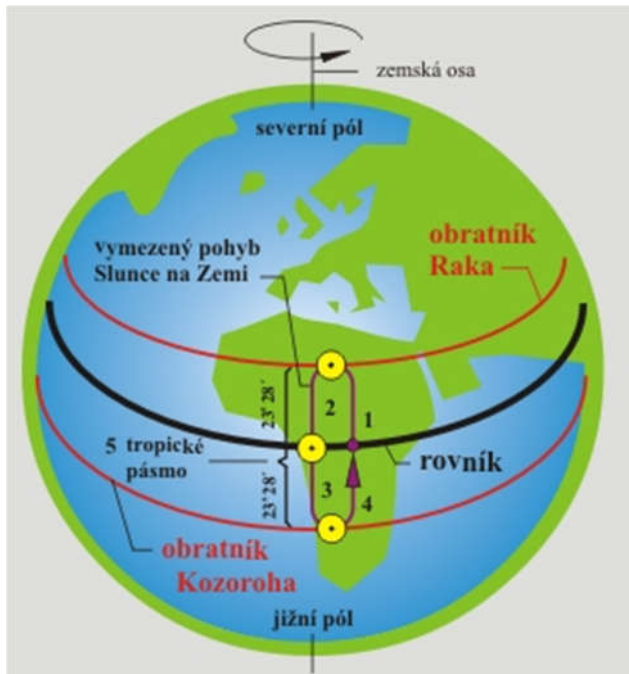
Celý mechanismus složený se tedy stává montáží paralaktickou anglickou rámovou montáží, viz Obr. 25.



Obr. 25: Montáž upevněná k podložce

Při pohledu na model dalekohledu (Obr. 25) je zřejmé, že pohyb v deklinační ose je v této konstrukci omezen rámem, do kterého mohou narážet tubusy dalekohledu. Ačkoliv se to jeví jako problém, není to závada konstrukce.

Pohyb Slunce po obloze je omezen obratníkem raka a kozoroha, mezi kterými putuje během roku, během jednoho dne se úhel v deklinační ose nezmění, mírně se mění každý den a pohybuje se krávkou od jednoho obratníku k druhému, tedy přibližně o $\pm 30^\circ$. Tomu právě odpovídá možnost natočení modelu montáže dalekohledu.



Rektascenze (druhá osa) běží tak, jak se pozorovaný objekt (Slunce) pohybuje během dne, proto na ní jsou kladeny vysoké nároky ohledně přesnosti.

Pro pozorování zatmění Slunce je to časový úsek maximálně pouze 7 minut a 31 sekund, což odpovídá natočení $\pm 0,94^\circ$.

Při konstrukci rámu je nutno nejprve vyrobit jednu polovinu rámu, dvě ramena na sebe kolmá, obrábění je provedeno na jedno upnutí, aby mezi dosedacími plochami pro připevnění otáčecích mechanismů byl přesně pravý úhel. Poté se přimontuje druhá polovina rámu, která již není tak choulostivá na přesnost.

3.2. Pointační mechanismus

V rámci realizace projektu byl navržen a vyroben hlavní pohon bez uchycení k motoru rámu. Jirsová [1] optimalizovala a realizovala pointační mechanismus.

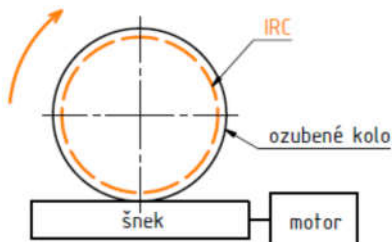
Dalekohled má umožňovat tři režimy práce:

- Základní hodinový pohyb
- Základní pohyb s možností pointace
- Režim fotografování zatmění

Základní hodinový pohyb

V tomto režimu se mechanismus otáčí jednou za dobu hvězdného dne, ten trvá 23 hodin, 56 minut a 4,1 sekundy. Polohování se musí provádět přesně, proto se otáčky motoru musí regulovat podle zpětné vazby z inkrementálního čidla.

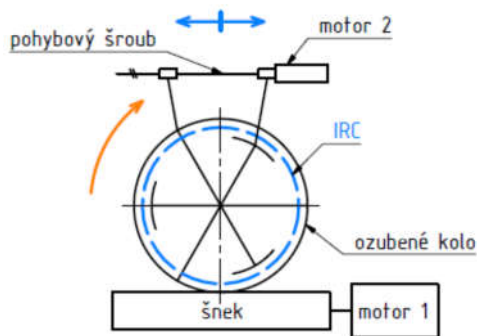
Využívá se pouze hlavní pohon, je určený k běžnému pozorování. Schéma pohonu viz Obr. 26.



Obr. 26: Schéma pohonu v základním režimu s využitím inkrementálního rotačního čidla, obrázek převzat z [1]

Základní pohyb s možností pointace

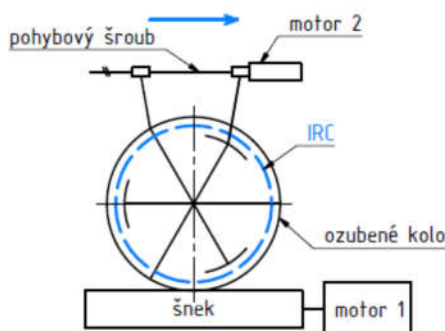
Základní pohyb dalekohledu zde udává hlavní pohon, pointace je řešena pointačním členem, který navrhla Jirsová [1]. Díky tomuto je otáčení pohonu obohaceno o zpětnovazebné řízení, díky čemuž je pozorovaný objekt přesně zaměřen a nepřesnosti v chodu hlavního pohonu jsou korigovány. Schéma pohonu s možností pointace viz Obr. 27.



Obr. 27: Schéma pohonu s možností pointace, obrázek převzat z [1]

Režim fotografování zatmění

Pointační člen zajišťuje plynulejší a přesnější chod než hlavní pohon, protože je konstruován za použití bezvúlových prvků a s nízkými pasivními odpory. Při pozorování zatmění Slunce je proto hlavní pohon vypnutý, šnek zablokovaný a k pohybu se užívá pouze pointační systém. Schéma viz Obr. 28. Inkrementální rotační čidlo slouží k přenášení informace o zpětné vazbě.



Obr. 28: Schéma pohonu v režimu fotografování zatmění, obrázek převzat z [1]

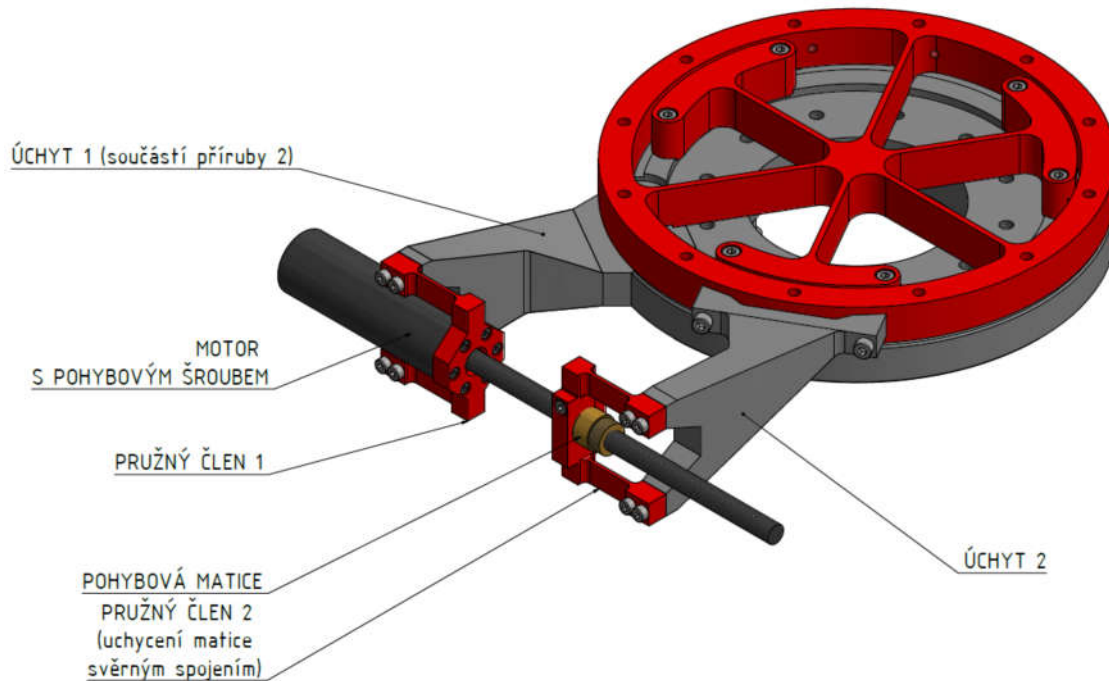
Maximální trvání zatmění Slunce je 7 minut a 31 sekund, během této doby se Země vůči Slunci natočí o $1,88^\circ$.

Pointační člen má optimální přesnost $0,5''$ po dobu trvání zatmění Slunce. Je tak zajištěno snadné skládání snímků v počítači bez nutnosti je sesazovat matematicky.

Pointační člen, který sestavila Jirsová [1] je na Obr. 29. Pohybovým šroubem se přibližují a oddalují planžetové členy, popsané jako pružný člen 1 a pružný člen 1 (všechny pružné elementy jsou v obrázku znázorněny červenou barvou). Těmito pružnými členy je

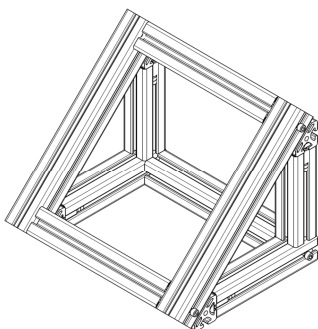
pohybováno úchyty 1 a 2. Úchyt 1 je součástí příruby. Ta je spojena s kotvičkami šestipaprskového kloubu.

Druhý úchyt je připevněn k obvodu šestipaprskového kloubu. Když se matice po šroubu posouvá, celý mechanismus se natáčí.



Obr. 29: Pointační mechanismus, obrázek převzat z [1]

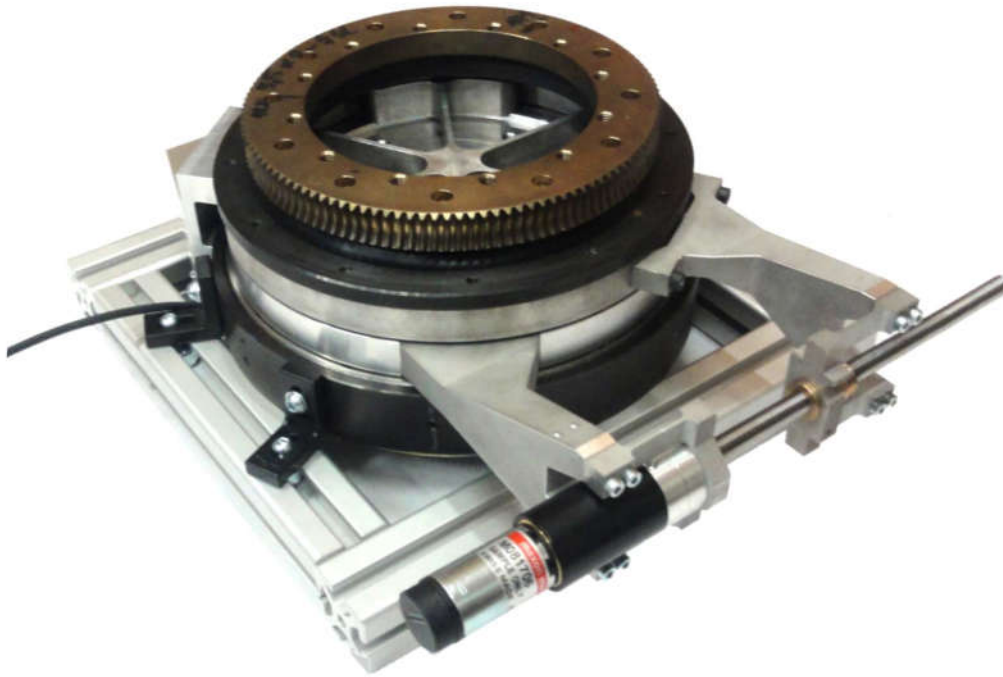
Dále pro měření vlastností mechanismu byl vyroben rám z profilů firmy Haberkorn. Jedná se o stavebnicové hliníkové profily.



Obr. 30: Rám pro měření, obrázek převzat z [1]

V rámci této práce byl mechanismus zjednodušen, natáčení šnekem bylo nahrazeno manuálním natáčením, které se po nastavení zablokuje svěrnou objímkou. Jemné nastavování je nadále prováděno pohybovým šroubem.

Celá konstrukce byla oproti původnímu mechanismu (Obr. 31) odlehčena a zjednodušena. Díky tomu došlo ke značnému zlehčení konstrukce, o což jde především.



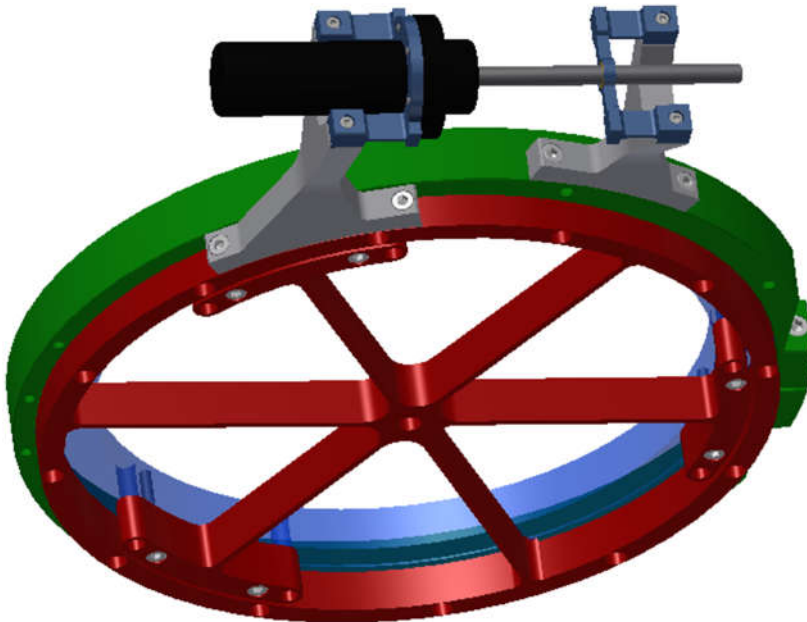
Obr. 31: Hodinová osa s pointačním mechanismem, obrázek převzat z [1]

Nový mechanismus je velice zjednodušený a odlehčený. Počítá se s využitím tohoto mechanismu na obou osách montáže dalekohledu, které jsou vidět v modelu na Obr. 23.

3.3. Nový mechanismus

První upravená verze (Obr. 32) byla významně odlehčená. Bylo odebráno šnekové kolo a také přesné ložisko, čímž se výrazně snížila váha. Hrubé pootáčení pomocí šnekového kola bylo nahrazeno ručním, ložisko tak již nebylo potřeba a jeho funkci nahradí přesně obrobené funkční plochy. Všechny součásti byly odlehčeny. Na kloubu přibyl otvor ve středu pro snazší manipulaci a možnosti vložení středového kolíčku, který při hrubém natáčení jistí mechanismus proti vypadnutí z rámu. Dále přibýly otvory pro kolíčky k ustavení polohy

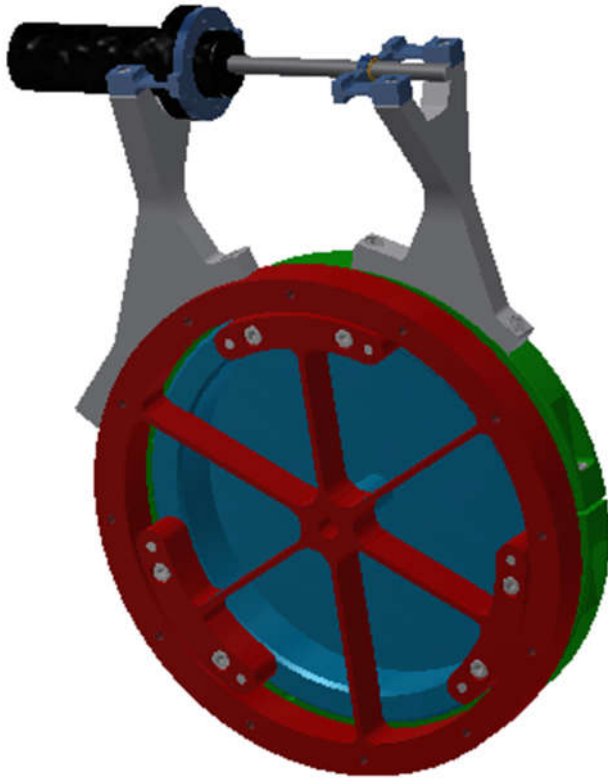
Jemné nastavování je i nadále prováděno pomocí pohybového šroubu, jak navrhla Jirsová [1], došlo jen k malým úpravám pro novou aplikaci.



Obr. 32: Nový mechanismus, verze 1

Druhá verze mechanismu (Obr. 33) se od první liší postupem montáže šestipaprskového kloubu k rámu. V předchozí aplikaci byly závity pro šrouby v rámu, což ztěžovalo postup montáže. Nyní jsou závity umístěny v kloubu. Na funkčnosti to nic nemění, jen bude montáž příjemnější.

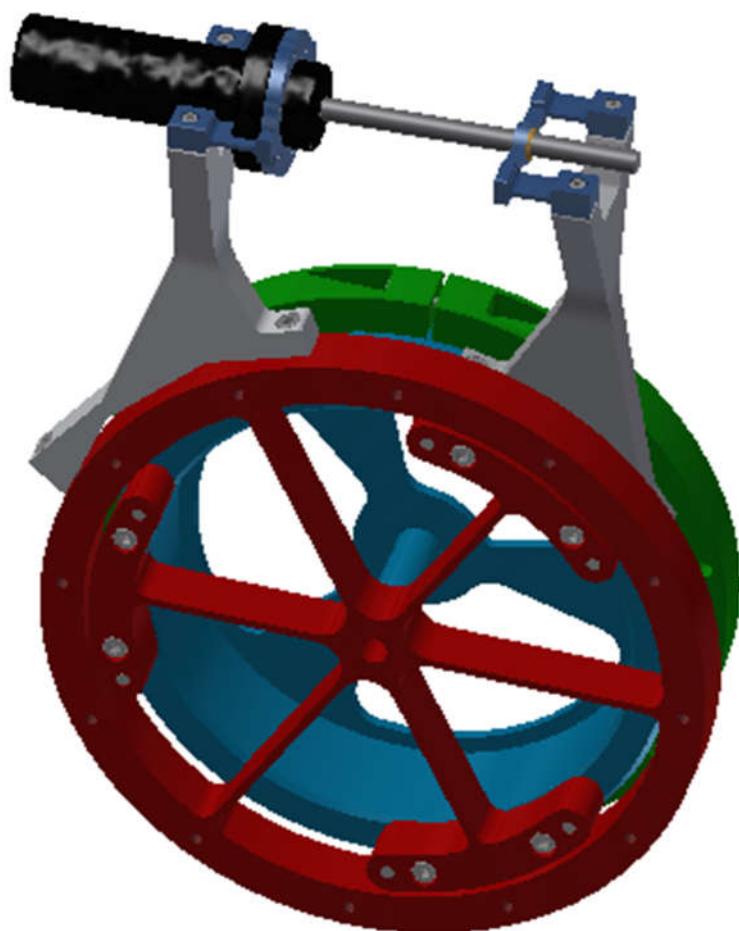
Dále k prstenci přibyl otvor pro kolík jako je v šestipaprskovém kloubu. Díky tomuto se při otevřené objímce otáčení mechanismem zabrání nežádoucímu vypadnutí mechanismu z objímky.



Obr. 33: Nový mechanismus, verze 2

Třetí verze (Obr. 34) přináší snazší montáž úchytů motoru a pohybové matice. Dále byl úchyt matice přemístěn z objímky na prstenec, jelikož by umístění na svěrné objímce ztěžovalo či znemožňovalo funkci mechanismu.

Z toho důvodu byl prstenec prodloužen, ačkoliv to znamená i zvětšení váhy. Ovšem prstenec byl odlehčen, což váhový přírůstek o něco sníží.



Obr. 34: Nový mechanismus, verze 3

Mechanismus se skládá z šestipaprskového kloubu (viz Obr. 35), jehož rozměry zůstaly nezměněny, přibyl otvor ve středu, kterým půjde kolík pro přichycení mechanismu k rámu, aby nevytáhl při hrubém nastavování polohy. Dále přibyl na kotvičkách otvory pro kolíky k ustavení polohy před šroubováním. Toto se ukázalo jako dost praktické, neboť správné ustavení kloubu bylo relativně pracné.

Na prstenci kloubu budou oproti předešlým verzím otvory se závitem pro jednodušší montáž.



Obr. 35: Nový šestipaprskový kloub

Dále budou v obvodu dva otvory se závitem pro umístění úchytu motoru, ty budou vyvrtány až při montáži pro přesné ustavení. Tady bylo potřeba dbát na to, aby se otvor nekřížil s otvorem v obvodu, z hlediska nemožnosti montáže, nebo nebyl příliš blízko a nezpůsobil přílišné zeslabení materiálu.



Obr. 36: Prstenec

Další částí konstrukce je prstenec (Obr. 36) sloužící k přimontování kotviček šestipaprskového kloubu. Vnější obvod prstence je umístěn ve svěrné objímce (Obr. 37), ve které se může otáčet, dokud není objímka zajištěna.

V prstenci přibyl oproti verzi 1 dno, pro zpevnění konstrukce a možnost umístění otvoru pro kolíček, viz výše.

Oproti verzi 2 přibylo u verze 3 odlehčení, což sníží váhu a zároveň usnadňuje manipulaci s mechanismem.



Obr. 37: Svěrná objímka

Objímka je mírně excentrická, aby v místě pro svěrný šroub byla dostatečně široká a nedošlo k přílišnému zeslabení materiálu.

Naproti svěrnému šroubu jsou v objímce umístěny tři přesné díry pro šrouby pro ustavení. Další otvory v objímce mají o něco větší průměr, aby bylo možné pohodlně objímku rozevřít a zase sevřít, bez nutnosti náročné manipulace.

Dále budou v obvodu objímky otvory se závitem pro přišroubování úchytu pohybového šroubu, které se budou vrtat až oři montáži pro přesné ustavení. Zde bylo taktéž nutné dbát na to, aby nedošlo k protínání otvorů na sebe kolmých, či jejich přílišnému přiblížení.

V aplikaci Jirsové [1] byl úchyt motoru přimontován k přírubě a to svěrným spojem pro zvýšení tuhosti. Zde není možné aplikovat spojení svěrným spojem z důvodu příliš tenkých stěn objímky i šestiosého kloubu, proto je voleno spojení šroubovým spojem u obou.

Z důvodu přesnosti se jeví jako ideální vrtat otvory pro šrouby v objímce i kloubu až při montáži.



Obr. 38: Úchyt motoru

Úchyty matice (viz Obr. 39) a motoru (Obr. 38) jsou oba přimontovány šroubovým spojením. Při konstrukci bylo nutné dbát na to, aby místa pro pohybový šroub byla v jedné ose, jelikož úchyty jsou spodní částí přimontovány každý k jiné součásti (k šestipaprskovému kloubu a k prstenci), tedy jsou vyosené.

Na obrázcích je patrné, že úchyty mají horní vidlici nesouměrnou, právě proto, aby se ve středu seděly naproti sobě, viz Obr. 33.



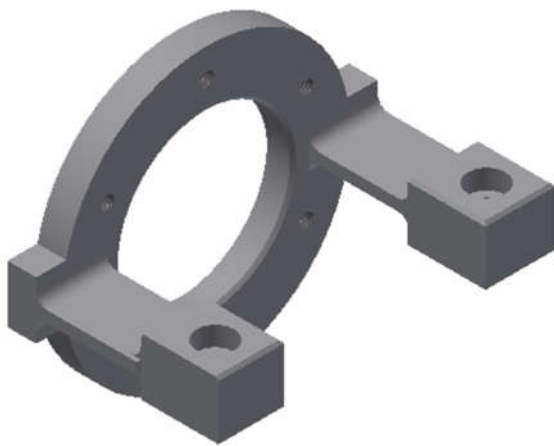
Obr. 39: Úchyt pohybové matice

Dosedání na válcovou plochu je vyřešeno dvěma tečnými plochami, otvory budou vyráběny až při montáži.

Na úchytech jsou přimontovány planžetové členy, držák motoru (Obr. 40) a držák matice (Obr. 41), oba jsou planžetové z toho důvodu, že při pohybu mechanismu dochází ke změně úhlu mezi úchyty šroubu a motoru, tedy by docházelo k ohybu šroubu a zamezení jeho funkce. Pružné planžety se tomuto přizpůsobí a zároveň pomáhají vymezit vůli mezi pohybovým šroubem a maticí.

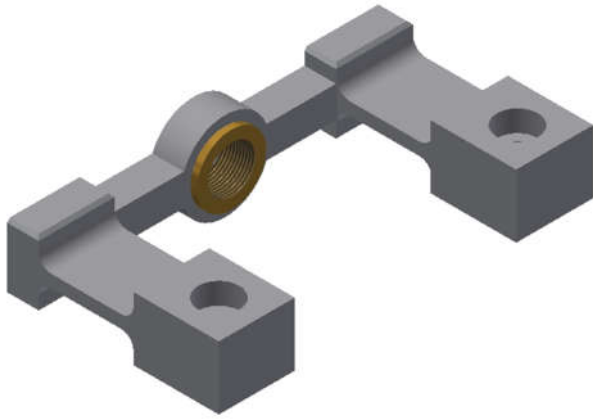
V předchozím provedení byly držáky pro svou tvarovou složitost vyráběny pomocí elektrojiskrového obrábění. Jelikož jsou při něm téměř zanedbatelné řezné síly, které umožňují výrobu součástek se slabými stěnami. Jeví se to jako nejvhodnější provedení, neboť nedochází k nežádoucím deformacím a vnitřnímu napětí vnesených výrobním postupem.

Funkceschopnost součástek byla potvrzena předcházejícími experimenty v práci Jirsově [1].



Obr. 40: Držák motoru

V držáku šroubu je zalisovaná pohybová matice, materiál matice je vhodné volit s ohledem na třecí vlastnosti, jako ideální se jeví bronz.



Obr. 41: Držák šroubu

4. Praktická část

Miroslava Jirsová ve své práci [1] prováděla experimenty pro zjištění vlastností funkce šestiosého kloubu. V rámci této diplomové práce byl uskutečněn experiment, kterým byly doplněny experimenty Jirsové, cílem bylo ověřit či vyvrátit její výsledky, jelikož množství experimentů bylo nedostatečné k relevantním výsledkům, k ověření je potřeba více měření. Jedná se tedy o kontrolní proces, kterým se zvýší pravdivost popisu funkce šestiosého kloubu.

Na rozdíl od Jirsové byl tento experiment prováděn na velmi syrové konstrukci, byly odebrány prvky zanášející nepřesnosti. Byl vyřazen vliv ložiska a odmontován pohybový šroub.

4.1. Měření

Experiment byl proveden následovně:

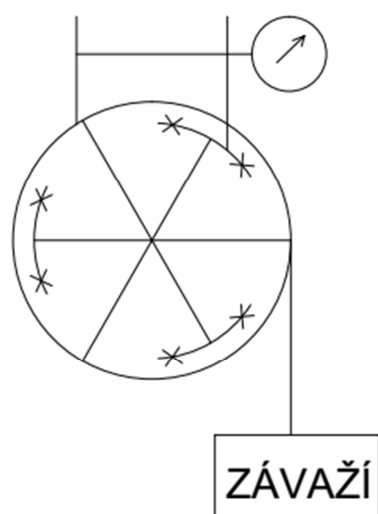
a) Byl zablokován prstenec spojený s vnitřní soustavou (kotviček pružného kloubu) tím se vyřadil z měřených parametrů účinek pasivního odporu přesného předepnutého ložiska SKF, který může výrazně měření ovlivnit.

b) K měření deformace bylo použito mechanického měřidla (číselníkový úchylkoměr) jehož přesnost 0,01mm je k měření potřebného parametru postačující. Pouze bylo nutno respektovat a při vyhodnocení výsledků vzít v úvahu příčný posuv mechanického kontaktu po dosedací ploše.

c) K zatěžování kloubu byla použita nádoba, do níž byla dolévána po sklenicích voda, hmotnost závaží byla kontrolována běžnými obchodními vahami. Následně bylo k zatěžování užito závaží po přibližně 3,5kg, hmotnost byla kontrolována.

Uspořádání experimentu je na Obr. 43., schematické znázornění na Obr. 42. Během měření byl zablokován pohyb vnitřního prstence kloubu s kotvičkami, tím i jeden z úchytů (ke kterému byl před tím připevněn pohybový šroub). Ke statickému úchytu byl připevněn číselníkový úchylkoměr, který se dotýkal druhého úchytu spojeného s vnějším prstencem. K tomuto bylo připevněno závaží, které natáčelo vnější kroužek vůči vnitřnímu, tím i

pohyblivý úchyt vůči statickému. Rozdíl vzdáleností byl zaznamenáván číselníkovým úchylkoměrem.



Obr. 42: Schéma experimentu



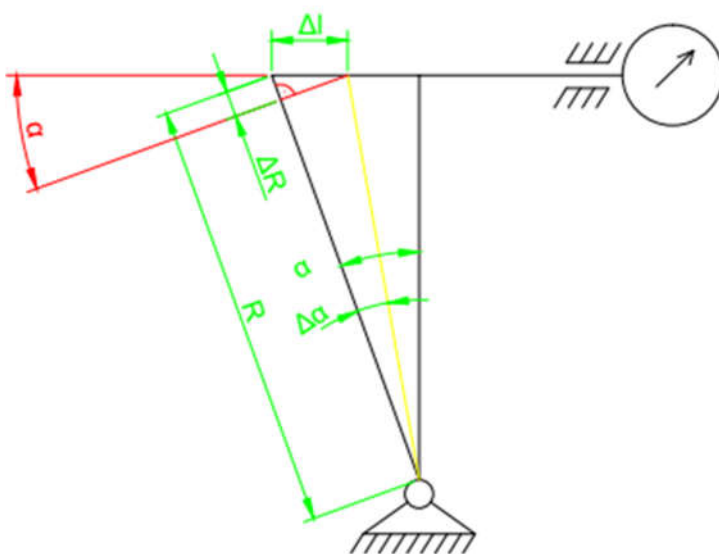
Obr. 43: Uspořádání měření

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 1.

zatížení [g]	výchylka [0.01mm]
0	0
475	10.4
814	19.4
1148	29
1463	39.2
1803	48.8
2153	61.5
2455	71.1
2766	80.2
2990	87.4
3650	113.9
7160	224
10690	335

Tab. 1: Naměřené hodnoty

Pro další výpočty je vhodné přepočítat naměřené úchylky na změnu úhlu šestiosého kloubu. Pomocné schéma pro výpočet je na Obr. 44. Pro lepší orientaci je detail trojúhelníku na Obr. 45.



Obr. 44: Schéma měření pro přepočet úchylky na úhel

Předpokládejme, že ΔR je zanedbatelné, potom $R - \Delta R = R$

Délka červené úsečky, která je na Obr. 45 značená jako Δx , by se potom vypočítala:

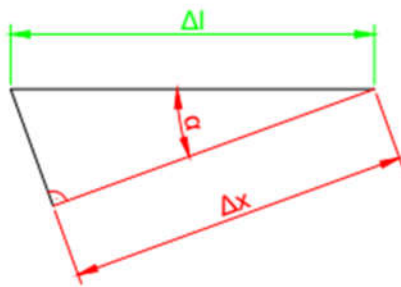
$$\sin \Delta \alpha = \frac{\Delta x}{R}$$

$$\Delta x = \sin \Delta \alpha \cdot R$$

Jelikož je úhel $\Delta \alpha$ velmi malý, platí, že $\sin \Delta \alpha \approx \Delta \alpha$. Potom

$$\Delta x = \Delta \alpha \cdot R$$

$$\Delta \alpha = \frac{\Delta x}{R}$$



Obr. 45: Detail trojúhelníku

Z Obr. 45 vyplývá, že

$$\cos \alpha = \frac{\Delta x}{\Delta l}$$

$$\Delta x = \cos \alpha \cdot \Delta l$$

V tomto případě $\alpha = 17^\circ$

Z čehož plyne, že

$$\Delta x = \cos 17^\circ \cdot \Delta l$$

Potom platí, že

$$\Delta\alpha = \frac{\cos 17^\circ \cdot \Delta l}{R}$$

$\Delta\alpha$ Rameno R bylo změřeno R=188mm

$$\Delta\alpha = \frac{\cos 17^\circ \cdot \Delta l}{0,188}$$

Z toho byla vypočtena změna úhlu $\Delta\alpha$ v radiánech, viz Tab. 2.

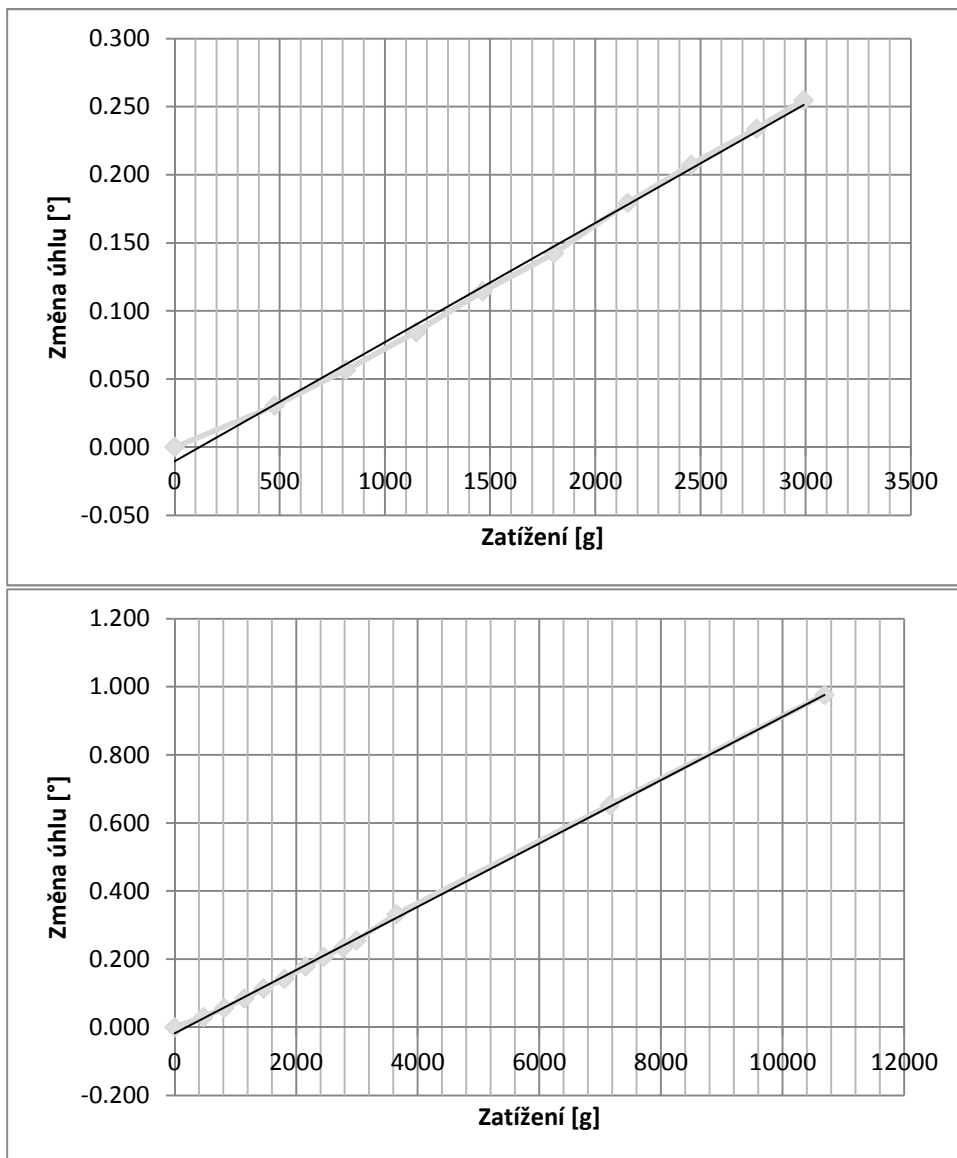
zatížení [g]	výchylka [mm]	změna úhlu [10^{-4} rad]	změna úhlu [°]
0	0	0	0
475	0.104	5.29	0.030
814	0.194	9.87	0.057
1148	0.29	14.75	0.085
1463	0.392	19.94	0.114
1803	0.488	24.82	0.142
2153	0.615	31.28	0.179
2455	0.711	36.17	0.207
2766	0.802	40.80	0.234
2990	0.874	44.46	0.255
3650	1.139	57.94	0.332
7160	2.24	113.94	0.653
10690	3.35	170.40	0.976

Tab. 2: Změna úhlu $\Delta\alpha$

Z naměřených hodnot byl sestaven graf, viz Graf 1. Na tomto jsou vypočítané modré body spojené modrou čarou, jak je vidět, průběh je téměř lineární.

Pro lepší patrnost je křivka proložena lineární úsečkou v černé barvě. Protože mezi poslední měření byla prováděna přidáváním zátěže s větším odstupňováním, uváděny budou vždy dva

grafy, do zátěže 2990g a následně až do zátěže 10690g, jelikož na druhém grafu následkem zahuštění bodů není dobře viditelný průběh křivky.



Graf 1: Závislost změny úhlu na zatížení

4.2. Velikost direktivního momentu

Během měření byly potlačeny parazitní vlivy ostatních konstrukčních prvků na šestipaprskový kloub, tedy byly měřeny vlastnosti pouze kloubu bez zanesených nepřesností.

Síla, která na kloub působí (viz Obr. 46), vyvozuje moment. Tento moment je roven direktivnímu momentu.

Moment, který vyvozuje závaží na šestipaprskovém kloubu, je roven součinu tíhy a poloměru

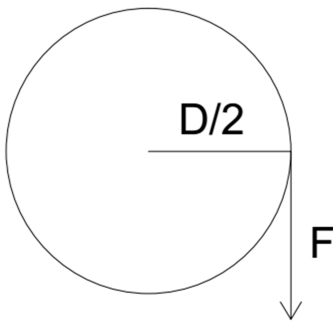
$$\text{kloubu } M = m \cdot g \cdot \frac{D}{2} = m \cdot 9,81 \cdot \frac{0,232}{2}, \text{ kde}$$

M moment [Nm]

m hmotnost závaží [kg]

g tíhové zrychlení [m^{-2}]

D průměr šestipaprskového kloubu [m]

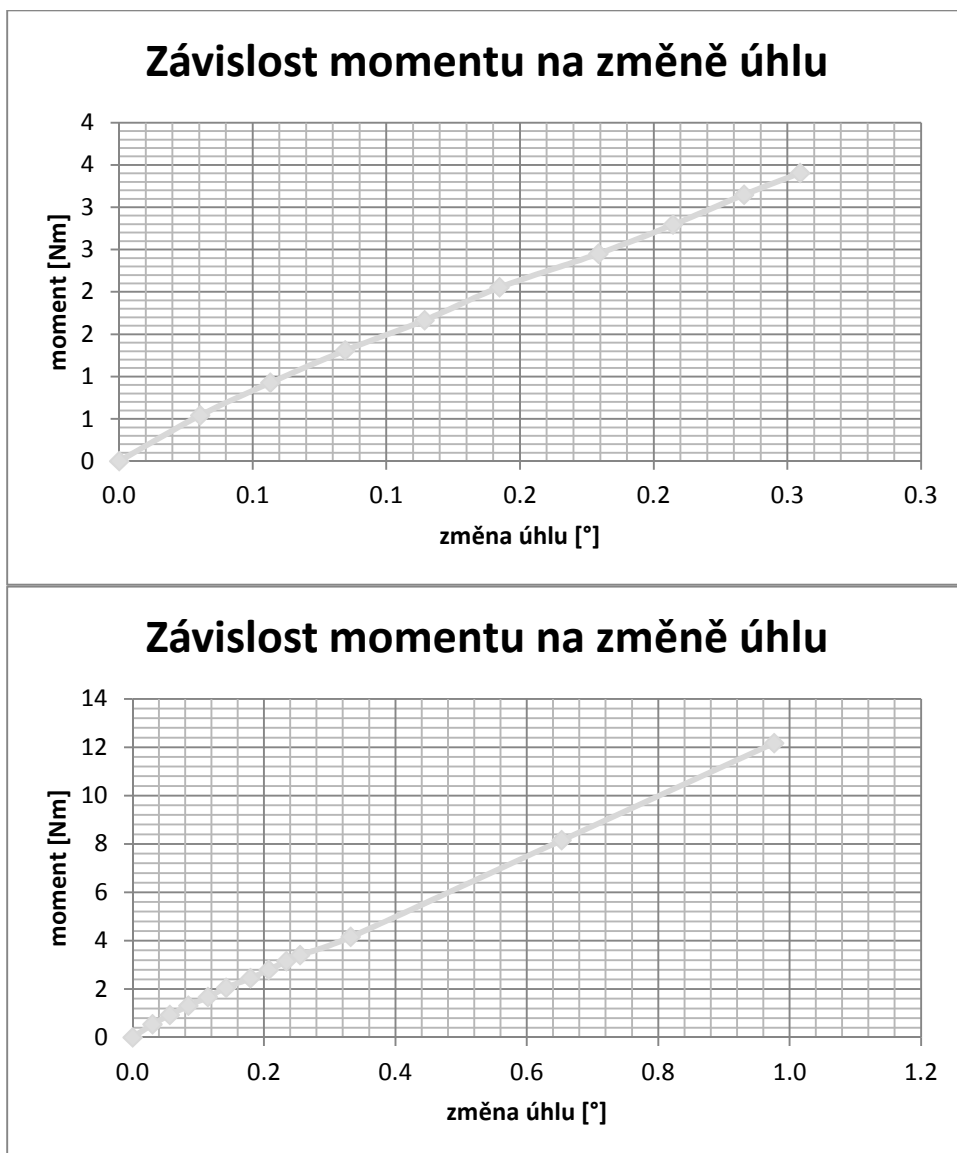


Obr. 46: Výpočet momentu

V Tab. 3. je velikost momentu v závislosti na změně úhlu. Graf 2 tuto závislost zobrazuje graficky.

zatížení [N]	moment [Nm]	změna úhlu [°]
0.00	0.00	0.000
4.66	0.54	0.030
7.99	0.93	0.057
11.26	1.31	0.085
14.35	1.66	0.114
17.69	2.05	0.142
21.12	2.45	0.179
24.08	2.79	0.207
27.13	3.15	0.234
29.33	3.40	0.255
35.81	4.15	0.332
70.24	8.15	0.653
104.87	12.16	0.976

Tab. 3: Velikost momentu v závislosti na změně úhlu



Graf 2: Závislost momentu na změně úhlu

4.3. Poddajnost

Z naměřených hodnot je možné určit poddajnost šestiosého kloubu. V tomto případě bude

vypočtena jako $\frac{1}{k} = \frac{\Delta\alpha}{M_k}$, kde

$\frac{1}{k}$ je poddajnost (převrácená hodnota tuhosti) v jednotkách [rad/Nm]

$\Delta\alpha$ je změna úhlu v radiánech

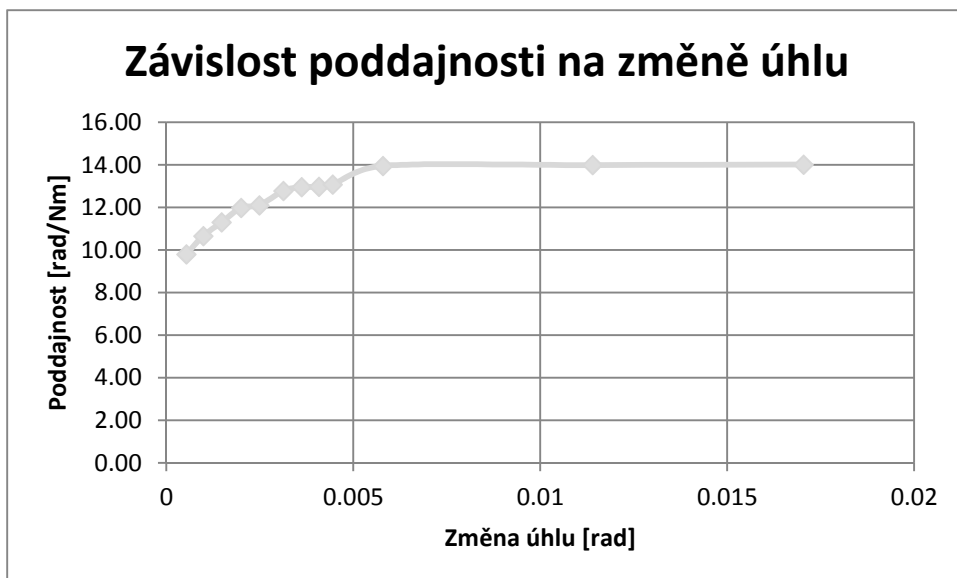
M_k je krouticí moment v Nm

Pro vypočtené $\Delta\alpha$ vychází poddajnost dle Tab. 4.

změna úhlu [10^{-4} rad]	moment [Nm]	poddajnost [10^{-4} rad·(Nm) $^{-1}$]
0.00	0.00	-
5.29	0.54	9.79
9.87	0.93	10.65
14.75	1.31	11.29
19.94	1.66	11.98
24.82	2.05	12.10
31.28	2.45	12.77
36.17	2.79	12.95
40.80	3.15	12.96
44.46	3.40	13.07
57.94	4.15	13.95
113.94	8.15	13.98
170.40	12.16	14.01

Tab. 4: Poddajnost

Poddajnost vychází od hodnoty $9,79 \cdot 10^{-4}$ rad/Nm do $14,01 \cdot 10^{-4}$ rad/Nm, Graf 3 uvádí závislost poddajnosti na změně úhlu. Z toho je patrné, že při velkých zátěžích je poddajnost ustálila na hodnotě přibližně $14 \cdot 10^{-4}$ rad/Nm.



Graf 3: Závislost poddajnosti na změně úhlu

4.4. Pracovní rozsah

Úplné zatmění Slunce trvá maximálně 7 minut a 31 vteřin. Natočení kloubu odpovídá úhlu, který za dobu pozorování urazí Slunce.

Výpočet úhlu, který za čas urazí Slunce, se vypočítá velmi jednoduše.

$$24 \text{ hodin} \dots 360^\circ$$

$$1 \text{ hodina} \dots \frac{360^\circ}{24} = 15^\circ$$

$$1 \text{ minuta} \dots \frac{15^\circ}{60} = 0,25^\circ$$

$$7,5 \text{ minuty} \dots 7,5 \cdot 0,25 = 1,87^\circ$$

Tedy za 7minut a 31 vteřin je to asi $1,87^\circ$, tedy $\pm 0,94^\circ$.

Během experimentu byl kloub zatěžován až do pootočení přibližně $0,98^\circ$ a zařízení fungovalo bez problémů. Tomuto zatížení odpovídá krouticí moment $12,16\text{Nm}$.

4.5. Dovolené namáhání

Stávající šestipaprskový kloub je vyrobený z duralu, což je atypický materiál pro výrobu pružného prvku. Je ale schopen poskytnout pootočení dostačující pro pozorování slunečního zatmění, což činí $\pm 1^\circ$.

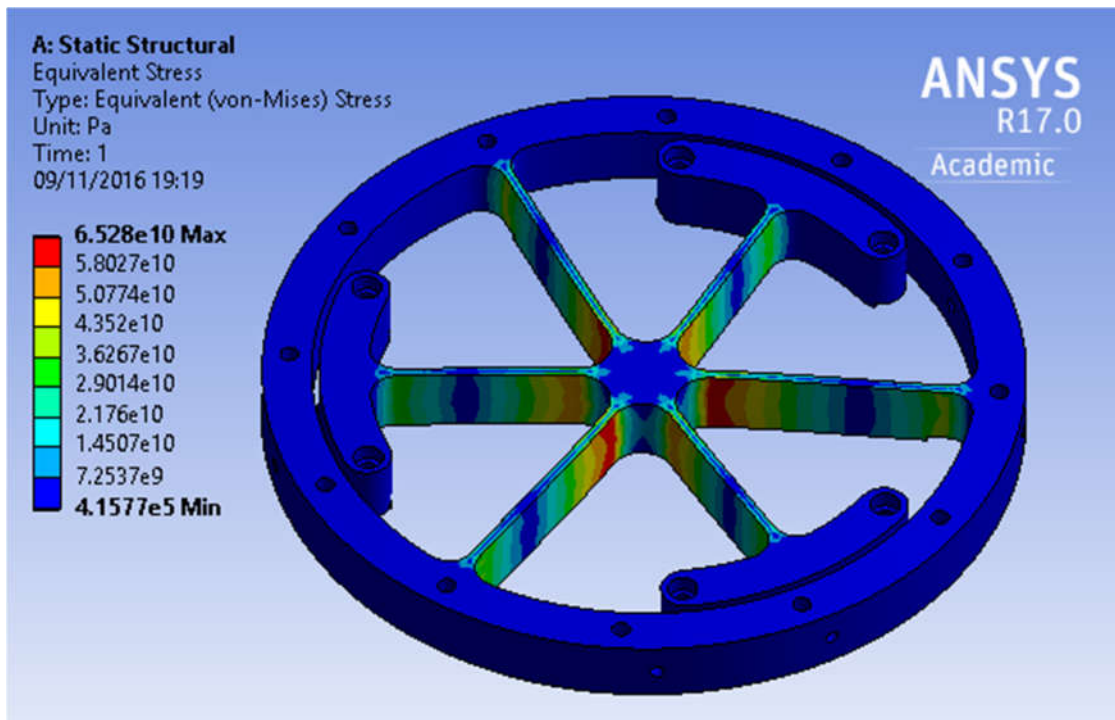
Kloub je také používán pro uložení escheletovy mřížky na spektrografu v ondřejovské hvězdárně.

Maximální možná doba zatmění Slunce činí asi 7 minut a 31 vteřin. K pozorování Slunce po tuto dobu je potřeba natáčet hodinovou osu, aby bylo Slunce stále v objektivu i při jeho zdánlivém pohybu po obloze. Potřebné natočení pro sledování v délce asi 7,5 časové minuty je potřeba natočení přibližně $1,88^\circ$, což odpovídá $\pm 0,94^\circ$, tedy necelý $\pm 1^\circ$.

Pevnostní výpočet uvádí ve své práci [1] Jirsová. Vlastnosti kloubu byly analyzovány v programu ANSYS. Pro pootočení o 1° je potřeba překonat moment asi 9,78Nm.

Dle experimentu prováděného v této práci vychází přibližně stejné momentové zatížení se stejným natočením kloubu, jako Jirsová.

Na Obr. 47 je znázorněno napětí na šestipaprskovém kloubu při zatížení 9,78Nm. Dle toho je kloub nejvíce namáhán na planžetách mezi objímkou a středem, v místě, kde se ke středu připojují. Dále pak na stejném místě planžety vedoucí ke kotvičkám, ovšem méně.



Obr. 47: Rozložení napětí šestipaprskového kloubu při natočení 1°, obrázek převzat z [1]

Největší napětí dosahuje 65,28MPa.

U tohoto kloubu nastává problém, že nejsou přesně známy mechanické vlastnosti daného materiálu. Údajně se jedná o letecký dural, kde se mez kluzu pohybuje v rozmezí mezi 260 a 430MPa. Mez únavy potom mezi 100 až 140MPa.

Potom je zatížení při natočení 1° hluboko v bezpečné oblasti namáhání, tedy by bylo možné provádět natočení i větší.

Při natočení 2° by napětí dosáhlo 130MPa a direkční moment 19,6Nm, kde by mohla být překročena mez únavy, a bylo by nutné sledovat životnost kloubu.

Během experimentu došlo k zatěžování kloubu přibližně o 1° a šestipaprskový kloub zatížení bez problémů vydržel.

5. Závěr

- 1) Dosažené experimentální výsledky ukazují shodu s výsledky, které byly dosaženy v práci Ing. Mgr. Jirsové. Jedná se zejména o to, že v uvažovaném rozsahu $\pm 1^\circ$ je deformační charakteristika lineární a to i pro konkrétní atypický případ použití duralu jako materiálu pro pružný prvek.
- 2) Zmíněný pracovní interval $\pm 1^\circ$ odpovídá možnému natáčení systému o 7,5 časových minut, což pokrývá maximální dobu trvání totality.
- 3) Návrh a aplikace předmětného kloubu se odehrává ve víceparametrickém prostoru (zatížení kloubu, pohonná jednotka, deformace paprsků, geometrie celého systému atd.) a souborem doposud vykonaných měření byla získána data, která slouží ke kvalifikovanému odhadu kloubu pro definitivní použití ve speciální astronomické montáži.
- 4) Bylo navrženo zjednodušení stávajícího pohonného mechanismu, výkresy jsou přiloženy k diplomové práci.
- 5) Jako montáž se jeví vhodná anglická rámová montáž, která bez problémů dovoluje pozorování v rozsahu $\pm 30^\circ$ od světového rovníku.
- 6) Při volbě materiálu bude nutné respektovat následující vlastnosti konstrukce. Je nutné vycházet z toho, že podle prapůvodního zadání se počítá s prací v rozsahu zeměpisných šířek $\pm 80^\circ$, takže se musí vzít do úvahy velký rozsah pracovních teplot a nejrůznější klimatické podmínky, vlhkost vzduchu, korozní účinek mořské vody, prašnost a mnohé další, z toho důvodu bude montáž navržena z nerezové oceli a podstavec, který bude pro jedno použití, bude vyroben z materiálu běžné jakosti.
- 7) Přímo pro konstrukci kloubů se navrhuje použití buď pružinové oceli s potřebnou antikorozi povrchovou úpravou (například chromování) a nebo fosforbronz, který by povrchovou úpravu nevyžadoval.
- 8) Málo obvyklý požadavek souvisí s místem pozorování, protože zmíněné místo může být těžko přístupné bez možnosti dopravy. Kvůli tomu musí být celý přístroj snadno demontovatelný a smontovatelný, aby jednotlivé díly byly přenosné (hmotnost do 50kg) a dobře uchopitelné. Je možno předpokládat, že při konstrukci dalekohledu bude použito konstrukčních postupů a technologií, které jsou charakteristické pro letecké, respektive kosmické aplikace (minimalizace hmotnosti a co nejlepší využití materiálu pro dosažení velké tuhosti).

Předložená diplomová práce přinesla poslední výsledky nutné k tomu, aby se optimalizovala definitivní konstrukce přístroje. Teprve při realizaci celého zařízení se objeví další problémy, které bude nutno řešit operativně v průběhu výroby.

Zdroje

- [1] JIRSOVÁ, M. Pohonná jednotka astronomického dalekohledu. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Fakulta strojní.
- [2] DANIŠ, S., 2017. Perly a přilbice. Pohled na zatmění Slunce, jak jste ho ještě neviděli [online]. BĚLÍK, M. Technet, 13.10.2017 [10.11.2017]. Dostupné z: https://technet.idnes.cz/zatmeni-slunce-usa-0ad-/veda.aspx?c=A171012_103539_veda_mla
- [3] HORÁLEK, P. Zatmění Slunce. A jejich přehled mezi lety 1971 a 2060 [online]. Astro [10.11.2017]. Dostupné z: <http://www.astro.cz/na-obloze/slunce/zatmeni-slunce.html#ctyri-druhy>
- [4] JUŘÍK, Z. Astrologie především v obrazech. Astrology Pacific [14.1.2018]. Dostupné z: http://astrolot.cz/a_v_obrazech/4astro_v_obrazech.html
- [5] ŘEHOŘ, Z. Základy optických přístrojů 4. Montáže [online]. 2013. Posec, 6.6.2013 [20.11.2017]. Dostupné z: <http://posec.astro.cz/index.php/clanky/teorie/21-optbasic/28-zaklady-optickyh-pristroju-montaze>
- [6] ŠESTÁK, D. Montáž speciálního dalekohledu pro pozorování slunečních zatmění. Praha, 2007. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Fakulta strojní.
- [7] FARHADI MACHEKPOSTHTI D., TOLOU N., HERDER J. L. A Review on Compliant Joints and Rigid-Body Constant Velocity Universal Joints Toward the Design of Compliant Homokinetic Couplings. Journal of Mechanical Design. 2015.
- [8] GLÉZL, Š., KAMARÁD, J., SLIMÁK, I. Presná mechanika, Bratislava: Alfa, 1992.
- [9] ZICHA, J. NĚMCOVÁ, Š., HOŠEK, J. Dějiny poznávání vesmíru (přednáška). Praha. ČVUT v Praze. Fakulta strojní.
- [10] MARŠÍK, J. Pružné klouby a MKP. Praha. ČVUT.