



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH DVOUOSÉHO KYVNÉHO VŘETENÍKU

DESIGN OF A 2-DOF SWINGING HEADSTOCK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Rosecký

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Kočiš

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Michal Rosecký**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce: **Ing. Petr Kočiš**
Akademický rok: 2015/16

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 bakalářské práce:

Návrh dvouosého kyvného vřeteníku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma práce spadá do oblasti obráběcích strojů. Práce bude mít podobu řešení dílčího technického problému, jímž je návrh konstrukce kyvného vřeteníku na CNC frézku.

Cíle bakalářské práce:

- rešerše v oblasti frézovacích hlav a frézek
- konstrukční návrh včetně 3D modelů
- potřebné základní výpočty
- výkres sestavy + výkresy hlavních součástí

Seznam literatury:

MAREK, J. a kol. (2010): Konstrukce CNC obráběcích strojů. MM Speciál. MM publishing, s.r. o, Praha.

MM Průmyslové spektrum, <http://www.mmspektrum.com/uvod.html>, přístup 25. listopadu 2015.

Katalogy a firemní literatura

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce obsahuje přehled frézovacích hlav, konstrukční i elektrický návrh kyvného vřeteníku včetně bezpečnostních a automatizačních prvků a srovnání navrhované konstrukce s typickými frézovacími hlavami.

ABSTRACT

This thesis provides an overview of milling heads , construction and electrical design of the pendulum headstock including security and automation features and a comparison of the proposed construction of a typical milling heads .

KLÍČOVÁ SLOVA

Nevhodné: auto, letadlo, motor. Vhodné: frézování, obrábění, tuhost, mechanismus

KEYWORDS

Unsuitable : auto, aircraft engine . Suitable: milling, machining, stiffness mechanism

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ROSECKÝ, Michal. *Kyvný vřeteník*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2016, Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Kočíš

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji za vřelý přístup a profesionální připomínky Ing. Michalovi Novosedlovi, PhD, prof. Jiřímu Markovi, doc. Ing. Radkovi Knoflíčkovi, Dr. , Ing. Pavlovi Sobotkovi a Ing. Petrovi Kočišovi

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petra Kočiše a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně **dne 10.4.2016**

.....
Rosecký Michal

OBSAH

1	ÚVOD.....	13
2	MOTIVACE	15
3	PŘEHLED POUŽÍVANÝCH TYPŮ FRÉZOVACÍCH HLAV	17
4	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....	25
4.1	ULOŽENÍ TĚLA	26
4.2	KONSTRUKCE VŘETENÍKU.....	27
4.3	VŘETENO	
4.3.1	ULOŽENÍ VE VŘETENÍKU.....	28
4.3.2	CHLAZENÍ	29
4.4	UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ.....	31
4.5	KÝVACÍ MECHANISMUS	
4.5.1	PROVEDENÍ.....	33
4.5.2	VARIANTY.....	34
4.6	POHONY.....	35
4.7	MAZÁNÍ.....	36
4.8	STATICKÁ ZÁKLADNA.....	36
5	ELEKTRICKÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ.....	37
5.1	POHON HORIZONTÁLNÍHO VĚNCE.....	37
5.2	POHON VERTIKÁLNÍHO VĚNCE.....	38
5.3	SYNCHRONIZACE, HARDWARE.....	38
6	KONTROLNÍ A BEZPEČNOSTNÍ PRVKY.....	39
7	POROVNÁNÍ POUŽÍVANÝCH TYPŮ F.H. S NOVOU KONCEPCÍ.....	41
7.1.	TUHOST.....	41
7.2.	PEVNOST.....	41
7.3.	ŽIVOTNOST.....	41
7.4.	SPOLEHLIVOST.....	42
7.5.	PŘESNOST.....	43
7.6.	ENERGETICKÁ NÁROČNOST.....	43

	7.7. NÁROKY NA KVALIFIKACI OBSLUHY	43
	7.8. NÁKLADY NA VÝROBU KYVNÉHO VŘETENÍKU.....	43
	7.9. ÚDRŽBA.....	44
8	ZÁKLADNÍ VÝPOČTOVÉ VZTAHY.....	45
9	NEJVHODNĚJŠÍ VYBRANÉ APLIKACE MECHANISMU.	47
10	ZHODNOCENÍ A DISKUZE.....	49
11	ZÁVĚR.....	50
12	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	51
13	SEZNAM PŘÍLOH	53

1 ÚVOD

Tato práce pojednává o problematice vřeteníku, jež je nedílná součást stroje - frézky, která se používá na obrábění rovinných ploch. Tento proces se nazývá frézování. Tato technologie se v praxi hojně používá, ať už při hrubovacích operacích nebo středně přesného obrábění. V přesné výrobě se frézované plochy z pravidla ještě následně dokončují operacemi, jako např. broušením nebo lapováním. Celkově však mohu konstatovat, že technologie frézování je využívána ve všech oborech výrobních charakterů na celém světě.

Portfolium frézek je velice široké, stejně tak jako počet hledisek, ze kterých můžeme jednotlivé frézky posuzovat. Standartní frézka je schopna obrábět ve třech osách, není to však limit. Běžně se používají ve výrobě šesti osé frézky (3 osy souřadného systému + 3 rotace kolem těchto os) a ani tento počet os není konečný. Moje navrhovaná koncepce disponuje dvěma osami. Třetí osa není v tomto díle řešena, je však předpoklad jejího řešení pomocí notoricky známých kuličkových šroubů, které se dnes při konstrukci obráběcích strojů hojně používají a i já toto považuji za triviální a jasné, proto se řešení zetového posuvu v této práci nezabývám.

Výroba obráběcích strojů je beze sporu velice náročná a složitá. I přes tento fakt si dovoluji zdůraznit několik dominantních faktorů, které při navrhování obráběcího stroje hrají v mých očích klíčovou roli. Hlavní faktor je tuhost stroje. Je to vlastnost stroje odolávat silám, které vznikají při obrábění na nástroji a skrze něj se přenáší vřetenem do rámu stroje. Na velikost těchto deformačních sil mají vliv kromě samotné konstrukce rámu stroje i řezné podmínky. Na tento parametr však hledí zákazníci, kteří chtějí obrábět s jistou přesností za minimální strojní čas.

Pokud chceme obstát na trhu, který je plný silné konkurence, musíme navrhovat spolehlivé stroje, které budou schopné obrábět požadované rozměry polotovarů s danou přesností, co nejvyššími řeznými podmínkami, s nejnižšími energetickými náklady na provoz stroje a snadnou údržbou. V důsledku technického vývoje je v současné době kladen důraz na bezpečnost operátora při práci se strojem a na minimalizování potřebné kvalifikace této obsluhy.

Je jasné, že v reálné výrobě je třeba vždy najít nějaký kompromis mezi těmito ideálními požadavky a reálným stavem. Správné uvážení jednotlivých situací z obou těchto hledisek dělají z konstruktéra vyhledávaného odborníka.

2 MOTIVACE

Primární motivace je dána charakterem této práce. Je však jasné, že vzdělání není jediné hledisko, které rozhoduje o úspěchu či neúspěchu jedince na trhu práce. Vnímám konstruktérskou činnost jako kreativní, což přináší zodpovědnost a požaduje značný um. Pokud není cílem formální sociální výše, ale přínos a realizace nových myšlenek, které přispějí k technickému pokroku a inovacím, je třeba se seznámit s již používanými systémy a principy a následně své poznatky využít k aplikaci do svých vlastních nápadů. Díky znalostem můžeme též zpětně objektivně zhodnotit, zda nová myšlenka má reálný smysl či nikoli. I stavba této práce odpovídá výše uvedenému. Výsledek umocňuje osobní vztah k danému oboru.

3 PŘEHLED POUŽÍVANÝCH TYPŮ FRÉZOVACÍCH HLAV

Na úvod této kapitoly bude konkretizován pojem „frézovací hlava.“ Jedná se o „nástavbu“ na vřeteník. Jak již název kapitoly ukazuje, jsou různé typy hlav. Hlava se nazazuje na konec vřeteníku, většinou mechanicky za podpory pneumatického systému. Každý typ hlavy je vhodný na frézování typických tvarů. Při výběru frézovací hlavy hraje též roli i přístupnost nástroje do místa obrábění. A právě tyto hlediska si následně představíme. Na závěr uvedu tabulku technických parametrů jednotlivých typů hlav. Pro demonstraci jsem vybral současný sortiment TOS VARNSDORF.

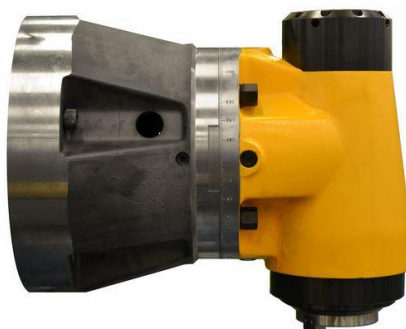
a) HLAVA FRÉZOVACÍ PRAVOÚHLÁ RUČNÍ

Tento typ frézovací hlavy se na vřeteník staví ručně, poloautomaticky i plně automatizovaně. Hlava je schopna rotace kolem osy vřetena, zpevňuje se v dané poloze však ručně dotažením matic. Nástroj se upíná ručně.

Výhody: V porovnání s ostatními typy frézovacích hlav je tato koncepce konstrukčně jednoduchá a i přes nekomfortní ruční zpevňování je tuhá a spolehlivá. Jedná se rovněž zpravidla o jeden z nejlevnějších typů na trhu.

Nevýhody: Tento typ hlavy vyžaduje při jakékoli změně polohy náklonu podporu obsluhy. Je nevhodná pro obrábění v hůře přístupných místech.

Použití: Vzhledem k výše uvedenému je tento typ vhodný na hrubovací operace a na velké obrobky, kde není problematická přístupnost.



obr. 3.1) TYP HPR 50

b) HLAVA FRÉZOVACÍ UNIVERZÁLNÍ RUČNĚ POLOHOVATELNÁ

Tento typ frézovací hlavy se na vřeteník staví ručně, poloautomaticky i plně automatizovaně. Hlava je schopna rotace kolem osy vřetena a rotace v rovině pod úhlem 45° od roviny podlahy. Zpevňuje se v dané poloze ručně dotažením matic. Nástroj se upíná ručně.

Výhody: Díky dvěma rotacím ve dvou nerovnoběžných rovinách je zde možnost nastavit nástroj do velkého množství poloh v pracovním prostoru.

Nevýhody: Dvojitě dělení celistvosti hlavy snižuje její tuhost. Vzhledem k její celkové délce je vhodná pouze na velké tuhé vřeteníky.

Použití: Vzhledem k výše uvedenému je tento typ vhodný na obrábění ploch a vrtání pod úhlem převážně v sériové výrobě.



obr. 3.2) TYP HUR 50

c) HLAVA FRÉZOVACÍ UNIVERZÁLNÍ AUTOMATICKY INDEXOVANÁ

Tento typ frézovací hlavy se na vřeteník staví automaticky kvůli softwarové vazbě. Hlava je schopna rotace kolem osy vřetena a rotace v rovině pod úhlem 45° od roviny podlahy. Zpevňuje se v dané poloze automaticky. Upínání nástrojů lze provést jak ručně tak automaticky podavačem či robotem.

Výhody: Díky dvěma rotacím ve dvou nerovnoběžných rovinách je zde možnost nastavit nástroj do velkého množství poloh v pracovním prostoru.

Nevýhody: Dvojité dělení celistvosti hlavy snižuje její tuhost. Je však vybavena tenzory a lze tedy jisté deformace eliminovat korekcí NC kodu.

Použití: Tento typ vhodný na obrábění složitějších obrobků, kde se střídají náklony jednotlivých ploch a kde je žádoucí vyšší přesnost. Je vhodná do automatizovaného provozu na obrábění finálních povrchů.



obr. 3.3) TYP HUI 50

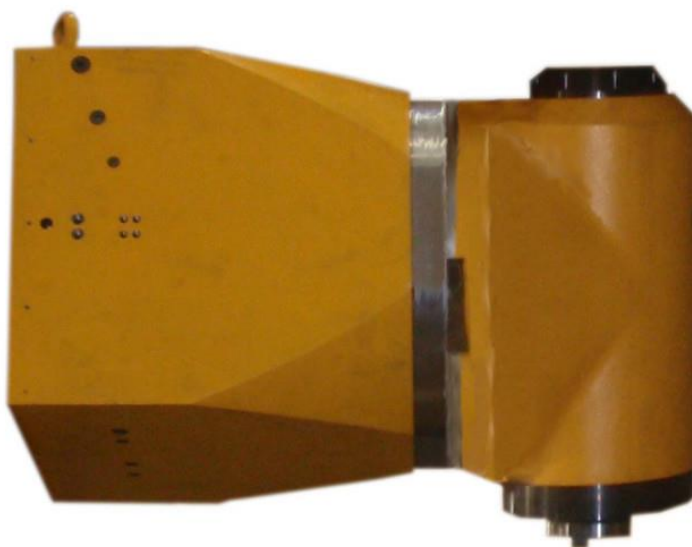
d) HLAVA FRÉZOVACÍ 1OSÁ PRAVOÚHLÁ AUTOMATICKY INDEXOVANÁ

Tento typ frézovací hlavy se na vřeteník staví poloautomaticky nebo automaticky. Hlava je schopna rotace kolem osy vřetena. Zpevňuje se v dané poloze automaticky. Upínání nástrojů lze provést jak ručně tak automaticky.

Výhody: Hlava je tuhá a levná. Konstrukčně jednoduchá a téměř bezúdržbová. Díky své robustnosti snese vysoké řezné podmínky, jelikož skvěle odvádí teplo z nástroje.

Nevýhody: Oproti jiným typům je tahle hlava těžká, protože má celistvé tělo, které je vyrobeno formou odlitku.

Použití: Tento typ vhodný na obrábění jednoduchých velkých obrobků, převážně na hrubovací operace.



obr. 3.4) TYP HPI 50

e) HLAVA FRÉZOVACÍ TEŽKÁ 10SÁ PRAVOÚHLÁ AUTOMATICKY INDEXOVANÁ

Tento typ frézovací hlavy se na vřeteník staví poloautomaticky nebo automaticky. Hlava je schopna rotace kolem osy vřetena. Zpevňuje se v dané poloze automaticky. Upínání nástrojů lze provést jak ručně tak automaticky.

Výhody: Hlava je tuhá a konstrukčně jednoduchá. Termínem „těžká“ se myslí schopnost obrábět velkou třísku na jeden záběr. Hlava je konstruována na silové hrubé obrábění.

Nevýhody: Hlava je těžká a v porovnání s ostatními typy není schopna obrábět s vysokou přesností.

Použití: Tento typ vhodný na hrubé silové obrábění obrobků libovolných rozměrů.



obr. 3.5) TYP HPIT 50

f) HLAVA FRÉZOVACÍ TEŽKÁ 2OSÁ ORTOGONÁLNÍ AUTOMATICKY INDEXOVANÁ

Tento typ frézovací hlavy se na vřeteník staví automaticky nebo je přidělán trvale na tělo vřeteníku. Hlava je schopna rotace v rovině odsazené od roviny procházející osou vřetena. Zpevňuje se v dané poloze automaticky. Upínání nástrojů lze provést jak ručně tak automaticky.

Výhody: Hlava je dělená a řízená. Při rotaci vykonává rychlé pohyby.

Nevýhody: Řezné síly jsou zachyceny v kruhové dělicí pohyblivé rovině, což je kritické místo pro vznik nepřesnosti.

Použití: Tento typ vhodný obráběcí finálních ploch zejména menšími frézami (nástroj),
, jako např. Drážkovací, stromečková, profilovací apod.

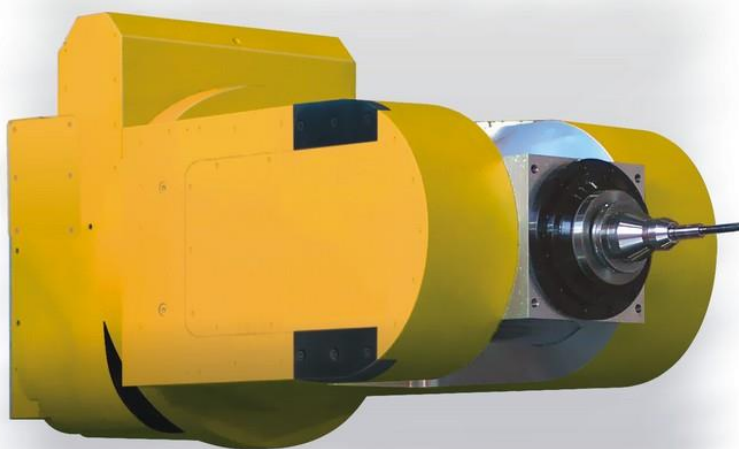


obr. 3.6) TYP HOI 50

g) HLAVA FRÉZOVACÍ VIDLICOVÁ S NÁHONEM OD VŘETENA STROJE

Tento typ frézovací hlavy se na vřeteník staví automaticky. Hlava je schopna rotace kolem osy vřetena a v rovině kolmé k ose vřetena. Zpevňuje se v dané poloze automaticky. Upínání nástrojů lze provést jak ručně tak automaticky.

- Výhody:** Hlava je dělená na dvou místech a je možné touto hlavou obrábět složité tvarové plochy a těžkopřístupná místa.
- Nevýhody:** V poměru k ostatním typům je méně tuhá, drahá a konstrukčně složitá. Vzhledem k tomu, že bere náhon z vřetena, je náročnější i proces montáže a demontáže hlavy ze stroje.
- Použití:** Tento typ vhodný obráběcí finálních tvarově složitých ploch, jako například lopatky oběžného kola turbíny apod.



obr. 3.7) TYP HV/V

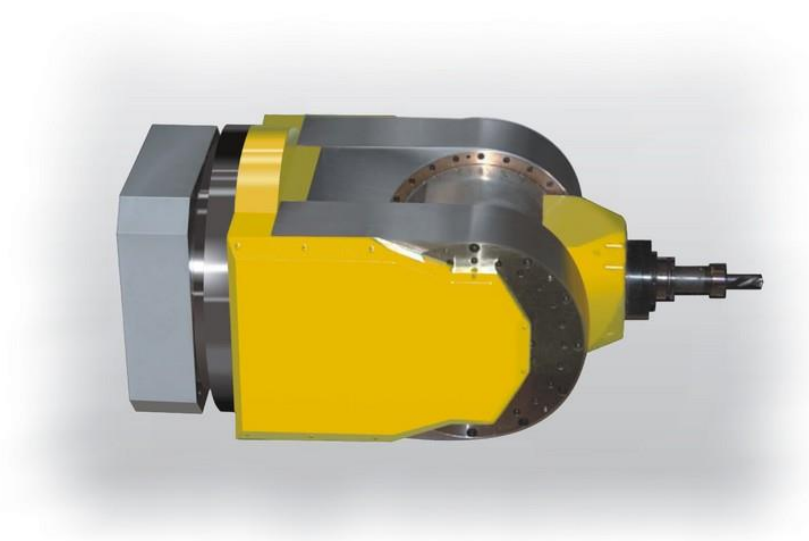
h) HLAVA FRÉZOVACÍ VIDLICOVÁ S ELEKTROVŘETENEM

Tento typ frézovací hlavy se na vřeteník staví automaticky nebo je trvale zabudována na vřetenu. Hlava je schopna rotace kolem osy vřetena a v rovině kolmé k ose vřetena. Zpevňuje se v dané poloze automaticky. Upínání nástrojů lze provést jak ručně tak automaticky.

Výhody: Hlava je dělená na dvou místech a je možné touto hlavou obrábět složité tvarové plochy a těžkopřístupná místa.

Nevýhody: V poměru k ostatním typům je méně tuhá, konstrukčně složitá. Jedná se o nejdražší variantu.

Použití: Tento typ vhodný obrábění finálních tvarově složitých ploch. Je vhodná zpravidla na velké stroje.



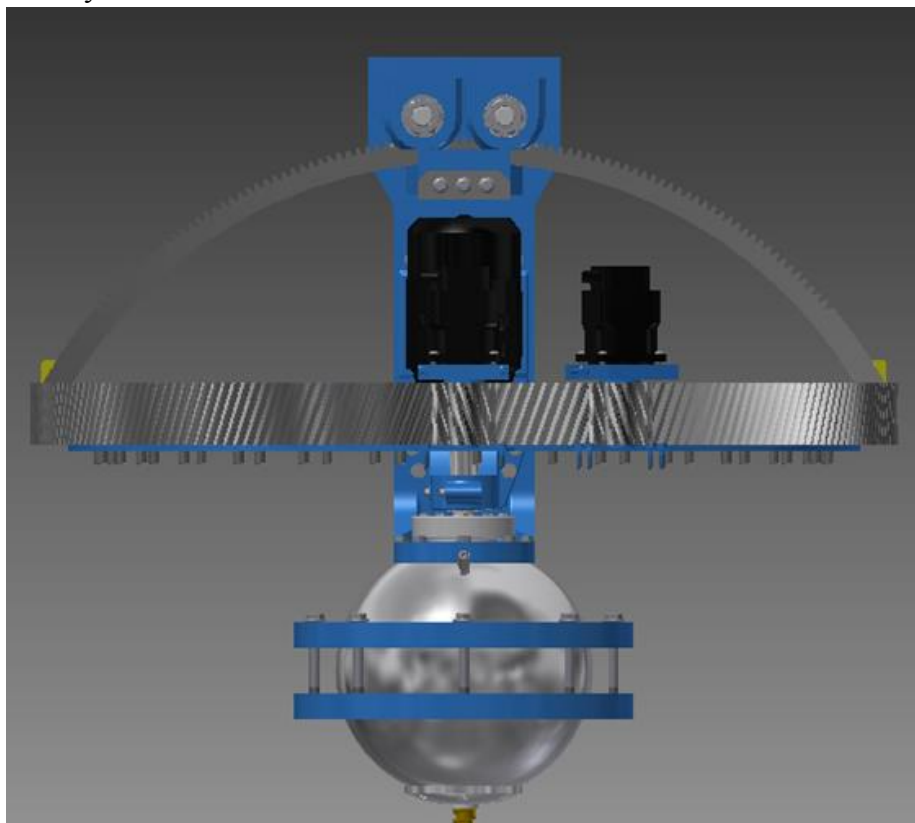
obr. 3.8) TYP HV/ E-H

Přehled výkonových parametrů jednotlivých typů:

	otáčky [ot/min]	výkon [kW]	krouťící moment [Nm]
HPR 50	3000	25	1200
HUR 50	3000	20	1000
HUI 50	3000	32	1000
HPI 50	4000	37	1200
HPIT 50	2500	70	2500
HOI 50	4000	37	1200
HV/V	3500	22	500
HV/E-H	20000	43	120

4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Mechanismus je koncipován tak, aby při náklonu nástroje v kuželovém pracovním prostoru, který moje koncepce umožňuje, měl nástroj pevnou polohu a celková tuhost byla ideálně stejná jako při přímém kolmém frézování, které známe z klasických konstrukcí frézek. Koncepce využívá principu páky, z čehož vyplývá potřeba slabších pohonů a tím energetickou úsporu. Nyní bude mechanismus rozeberan na menší celky, které budou detailněji rozebrány.

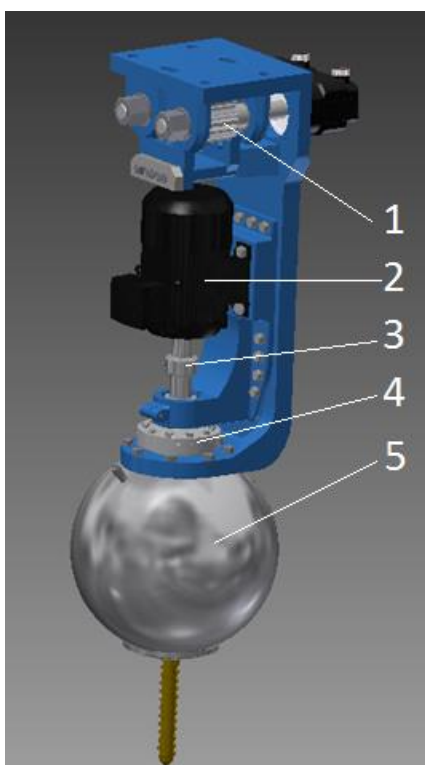


obr. 4.1) náhled

4.1 ULOŽENÍ TĚLA

Na úvod této kapitoly budeme nejprve konkretizovat její název. Pod pojem „tělo” je obsažena vlastní sestava celého vřeteníku, který je uložen v kulovém čepu. Kulový čep má bodový styk ve dvou patrech s kuličkami, které se odvalují v bronzových vodících přírubách. Jelikož toto uložení umožňuje vřeteníku vykonávat kyvné pohyby, odtud název „kyvný vřeteník.”

Sestava těla vypadá takto:

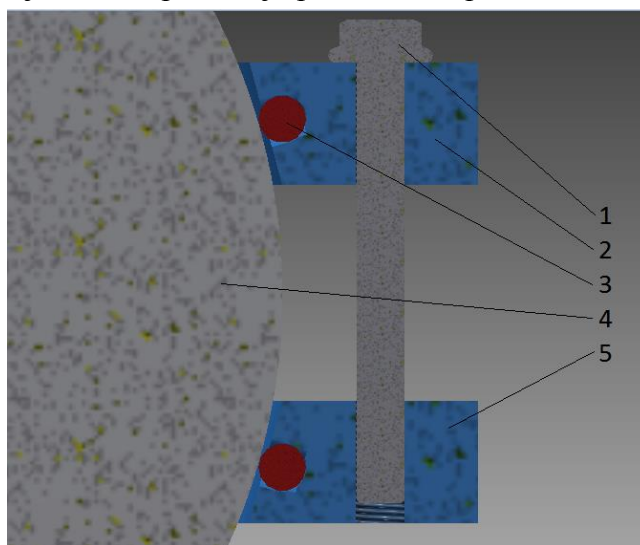


- 1 - řízení kyvného pohybu
- 2 - pohon vřetena
- 3 - střížná spojka - ochrana proti přetížení
- 4 - setrvačnick
- 5 - kulový čep

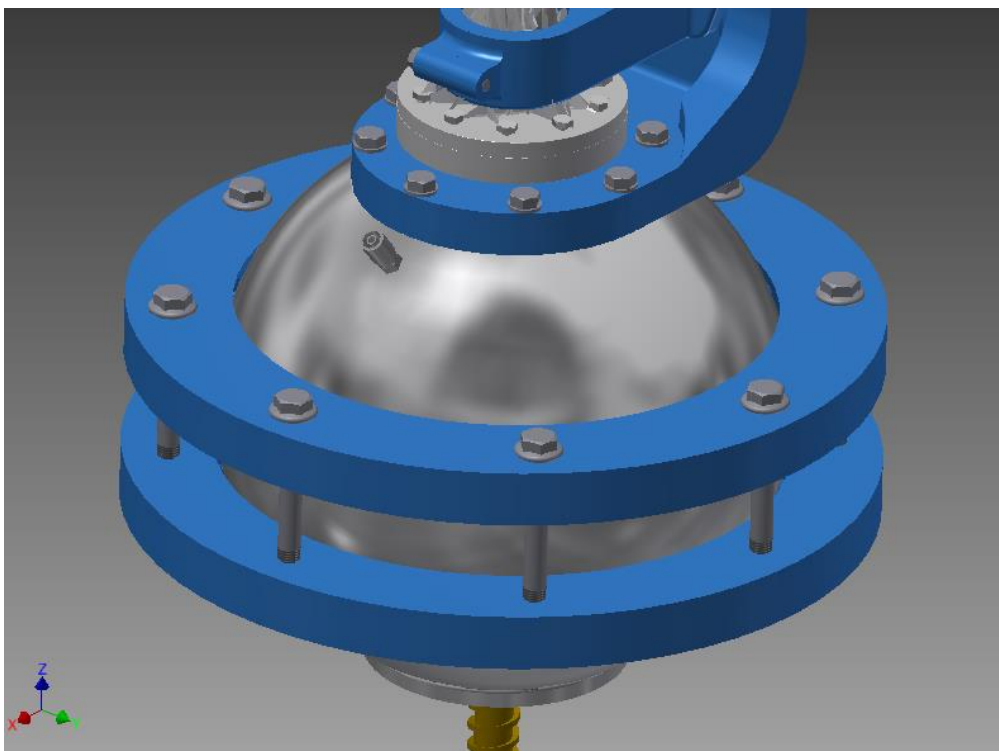
obr. 4.2) perspektiva

Tato sestava je uložena v kuličkách, které se odvalují v bronzových pouzdrech. Spodní pouzdro je ukotveno pevně k rámu stroje a horní příruba je přitlačována pomocí stahovacích šroubů.

- 1 - stahovací šroub
- 2 - horní příruba
- 3 - kulička
- 4 - kulový čep
- 5 - spodní pevná příruba



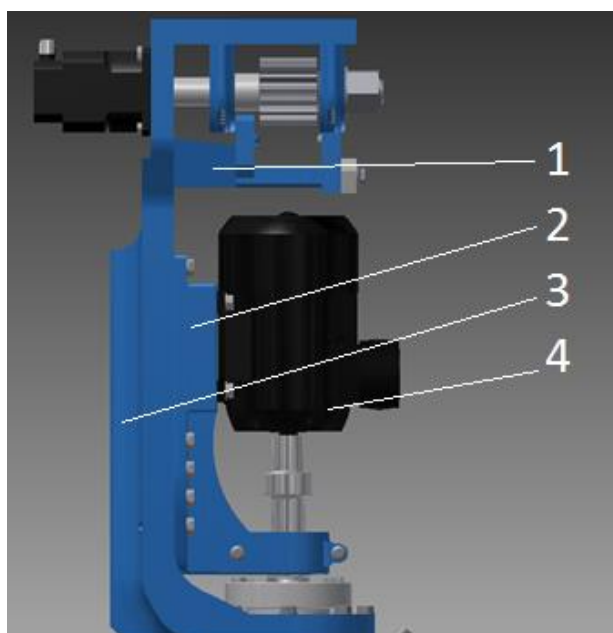
obr.4.3) detail uložení kuliček



obr.4.4) 3D pohled na uložení valivého uložení

4.2 KONSTRUKCE VŘETENÍKU

Hlavní díly vřeteníku jsou navrhovány jako odlitky. Na hlavním odlitku je obrobena rovná procha, na kterou přiléhá druhý odlitek, jež je přišroubován. Na tomto menším dílu je upevněn elektromotr - pohon vřetená.



- 1 - navařená konzola
- 2 - odlitek pod pohon vřetená
- 3 - odlitek - tělo vřeteníku
- 4 - pohon vřeteníku

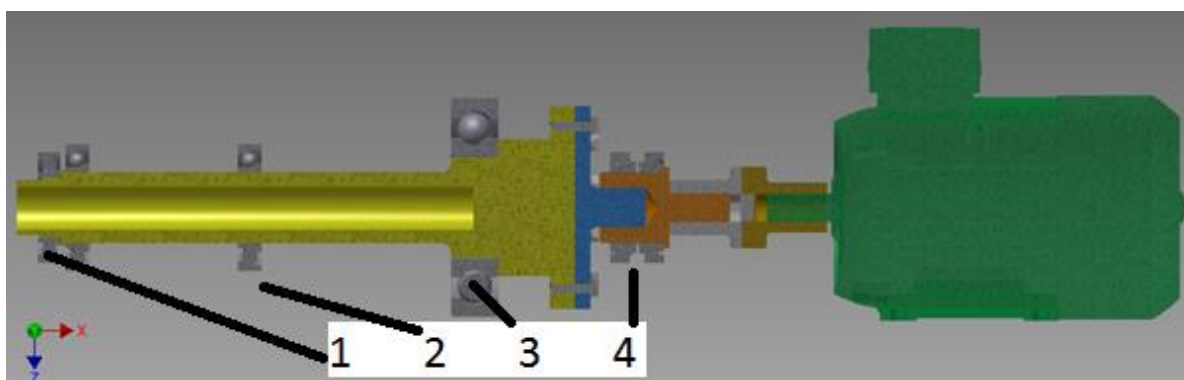
obr.4.5) pohled zleva

Pozn.: Navařená konzola je navařena k hlavnímu odlitku. Funkce svarku spočívá k uchycení kroutícího momentu z kulového čepu do ozubeného hřebenu.

4.3 VŘETENO

Vřeteno je stežejní část celého zařízení. Je uloženo v ložiskách a do konce vřetena se upíná obráběcí nástroj.

4.3.1 ULOŽENÍ VE VŘETENÍKU



1 - kuličkové ložisko

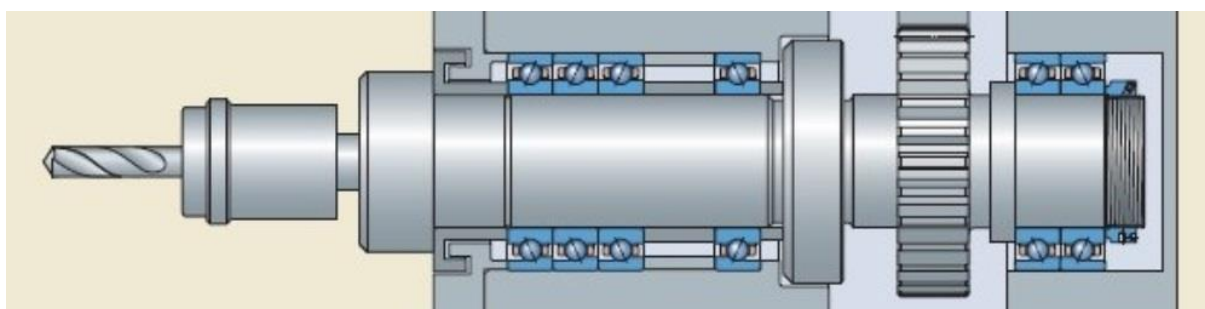
obr. 4.6)

2 - kuličková ložiska s kosoúhlým stykem předepjatá proti sobě

3 - kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem

4 - válečková ložiska s kosoúhlým stykem předepjatá proti sobě

Konstrukce tohoto vřeteníku je stypiská oproti standartním postupům. Pro názornou ukázkou doplním obrázek standartní konstrukce obráběcího vřeteníku.



obr.4.7) standartní konstukční řešení vřeteníku[2]

Na konci vřetena je těsnicí kroužek, který plní dvě funkce. První funkcí je zadržování chladicí kapaliny (viz. kap. 4.3.2.) . Druhá funkce těsnicího kroužku je utěsnění prostoru

vřetena a zabránění vniknutí nečistot a prachových zrn. Nečistoty by způsobily snížení životnosti ložisek, oděr jejich valivých tělísek a tím snížení celkové životnosti zařízení.

4.3.2 CHLAZENÍ

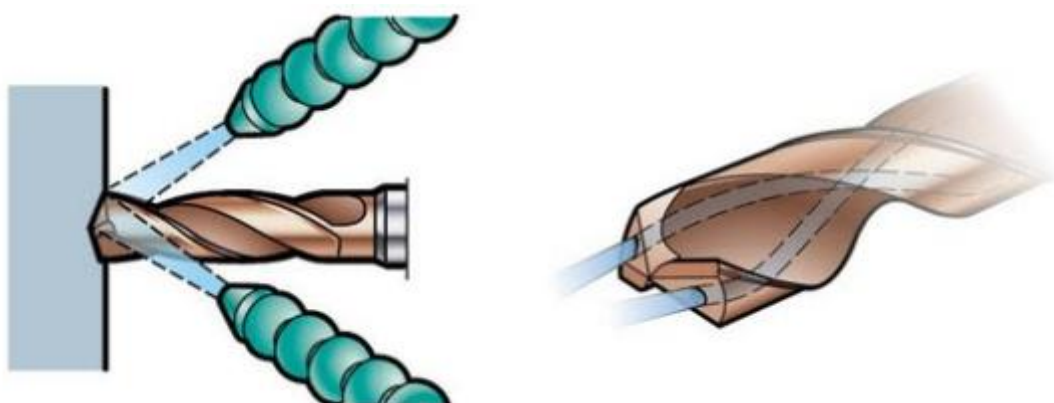
Chladicí agregát je nedílnou součástí každého obráběcího stroje. Když se zaměříme na frézky, chlazení je nezbytné. Jediná technologie, která nevyžaduje chlazení řeznou kapalinou je frézování TK hlavou, která je velká a s teplotním gradientem při záběru se dokáže díky rotaci ve vzduchu vyrovnat vzhledem ke svému objemu. Frézování tvarovými frézami, drážkovacími nástroji apod. je nutné chladit.

Chladicí (někdy označená jako řezná) kapalina se přivádí na konec nástroje do místa, kde vzniká oddělování třísky nástrojem z obrobku (díl, který obrábíme). Toto se provádí článkovou plastovou tryskou, která se dá ručně tvarovat a drží tvar. Je proto universální a v praxi velice často používané.

Chladicí agregát se při konstrukci obráběcích strojů kupuje jako celý systém, který v základu obsahuje plastovou nádrž, čerpadlo, hadičky a permanentní magnet s dvěma polohovatelnými tryskami. Toto je vhodné pro malé a středně velké stroje. Velké obráběcí stroje mají na chladicí kapalinu svoji nádrž, která bývá z pravidla součástí statiské základny. U velkých frézek se chladicí kapalina přivádí rozvody uvnitř vřeteníku.

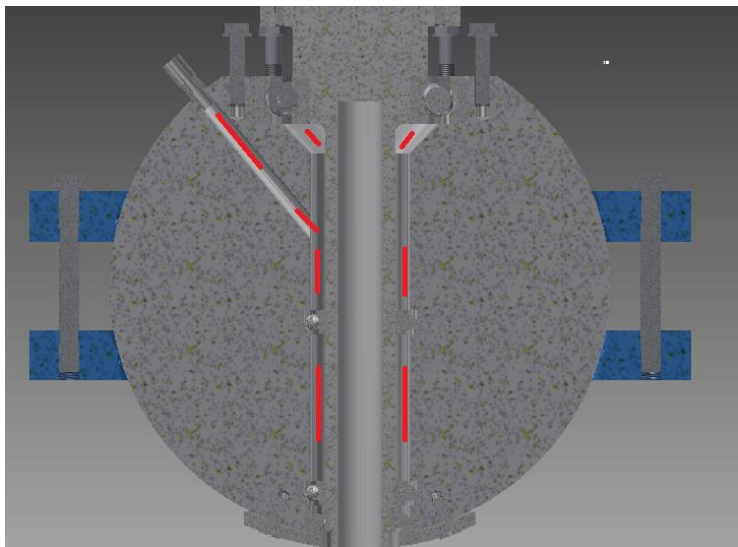
Nástroje se chladí, protože na plášti nástroje vzniká při odžezávání třísky teplotní gradient. Nástroje jsou kalené, aby byly otěru vzdorné. V případě, že by se nástroj zahřál na žíhací teplotu, ztratil by tvrdost získanou kalením (kalení a popouštění jsou dva inverzní procesy) a ztratil by tak schopnost třísky z obrobku oddělovat. Následek takové situace by byl znehodnocený nástroj a zpravidla i obrobek. Teplotní gradient na nástroji vzrůstá lineárně s opotřebením - otupením břitů nástroje. Malé nástroje, jako například drážkovací frézy se brousí na speciálních bruskách na nástroje, velké nástroje mají výměnné STK plátky, které se dají otočit nebo vyměnit.

V současné době se používají i duté nástroje, kdy má fréza nebo vrták dutina a řezná kapalina je přiváděna na břity dutinou přímo v nástroji. Tato technologie však vyžaduje adekvátní připojení nástroje do vřetena.

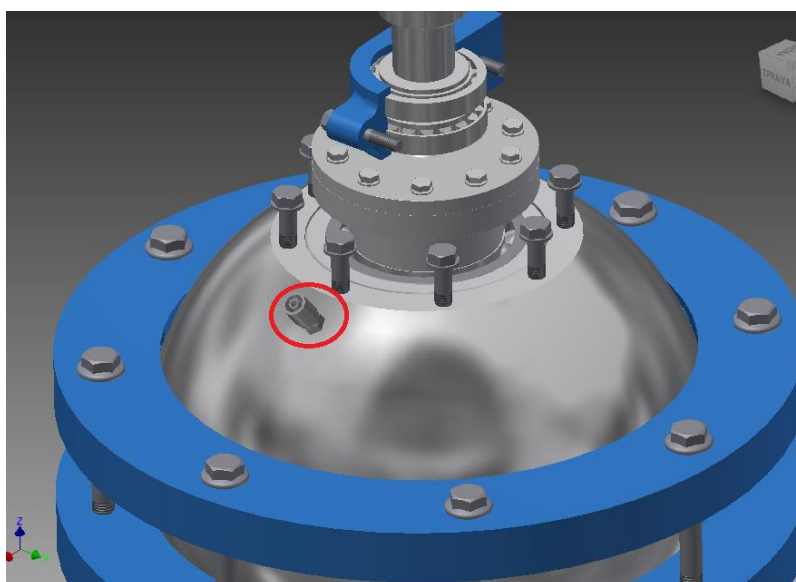


obr.4.8) chlazení vrtáku pomocí dutiny v tělu nástroje

V mém návrhu je chlazení vyřešeno systémem statiského chlazení. Kapalina nebude cirkulovat, protože vzhledem k objemu, do kterého bude teplo z nástroje přestupovat je to zbytečné.



obr.4.9) Červené úsečky zvýrazňují vyplněné chladicí kapalinou.



obr.4.10) redukce na připojení hadiček pro vodní chlazení

Chlazení statickým vodním sloupem nevyžaduje, aby bylo v chladicím systému čerpadlo, protože voda stojí samospádem. U této koncepce však navrhuji čerpadlo do systému zabudovat, protože vlivem náklonu může hladina kolísat a čerpadlo v systému udrží potřebný tlak. V rámci úsporného opatření lze tento problém řešit membránovým špumtem nebo vybudováním vzdušníku nad ústím, který bude natlakován jmenovitým tlakem. Čerpadlo se mi však jeví jako nejlepší řešení.

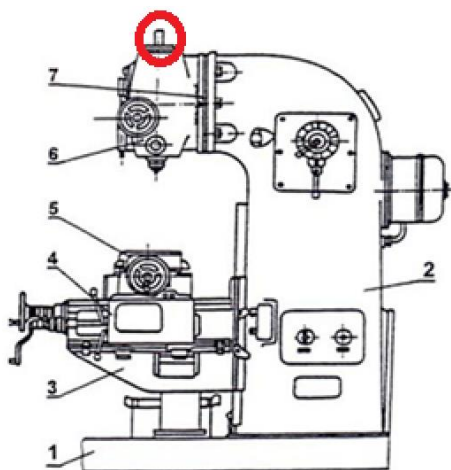
pozn.: vzhledem k necirkulaci chladicí kapaliny je nutno do chladicího obvodu zakomponovat snímač tlaku chladicí kapaliny, díky kterému bude čerpadlo zapnuto/ vypnuto.

4.4 UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ

Upínání fréz se dělá několika způsoby, které určuje především velikost nástroje i stroje.

a) Upínání kuželovou redukcí:

Kuželová redukce se používá především pro vrtání nebo na malé drážkovací frézy. Každé vřeteně má dutinu, která není válcová, ale je kuželová. Zde se opět rozeznávají tři velikostní stupně dle úhlu kuželu. Všechny tři velikosti samozřejmě musí splňovat podmínku samosvornosti. Nástroj se do redukce narazí a stejně tak redukce se narazí do vřeteně. Demontáž se provádí úderem kladiva do aretačního šroubu vřeteně.



obr. 4.11) umístění aretačního šroubu

(ostatní pozice v tuto chvíli nejsou podstatné)



obr.4.12) kuželová redukce

b) Upínání redukcí - ořechem

Tento způsob upínání se používá pouze na malé frézy. Člen, kterému se říká ořech, je rozpěrný člen a funguje jako redukce mezi vřetenem a nástrojem. Motivace vzniku tohoto způsobu upínání byl ten, že upínací hlavy mají na čelistech sražení a proto není možné do větší hlavy upnout malý vrták.



obr. 4.13) zleva:
nástroj, matice,
ořech, hlava

c) Upínání do hlavy

Zde se nástroj upne do sklíčidlové hlavy, která je buď naražena ve vřetení nebo je ještě zaaretována aretačním šroubem. Tento způsob se používá pro vrtáky a malé frézy. Jedná se asi o nejběžnější způsob upínání pro malé nástroje, protože výměna netrvá dlouho a je jednoduchá.



obr. 4.14) Upínací hlava s dotahovací kličkou

d) Upínání do vřetena

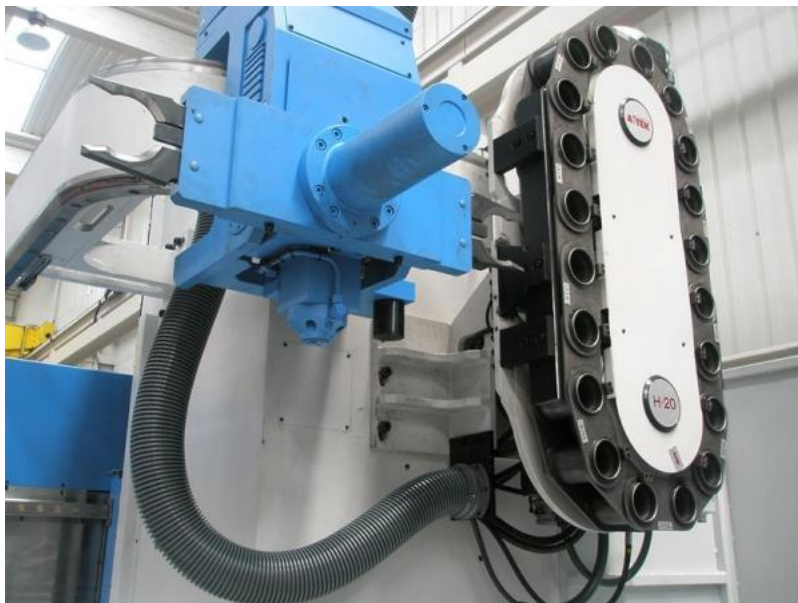
Poslední demostrovaný způsob se týká velkých strojů a nástrojů. Fréza se narazí přímo do kuželové dutiny vřetena a zaaretuje se šroubem nebo je tento proces automatizován. U velkých strojů se děje výměna nástrojů automatizovaně pomocí pneumatického podavače nebo robota. V takovém případě jsou jednotlivé nástroje upnuty v hlavách či rekukcích.

obr.4.15)

Sada nástrojů

upnutých v hlavách





obr.4.16)

Ukázka zásobníku na nástroje s pneumatickým manipulátorem

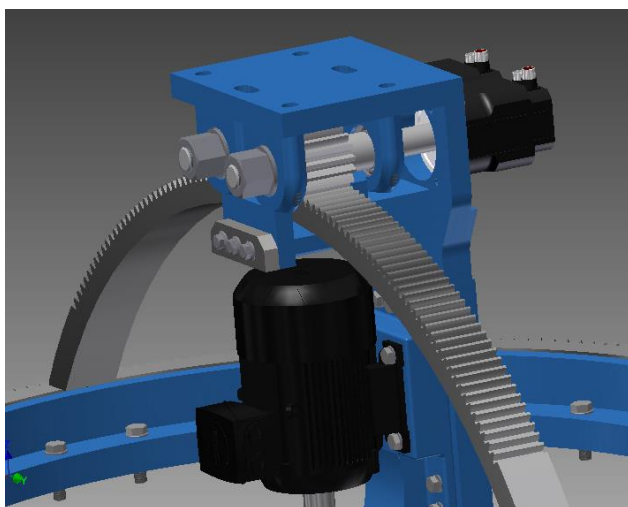
V této koncepci kyvného vřeteníku má vřetení standardní dutinu s kuzelem, takže lze upínat způsoby popsány v písmeni a), b) a c).

4.5 KÝVACÍ MECHANISMUS

Kývací mechanismu je popsán těmito slovy, protože to přirozeně vyplývá z kyvného pohybu, který může vřeteník vykonávat, protože je uložen v kulovém čepu.

4.5.1 PROVEDENÍ

Kyvný pohyb je řízen servo motory se zpětným odměřováním. Konstrukčně je



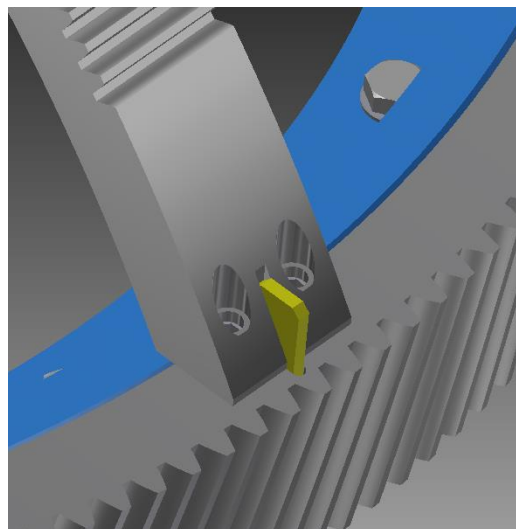
obr. 4.17) návrh kyvu vertikální

vřeteník unášen pomocí pastorků po ozubeném hřebenu. Pastorky jsou 2x2, protože při dojíždění na požadovanou pozici se druhý pastorek roztočí v protisměru a ozubená kola se v hřebenu rozeprou. Tím se vymezí zubová vůle a bude se snímat reálná poloha. Zároveň bude mít rozeprání brzdny účinek. Zde je velice výhodný pákový systém.

Horizontální osa je

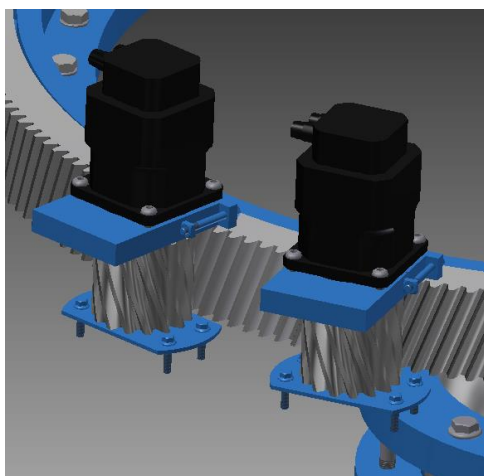
vyřešena rotujícím ozubeným věncem.

K tomuto věnci je pevně přišroubovaná ozubená obruč. V horizontálním ozubeném věnci jsou vyfrézovány dvě drážky po sto osmdesáti stupních. Je to technologický prvek kvůli montáži. Z hlediska velkých rozměrů jednotlivých dílů se nejprve obruč přiloží na věnec a sesadí se pomocí kuželových klínů. Po přesném usazení se obě ozubené součásti svrtají. Horizontální ozubené kolo je vyrobeno jako ložisko s vnitřním kroužkem, který je pevně přišroubován k rámu stroje.



obr.4.18) detail na spoj ozubených součástí

Mezi těmito dvěma díly se odvalují válečky s kosoúhlým stykem. Horizontální ozubené kolo je poháněno opět pomocí dvou pastorků. Pastorky jsou na hřídeli, která je uložena v kuličkových jednořadých ložiscích. Pohon je dvěma servo motory se zpětným odměřováním.



obr. 4.19) pohony horizontální rotace

4.5.2 VARIANTY

V této kapitole budou pouze jednoduše naznačeny nějaké konstrukční varianty, které lze z tohoto mého námětu vytvořit. Začneme ozubením.

Samozřejmě lze použít teoreticky libovolný druh ozubení. Já jsem v modelu použil šikmé ozubení. Výhoda oproti přímým zubům spočívá v tom, že má zub větší průřez, takže

má vyšší únosnost. Nevýhoda šikmého ozubení je vznik axiální síly, kterou musíme zachytávat v ložiskách. Samozřejmě v případě aplikace šikmého ozubení musíme spošítat adekvátní poměr mezi axiální silou, kterou je schopno nám zvolené ložisko pochytit a mezi úhlem ozubení, které nám zvyšuje únosnost. Z výše uvedeného se jeví jako optimální volba šípového ozubení, ale to je zase drahá záležitost a myslím, že by to bylo zbytečně předimenzováno. Je to však otázka celkového měřítka výsledných rozměrů zařízení.

Další kreativní pasáž je uložení pastorků. Pohon horizontálního věnce lze rovněž provést s horizontální osou pastorku. Nakonec ani nemusí být na každém převodu pastorky dva, záleží na požadované přesnosti. Pokud by se zvolil pouze jeden, teoretická nepřesnost by byla rovna zubové vůli.

Tuto koncepci, kterou jsem zvolil a sestavil ve 3D modelu, jsem sestavil tak, aby byla co nejjednodušší a aby nejlépe demonstrovala moji myšlenku.

4.6 POHONY

Do modelu je zvolen model elektrického servo motoru typu AKM. K charakteristickým vlastnostem patří vysoký točivý moment v poměru k momentu setrvačnosti.



obr. 4.20)

*Motor AKM od
firmy RAVEO*

Tyto motory mají vysokou účinnost a hladký dynamický chod.

4.7 MAZÁNÍ

Součásti, které je nutno mazat jsou ložiska a ozubení. Ložiska se vyplní mazacím tukem při montáži. Ozubení se maže pomocí třetího pastorku, který v modelu není, ale jedná se o houbu ve tvaru pastorku, do kterého je tlačeno mazivo pod tlakem a jak se pastorek otáčí, tak vytlačuje mazivo do soukolí. Tyto houbové pastorky vyrábí firma Graessner nebo Aplha-Wittenstein.



obr. 4.21)

*Mazací pastorek s nádržkou
a čerpadlem od firmy TAT*

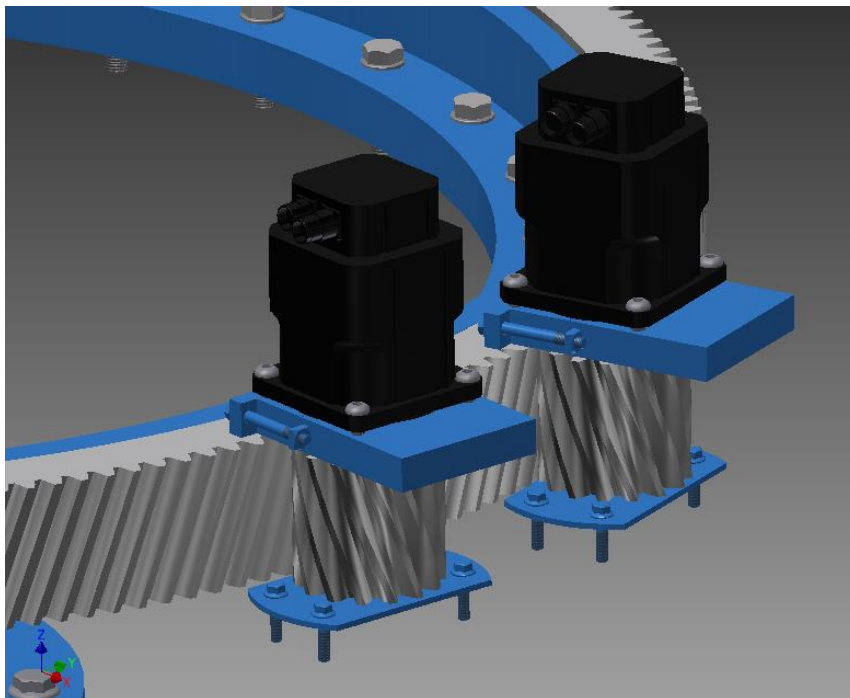
4.8 STATICKÁ ZÁKLADNA

K základně neboli rámu stoje je ukotven vnitřní prstenec horizontálního věnce a spodní vodící bronzová příruba. Tyto dvě části jsou fixní. Podstatné je, že konstrukce, ke které se tyto díly přišroubují není ještě statická, protože právě tato část musí být na kuličkových šroubech pohyblivá v ose z. Já se tomuto problému v této práci nevěnuji, protože by se posuv v ose z navrhoval standartne po loži. K úplnosti práce to však pokládám za podstatné to alespoň zmínit.

5 ELEKTRICKÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ

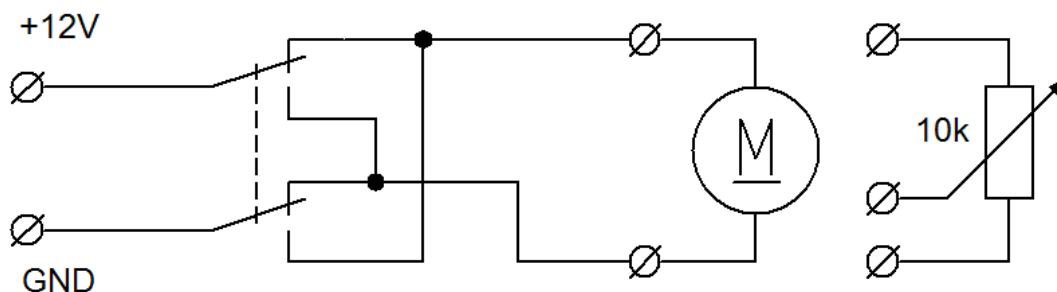
5.1 POHON HORIZONTÁLNÍHO VĚNCE

Pohon horizontálního věnce je zajištěn dvěma servomotorama.



obr.5.1) náhled pohonu horizontální rotace

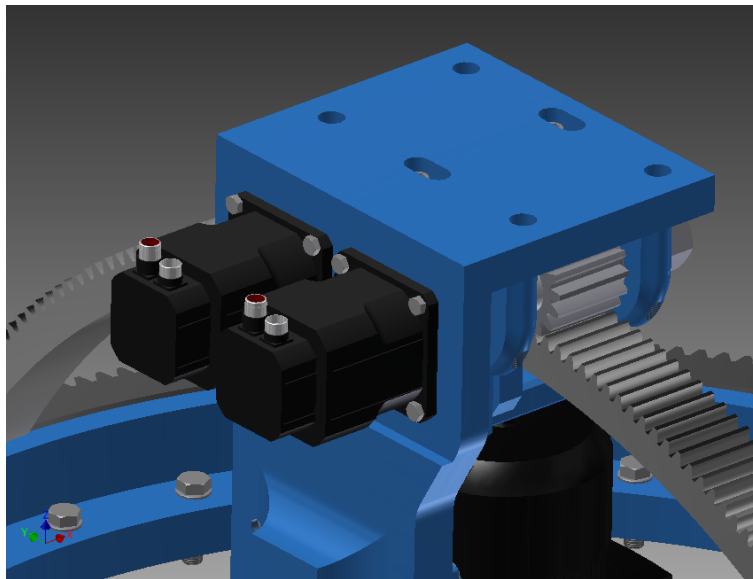
Servomotory jsou zapojeny do kříže s fetovými transformátory a ty jsou spojeny do kříže s mikroprocesorem, který je spojen s PC. Na níže uvedeném schématu je trochu jiný způsob zapojení, ale také možný. Servomotor se pohybuje mezi dvěma krajními polohami, které jsou dány koncovými spínači a potenciometr zůstává rozpojený.



obr. 5.2) ukázka zapojení servomotoru

5.2 POHON VERTIKÁLNÍHO VĚNCE

Pohon vertikálního kyvu je navržen opět dvěma servomotorama.



obr.5.3) náhled pohonu vertikálního kyvu

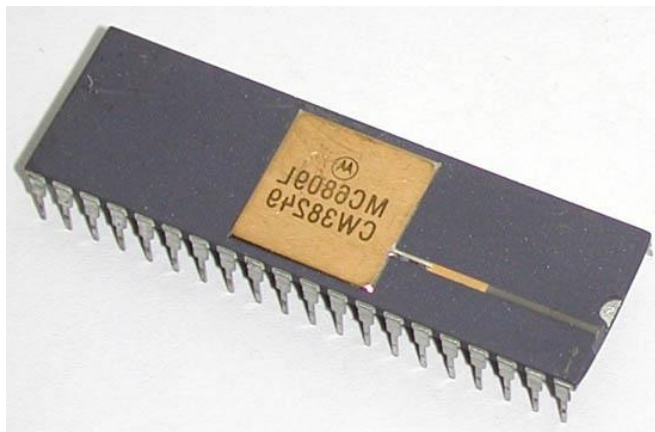
Schéma zapojení těchto motorů je identické se schématem zapojení servomotorů na pohon horizontálního věnce.

Tyto dva uzly se zapojí paralelně k hlavnímu napájecímu obvodu.

5.3 SYNCHRONIZACE, HARDWARE

Synchronizace je provedena přes mikroprocesor, který je už kompatibilní s PC a zpracovává data exportovaná z programu (např. SurfCam apod).

pozn.: mikroprocesoru se hovorově říká „šváb“



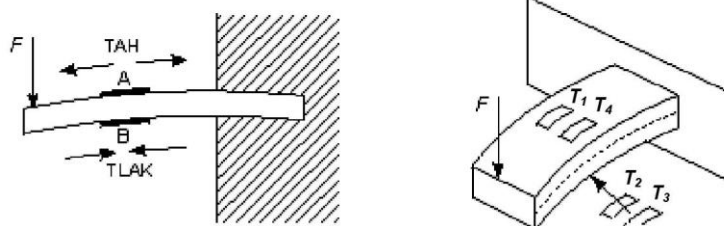
obr.5.4) mikroprocesor

6 KONTROLNÍ A BEZPEČNOSTNÍ PRVKY

První kontrolní prvek, který je považován za nedílnou součást tohoto mechanismu a je to tenzometr. Je to prvek na měření deformace součásti, na kterou se upevní. Je samozřejmě několik druhů tenzometrů podle principu, já volím odporový foliový tenzometr.



obr. 6.1) foliový tenzometr



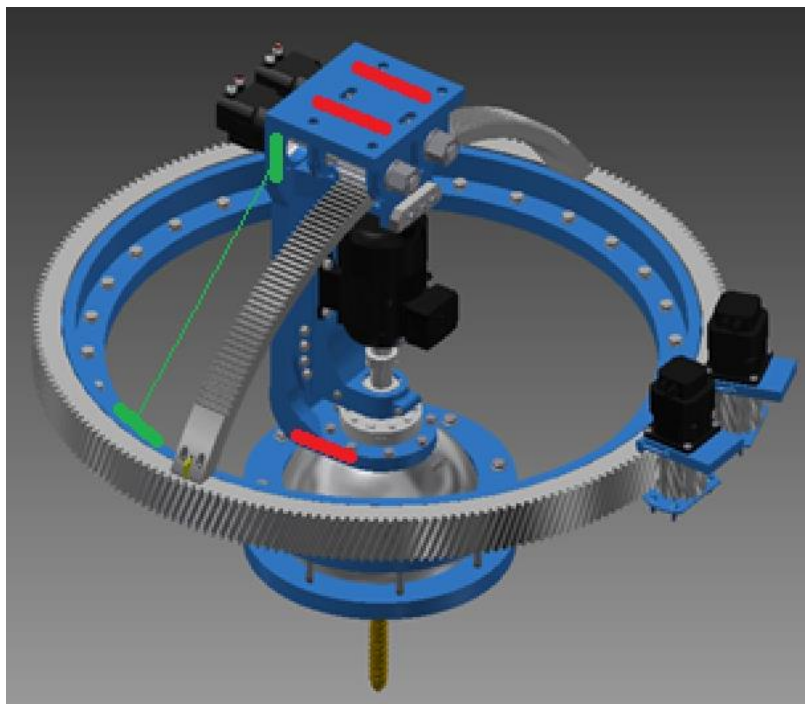
obr.6.2) demonstrativní upevnění tenzometru

Další prvek, který bude zmíněn je k zajištění toho, aby se pohyblivé části nedostaly někam, kam nemají a nenastala kolize. Je to koncový spínač. V případě, že se dostane daná součást do krajní polohy, sepne se, přeruší centrální obvod a stroj se zastaví. Koncové spínače se rozněž používají při nastavování defaultní polohy. Referenční polohy se najíždějí v ručním režimu právě od koncového spínače, což se softwarově považuje za polohu nula.



obr. 6.3) koncový spínač

Závěrem této kapitoly je představen návrh umístění prvků z této kapitoly na kyvném vřeteníku.



tenzometr

koncový spínač

obr. 6.4) náhled umístění kontrolních prvků

Pozn.: Koncové spínače i tenzometry jsou umístěny osově souměrně (tzn. sestava obsahuje 4 tenzometry a 2 koncové spínače).

7 POROVNÁNÍ POUŽÍVANÝCH TYPŮ F.H. S NOVOU KONCEPCÍ

Na úvod této kapitoly je podstatné zopakovat, že navrhovaná koncepce není typově jako frézovací hlava. Je to mechanismus celého vřeteníku, jejímž cílem je poskytnout nástroji co nejvíce poloh s co nejvyšší přesností a udržet ho v dané poloze s co nejvyšší tuhostí. V této koncepci vřeteníku však typovou frézovací hlavu (viz. kap. 3) nelze použít, jelikož navrhovaná koncepce je atypická. To vidím jako nevýhodu oproti ostatním vřeteníkům, jelikož do standartního vřeteníku se dají upnout různé typové hlavy, což tady není možné.

Abychom měli nějaké relevantní srovnání a spolnili tak myšlenku této kapitoly, měli bychom stanovit hlediska, které budeme na jednotlivé případy aplikovat a porovnávat. Pokusím se vybrat nejdůležitější vlastnosti z konstrukčního hlediska navrhování obráběcích vřeteníků. Volím tedy: tuhost, pevnost, životnost, spolehlivost, přesnost, energetická náročnost, nároky na kvalifikaci obsluhy, náklady na výrobu a snadnost údržby a oprav.

7.1. TUHOST

Z hlediska tuhosti mnou navrhovaná koncepce dosahuje lepších parametrů než standartní konstrukce, a to z následujícího důvodu. Klasická koncepce má čvercový nebo obdelníkový profil vetknutý do prostoru. Je tedy namáhán na ohyb, který sílí při vysunování vřeteníku (posuv v kladném směru osy z, např. při vrtání). V této variantě není žádné vysunutí ani rameno, které by páčilo osu vřeteníku a namáhalo ji na ohyb. Posuv osy z, jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, je vyřešen pohybovými šrouby a není tedy zpracován a nějak dále probírán v tomto díle. Pro porovnání si ale myslím, že není náročné si představit, že je celý mechanismus, jak je zde popsán uzavřen v nějakém krytu a celý tento kryt je uložen na loži a posouvá se v ose z díky rotaci pohyblivých šroubů. Vzhledem k tomuto řešení je namáhání mechanismu konstantní a není závislé na poloze v ose z narázdil od vřeteníků vetknutých. Závěrem je konstatováno, že z hlediska tuhosti je tento návrh lepší.

7.2. PEVNOST

Pevnost je definovaná jako vlastnost odolávat vnějšímu působení sil, což tedy v případě, že posuzujeme konstrukční celky nemá na první pohled moc smysl, protože u sestav se hodnotí předešlá tuhost, která je jakým si ekvivalentem a pevnost se posuzuje u jednotlivých dílů. Tato terminologie je zvolena proto, že tuhost a pevnost není totéž. Pevnostně mají klasické vřeteníky pevnost velice vysokou, protože těla vřeteníků jsou v dutých odlitcích čvercových nebo obdelníkových průřezů. Zde je v obou případech konstrukce předimenzována dostatečně.

7.3. ŽIVOTNOST

Životnost je velice složitá problematika a zde se jí budu věnovat velice orientačně. Základem je však možno říci, že životnost záleží především na složitosti mechanismu a na počtu prvků v mechanismu, které jsou náchylné na poruchu nebo musejí pracovat pouze v daných podmínkách apod. Celkově v otázce životnosti hraje dominantní roli celková složitost

systému. Vřeteníky používané v praxi mají životnost garantovanou výrobcem na základě zkušenosti. Z pravidla se udává záruka v rozmezí tří až deseti let. Dá se říct, že délka záruční doby je přímo úměrná velikosti stroje a s tím pochopitelně je spjatá cena. Zde se spíše zaměříme na posouzení životnosti mnou navrženého mechanismu, neboť pokládám za zbytečné objevovat objevené. V tomto mechanismu není dle mého úsudku žádný díl nějak extra poruchový nebo s nízkou životností. Tělo vřeteníku je svarek odlitků, takže za předpokladu, že odlitky nebudou obsahovat žádné strukturální defekty, staženiny, nebudou popraskané, nechají se uzrát a budou mít požadované složení, vřeteník vydrží vše, co bude potřeba. Nejbolavější místo je asi uložení kupového čepu v kuličkách. Samozřejmě přes fakt, že ve zkušebním vzorku budou vodící příruby z bronzu, v reálu to navrhuji samozřejmě ocelové a kalené, abych umocnil tvrdost, která dá se říct určuje deformovatelnost a otěruvzdornost. Problém by nastal ve chvíli, kdy by se kulička zdeformovala nebo by se obtiskla do kulového čepu, který navrhuji povrchově kalený. Takové situaci se dá předejít stanovením správného měřítka, tzn. při požadovaných vlastnostech kyvného vřeteníku určit správný (dostatečný) počet kuliček tak, aby dané zatížení přenesly do čepu bez deformace a zároveň aby při chodu mechanismu nevznikalo zbytečně velké tření, které by čep zahřívalo. Pokud by se čep zahřál na popouštěcí teplotu, popustil by se a ztratil by vlastnost povrchového kalení. Tuto variantu pokládám za velmi nepravděpodobnou. Další problém by mohl nastat s ozubením. Obecně je to systém citlivý na vniknutí nečistot a hlavně na správnou výrobu. Další důležitá věc je správná montáž a nastavení boční vůle. Dále by se zuby poškodily, kdyby nebyly z vhodného materiálu nebo by byly měkké. Z takového ozubení se potom sype prášek, jak se měkké zuby odírají o ty tvrdší a tím dochází k trvalému poškození, které nelze opravit. Navíc odírané zuby slábnou a tím se snižuje jejich únosnost. V praxi se nové ozubené, kor ve větším měřítku, nechává zaběhnout a při tomto uvádění do provozu se stává, že se zuby odírají. Po tomto záběhu má ale odíraní ustát. Při takové to zahajovací proceduře musí být zuby prokaleny v celém objemu, aby se nestalo, že prokalená vrstva se při zabíhání odstraní a zuby by zůstaly na povrchu měkké. Tohle všechno je ale otázka reálné výroby. Pokud budeme posuzovat model, tak mohu konstatovat, že se jedná o zařízení spolehlivé, jelikož jsou v něm použity konstrukční prvky, které se běžně používají a není tedy předpoklad, že jsou nespolehlivé.

7.4. SPOLEHLIVOST

Spolehlivost se váže k životnosti, ale v tomto odstavci bych chtěl ještě doplnit, že spolehlivost není jen z hlediska životnosti, ale i z hlediska požadavků. Zde je požadavky myšlena například přesnost, pravdivost údajů, které stroj zobrazuje (doměřování, poloha apod). Co se týče přesnosti, vlivem kyvného systému páky jsem si jist, že servomotry mají sami o sobě velkou přesnoti, jelikož mají v sobě zabudované odměřování, ale navíc poměr páky také naopak zvyšuje přesnost na nástroji. Prohlašuji tedy, že mnou navržené zařízení je teoreticky schopné dosahovat velkých přesností. Odměřování neboli snímání v dané poloze bych navrhoval optickým pravítkem, což není nejvyspělejší technologie, ale je to dostatečně přesné na středně přesnou výrobu a je to snadno urdžovatelné. Vyčištění optického pravítka si umí dělníci udělat sami. Optické odměřování se používá hojně, většinou u gonzolových frézek a obecně u středně velkých strojů, takže není použit žádný experiment.

7.5. PŘESNOST

Přesnost už byla načata v předešlém odstavci. Je to však u konstrukce obráběcích strojů jeden z hlavních parametrů. Platí pravidlo, že pokud chceme vyrábět s danou přesností, musíme použít obráběcí stroj schopný dosáhnout o stupeň přesnější výroby, než je požadována. Přesnost je popsána stupni IT v rozsahu IT1 až IT18 (IT1 je nejpřesnější, IT18 je nejméně přesné). Standardní strojírenská výroba vyrábí ve výrobní přesnosti IT7 - IT9, tudíž musí mít stroje schopné dosáhnout přesnosti IT6, což je standardní pro všechny kovoobráběcí stroje na trhu. Nejobjektivnější stanovení je do nového stroje zadat nějaký výrobek, nechat ho vyrobit, změřit a z měření potom provést vyhodnocení. Aby ale byl vyjádřen nějaký verdikt, tak z pohledu konstruktéra je daný mechanismus schopen vyrábět alespoň ve středně přesné výrobě s vysokou pravděpodobností.

7.6. ENERGETICKÁ NÁROČNOST

Jako každý mechanismus, i tento je poháněn motory, které mají nějakou spotřebu elektrické energie. Spotřebu výrobce neudává nebo jsem ji nenašel, ale každý elektrikář je schopen ji přibližně určit z jiných parametrů motoru. Zde bude prezentován fakt, že vzhledem ke konstrukci kyvného vřeteníku a principu páky je možné použít na dosažení dané síly na nástroji mnohem slabšího motoru, než u klasického vřeteníku, kde není princip páky využíván a sílu na nástroji určuje krouticí moment na motoru. Z tohoto pohledu je evidentní, že kyvný vřeteník je energeticky velice výhodné zařízení.

7.7. NÁROKY NA KVALIFIKACI OBSLUHY

Jak je již uvedeno někde na začátku, je snaha o co nejnižší kvalifikace vlastně kohokoli zaměstnaného. My se však nebudeme zabývat problémy světa, ale i pro náš případ je to platné. Elektromory jsou připojené do kříže s fetovými nebo mostovými transformátory a od nich vedou větve do mikroprocesoru, který už přímo komunikuje s PC. Program, který PC zpracuje a předává do systému vytváří programátor. Další operace, které patří ke všednímu životu stroje je výměna nástroje. To provádí obsluha, ale lze ji provést také robotem nebo manipulátorem. Toto však rozhoduje hlavně typ výroby a velikost zařízení. A poslední věc, která zde bude zmíněna, je průběžný úklid a základní údržbové práce, jako mazání závitů apod. V našem případě by to znamenalo naolejovat povrch kulového čepu. Shodnocení situace je následovné: K obsluze kyvného vřeteníku není zapotřebí žádná odborná kvalifikace.

7.8. NÁKLADY NA VÝROBU KYVNÉHO VŘETENÍKU

Výroba kyvného vřeteníku je beze sporu drahá. Je jasné, že ve výrobě takových strojů se točí velice finanční prostředky. Do těchto hledisek nebudeme zacházet, protože nemáme žádné reálné informace z praxe, ale v poměru k tomu, co se v některých velkých továrnách zabývající se touto tematikou dává vyrábět a kolik drahých dílů se vyrobí jen tak na test nebo omylem konstrukce, je výroba kyvného vřeteníku přijatelná. Nelze říci, že je levná oproti výrobám jiných vřeteníků, protože tyto informace zkrátka nemáme, ale náklady na výrobu kyvného zařízení nebudou nijak extrémně vysoké ani nízké oproti jiným cenám klasických konfigurací.

7.9. ÚDRŽBA

Otázka údržby je zde celkem jednoduchá. Kuličky se namažou tuhým tukem při montáži a tuk tam vydrží dle údajů od výrobce maziva. Je také dobré, když se při každé výměně nástroje, jestli že vyměňuje manuálně, zkontroluje čistota dutiny vřetena. V případě kyvného vřeteníku je důležité, aby se nečistoty nedostaly do dutin, ve kterých se odvalují kuličky. Ošetřit by se to dalo gumovou zástěrkou, která by byla přišroubována zespodu na přírubu a doléhala by na povrch kulového čepu.

8 ZÁKLADNÍ VÝPOČTOVÉ VZTAHY

V této kapitole budou popsány a představeny základní výpočtové vztahy pro návrh vhodné konfigurace kyvného vřeteníku.

Na počátku musí být zvolen motor na řízení kyvu, tj. horní dva motory pohánějící pastorky, které se odvalují po ozubené obruči. Jmenovitý výkon tohoto motoru označíme jako „P” Dále použijeme vztah výkonu a kroutícího momentu a z něj vyjádříme průměr roztečné kružnice „d” našího pastorku:

$$P = M_K \cdot \omega \Rightarrow M_K = \frac{P}{\omega}$$

$$M_K = F \cdot \frac{d}{2} \Rightarrow \frac{d}{2} = \frac{M_K}{F}$$

$$d = \frac{2 \cdot M_K}{F} [mm]$$

ω úhlová rychlost

Z výše uvedené rovnice nyní vypočteme sílu, která se bude přes pastorek přenášet do ozubené obruče:

$$F = n \cdot \frac{2 \cdot M_K}{d} [N]$$

n počet poháněných pastorků

Dalším krokem je výpočet momentu, který bude působit na kulový čep a bude překonávat odpor valivých tělísek v přírubách:

$$M_K = F \cdot L [N \cdot m^{-1}]$$

L osová vzdálenost kulového čepu a pastorku; viz. náčrt

Nyní vypočítáme vyvozenou sílu na nástroji. Výpočet vychází z rovnice rovnováhy momentů:

$$\sum M_k = 0 \Rightarrow F \cdot L = F_N \cdot R$$

$$F_N = \frac{F \cdot L}{R} [N]$$

F_N síla na nástroji

Pokud máme sílu na nástroji zadanou požadavky, z předešlé rovnice vypočteme poloměr kulového čepu ze vztahu:

$$R = \frac{F \cdot L}{F_N} [mm]$$

Zde jsou uvedeny základní výpočtové vztahy pro návrh ozubení:

$$\phi d = z \cdot m$$

$$h_A = m$$

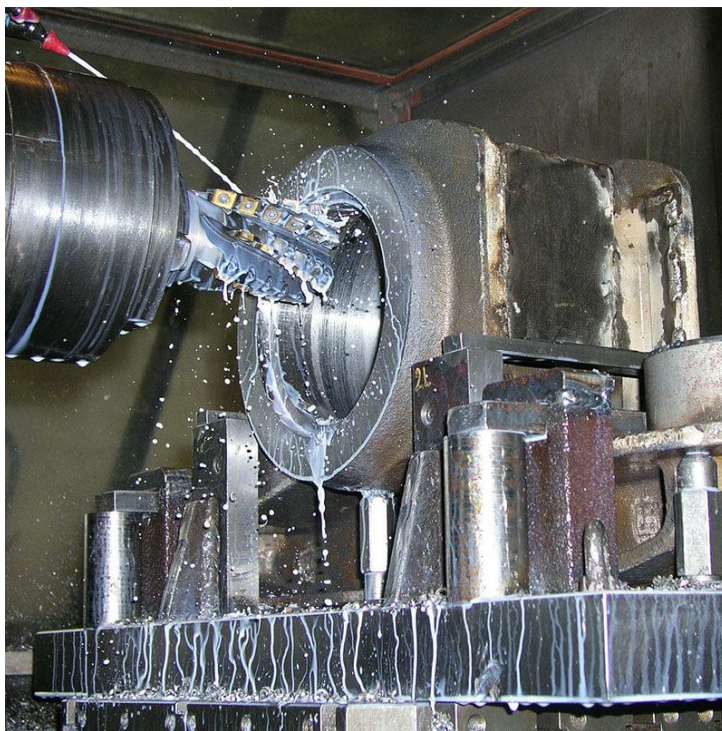
$$h_F = 1,25m$$

$$h = h_A + h_F = 2,25m$$

$$B = m \cdot \psi$$

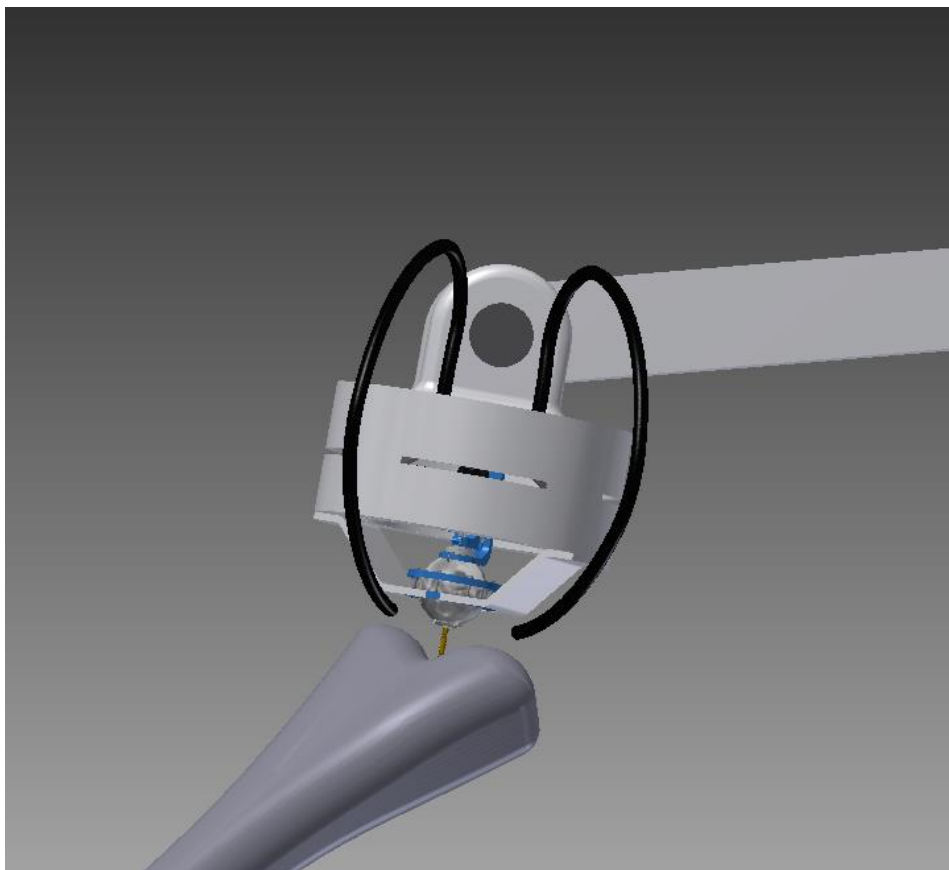
9 NEJVHODNĚJŠÍ VYBRANÉ APLIKACE MECHANISMU

Toto je zcela subjektivní posouzení, které ovšem bylo konzultováno i s odborníky a kantory VUT. Přesto je aplikací, které mě jsou možné, mnoho a zde budou představeny tři. Ta první je logickým vyústěním tématičnosti této práce a to je obrábění. To není nereálné, avšak nejeví se to jako ideální, protože je to rozměrově rozsáhlé. Tuto nevýhodu bychom mohli vykompenzovat na stroji určený na hrubování v kusové výrobě, protože se velice snadno mění poloha nástroje bez potřeby zásahu obsluhy apod a celý mechanismus je velice tuhý. Při realizaci této varianty bych doplnil na obě pohyblivé osy ještě mechanickou brzdu. Hrubování by proto mohlo probíhat za rychlých posuvů a limity v řezných podmínkách by v tomto případě určovaly parametry nástroje (SK destiček apod).



obr. 9.1) hrubování svarku SK destičkami

Druhá aplikace se týká oboru medicíny. Kyvný vřeteník by se mohl aplikovat na odfrézování poškozené chrupavky . Mechanismus by byl ještě softwarově spojen se 3D scenerem, který by naskenoval tvar původní chrupavky a lékař by povyhodnocení situace nastavil, jakou třísku chce odebrat, aby poškozená tkáň byla odstraněna. Zachováním plochy by se hle mého názoru rapidně zkrátila doba rekonvalescence pacientů a kloub by byl po zákroku téměř funkční. Zde je náhled i s demonstračním krytem na ramenu a dvěma ledkovými svítilnami (černé).



obr. 9.2) kyvný vřeteník na frézování tvrdých tkání

Třetí aplikace, která zde bude uvedena je do oboru kosmickém průmyslu. Jedná se o vrtávání a odběr vzorků z povrchu dané planety či tělesa. Tento návrh byl již publikován jako celek upevněný na vozítku, které by se vyneslo např. na měsíc. Znění celého článku je v následujícím odkazu:

<http://www.kosmonautix.cz/2016/02/zlate-ceske-rucicky-viceucelovy-system-pro-vyrobu-i-odber-vzorku/>



obr. 9.3)

Vesmírné vozítko MER na zkoumání geologicky zajímavých objektů

10 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Těžko diskutovat v jednom člověku, proto se zaměříme především na zhodnocení. Já tento projekt hodnotím velice kladně. Přinesl mi spoustu nových zkušeností a hlavně konexí, díky kterým se rozšířilo portfolium mých profesionálních možností i nových přátel.

Díky výrobě modelu mechanismu jsem získal nové poznatky, které mě teoretické rozbory nepřinesly. Další vývoj na tomto projektu nebude tedy jen situovaný teoretickou rovinou, ale bude postaven i na testování reálného zařízení.

Nepředpokládám, že by se můj nápad někdy skutečně realizoval, ale v průběhu vypracování jsem si uvědomil, že cílem není přinést do reality něco nového, ale vyzkoušet si, jaké to je, prosadit svoji myšlenku. Vymyslet něco nového není záruka úspěchu, ale je to řekl bych polovina. Ta druhá polovina je myšlenku zrealizovat do nějakých reálných výrobitelných rozměrů, a následně to umět prodat. Celkově mohu ze svých zkušeností říci, že firmy jsou až na výjimky velice opatrné na cokoli jiného a hlavně velké firmy mají svoje koleje, ze kterých prostě nevystoupí. Na druhou stranu velké firmy jsou ochotné investovat malou částku a vyrobit třeba pár dílů na prototyp.

Celkově jsem přesvědčen, že je tato práce moje velká hodnotná zkušenost. Práce bude nadále pokračovat. Bude upraveno uložení kuliček v přírubách a testování, zda je umístění a poloha vodících přírub nejvhodnější variantou. Dále se bude vzorek testovat na odvod tepla a je třeba experimentálně změřit účinnost chlazení vřetene statickým vodním sloupcem. Jedna z posledních fází bude jistě zaměřena např. na zjednodušení montáže, zvážení potřeby výrobních a upínacích přípravků, uložení zařízení vzhledem k přenosu vibrací do rámu stroje apod.

11 ZÁVĚR

Podařilo se vytvořit konstrukční i reálný model zařízení, které splňuje parametry popsané v této práci. Následné pokračování v tomto projektu bude směřovno návrhem posuvu v ose z a následně návrhem designu hlavní stříně, ve které bude celý mechanismus uzavřen.

Závěrem bych rád poděkoval především Ing. Petrovi Kočišovi za odbornou pomoc a názory, které umocnily výsledek. Dále bych rád poděkoval Ing. Michalovi Dosedlovi, PhD., dále prof. Ing. Jiřímu Markovi, Dr. a doc. Ing. Radkovi Knoflíčkovi, Dr., Ing. Jaroslavovi Plockovi a Ing. Lubomírovi Kuželovi.

Snad se práce podařila a za pár let bude kyvný vřeteník standardizován a běžně používán. Firma WERA WERK mi nabídla využít na tento projekt jejich automatizační laboratoře a poskytla výrobní zázemí dílů, tudíž je reálný předpoklad dokončení modelu a testování reálného obrábění na novou koncepcí.

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. <http://www.pmccz.eu> [online]. 2016 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.pmccz.eu/konstrukce-vreteniku>
2. *Konstrukter* [online]. 2015 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.konstrukter.cz/2015/11/04/video-jake-jsou-vyhody-vnitriho-chlazení/>
3. *ELUC* [online]. 2012 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1228>
4. *BVB* [online]. 2010 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://f.bvbcz.cz/shopimg/180_NN116.jpg
5. *PRŮMYSL* [online]. 2004 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.prumysl.cz/obrabeci-stroje-automaticka-vymena-nastroju/>
6. *T+T TECHNIKA A TRH* [online]. 2008 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.technikaatrh.cz/pohony/novinky-v-sortimentu-firmy-tat-a-jejich-partneru>
7. *TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <https://www.google.cz/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0ahUKEwiGkJzy6frLAhUE1hQKHY8-AQgQjB0IBA&url=http%3A%2F%2Fwww.fm.tul.cz%2Fesf0247%2Findex.php%3Fdownload%3D724&psig=AFQjCNGUEzVM7ZtYiNiHOeP1ZylapHHbZQ&ust=1460059916347203>
8. *AUTOMATIZACE* [online]. 2011 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2005111201>
9. *ODPOROVÉ TENZOMETRY* [online]. 2014 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_3_2_3.htm
10. *ZM TECHNIK* [online]. 2008 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.emas.clickeshop.sk/mn1mim2-miniaturny-koncovy-spinac-s-prepin.-kontaktom/p673065c29352>
11. *STROJÍRNÝ OLŠOVEC* [online]. 2003 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.strojirny.com/obrabeni.php?scrollTo=true>

12. *NOVÉ VESMÍRNÉ SONDY* [online]. 2015 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://skola.brundik.net/referaty/umi/nove_vesmirne_sondy/index.html
13. *ROBODOUPĚ* [online]. 2012 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2015/trochu-vetsi-linearni-servopohon/>
14. *ODPOROVÉ TENZOMETRY* [online]. 2005 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~jur286/mast/tenzometry.htm>
15. *AUTOMATIZACE* [online]. 2008 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2005111201>
16. *T E M* [online]. 2011 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.tme.eu/cz/details/ten-tfs5_120-w/dotykova-cidla/tenmex/tfs5120-w/
17. *PMC* [online]. 2012 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.pmccz.eu/ew/ew_images/image?EwImage=efc859a8-609e-402c-af53-61a48f9d7f30&Filter=1e58ab74-70e4-4f22-aeeb-6c4592e6c9da
18. *Základní části obráběcích strojů*. 30.08.2010. Praha: MM publishing, s.r.o., 2010. ISBN 978-80-254-7980-3
19. *Strojnické tabulky 1 pro školy i praxi*. Mníšek pod Brdy: Scientia, 2004. ISBN 80-7183-312-6.
20. *Strojnické tabulky 2 pro školy i praxi*. Mníšek pod Brdy: Scientia, 2004. ISBN 978-80-86960-20-3.

13 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres těla kyvného vřeteníku
Příloha 2	Výkres svarku těla kyvného vřeteníku
Příloha 3	Výkres celkové sestavy kyvného vřeteníku
Příloha 4	Posouzení projektu firmou FERMAT s.r.o.
Příloha 5	Posouzení projektu firmou WERA WERK s.r.o.