



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

KONSTRUKČNÍ NÁVRH MOTORIZOVANÉ POLOHOVACÍ OSY PRO REFLEKTOR LASER TRACER

DESIGN OF A DRIVED CONVERTIBLE AXIS FOR A REFLECTOR LASER TRACER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ NOVÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JOSEF KNOBLOCH, MSc

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Novák

který/která studuje v bakalářském studijním programu

obor: Stavba strojů a zařízení (2302R016)

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:

Konstrukční návrh motorizované polohovací osy pro reflektor Laser Tracer

v anglickém jazyce:

Design of a driven convertible axis for a reflector Laser Tracker

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Laser Tracer je moderní měřicí zařízení pracující na principu multilaterálního měření používané k přesnému měření geometrické přesnosti a následné kompenzaci souřadnicových měřicích i obráběcích strojů. Cílem práce je provést konstrukční návrh motorizované polohovací osy pro reflektor, která bude používána pro měření svislých soustruhů. Návrh musí respektovat požadavek rozsahu a přesnosti polohování, dostatečné tuhosti a dále nutnosti efektivní montáže.

Cíle bakalářské práce:

- rešerše polohovacích os využitelných pro polohování optiky
- vytipování možných konstrukčních řešení polohovací osy
- výpočtové ověření vybraného řešení dle zadaných parametrů
- kompletní výkresová dokumentace a 3D model v příloze

Seznam odborné literatury:

- WECK, Manfred, BRECHER, Christian. Werkzeugmaschinen : Konstruktion und Berechnung. 2006. überarb. Auflage. Verlag Berlin Heidelberg : Springer, 2006. 701 s. ISBN 3-540-22502-1.
- <http://www.etalon-ag.com/>
- www.infozdroje.cz

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Knobloch, MSc

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 20.11.2013

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je konstrukční návrh motorizované polohovací osy pro reflektor měřicího zařízení Laser Tracer. Polohovací osa slouží k ustavení reflektoru do dvou poloh při měření geometrické přesnosti svislých soustruhů. Práce zahrnuje řešení v oblasti možných konstrukčních řešení daného problému, konstrukční návrh polohovací osy, výpočet potřebného krouticího momentu elektromotoru a návrh jeho řízení. Součástí práce je kompletní výkresová dokumentace a 3D model polohovací osy.

KLÍČOVÁ SLOVA

polohovací osa, Laser Tracer, kluzný pohybový šroub, řízení stejnosměrného elektromotoru

ABSTRACT

The subject of this bachelor work is a structural design drawing of a driven convertible axis for a reflector belonging to a measuring machine called Laser Tracer. The convertible axis is used to establish the reflector into two positions during the measurements of the geometric accuracy of vertical lathes. The work includes research in the area of possible structural solutions to the given issue, structural design drawing of a driven convertible axis, calculation of the needed torque for an electric motor and its control suggestion. Complete drawing documentation is a part of this work, as well as a 3D model of the convertible axis.

KEYWORDS

convertible axis, Laser Tracer, motion-slide screw, controlling the direct current electric motor

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Novák, T. *Konstrukční návrh motorizované polohovací osy pro reflektor Laser Tracer*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 57 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Knobloch, MSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 22. května 2014

.....

Tomáš Novák

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat především vedoucímu práce Ing. Josefu Knoblochovi, MSc. za cenné rady, náměty a všecken čas, který mi při konzultacích ochotně věnoval. Dále bych rád poděkoval Filipu Strnadovi, DiS za odborné podněty, které mi poskytl při návrhu řízení elektromotoru. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat všem, kteří mi poskytli svůj čas a informace a také všem mým blízkým, jenž mi byli vždy oporou.

OBSAH

Úvod.....	10
1 Průzkum trhu.....	11
1.1 Lineární modul KK 50	11
1.2 Polohovací systém s jezdcem EGT/EGK 80.....	11
1.3 Lineární modul s pohonem kuličkovým šroubem CTV 110.....	12
1.4 Lineární jednotka SKR 26.....	13
2 Přehled používaných konstrukčních řešení	14
2.1 Kluzné vedení hydrodynamické	14
2.2 Valivé vedení.....	16
2.2.1 Valivá vedení s omezenou délkou zdvihu.....	16
2.2.2 Valivá vedení s neomezenou délkou zdvihu	17
2.3 Kluzný pohybový šroub s maticí	18
2.4 Kuličkový šroub s maticí	21
2.5 Stejnoseměrný elektromotor	22
2.6 Zhodnocení a rozhodnutí.....	24
3 Konstrukční řešení	26
3.1 Návrh mechanické části polohovací osy	26
3.2 Návrh stejnosměrného elektromotoru.....	29
3.2.1 Volba elektromotoru	30
3.2.2 Výpočet krouticího momentu	30
3.3 Návrh řízení stejnosměrného elektromotoru	38
3.4 Finanční zhodnocení	42
Závěr	43
Použité informační zdroje	44
Seznam použitých zkratk a symbolů	46
Seznam obrázků.....	49
Seznam tabulek.....	50
Seznam výkresové dokumentace a příloh	51
Přílohy	52

ÚVOD

Laser Tracer je moderní měřicí zařízení které bylo vyvinuto jako prostředek pro měření geometrické přesnosti obráběcích či souřadnicových měřicích přístrojů. Zařízení pracuje na principu multilateralismu, což je velice podobný princip, na kterém pracují dnešní GPS navigace. Laser Tracer je schopný měřit v rozsahu až 15ti metrů s přesností 0,5 μm na 1 metr.

Takto přesným zařízením lze tedy velice přesně měřit polohu např. vřetena vůči stolu obráběcího stroje a na základě naměřených hodnot posléze vyhodnotit a kompenzovat geometrické chyby stroje. Avšak u některých strojů s pouze dvěmi lineárními osami (např. svislý soustruh) je nezbytné reflektor laseru při měření přestavit v chybějící třetí ose. To lze provádět například ruční polohovací osu, ale s tou nevýhodou, že osoba, která reflektor přemísťuje, musí vstoupit do pracovního prostoru stroje. To však není bezpečné a je proto vhodné se této situaci vyhnout. Řešením je umístění reflektoru na polohovací osu, která tuto činnost provede samostatně. Toto zařízení musí být dostatečně tuhé a schopné přemístit reflektor o daný úsek v krátkém časovém intervalu.

Zařízení, která by dokázala provést zmíněnou funkci lze na trhu nalézt celou řadu. Avšak zásadní problém spočívá ve vhodnosti použití těchto zařízení pro měření. Obvykle jsou zařízení rozměrná, drahá a velice často dosahují takových funkčních parametrů, že by jejich potenciál nebyl ani zdaleka využit. Lepším řešením je v tomto případě navržení vlastní polohovací osy, která bude svými parametry vyhovovat pro použití při měření obráběcích strojů. Takto navržená polohovací osa by měla být navržena tak, aby náklady na její výrobu a provoz byly samozřejmě co nejnižší, a aby bylo možné polohovací osu vyrobit bez použití speciálních obráběcích, či tvářecích strojů. A právě tímto návrhem se tato práce zabývá.

1 PRŮZKUM TRHU

Před samotným konstrukčním návrhem polohovací osy je důležité zjistit, jaké varianty polohovacích os jsou již k dostání na trhu. Při průzkumu je brán zřetel na to, aby bylo výběrem respektováno zadání a také vhodnost použití osy pro danou aplikaci. S ohledem na tyto fakty je vytipováno několik polohovacích os, které svými rozměry a technickými parametry nejlépe vyhovují. Po následném zúžení výběru jsou vybrány čtyři polohovací osy.

1.1 LINEÁRNÍ MODUL KK 50

Jedná se o polohovací jednotku s přesným kuličkovým šroubem. Vedení je valivé, z čehož vyplývá vysoká citlivost a plynulý pohyb bez trhání. Jednotka je standardně dodávána bez motoru, ale je zde možnost dodání s krokovým či servo motorem, popřípadě doplněným o frekvenční měnič [11].

Tab. 1KK 50 [11]

	Výrobce	Hiwin
	Model	KK 50
	Typ vedení	Valivé (kuličkové)
	Přenos pohybu	Kuličkový šroub
	Délka dráhy [mm]	150 – 300
	Přesnost [mm]	$\pm 0,003$
	Max. rychlost [mm/s]	270
	Motor	Krokový/Servo

1.2 POLOHOVACÍ SYSTÉM S JEZDCEM EGT/EGK 80

Polohovací mechanický systém s integrovaným kluzným či valivým šroubem. Vedení je prizmatické, kde jeden z kusů vedení je vyroben z plastu. Toto vedení má možnost nastavení vůle a také umístění více vozíků na jednu jednotku. Polohovací systém je utěsněn proti vniku prachu a kapalin. Poháněcí motor není součástí této jednotky[18].

Tab. 2EGT/EGK 80 [18]

	Výrobce	Bahr Modultechnik GmbH
	Model	EGT/EGK 80
	Typ vedení	Kluzné/Valivé
	Přenos pohybu	Trapézový/Kuličkový šroub
	Délka dráhy [mm]	286
	Přesnost [mm]	$\pm 0,2/0,025$
	Max. rychlost [mm/s]	500/1000
	Motor	Není součástí

1.3 LINEÁRNÍ MODUL S POHONEM KULIČKOVÝM ŠROUBEM CTV 110

Lineární jednotka s kluzným vedením poháněná kuličkovým šroubem. Vedení je rybinové paralelní a je integrováno na široký tažený hliníkový profil. Kuličkový šroub s předepnutou maticí (tím je vymezena vůle) je uložen mezi oběma vedeními. Jednotka je utěsněna polyuretanovými krycími páskami pro zamezení vniku prachových nečistot. K této lineární jednotce není dodáván poháněcí motor [13].

Tab. 3CTV 110 [13]

	Výrobce	Matis
	Model	CTV 110
	Typ vedení	Kluzné
	Přenos pohybu	Kuličkový šroub
	Délka dráhy [mm]	max 1500
	Přesnost [mm]	0,01
	Max. rychlost [mm/s]	960
	Motor	Není součástí

1.4 LINEÁRNÍ JEDNOTKA SKR 26

Lineární jednotka tvořena lineárním valivým vedením s kuličkovým šroubem zabudovaným do U-profilu, který tvoří vnější kolejnice. Kuličková klec vedení je tvořena patentovanou technologií firmy THK, která zamezuje vzájemnému tření valivých tělísek a tím zaručuje optimální mazání valivých prvků. Takto je zabezpečena dlouhá životnost i při delších intervalech mazání. K jednotce je možné volit široký rozsah příslušenství, včetně pohonného motoru [17].

Tab. 4 SKR 26 [17]

	Výrobce	LIN-TECH Hennlich
	Model	SKR 26
	Typ vedení	Valivé
	Přenos pohybu	Kuličkový šroub
	Délka dráhy [mm]	350
	Přesnost [mm]	0,006
	Max. rychlost [mm/s]	60
	Motor	Není součástí

2 PŘEHLED POUŽÍVANÝCH KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ

Tato kapitola je zaměřena na konkrétní konstrukční prvky, které jsou užity v komerčních polohovacích osách. Je brán zřetel na použitelnost a vhodnost pro řešení zadání a také je vysvětlen základní princip funkce daných prvků.

2.1 KLUZNÉ VEDENÍ HYDRODYNAMICKÉ

Obecně si lze pod pojmem vedení představit soustavu dvou či více ploch, mezi kterými dochází ke styku pohyblivé a pevné části posuvu. Pevná část zajišťuje pohyb po co nejvíce geometricky přesné dráze.

Kluzné vedení je charakterizováno jistou nestabilitou, která se vyskytuje ve dvou podobách [3]:

- nerovnoměrný trhavý pohyb – nastává při skokové změně statického součinitele tření na dynamický, tzn. posuv překonává odpor tření za klidu, a jakmile dojde k pohybu (změně součinitele tření), tak vlivem přebytku hnací síly a nedokonalé tuhosti vedení, dojde k poskoku posuvu,
- necitlivost.

Hydrodynamické vedení je charakteristické způsobem vytváření mazacího filmu, který vzniká až při vzájemném pohybu vodících ploch.

U hydrodynamického vedení rozeznáváme několik základních typů vodících ploch, které jsou rozděleny podle druhu vodící plochy (viz. Příloha_1).

Vedení tvořená prizmatickými, plochými nebo rybinovými plochami (které lze vzájemně kombinovat a tak dosáhnout lepších vlastností vedení) jsou vhodná zejména pro obráběcí stroje. Mezi výhody těchto typů vedení patří dobrý přenos vodorovných či svislých zatížení, snadné vymezení vůle ve vedení (např. pomocí klínových lišt, zaškrabáním spodní vodící lišty atd.) a také u některých typů vedení velice snadné mazání (např. prizmatické vnitřní). Všechna tato zmiňovaná vedení dosahují dobré tuhosti a přesnosti vedení.

Naproti tomu kruhové vedení se u obráběcích strojů používá výhradně pro vedení pinol (vřetena vrtaček či frézek a pinola koníku soustruhu), ale pro vedení posuvů, stolů či stojanů se nepoužívá [1]. Je to zejména kvůli nižší dosažitelné tuhosti vedení. Avšak má řadu výhod, mezi které patří nízká hmotnost, malé rozměry vedení a především velká výrobní jednoduchost.

Při konstrukci hydrodynamického vedení je důležité věnovat pozornost především níže uvedeným aspektům.

VOLBA MATERIÁLU VODÍCÍCH PLOCH

Počáteční přesnosti vedení je dosaženo vhodnou technologií obrábění, avšak udržení této přesnosti po delší dobu je dáno volbou materiálu vodících ploch (kromě dalších důležitých faktorů jako je mazání a ochrana před vnikáním nečistot na vedení).

Odolnost vodících ploch vůči opotřebení závisí především na chemickém složení použitých materiálů, drsnosti povrchu kluzných ploch a fyzikálně mechanických vlastnostech materiálu vedení. Tvrdost materiálu není vždy zárukou dobré odolnosti proti opotřebení. Někdy se tvrdý materiál opotřebovává rychleji než měkký, neboť velmi záleží na stejnorodosti struktury materiálů a také na tvaru krystalů materiálu [1].

Vodící plochy se opotřebovávají méně, pokud jsou tvrdosti použitých materiálů rozdílné. Pokud by byly stejné, docházelo by k zadírání ploch zejména při malých rychlostech pohybu a vyšších měrných tlacích. S přihlédnutím k faktu, že se měkkí plocha obvykle opotřebovává rychleji, volí se vždy důležitější a větší plocha tvrdší [1].

Kombinace používaných materiálů u obráběcích strojů ukazuje Tab. 5.

Tab. 5 Přehled materiálů pro vodící plochy [1]

Materiál vodících ploch		Součinitel tření f
Kratší plochy (např. stůl)	Delší plochy (např. lože)	
Šedá litina	Šedá litina (+20HB)	0,1...0,15
	Litina povrchově kalená (48 – 50HRC)	0,1...0,15
	Ocelové kalené lišty (60 – 63HRC)	0,1...0,15
Umělá hmota	Šedá litina	0,02...0,06

V dnešní době mají umělé hmoty stále širší zastoupení při použití jako jedné ze sdružených ploch vedení. Důvodem je získání řady výhod, mezi které patří výborné třecí vlastnosti, prakticky nemožnost zadření a také to, že opotřebení sdružené kovové plochy je minimální [3].

JAKOST ZPRACOVÁNÍ VODÍCÍCH PLOCH

Kvalita opracování má samozřejmě výrazný vliv na opotřebení vodících ploch. Především při záběhu vedení je velikost opotřebení značně závislá na jakosti opracování vodících ploch. Čím horší je jakost opracování, tím větší je stupeň opotřebení. Nejčastěji se jako dokončovací metoda pro opracování vodících ploch volí broušení a následné zaškrabávání [1].

VLIV ZATÍŽENÍ VODÍCÍCH PLOCH

Zatížení vedení (působení měrných tlaků) také výrazně ovlivňuje opotřebení vodících ploch. Pokud roste zatížení, roste i opotřebení. Pro zmenšení opotřebení je důležité tlak rovnoměrně rozložit.

SPOLEHLIVÉ MAZÁNÍ VODÍCÍCH PLOCH

Správné mazání je důležité pro dobrou funkci celého vedení a také vede ke snížení opotřebení. V praxi se pro mazání rozměrných vedení používají speciální mazací drážky, které stejnoměrně rozvádějí mazivo po celé délce vedení. Jako mazivo je používán výhradně olej.

2.2 VALIVÉ VEDENÍ

Valivé vedení je oproti kluznému vedení založeno na principu valivého tření, které má velmi nízký součinitel tření a také malý rozdíl mezi součinitelem tření za klidu a za pohybu. Tato vlastnost má velký vliv na potlačení trhavých pohybů, které vznikají při použití kluzného, hydrodynamického vedení (viz. Kapitola 2.1). Právě potlačení trhavých pohybů patří mezi největší výhodu valivého vedení. Mezi další výhody dle literatury [1] patří:

- minimální opotřebení,
- vysoká životnost,
- možnost předepnutí a tím vymezení vůle ve vedení,
- vysoká přesnost při pohybu.

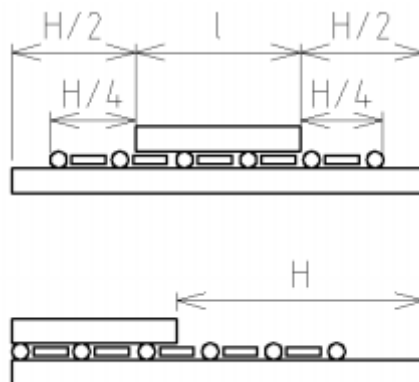
Ovšem valivé vedení má také řadu nevýhod, mezi které patří:

- náročnost na přesnost výroby (tím i poměrně vysoká cena),
- nižší schopnost útlumu rázů či chvění,
- větší rozměry než vedení kluzná.

Valivá vedení se používají ve dvou základních variantách, a to s omezenou či neomezenou délkou zdvihu.

2.2.1 VALIVÁ VEDENÍ S OMEZENOU DÉLKOU ZDVIHU

Základní princip vedení s omezenou délkou zdvihu je zobrazen na Obr. 1. Zdvih stolu H je omezen, protože klec s valivými elementy se pohybuje zároveň se stolem. Valivé elementy vykonají pouze polovinu zdvihu stolu. Pokud je tento typ konstruován jako otevřený, je schopen zachycovat pouze axiální síly. Avšak při použití uzavřené konstrukce, je již toto vedení schopno omezeně přenášet jakékoliv zatížení. V případě použití tohoto typu, je vedení vždy předepnuto [3].

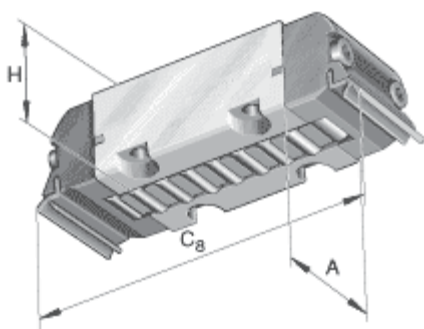


Obr. 1 Valivé vedení s omezenou délkou zdvihu [1]

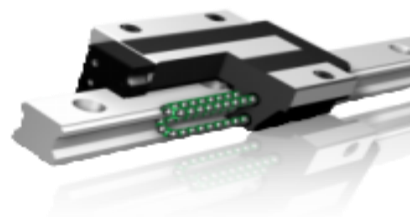
Vedení s omezenou délkou zdvihu lze rozdělit do několika skupin, a to dle použitých valivých elementů. Válečkové vedení je nejpoužívanější, zvláště pro svou dobrou tuhost a přesnost. Jehlového vedení se užívá v případě použití prizmatického tvaru vedení. Dalším typem je kuličkové vedení, které má nižší únosnost a vyžaduje velmi tvrdé vodící plochy. Ty mohou být obloženy kalenými plechy, anebo již tvořeny hmotnými lištami [3].

2.2.2 VALIVÁ VEDENÍ S NEOMEZENOU DÉLKOU ZDVIHU

U tohoto typu valivého vedení je umožněn pohyb stolu (který je schopen přenášet zatížení) po celé délce vedení. Této vlastnosti je dosaženo pomocí valivých hnízd - bloků (viz. Obr. 2), které se připevňují na posuvovou část, anebo jsou přímo integrována v posuvu. Hnízda (bloky) obsahují daný počet valivých tělísek (válečků, kuliček, atd.), které jsou vedeny klecí a obíhají po dráze vytvořené v tělese hnízda [1]. Princip této konstrukce je zobrazen na Obr. 3.



Obr. 2 Valivé hnízdo (blok) [14]



Obr. 3 Vedení s neomezenou délkou zdvihu [17]

Valivé bloky mohou být užity s různými vodícími plochami, které již byly zmíněny v kapitole 2.1. Speciálním typem vedení s neomezenou délkou zdvihu je tzv. profilové vedení (Obr. 4), které je v dnešní době často používané kvůli řadě svých výhod. Mezi ty největší dle literatury [3] patří:

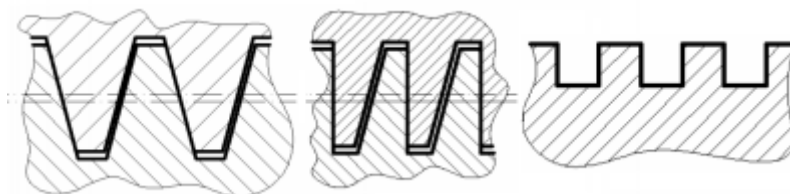
- bezvůlový chod,
- vysoká přesnost polohování,
- snadná instalace,
- vysoké pojízďecí rychlosti,
- snadná údržba.



Obr. 4 Profilové vedení [12]

2.3 KLUZNÝ POHYBOVÝ ŠROUB S MATICÍ

Kluzný pohybový šroub s maticí je vhodné použít pro menší rychlosti přímočarého pohybu a také tam, kde se vhodně využije velkého převodu šroubu a matice. V praxi se využívají profily závitů viz. Obr. 5, kde jsou vyobrazeny v tomto pořadí: lichoběžníkový souměrný, lichoběžníkový nesouměrný a plochý (čtvercový) profil.



Obr. 5 Profily závitů kluzných šroubu a maticí

Nejčastěji používaný profil je lichoběžníkový souměrný. Jeho výroba je velmi jednoduchá a velice snadno lze u tohoto profilu vymezit vůli. Ostatní profily se používají spíše výjimečně, například jsou-li požadovány vysoké nároky na přesnost odměření vzdálenosti (vyšší přesnost jen v jednom smyslu otáčení) [1]. U mechanismů používajících kluzného šroubu jsou nejčastěji používány tyto konstrukční varianty:

- matice se otáčí a šroub vykonává přímočarý pohyb,
- šroub se otáčí a matice vykonává přímočarý pohyb.

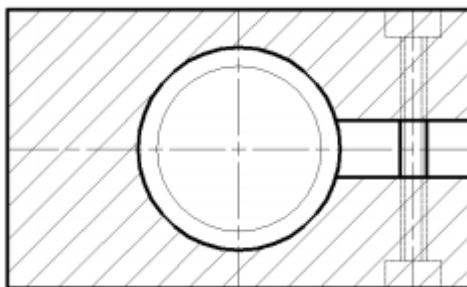
Ve výjimečných případech lze využít kombinaci obou těchto typů, a to tedy že se zároveň otáčí šroub i matice.

U kluzného pohybového šroubu je vždy nutno počítat s vlivem vůle na polohování. Vůle vzniká:

- nepřesností výroby,
- opotřebením šroubu či matice.

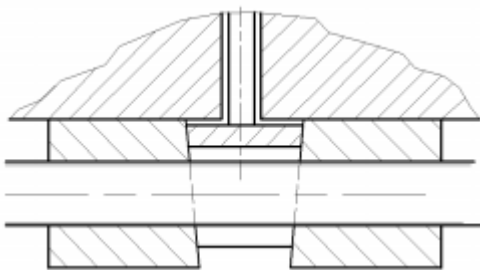
Vůle velmi ovlivňuje polohu stolu vůči vedení, především při reverzaci otáček, anebo při změně směru působícího zatížení. Proto je u tohoto typu převodu rotačního pohybu na posuvný téměř vždy nutné řešit právě vymezení vůle. To se provádí různými způsoby, mezi které například patří [1]:

- vymezení vůle rozřízlou maticí (Obr. 6), kde se vůle vymezí stažením obou polovin matice šroubem (používá se pro podřadnější účely),



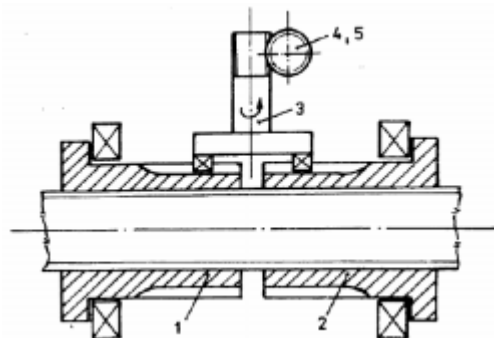
Obr. 6 Vymezení vůle rozříznutou maticí

- vymezení vůle dělenou maticí (Obr. 7), kde se vůle vymezuje roztahováním matice pomocí vtlačovaného klínu,



Obr. 7 Vymezení vůle dělenou maticí

- vymezení vůle samočinně (Obr. 8), které se používá pro přesná vedení, kde se nesmí nikdy vyskytnout vůle.



Obr. 8 Samočinné vymezení vůle [1]

Tento způsob vymezení vůle pracuje tak, že šroub, který je poháněn ručně či motorem, zabírá s maticemi 1 a 2, které jsou po obvodu opatřeny ozubením. S tímto ozubením obou matic zabírá čelně ozubené kolo, na jehož čepu 3 je pastorkové ozubení. Podle smyslu otáčení šroubu se vlivem tření pootočí jedna z matic. Současně se pootočí i druhá matice v opačném smyslu otáčení (vlivem čelně ozubeného kola), až do chvíle dosednutí protilehlých boků závitu šroubu. Pružina 5 (která může být nahrazena tlakovým olejem u hydraulického vymezování vůle) vyvolá přes hřeben 4 počáteční styk boků závitů šroubu a matice [1].

Důležitým parametrem u kluzného pohybového šroubu je jeho statická tuhost, kterou ovlivňuje axiální uložení šroubu. Šroub lze axiálně uložit dvěma způsoby, a to jednostranně anebo oboustranně. U jednostranného uložení dochází při zdvihu k podstatnému snížení statické tuhosti. Naopak u oboustranně uloženého šroubu (a při jeho mírném předepnutí) je průběh tuhosti příznivější. Ovšem u tohoto provedení je nutno počítat s tepelnými dilatacemi, jenž vznikají během provozu, které mohou vést až k zadření šroubu. Tyto dilatace lze kompenzovat předepnutím šroubu tahem ještě před jeho použitím (šroub je studený). Během provozu (ohřívání šroubu) pak nejprve dojde k odstranění tahového předpětí a následné další ohřívání způsobuje tlakové axiální napětí, které je nezbytné pro zvýšení tuhosti. Toto řešení však lze použít jen při důkladné znalosti veškerých provozních parametrů systému.

Kluzné pohybové šrouby a matice mají samozřejmě své nevýhody, mezi ty hlavní dle literatury [1] patří:

- možnost trhavých pohybů,
- oteplování vlivem tření,
- nízká účinnost, řádově 30 až 40%.

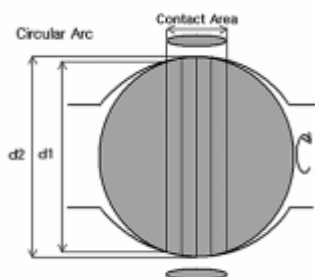
2.4 KULIČKOVÝ ŠROUB S MATICÍ

Kuličkový šroub s maticí (dále již jen KŠM) slouží, taktéž jako kluzný pohybový šroub, k převodu rotačního pohybu na pohyb posuvný. Ovšem hlavní rozdíl spočívá v nahrazení kluzného pohybu valivým. Tím dochází ke zlepšení mnoha vlastností pohybového šroubu. Literatura [3] uvádí:

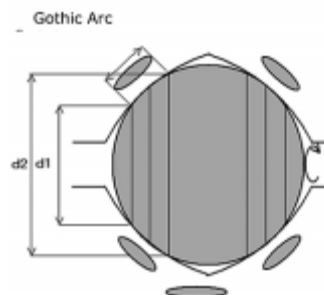
- vyšší účinnost (90% a více),
- nižší opotřebení a oteplení za chodu šroubu,
- omezení trhavých pohybů,
- úplné odstranění vůle a tím zvýšení tuhosti mechanismu.

Šroub i matice jsou ocelové, kalené a plochy závitů jsou broušeny. V těchto závitech obíhají kuličky, které mají vlastnosti ložiskových kuliček. Závity jsou vyrobeny s velkou přesností, dovolená úchylka stoupání bývá např. 0,002 mm na 100 mm [1].

KŠM se vyrábí ve dvou konstrukčních provedeních profilu závitu. Jedná se o profil kruhový a gotický (Obr. 9 a Obr. 10).



Obr. 9 Kruhový profil [7]

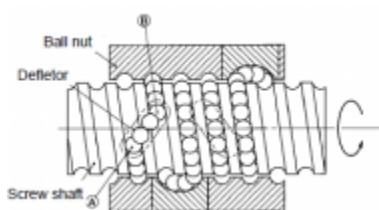


Obr. 10 Gotický profil [7]

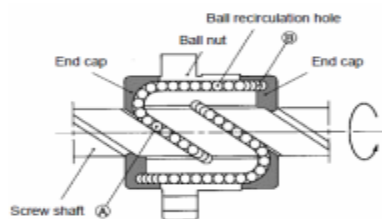
Kruhový profil je výrobně jednodušší a vyrábí se nejčastěji válcováním. To vede k nízké ceně šroubu, avšak také ke snížení přesnosti. U tohoto profilu dochází ke 2-bodovému styku kuličky se šroubem a maticí, což má negativní vliv na účinnost a zvýšení zatížení jednotlivých kuliček [3].

Gotický profil má vysokou přesnost a možnost vymezení vůle a předepnutí. Tento profil je charakteristický svým 4-bodovým stykem, který je výhodný z hlediska rozložení kontaktního napětí. Gotický profil je nejpoužívanějším právě pro zmíněné výhody [3].

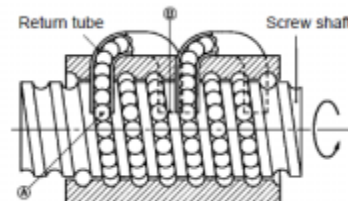
Konstrukce kuličkové matice musí respektovat požadavek neomezené délky posouvání, a proto je nutné matici upravit tak, aby bylo umožněno zpětné vedení kuliček. To se provádí třemi způsoby, které jsou zobrazeny na Obr. 11 až Obr. 13.



Obr. 11 Deflektor [16]



Obr. 12 Převáděcí kanál [16]



Obr. 13 Převáděcí trubka [16]

Předpětí kuličkové matice (tak jako u valivého vedení s neomezenou délkou zdvihu) má příznivý vliv na tuhost celého mechanismu a také tím dochází k odstranění vůle. Pro vytvoření předpětí je matice složena ze dvou dílů, které se vzájemně předepínají, anebo je možné matici vyrobít z jednoho kusu tak, že v jedné polovině matice je stoupání posunuto o vzdálenost, jenž je nutná k vytvoření požadovaného předpětí [1]. Jiný možný způsob vyvození předpětí je použití dělené matice, která je svírána do sebe. Tímto spojením je možné předpětí měnit [3]. Další možné způsoby vyvození předpětí jsou uvedeny v Příloha_2.

Stejně jako u kluzného pohybového šroubu, tak i u KŠM ovlivňuje statickou tuhost šroubu jeho axiální uložení. Způsoby axiálního uložení KŠM jsou naprosto stejné jako u kluzného pohybového šroubu, proto v této kapitole nejsou dále rozebírány.

2.5 STEJNOSMĚRNÝ ELEKTROMOTOR

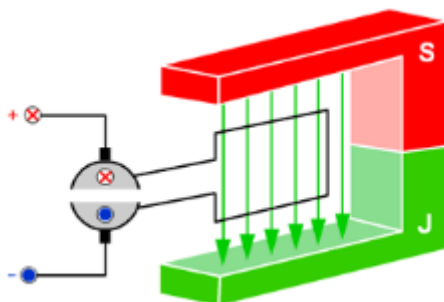
Stejnosemý motor je historicky nejstarší elektromagnetický stroj. Od jeho vynálezu až do dnešní doby se jeho konstrukce v základu nezměnila. Stejnosemý motor se skládá ze tří hlavních částí: stator, rotor a sběrací mechanismus. U velkých stejnosměrných motorů je konstrukce doplněna o ventilátor, který slouží k chlazení stroje [2].

Stator je na svém obvodu opatřen hlavními póly, které jsou navzájem magneticky opačně orientovány. Cívky jejich vinutí budí magnetické pole motoru. Mezi hlavními póly jsou pravidelně prostřídány pomocné, komutační póly, které zlepšují komutaci rotorového vinutí (snižují jiskření, které vzniká mezi kartáči a komutátorem). Za hlavním pólem o dané polaritě následuje pomocný pól se stejnou polaritou a to ve směru otáčení rotoru motoru [4].

Rotor (kotva) nese ve svých drážkách cívky stejnosměrného vinutí, které jsou vyvedeny na měděné lamely komutátoru. Komutátor zajišťuje stálý směr proudu vodiče, jenž se nachází pod pólem a tím i stejný směr tažné síly a točivého momentu [2].

Sběrací mechanismus je složen z uhlíkových nebo elektrouhlíkových kartáčů a držáků kartáčů. V držácích kartáčů jsou umístěny kartáče, které dosedají na komutátor do magneticky neutrálního místa. Pro zlepšení komutace se někdy mohou kartáče natočit mírně proti směru otáčení rotoru. Počet kartáčů je stejný jako počet hlavních pólů a také je vždy sudý [4].

Princip činnosti stejnosměrného motoru je popsán dle Obr. 14. Po zapnutí elektromotoru na sebe začínají působit magnetická pole statoru a rotoru. Rotor má snahu vychýlit se do oblasti slabšího magnetického pole, což vyvolá vznik tažné síly. Působení tažné síly přestane v poloze rotoru mezi póly. Současně s rotorem se otáčejí lamely komutátoru. Stojící kartáče se přesouvají na další lamely komutátoru a tím dojde ke změně směru proudu v rotoru. Tento přesun umožní zachování směru tažné síly. Avšak motor s jedním závitem na rotoru (viz Obr. 14) nemůže fungovat, neboť v poloze mezi póly dochází k poklesu točivého momentu, vyvolaného tažnou silou, na nulu. Z tohoto důvodu musí mít rotor větší počet vhodně zapojených cívek [2].



Obr. 14 Princip činnosti stejnosměrného motoru [8]

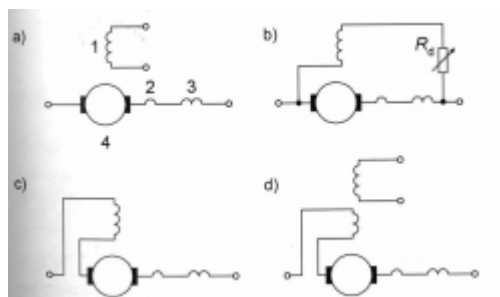
Stejnoseměrné motory se dělí do 4 skupin dle druhu buzení. Schémata zapojení buzení jsou zobrazeny na Obr. 15, kde: 1-vinutí hlavních pólů, 2-vinutí pomocných (komutačních) pólů, 3-kompenzační vinutí, 4-rotor (kotva).

Motor s cizím buzením má vinutí hlavních pólů napájeno z nezávislého zdroje.

Derivační motor, také nazývaný motor s paralelním buzením, má budící vinutí přivedené na napětí kotvy. Budící proud lze řídit derivačním reostatem R_d (rezistor s proměnným odporem), který je zapojen do série s právě budícím vinutím.

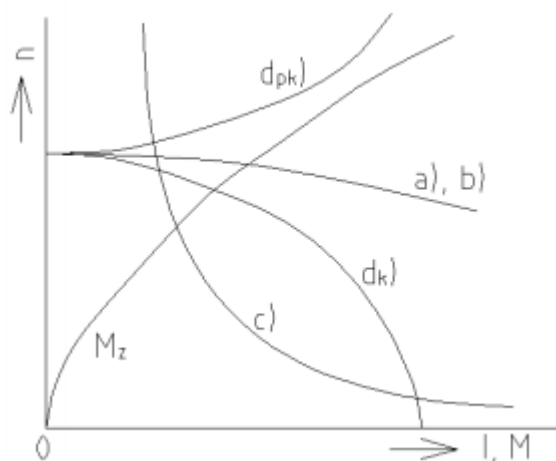
Sériový motor má budící vinutí zapojeno do série s kotvou.

Kompandní motor (motor se smíšeným buzením) má na hlavní póly zapojené dvě vinutí. Hlavní budící vinutí je napájeno z nezávislého zdroje a sériové budící vinutí, které je protékáno proudem kotvy, působí buď souhlasně (kompaudace) nebo nesouhlasně (protikompaudace) s působením hlavního budícího vinutí [4].



Obr. 15 Rozdělení elektromotorů dle buzení a) s cizím buzením, b) derivační, c) sériový, d) kompaudní [4].

Zatěžovací charakteristiky (viz. Obr. 16) vyjadřují závislost velikosti otáček n na točivém momentu M či na proudu kotvy I při konstantním napětí kotvy a buzení (cizí či paralelní). Značení v Obr. 16 odpovídá druhu elektromotoru z Obr. 15 a zároveň značení d_k popř. d_{pk} rozlišují motor s kompaudací, případně protikompaudací.



Obr. 16 Zatěžovací charakteristiky [4]

2.6 ZHODNOCENÍ A ROZHODNUTÍ

Před samotným konstrukčním návrhem je důležité učinit rozhodnutí, jakým směrem se bude návrh ubírat. Všechna zmíněná konstrukční řešení se jeví jako vhodná pro řešení zadání, ale použít lze jen některá.

K napájení polohovací osy je užito stejnosměrného proudu (z akumulátoru či baterie). Toto vychází z požadavku přenosnosti osy a také z důvodu bezpečnosti (přívodní kabel by mohl být zachycen pohybujícími se částmi obráběcího stroje). Tím se zužuje výběr pohonné jednotky (elektromotoru). Elektrické motory pracující na stejnosměrný proud jsou motory krokový a stejnosměrný. Krokový motor je vhodný pro aplikace, u nichž se vyžaduje přesné polohování v rozmezí celé délky posuvu. To je způsobeno schopností motoru natáčet se o

daný úhel (nejmenší úhel je dán konstrukcí motoru). Pro řešení zadání je tato vlastnost nadbytečná a také vykoupěna vyšší cenou a hmotností. Z těchto důvodů je užito motoru stejnosměrného.

Vedení je zvoleno valivé s neomezenou délkou zdvihu, a to zejména pro svou hlavní výhodu oproti vedení kluznému, kterou je podstatně nižší součinitel tření. Další výhodou je menší náročnost na mazání vedení. Protože polohovací osa musí být přenosná, není vhodné, aby se na jejím vedení vyskytovalo velké množství maziva, které by mohlo stékat či odkapávat. Jako další důvod pro zvolení tohoto typu vedení je již v dnešní době relativně nízká pořizovací cena. Profil vedení je zvolen kruhový zejména pro svou výrobní jednoduchost, snadnost montáže a také pro svou nízkou cenu v porovnání s ostatními profily vedení.

Převod rotačního pohybu na translační pohyb je zprostředkován kluzným pohybovým šroubem s bronzovou maticí (bez vymezování vůle). Důvodem této volby je především menší zástavbový prostor oproti KŠM, nevyužití výrazné přesnosti a účinnosti KŠM, a také jako u předchozího rozhodnutí cena.

3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Kapitola konstrukční řešení rozebírá a popisuje samotný návrh motorizované polohovací osy, který vyplývá z těchto zadaných požadavků:

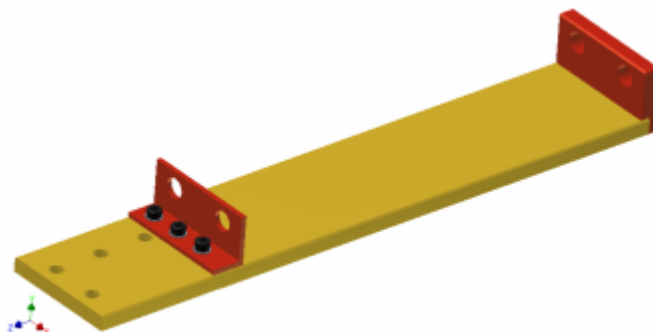
- rozsah: 270 mm,
- polohování pouze v krajních polohách,
- čas přejezdu: 5 s,
- nízká hmotnost,
- malé zástavbové rozměry,
- vlastní zdroj elektrické energie,
- dálkové ovládání.

3.1 NÁVRH MECHANICKÉ ČÁSTI POLOHOVACÍ OSY

Celý návrh polohovací osy je zpracován v programu Autodesk Inventor Professional 2011. Obrázky, které jsou použity v této kapitole k popsání navržených prvků, jsou vyexportovány právě z tohoto CAD softwaru.

Jak lze vidět na obrázcích komerčních produktů (Tab. 1 až Tab. 4), všechny polohovací osy mají v základu podobnou konstrukci tvořenou dvěma bočnicemi, které jsou vzájemně spojeny (ať už po jejich bocích či ze spodní strany), základní deskou či deskami. Při řešení je použita obdobná konstrukce.

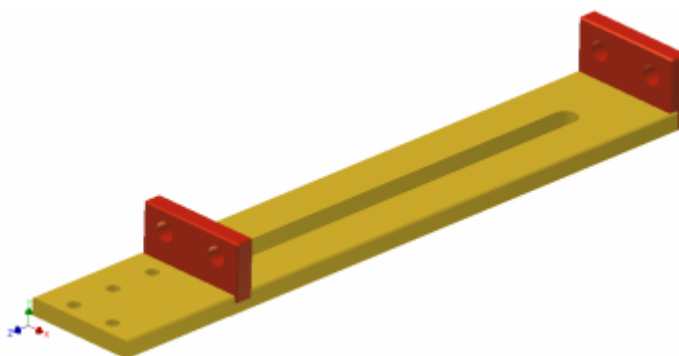
Jedním z požadavků kladených na polohovací osu je nízká hmotnost, z tohoto důvodu je pro rám osy (základní deska a bočnice) zvolen materiál hliníkové slitiny, konkrétně EN AW 2011 (hutní označení-AlCuBiPb), který je charakteristický nízkou korozní odolností, ale velmi dobrou obrobiteľností [5]. Protože tento materiál není svařitelný, je pro spojení hlavních dílů užito šroubového spoje.



Obr. 17 Návrh rámu polohovací osy

Jak lze vidět na Obr. 17, k základní desce (žlutá barva) je z čela přišroubována jedna z bočnic osy, která je vyrobena ze stejného polotovaru jako základní deska. Druhá bočnice je tvořena L profilem (z totožného materiálu). Tento způsob řešení bočnice je výhodný z hlediska úspory materiálu a také není nutné příliš obrábět základní desku. Avšak L profily potřebných rozměrů se standardně vyrábí v tloušťkách do 6-ti milimetrů, což je z hlediska nutnosti uložení pohybového šroubu a vodící tyče nedostatečné.

Lepší řešení bočnic je zobrazeno na Obr. 18. Zde jsou obě bočnice tvořeny z totožného polotovaru jako základní deska. Touto koncepcí je umožněno bezpečné uložení pohybového šroubu a vodící tyče, a také je dosaženo lepší tuhosti rámu. Prostor, který tvoří základní deska za levou bočnicí, slouží k upevnění celé polohovací osy k upínací kostce (není součástí návrhu) a také zde vzniká prostor pro umístění elektromotoru. Drážka, jež je vyfrézována středem základní desky, slouží pouze k odlehčení a nemá tudíž žádnou mechanickou funkci. Všechny díly jsou k sobě přišroubovány celkem čtyřmi šrouby M5 a také jsou spojeny kolíky, které zajišťují vzájemnou polohu dílů.



Obr. 18 Rám polohovací osy

Díry, jež jsou vidět v bočnicích na Obr. 18, slouží k uložení vodící tyče a pohybového šroubu. Vodící tyč slouží k vedení lineárního ložiska, které společně s vodící tyčí tvoří valivé vedení s neomezenou délkou zdvihu. Tyč je povrchově kalena na tvrdost HRC 62 a poté broušena na $\phi 12$ mm s tolerancí h6 [24]. Tato tyč je zakoupena. Kvůli nutnosti zajištění tyče jsou do jejích čel vyvrtány otvory a poté vyřezány závity M5. Takto upravená tyč je uložena do bočnic rámu osy a zajištěna dvěma šrouby s podložkami.

Uložení pohybového šroubu do rámu osy je komplikovanější než uložení vodící tyče. Pohybový šroub musí být uložen radiálně i axiálně (zvýšení statické tuhosti viz. 2.3). Radiální uložení je zprostředkováno kluznými pouzdry s vrstvou POM (polokrystalický konstrukční polymer), ve které jsou vytlačeny kruhové jamky či kapsičky, které slouží jako zásobníky maziva (Obr. 19). Výrobce doporučuje toleranční pole hřídele pro tato pouzdra je h8 [15]. Kluzná pouzdra jsou nalisována do druhé dvojice otvorů v bočnicích.



Obr. 19 Kluzné pouzdro s vrstvou POM [15]

Axiální uložení šroubu je zvoleno jednostranné z důvodu výrobní i montážní jednoduchosti. Axiální ložiska jsou volena jehličková, protože ložiska s čárovým stykem (na rozdíl od ložisek s bodovým stykem) zvyšují tuhost uloženého šroubu [1].

Kluzný pohybový šroub je zvolen Tr10x3. Jedná se o nejmenší, běžně vyráběný trapézový šroub. Vnější průměr odpovídající trapézové matici přímo ovlivňuje rozměr poháněného posuvu a tím i celkové zástavbové rozměry polohovací osy. Proto je vhodné v tomto případě volit pohybový šroub právě co nejmenší. Aby bylo možné takto malý šroub axiálně uložit do běžně vyráběných ložisek je nutné, aby plocha, na kterou jsou nasazena ložiska, měla minimální průměr 10mm. Aby bylo možné takového stavu docílit, je nutné šroub uložit do součásti, která zajistí zvětšení průměru, a také spojí šroub s motorem či výstupem převodu od motoru. Takto navržená spojka je zobrazena na Obr. 20. Závit, který je na spojce vyroben, slouží k vymezení vůle (pomocí dvou matic) a mírnému předeptnutí axiálních ložisek. Spojení šroubu a spojky je realizováno lícovaným spojem, který je pojištěn příčným válcovým kolíkem (viz. Obr. 21).



Obr. 20 Spojka



Obr. 21 Spojení šroubu a spojky

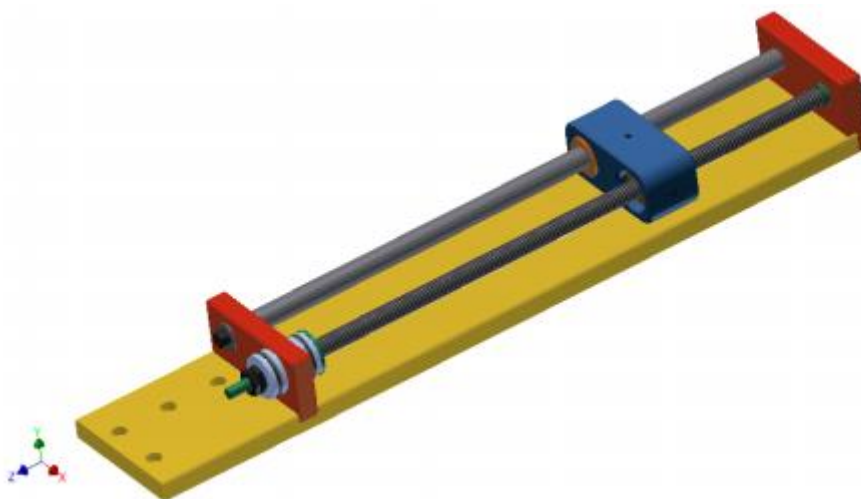
Poslední nezbytnou součástí polohovací osy je posuv, na kterém bude upevněn reflektor měřicího zařízení. V posuvu je uložena matice pohybového šroubu a lineární ložisko. Matice je do posuvu nalisována a zajištěna proti pootočení stavěcím šroubem. Lineární ložisko je

pouze nalisováno. Materiál posuvu je zvolen stejný jako materiál dílů rámu, a tedy EN AW 2011. Návrh posuvu s vloženou maticí a lineárním ložiskem je zobrazen na Obr. 22.



Obr. 22 Posuv s lineárním ložiskem a maticí pohybového šroubu

Na Obr. 23 lze vidět kompletní návrh mechanické části polohovací osy (tzn. bez elektromotoru). Po navržení elektromotoru a jeho řízení bude nutné návrh dále upravit dle potřeby.



Obr. 23 Mechanická část polohovací osy

3.2 NÁVRH STEJNOSMĚRNÉHO ELEKTROMOTORU

Při volbě stejnosměrného elektrického motoru je rozhodujícím parametrem potřebný krouticí moment. Při jeho výpočtu je ale nutné zohlednit převodový poměr mezi motorem a šroubem. Přímé spojení elektromotoru a šroubu (či spojky) není vhodné, zejména kvůli vysokým otáčkám a také nízkým hodnotám krouticího momentu, kterých stejnosměrné motory dosahují. Z tohoto důvodu bude nejprve elektromotor zvolen a poté výpočtem ověřen.

3.2.1 VOLBA ELEKTROMOTORU

Stejnoseměrný elektromotor volím 370C-22170-N s parametry viz. Příloha_3. Vnější rozměry a momentová charakteristika elektromotoru jsou uvedeny v přílohách (

Příloha_4 a Příloha_5).

3.2.2 VÝPOČET KROUTICÍHO MOMENTU

Pro výpočet kroučicího momentu je nutné znát potřebné úhlové zrychlení, kterého musí pohybový šroub dosáhnout. Aby bylo možné jej vypočítat, je nezbytné provést následující dílčí výpočty.

POČET POTŘEBNÝCH OTOČENÍ POHYBOVÉHO ŠROUBU

$$x = \frac{s}{P_h} [ot] \quad (1)$$

$$x = \frac{0,27 \text{ m}}{0,003 \text{ m}} = 90 \text{ ot}$$

PRŮMĚRNÁ RYCHLOST POSUVU POLOHOVACÍ OSY

$$v_p = \frac{s}{t} [m \cdot s^{-1}] \quad (2)$$

$$v_p = \frac{0,27 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 0,054 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

STANOVENÍ DOBY ROZBĚHU POHYBOVÉHO ŠROUBU

Dle literatury [3] je zvolena doba rozběhu pohybového šroubu $t_r = 0,1 \text{ [s]}$. Tomuto času odpovídá konstanta $x_1 = 0,02$, která vyjadřuje podíl doby rozběhu z celkového času. Čas doběhu není uvažován, protože zastavení posuvu proběhne náhle.

SKUTEČNÁ RYCHLOST POSUVU [5]

$$v_{rp} = \frac{s + \frac{1}{2} v_p \cdot t \cdot x_1}{t(1 - \frac{1}{2} x_1)} [m \cdot s^{-1}] \quad (3)$$

$$v_{rp} = \frac{0,27 \text{ m} + \frac{1}{2} 0,054 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 5 \text{ s} \cdot 0,02}{5 \text{ s} \cdot (1 - \frac{1}{2} 0,02)} = 0,055 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

ZRYCHLENÍ POSUVU [3]

$$a = \frac{v_{rp}}{t_r} [m \cdot s^{-1}] \quad (4)$$

$$a = \frac{0,055 m \cdot s^{-1}}{0,1 s} = 0,55 m \cdot s^{-2}$$

ÚHLOVÉ ZRYCHLENÍ POHYBOVÉHO ŠROUBU [3]

$$\varepsilon = \frac{a \cdot 2\pi}{P_h} [rad \cdot s^{-2}] \quad (5)$$

$$\varepsilon = \frac{0,55 m \cdot s^{-2} \cdot 2\pi}{0,003 m} = 1151,917 rad \cdot s^{-2}$$

Nyní je třeba určit úhlové rychlosti elektromotoru a hnaných součástí. Tyto rychlosti jsou taktéž nezbytné pro určení krouticího momentu.

ÚHLOVÁ RYCHLOST ELEKTROMOTORU

$$\omega_M = 2\pi \cdot \frac{n_M}{60} [rad \cdot s^{-1}] \quad (6)$$

$$\omega_M = 2\pi \cdot \frac{5200 ot \cdot min^{-1}}{60} = 544,543 rad \cdot s^{-1}$$

POTŘEBNÉ OTÁČKY POHYBOVÉHO ŠROUBU

$$n_{teor} = \frac{x}{t} [ot \cdot s^{-1}] \quad (7)$$

$$n_{teor} = \frac{90 ot}{5 s} = 18 ot \cdot s^{-1}$$

PŘEVODOVÝ POMĚR MEZI ELEKTROMOTOREM A HNANÝMI SOUČÁSTMI

$$i_{teor} = \frac{n_M}{60 \cdot n} [-] \quad (8)$$

$$i_{teor} = \frac{5200 ot \cdot min^{-1}}{60 \cdot 18 ot \cdot s^{-1}} = 4,815$$

Takto vypočtený převodový poměr je pouze teoretický. Pro přenos krouticího momentu budou užita plastová ozubená kola s přímými zuby od výrobce T.E.A. TECHNIK s.r.o. Kola jsou vyrobena z polyacetalu vstřikováním [21]. Počet zubů pastorku je zvolen $z_1=12$ a počet zubů kola $z_2=56$.

SKUTEČNÝ PŘEVODOVÝ POMĚR MEZI ELEKTROMOTOREM A HNANÝMI SOUČÁSTMI

$$i = \frac{z_2}{z_1} [-] \quad (9)$$

$$i = \frac{56}{12} = 4,667$$

SKUTEČNÉ OTÁČKY POHYBOVÉHO ŠROUBU (VŠECH HNANÝCH ROTAČNÍCH SOUČÁSTÍ)

$$n = \frac{n_M}{60 \cdot i} [ot \cdot s^{-1}] \quad (10)$$

$$n = \frac{5200 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}}{60 \cdot 4,667} = 18,571 \text{ ot} \cdot s^{-1}$$

ÚHLOVÁ RYCHLOST POHYBOVÉHO ŠROUBU (VŠECH HNANÝCH ROTAČNÍCH SOUČÁSTÍ)

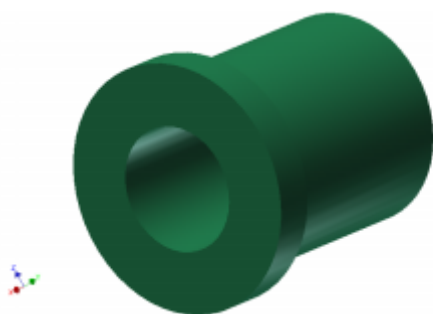
$$\omega_s = 2\pi \cdot n [rad \cdot s^{-1}] \quad (11)$$

$$\omega_s = 2\pi \cdot 18,571 \text{ ot} \cdot s^{-1} = 116,688 \text{ rad} \cdot s^{-1}$$

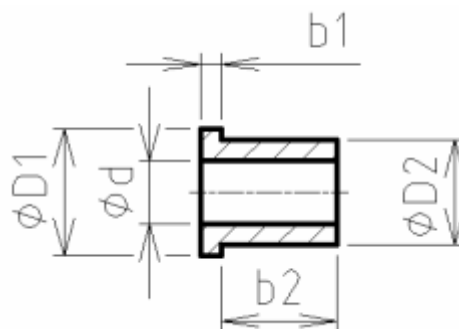
Poslední parametr nutný k výpočtu krouticího momentu je moment setrvačnosti redukovaný na hřídel elektromotoru. Aby bylo možné tento moment spočítat, je nutné znát momenty setrvačnosti (k ose rotace) všech rotujících součástí polohovací osy, a také hmotnosti lineárně se pohybujících součástí. Protože počet rotačně i translačně pohybujících se součástí je celkem 17 (několik součástí je stejných), je výpočet proveden pouze pro jednu součást a porovnán s hodnotou získanou z použitého CAD softwaru.

VZOROVÝ VÝPOČET MOMENTU SETRVAČNOSTI VLOŽKY ŠROUBU

Vložka šroubu (Obr. 24) je nalisována na pohybovém šroubu a to na obrobené válcové ploše. Slouží ke zvětšení válcového průměru, který je následně uložen v kluzném pouzdře. Rozměry zakótované na Obr. 25 jsou užity při výpočtu a odpovídají rozměrům z výkresu součásti (viz. A3-BPN-01/07).



Obr. 24 Vložka šroubu



Obr. 25 Rozměry vložky šroubu

$$I_{9p} = \frac{1}{2} \pi \cdot \rho \cdot b_1 \left[\left(\frac{D_1}{2} \right)^4 - \left(\frac{d_1}{2} \right)^4 \right] + \frac{1}{2} \pi \cdot \rho \cdot b_2 \left[\left(\frac{D_2}{2} \right)^4 - \left(\frac{D_1}{2} \right)^4 \right] \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^2] \quad (12)$$

$$\begin{aligned} I_{9p} &= \frac{1}{2} \pi \cdot 1060 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 0,002 \text{ m} \left[\left(\frac{0,012 \text{ m}}{2} \right)^4 - \left(\frac{0,006 \text{ m}}{2} \right)^4 \right] + \\ &+ \frac{1}{2} \pi [-] \cdot 1060 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 0,011 \text{ m} \left[\left(\frac{0,010 \text{ m}}{2} \right)^4 - \left(\frac{0,006 \text{ m}}{2} \right)^4 \right] = \\ &= 1,040 \cdot 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 = 0,104 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2 \end{aligned}$$

Hodnota vygenerovaná CAD softwarem je $I_9=0,104 \text{ [kg} \cdot \text{mm}^2]$. Protože výpočet potvrdil, že $I_{9p}=I_9$, lze vygenerované hodnoty považovat za věrohodné. V Tab. 6 jsou uvedeny vygenerované momenty setrvačnosti a hmotnosti součástí, které musí být zahrnuty do výpočtu redukovaného momentu setrvačnosti na hřídel elektromotoru.

Tab. 6 Hodnoty momentů setrvačnosti a hmotnosti součástí

Pastorek	Kolo	Spojka	Matice (2ks)	Kroužek ložiska (2ks)	Axiální ložisko (2ks)	Kolík	Pohybový šroub
I_1 [kg·mm ²]	I_2 [kg·mm ²]	I_3 [kg·mm ²]	I_4 [kg·mm ²]	I_5 [kg·mm ²]	I_6 [kg·mm ²]	I_7 [kg·mm ²]	I_8 [kg·mm ²]
0,001	0,256	0,756	0,090	0,682	0,295	0,002	2,399
Vložka šroubu	Lineární ložisko	Posuv	Trapézová matice	Stavěcí šroub	Reflektor laseru		
I_9 [kg·mm ²]	m_1 [kg]	m_2 [kg]	m_3 [kg]	m_4 [kg]	m_5 [kg]		
0,104	0,027	0,120	0,047	0,001	0,079		

REDUKOVANÝ MOMENT SETRVAČNOSTI

Redukovaný moment setrvačnosti je třeba vyjádřit z rovnice energetické rovnováhy (Rovnice 13).

$$Ek_{RED} = \sum_{i=1}^b Ek_i + \sum_{j=1}^c Ek_j \quad (13)$$

Kde: Ek_{red} - redukovaná kinetická energie soustavy,
 Ek_i - kinetická energie i -té součásti s rotačním pohybem,
 Ek_j - kinetická energie j -té součásti s translačním pohybem,
 b- počet součástí s rotačním pohybem,
 c- počet součástí s translačním pohybem.

Rovnici 13 lze rozepsat jako:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} I_{RED} \cdot \omega_M^2 &= \frac{1}{2} I_1 \cdot \omega_M^2 + \frac{1}{2} I_3 \cdot \omega_s^2 + 2 \cdot \frac{1}{2} I_4 \cdot \omega_s^2 + 2 \cdot \frac{1}{2} I_5 \cdot \omega_s^2 + 2 \cdot \frac{1}{2} I_6 \cdot \omega_s^2 + \frac{1}{2} I_7 \cdot \omega_s^2 + \\ &+ \frac{1}{2} I_8 \cdot \omega_s^2 + \frac{1}{2} I_9 \cdot \omega_s^2 + \frac{1}{2} m_1 \cdot v_{rp}^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot v_{rp}^2 + \frac{1}{2} m_3 \cdot v_{rp}^2 + \frac{1}{2} m_4 \cdot v_{rp}^2 + \frac{1}{2} m_5 \cdot v_{rp}^2 \end{aligned}$$

Po úpravě a vyjádření členu I_{RED} rovnice vypadá takto:

$$\begin{aligned} I_{RED} &= I_1 + (I_2 + I_3 + 2 \cdot I_4 + 2 \cdot I_5 + 2 \cdot I_6 + I_7 + I_8 + I_9) \cdot \frac{\omega_s^2}{\omega_M^2} + \\ &+ (m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5) \cdot \frac{v_{rp}^2}{\omega_M^2} [kg \cdot m^2] \end{aligned} \quad (14)$$

Po dosazení do rovnice (14) je vypočten následující výsledek.

$$I_{RED} = 2,637 \cdot 10^{-7} kg \cdot m^2$$

VÝPOČTOVÝ KROUTICÍ MOMENT ELEKTROMOTORU

$$M_V = I_{RED} \cdot \varepsilon [N \cdot m] \quad (15)$$

$$\begin{aligned} M_V &= 2,637 \cdot 10^{-7} kg \cdot m^2 \cdot 1151,917 rad \cdot s^{-2} = 3,037 \cdot 10^{-4} N \cdot m = \\ &= 3,09 g \cdot cm \end{aligned}$$

Takto vypočtený kroučící moment elektromotoru ovšem nezahrnuje odpory v celé soustavě pohybujících se součástí. Odpory, které podstatně ovlivňují kroučící moment elektromotoru,

jsou moment čepového tření v kluzném uložení, a také moment způsobený třecí silou v závitu pohybového šroubu a matice. Tyto odporové momenty je třeba číselně vyjádřit a porovnat s krouticím momentem, který je ozubenými koly dodáván na spojku.

Výpočet momentu čepového tření je zjednodušen na případ, kdy zatížení od tíhové síly (od všech uložených součástí) působí na jeden čep. Hmotnosti součástí, které ještě nebyly definovány a jsou vygenerovány z CAD softwaru, ukazuje Tab. 7.

Tab. 7 Hodnoty hmotností součástí

Pohybový šroub	Spojka	Axiální ložisko celé (2ks)	Matice (2ks)	Kolík	Vložka šroubu	Kolo
m_6 [kg]	m_7 [kg]	m_8 [kg]	m_9 [kg]	m_{10} [kg]	m_{11} [kg]	m_{12} [kg]
0,195	0,028	0,022	0,003	0,001	0,006	0,003

TÍHOVÁ SÍLA PŮSOBÍCÍ NA ULOŽENÍ

$$F_G = \left[\left(\frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5}{2} \right) + m_6 + m_7 + 2 \cdot m_8 + 2 \cdot m_9 + m_{10} + \right. \quad (16)$$

$$\left. + m_{11} + m_{12} \right] \cdot g$$

$$F_G = \left[\left(\frac{0,055 \text{ kg} + 0,120 \text{ kg} + 0,058 \text{ kg} + 0,001 \text{ kg} + 0,079 \text{ kg}}{2} \right) + \right.$$

$$+ 0,028 \text{ kg} + 2 \cdot 0,022 \text{ kg} + 2 \cdot 0,003 \text{ kg} + 0,001 \text{ kg} + 0,006 \text{ kg} +$$

$$\left. + 0,003 \text{ kg} \right] \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} = 4,311 \text{ N}$$

MOMENT ČEPOVÉHO TŘENÍ

Moment čepového tření je vyčíslen pro nezaběhnutý čep (tzn., že po záběhu čepu se moment sníží).

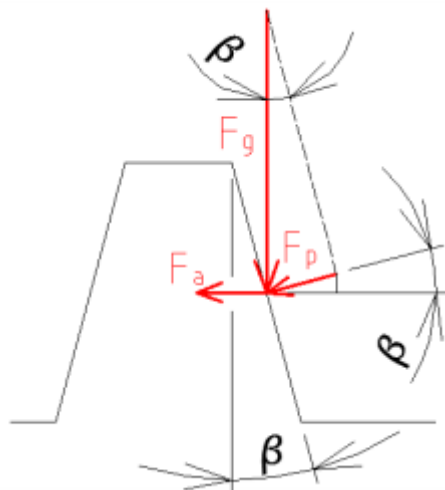
$$M_{\xi} = F_G \cdot r_{\xi} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot f \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (17)$$

$$M_{\xi} = 4,311 \text{ N} \cdot 0,005 \text{ m} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot 0,2 = 6,772 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m} = 69,032 \text{ g} \cdot \text{cm}$$

Symbol f představuje součinitel tření mezi spojkou a kluzným pouzdem, který se pohybuje v rozmezí 0,05÷0,2 [15].

Aby bylo možné určit odporový moment způsobený třecí silou v závitě pohybového šroubu a matice, je nezbytné znát axiální sílu, která v závitě působí. Zdrojem této síly je polovina síly

tíhové od hmotnosti posuvu jako celku (tzn. posuv s lineárním ložiskem, reflektorem, atd.) Grafické vyjádření axiální síly je zobrazeno na Obr. 26. Další síla, která působí v ose pohybového šroubu, je setrvačná síla od hmotnosti celého posuvu a jeho zrychlení. Avšak zrychlení, které na posuv působí, je velice malé, lze proto tuto setrvačnou sílu zanedbat.



Obr. 26 Vyjádření axiální síly F_a

Síla F_g vyjadřuje tíhovou sílu působící na pohybový závit. Síla F_p je pouze pomocná a slouží k vyjádření právě axiální síly. Úhel β je roven polovině úhlu α , který představuje úhel profilu závitu. U lichoběžníkových závitů rovnoramenných nabývá úhel α hodnoty 30° .

TÍHOVÁ SÍLA PŮSOBÍCÍ NA POHYBOVÝ ZÁVIT

$$F_g = \frac{(m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5) \cdot g}{2} [N] \quad (18)$$

$$F_g = \frac{(0,055 \text{ kg} + 0,120 \text{ kg} + 0,058 \text{ kg} + 0,001 \text{ kg} + 0,079 \text{ kg}) \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}{2} =$$

$$= 1,535 \text{ N}$$

POMOCNÁ SÍLA

$$\sin(\beta) = \frac{F_p}{F_g} \rightarrow F_p = F_g \cdot \sin(\beta) [N] \quad (19)$$

$$F_p = 1,535 \text{ N} \cdot \sin(15^\circ) = 0,998 \text{ N}$$

AXIÁLNÍ SÍLA

$$\cos(\beta) = \frac{F_a}{F_p} \rightarrow F_a = F_p \cdot \cos(\beta) [N] \quad (20)$$

$$F_a = 0,998 N \cdot \cos(15^\circ) = 0,966 N$$

Dále je zapotřebí vyčíslit hodnoty úhlu stoupání a úhlu tření v pohybovém závitu.

ÚHEL STOUPÁNÍ [23]

$$\operatorname{tg}(\psi) = \frac{P_h}{\pi d_2} \rightarrow \psi = \operatorname{arctg}\left(\frac{P_h}{\pi d_2}\right) [^\circ] \quad (21)$$

$$\psi = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,003 m}{\pi \cdot 0,0084 m}\right) = 6,486^\circ$$

Symbol d_2 představuje střední průměr pohybového závitu.

TŘECÍ ÚHEL POHYBOVÉHO ZÁVITU [23]

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{f_z}{\cos(\beta)} \rightarrow \varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{f_z}{\cos(\beta)}\right) [^\circ] \quad (22)$$

$$\varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,01}{\cos(15^\circ)}\right) = 0,593^\circ$$

Symbol f_z představuje součinitel tření v závitu (ocel-bronz-mazáno) [19].

TŘECÍ MOMENT PŮSOBÍCÍ NA POHYBOVÝ ZÁVIT [23]

$$M_z = F_a \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi) \cdot \frac{d_2}{2} [N \cdot m] \quad (23)$$

$$\begin{aligned} M_z &= 0,97 N \cdot \operatorname{tg}(6,486^\circ + 0,593^\circ) \cdot \frac{0,0084 m}{2} = 5,059 \cdot 10^{-4} N \cdot m = \\ &= 5,157 g \cdot cm \end{aligned}$$

Nyní zbývá vyčíslit celkový potřebný krouticí moment, který musí elektromotor poskytnout. Celkový moment je dán součtem momentu výpočtového, čepového tření a momentu tření v pohybovém závitu. Poslední dva zmíněné momenty je třeba podělit převodovým poměrem.

CELKOVÝ POTŘEBNÝ KROUTICÍ MOMENT ELEKTROMOTORU

$$M_c = M_v + \frac{M_{\xi}}{i} + \frac{M_z}{i} [N \cdot m] \quad (24)$$

$$\begin{aligned} M_c &= 3,04 \cdot 10^{-4} N \cdot m + \frac{6,772 \cdot 10^{-3} N \cdot m}{4,67} + \frac{5,059 \cdot 10^{-4} N \cdot m}{4,67} = \\ &= 1,862 \cdot 10^{-3} N \cdot m = 18,985 g \cdot cm \end{aligned}$$

BEZPEČNOST PROTI PŘETÍŽENÍ ELEKTROMOTORU

$$k = \frac{M_M}{M_c} [-] \quad (25)$$

$$k = \frac{25 g \cdot cm}{18,985 g \cdot cm} = 1,317$$

Jak ukazuje bezpečnost proti přetížení elektromotoru, zvolený stejnosměrný elektromotor svým krouticím momentem vyhovuje.

3.3 NÁVRH ŘÍZENÍ STEJNOSMĚRNÉHO ELEKTROMOTORU

Správné řízení elektromotoru je nezbytné pro funkčnost celé osy jako celku. Práce je zaměřená především na konstrukční řešení polohovací osy a návrh řízení elektromotoru je zpracován jako doplněk celkového řešení. Z tohoto důvodu je navrženo pouze jedno řešení řízení stejnosměrného elektromotoru.

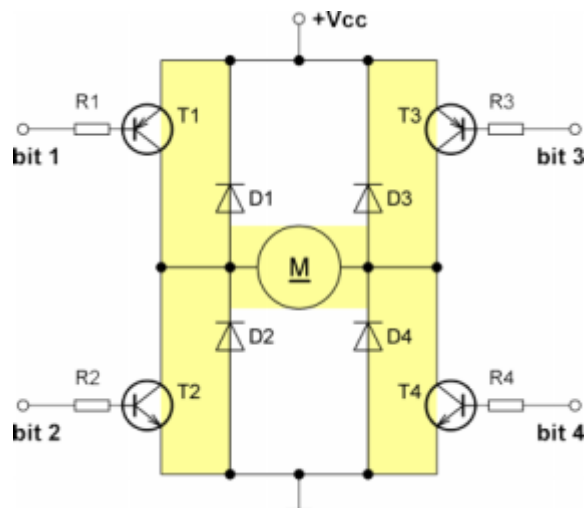
Zdrojem elektrické energie pro pohon elektromotoru je zvolena baterie o napětí 6V, které je dostatečné pro pohon elektromotoru. Komponenty řízení elektromotoru jsou voleny s ohledem na tento zdroj energie.

Dálkové ovládání polohovací osy je zprostředkováno IR (infračerveným) signálem. Dalším možným řešením je ovládání pomocí radiového signálu, které je ovšem složitější na realizaci a signál by mohl být rušen frekvenčními měniči, které obsahují měřené obráběcí stroje. Infračervený senzor je umístěn na polohovací ose a přijímá signál od jakéhokoliv IR ovládacího zařízení, což znamená, že signál není kódovaný. To je výhodné, protože není nutné vlastnit jeden konkrétní ovladač. Senzor následně odesílá signál k dalšímu zpracování. Aby bylo možné polohovací osu ovládat i při případné nefunkčnosti dálkového ovládání, je elektrický obvod doplněn o tlačítko, které je umístěno přímo na polohovací ose. Tlačítko je plnou náhradou za dálkové ovládání. Senzor, který je vybrán, nese označení SHARP GP1 UX310 QS.

Zjištění, že se posuv nachází v jedné z koncových poloh, je možné realizovat několika způsoby. Použít lze například koncové spínače, induktivní snímače, jazýčková relé atd. Všechny tyto komponenty by musely být uchyceny na bočnicích polohovací osy a spojeny s řídicím systémem kabeláží. Pokud by se tedy posuv nacházel v koncové poloze, příslušná komponenta by vydala signál do řídicího systému. Bohužel tyto součástky jsou často finančně náročné a jejich použití přináší řadu nevýhod. Jak bylo zmíněno, komponenty musí být spojeny a napájeny pomocí kabeláže, která se může při přenosu osy poškodit. V případě nefunkčnosti pak může dojít ke zničení elektromotoru. Další nevýhodou je již zmíněná cena a také (např. u jazýčkového relé) náchylnost na vibrace. Z těchto důvodů bude namísto těchto komponent užito snímání nadproudu elektromotoru. Po dojezdu posuvu do krajní polohy dojde k nárazu na stavěcí čep a na elektromotoru vzroste zkratový proud (tzv. nadproud). Tento nadproud je snímán příslušným odporem a po dosažení nastavené hodnoty nadproudu dojde k zastavení elektromotoru. Tímto řešením je motor chráněn před přetížením a to i v případě, že by se v prostoru dráhy posuvu nacházel nějaký zavazující předmět, na který by posuv narazil.

Změna smyslu otáčení elektromotoru je zajištěna pomocí tzv. H-můstku, který je integrován ve zvoleném ovladači elektromotoru L298. Tento ovladač je schopen snímat nadproud elektromotoru a také ovládat dva elektromotory zároveň. Dalším důvodem volby tohoto ovladače je jeho relativně nízká cena [9]. Princip H-můstku je vysvětlen dle Obr. 27.

Pokud jsou sepnuty tranzistory T1 a T4, protéká proud od tranzistoru T1 směrem k tranzistoru T4. Pokud jsou však sepnuty T3 a T2, protéká proud od tranzistoru T2 směrem k tranzistoru T3. Touto změnou směru protékajícího proudu dochází i ke změně smyslu otáčení motoru. Diody D1 až D4 slouží k ochraně tranzistoru před napětím, které vzniká při rozpojení zátěže, tedy elektromotoru.

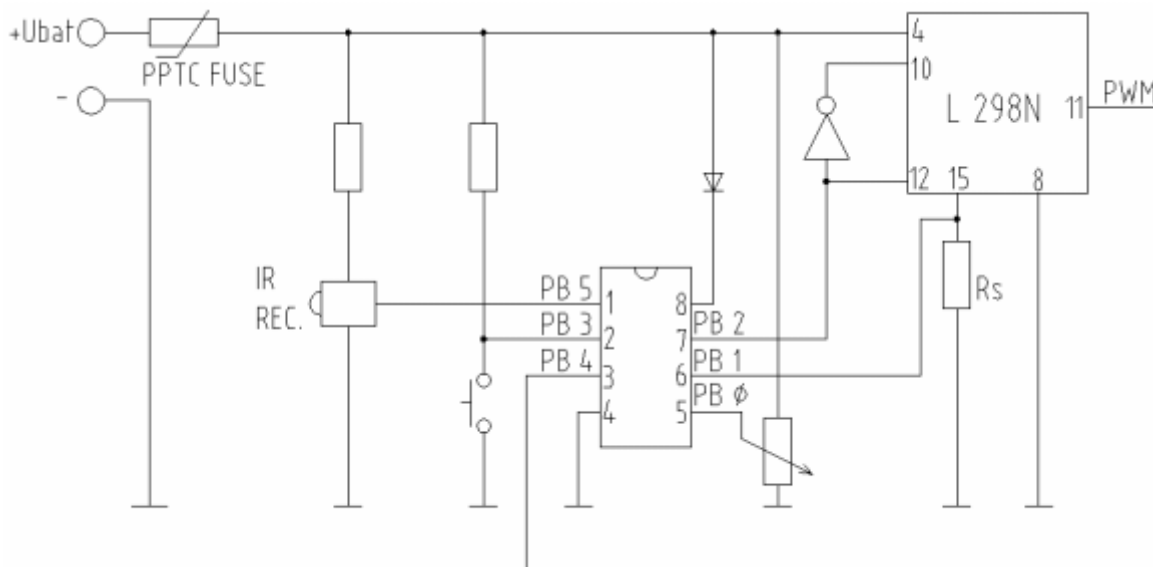


Obr. 27 Princip H-můstku [20]

Nyní je třeba zvolit prvek, který bude zpracovávat signál od tlačítek a řídit ovladač elektromotoru. Při návrhu byla snaha vytvořit řízení pomocí klopných obvodů. Toto řešení se však ukázalo jako velice komplikované a bylo by možné jej použít pouze pro jednu danou činnost. Jako lepší řešení se jeví použití jednoduchého procesoru, který je možné v případě potřeby přeprogramovat a tím změnit vykonávanou činnost. Použití procesoru přináší i další výhody jako režim spánku procesoru (tím snížení spotřeby obvodu), možnost využití paměti pro uložení poslední polohy posuvu, kompaktní zástavbové rozměry a nízká cena. Jako vhodnou volbou může být procesor ATTINY 13-20 PU, který má 8 pinů (vstupních či výstupních kontaktů), což je dostatečný počet pro připojení všech potřebných vstupů a výstupů obvodu. Hodnota využitelné paměti procesoru je 64 bytů [10]. Tato velikost je několikanásobně větší, než je potřebná velikost paměti pro uložení poslední polohy posuvu. Protože tento procesor vyhovuje požadavkům pro řízení polohovací osy, je v řešení užito právě tohoto typu.

Aby návrh splňoval požadavky zadání, řízení musí pracovat dle vývojového diagramu (viz. Příloha_ 6). Po stisku tlačítka dálkového ovladače se posuv (který se nachází v jedné z koncových poloh) přesune do druhé koncové polohy, ve které zastaví. Při stisku tlačítka za chodu zařízení, musí dojít k zastavení posuvu. Po opětovném stisku tlačítka zařízení pokračuje ve stejném směru, v jakém pracovalo před zastavením.

Zapojení popsaných komponent je zobrazeno na Obr. 28. Protože význam některých zobrazených prvků či popisů nemusí být zřejmý, jejich význam je zde popsán.



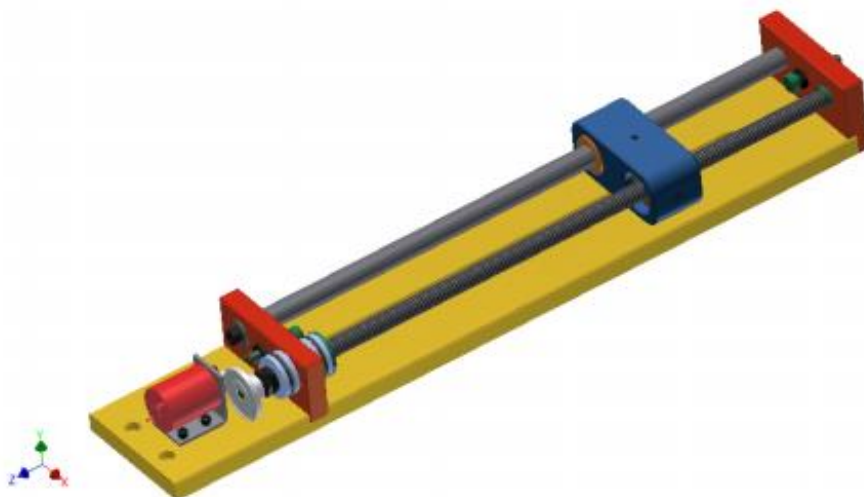
Obr. 28 Schéma zapojení komponent

- PPTC FUSE - (z anglického Polymeric Positive Temperature Coefficient device) v češtině má tato zkratka význam „vratná pojistka“. Při průchodu vyššího proudu (než je maximální daný proud) dojde vlivem ohřevu, k nárůstu vnitřního odporu a pojistka odpojí obvod od proudu, čímž ho chrání před poškozením. Po snížení proudu pojistka opět umožní průchod proudu obvodem
- IR REC. - (z anglického Receiver) jedná se o přijímač infračerveného signálu
- PWM - (z anglického Pulse Width Modulation) pulzně šířková modulace, která v tomto případě slouží k řízení či úpravě velikosti otáček elektromotoru. Principem modulace je střídavé vysílání signálu 1 a 0 v daném časovém intervalu. Poměr šířky pulsu 1 a 0 určuje změnu otáček elektromotoru.
- Rs - (z anglického Sense Rezistor) jedná se o rezistor, který snímá hodnotu proudu na zátěži (v tomto případě na elektromotoru).

Funkce navrženého zapojení je taková, že po přijetí infračerveného signálu (nebo stisku tlačítka) procesor signál vyhodnotí a na výstup PB 2 vyšle signál logické 1 či 0 (podle požadovaného smyslu otáčení). Tento signál dorazí na vstup ovladače DIR 1. V této větvi se dále nachází logický člen NOT, který slouží k negaci příchozího signálu. Tento znegovaný signál postupuje na vstup ovladače DIR 2. Vstupy DIR 1 a DIR 2 je řízen vestavěný H-můstek ovladače elektromotoru. Na vstupu procesoru PB 0 je umístěn vestavěný komparátor, který slouží k nastavení hodnoty nadproudu, při které dojde k zastavení elektromotoru. Tuto hodnotu je třeba zjistit experimentálně. Hodnota proudu na motoru je snímána Rs rezistorem. Výstup z procesoru PB 4 slouží k řízení otáček elektromotoru pomocí PWM. Odpory, které jsou zařazeny před tlačítko a IR přijímač slouží k zabezpečení obvodu před náhodnými stavy.

Takto navržený obvod splňuje požadavky na funkci polohovací osy. Hodnoty velikosti odporů, vratné pojistky atd., je třeba navrhnout s ohledem na zmíněné komponenty.

Na Obr. 29 je zobrazeno konečné navržené řešení polohovací osy. Navíc je zde umístěn elektromotor s držákem, plastová ozubená kola a stavěcí čepy, které slouží jako dorazy koncové polohy posuvu.



Obr. 29 Konečný návrh polohovací osy

3.4 FINANČNÍ ZHODNOCENÍ

Celková cena navržené polohovací osy se skládá celkem ze 3 položek. Jedná se o cenu nakupovaných komponent (viz. Příloha_ 7), cenu za materiál potřebný pro výrobu navržených součástek (viz. Příloha_ 8) a také cenu za práci obráběcího stroje. Cenu za obrábění lze v tomto případě považovat za nulovou, protože zadavatel bude polohovací osu vyrábět na vlastních strojích. Výčet celkové ceny, která se tedy skládá pouze z prvních dvou zmíněných položek, je uveden v Tab. 8.

Tab. 8 Celková cena

Položka	Cena [Kč] (bez DPH)
Nakupované komponenty	1532,14
Materiál	188,57
Celková cena [Kč] (bez DPH)	1720,71

ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout motorizovanou polohovací osu, která bude využívána při měření geometrických přesností svislých soustruhů. Požadavky, které byly na návrh kladeny, navržená polohovací osa plně splňuje.

Snadná přemístitelnost je zaručena díky nízké hmotnosti, která činí ve výsledku 2,05 kilogramu. Celková délka polohovací osy činí 439,5 mm, což může působit rozměrně, ale tato délka se při návrhu ukázala jako nezbytná. Největší důraz byl kladen na zástavbovou výšku polohovací osy, která nejvíce ovlivňuje měřitelný prostor stroje. Dosažená výška (od upínací plochy k nejvzdálenější upínací ploše na posuvu) je 45 mm.

Rozsah polohovací osy je navržen dle zadání, tzn. 270 mm. Nastavení této hodnoty (nebo menší) je zajištěno pomocí stavěcích čepů, které jsou v bočnicích osy zajištěny dvojicí matic. Takto navržené řešení vychází z požadavku polohování pouze v krajních polohách. Tento požadavek je zohledněn také při volbě kluzného pohybového šroubu jako prostředku pro převod rotačního pohybu na posuvný. Právě kvůli nutnosti polohovat výhradně v koncových polohách, není v návrhu uvažováno vymezování vůle pohybového šroubu. Volba elektromotoru je taktéž ovlivněna tímto požadavkem, ale navíc požadavkem vlastního zdroje elektrické energie. Na základě těchto požadavků je zvolen stejnosměrný elektromotor 370C-22170-N. Následným rozsáhlým výpočtem je ověřena vhodnost použití tohoto elektromotoru ve smyslu dostatečnosti poskytovaného krouticího momentu. Při výpočtu je také zohledněn požadavek na přejetí posuvu z jedné koncové polohy do druhé za maximálně 5 vteřin.

Poslední částí konstrukčního návrhu je návrh řízení zvoleného elektromotoru. Přestože tento návrh byl zpracován pouze doplňkově, navržené řešení je z funkčního hlediska vyhovující. Zahrnuje poslední požadavek, a to dálkové ovládání polohovací osy. To je navrženo infračerveným rozhraním, za použití jakéhokoliv zdroje IR paprsku (tzn. jakéhokoliv dálkového ovladače).

Na závěr práce je zpracováno finanční zhodnocení provedeného konstrukčního návrhu. Celková cena je vyčíslena 1720,71 Kč a to při zanedbání ceny za obrábění potřebné pro výrobu navržených součástí. Bohužel tuto cenu nelze porovnat s komerčními polohovacími osami, protože výrobci těchto os cenu za své produkty standardně neuvádějí.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] BORSKÝ, Václav. *Základy stavby obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. Brno: VUT, 1991, 214 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0361-6.
- [2] HAMMER, Miloš. *Elektrotechnika a elektronika: přednášky*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 134 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-3334-5.
- [3] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2, přeprac., rozš. Praha: MM publishing, 2010, 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [4] ROUBÍČEK, Ota. *Elektrické motory a pohony: příručka techniky, volby a užití vybraných druhů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 191 s. ISBN 80-730-0092-X.
- [5] ALFUN a.s. [online]. 2014 [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/sortiment/hlinik/tyce-a-profily>
- [6] ConVERTER [online]. 2014 [cit. 2014-04-8]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/smykove-treni.htm>
- [7] Desing World [online]. 2014 [cit. 2014-02-21]. Dostupné z: <http://www.designworldonline.com/how-to-increase-ball-spline-load-capacity/#>
- [8] Emotor [online]. 2014 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://www.emotor.cz/stejnosemny-elektromotor.htm>
- [9] GM electronic, spol. s.r.o. [online]. 2014 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/332/005/l298n-datasheet-1.pdf>
- [10] GM electronic, spol. s.r.o. [online]. 2014 [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/432/206/attiny13-20pu-datasheet-1.pdf>
- [11] HIWIN s.r.o. [online]. 2014 [cit. 2014-01-20]. Dostupné z: http://www.hiwin.cz/cz/produkty/polohovaci-systemy/linearni-moduly-kk/125_kk-50
- [12] INOMECH s.r.o. [online]. 2014 [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://www.inomech.com/schneeberger1.php>

- [13] *Matis s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-01-25]. Dostupné z: http://www.matis.cz/data/pdf/linearni_technika/katalog_ctv_ctj.pdf
- [14] *Medias* [online]. 2014 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <http://medias.ina.de/medias/en!hp.ec.br/RUS>
- [15] *MIDOL s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: <http://www.midol.cz/midol-cz/kluzna-loziska/kluzna-pouzdra/>
- [16] *NSK Americas* [online]. 2014 [cit. 2014-02-21]. Dostupné z: http://www.nskamericas.com/cps/rde/xbcr/na_en/Ball_Screw_Tutorial.pdf
- [17] *O.z. Lin-tech, HENNLICH s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-01-26]. Dostupné z: <http://lin-tech.hennlich.cz/produkty/linearni-vedeni-a-kulickove-srouby-linearni-jednotky-652/typ-skr.html>
- [18] *RAVEO s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-01-20]. Dostupné z: http://www.raveo.cz/sites/default/files/bahr/upgrade/egt/egt_egk_en.pdf
- [19] *Shenzhen Solid Motor Co., Ltd.* [online]. 2014 [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: <http://solidmotor.gotoip4.com/Item/Show.asp?m=1&d=902>
- [20] *SPŠ Hranice* [online]. 2014 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: http://www.sps.hranet.cz/samelm/sledovac_PICAXE_08_3.htm
- [21] *T.E.A. TECHNIK s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://www.teatechnik.cz/kruhove-matice/>
- [22] *Transmotec* [online]. 2014 [cit. 2014-04-02]. Dostupné z: <http://www.transmotec.cz/stejnoserne-motory/serie-370c.html>
- [23] *Vysoká škola Báňská-Technická univerzita Ostrava* [online]. 2014 [cit. 2014-04-02]. Dostupné z: http://www.347.vsb.cz/staff/hrudickova/CaMS/Pohybovy_sroub_priklad.pdf
- [24] *4ISP s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2014-04-04]. Dostupné z: <http://cnc.inshop.cz/nepodeprenetyce/brousenatyc12mm%5BS-12%5D>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	[m·s ⁻²]	zrychlení posuvu
b	[-]	počet součástí s rotačním pohybem
b ₁	[m]	šířka osazení vložky šroubu
b ₂	[m]	šířka plochy vložky šroubu
c	[-]	počet součástí s translačním pohybem
d	[m]	vnitřní průměr vložky šroubu
D ₁	[m]	velký vnější průměr vložky šroubu
D ₂	[m]	malý vnější průměr vložky šroubu
d ₂	[m]	střední průměr pohybového závitu
Ek _i	[J]	kinetická energie i -té součásti s rotačním pohybem
Ek _j	[J]	kinetická energie j -té součásti s translačním pohybem
Ek _{RED}	[J]	redukováná kinetická energie soustavy
f	[-]	součinitel tření mezi spojkou a kluzným pouzdem
F _a	[N]	axiální síla
F _G	[N]	tíhová síla působící na uložení
F _g	[N]	tíhová síla působící na pohybový závit
F _p	[N]	pomocná síla
g	[m·s ⁻²]	tíhové zrychlení
i	[-]	skutečný převodový poměr
I ₁	[kg·mm ²]	vygenerovaný moment setrvačnosti pastorku
I ₂	[kg·mm ²]	vygenerovaný moment setrvačnosti kola
I ₃	[kg·mm ²]	vygenerovaný moment setrvačnosti spojky
I ₄	[kg·mm ²]	vygenerovaný moment setrvačnosti matice
I ₅	[kg·mm ²]	vygenerovaný moment setrvačnosti kroužku ložiska
I ₆	[kg·mm ²]	vygenerovaný moment setrvačnosti axiálního ložiska
I ₇	[kg·mm ²]	vygenerovaný moment setrvačnosti kolíku
I ₈	[kg·mm ²]	vygenerovaný moment setrvačnosti pohybového šroubu
I ₉	[kg·mm ²]	vygenerovaný moment setrvačnosti vložky šroubu
I _{9P}	[kg·mm ²]	vypočtený moment setrvačnosti vložky šroubu
I _{RED}	[kg·m ²]	redukováný moment setrvačnosti na hřídel elektromotoru
i _{teor}	[-]	teoretický převodový poměr

k	[-]	bezpečnost proti přetížení
m ₁	[kg]	hmotnost lineárního ložiska
m ₁₀	[kg]	vygenerovaná hmotnost kolíku
m ₁₁	[kg]	vygenerovaná hmotnost vložky šroubu
m ₁₂	[kg]	vygenerovaná hmotnost kola
m ₂	[kg]	vygenerovaná hmotnost posuvu
m ₃	[kg]	vygenerovaná hmotnost trapézové matice
m ₄	[kg]	vygenerovaná hmotnost stavěcího šroubu
m ₅	[kg]	hmotnost reflektoru
m ₆	[kg]	vygenerovaná hmotnost pohybového šroubu
m ₇	[kg]	vygenerovaná hmotnost spojky
m ₈	[kg]	vygenerovaná hmotnost celého axiálního ložiska
m ₉	[kg]	vygenerovaná hmotnost matice
M _c	[N·m]	celkový potřebný krouticí moment elektromotoru
M _č	[N·m]	moment čepového tření
M _v	[N·m]	výpočtový krouticí moment elektromotoru
M _z	[N·m]	třecí moment
n	[ot·s ⁻¹]	skutečné otáčky pohybového šroubu
n _M	[ot·min ⁻¹]	otáčky elektromotoru
n _{teor}	[ot·s ⁻¹]	teoretické otáčky pohybového šroubu
P _h	[m]	stoupání pohybového šroubu
r _č	[m]	poloměr uložené části spojky
s	[m]	rozsah délky pohybu posuvu
t	[s]	čas přejezdu posuvu
t _r	[s]	doba rozběhu pohybového šroubu
v _p	[m·s ⁻¹]	průměrná rychlost posuvu
v _{rp}	[m·s ⁻¹]	skutečná rychlost posuvu
x	[-]	počet potřebných otočení pohybového šroubu
x ₁	[-]	podíl doby rozběhu z celkového času
z ₁	[-]	počet zubů pastorku
z ₂	[-]	počet zubů kola
β	[°]	polovina úhlu profilu závitu
ε	[rad·s ⁻²]	úhlové zrychlení pohybového šroubu

π	[-]	Ludolfovo číslo
ϕ	[°]	třecí úhel v pohybovém závitu
ψ	[°]	úhel stoupání
ω_M	[rad·s ⁻¹]	úhlová rychlost elektromotoru
ω_s	[rad·s ⁻¹]	úhlová rychlost pohybového šroubu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Valivé vedení s omezenou délkou zdvihu	17
Obr. 2 Valivé hnízdo (blok)	17
Obr. 3 Vedení s neomezenou délkou zdvihu	17
Obr. 4 Profilové vedení	18
Obr. 5 Profily závitu kluzných šroubu a maticí	18
Obr. 6 Vymezení vůle rozříznutou maticí	19
Obr. 7 Vymezení vůle dělenou maticí	19
Obr. 8 Samočinné vymezení vůle	20
Obr. 9 Kruhový profil	21
Obr. 10 Gotický profil	21
Obr. 11 Deflektor	22
Obr. 12 Převáděcí kanál	22
Obr. 13 Převáděcí trubka	22
Obr. 14 Princip činnosti stejnosměrného motoru	23
Obr. 15 Rozdělení elektromotorů dle buzení a) s cizím buzením, b) derivační, c) sériový, d) kompaundní	24
Obr. 16 Zatěžovací charakteristiky	24
Obr. 17 Návrh rámu polohovací osy	26
Obr. 18 Rám polohovací osy	27
Obr. 19 Kluzné pouzdro s vrstvou POM	28
Obr. 20 Spojka	28
Obr. 21 Spojení šroubu a spojky	28
Obr. 22 Posuv s lineárním ložiskem a maticí pohybového šroubu	29
Obr. 23 Mechanická část polohovací osy	29
Obr. 24 Vložka šroubu	33
Obr. 25 Rozměry vložky šroubu	33
Obr. 26 Vyjádření axiální síly F_a	36
Obr. 27 Princip H-můstku	40
Obr. 28 Schéma zapojení komponent	41
Obr. 29 Konečný návrh polohovací osy	42

SEZNAM TABULEK

Tab. 1KK 50	11
Tab. 2EGT/EGK 80	12
Tab. 3CTV 110	12
Tab. 4 SKR 26	13
Tab. 5 Přehled materiálů pro vodící plochy	15
Tab. 6 Hodnoty momentů setrvačnosti a hmotnosti součástí.....	33
Tab. 7 Hodnoty hmotností součástí	35
Tab. 8 Celková cena.....	42

SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE A PŘÍLOH

Přílohy:

Příloha_ 1 Základní typy vedení [1]

Příloha_ 2 Způsoby předepnutí kuličkové matice [16]

Příloha_ 3 Parametry zvoleného elektromotoru 370C-22170-N [22]

Příloha_ 4 Vnější rozměry zvoleného elektromotoru 370C-22170-N [19]

Příloha_ 5 Momentová charakteristika zvoleného elektromotoru 370C-22170-N [19]

Příloha_ 6 Vývojový diagram

Příloha_ 7 Ceny nakupovaných komponent

Příloha_ 8 Ceny materiálů

Výkresová dokumentace:

Výkres sestavení	Motorizovaná polohovací osa + kusovníky	A1-BPN-02/01
Výkres sestavení	Posuv	A3-BPN-02/02
Výkres sestavení	Šroubové těleso	A3-BPN-02/03
Výkres součásti	Základ	A2-BPN-01/01
Výkres součásti	Bočnice 1	A3-BPN-01/02
Výkres součásti	Bočnice 2	A3-BPN-01/03
Výkres součásti	Tělo posuvu	A3-BPN-01/04
Výkres součásti	Spojka	A3-BPN-01/05
Výkres součásti	Šroub	A3-BPN-01/06
Výkres součásti	Vložka šroubu	A3-BPN-01/07
Výkres součásti	Vodící tyč	A3-BPN-01/08
Výkres součásti	Stavěcí čep	A3-BPN-01/09
Výkres součásti	Držák elektromotoru	A3-BPN-01/10
Výkres součásti	Pohybová matice	A3-BPN-01/11

CD:

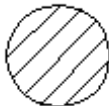
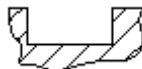
Bakalářská práce (.pdf)

3D model (.step; .iam)

Výkresová dokumentace (.pdf)

PŘÍLOHY

Příloha_1 Základní typy vedení [1]

Typ		Vodící plochy	
		vnější	vnitřní
prizmatické	symetrické		
	nesymetrické		
rybinové			
kruhové			
ploché			

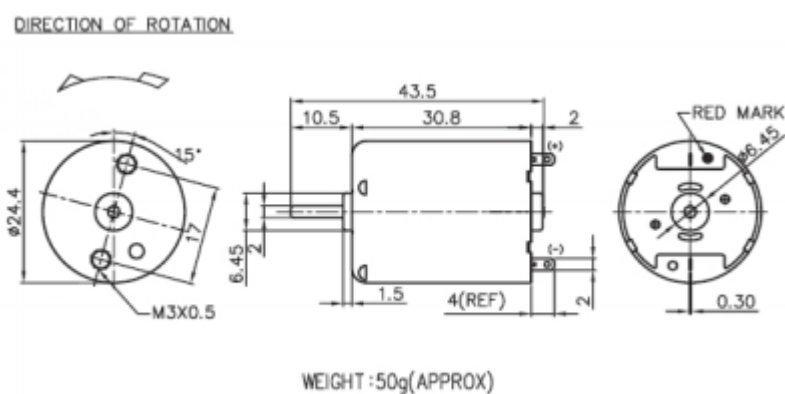
Příloha_2 Způsoby předepnutí kuličkové matice [16]

		Předpětí vytvořeno výběrem kuliček. Použití pro kratší matice s menší tuhostí.
		Předpětí vytvořeno rozdílným stoupáním závitu matice. Pro středně dlouhé matice s dobrou tuhostí.
		Předpětí vytvořeno vložením broušené podložky mezi matice. Pro dlouhé matice s vysokou tuhostí.
		Předpětí vytvořeno talířovou pružinou vloženou mezi matice. Pro středně dlouhé matice s nižší tuhostí.

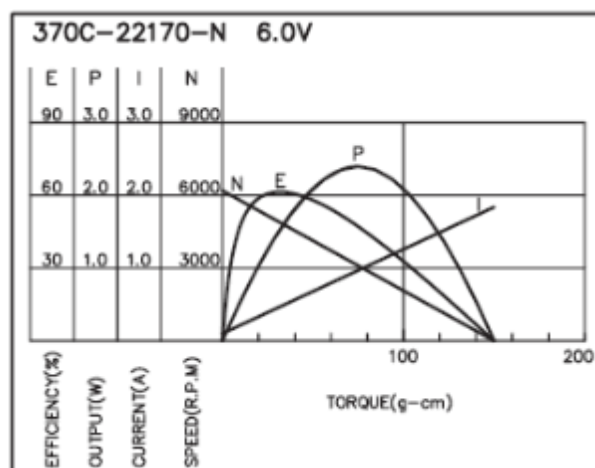
Příloha_3 Parametry zvoleného elektromotoru 370C-22170-N [22]

Napětí	Naprázdno		Zatížení při nejvyšší účinnosti				
Rozsah (jmen.) [V]	Otáčky [ot·min ⁻¹]	Proud [A]	Otáčky [ot·min ⁻¹]	Proud [A]	Moment [g·cm]	Výkon [W]	Účinnost [%]
3,0...12 (6)	6200	0,100	5200	0,360	25	1,33	61,600
Záběrový							
Proud [A]	Moment [g·cm]						
1,84	150						

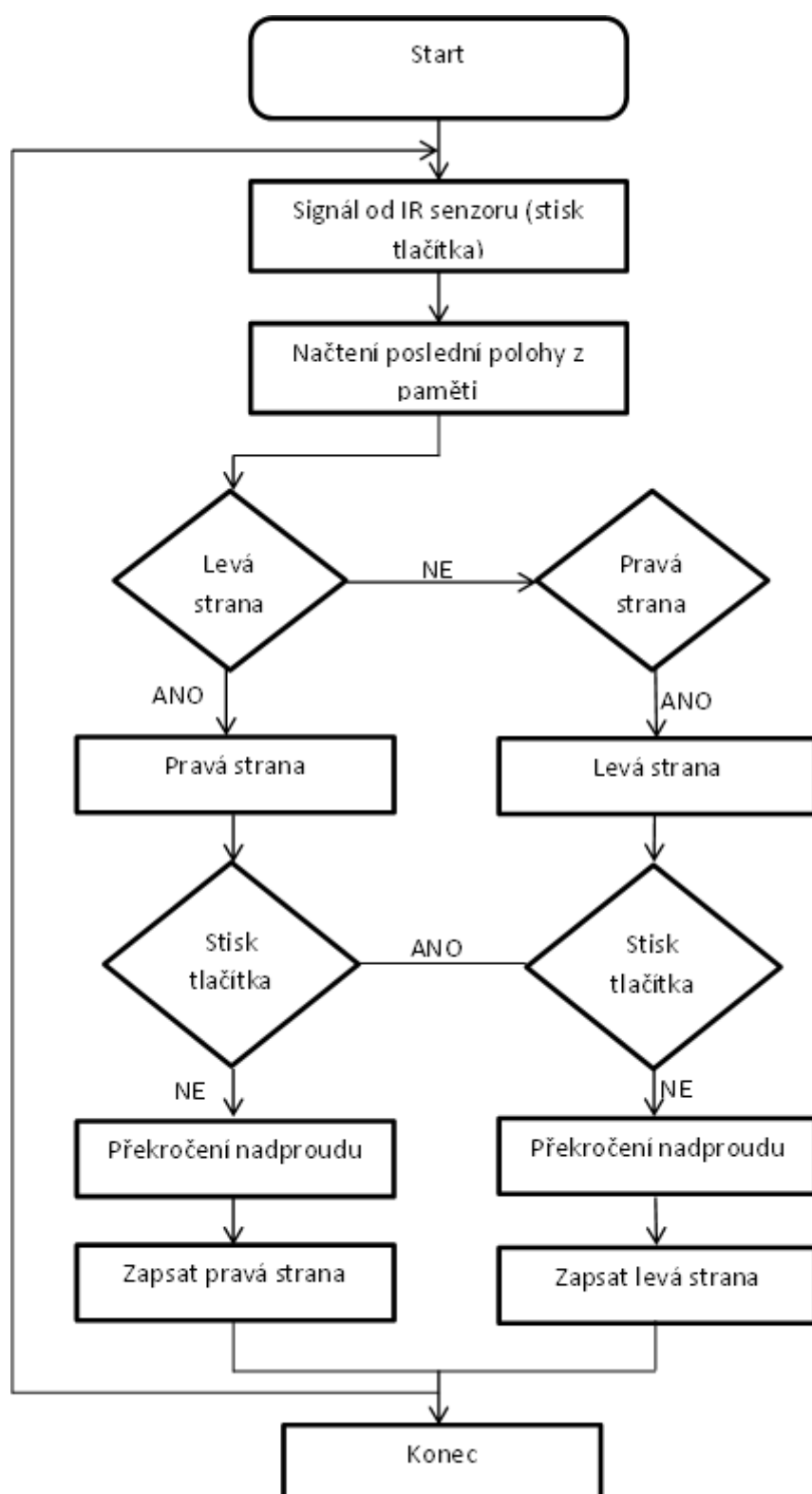
Příloha_4 Vnější rozměry zvoleného elektromotoru 370C-22170-N [19]



Příloha_5 Momentová charakteristika zvoleného elektromotoru 370C-22170-N [19]



Příloha_6 Vývojový diagram



Příloha_7 Ceny nakupovaných komponent

Název	Označení	Cena bez DPH (za 1 ks) [Kč]	Počet kusů	Cena celkem (bez DPH) [Kč]
Šroub s válcovou hlavou-inbus	ISO 4762 M5x16	0,35	4	1,40
Šroub s válcovou hlavou-inbus	ISO 4762 M5x10	0,34	2	0,68
Šroub šestihranný	ISO 4017 M3x8	0,24	4	0,96
Šroub šestihranný	ISO 4017 M3x6	0,32	2	0,64
Šroub stavěcí s hrotem-inbus	ISO 4029 M4x8	0,49	1	0,49
Matice nízká	ISO 8675 M8x1	0,29	2	0,58
Matice nízká	ISO 4035 M6	0,14	4	0,56
Podložka plochá	ISO 7089 M5/5,3	0,04	4	0,16
Podložka plochá	ISO 7093 M5/5,3	0,12	2	0,24
Podložka plochá	ISO 7089 M3/3,2	0,03	4	0,12
Válcový kolík s vnitřním závitem	ISO 8735 5x16	5,03	2	10,06
Axiální ložisko	NTB 1024	73,24	2	146,48
Lineární ložisko	LM-12	44,00	1	44,00
Broušená tyč	S12	99,56	1	99,56
Stejnoseměrný elektromotor	370C-22170-N	611,00	1	611

Kluzné pouzdro	KX22 1010	11,00	2	22,00
Pohybový šroub	Tr 10x3-1000P	115,00	1	115,00
Pohybová matice	MR-Tr 10x3 BZ P	200,00	1	200,00
Pastorek	P 0512	18,00	1	18,00
Kolo	P 0556	100,00	1	100,00
Procesor	ATTINY 13-20 PU	40,45	1	40,45
Ovladač elektromotoru	L 298N	100,83	1	100,83
IR senzor	SHARP GP1 UX310 QS	18,93	1	18,93
Celková cena [Kč] (bez DPH)				1532,14

Příloha _ 8 Ceny materiálů

Název	Počet kusů	Délka polotovaru [m]	Cena za 1m [Kč] (bez DPH)	Cena [Kč] (bez DPH)
Základ	1	0,426	300	127,80
Bočnice 1	1	0,045	300	13,50
Bočnice 2	1	0,040	300	12,00
Tělo posuvu	1	0,034	821	27,91
Spojka	1	0,055	69,42	3,82
Vložka šroubu	1	0,017	16,25	2,76
Stavěcí čep	2	0,036	11,04	0,40
Název	Počet kusů	Rozměr polotovaru [m]	Cena za 1x2m [Kč] (bez DPH)	-
Držák elektromotoru	1	0,024x0,056	571,14	0,38
Celková cena [Kč] (bez DPH)				188,57