

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

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

ELEKTRONICKY ŘÍZENÁ DĚLÍČÍ HLAVA

ELECTRONICALLY CONTROLLED INDEX HEAD

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Pavel Holík

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK BRADÁČ, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Holík Pavel, Bc.

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

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

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Elektronicky řízená dělicí hlava

v anglickém jazyce:

Electronically controlled index head

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte dělicí hlavu řízenou mikrokontrolérem se zobrazením na textovém LCD displeji. Zařízení bude možné připojit k počítači pro sdružené řízení s CNC strojem.

Cíle diplomové práce:

1. Navrhněte konstrukčního řešení elektronicky řízená dělicí hlava pro univerzální soustruh
2. Navrhněte zobrazení stavu na LCD displeji a ovládání hlavy pomocí tlačítek, alternativně navrhněte připojení na NC systém
3. Navrhněte a proveďte výpočet převodů
4. Navrhněte konstrukci systému přepínání vřeteno-dělicí hlava
5. Navrhněte hardware elektronického řízení
6. Navrhněte software elektronického řízení
7. Proveďte zhodnocení návrhu

Seznam odborné literatury:

1. RUDOLF, B.; KOPECKÝ, M. Tvářecí stroje - základy stavby a využití. 1. vyd. Praha: SNTL, 1985. 405 s. ISBN 04-231-85
2. BRENÍK, P.; PÍČ, J. Obráběcí stroje - konstrukce a výpočty. 2. vyd. Praha: SNTL, 1986. 573 s. ISBN 04-235-86
3. KOVÁČ, A.; RUDOLF, B. Tvární stroje. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1989. 376 s. ISBN 80-05-00126-6
4. ŽENÍŠEK, J.; JENKUT, M. Výrobní stroje a zařízení. 2. vyd. Praha: SNTL, 1990. 276 s. ISBN 04-222-90
5. BOLEK, A.; KOCHMAN, J. a kol. Části strojů I a II. Technický průvodce 6 Praha: SNTL, 1990.
6. NĚMEC, J.; DVOŘÁK, J.; HOSCHL, C. Pružnost a pevnost ve strojírenství. 1. vyd. Praha: SNTL, 1988.
7. Strojírenská příručka 1. - 8. díl. 1. vyd. Praha: Scientia. 1992-1998, ISBN 80-03-00-680-5, ISBN 80-85827-00-x, ISBN 80-85827-23-9, ISBN 80-85827-58-1, ISBN 80-85827-59-x, ISBN 80-85827-88-3, ISBN 80-7183-024-0
8. DRASTÍK, F. Normativně technická dokumentace. Ostrava: Montanex, 1998.
9. Nařízení vlády č. 24/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na strojní zařízení
10. ČSN ISO 7144 Formální úprava disertací a podobných dokumentů. Praha: ČSNI, 1996. 21 s. ICS 01.140.20
11. ČSN ISO 690-1: 1996. Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura. Praha: ČSNI, 1996. 32 s.
12. MELOUN, M.; MILITKÝ, J. Statistické zpracování experimentálních dat. 1. vyd. Praha: PLUS s.r.o, 1994. 839 s. ISBN 80-85297-56-6

Vedoucí diplomové práce: Ing. František Bradáč, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 25.11.2007



Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

		Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
		DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Abstrakt

Pavel Holík:
Návrh konstrukčního řešení pro elektronicky řízenou dělicí hlavu.

DP, ÚVS, 2009. str. 71, Obr.51, tab. 8, příloh 9

Přehled konstrukčních možností. Návrh konstrukčního řešení. Návrh hardwaru. Návrh softwaru. Výpočty převodů.

Klíčová slova: univerzální konstrukce, elektronické řízení, jednoduchost konstrukce, ozubený řemen

Pavel Holík:
Proposal of structure design for electronically controled index head.

DT, ÚVS, 2009. 71 pages, 51 pictures, 8 tables, 9 annex

Summary of structure design possibility. Proposal of structure design. Hardware proposal. Software proposal. Gearing calculation.

Key words: all-purpose design, electronically control, simple structure, timing belt

		Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
		DIPLOMOVÁ PRÁCE	

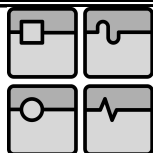
Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně na základě uvedené literatury pod vedením vedoucího diplomové práce.

.....

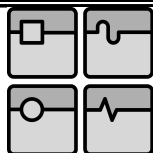
V Brně dne 15. 5. 2009

		Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
		DIPLOMOVÁ PRÁCE	
Poděkování Chtěl bych touto cestou poděkovat akademickému sboru Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně za poskytnuté vědomosti v průběhu studia.			



Obsah	
ABSTRAKT.....	5
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ.....	7
1 ÚVOD.....	11
1.1 Používané stroje.....	11
2 POPIS A ROZBOR DĚLÍČÍCH ZAŘÍZENÍ.....	12
2.1 MECHANICKÉ DĚLÍČÍ ZAŘÍZENÍ.....	12
2.1.1 Nejjednodušší dělíčí zařízení.....	12
2.1.2 Dělíčí hlava.....	12
2.2 ELEKTRONICKÁ ZAŘÍZENÍ.....	14
2.2.1 Zařízení se zpětnou vazbou.....	15
2.2.2 Zařízení bez zpětné vazby.....	16
3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....	17
3.1 POHONNÉ JEDNOTKY [16] [21] [22].....	18
3.1.1 Stejnosměrný motor EC.....	18
3.1.2 Stejnosměrný motor.....	18
3.1.3 Krokový motor.....	18
3.2 PŘEVODY.....	21
3.2.1 Mechanická převodovka.....	21
3.2.2 Převod ozubeným řemenem.....	22
3.3 VYBRANÉ ŘEŠENÍ.....	23
3.3.1 Požadavky a podmínky zařízení.....	23
3.3.2 Volba zařízení -výhody.....	23
3.3.3 Nevýhody a možné problémy.....	24
3.4 POUŽITELNOST ZAŘÍZENÍ.....	24
4 NÁVRH ZAŘÍZENÍ.....	25
4.1 VÝBĚR ŘEMENŮ [17] [20].....	26
4.2 VÝPOČET PŘEVODŮ.....	27
4.2.1 Návrh celkového převodu.....	27
4.2.2 Návrh a výpočet ozubených kol.....	28
4.3 VOLBA KROKOVÉHO MOTORU [22].....	29
4.4 ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU.....	30
4.5 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA.....	31
4.5.1 Hardware.....	31
4.5.2 Vstupy a výstupy.....	35
4.5.3 Určení zrychlení a zpomalení.....	35
4.6 PŘIPOJENÍ K PC.....	37
4.7 PŘEPÍNÁNÍ VŘETENE.....	38
4.8 VŘETENOVÁ BRZDA.....	39
5 PROGRAM A OVLÁDÁNÍ.....	41
5.1 STRUKTURA PROGRAMU.....	41
5.1.1 Paměť programu.....	41
5.1.2 Smyčka programu.....	42
5.2 ZOBRAZOVÁNÍ NA DISPLEJI.....	42
5.2.1 Princip zobrazování.....	43
5.3 POLOHOVÁNÍ.....	43
5.4 OVLÁDÁNÍ PROGRAMU A ZOBRAZENÍ INFORMACÍ.....	44
6 DÍLY A SESTAVA.....	47
6.1 OZUBENÉ ŘEMENY A ŘEMENICE.....	47
6.1.1 Podklady pro výpočet.....	47
6.1.2 Výpočet řemenic.....	48
6.1.3 Konstrukce řemenic.....	55
6.1.4 Sekundární ozubené kolo.....	56

6.1.5 Řemeny.....	57
6.2 MEZIHŘÍDEL.....	57
6.3 DESKA MOTORU S UPÍNAČEM.....	59
6.4 KROUŽEK VŘETENE.....	60
6.5 LOŽISKA.....	61
6.5.1 Výpočet reakcí.....	61
6.6 SESTAVA.....	64
6.7 KRYT.....	64
7 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	65
8 ZKOUŠKY.....	66
9 ZÁVĚR.....	67
LITERATURA.....	68
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	70
SEZNAM PŘÍLOH.....	71



1 ÚVOD

Dělicí hlava je běžným a téměř základním vybavením každé kovoobráběcí dílny. Používá se samostatně, připevněná na stůl frézky, nebo ve spojení s univerzálním soustruhem. Spojení se soustruhem je více vidět v domácích dílnách. Například frézování drážek do hřídelů se provádí pomocí malé frézky usazené přímo na nástrojovou hlavu soustruhu. Nejčastěji používané hlavy jsou mechanické s převody ozubenými koly. Toto zařízení je spolehlivé, drahé a vyžaduje znalosti a pečlivost při nastavování. V současné době, kdy je na trhu dostatek levných obráběcích strojů, a obrábění se často mění v hobby, chybí zcela jednoduché zařízení, které by dokázalo mechanickou dělicí hlavu nahradit. Pokud cena stroje je na dvou třetinách ceny přídatného zařízení, je právě tady prostor pro nové, jednoduché konstrukční řešení. Základem tohoto řešení musí být maximální univerzálnost, jednoduchost konstrukce i obsluhy, spolehlivost a velmi podstatná – přijatelná cena.

Toto konstrukční řešení jsem vybral zcela záměrně, protože postupným studiem zadání této práce jsem dospěl k závěru, že tak jak je zadáno jej není možné důkladně zpracovat do všech podrobností. I pouhý přehled konstrukčních možností by zcela jistě nebyl úplný. A právě to je důvod, proč se ve vlastním konstrukčním návrhu zaměřuji především na maximální jednoduchost a nízké pořizovací náklady.

1.1 Používané stroje

Právě v oblasti hobby obrábění se využívají jednoduché stolní soustruhy a frézky s pořizovací cenou do 10.000 do 30.000 Kč. U těchto strojů nemůžeme očekávat ani kalibrační protokol, ani zvláště velkou přesnost - většinou 0,1mm. Dalším typem strojů, mnohem více rozšířeným, jsou obráběcí stroje předválečné, mnohdy s rokem výroby kolem 1910-1930. Tyto stroje bývají původní, i modernizované. Jen zcela náhodně bychom ještě objevili stroj s transaxiálním pohonem, ale velmi často se setkáváme se strojem upraveným, kde je vřetenem poháněno pomocí frekvenčního měniče, na zabroušené posuvy je namontováno digitální odměřování a mnohdy je celý stroj řízen pomocí osobního počítače.

2 POPIS A ROZBOR DĚLÍCÍCH ZAŘÍZENÍ

Dělicí zařízení lze rozdělit z několika pohledů. Podle druhu zařízení na mechanické a elektronické, samostatné a implementované. Bez zpětné vazby a se zpětnou vazbou.

2.1 Mechanické dělicí zařízení

Toto zařízení je založeno na zcela mechanickém principu, kdy se vlastní posuv vykonává ručně, pomocí kliky a pevného zajištění v požadované poloze.

2.1.1 Nejjednodušší dělicí zařízení

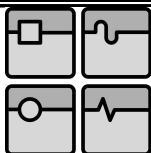
Nejjednodušším zařízením tohoto typu je drážková hřídel, do které přesně zapadá západka zajišťující přesnou polohu hlavy. Západkou je zpravidla šroub s kuželovým koncem, který se dotahuje po ručním pootočení hlavy. V drážkové hřídeli může být větší počet drážkování, pro různé počty dělení. Samotné dělení je pak zcela závislé na přesnosti zařízení a pečlivosti obsluhy. Počet dělicích kroků je omezen rozměry zařízení. Toto zařízení se ve strojařské praxi téměř nepoužívá, ale velice často jím bývají vybaveny soustruhy na dřevo, kde značná vůle a nepřesnosti nevadí.

2.1.2 Dělicí hlava

Pro běžné použití je vhodná klasická dělicí hlava. Toto zařízení je přesné zařízení, kde velmi záleží na kvalitě výrobku. Samozřejmostí je naprosto bezvůlový chod. To vyžaduje velmi přesné obrábění kvalitních materiálů, pečlivou montáž a dolícování při kompletaci hlavy. Právě tyto vlastnosti se velmi nepříznivě odráží v ceně výrobku. Nastavování dělicí hlavy je opět ruční a záleží na pečlivosti obsluhy. Dělicí poměry jsou předem určeny konstrukcí dělicího zařízení. Naprosto nejjednodušší zařízení nemají převod a nastavují se pomocí kolíku a stupnice. Cena přibližně 4.000 Kč.



obr.1 Dělicí hlava typ DH-1



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Hlavy použitelné i jako otočný stůl se pohybují okolo 15.000 Kč. Tyto hlavy mají ruční natáčení podle nonia a určené polohy zajištěné západkovým systémem.



obr.2 Dělicí hlava vertikální-FERM

Podstatně dražšími modely jsou hlavy převodové. Nonius na ovládací páce je usazen na šneku, a s převodovým poměrem, většinou 1:90, polohuje unašeč. Tyto modely stojí přibližně 20.000 Kč. Ani tyto modely nejsou schopny nastavení na libovolný počet dělení. Mají několik předem určených poloh a nebo možnost plynulého natáčení pomocí nonia.



obr.3 Dělicí hlava převodová

K tomuto typu dělicí hlavy je možné zakoupit dělicí šablony pro přesné polohování. Pak je možné dělit různé počty pomocí těchto šablon. Vždy však pomocí otáčení kliky a počítáním děr v šabloně. To je sice přesné, ale je zde velké riziko lidské chyby.

2.2 Elektronická zařízení

Elektronické dělicí zařízení bývá zpravidla výsadou CNC strojů. Celé zařízení je implementováno do numerického řízení stroje. Příkladem těchto strojů jsou víceosá obráběcí centra (například Mazak Integrex)



obr.4 INTEGREGX 100-III ST

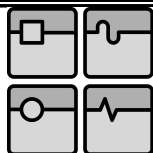
V pracovním prostoru tohoto stroje se nachází dvě vřetena, obě s možností dělení.



obr.5 Pracovní prostor obráběcího centra

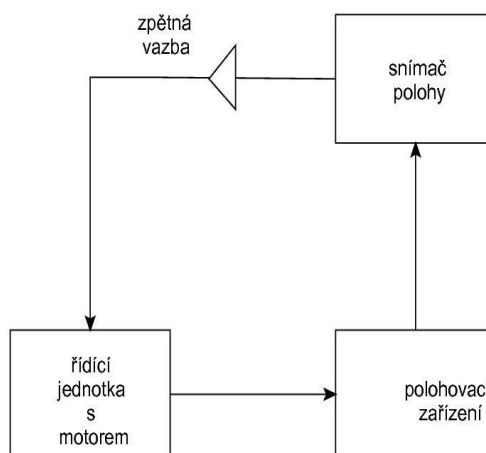
Dělicí zařízení tohoto stroje je schopné snímat jednotlivé dělicí kroky rotujících hlav až do 4000 otáček za minutu!!! Po jejich překročení a opětném snížení otáček si stroj samozřejmě pamatuje nulové polohy vřeten. Dělení samotné je zcela závislé na řídicím programu. [<http://www.mazak.com>]

Stroj tohoto typu zvládá v naprosté většině požadavky na obrábění nebo frézování, ale jeho cena – řádově miliony ho rozhodně neřadí mezi stroje pro hobby použití.



2.2.1 Zařízení se zpětnou vazbou

Zařízení se zpětnou vazbou představují v současnosti nejpřesnější možnosti pro polohovací systémy. Motor provede otočení a elektronická část pomocí snímače vyhodnocuje skutečnou polohu.



obr.6 Zapojení se zpětnou vazbou

Tato zařízení se liší dle typu snímače.

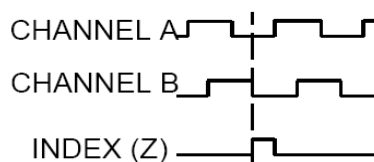
Magnetické snímače jsou velmi používané pro jejich odolnost vůči olejům a nečistotám. Jejich nevýhodou je nutnost nastavení nulové polohy, protože používají relativní hodnoty pro výpočet polohy. Jsou tedy závislé na napájecím napětí a při odpojení od zdroje nemohou určit skutečnou polohu. Jediná možnost je vrátit se do nulové polohy a znovu najet na polohu po zapnutí napájení.

Optické snímače se liší podle typu světla na LED a o několik řádů přesnější laserové snímače. Oba tyto typy pracují na stejných principech.

Princip průchodu světla štěrbinou je založen na přerušování světla mezi zdrojem a snímačem. Přerušování způsobuje kotouček s čarami, který se otáčí v závislosti na vřetenu stroje.

Poloha vřetene je rovněž relativní při použití jednoho snímače. Je tedy výhodnější použít větší počet snímačů a na odraznou plochu nebo přerušovací kotoučky použít větší množství přesně definovaných čar a

získat tak přesnou absolutní pozici vřetene, kterou lze určit i po výpadku napájení.



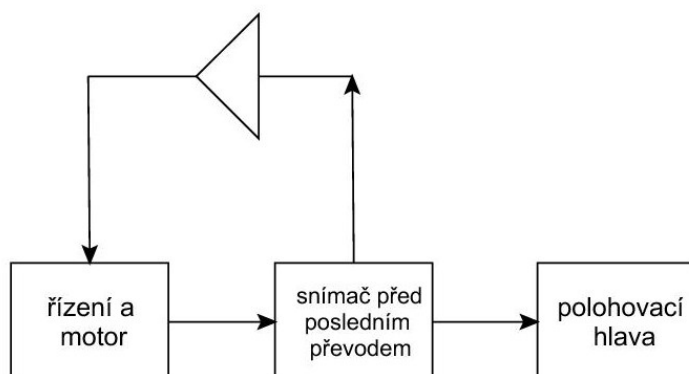
obr.7 Hodnoty signálu z dvojkanálového enkodéru [22]

2.2.2 Zařízení bez zpětné vazby

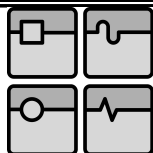
Zařízení tohoto typu nejsou schopna zjistit přesnou polohu vřetene, protože snímač nebo elektronika otáčení nejsou připojena k hlavě vlastní, ale k pohonu samotnému. Dojde-li tedy během polohování ke skluzu, zařízení to nemá možnost rozpoznat a dochází k chybě. U těchto zařízení je třeba velmi pečlivě sledovat pracovní parametry stroje a úzkostlivě dbát na jejich dodržování. Mezi tyto zařízení patří i ta zařízení, která zpětnou vazbu mají, ale snímače jsou umístěny na hnacím zařízení a nikoliv přímo na vřeteni.



obr.8 Řízení bez zpětné vazby



obr.9 Řízení bez aplikované zpětné vazby



3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Cíle navrhovaného řešení:

- co největší jednoduchost
- použití standardních dílů v co možná největší míře
- díly musí být snadno vyrobitelné bez speciálního nářadí
- jednoduché a srozumitelné ovládání
- není určeno pro seriovou výrobu
- možnost použití jako doplněk starších strojů i samostatně
- jasné informace o stavu zařízení a prováděné operaci
- Aplikace pro stroj quantum



obr.10 soustruh QUANTUM D250X400

3.1 Pohonné jednotky

[16] [21] [22]

Zdrojem energie pro pohon dělicího zařízení může být jakýkoliv motor. Uvažíme-li nutnost přesného polohování, je jedinou vhodnou možností pro pohon tohoto typu dělicího zařízení je motor elektrický.

3.1.1 *Stejnoseměrný motor EC*

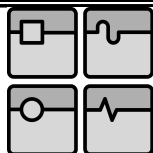
V současné době se s rozvojem elektroniky velmi rychle rozvíjí možnosti pro jednoduché a levné ovládaní motorů. Motory typu EC jsou výrobně jednoduché, mají vinutí ve statoru a na rotoru je permanentní magnet. Pomocí mikroprocesoru lze ovládat otáčky. Pro použití, k přesnému polohování, tyto motory nejsou vhodné. Jednak pro pohyb potřebují elektronické řízení - elektronickou komutaci a další zařízení by muselo hlídat polohu celého zařízení. Motory jsou určeny pro velmi vysoké otáčky a proto jsou pro tuto aplikaci nevhodné.

3.1.2 *Stejnoseměrný motor*

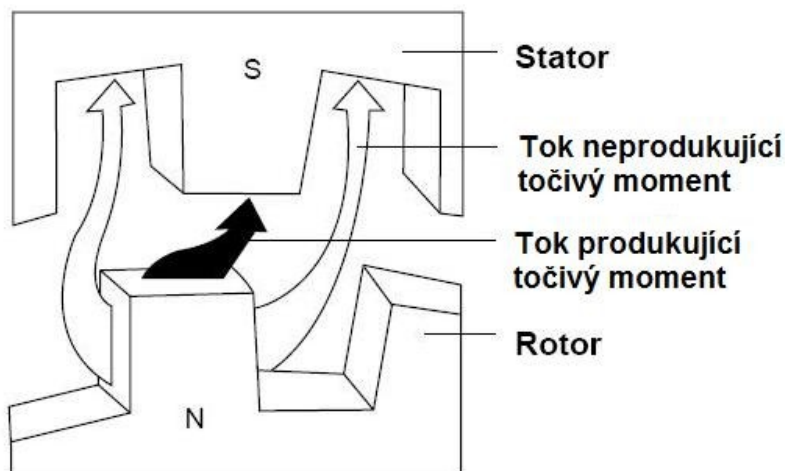
Mnohem lépe lze v aplikacích mikropohonů využít klasické stejnosměrné motory. Motory mohou být s klasickou vinutou kotvou nebo v provedení s kotvou bez železa. Oba typy motorů pracují ve vyšších otáčkách s poměrně velkou dynamikou. Poloha zařízení musí být opět snímána samostatně. Proto ani tento typ motoru není použit pro tuto aplikaci.

3.1.3 *Krokový motor*

Krokový motor je typ motoru, který potřebuje pro svůj chod elektronické řízení. Na rotoru je určitý počet vyniklých pólů. Tyto póly mohou být pasivní nebo aktivní – tvořené permanentními magnety. Počet pólů na rotoru a statoru je odlišný a přiváděním proudu do statorového vinutí vzniká magnetické pole, které přesně definuje polohu rotoru.

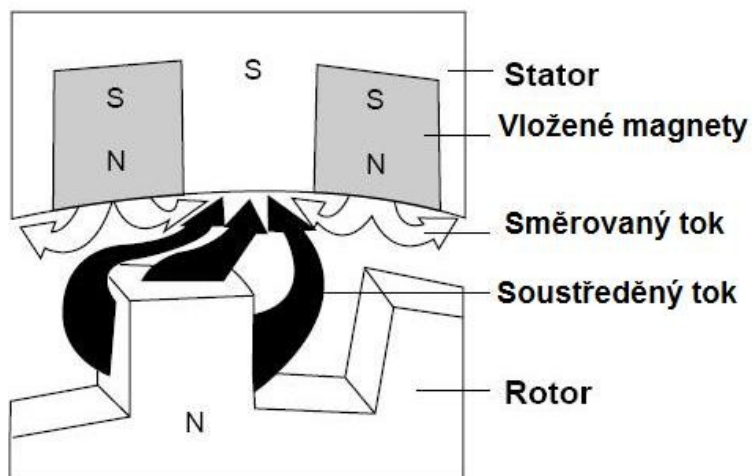


STANDARD HYBRID



obr.11 Standardní hybridní motor

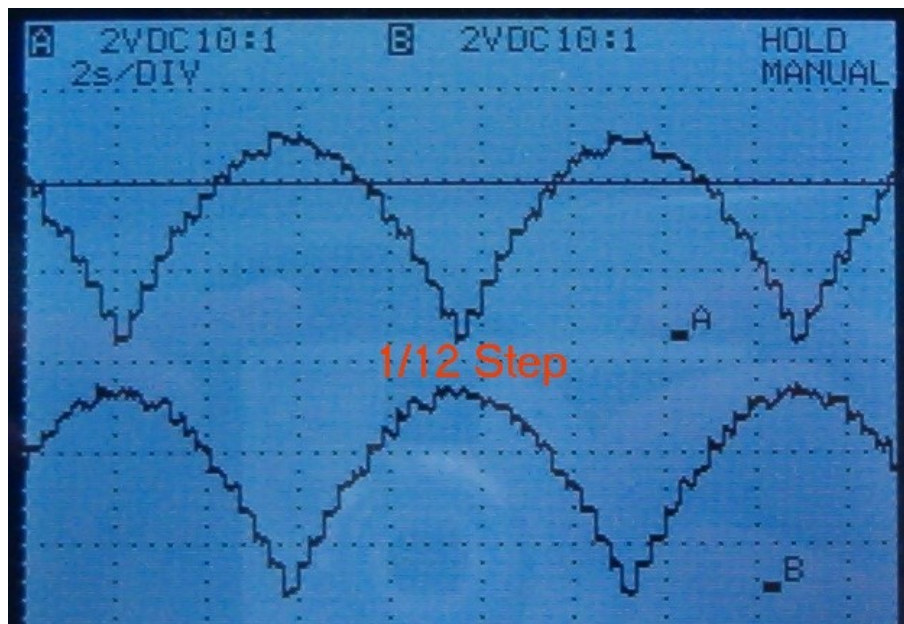
SIGMAX[®] TECHNOLOGY



obr.12 Patentovaný hybridní motor SIGMAX

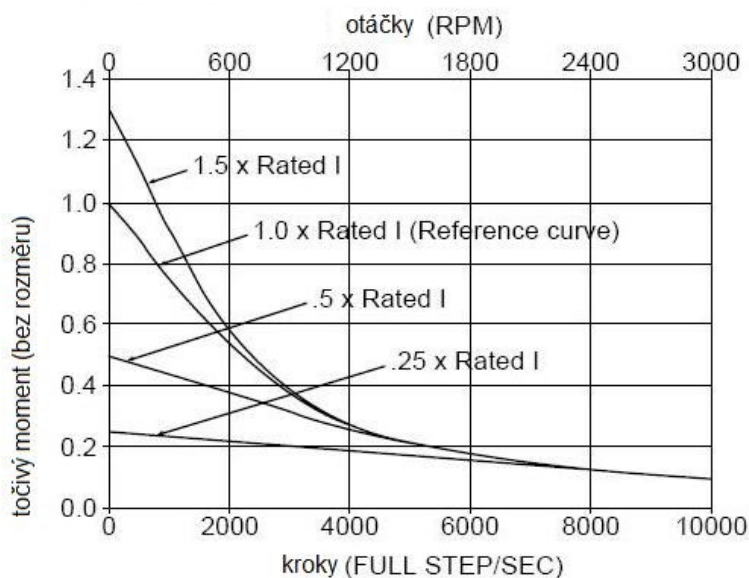
Krokový motor má několik základních pozic v závislosti na počtu pólů na rotoru. V případě motoru s aktivním rotorem je počet poloh dvojnásobný, protože se uplatňuje vliv magnetů na rotoru. Standardně bývá na rotoru 50 až 100 magnetických pólů a tomu v tedy odpovídá základní polohování po 3,6 a 1,8°. Běžně se používají i motory se základním dělením 15 a 7,5°. Motor je napájen obdelníkovými pulsy. Jeho otáčení tedy bývá trhavé, protože rotor následuje elektrický signál a tedy po každém kroku následuje zastavení. Tento jev se dá téměř odstranit mikrokrokováním. Princip mikrokrokování spočívá v pulzním režimu

napájení takovým způsobem, aby proudy ve vinutí byly co nejpodobnější sinusoidě. Běžně se používá mikrokrokování 1:2, 1:4, 1:6, 1:8, 1:12, 1:16. Průběhy proudů u dvofázového motoru při mikrokrokování 1:12 jsou pro obě fáze na obrázku 13.

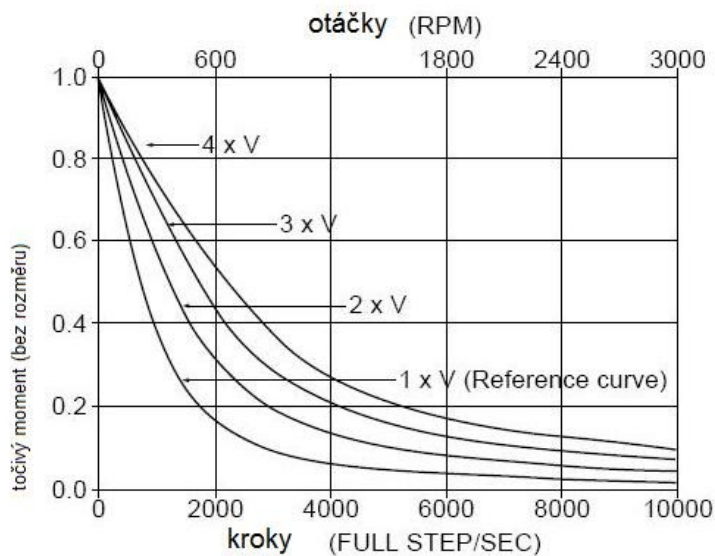
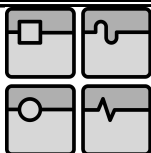


obr.13 Průběhy proudu při 1:12 mikrokrokování [21]

Krokový motor je určen pro malé otáčky – do 5 za sekundu, pak jeho točivý moment prudce klesá. Závislosti točivého momentu na otáčkách v závislosti na proudu a napětí jsou na obrázcích 14 a 15.



obr.14 Závislost točivého momentu na proudu [22]



obr.15 Závislost točivého momentu na napětí [22]

Krokový motor je tedy optimální volbou pro tuto aplikaci.

3.2 Převody

Převody dělicího zařízení musí být bez vůle. Bezvůlový chod lze zajistit několika způsoby.

3.2.1 Mechanická převodovka

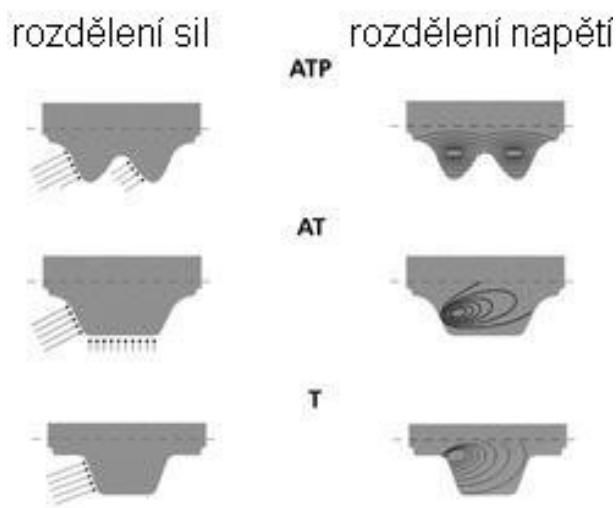
Mechanická převodovka je ve většině případů tvořena ozubeným kolem a kolem šnekovým. U velice kvalitních děliček se používá globoidního ozubení. To je velmi přesné a lze ho ustavit tak, aby nevykazovalo žádné vůle, ale je velmi drahé. Také proto, že na tento druh ozubení musí být vyroben speciální nástroj pro kolo i pro šnek. Převodový poměr bývá 1:90. Na šnekovém kole je klika se západkou, která zapadá

do děr v šabloně. Šablon je více typů, aby bylo možné dělit plynule všechny dělicí poměry (např. 1-360).

3.2.2 Převod ozubeným řemenem

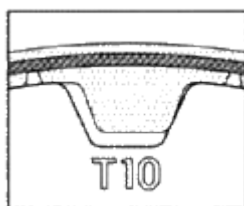
Ozubený řemen je další možnost bezvúlového převodu. Je podstatně levnější, výrobně jednodušší (řemen je nakupovaný díl) a má delší životnost bez zvětšených vůlí. Řemenů je vyráběno velké množství a je třeba vybrat typ a ozubení vhodné pro tuto aplikaci. Řemen není nutné mazat a přitom mohou být vůči olejům odolné.

Profil ozubeného řemene je třeba vybrat tak, aby vyhovoval pro nízké otáčky a bezvúlový chod. Rozdělení sil a napětí u jednotlivých profilů ozubených řemenů firmy Continental je na obrázku 16.

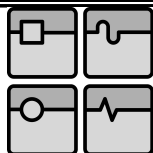


obr.16 Profily ozubených řemenů Continental [17]

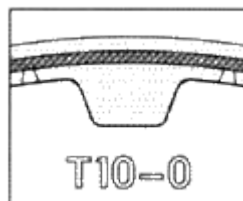
K řemenu musí být přiřazena správná řemenice. Její výběr je závislý na provozních podmínkách. Profil standardní řemenice je na obrázku 17. Zaručuje spolehlivý chod na vyšších otáčkách a tomu odpovídající přesnost.



obr.17 Standardní profil řemenice [17]



Na obrázku č.18 je znázorněna řemenice pro přesné polohování. Řemen zcela vyplňuje profil řemenice. To je možné pouze při nízkých otáčkách, protože ve vysokých otáčkách by docházelo k poškození hran zubu řemene nadměrným třením.



obr.18 Profil řemenice s nulovou vůlí [17]

3.3 Vybrané řešení

Ke správnému výběru polohovacího zařízení je třeba si definovat pracovní podmínky stroje a požadavky na zařízení.

3.3.1 Požadavky a podmínky zařízení

Zařízení polohuje rotační díl, nepředpokládá se jeho nevyváženost v různých polohách natočení

Zařízení musí překonat odpor otáčení vřetene včetně motoru v jeho nejtěžším převodu. Pro soustruh quantum je tento odpor určen experimentálně na základě měření. Měření momentu na otočení vřetene se opakovalo 20x a vždy bylo v rozmezí 3,1-3,6 N/25cm. Z toho je odvozen požadavek na **moment 1Nm** pro překonání třecích sil.

Momenty setrvačnosti jsou počítány pouze pro upínací hlavu, protože ta je nejtěžším dílem celé sestavy. Moment setrvačnosti motoru není znám a není známa ani jeho hmotnost a proto bude zařízení dimenzováno tak, aby setrvačnost sestavy nemohla ovlivnit spolehlivost zařízení.

Pořizovací náklady na zařízení musí být co nejnižší.

3.3.2 Volba zařízení -výhody

Z výše uvedených podmínek je řešením bezvůlový pohon ozubeným řemenem a krokovým motorem bez zpětné vazby.

Největší výhodou řešení je jeho jednoduchost a nízké pořizovací náklady. Ozubené řemeny zajišťují bezúdržbový provoz. Provozem nevznikají žádné vůle, které by vedly k chybám při dělení. Elektrická

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 24
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

brzda, zabudovaná v driveru, na krokovém motoru udržuje dělicí zařízení zablokované bez použití dalších součástí.

3.3.3 Nevýhody a možné problémy

Nevýhodou tohoto zařízení je chybějící zpětnovazební zařízení. Běžně dostupné snímače polohy jsou dodávány přímo s krokovými motory, ale jejich rozlišení není dostatečné pro danou aplikaci. Přídavné zařízení namontované přímo na hlavě by sice mělo značný význam, ale jeho cena by vzhledem k požadovanému rozlišení byla neúměrně vysoká. Levnější zařízení by vyžadovalo další řemenový převod od dělicí hlavy. Motor musí zůstat pod proudem i v zajištěné poloze při obrábění, při odpojení proudu nebo výpadku elektrického proudu je třeba zařízení znovu nastavit, protože otáčení se pohybuje v relativních souřadnicích. Při nevyváženém obrobku může dojít k pružení řemene a tím nepřesnosti v dělení.

3.4 Použitelnost zařízení

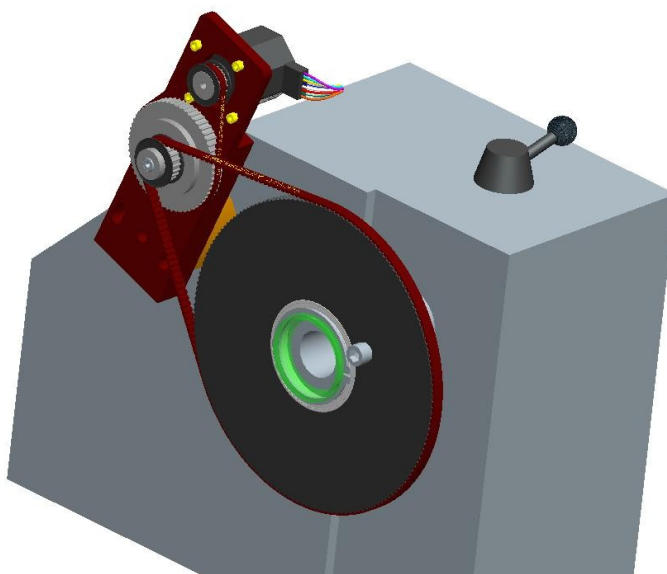
Zařízení musí být namontovatelné na soustruh quantum bez velkých úprav stroje. Mělo by být snadno aplikovatelné na podobné soustruhy této velikosti určené pro hobby použití.

Musí vyhovět pro zhotovení dělicího zařízení jako samostatného nářadí - dělicí hlavy pro frézku. Samozřejmě pro použití na frézkách je nutné vyrobit vřeteno s upínací hlavou samostatně. Vřeteno by mělo být uloženo na kuželíkových ložiskách s předpětím pro bezvůlový chod. Odpadá nutnost odpojování sekundární řemenice od vřetene. Lze tedy celé zařízení zjednodušit a řemenici nalisovat přímo na vřeteno.



4 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

Zařízení musí být vyrobitelné na standartních strojích – soustruh, frézka bez použití speciálního nářadí. Všechny materiály a díly musí být snadno dostupné, levné. Musí být aplikovatelné na různé stroje.



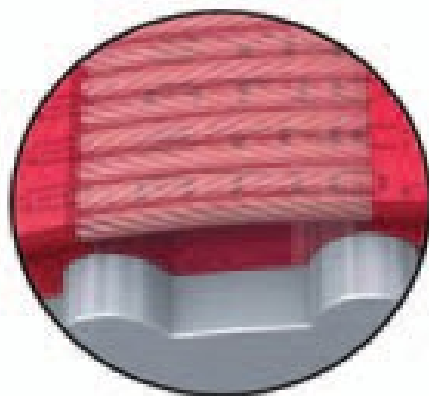
obr.19 Návrh dělicího zařízení pro quantum

4.1 Výběr řemenů

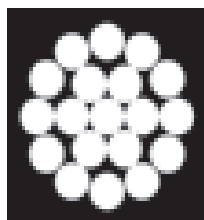
[17] [20]

Převodový řemen tvoří nejpodstatnější část zařízení. Na jeho vlastnostech závisí celková přesnost zařízení. Bezpodmínečně musí odolávat olejům a řezným kapalinám. Musí mít dostatečnou pružnost v ohybu, ale musí být velice odolný proti natahování. Vybrat lze z velkého množství ozubených řemenů, které se dodávají do průmyslu všeobecného i automobilového. Výběr je zúžen na řemeny, které nemusí přenášet velké výkony, ale musí zajišťovat přesné polohování, to znamená, že přenáší velké síly bez vlivu na prodloužení řemene. Z toho důvodu se zaměříme jen na řemeny pro průmyslové použití. Pro přesné polohování je dodáván řemen řady **Synchroflex**. Vzhledem k důrazu, kladenému na vlastnosti řemene lze použít i řemen poslední generace s označením **Synchroflex GEN III**, který má asi o 25% lepší parametry pro přenos sil než starší typy, ale samozřejmě vyšší cenu. Oba typy mají stejné rozměry a lze je zaměnit. Proto návrh je zaměřen na typ **Synchroflex**.

Synchroflex GEN III je řemen vyrobený z červeného polyuretanu, na ocelovém kordu. Základní rozdíl je v ocelovém kordu. Synchroflex má nižší počet, silnějších ocelových lanek.



obr.20 Synchroflex GEN III [17]



obr.21 ocelové lanko Synchroflex GEN II [17]

		Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 27
		DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Ocelový kord je tvořen levo a pravotočivými lanky. Profil zubu je pro tento typ řemene standardně doporučen AT. (přesný typ bude vybrán dále)

4.2 Výpočet převodů

Pro převodový poměr zařízení je důležitých několik hledisek. Vzdálenost os řemenic by měla být co nejmenší, aby se minimalizovalo riziko napínání řemene. Převod by měl být proveden jedním řemenem.

Tyto požadavky lze uplatnit s ohledem na konstrukci dílů. Celkový převod je určen i z hlediska počtu dělení elektrického. Abychom dosáhli co možná největšího rozlišení, je počet kroků volen co největší.

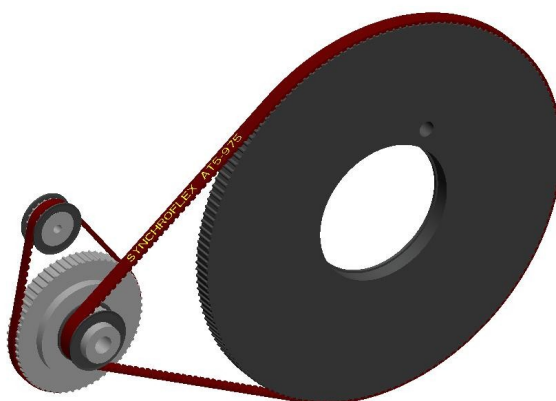
4.2.1 Návrh celkového převodu

Celkový převod je navržen tak, aby při dělení vznikala co nejmenší základní chyba. To znamená převod mechanický je sloučen s počtem kroků motoru a základní dělení – to je 2 až deset jsou bez základní chyby. (počet mikrokroků motoru je shodný ve všech dílech dělení).

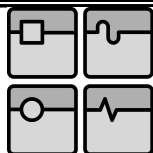
S uvážením možností ovládání motoru a s ohledem na chybu při dělení, je navržen celkový převod 1/21.

4.2.2 Návrh a výpočet ozubených kol

Výběr ozubených kol je dán možnostmi nákupu standartních, ověřených dílů, konstrukcí a možnostmi řemene a vzdáleností os řemenic. Při výběru byl kladen důraz na správné opásání řemenic a dodržení jejich velikostí. Vzhledem k navrženému převodovému poměru a technickým vlastnostem řemene, i celkovým rozměrům, byl převod zhotoven v dvoustupňovém provedení. První převod je $1/3$ a druhý $1/7$. Nutnost nákupu druhého řemene a dalších řemenic sice prodraží celé zařízení, ale snížením převodu by se snížilo rozlišení kroků na otáčku. Při zachování poměru v jednořemenovém provedení, by se nadměrně zvětšila velikost sekundární řemenice. To by znamenalo velmi problematickou montáž na vřeteno a nutnost výroby řemene na zakázku.



obr.22 Dvojité převod



4.3 Volba krokového motoru

[22]

Krokový motor je vybrán s ohledem na velikost stroje a síly, které na obrobek mohou působit. Podle dostupných návrhových zdrojů a doporučení se krokový motor volí s dvojnásobnou velikostí než je potřeba pro danou aplikaci. Tato míra jistoty zabezpečuje chod bez prokluzu vlivem setrvačných sil při rozběhu a zastavení. Krokový motor je nejdražším prvkem celého zařízení a proto jeho dvojnásobné zvětšení je nevhodné. Aby se zamezilo možnosti prokluzu je mnohem výhodnější použít motor s bezpečností okolo 1,5 a rozběh a zpomalení řídit elektronicky, aby nedocházelo k přetížení vlivem setrvačných sil. Tyto síly jsou sníženy i nízkou obvodovou rychlostí vřetene.

Pro aplikaci byl vybrán motor POWERMAX II 0,8Nm
NEMA 23 P21XNRXC



obr.23 krokový motor

Tento motor je vyhovující pro danou aplikaci. Zvyšování výkonu motoru nemá smysl, protože točivý moment po převodování - 16,8 Nm je dostačující pro otočení i značně velké rotační součásti. A pokud není tento moment dostatečný z hlediska řezných podmínek nástroje, je mnohem jednodušší a levnější přidat mechanickou brzdu.

4.4 Řízení krokového motoru

Samotné řízení krokového motoru zajišťuje driver - ovladač, který vydává pulzy cívkám motoru a tím otáčí rotorem.

Přestože by bylo možné tento driver implementovat do řídicí jednotky, je samostatný z několika důvodů. Celé zařízení může pracovat i s připojením na osobní počítač jako malé obráběcí centrum. Většina používaných řídicích programů má shodné výstupy pro ovladač. Nejdůležitější podmínkou driveru je ale možnost mikrokrokování a připojení brzdy. Motor má v plném krokování 200kroků na otáčku. To není pro aplikaci dostatečné a tak je využito elektronické zvýšení počtu kroků na 2400 na otáčku. Brzda musí být připojena a cívky musí zůstat buzeny i po dojetí rotoru do požadované polohy. Bez brzdění by nebyla zamčena poloha hlavy proti otočení vlivem řezných sil, a navíc by došlo k chybě při natáčení, protože při vypnutí buzení cívek se rotor nastaví do jedné ze základních poloh plného krokování. [16,21] Pro aplikaci lze využít tovární driver splňující tyto podmínky, ovšem za poměrně vysoké ceny a nebo použít driver určený pro hobby použití.

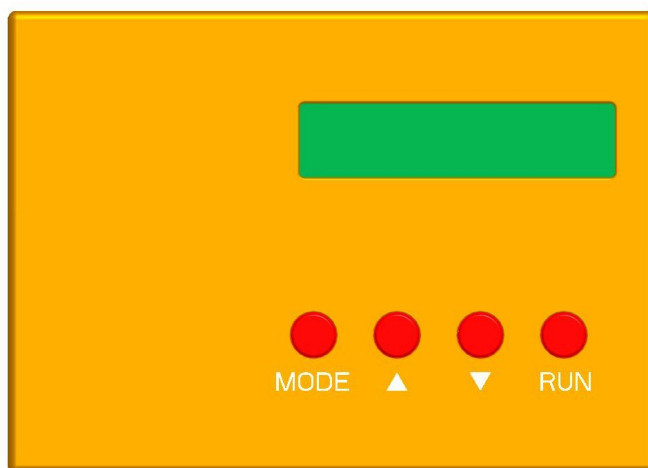
Tento driver je možné objednat jako stavebnici, hotový výrobek a nebo jej vyrobit - <http://avrstmd.com/>

Bylo uvažováno vložit obvod řízení motoru přímo do zapojení ovládání, ale nenalezl jsem vhodný obvod, který by splňoval hodnoty mikrokrokování a zároveň hodnoty výstupního proudu.

Použití programovatelného driveru např. Microcon jsem zamítl pro vysokou pořizovací cenu – byl nabízen za téměř 5,000 Kč.

4.5 Řídící jednotka

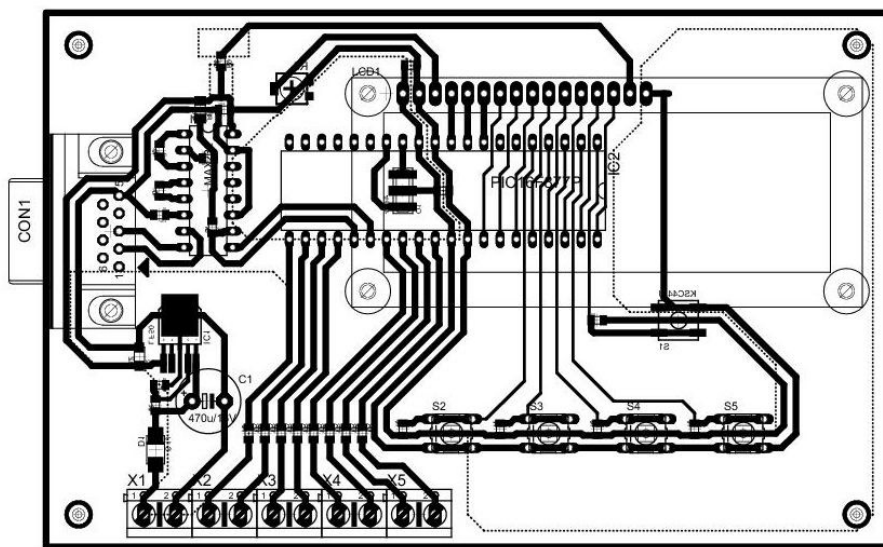
Celá řídící jednotka (elektronika, displej i tlačítka) je uzavřena v jednom celku. Řídící jednotka zprostředkovává komunikaci mezi driverem a obsluhou. Celé řízení zajišťují čtyři tlačítka a průběh řízení je zobrazován na dvouřádkovém textovém displeji. Zdroj napětí není součástí řídící jednotky. Pro řídící jednotku je použita standardní plastová krabice o rozměrech 140x100x40 mm.



obr.24 Návrh řídící jednotky

4.5.1 Hardware

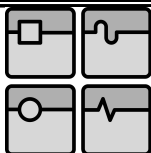
Jádrem celé řídící jednotky je 8-bitový mikrokontrolér firmy MICROCHIP PIC16F877A. Vlastnosti procesoru převyšují požadavky aplikace, ale jeho cena je velmi příznivá a tak zůstává prostor pro rozšíření aplikace, případně další update softwaru. Mikrokontrolér je vybaven vnitřním RC oscilátorem, ale ve schématu je připojen 4MHz krystal. To je především z důvodu možností pro další rozšíření. Celé zapojení je umístěno na jednostranné pokovené desce. Jednotlivé spoje jsou dostatečně silné a relativně velké jsou i vzdálenosti mezi spoji. Desku lze bez obtíží vyrobit frézováním. Pouze při frézování doporučuji použít pokovenou desku z tvrzeného papíru místo standardního sklolaminátu. Skelná vlákna velice rychle tupí řezný nástroj.



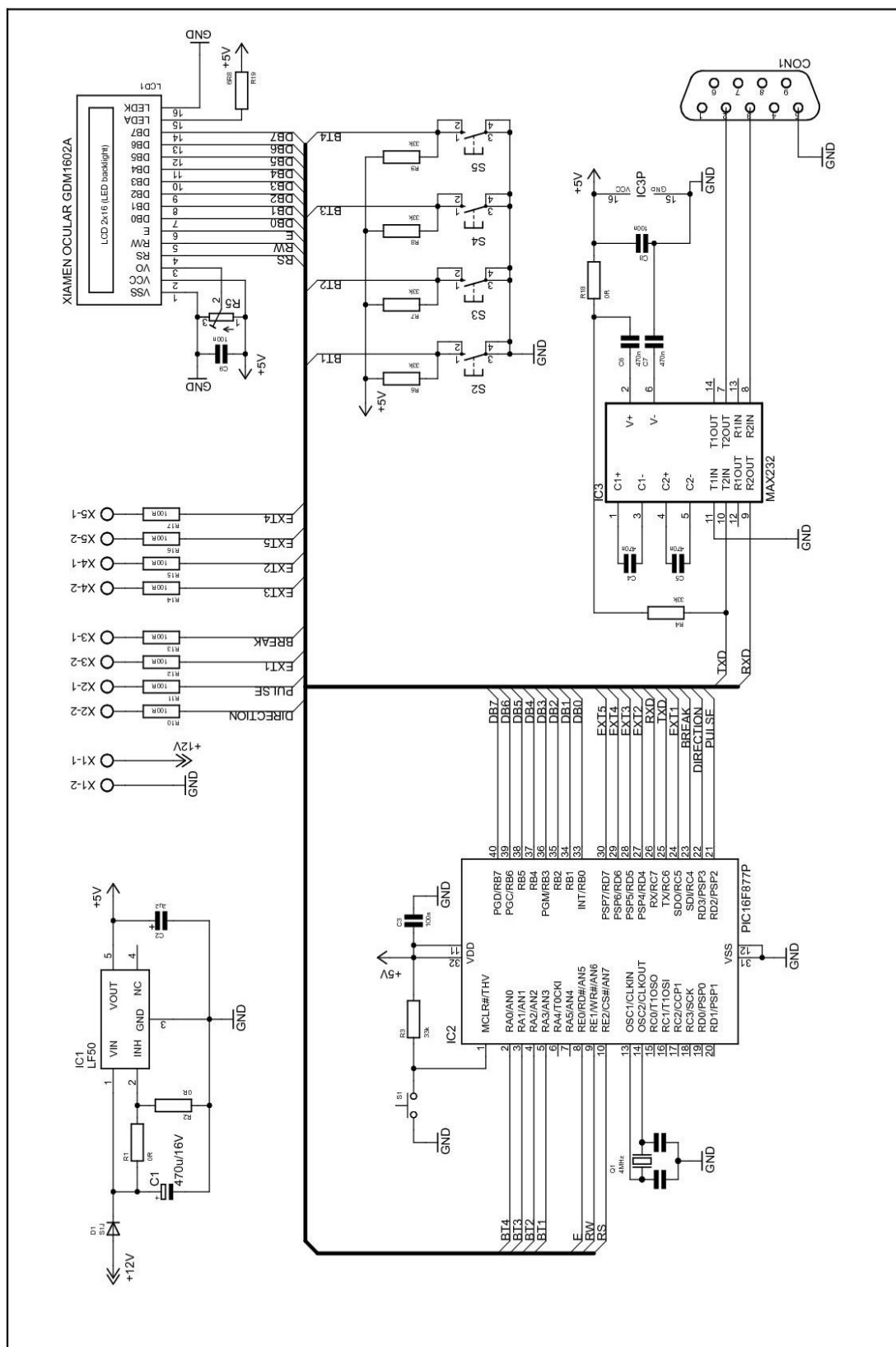
obr.25 Osazená deska plošných spojů

Deska je osazena součástkami ve standardním i smd provedení. Součástky jsou umístěny po obou stranách desky plošných spojů.

V zapojení je kromě vlastního polohovacího zařízení i převodník RS232 pro snadné programování bez programátoru. (PICDOWNLOADER)



DIPLOMOVÁ PRÁCE



obr.26 schéma řídicí jednotky

		Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 34
		DIPLOMOVÁ PRÁCE	



4.5.2 Vstupy a výstupy

Vstupem do zařízení jsou čtyři ovládací tlačítka. Páté tlačítko napájené ze spodní strany desky je reset.

Výstupem jsou piny

- PULZE výstup pulzů pro ovládání driveru – poček kroků motoru
- DIRECTION směr otáčení motoru
- BREAK výstup pro přidanou elektronickou brzdu (není zapojena)
- EXT1 až EXT5 volné piny pro další modifikaci.

4.5.3 Určení zrychlení a zpomalení

Rozběh a zastavení zařízení je určeno z těchto kritérií.

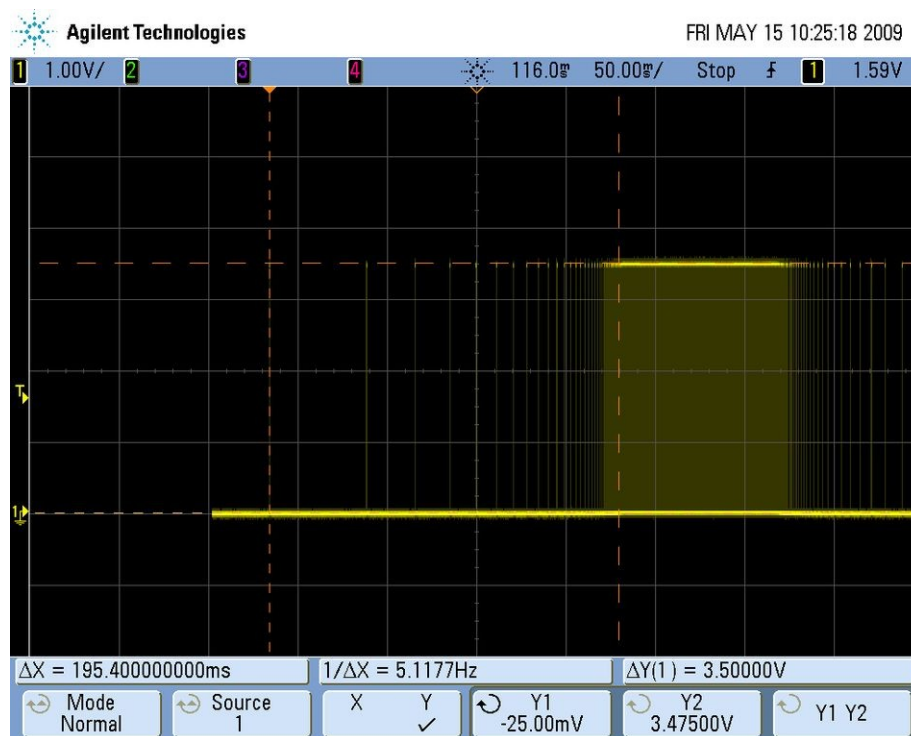
Rychlost otáčení vřetene	30°/s
rychlost otáčení motoru	1,75 otáčky/s
moment setrvačnosti hlavy (160x100mm)	$5,035 \times 10^{-2} \text{ kgm}^2$
Točivý moment působící na hlavu	10Nm

Mechanismus hlavy byl analyzován v ProE s následujícím výsledkem.

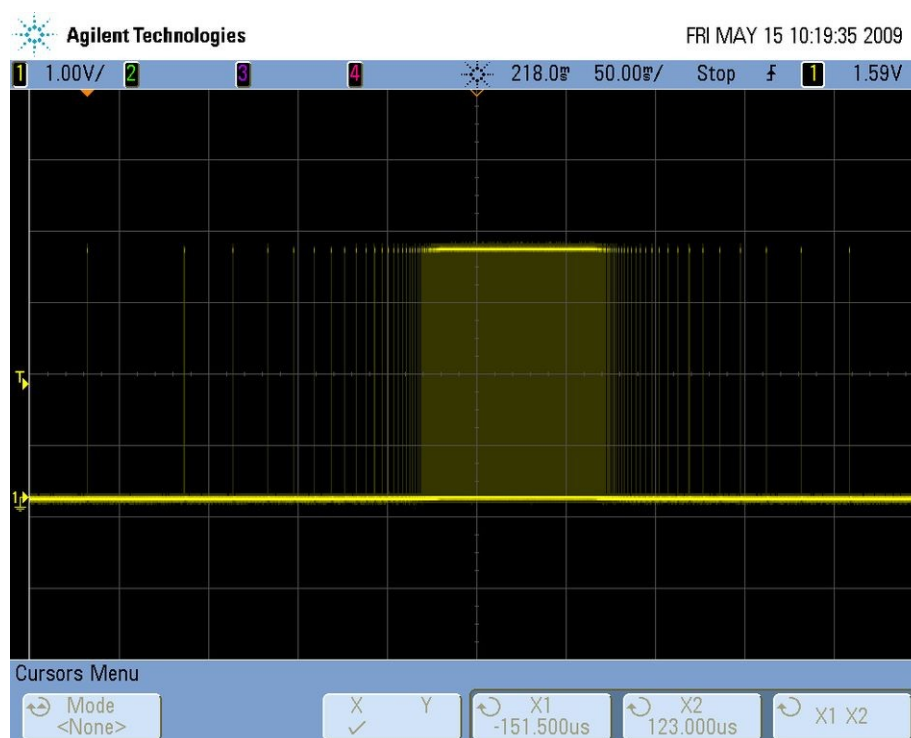
Hlava potřebuje pro náběh do plné rychlosti 0,003 s.

Řídicí jednotka generuje pulzy o frekvenci 4,2 kHz. (140pulzů/1°)

Při přepočtu na $4200 \cdot 0,003 = 12,6$ to znamená, že na prvních 13 pulzech by došlo k nežádoucímu prokluzu a tím ztrátě synchronizace. Proto musí řídicí jednotka generovat pulzy s náběhem a zpomalením. Náběh ani zpomalení v čase 0,003 sekundy je naprosto neznatelné a nemá smysl se s takto malou hodnotou zabývat. Vzhledem k účelu zařízení byla stanovena doba náběhu pro čtyřicet pulzů s dobou náběhu i zpomalení v délce přibližně 200ms.

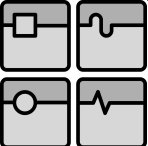


obr.27 Náběh pulzů



obr.28 Soubor pulzů pro 1/120 otáčky

Doba náběhu a zpomalení je stanovena v programu tabulkou. Tu je možné podle potřeby měnit z hlediska funkce náběhu i počtu pulzů.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 37
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

4.6 Připojení k PC

Zařízení je navrženo tak, aby mohla být řídicí jednotka odpojena a driver připojen přímo PC. Driver se k PC připojuje přes LPT port. Driver (avrstmd.com) je opatřen optočleny a proto již nemusí být vložena žádná další ochrana.

Pro ovládání je možné použít například program pro obrábění MACH 3 nebo Turbo CNC . Oba programy jsou za přijatelnou cenu a velice rozšířené pro hobby použití.

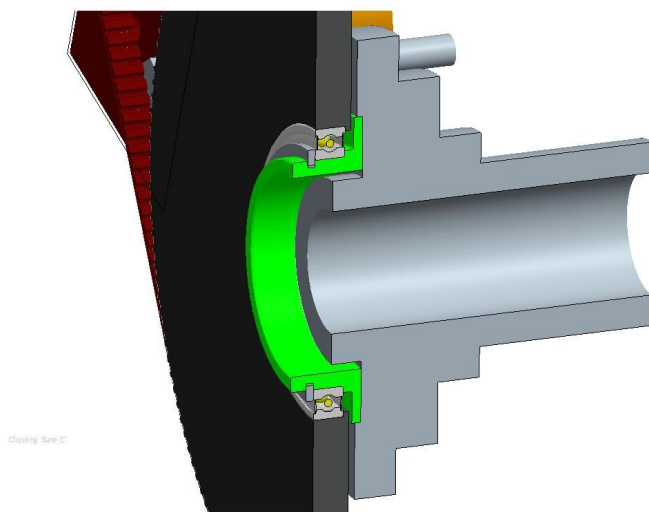
4.7 Přepínání vřetene

Krokový motor je zařízení schopné přesně polohovat při nízkých otáčkách. Pro otáčky vřetene při obrábění je to nedostatečné a při převodu 1/21 je nezbytné celé zařízení od vřetene při obrábění odpojit. Odpojování lze řešit mnoha způsoby. Automaticky i ručně, mechanicky i elektronicky. Automatické odpojování je nejpohodlnější a řídicí jednotka je dostatečně dimenzována, aby toto řízení mohla ovládat. Toto automatické odpojovací zařízení představuje další díly, a to velmi přesné díly, zabezpečující naprosto bezvúlový chod zařízení. Znamenalo by to další navýšení ceny. Proto je upuštěno od všech mechanických systémů založených na principu západky, mechanického přesouvání do záběru a podobných.

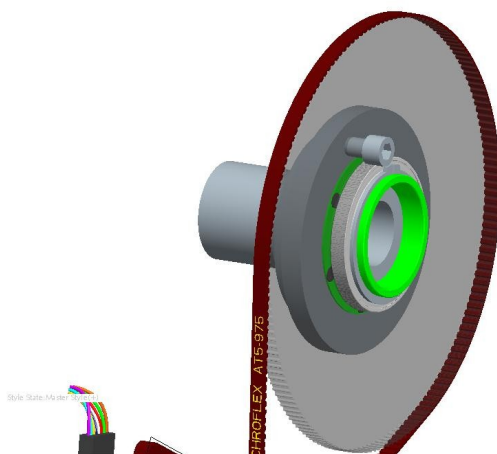
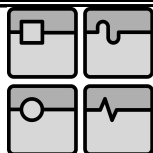
Nejjednodušším způsobem s řadou dalších výhod je spojení zařízení s vřetenem prostým způsobem – utažením šroubu. Šrouby je spojováno sekundární kolo sekundárního převodu s řemenicí vřetene. Šrouby jsou proti vytočení opatřeny závitovým těsněním. Příslušenstvím zařízení je tedy i klíč s rukovětí. Výhody jsou jednoznačné

- pevné, bezvúlové spojení
- zajištěna jedna poloha vůči vřetení
- jednoduchost a nízká cena

Celé toto zařízení odpadá, pokud je dělicí zařízení použito samostatně.



obr.29 Uložení na vřetení

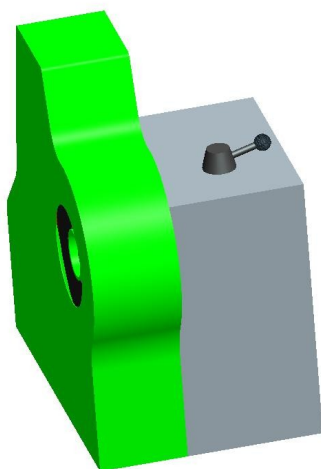
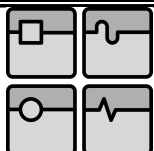


obr.30 Detail šroubu

4.8 Vřetenová brzda

Celé zařízení je navrženo tak, aby dokázalo držet vřeteno při obrábění. Pokud se předpokládá použití obráběcích sil, které převyšují brzdící síly zařízení je třeba brzdit vřeteno samostatně. Zajištění vřetene proti pootočení je možné automaticky i ručně. Nevýhoda ručního zajištění je v nutnosti zajišťovat vřeteno po každém pootočení o každý dělicí krok. Výhoda je opět v jeho jednoduchosti. Při použití automatického jištění – předpokládá se pásová brzda, ovládaná elektromagnetem, je nutné zaručit konstrukcí a pevností brzdy dokonale bezvůlové zajištění. Tato brzda nesmí mít snahu otáčet vřetenem ani při zajišťování. Brzdu lze připojit na řídicí jednotku na signál pro brždění a driveru povolit snížit proud v klidové poloze.

V předkládaném návrhu je brzdění dělicí hlavy řešeno utahováním páky na těle soustruhu a tím aretací vřetene.



Style: Start, Master, Style(-)

obr.31 Aretace hlavy



5 PROGRAM A OVLÁDÁNÍ

Program je upraven tak, aby byl co nejvíce srozumitelný při ovládání. Každý, pro uživatele podstatný, krok zařízení je znázorněn na displeji. Jsou zobrazeny i informativní zprávy o chybách.

5.1 Struktura programu

5.1.1 Paměť programu

Paměť procesoru je rozdělena do čtyř bloků. Využity jsou pouze první a poslední blok. Procesor je tedy nevyužit a bylo by možné uvažovat o jeho výměně za jednodušší typ. To je zcela zbytečné, protože i tento obvod lze pořídit do jednoho sta korun a je v něm dostatek místa pro další vývoj aplikace.

0	0000 bootloader 0003 start programu přerušení Iniciace Hlavní smyčka podprogramy
1	xxx
2	xxx
3	1800 definice textu rozběhová tabulka 1F00 bootloader

obr.32 Paměť programu

5.1.2 Smyčka programu

- Zapnutí zdroje
- reset mikroprocesoru
- Inicie – vstupní porty
- výstupní porty
- časovače
- watchdog
- povolení přerušení
- nulování registrů
- LCD řadič -zapnout,vynulovat registry
- Program
- reset watchdog
- zobrazovací úkoly
- LCD refreshing
- řídicí úkoly
- tlačítka

5.2 Zobrazování na displeji

V zařízení je použito LCD displeje XIAMEN OCULAR GDM 1602A, podsvícený dvouřádkový displej po šestnácti znacích. Displej pracuje s řadičem shodným s typem HD4478 firmy Hitachi. Zápis na displej trvá poměrně dlouhou dobu a při přímém zápisu by zbytečně zdržoval procesor, proto je zápis do displeje řešen fázově. Displej pracuje na principu paralelního zápisu nebo čtení informace o velikosti 8bitů.

Datové připojení pomocí 11 pinů

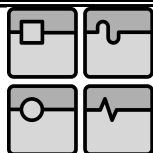
RS – 0	instrukce
1	zobrazení
RW - 0	write
1	read

E - pulz na sestupné hraně pulzu probíhá zápis nebo čtení osmi datových pinů

Na začátku programu probíhá nastavení řadiče pro displej.

Inicie displeje

- prodleva 100 ms
- nastavení šířky sběrnice na 8 bitů, displej 2 řádky, zobrazení 5x8 bodů
- nastavení displeje, zobrazení zapnuto, kurzor vypnutý, blikání vypnuto
- vynulování paměti RAM
- vstupní mód, adresy budou při zápisu inkrementovány, zákaz posuvu textu



5.2.1 Princip zobrazování

V RAM paměti procesoru je vytvořena oblast LCDRAM. Tato oblast obsahuje 32 registrů. Ty odpovídají 32 pozicím displeje. Všechny operace, které se mají zobrazovat na displeji jsou ozrcadleny do LCDRAM. Pokud dojde ke změně v LCDRAM je nastaven bit LCDrefresh na hodnotu 1. Program v hlavní smyčce prochází podprogramem LCDrefreshing. V tomto podprogramu se testuje požadavek na změnu zobrazení displeje. LCDrefresh bit = 0 znamená okamžitý návrat do hlavní smyčky. Pokud je bit = 1 pokračuje na fázový postup zápisu do displeje. Fázový systém zápisu má význam pro rychlost programu. Samotný zápis do zobrazení na displeji trvá přibližně 43us pro každý znak. Při přímém vykonávání zápisu by musel procesor stále čekat na uvolnění displeje a pak pokračovat. Fázový zápis vykoná vždy jednu operaci a vrací se do hlavní smyčky. Pokračuje v provádění změny zobrazení po uvolnění displeje. Při každém průchodu smyčkou se tedy může přepsat pouze jeden znak.

1. fáze -nastavení ukazatele na první pozici prvního řádku.
2. fáze -zapíše znak, inkrementuje počítadlo LCDRAM v procesoru, dekrementuje počítadlo řádku, vrátí se do hlavní smyčky. Fáze č.2 se opakuje do vynulování počítadla řádku. Pak změní hodnotu pro skok do fáze 3.
3. fáze -shodná s fází č.1, ale pro druhý řádek
4. fáze -shodná s fází č.2, vynulování LCD refresh bitu

Zobrazení textu je vyvoláno pomocí makra mDispText s proměnnou code – určuje co zobrazit a proměnnou adresa – určuje kam zobrazit.

5.3 Polohování

Celkový počet mikrokroků na jednu otáčku je určen celkovým převodovým poměrem a mikrokrokováním. V aplikaci je použito mikrokrokování 2400 kroků na otáčku motoru a převodový poměr 1:21. Celkový počet generovaných pulzů na jednu otáčku vřetene je 50400. Výpočet polohy je proveden dělením na počet požadovaných úseků od 2 do 120. Po nastavení hlavy do nulové polohy je dle požadavku obsluhy proveden výpočet polohy. Tato poloha je zobrazena na displeji přesně nebo s chybou. Chyba se pohybuje v závislosti na výsledku dělení ± 0.5 mikrokroku. Po dalším povelu obsluhy je generován příslušný počet pulzů. Během generování jsou uzamčeny tlačítka. Podle povelu obsluhy je nastavena další poloha. Je proveden výpočet od nulové polohy, porovnán s aktuální polohou a rozdíl polohy po povelu obsluhy generován příslušný počet pulzů.

Ruční polohování pouze generuje pulzy. Při držení tlačítka s rozběhem a zpomalením. Při krátkém stisku pouze jednotlivé pulzy.

5.4 Ovládání programu a zobrazení informací

Po zapnutí přístroje se na 5 sekund objeví informační okno o verzi softwaru.



obr.33 Informační okno

Program přejde do režimu volby počtu dělících kroků který lze změnit tlačítky NAHORU,DOLŮ. Informace za počtem kroků informuje o přesnosti rozdělení 360°.



obr.34 Počet dělení přesně



obr.35 Počet dělení s chybou



Tlačítkem MODE přejde program do režimu kalibrace hlavy. V tomto režimu se tlačítka NAHORU,DOLŮ natočí hlava do požadované nulové polohy.



obr.36 Nastavení nulové polohy

Tlačítkem MODE přejde program do režimu krokování.



obr.37 Přesná poloha



obr.38 Poloha s chybou

Tlačítka NAHORU,DOLŮ nastavujeme krok dělení /celkový počet dělení

informace polohy zobrazuje odchylku od správné pozice v desetínách mikrokroku a počet mikrokroků pro natočení od nulové polohy.

Tlačítkem RUN natočíme polohovací zařízení do správné polohy.



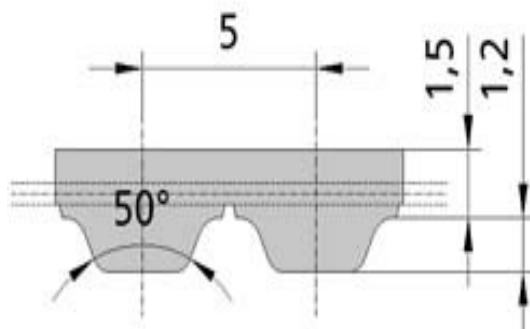
obr.39 Uzamčení tlačítek při polohování



6 DÍLY A SESTAVA

6.1 Ozubené řemeny a řemenice

Na základě požadovaného celkového převodu, sil, přijatelných rozměrů a dostupnosti dílů bylo zařízení navrženo pro řemeny s ozubením AT5.



obr.40 Profil AT5 [17]

Výhodou tohoto typu ozubení je jeho velmi nízký profil a malá vzdálenost mezi ocelovým kordem a hlavou zubů řemenice, společně s relativně velkým napětím řemene, zaručuje vynikající přesnost polohy. Rozteč zubů 5 mm byla vybrána po zhodnocení ostatních podmínek – přenášených sil, velikostí řemenic.

6.1.1 Podklady pro výpočet

Pro výpočet převodů a řemenic byly uvažovány tyto podmínky. Točivý moment na otočení hlavy 10Nm. Moment na překonání tření 1Nm.

Účinnost ozubeného řemene se uvádí až 98%. Uvažujeme-li 10% ztráty, potřebujeme krokový motor 0.5Nm. Proto byl zvolen motor 0.82 Nm. Pro tento motor je upraven celý výpočet.

6.1.2 Výpočet řemenic

Výpočet řemenic je založen na těchto vztazích. [19]

$$b = \frac{F_u}{z_e \cdot F_{U\text{spez}}} \quad \text{Pro výpočet} \quad F_u \text{ [N]} \quad (1)$$

$$b = \frac{100 \cdot M}{z_1 \cdot z_2 \cdot M_{\text{spez}}} \quad \text{Pro výpočet} \quad M \text{ [Nm]} \quad (2)$$

$$b = \frac{1000 \cdot P}{z_1 \cdot z_e \cdot P_{\text{spez}}} \quad \text{Pro výpočet} \quad P \text{ [kW]} \quad (3)$$

obvodová síla

$$F_U = F_{U\text{spez}} \cdot z_e \cdot b \quad \text{[N]} \quad (4)$$

Točivý moment

$$M = \frac{M_{\text{spez}} \cdot z_1 \cdot z_e \cdot b}{100} \quad \text{[Nm]} \quad (5)$$

Přenášený výkon

$$P = \frac{P_{\text{spez}} \cdot z_1 \cdot z_e \cdot b}{1000} \quad \text{[kW]} \quad (6)$$

počet zubů v záběru

$$z_{\text{emax}} = 12$$

$$z_e = \frac{z_1}{180} \cdot \arccos\left(\frac{t \cdot (z_2 - z_1)}{2 \cdot \Pi \cdot a}\right) \quad (7)$$



Výsledky výpočtu

Řemenice č.	počet zubů	Průměr roztečné kružnice [mm]	vnější průměr řemenice [mm]	délka překlenutí [mm]	úhel opásání [°]	délka opásání [mm]	vzdálenost os [mm]
1	20	32.01	30.61	74.34	133.64	37.33	80.87
2	60	95.67	94.27	74.34	226.36	188.98	80.87

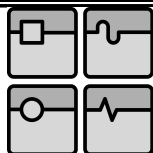
tab.1 Geometrie primárního převodu

Řemenice č.	Počet zubů	Otáčky / min	Počet zubů v záběru	Počet zubů v záběru (pro přenos sil)	Délka překlenutí [mm]	Vypočtená šířka řemene [mm]	Max. Přenášený výkon [kW]
1	20	126.00	7.00	7.00	74.34	2,16	0.03
2	60	42.00	37.00	12.00	74.34	1,21	0.05

tab.2 Přenos výkonu primárního převodu

výkon	P	=	0.01	kW
Točivý moment	M	=	0.80	Nm
Obvodová síla	F_U	=	49.98	N
Statické zatížení hřídele	F_A	=	45.95	N
Osová vzdálenost řemenic	a	=	80.87	mm
Délka překlenutí	l_T	=	74.34	mm
Počet zubů	z_1	=	20.00	
Vnější průměr	d_{k1}	=	30.61	mm
Průměr patní kružnice	d_{f1}	=	28.41	mm
Průměr roztečné kružnice	d_{01}	=	32.01	mm
otáčky	n_1	=	126	1/min
Obvodová rychlost	v_1	=	0.21	m/s
Počet zubů v záběru	z_{e1}	=	7.00	
Úhel opásání	β_1	=	133.64	°
Ozubený řemen				
rozteč	t	=	5.00	mm
Délka řemene	L_B	=	375.00	mm
Šířka řemene s koeficientem bezpečnosti = 1	$b_{S=1}$	=	2.16	mm
Vybraná šířka řemene	b	=	6.00	mm
Koeficient bezpečnosti před natažením kordu	S_{cord}	=	6.98	
Koeficient bezpečnosti před stříhem zubu	S_{tooth}	=	2.78	
Síla napnutí řemene	F_v	=	24.99	N
Síla napnutí řemene max.	$F_{span\ max.}$	=	50.17	N

tab.3 Řemenice č.1 primární převod



DIPLOMOVÁ PRÁCE

výkon	P	=	-0.01	kW
Točivý moment	M	=	-2.40	Nm
Obvodová síla	F_U	=	-50.17	N
Statické zatížení hřídele	F_A	=	45.95	N
Osová vzdálenost řemenic	a	=	80.87	mm
Délka překlenutí	l_T	=	74.34	mm
Počet zubů	z_2	=	60.00	
Vnější průměr	d_{k2}	=	94.27	mm
Průměr patní kružnice	d_{f2}	=	92.07	mm
Průměr roztečné kružnice	d_{02}	=	95.67	mm
otáčky	n_2	=	42.00	1/min
Obvodová rychlost	v_2	=	0.21	m/s
Počet zubů v záběru	z_{e2}	=	37.00	
Úhel opásání	β_2	=	226.36	°
Ozubený řemen				
rozteč	t	=	5.00	mm
Délka řemene	L_B	=	375.00	mm
Šířka řemene s koeficientem bezpečnosti = 1	$b_{S=1}$	=	1.21	mm
Vybraná šířka řemene	b	=	6.00	mm
Koeficient bezpečnosti před natažením kordu	S_{cord}	=	6.98	
Koeficient bezpečnosti před stříhem zubu	S_{tooth}	=	4.95	
Síla napnutí řemene	F_v	=	24.99	N
Síla napnutí řemene max.	$F_{span\ max.}$	=	50.17	N

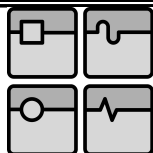
tab.4 Řemenice č.2 primární převod

Řemenice č.	počet zubů	Průměr roztečné kružnice [mm]	vnější průměr řemenice [mm]	délka překlenutí [mm]	úhel opásání [°]	délka opásání [mm]	vzdálenost středů [mm]
1	24	38.38	36.98	183.17	115.94	38.83	216.06
2	168	267.55	266.15	183.17	244.06	569.84	216.06

tab.5 Geometrie sekundárního převodu

Řemenice č.	Počet zubů	Otáčky /min	Počet zubů v záběru	Počet zubů v záběru (pro přenos sil)	Délka překlenutí [mm]	Vypočtená šířka řemene [mm]	Max. Přenášený výkon [kW]
1	24	42	7.00	7.00	183.17	5.19	0.02
2	168	6	113.00	12.00	183.17	2.98	0.04

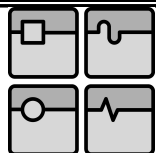
tab.6 Přenos výkonu sekundárního převodu



DIPLOMOVÁ PRÁCE

výkon	P	=	0.01	kW
Točivý moment	M	=	2.40	Nm
Obvodová síla	F_U	=	125.08	N
Statické zatížení hřídele	F_A	=	141.38	N
Osová vzdálenost řemenic	a	=	216.06	mm
Délka překlenutí	l_T	=	183.17	mm
Počet zubů	z_1	=	24.00	
Vnější průměr	d_{k1}	=	36.98	mm
Průměr patní kružnice	d_{f1}	=	34.78	mm
Průměr roztečné kružnice	d_{01}	=	38.38	mm
otáčky	n_1	=	42.00	1/min
Obvodová rychlost	v_1	=	0.08	m/s
Počet zubů v záběru	z_{e1}	=	7.00	
Úhel opásání	β_1	=	115.94	°
Ozubený řemen				
rozteč	t	=	5.00	mm
Délka řemene	L_B	=	975.00	mm
Šířka řemene s koeficientem bezpečnosti = 1	$b_{S=1}$	=	5.19	mm
Vybraná šířka řemene	b	=	10.00	mm
Koeficient bezpečnosti před natažením kordu	S_{cord}	=	4.79	
Koeficient bezpečnosti před stříhem zubu	S_{tooth}	=	1.93	
Síla napnutí řemene	F_v	=	83.39	N
Síla napnutí řemene max.	$F_{span\ max.}$	=	146.18	N

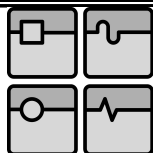
tab.7 Řemenice č.1 sekundární převod



DIPLOMOVÁ PRÁCE

výkon	P	=	0.01	kW
Točivý moment	M	=	16.80	Nm
Obvodová síla	F_U	=	125.58	N
Statické zatížení hřídele	F_A	=	141.38	N
Osová vzdálenost řemenic	a	=	216.06	mm
Délka překlenutí	l_T	=	183.17	mm
Počet zubů	z_2	=	168	
Vnější průměr	d_{k2}	=	266.15	mm
Průměr patní kružnice	d_{f2}	=	263.95	mm
Průměr roztečné kružnice	d_{02}	=	267.55	mm
otáčky	n_2	=	6.00	1/min
Obvodová rychlost	v_2	=	0.08	m/s
Počet zubů v záběru	z_{e2}	=	113.00	
Úhel opásání	β_2	=	244.06	°
Ozubený řemen				
rozteč	t	=	5.00	mm
Délka řemene	L_B	=	975.00	mm
Šířka řemene s koeficientem bezpečnosti = 1	$b_{S=1}$	=	2.98	mm
Vybraná šířka řemene	b	=	10.00	mm
Koeficient bezpečnosti před natažením kordu	S_{cord}	=	4.79	
Koeficient bezpečnosti před stříhem zubu	S_{tooth}	=	3.36	
Síla napnutí řemene	F_v	=	83.39	N
Síla napnutí řemene max.	$F_{span\ max.}$	=	146.18	N

tab.8 Řemenice č.2 sekundární převod



6.1.3 Konstrukce řemenic

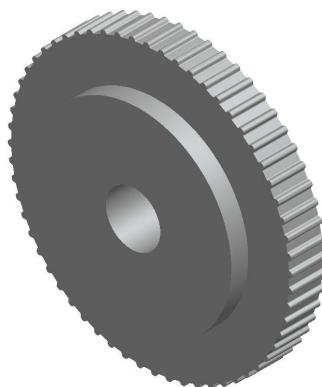
Řemenice pro primární převod jsou nakupované díly.

Jsou vyrobeny ze slitiny AlCuMgPb. Jedinou úpravou před namontováním je úprava středového otvoru pro hřídel podle hřídele. Řemenice jsou standardně dodávány pouze s předvrtanou dírou. Pro nalisování hřídele je nutné upravit rozměr H7/r6. Řemenice lze použít i od jiných výrobců. V republice se jejich výrobou zabývá např. firma Tyma.



obr.41 řemenice č.1 primárního převodu

21AT05/20-2 firmy TYMA



obr.42 řemenice č.2 primárního převodu

27AT05/60-0 firmy TYMA

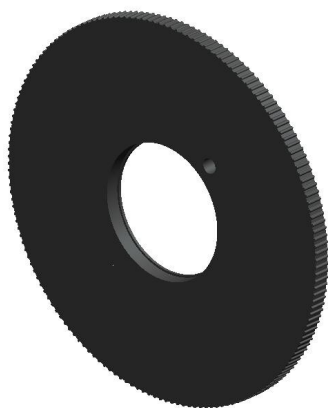


obr.43 řemenice č.1 sekundárního převodu

21AT05/24-2 firmy TYMA

6.1.4 Sekundární ozubené kolo

Řemenice č.2 pro sekundární převod musí být vzhledem k atypickému rozměru vyrobena na zakázku. Pro výrobu je použit automatový dural AlCu4PbMg EN AW-2030T4, který je běžně dostupný například v síti Ferona. Pro obrábění bych volil CNC frézku, aby nebylo nutné použít speciální frézu. Výkres řemenice je v příloze č.5



obr.44 Řemenice č.2 sekundárního převodu

Řemenice je vyrobena atypická, se 168 zuby. V jejím středu je uloženo centrální kuličkové ložisko. Po straně jsou dva otvory se závitem pro zajišťovací šrouby.



6.1.5 Řemeny

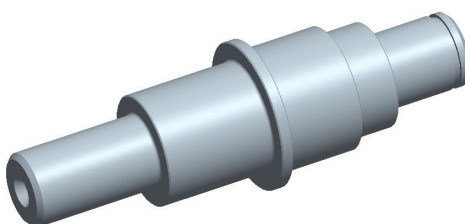
Řemeny navržené pro tuto aplikaci jsou jednostranně ozubené polyuretanové řemeny na ocelovém kordu s profilem zubu AT5. Jedná se o výrobek firmy Continental.

Synchroflex - Timing belt 06AT05-0375

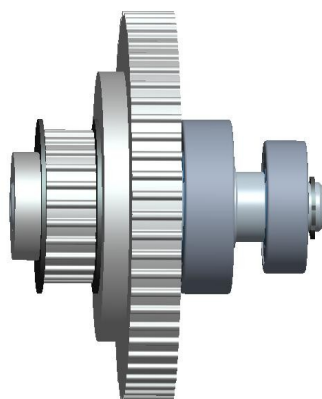
Synchroflex - Timing belt 10AT05-0975

6.2 Mezihřídel

Hřídel pro nalisování řemenice č.2 primárního převodu a řemenice č.1 sekundárního převodu je vyroben z běžné automatové oceli. Řemenice jsou nalisovány nerozebíratelně s velkým přesahem H7/r6 bez dalšího zajištění. Jedním perem jsou zajištěna pouze ložiska. Výkres je v příloze č.2.

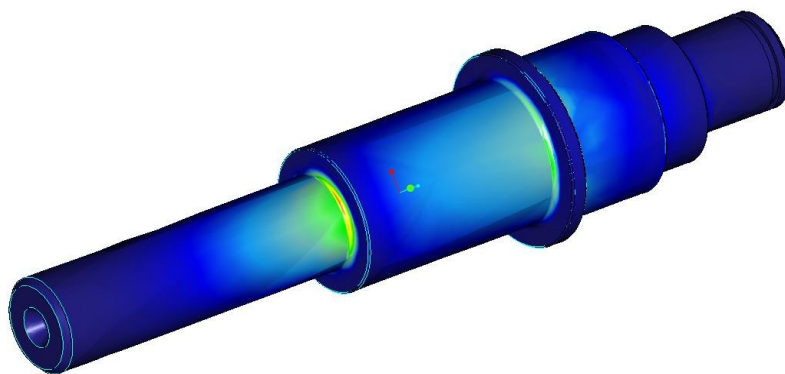


obr.45 Mezihřídel



obr.46 Mezihřídel sestavená

Mezihřídel byla stejně jako sestava desky motoru a upínače analyzována metodou konečných prvků. Tato analýza byla pouze kontrolní a proto nejsou doloženy výsledky. Největší napětí na vrubech nepřekročilo koeficient bezpečnosti 6. Protože se jedná o kusovou výrobu, lze předpokládat, že optimalizace by byla nákladnější než úspora materiálu.



obr.47 Mezihřídel po kontrole MKP



6.3 Deska motoru s upínačem

Díly desky motoru a upínače jsou vyrobeny z oceli 11.503. Výkresy v příloze č.1 a č.4.

Style: SolidWorks Style(s)



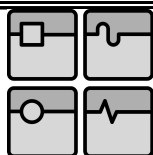
obr.48 Sestava desky s upínačem

6.4 Kroužek vřetene

Pro výrobu upínače řemenice je opět použita ocel. Upínač je přesně vystředěn do řemenice a nalisován s malým přesahem. S řemenicí vřetene je spojen šesti šrouby M5x12 s kuželovou hlavou. Na upínači je nalisováno s malým přesahem ložisko a zajištěno pojistným perem. Příloha č.3.



obr.49 Kroužek vřetene



6.5 Ložiska

Ložiska pro zařízení byla vybrána z nabídky firmy SKF. Pro mezipřímé bylo vybrána ložiska 6201 a 6004. Obě ložiska jsou oboustranně zapouzdřená plechovými kryty. Tyto ložiska byla vybrána s ohledem na velikost zařízení a jednoduchost montáže. Obě ložiska jsou uložena na společné hřídeli a jsou nejvíce namáhána staticky. Jejich otáčky jsou 42 otáček za minutu. Pro statickou únosnost se uvádí méně než 10 otáček, přesto životnost ložisek není počítána, protože ložiska se téměř neotáčí a celé zařízení je po nejdelší dobu v klidu. Proto i životnost 1000 hodin by byla naprosto dostatečná. Ložiska byla pouze kontrolována na statickou únosnost bez výpočtu, porovnáním s tabulkami. Nejnižší hodnota ekvivalentního statického zatížení je 3.1 kN. I bez výpočtu lze tedy odhadnout bezpečnost ložiska na 10-15.

Podstatně jiné podmínky jsou na ložisku u vřetene stroje. Pokud je zařízení v činnosti, ložisko je zatíženo pouze staticky, radiálně od řemene a axiálně od zajišťovacích šroubů. Ekvivalentní statická únosnost opět několikanásobně převyšuje potřebné hodnoty. Je-li dělicí zařízení mimo provoz a soustruh se používá standardně situace se změní. Na ložisko 61815 – oboustranně zapouzdřené působí radiální síla od řemene, řemenice stojí, ale vřeteno se otáčí až 2000 otáčkami za minutu. Proto v tomto případě je vhodné spočítat životnost ložiska. Životnost se spočítá podle vzorce

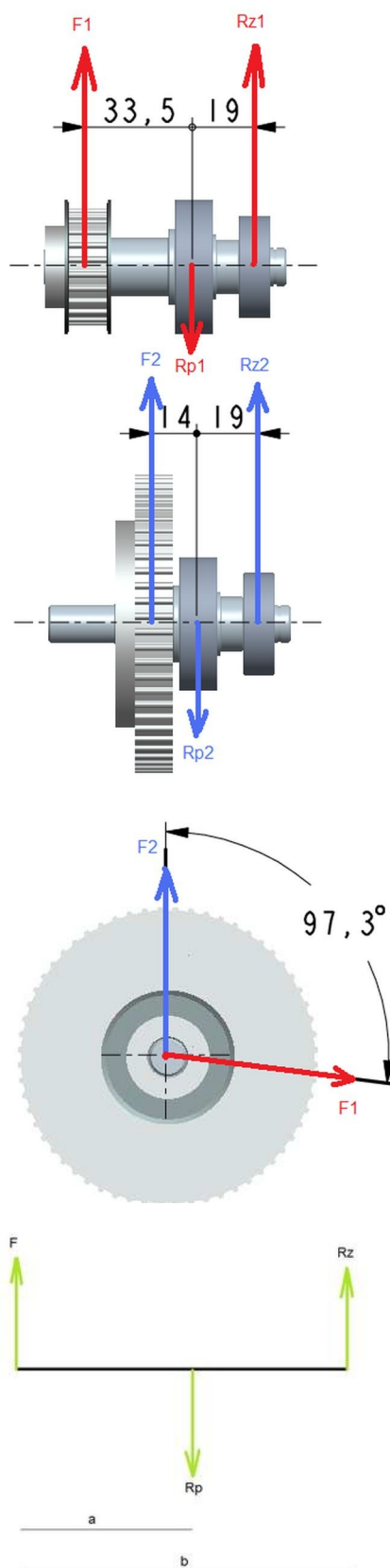
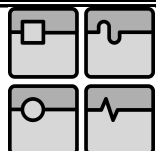
$$L_h = \frac{16666}{n} \cdot \left(\frac{C}{F_e} \right)^p \quad \text{a} \quad L_o = \left(\frac{C}{F_e} \right)^p \quad (8)(9) [18]$$

- L_h - základní hodinová trvanlivost (hod.)
- L_o - životnost ložiska v milionech otáček
- C - základní dynamická únosnost (N)
- $F_{e,P}$ - ekvivalentní dynamické zatížení ložiska
- n - počet otáček ložiska za minutu
- p - mocnitel: pro kuličková ložiska $p = 3$

Po dosazení do vzorců vychází životnost ložiska 606900 milionů otáček, což je více než 5 milionů hodin. Na základě těchto hodnot by bylo možné zvolit ložisko menší nebo obvyklejší typ, ale právě typ 61815 se nejlépe rozměrově hodí pro tuto aplikaci.

6.5.1 Výpočet reakcí

Ověření návrhu ložisek je provedeno následujícím způsobem.



obr.50 Silové působení



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Základní rovnice:
$$\begin{aligned} F + R_z - R_p &= 0 \\ -R_p * a + R_z * b &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

po úpravě:

$$R_z = \frac{F * a}{b - a} \quad (11)$$

Dosazením sil od řemenů do rovnice (11) dostaneme

$$R_{z1} = \frac{150 * 33.5}{52.5 - 33.5} = 264.5 \text{ N}$$

$$R_{z2} = \frac{52 * 14}{33 - 14} = 38.5 \text{ N}$$

dosazením do rovnice (10) dostaneme

$$R_{p1} = 150 + 264.5 = 414.5 \text{ N}$$

$$R_{p2} = 52 + 38.5 = 90.5 \text{ N}$$

Složením vektorů sil dostaneme reakci na

předním ložisku	6004	$R_p = 412.8 \text{ N}$
zadním ložisku	6201	$R_z = 262.3 \text{ N}$

statická únosnost	6004	5	kN
statická únosnost	6201	3.1	kN

koeficient bezpečnosti	6004	12.1
koeficient bezpečnosti	6201	11.8

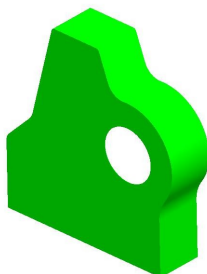
Výpočet potvrzuje odhad.

6.6 Sestava

Sestava nevyžaduje žádné zvláštní nářadí ani vybavení. Vyžaduje úpravu stroje. Úpravu původní řemenice vřetene pro nalisování kroužku vřetene a úpravu boku lože pro připevnění upínače. Při montáži je důležité dbát na sousostí řemenic a přímé vedení řemenů. Řemeny musí být napnuty předepsanou silou. Napínání musí být provedeno po řádném nasazení řemenů. Výkres sestavy v příloze č.7.

6.7 Kryt

Kryt zařízení je vyroben z ocelového plechu tloušťky 1mm. Oba postranní dílce jsou vypáleny laserem. Dílce jsou elektricky svařeny s pásem plechu stejné tloušťky. Hrany jsou zapilovány a kryt je opatřen nátěrem. Uchycení na stroji je na jednom původním šroubu. Výřezem v krytu je snadný přístup k řemenici pro zajištění a odjištění převodu. Otvor je větší než původní, ale dělicí zařízení má pracovní rychlost jednu otáčku za dvanáct sekund. Při obrábění se sekundární kolo sekundárního převodu neotáčí.



obr.51 Kryt



7 Technicko - ekonomické zhodnocení

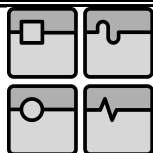
Dělicí hlava tohoto typu dokonale vyhovuje zadaným požadavkům. Jedná se o velmi jednoduché zařízení, určené pro stroj quantum a které lze namontovat na většinu starších strojů a i na stroje stolní, které jsou běžně v prodeji. Pouze u nejmenších strojů doporučuji změnit rozměr sekundární řemenice sekundárního převodu, protože její průměr je téměř shodný s velikostí soustruhu. Touto změnou je třeba také změnit celkový počet mikrokroků na jednu otáčku, ale to lze provést změnou jedinné konstanty v programu. Pořizovací cena celého zařízení je přibližně pět tisíc korun. Výroba dílů nevyžaduje žádné speciální nářadí ani stroje, s výjimkou obrábění zubů u sekundární řemenice sekundárního převodu. Celé zařízení je bezúdržbové a běžným provozem by nemelo dojít ke zhoršení jeho funkce a vzniku vůlí. Konstrukce zařízení je určena pro kusovou výrobu. V případě malé seriové výroby by bylo vhodné pokračovat na vývoji a přesně nadimenzovat všechny díly. (hřídel, držáky)

		Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 66
		DIPLOMOVÁ PRÁCE	

8 Zkoušky

Po dokončení prototypu - modelu byly provedeny testy.

- Zkouška rozběhu a brzdění za vyšší frekvence a nižšího mikrokrokování
 - zařízení vyhovělo i při mikrokrokování 1600 a rychlosti motoru 2,625ot./s
- Zkouška ztráty kroků při brzděném vřetení – opakování 100 cyklů
 - beze ztráty kroku
- Napájecí zdroj 12V 200W (zdroj ze starého počítače)
 - Po celou dobu zkoušek nebyl zjištěn žádný nepřípustný stav zařízení.



9 ZÁVĚR

Zařízení tohoto typu vyhovuje současným požadavkům doby na velmi jednoduché kompaktní zařízení a bezúdržbový provoz. Přesné polohování a přenos sil ozubeným řemenem patří k moderním trendům ve vývoji. K přednostem se řadí i velice jednoduchý ovládací systém, který neklade nároky na obsluhu. Není třeba složitě prohledávat menu programu, hledat a ovládat další funkce. Tyto tabulky lze nastavit podle individuálních požadavků zákazníka. Každý krok programu je srozumitelně zobrazován na dvouřádkovém textovém displeji. Ke spolehlivosti konstrukce přispívá i jednoduchost připojování vřetene stroje, dotažením jednoho šroubu a stejným způsobem řešené jištění vřetene proti otočení. Za největší nevýhodu konstrukce považuji chybějící zpětnou vazbu od polohy hlavy. Je sice možné aplikovat několik vhodných řešení, ale každá změna konstrukce vede k navýšení ceny. Vezmeme-li v úvahu oblast pro jakou je zařízení určeno – hobby použití, není další zvyšování ceny na místě. Spolehlivou činnost zařízení lze zajistit dodržováním pravidel k obsluze. Především řezné síly od nástroje vést do osy vřetene.

Prototyp zařízení byl napájen pouze 12V a tedy nebylo plně využito parametrů motoru. Nízké napětí je sice výhodné, protože méně zatěžuje výkonové stupně driveru, ale bylo by tedy možné uvažovat o méně výkonném motoru na napětí alespoň 36V. V případě chyb při polohování by zvýšení napětí bylo první možností pro úpravu parametrů.

Pro úplné ukončení testů bych doporučil testy na přesném měřicím zařízení, pro získání přehledu o tuhosti celého zařízení při různých podmínkách zatěžování.

Literatura

[1] RUDOLF B.; KOPECKÝ M. Tvářecí stroje – základy stavby a využití. 1. vyd. Praha: SNTL, 1985. 405s. ISBN 04-231-85

[2] BRENÍK P.; PÍČ J. Obráběcí stroje-konstrukce a výpočty. 2.vyd. Praha: SNTL, 1986. 573s. ISBN 04-235-86

[3] KOVÁČ A.;RUDOLF B. Tvárníace stroje. 1.vyd. Bratislava: ALFA, 1989. 376s. ISBN 80-05-00126-6

[4] ŽENÍŠEK J.; JENKUT M. Výrobní stroje a zařízení. 2. vyd. Praha: SNTL,1990. 276s. ISBN 04-222-90

[5] BOLEK A.; KOCHMAN J. A KOL. Části strojů I a II. Technický průvodce 6 Praha: SNTL, 1990.

[6] NĚMEC J.; DVOŘÁK J.; HOSCHL C. Pružnost a pevnost ve strojírenství. 1. vyd. Praha: SNTL, 1988.

[7] Strojírenská příručka 1.-8.díl. 1. vyd. Praha: Scientia. 1992-1998,ISBN 90-03-00-680-5, ISBN 80-85827-00-x, ISBN 80-85827-23-9, ISBN 80-85827-58-1, ISBN 85827-59-x, ISBN 80-858-27-88-3, ISBN 80-7183-024-0

[8] DRASTÍK F. Normativně technická dokumentace. Ostrava: Montanex, 1998

[9] Nařízení vlády č.24/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na strojní zařízení

[10] ČSN ISO 7144 Formální úprava disertací a podobných dokumentů. Praha: ČSNI, 1996. 21s. ICS 01.140.20

[11] ČSN ISO 690-1: 1996. Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura. Praha: ČSNI, 1996. 32s.

[12] MELOUN M.; MILITKÝ J. Statistické zpracování experimentálních dat. 1. vyd. Praha: PLUS s.r.o. 1994. 839s. ISBN 80-85297-56-6

[13] Prof. Ing. KOČMAN K. , DrSc. , Prof. Ing. NĚMEČEK P. , DrSc. a kolektiv autorů:

Aktuální příručka pro technický úsek, Odborné nakladatelství technické literatury, aktualizace 2001, svazek 4, 6, 7

[14]KŘÍŽ R., VÁVRA P.: *Strojírenská příručka*; Scientia, s.r.o.,Brno1994;1.vydání; 8 svazků, ISBN 80-85827-59-X

[15] LEINVEBER J.; ŘASA J.; VÁVRA P.:*Strojnické tabulky*, 2. vydání,Scientia s.r.o. Praha 1998, 911str. ISBN 80-7183-123-9

[16] Doc.Ing. SINGULE V.CSc; *Vlastnosti a použití mikromotorů*, Automa 3/2008

		Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 69
		DIPLOMOVÁ PRÁCE	

[17] CONTINENTAL - <http://www.contitech.de>

[18] SKF - <http://www.skf.com>

[19] MULCO - <http://www.mulco.net/content/en/about>

[20] TYMA - <http://www.tyma.cz/>

[21] AVR- Stepper Motor Driver (STMD) - <http://avrstmd.com/>

[22] PACIFIC SCIENTIFIC - <http://www.pacsci.com/>

Seznam zkratk a symbolů

dělení kroků mikrokrok	počet dělení na otáčku vřetene počet elektrických impulzů na dělicí krok	
výkon	P	[kW]
Točivý moment	M	[Nm]
Obvodová síla	F_U	[N]
Statické zatížení hřídele	F_A	[N]
Osová vzdálenost řemenic	a	[mm]
Délka překlenutí	l_T	[mm]
Počet zubů	z_1	
Vnější průměr	d_{k1}	[mm]
Průměr patní kružnice	d_{f1}	[mm]
Průměr roztečné kružnice	d_{01}	[mm]
otáčky	n_1	[1/min]
Obvodová rychlost	v_1	[m/s]
Počet zubů v záběru	z_{e1}	
Úhel opásání	β_1	[°]
rozteč	t	[mm]
Délka řemene	L_B	[mm]
Šířka řemene s koeficientem bezpečnosti = 1	$b_{S=1}$	[mm]
Vybraná šířka řemene	b	[mm]
Koeficient bezpečnosti před natažením kordu	S_{cord}	
Koeficient bezpečnosti před stříhem zubu	S_{tooth}	
Síla napnutí řemene	F_v	[N]
Síla napnutí řemene max.	$F_{span \max.}$	[N]



Seznam příloh

1. deska motoru
2. mezihřídel
3. kroužek vřetene
4. upínač
5. řemenice AT5-168
6. deska
7. sestava
8. driver
9. CD