



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

Konstrukce a výroba CNC frézky pro modelářské účely

Type of construction and making of CNC milling machine because of pattern making

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Josef KNAPIL

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Milan KALIVODA

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Josef Knapil

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

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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:

Konstrukce a výroba CNC frézky pro modelářské účely

v anglickém jazyce:

Type of construction and making of CNC milling machine because of pattern making

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Návrh koncepce frézky (3D model, provozní režimy).
2. Výroba funkčního vzorku stroje včetně seřízení.
3. Sestavení technologie pro ukázkový díl (3D model, nástroje, pracovní režimy, NC program).
4. Zhodnocení návrhu z hlediska dosažených parametrů.
5. Diskuze, závěr.

Cíle bakalářské práce:

Spojení konstrukčních a technologických úvah pro vyřešení konkrétní podoby stroje. Znalost databází nástrojového vybavení frézovacích strojů. Technické zhodnocení.

Seznam odborné literatury:

1. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
2. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
3. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
4. Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.
5. FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční oceli. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 1996. 262 s. ISBN 80-85867-95-8.
6. PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.
7. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. Základy konstruování. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2005. ISBN 80-7204-405-2.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 22.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací modelářské CNC frézky. V první části jsou popsány možnosti konstrukčního řešení malých CNC strojů. Druhá část popisuje návrh a realizace vlastní CNC frézky. Třetí část se zabývá přípravou výroby a výrobou vzorové součásti.

Klíčová slova

CNC, frézka, krokový motor, lineární vedení, Mach3

ABSTRACT

Bachelor thesis describes the design and realization of model CNC milling machine. The first section describes the options for construction solution of small CNC machines. The second part describes the design and realization custom CNC milling machine. The third part deals with the preparation of production and production sample part.

Key words

CNC, milling machine, stepper motor, linear guides, Mach3

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KNAPIL, J. *Konstrukce a výroba CNC frézky pro modelářské účely*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2013. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Konstrukce a výroba CNC frézky pro modelářské účely** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Josef Knapil

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi z VUT v Brně za cenné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce.

Děkuji své rodině za podporu po celou dobu mého studia.

Děkuji panu Miroslavu Hlaváčovi za poskytnutí technického zázemí při realizaci praktické části bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 ÚVOD DO CNC STROJŮ	10
1.1 Vývoj číslicově řízených strojů	10
1.2 Schéma CNC obráběcího stroje	11
2 HLAVNÍ KOMPONENTY PRO STAVBU CNC FRÉZKY.....	12
2.1 Rámy obráběcích strojů	12
2.2 Vedení lineárních posuvových soustav.....	14
2.3 Náhony lineárních posuvových soustav	15
2.4 Pohony lineárních posuvových soustav	17
2.5 Vřetena obráběcích strojů	18
3 KONSTRUKCE CNC FRÉZKY	19
3.1 Volba základní parametrů frézky.....	19
3.2 Materiál konstrukce frézky	19
3.3 Koncepce	19
3.4 Lineární vedení a pohybový šroub.....	20
3.5 Volba vřetene	21
4 ELEKTRONIKA A ŘÍDICÍ SYSTÉM	22
4.1 Pohon lineárních posuvových soustav	22
4.2 Driver krokových motorů	22
4.3 Zdroj.....	22
4.4 Řídicí software.....	23
5 SESTAVENÍ FRÉZKY	24
5.1 Výroba dílů frézky	24
5.2 Montáž celku.....	24
5.3 Stůl	25
5.4 Nastavení a odladění.....	25
6 VÝROBA VZOROVÉ SOUČÁSTI.....	28
6.1 Rozbor technologičnosti konstrukce.....	28
6.2 Příprava výroby.....	29
6.3 Výroba součásti.....	30

7	DISKUZE	32
	ZÁVĚR	33
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	34
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	34
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	36
	SEZNAM PŘÍLOH.....	37

ÚVOD

Pro konstrukci CNC frézky jsem se rozhodl z mého zájmu o letecké modelářství. Při stavbě konstrukčních modelů, které obsahují množství různých žebér vyřezaných nejčastěji z balzové desky nebo překližky, mě napadla prvotní myšlenka postavit si vlastní CNC frézku, která by mi ulehčila zdoluhavou ruční práci.

Ceny nejlevnějších komerčně vyráběných CNC frézek se pohybovaly v řádech desetitisíců takže zakoupení frézky jsem si z finančních důvodů nemohl dovolit. Při shromažďování informací ke stavbě CNC frézky jsem objevil diskusní fórum www.c-n-c.cz, které mě ujistilo v tom, že postavit si vlastní CNC stroj není zas tak obtížné, jak se může na první pohled zdát. Lze ho hlavně postavit levněji, než komerčně vyráběné stroje. S rozvojem elektroniky v domácích podmínkách se začala v dnešní době spousta lidí zabývat myšlenkou postavit si vlastní počítačem řízený stroj. Nejčastěji to jsou frézky, řezačky polystyrenu popřípadě plottery na kreslení např. desek plošných spojů.

Cílem bakalářské práce bude navrhnout a zrealizovat tříosou CNC frézku, jejíž hlavním účelem bude usnadnění a urychlení práce modeláře. Frézka bude využívána jen občasně, nepočítá se s nasazením do trvalého provozu. Z toho důvodu bude konstrukce, technologická náročnost odpovídat cílenému uplatnění frézky. Použité materiály jsou v cenových relacích dostupných běžným amatérským stavitelům. Realizovaná frézka obr. 1.



Obr. 1 Realizovaná CNC frézka.

1 ÚVOD DO CNC STROJŮ

Počítačem řízené číslicové stroje, které jsou často označovány zkratkou CNC (Computer Numerical Control) jsou charakterizovány tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem a programem pomocí alfanumerických znaků. Tyto znaky vytváří programová slova, slova dále tvoří bloky programu. Tyto programové bloky jsou řídicím systémem převáděny na impulzy elektrického proudu pro řízení silových prvků stroje nebo ostatních zařízení potřebných pro provoz stroje. Všechny pohyby nástroje nebo obrobku jsou definovány rychlostí po dané trajektorii v prostoru nebo v rovině [1].

CNC stroje tvoří pružnou automatizaci, lze je tedy rychle přizpůsobit jiné (obdobné) výrobě. Počítačem řízené stroje se uplatňují ve všech oblastech strojírenské výroby (obrábění, tváření, montáž, měření) [1].

1.1 Vývoj číslicově řízených strojů

Počátkem 50. let 20. století byly v USA vyvíjeny první číslicově řízené stroje. Vývoj číslicové techniky probíhal ve čtyřech oblastech: stavební komponenty, vlastní stroje, řídicí systémy a výrobní soustavy. Níže jsou uvedeny hlavní zlomy v průběhu vývoje NC strojů [2].

V 50. letech jsou jako pohony používány elektricky řízené hydromotory a začínají nastupovat elektricky řízené motory. Pro odměřování je využíváno optických prvků. Řídicí systém pracuje na principu vakuových lamp (Record play back). Objevují se NC systémy řízené magnetickým záznamem [2].

V 60. letech se objevují tranzistorové NC systémy. Před rokem 1970 je v USA využíváno integrovaných obvodů.

V 70. letech se začínají aplikovat kuličkové šrouby, valivé a hydrostatické lineární vedení. Na konci 70. let se objevují CNC systémy s minipočítači.

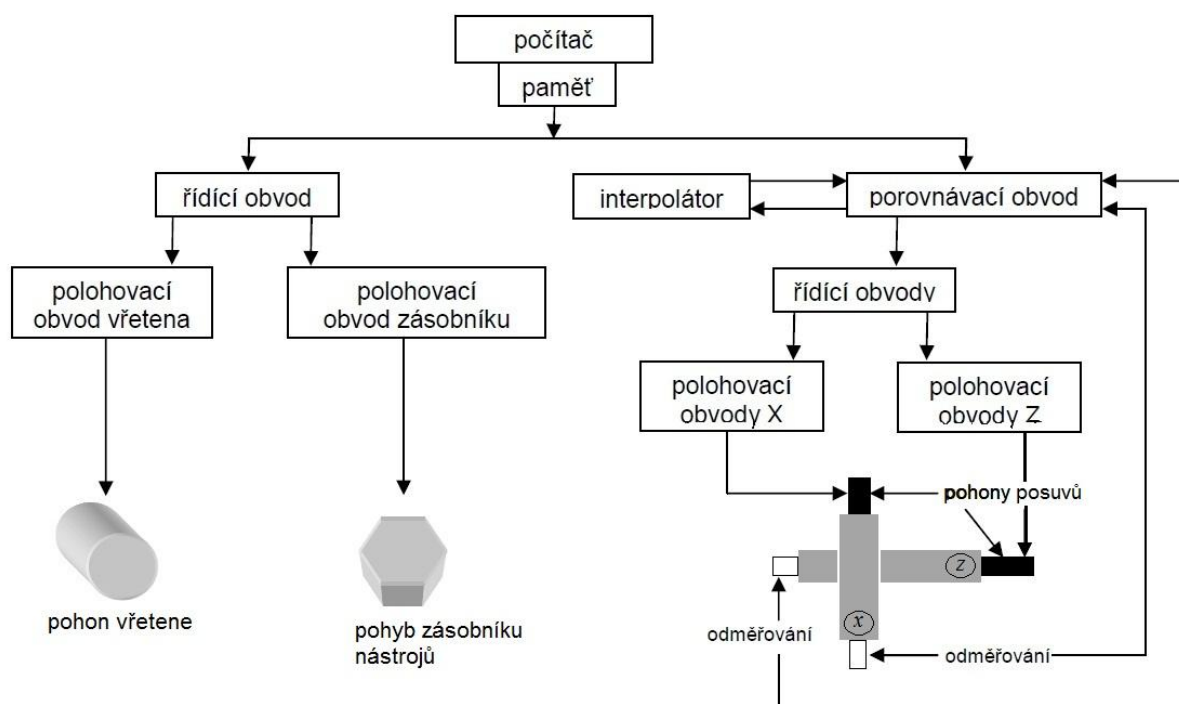
V 80. letech stroje jsou vybaveny zásobníky nástrojů. Řídicí systémy jsou založeny na bázi CNC/PLC multiprocessorových počítačových struktur.

V 90. letech se do strojů zavádějí velkokapacitní zásobníky nástrojů. Stroje mají vysokou přesnost a produktivitu. CNC mají integrované CAD/CAM systémy na bázi PC.

Počátkem 21. století jsou vyvíjeny nové generace obráběcích center. Dochází k integraci technologických operací, jsou vytvářeny multifunkční stroje. Snaha o sjednocení HW a SW. Posiluje se provázanost na externí počítačové stanice [2].

1.2 Schéma CNC obráběcího stroje

Pohyby stroje jsou řízeny pomocí programu, který je načtený v řídicím systému počítače. Obvykle se jedná o průmyslový počítač, který je součástí stroje. Program je uložen do paměti počítače, z které se načítají jednotlivá data do interpolátoru. Data jsou následně posílána přes porovnávací zařízení do řídicího obvodu, který ovládá pohony. Odměřovací zařízení sleduje hodnoty stroje (např. poloha suportu, otáčky vřetena, pomocné funkce), které posílá zpět do porovnávacího zařízení, kde jsou porovnávány se zadanými hodnotami a v případě odlišností dochází ke korekcím. Zjednodušené blokové schéma je znázorněno na obr. 1.2 [3].



Obr. 1.2 Blokové schéma CNC obráběcího stroje [3].

2 HLAVNÍ KOMPONENTY PRO STAVBU CNC FRÉZKY

Na českém trhu je řada dodavatelů s širokou nabídkou komponent pro stavbu CNC strojů. Někteří dodavatelé jsou dokonce zaměřeni na amatérské stavitele. U těchto dodavatelů lze objednat všechny potřebné komponenty k sestavení funkčního stroje. Níže je uveden přehled hlavních komponent k sestavení CNC stroje.

2.1 Rámy obráběcích strojů

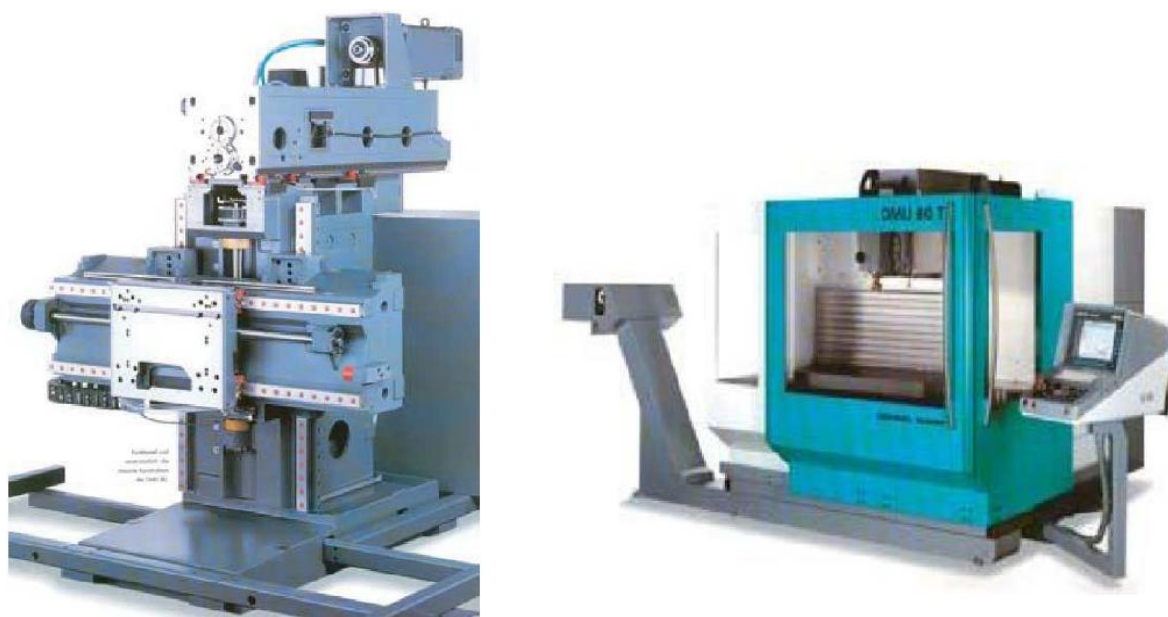
Základní části rámu jako jsou lože, stojany, sloupy, konzoly případně příčníky mají přímý vliv na celkovou tuhost stroje. Při návrhu těchto částí musí tedy konstruktér respektovat řadu hledisek, které lze shrnout v požadavky [1]:

- kvalitní materiál rámu,
- dobrá statická tuhost,
- jednoduchá a efektivní výroba,
- malá hmotnost,
- snadná manipulovatelnost,

U CNC frézek existují tři základní typy konstrukčního řešení rámu, které jsou jakýmsi kompromisem mezi tuhostí, pracovní plochou a mechanickou složitostí. Volba použité konstrukce je pak závislá na požadovaných prioritách těchto vlastností. Základní rozdělení konstrukcí rámu frézek je na konzolové, stolové a portálové [1].

Konzolové frézovací stroje

Konzolové frézky jsou označovány podle výškově přestavitelné konzoly, která se posouvá po vedení stojanu obr. 2.1. Na konzolu může být upínán přímo obrobek nebo přídavný stůl. Přídavný stůl je buď ručně nebo CNC řízený [1].



Obr. 2.1 Pohybové skupiny konzolové frézky DMU 80 T [1].

Stolové frézovací stoje

Stolové frézky často nahrazují konzolové frézky, jejich hlavní výhodou je neměnná výška upínacího stolu. Tato koncepce vytváří podstatně tužší konstrukci, která umožňuje vyšší pracovní přesnost. Moderní koncepce 6-ti osé stolové frézky s otočným stolem obr. 2.2 [1].



Obr. 2.2 CNC stolová frézka BOKÖ [1].

Portálové frézovací stroje

Hlavní konstrukci tvoří dva stojany, které jsou spojeny příčnicí tvořící portál. Portálové frézky lze dále rozdělit na frézky s pevným portálem obr. 2.3 a na frézky s posuvným portálem obr. 2.4. Portálové frézky umožňují optimální využití pracovního prostoru s ohledem na zastavěnou plochu [1].



Obr. 2.3 Skelet portálové frézky s posuvným stolem řady MMC 1500 [4].



Obr. 2.4 Portálová frézka FRF 300 TOS Kuřim s posuvným portálem [1].

2.2 Vedení lineárních posuvových soustav

V rámci zaměření bakalářské práce budou zmíněny pouze nejpoužívanější druhy lineárního vedení u malých CNC strojů. Lineární vedení zajišťuje každé ose pohyb pouze v daném směru. Mezi základní požadované vlastnosti patří dostatečná tuhost, minimální třecí odpor a eliminace vůlí v ostatních směrech než je směr pohybu osy.

Nepodepřené tyče

Nepodepřené tyče jsou nejlevnější variantou vedení os. Jejich nevýhodou je nízká tuhost, lze je použít pouze na krátké vzdálenosti. Tyče jsou broušené, povrchově kalené. Po tyčích se pohybují lineární ložiska obr. 2.5.



Obr. 2.5 Broušená kalená tyč a kuličkové lineární ložisko v domku [5].

Podpřené tyče

Podpřené vodící tyče jsou kompromisem mezi tuhostí a cenou. Tyč je v celé délce podepřena obr. 2.6 tudíž je lze použít i na větší vzdálenosti. Lineární ložiska jsou otevřená.



Obr. 2.6 Podepřená broušená kalená tyč a kuličkové otevřené lineární ložisko [5].

Prizmatické vedení

Prizmatické lineární vedení obr. 2.7 nabízí vysokou tuhost, přesnost, vysoké posuvové rychlosti. Nevýhodou je vysoká cena. Jako valivých komponent je využito kuliček nebo válečků, které obíhají po broušených kalených drahách vozíku a kolejnici [6].



Obr. 2.7 Lineární prizmatické vedení Hiwin [6].

2.3 Náhony lineárních posuvových soustav

Náhony lineárních soustav přeměňují rotační pohyb motoru na pohyb přímočarý. Existuje několik možností realizace. Mezi hlavní požadavky na posuvový mechanismus u CNC frézek patří: Minimální vůle, tuhost, konstantní a co nejmenší hodnota součinitele tření [7].

Šrouby s lichoběžníkovým závitem

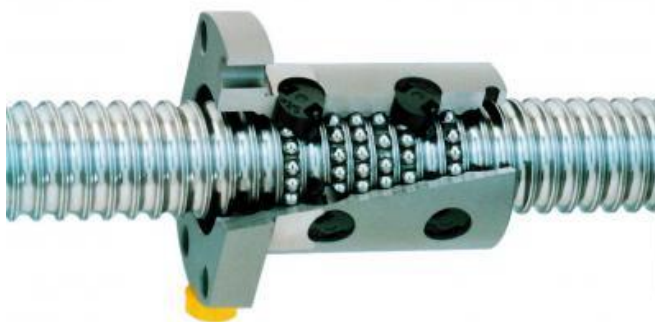
Lichoběžníkové šrouby obr. 2.8 se používají kde nejsou vysoké požadavky na přesnost a vysoké posuvové rychlosti. Hlavní výhodou je nízká cena, nevýhodami jsou nízká účinnost a relativně vysoké opotřebení. Matice jsou nejčastěji z bronzového nebo speciálního plastového materiálu [7].



Obr. 2.8 Lichoběžníkový šroub a matice [8].

Kuličkové šrouby

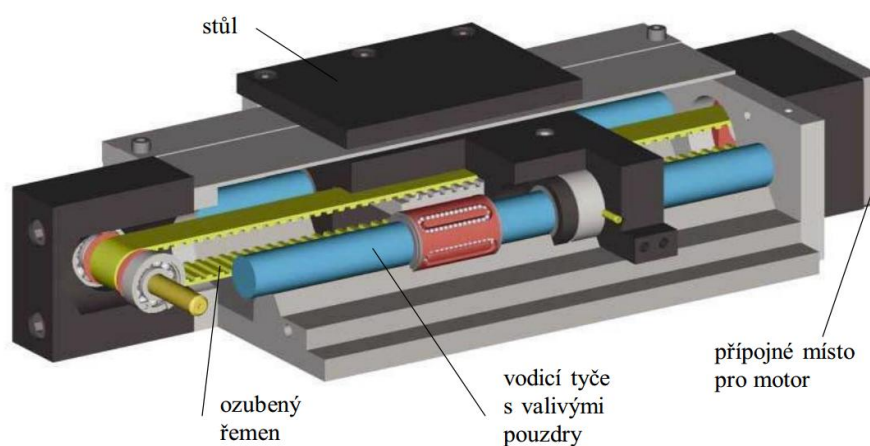
Jedná se o nejpoužívanější variantu náhonu lineárních os. Kuličkové šrouby nejsou v přímém kontaktu s maticí ale jsou odděleny kuličkami, které obíhají v souhlasných závitových drahách na šroubu a matici obr. 2.9. Kuličkové šrouby vynikají vysokou mechanickou účinností (až 93 %). Předepnuté kuličkové matice mají vysokou tuhost a přesnost. Nevýhodami jsou vysoká cena a vyšší nároky na přesnost uložení [7].



Obr. 2.9 Kuličkový šroub a matice SKF – řez [9].

Ozubené řemeny

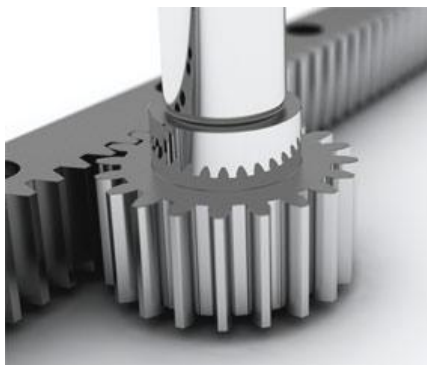
Lineární osy s ozubeným řemenem (obr. 2.10) se používá pro polohování s vysokou dynamikou. Omezujícím parametrem je přesnost polohování, která je nejvíce ovlivněna tuhostí řemene [7].



Obr. 2.10 Řez konstrukcí lineární osy s ozubeným řemenem [10].

Ozubené hřebeny

Ozubené hřebeny s pastorkem obr. 2.11 se používají pro dlouhé pracovní pojezdy kde by použití posuvových šroubů nebylo vhodné. Ozubený hřeben s pastorkem má oproti šroubu s maticí nižší tuhost, přesnost, vyšší nároky na mazání [7].



Obr. 2.11 Ozubený hřeben a pastorek GÜDEL [11].

2.4 Pohony lineárních posuvových soustav

Pohony přeměňují vstupní energii na mechanický pohyb. U CNC frézek se využívají elektromotory a to nejčastěji servomotory nebo krokové motory. Kladené nároky jsou na plynulý bezrázový rozběh a brzdění, vysokou přesnost polohování a dostatečnou polohovou tuhost.

Servomotory

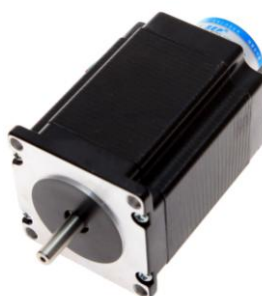
Servomotory jsou motory, u kterých lze nastavit přesnou polohu natočení osy. Servomotory (obr. 2.12) jsou dnes nejčastěji řešeny jako synchronní motory s třífázovým vinutím ve statoru. Na výstupní hřídeli motoru je umístěn enkodér, který udává informaci o poloze natočení hřídele zpět řídicí elektronice. Servomotory jsou vhodné pro dynamicky náročné úlohy a lze je krátkodobě několikanásobně momentově přetížít [12].



Obr. 2.12 Servomotor 1FK7 s měničem Sinamics S110 [13].

Krokové motory

Krokové motory obr. 2.13 jsou řízeny impulsy stejnosměrného proudu, tyto impulsy jsou převáděny na jednotlivé kroky pootočení osy motoru. Velikost kroku je dána konstrukcí motoru, nejčastěji mají motory 200 kroků na otáčku tzn. jeden krok potočí osou motoru o $1,8^\circ$. Používají se u menších CNC strojů. Výhodami krokového motoru jsou jednoduchost řízení, nepotřebují zpětnou vazbu do řídicí elektroniky, jsou cenově dostupnější než servomotory. Jejich nevýhodou je pak ztráta záběrného momentu při vysokých posuvech a při přetížení okamžitě dochází ke ztrátě kroku [14].



Obr. 2.13 Krokový motor [8].

2.5 Vřetena obráběcích strojů

Vřeteno představuje jednu z nejdůležitějších částí obráběcího stroje, proto je na něj kladeno několik důležitých požadavků. Úlohou vřetene je zaručit nástroji otáčivý pohyb s vysokou přesností chodu. Neméně důležitou vlastností je tuhost, dále vřeteno by mělo mít požadovaný výkon a rozsah otáček. K přenosu řezného výkonu na nástroj lze docílit třemi způsoby obr. 2.14. Přímý náhon se používá pro vysokorychlostní obrábění, je dynamicky stabilní. Náhon s vloženým ozubeným převodem se používá pro přenos velkých výkonů. Elektrovřeteno je tvořeno rotorem, který se lisuje na vřeteno, ve vnějším plášti je vinutí s chlazením. [15, 16]



a) Přímý náhon



b) Náhon s vloženým převodem



c) Elektrovřeteno

Obr. 2.14 Možnosti uspořádání vřeteníku [16].

3 KONSTRUKCE CNC FRÉZKY

Při návrhu konstrukce byl kladen důraz na jednoduchost a nízkou pořizovací cenu komponent při zachování požadovaných parametrů frézky.

3.1 Volba základní parametrů frézky

Velikosti pracovních rozsahů frézky byly voleny s ohledem na největší předpokládané obráběné díly. Tyto největší díly lze s rezervou umístit do prostoru o rozměrech (300x200x100) mm. Větší pracovní rozsahy nebyly voleny z důvodu rostoucí náročnosti konstrukce na vyšší tuhost. Přesnost polohování os bude v případě účelu realizované frézky dostačující s přesností na $\pm 0,1$ mm. Základní parametry pro návrh frézky jsou shrnuty do tab. 3.1.

Tab. 3.1. Základní parametry pro návrh CNC frézky.

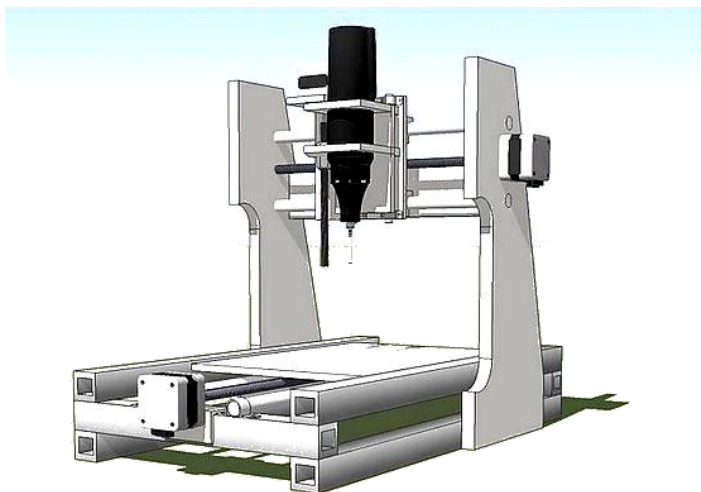
Specifikace	Hodnota [mm]
Pracovní rozsah osy X	300
Pracovní rozsah osy Y	200
Pracovní rozsah osy Z	100
Polohovací přesnost	$\pm 0,1$

3.2 Materiál konstrukce frézky

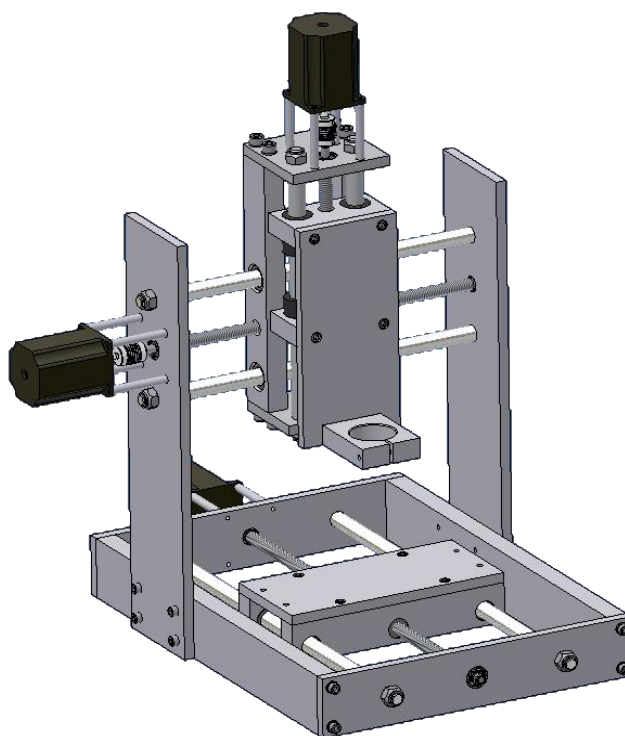
Hlavním požadavkem na materiál byla dostatečná pevnost, nízká cena a snadná opracovatelnost. Tímto požadavkům vyhovují hliníkové slitiny, které mají další výhodu a tou je nízká hustota. Rám frézky je sestaven z normalizovaných hliníkových profilů z materiálu EN AW-6082, jedná se o universální hliníkovou slitinu o vysoké pevnosti a odolnosti proti korozi.

3.3 Koncepce

Rám stroje je volen portálové konstrukce, která by měla zaručit dostatečnou tuhost. Konstrukce je s pevným portálem a pohyblivým stolem. Pohyblivý portál nebyl volen z důvodu vyšších nároků na tuhost a složitost konstrukce. Inspirací byla koncepce frézky obr. 3.1, která je produkci projektu MyDIYCNC. Tento projekt se zabývá nízkonákladovou stavbou CNC strojů pro hobby účely. Vlastní návrh konstrukce obr. 3.2 byl proveden v softwaru Inventor firmy Autodesk. Výkres sestavy příloha 1.



Obr. 3.1 Portálová frézka s posuvným stolem, projekt MyDIYCNC [17].



Obr. 3.2 Vlastní návrh konstrukce CNC frézky.

3.4 Lineární vedení a pohybový šroub

K zajištění lineárního pohybu jednotlivých os jsou voleny indukčně kalené ocelové tyče průměru 16 mm, po kterých se pohybují lineární kuličková ložiska. Kontrolní výpočet průhybu nejdelší vodící tyče je proveden v příloze 2. Při zatížení stolu 10 kg byl vypočítán průhyb tyče 0,02 mm, který je vyhovující. Náhony os jsou řešeny závitovými tyčemi s lichoběžníkovým závitem Tr 12x3. Na každou osu je použita dvojice matic, které jsou

vyrobeny ze speciálního plastu ERTELYTE TX s nízkým koeficientem tření. Závitová tyč je ke krokovému motoru připojena pomocí pružné spojky obr. 3.3.



Obr. 3.3 Pružné spojky mezi pohybový šroub a krokový motor.

3.5 Volba vřetene

První možnost volby se byla vřetena přímo určená pro CNC stroje. Jejich cena však převyšovala finanční možnosti projektu. Pro realizovanou frézku se jako ideální volba vřetene nabízela ruční přímá elektrická bruska s možností upnutí do držáku. Mezi požadované vlastnosti patří možnost plynulé regulace otáček. Přímé brusky nabízí celá řada výrobců, jejich výkon se pohybuje v rozsahu (100 až 2 000) W, rozsah otáček vřetene se pohybuje asi (5 000 až 40 000) min^{-1} . Volená přímá bruska je od firmy DWT model GS06-27 V obr. 3.4, která nabízí dobrý poměr mezi výkonem, cenou a kvalitou. Motor disponuje výkonem 600 W a rozsah otáček je možné plynule nastavit od (12 000 do 27 000) min^{-1} . Upínání nástrojů je do průměru stopky 6 mm a je řešeno kleštinou.



Obr. 3.4 Přímá bruska DWT GS06-27 V [18].

4 ELEKTRONIKA A ŘÍDICÍ SYSTÉM

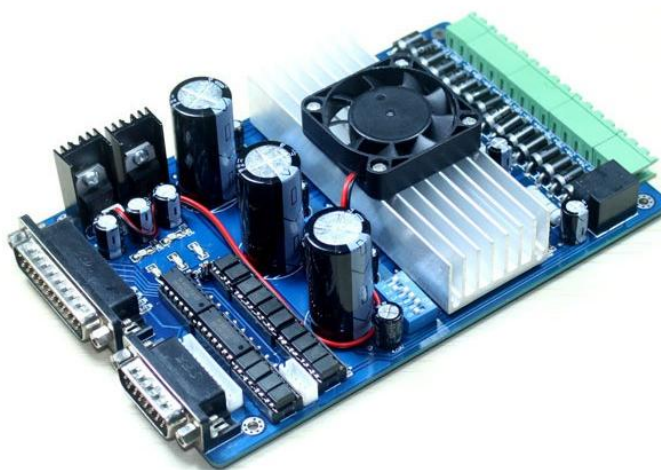
Řízení frézky je řešeno pomocí osobního počítače a ovladače krokových motorů, tzv. driveru. Komunikace mezi počítačem a driverem je řešena přes LPT (Line Printer Terminal) rozhraní, které se běžně používalo k připojení tiskáren.

4.1 Pohon lineárních posuvových soustav

Krokové motory jsou ideální volbou pro nenáročné aplikace v automatizaci, viz. kapitola 2.4. Použité krokové motory jsou od firmy LDO Motors, která nabízí širokou škálu automatizační techniky. Zvolené krokové motory řady NEMA 23 s jmenovitým přídržným momentem 1,85 N·m by měly zajistit bezchybné polohování jednotlivých os. Rozlišení motorů je 200 kroků na jednu otáčku. Polohovací rozlišení při použití šroubu se stoupáním 3 mm tedy bude 0,015 mm. Další parametry zvolených krokových motorů v příloze 3.

4.2 Driver krokových motorů

Ovládání krokových motorů je řešeno pomocí driveru od výrobce Dongguan Aerospace obr. 3.4. Driver využívá tři nezávislé budiče Toshiba TB6560AHQ, které umožňují řídit motory proudem až 3,5 A. Deska je určena pro přímé připojení k PC pomocí LPT rozhraní. Veškeré vstupy a výstupy jsou opticky odděleny. Driver umožňuje připojení koncových snímačů, digitálního odečtu polohy a spínání vřetene nebo jiného nástroje. Driver umožňuje pomocí přepínačů nastavení ovládacího proudu motoru v rozsahu 25 %, 50 %, 75 % a 100 %. Pomocí přepínačů dále lze nastavit rozdělení jednoho kroku motoru až na 16 tzv. mikrokroků. Mikrokrokování má především za důsledek plynulejší chod a zvýšení citlivosti motoru. Doporučený řídicí software je MACH3, lze ale použít jakýkoliv jiný software umožňující řízení pomocí LPT rozhraní. Více informací k driveru v příloze 4.



Obr. 3.4 Driver pro řízení tří krokových motorů.

4.3 Zdroj

Pro napájení zvoleného driveru krokových motorů je žádoucí stejnosměrné stabilizované napětí v rozsahu 12 V – 36 V. Zvolené krokové motory mají doporučené napětí 24 V a maximální dovolené zatížení jedné fáze krokového motoru je 2,8 A. Tři motory mohou tedy

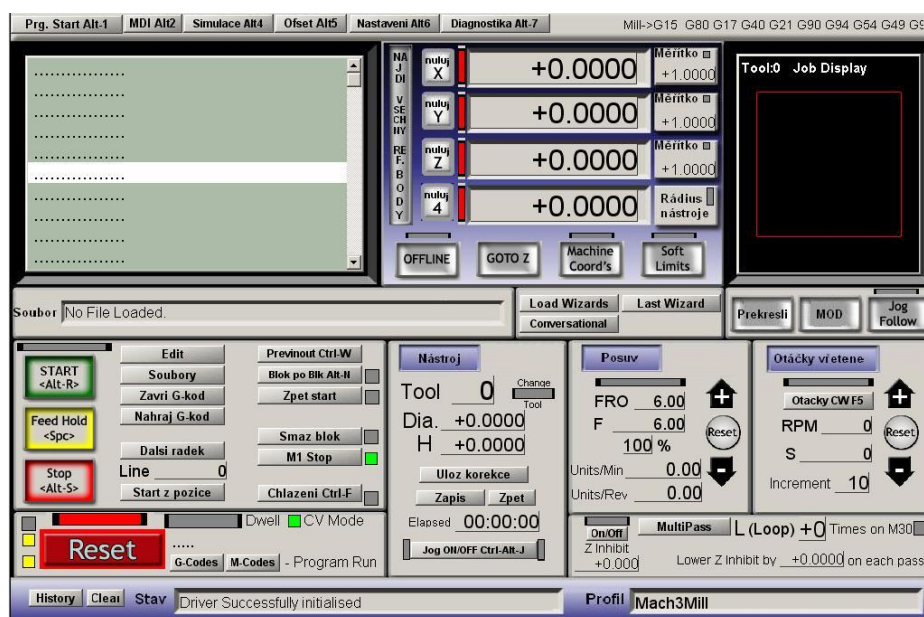
současně odebírat proud až 8,4 A. Jako vhodný byl vybrán spínaný zdroj od firmy IDEC s jmenovitým výstupním napětím 24 V a výkonem 240 W obr. 3.5.



Obr. 3.5 Zdroj spínaný IDEC PS5R-SG24.

4.4 Řídicí software

K řízení frézky je používán program Mach3, který byl současně dodán se zvoleným driverem krokových motorů. Mach3 je balík programů běžících na osobním počítači, které ho přeměňují na výkonný a levný řídicí systém. Minimální požadavky na stolní počítač jsou 1 GHz CPU, 512 MB RAM, operační systém Windows XP. Mach3 umožňuje primárně až šesti-osé řízení frézky, ale umožňuje také řízení soustruhu nebo plasmového či laserového řezacího stroje. Software umožňuje ovládání vřetene, chlazení, nastavení HW, SW limitů a referenčních bodů. Mach3 se programuje pomocí standardního ISO kódu. Mach3 obsahuje i tzv. Wizardy neboli průvodce, které umožňují definovat základní obráběcí operace a převedou je do G-kódu. Jako příklady průvodců lze uvést frézování kruhové kapsy, vrtání pole děr nebo gravírování textu. Pracovní prostředí v Mach 3 obr. 3.6 [19].



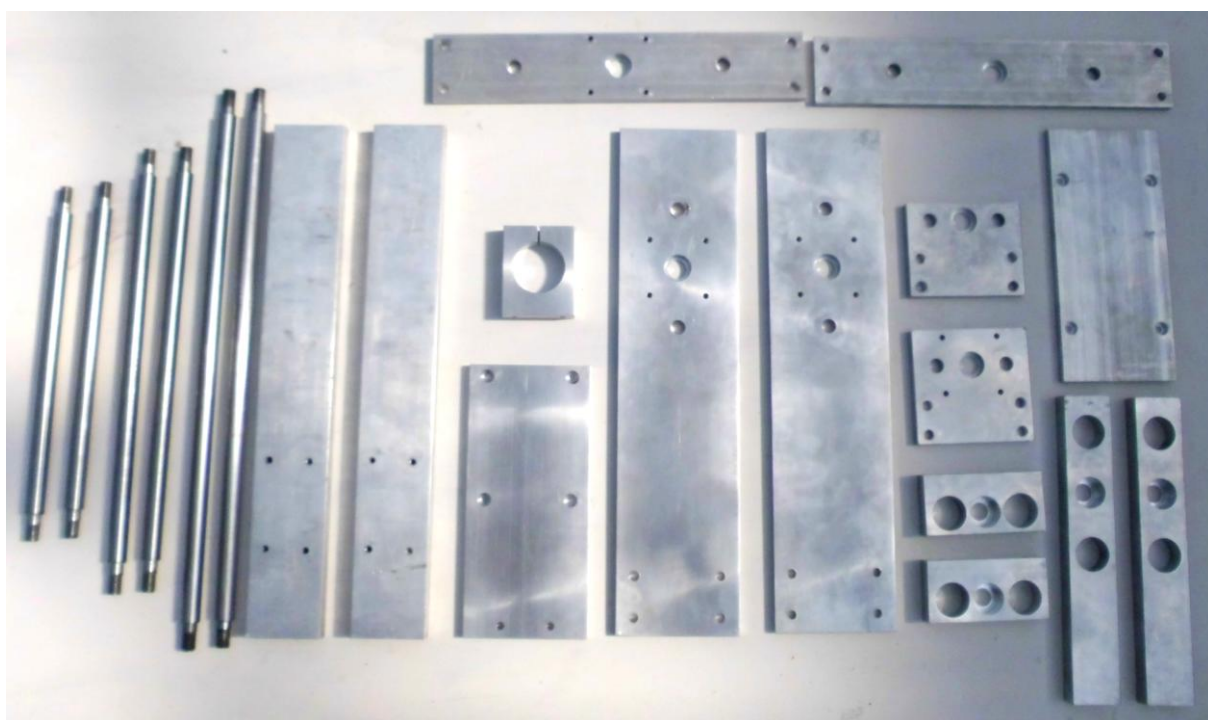
Obr. 3.6 Pracovní prostředí programu Mach3.

5 SESTAVENÍ FRÉZKY

Tato kapitola se bude pouze týkat sestavení mechanických komponent, zapojení elektronické části nebude v rámci rozsahu bakalářské práce popsáno. Elektronická část byla zapojena podle manuálu, který byl přidělen k driveru krokových motorů.

5.1 Výroba dílů frézky

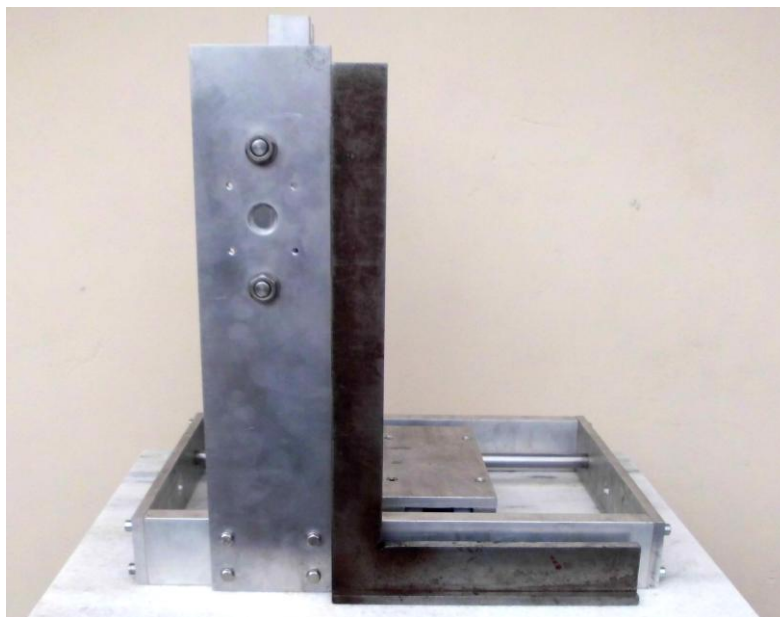
Hliníkové profily byly obrobeny na CNC frézce, jelikož bylo nutné zajistit vysokou přesnost jednotlivých otvorů, především rozteč otvorů do kterých byly uloženy lineární ložiska. Frézování bylo provedeno ve firmě Formtool s.r.o.. Konce vodících tyčí a pohybových šroubů byly opracovány v domácí dílně na soustruhu TOS SV 18. Díly připravené pro montáž obr. 5.1.



Obr. 5.1 Díly připravené pro montáž

5.2 Montáž celku

Uložení lineárních ložisek bylo voleno pomocí speciálního lepidla a to z důvodu zajištění souososti ložiska s vodící hřídelí. Upevnění ložisek lepidlem je až posledním krokem montáže celku. Zalisování ložisek do hliníkových profilů se neosvědčilo. Při lisování docházelo k nepatrnému vyosení, což následně způsobilo tuhý chod vozíku po vodících tyčích. Při sestavení komponent rámu frézky bylo nutné zajistit jejich vzájemnou rovinnost případně kolmost. Rám osy pojezdu stolu, který tvoří základ frézky byl sestaven na přesné broušené žulové desce. K rámu osy pojezdu stolu jsou připevněny sloupky, u kterých bylo nutné zajistit kolmost k rovině rámu stolu pomocí příložného úhelníku a shodnou vzdálenost od hrany rámu stolu viz. obr. 5.2. Ostatní díly rámu se ustavily vzájemným slícováním. Po zkompletování rámu jsou do pojezdových vozíků vloženy pohybové matice a pohybové šrouby, které jsou uloženy v kuličkových ložiscích.



Obr. 5.2 Zajištění kolmosti sloupů k rovině stolu.

5.3 Stůl

Pracovní stůl frézky má rozměry (440x310) mm, první verze stolu byla vytvořena z překližky tloušťky 20 mm. Na tomto stole probíhala vzorová výroba součástí viz. kapitola 6. Následně byl tento stůl nahrazen stolem sestaveným z 2 kusů hliníkových profilů délky 440 obr. 5.3. Tento typ hliníkových profilů dodává firma Merek Industrial a.s. v maximální šířce 165 mm. Šířku profilů bylo nutné upravit na velikost 155 mm aby bylo dosaženo požadovaných rozměrů stolu. Zvolené profily umožňují pomocí T-drážek rychlé a variabilní upínání.



Obr. 5.3 Hliníkový profil firmy Marek-Industrial.

5.4 Nastavení a odladění

Před provedením mechanického nastavení je nutné nakonfigurovat řídicí program pro správnou komunikaci s frézou. Prvotní nastavení v Machu je definování používaných vstupních a výstupních signálů na LPT portu. Nastavení bylo provedeno podle návodu, který byl dodán k driveru krokových motorů. Po tomto nastavení by již měly krokové motory reagovat na příkazy z Machu. Další nastavení se týká zadání počtu řídicích pulzů

generovaných Machem na jednotku dráhy pojezdu. Vypočet je proveden podle vztahu (1). Mach3 umožňuje vypočítanou hodnotu zadat s přesností na 6 desetinných míst. Velikost dělení kroku je volena nejvyšší jakou driver umožňuje což je hodnota 16.

$$P_J = \frac{K_O \cdot D}{S} \quad (1)$$

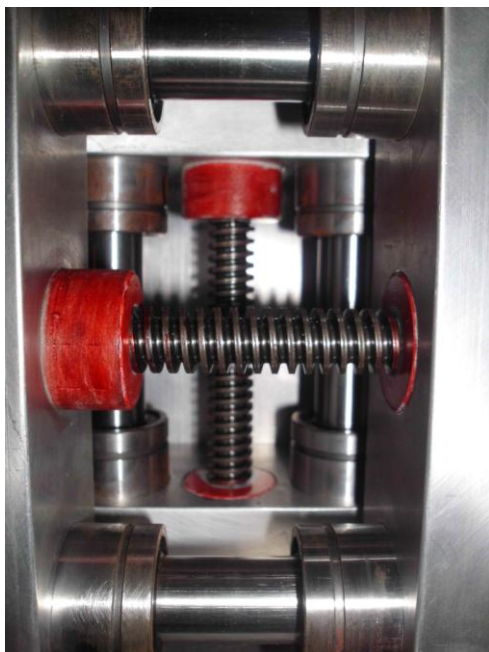
kde: P_J [-] - počet pulzů generovaných Machem na jednotku dráhy pojezdu
 K_O [-] - počet kroků motoru na otáčku
 D_K [-] - hodnota dělení kroku
 s [mm] - stoupání závitu šroubu

$$P_J = \frac{200 \cdot 16}{3}$$

$$P_J = 1066,66$$

U pojezdů se dále definuje maximální rychlost a zrychlení. Maximální rychlost pojezdu je omezena maximálními otáčkami krokového motoru a konstrukčním řešením. Maximální otáčky motoru jsou voleny 300 min^{-1} , při vyšších otáčkách je vysoký úbytek kroutícího momentu motoru viz. graf závislosti kroutícího momentu na otáčkách motoru v příloze 3. Pohybový šroub pojezdu má stoupání 3 mm, takže maximální rychlost pojezdu bude omezena na $900 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Určení maximálního bezpečného zrychlení pojezdu početní metodou není jednoduchý úkol. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k experimentálnímu určení velikosti zrychlení. Postupně jsou zadávány různé velikosti zrychlení, tak aby byl rozběh a zastavení motoru plynulý. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při velikosti zrychlení $30 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$. Hodnoty maximálních rychlostí a zrychlení byly zadány u všech os shodně. Tímto je provedeno základní programové nastavení a lze přistoupit k mechanickému seřízení.

Seřízení se stává pouze z vymezení vůlí mezi pohybovým šroubem a maticí. Vymezení vůle bylo provedeno rozepráním dvou matic uložených v kruhových kapsách obr. 5.4. Následně lze přejít ke kontrole přesnosti polohování jednotlivých os. Měření bylo provedeno pomocí hodinkového úchylkoměru a základní měrky délky 100 mm obr. 5.5. Nejprve byl stůl s úpinkou napolohován na dotyk s úchylkoměrem. Indikátor úchylkoměru a souřadnice měřené osy se anulují, poté se odjede se stolem o hodnotu měrky, která se následně vloží mezi upínku a úchylkoměr. Z deseti měření bylo dosaženo hodnoty měrky s průměrnou přesností $\pm 0,046 \text{ mm}$. Tato hodnota splňuje požadovanou přesnost polohování osy.



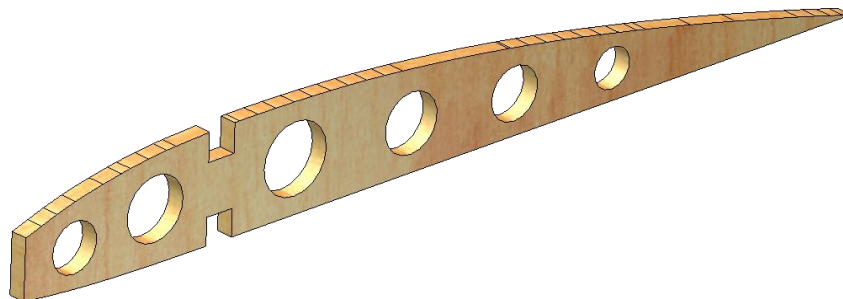
Obr. 5.4 Detail náhonu pojezdu.



Obr. 5.5 Ustavená 100 mm měrka [19].

6 VÝROBA VZOROVÉ SOUČÁSTI

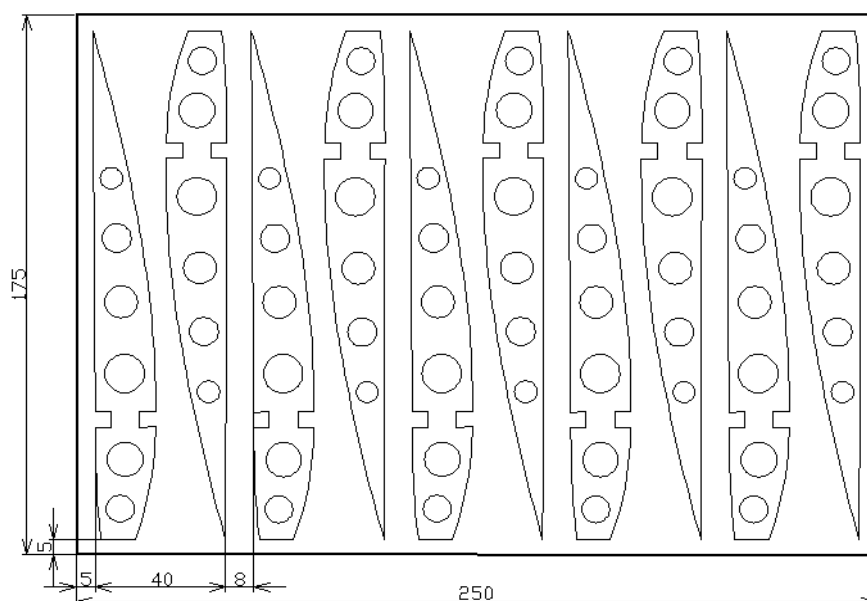
Výroba součásti byla provedena na frézce, jejíž realizace je popsána v této práci. Pro vzorovou výrobu bylo vybráno žebro křídla letadla, což je typická součást v leteckém modelářství. Výroba obsahuje 10 kusů profilových žeber na křídlo modelu Cessna 172 v měřítku 1:10. Žebra jsou z topolové překližky tloušťky 3 mm. 3D model žebra obr. 6.1. Vnitřní otvory slouží pouze pro odlehčení, do drážek přijdou vlepit nosníky, přední skosená plocha je pro připevnění náběžné hrany křídla. Výkres žebra je v příloze 5.



Obr. 6.1 Žebro křídla modelu Cessna 172

6.1 Rozbor technologičnosti konstrukce

Žebra jsou vyrobena z deskového polotovaru tloušťky 3 mm. Velikost mezer mezi výrobky umístěnými na polotovaru se odvíjí podle průměru zvoleného nástroje a nejmenší šířky přepážky, která vznikne po odfrézování obrysů výrobků. Průměr nástroje je volen 3 mm, nejmenší tloušťka přepážky je volena 2 mm. Při menší tloušťce přepážky je vysoké riziko prasknutí přepážky, která může být následně zachycena nástrojem a může dojít až k jeho zlomení. Vhodné rozmístění výrobků na polotovaru zobrazuje obr. 6.2. Při tomto rozmístění je nejmenší vzdálenost mezi polotovary přibližně 8 mm.



Obr. 6.2 Rozmístění výrobků na polotovaru.

Využití materiálu je pouze 38,5 % to je způsobeno především množstvím otvorů na výrobku. Výpočet byl proveden podle vztahu (2). Výpočet obsahu výrobku byl proveden v programu Autodesk Inventor 2010. Polotovár o rozměrech (250x175) mm bude vyřezán z desky formátu (2000x1000) mm.

$$v = \frac{S_0}{\sum S} \cdot 100 \quad (2)$$

kde: v [%] - využití polotovaru
 S_0 [mm²] - plocha výrobku
 S [mm²] - plocha polotovaru

$$v = \frac{16\,861}{43\,750} \cdot 100 \%$$

$$v = 38,5 \%$$

6.2 Příprava výroby

Získaná výkresová dokumentace profilu křídla je již ve vektorovém formátu takže není nutné použití CAD softwaru. Pro vytvoření NC programu byl použit software LazyCam. Tento CAM software tvoří součást programů dodávaných s Mach3. LazyCam umožňuje jednoduché generování NC programu z vektorové grafiky.

Celou součást lze vyrobit frézováním, nejdříve se odfrézují otvory a následně obrys součásti. Všechny operace budou provedeny jedním nástrojem. Zvolená fréza je válcová, dvoubřitá, monolitní karbidová, o průměru 3 mm. Zvolenou frézou lze odfrézovat i nejmenší otvor, který má průměr 4 mm. Jediným nedokončeným místem jsou vnitřní rohy drážky pro nosník kde vznikl rádius 1,5 mm. Řezné podmínky jsou stanoveny dle předchozích zkušeností, nejlepších výsledků je dosahováno při posuvové rychlosti 250 mm·min⁻¹, rychlosti zahloubení 50 mm·min⁻¹, hloubka řezu byla volena 4 mm aby bylo zaručeno oddělení výrobku od polotovaru. Otáčky vřetene byly nastaveny na 20 000 min⁻¹ řezná rychlost pak vychází ze vztahu (3) 188 m·min⁻¹.

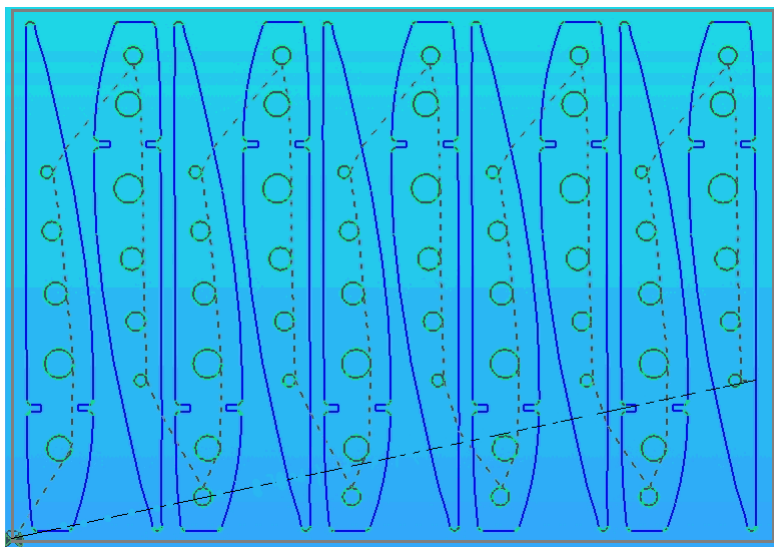
$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (3)$$

kde: v_c [m·min⁻¹] - řezná rychlost
 D [mm] - průměr frézy
 n [min⁻¹] - otáčky frézy

$$v_c = \frac{\pi \cdot 3 \cdot 20000}{1000} \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_c \cong 188 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Vygenerované dráhy nástroje s optimalizovanými dráhami rychloposuvů obr. 6.3. Nulový bod byl umístěn na levý spodní roh polotovaru. Odhad výrobního času bohužel LazyCam nepodporuje. NC program je vyexportován pomocí postprocesoru určený pro Mach3.



Obr. 6.3 Vygenerované dráhy nástroje programem LazyCam.

Upevnění deskových polotovarů na stůl frézky se osvědčilo pomocí speciální oboustranné lepicí pásky o tloušťce 3 mm. Rozmístění lepicí pásky na polotovaru obr 6.4. Oproti upínání pomocí upínek po obvodě polotovaru při tomto řešení nedochází k vibračním nebo prohnutí polotovaru. Upínací síla lepicí pásky je plně dostačující.

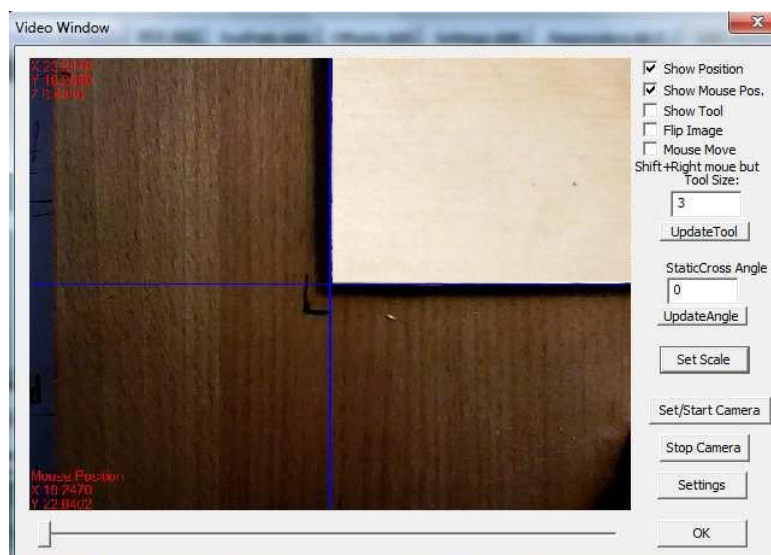


Obr. 6.4 Rozmístění lepicí pásky na polotovaru.

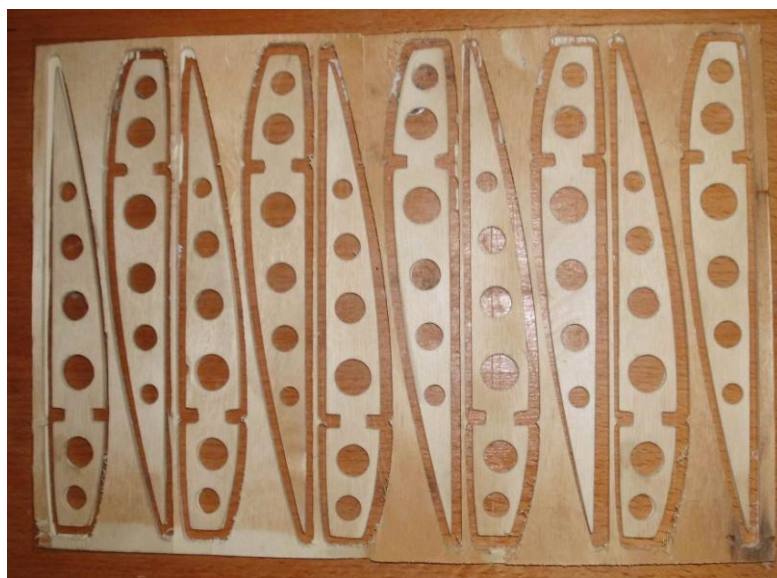
6.3 Výroba součástí

Při upevnění polotovaru pomocí oboustranné lepicí pásky na stůl frézky bylo nutné zajistit aby hrany polotovaru byly rovnoběžné s hranami stolu. Nulový bod byl nastaven pomocí speciálně upravené kamery, která se umístí do vřetene místo nástroje. Zaměření hrany na polotovaru obr. 6.5. Tato funkce je přímo podporována Machem 3. Nula v zetové souřadnici

byla nastavena vizuálně na dotyk s polotovarem, v daném případě je tato přesnost dostačující. Po načtení NC programu do Machu3 již bylo možné spuštění výrobního procesu. Výrobní čas byl 36 minut. Součásti po vyfrézování obr. 6.6 bylo ještě nutné dokončit ručně, smirkovým papírem začistit hrany a jehlovým pilníkem zapilovat rádiusy od nástroje vzniklé v rozích drážek.



Obr. 6.5 Nastavení nulového bodu na polotovaru pomocí kamery.



Obr. 6.6 Součásti po vyfrézování.

7 DISKUZE

Dosažené parametry frézky shrnuje tab. 7.1. Hodnoty v tabulce splňují stanovené podmínky na počátku realizace. Náklady na stavbu frézky dosáhly asi poloviny ceny komerčně vyráběných frézek obdobných parametrů.

Tab. 7.1 Dosažené parametry frézky.

Název parametru	Hodnota
Pracovní rozsah (x,y,z)	(300x200x100) mm
Rozlišení	0,015 mm
Přesnost polohování	±0,1 mm
Výkon vřetene	600 W
Rozsah otáček vřetene	(12 000 – 27 000) min ⁻¹
Maximální rychlost posuvu (x,y,z)	900 mm·min ⁻¹
Motory (x,y,z)	Krokový motor (1,9 N·m)
Řídicí software	Mach3
Hmotnost	23 kg

Ve vzorové výrobě bylo vyrobeno 10 kusů profilových žeber. Nejprve byla rozebrána technologičnost součástí a příprava výroby. Samotná výroba proběhla korektně. Výrobní čas 36 minut by bylo ještě možné zkrátit, při frézování nebyly nastaveny optimální řezné podmínky k co nejkratšímu výrobnímu času. Volené řezné podmínky byly voleny jako maximální “bezpečné“. Aby bylo možné včas zastavit program v případě neočekávané chyby, protože vzorová výroba byla jedna z prvních operací na stroji po jeho realizaci.

Vývoj zrealizované frézky

Pokračování vývoje bude nejprve nutné zaměřit na odsávání pilin od nástroje, jelikož při frézování především dřeva vzniká velké množství jemného prachu. Následně by se mělo zakrytovat pohybové ústrojí před vniknutím prachu a k zamezení možností úrazu. K dalšímu zvýšení bezpečnosti se jednotlivé pojezdy v krajních polohách osadí koncovými spínači, aby nemohlo při chybě polohování dojít k nárazu pojezdu do rámu stroje.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo v první části navrhnout a zrealizovat CNC frézka pro modelářské účely. V druhé části byla provedena výroba vzorové součásti na zrealizované frézce.

Po úvodu do CNC strojů jsou popsány hlavní komponenty pro stavbu CNC frézky. Na tuto kapitolu navazuje návrh konstrukce kde je objasněno celkové technické řešení frézky. Součástí návrhu je 3D model v CAD systému. V elektronická části frézky jsou pouze uvedeny volené komponenty a jejich základní parametry. Kapitola sestavení frézky se zabývá výrobou konstrukčních dílů a jejich sestavení, dále je popsáno nejdůležitější nastavení frézky. Nakonec této části je provedeno testování a zjištění dosažené přesnosti frézky.

Druhá část bakalářské práce se zabývá výrobou vzorové součásti. Nejdříve je popsána zvolená součást. Následuje rozbor technologičnosti konstrukce součásti a příprava výroby. Nakonec byla provedena výroba součásti na zrealizované frézce.

Zrealizovaná CNC frézka byla postavena s podstatně nižšími finančními náklady než se pohybují ceny komerčně vyráběných frézek. Výsledná tuhost konstrukce a přesnost polohování splnily očekávání před vlastní realizací. Na konec lze tedy říci, že úsilí vložené do realizace frézky se vyplatilo.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2, přeprac., rozš. Praha: MM publishing, 2010. 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
2. POLZER, Aleš. *Akademie CNC obrábění (2)* [online]. 2003 [vid. 2013-02-16]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc-obrabeni/akademie-cnc-obrabeni-2_8537.html
3. ŠTULPA, Miloslav. *CNC Obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 80-730-0207-8.
4. Přesná portálová obráběcí centra. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012, č. 4 [vid. 2013-03-07]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/presna-portalova-obrabeci-centra.html>
5. CNC Shop, *produkty* [online]. [vid. 2013-03-8] Dostupný z: <http://www.cncshop.cz>
6. Hiwin, *lineární vedení* [online]. [vid. 2013-03-8] Dostupný z: <http://www.hiwin.cz>
7. BORSKÝ, Václav. *Základy stavby obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. Brno: VUT, 214 s. ISBN 80-214-0361-6.
8. 4ISP, *produkty* [online]. [vid. 2013-03-10] Dostupný z: <http://www.cnc.inshop.cz>
9. Volba kuličkových šroubů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, č. 11 [vid. 2013-03-18]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/volba-kulickovych-sroubu.html>
10. KELLER, Petr. Programování a řízení CNC strojů [online]. 2005 [vid. 2013-04-06]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf
11. Lineární technika. *GÜDEL* [online]. 2012 [vid. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.gudel.com/cz/components/>
12. Princip - Servo motor. *Pohonná technika* [online]. [vid. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/servo-motor>
13. BLAŽEK, Jaroslav. Polohovací měnič SINAMICS S110. *HW server* [online]. 2010 [vid. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/polohovaci-menic-sinamics-s110-s-pripravenymi-bloky-pro-s71200>
14. Princip - Krokový motor. *Pohonná technika* [online]. [vid. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/krokovy-motor>
15. *Výrobní stroje a zařízení* [online]. Brno, 2002 [vid. 2013-04-25]. Dostupné z: http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VSaZ_UVSSaR.pdf. Syllabus přednášek pro kombinované bakalářské studium. Vysoké Učení Technické v Brně.
16. *Moderní konstrukční řešení CNC strojů*. Uherské Hradiště, 2012. Učebnice. Střední odborná škola technická Uherské Hradiště.
17. Basic plans. *Mydiycnc* [online]. [vid. 2013-04-28]. Dostupné z: http://www.mydiycnc.com/basic_plans
18. Brusky přímé. *Noto* [online]. [vid. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.noto.cz/dilna-naradi/elektronaradi/brusky/prime-brusky/prima-bruska-dwt-gs06-27-v-s-regulaci.html>

19. FENERTY, Art. *Using Mach3Mill*. Fayette, 2003.

20. *Vodící tyče a kuličková pouzdra*. 2009. Dostupné z: <http://www.teatechnik.cz/katalogy-stazeni/vodici-tyce-kulickova-pouzdra>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CAD	[-]	Computer aided design
CAM	[-]	Computer aided manufacturing
CNC	[-]	Computer Numeric Control
CPU	[-]	Central Processing Unit
HW	[-]	Hardware
LPT	[-]	Line Printer Terminal
NC	[-]	Numeric Control
PC	[-]	Personal computer
PLC	[-]	Programmable Logic Controller
SW	[-]	Software

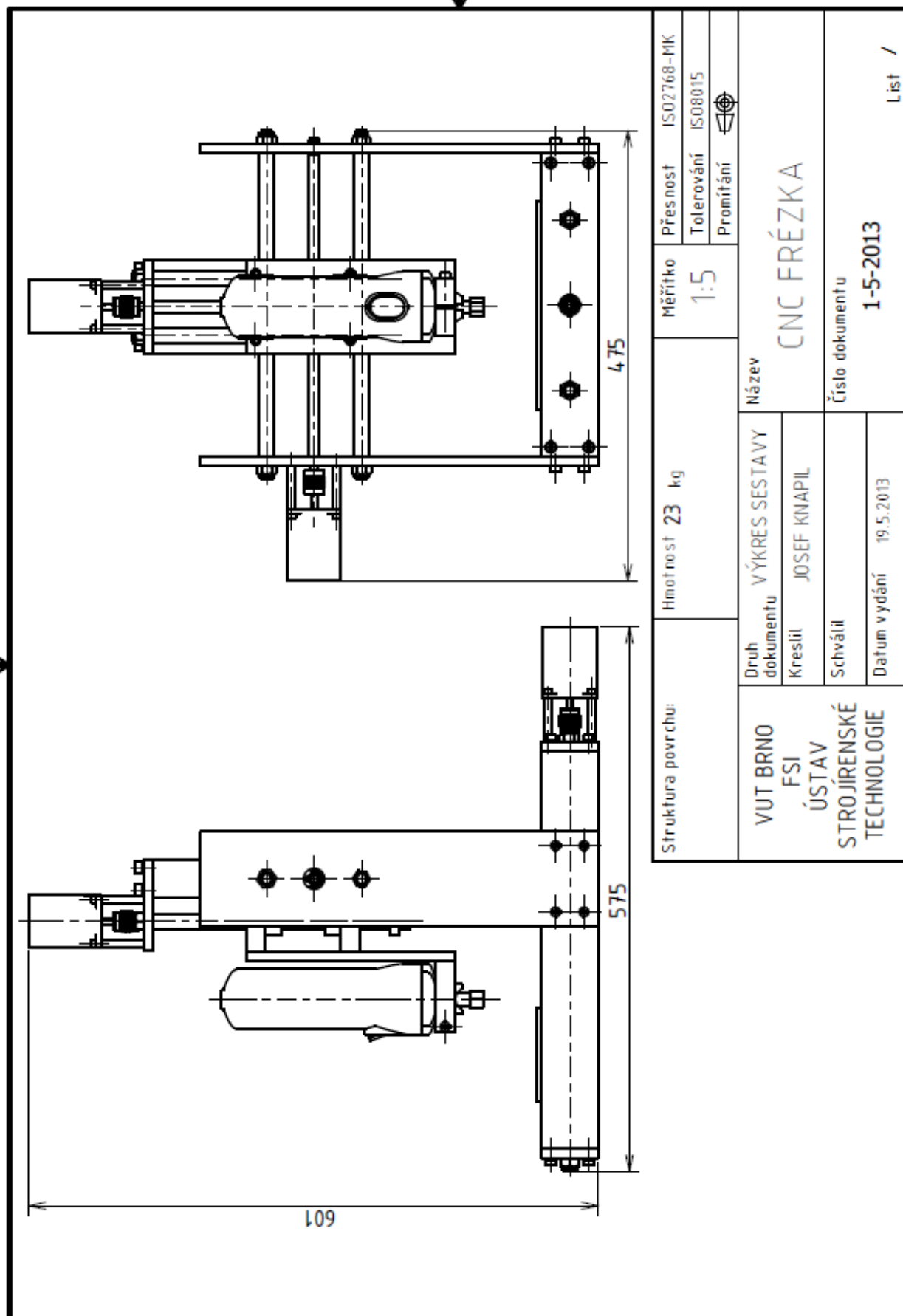
Symbol	Jednotka	Popis
D	[mm]	Průměr frézy
D_K	[-]	dělení kroku
K_O	[-]	počet kroků motoru na otáčku
P_J	[-]	počet pulzů generovaných Machem na jednotku dráhy pojezdu
S	[mm ²]	plocha výrobku
S_O	[mm ²]	plocha polotovaru
n	[min ⁻¹]	otáčky frézy
s	[mm]	stoupání závitu šroubu
v	[%]	využití polotovaru
v_C	[m·min ⁻¹]	řezná rychlost
π	[-]	Ludolfovo číslo

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres sestavy realizované CNC frézky
Příloha 2	Kontrolní výpočet průhybu nejdelší vodící tyče
Příloha 3	Parametry krokového motoru LDO 57STH6
Příloha 4	Parametry driveru krokových motorů
Příloha 5	Výkres žebra křídla modelu Cessena 172

PŘÍLOHA 1

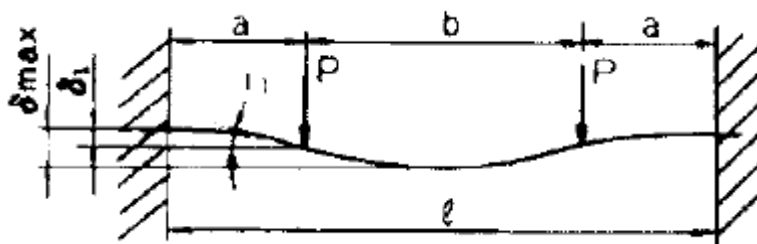
Výkres sestavy realizované CNC frézky.



PŘÍLOHA 2

Kontrolní výpočet průhybu nejdelší vodící tyče [20].

Výpočet je proveden podle katalogu Vodící tyče a kuličková pouzdra firmy T.E.A. TECHNIK .



Pro vodící tyč s pevnými konci zatížená podle obrázku platí následující vztah:

$$\delta_1 = \frac{Pa^3}{6EI} \left(2 - \frac{3a}{l} \right) \cdot C = 8Pa^3 \left(2 - \frac{3a}{l} \right) \cdot C$$

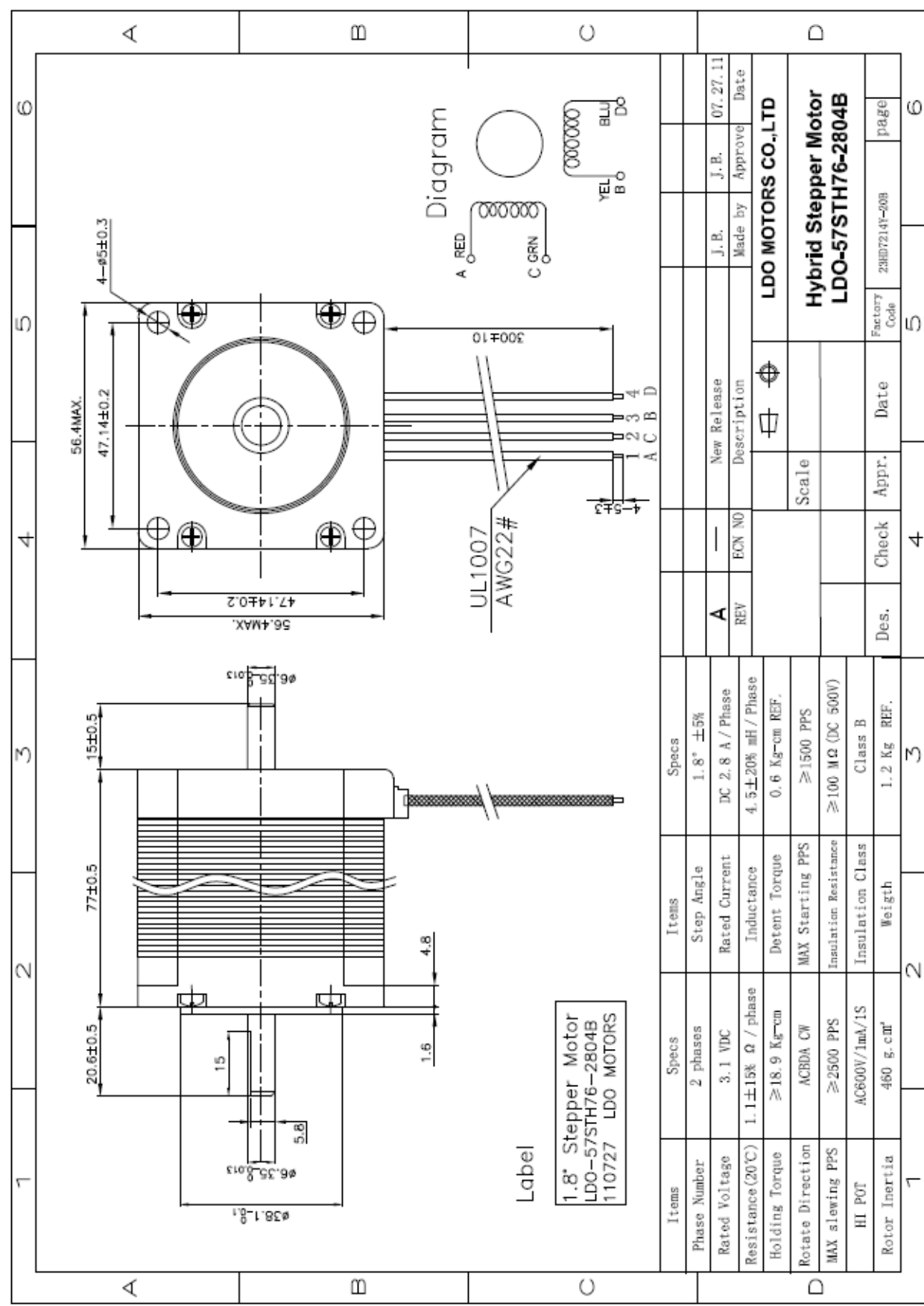
kde:	δ_1 [mm]	-	průhyb v místě působení zatížení
	P [kg]	-	bodové zatížení
	a [mm]	-	vzdálenost zatížení
	l [mm]	-	délka tyče
	EI [kg·mm ⁻²]	-	moment elasticity
	I [mm ²]	-	moment setrvačnosti
	C [kg ⁻¹ ·mm ⁻²]	-	1/48E·I

Pro počítanou tyč platí hodnota $C = 3,08 \cdot 10^{-10} \text{ kg}^{-1} \cdot \text{mm}^{-2}$

$$\delta_1 = 8 \cdot 2,5 \cdot 150^3 \left(2 - \frac{3 \cdot 150}{400} \right) \cdot 3,08 \cdot 10^{-10}$$

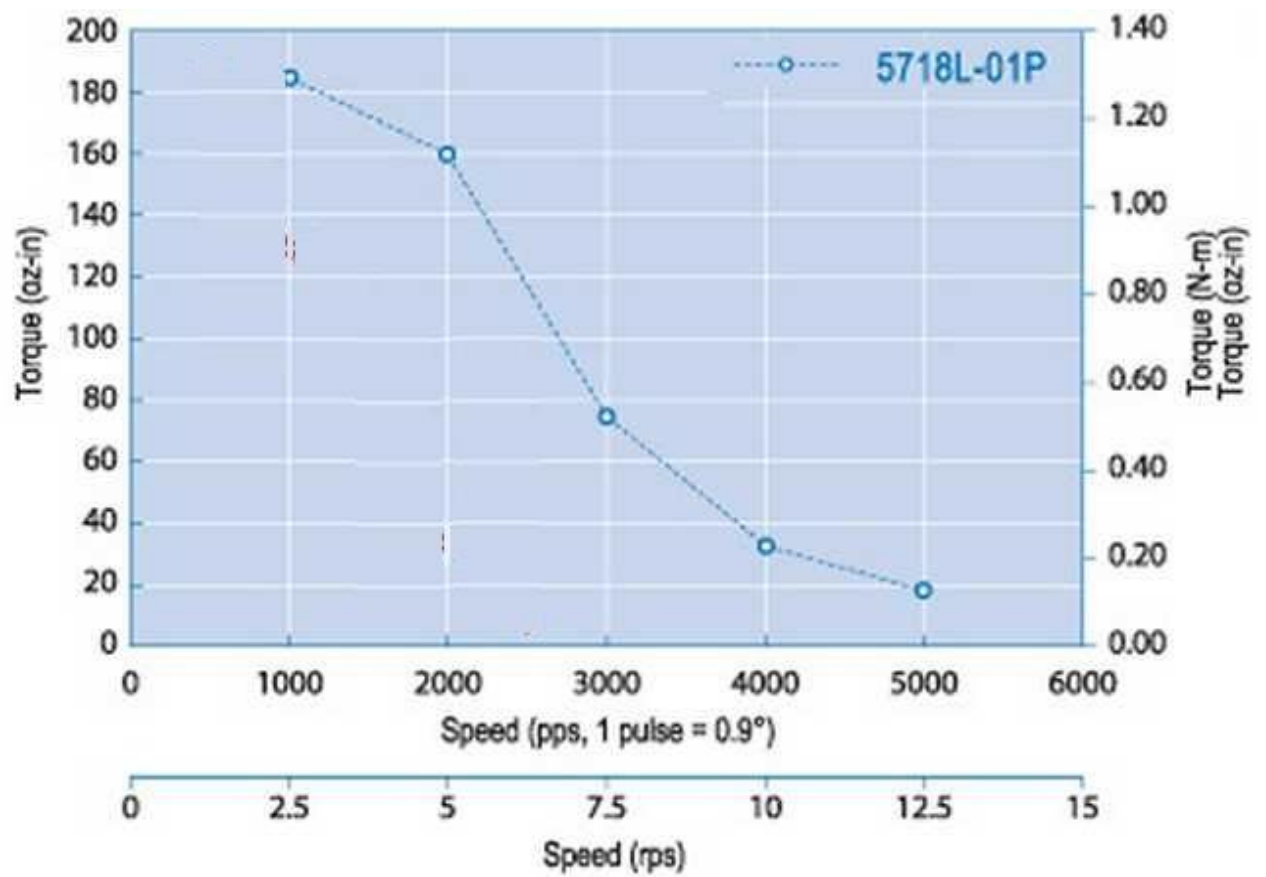
$$\delta_1 = 0,018 \text{ mm}$$

PŘÍLOHA 3 (1/2)
Parametry krokového motoru LDO 57STH6.



PŘÍLOHA 3 (2/2)

Graf závislosti krouticího momentu na otáčkách krokového motoru LDO-5718L



PŘÍLOHA 4

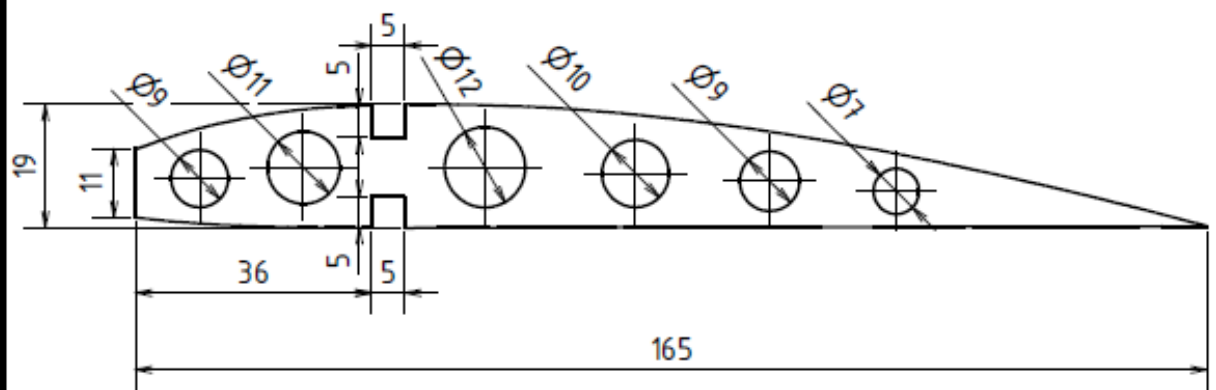
Parametry driveru krokových motorů.

TB6560 driver board 3 axis

- Toshiba TB6560AHQ chip - High power, maximum 3.5A drive current chipset !
- 1-1/16 microstep setting - Higher accuracy and smoother operation than standard 1, 1/2 step!
- Adjustable drive current settings for each axis - 25%,50%,75%,100% of full current can be set for different stepper motors
- Overload, over-current and over-temperature safety - Full protection for your computer and peripheral equipment !
- On board current switching - Power output can be set according to specific user requirement !
- Full closed-type optical isolation to protect the user's computer and equipment
- Relay spindle interface - Outputs Max. 36V 7.5A for spindle motors or coolant pump (only one device can be powered by this output!)
- 4 channel inputs interface- Can be used for XYZ limit and emergency stop !
- Professional design - Two stage signal processing with super anti-jamming !
- Bipolar constant current chopper drive with non-resonant region - Controls motors smoothly through range without creep effect !
- Four control inputs (divided into pairs of knives) - Allows setting of limit and emergency stop !
- Universal architecture - Supports most parallel software MACH3,KCAM4,EMC2 etc!
- Driver output compatible with 2 or 4 phase, 4,6 or 8 lead stepper motors, 3A max.
- Suitable for unipolar or bipolar stepper motors.
- Voltage regulated spindle speed controlled by parallel interface as function of supply voltage.

PŘÍLOHA 5

Výkres žebra křídla modelu Cessna 172.



Struktura povrchu:		Hrany:		MĚŘÍTKO 1:1		Přesnost		ISO2768-MK	
						Tolerování		ISO8015	
						Promítání			
Materiál		Položovar		Hmotnost 0,01 kg		CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016			
VUT BRNO FSI ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE		Druh dokumentu		VÝKRES SOUČÁSTI		Název ŽEBRO KŘÍDLA MODELU CESSNA 172			
		Kreslil		JOSEF KNAPIL					
		Schválil				Číslo dokumentu 2-5-2013			
		Datum vydání		19. 5. 2013					
List /									