

Vývoj hobby obráběcího stroje pro CNC frézování

Petr Schön

Bakalářská práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr Schön**
Osobní číslo: **T13113**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vývoj hobby obráběcího stroje pro CNC frézování**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte teoretickou studii na dané téma
2. Navrhněte vhodné prvky a vymodelujte sestavu CNC frézky
3. Provedte cenovou kalkulaci daného řešení a porovnejte s komerčně prodávanými stroji

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. ledna 2016

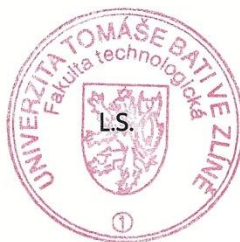
Termín odevzdání bakalářské práce:

20. května 2016

Ve Zlíně dne 3. února 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno:SCHÖN PETR.....

Obor: TECHNOLOGICKÁ ZARÍZENÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně ...21.4.2016...

.....Schön.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem hobby CNC frézky určené převážně k obrábění dřeva a ve výjimečných případech i k obrábění hliníku. V teoretické části práce je obecně probráno téma frézování, CNC obrábění a také je pojednáno o základních konstrukčních prvcích CNC frézek. Praktická část této práce se zabývá samotným konstrukčním návrhem, jehož součástí je vymodelování sestavy stroje v softwaru SolidWorks. V závěru práce je provedeno ekonomické porovnání s komerčně prodávanými CNC stroji.

Klíčová slova: CNC, frézka, obrábění, vývoj, hobby

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with engineering design of hobby CNC milling machine intended mainly for woodworking and exceptionally even for machining aluminium. In the theoretical part is generally discussed topic of milling, CNC machining and it also deals with the basic construction elements of CNC milling machines. The practical part of this work deals with engineering design, which includes the modeling of assembly in SolidWorks. In the end is made economical comparison with commercially sold CNC machines.

Keywords: CNC, Milling Machine, Machining, Development, Hobby

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Bílkovi Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a poskytnutou literaturu při vypracování této bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 FRÉZOVÁNÍ	13
1.1 DEFINICE A PRINCIP	13
1.2 ŘEZNÝ POHYB	13
1.2.1 Frézování sousledné	14
1.2.2 Frézování nesousledné	14
1.3 NÁSTROJE	15
1.3.1 Rozdělení.....	15
1.3.2 Obecná geometrie zubů frézy.....	17
1.3.3 Nástrojové úhly	17
1.3.4 Upínání nástrojů a obrobků.....	18
1.4 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY	20
1.4.1 Rychlořezné oceli	20
1.4.2 Slinuté karbidy	22
1.4.3 Povlakování.....	23
1.4.4 Keramické řezné materiály	24
1.4.5 Supertvrdé řezné materiály	25
1.5 STROJE	26
1.6 ŘEZNÉ PODMÍNKY FRÉZOVÁNÍ.....	28
1.6.1 Dosahované parametry	30
1.6.2 Příklad z praxe.....	31
1.7 VÝZNAM FRÉZOVÁNÍ.....	31
2 CNC OBRÁBĚNÍ	32
2.1 HISTORIE	32
2.1.1 Zrod prvního NC stroje	32
2.1.2 První CNC stroj.....	32
2.2 DEFINICE POJMU CNC.....	32
2.3 ROZDĚLENÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	33
2.4 VÝHODY A NEVÝHODY	34
2.5 SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM.....	35
2.5.1 Kartézský systém souřadnic	35
2.5.2 Polární systém souřadnic.....	36
2.5.3 Vztažné body.....	36
2.6 ZÁPIS PROGRAMU	36
3 ZÁKLADNÍ PRVKY CNC FRÉZKY	39
3.1 NOSNÁ SOUSTAVA.....	39
3.1.1 Pohyblivá část	40
3.1.2 Nepohyblivá část.....	40
3.2 VŘETENO.....	40
3.3 LINEÁRNÍ VEDENÍ.....	41
3.3.1 Vodící tyče nepodepřené.....	41

3.3.2	Vodící tyče podepřené.....	42
3.3.3	Prizmatické vedení	42
3.4	NÁHONY LINEÁRNÍCH VEDENÍ.....	42
3.4.1	Trapézový šroub.....	43
3.4.2	Kuličkový šroub	43
3.4.3	Ozubení řemen	43
3.4.4	Ozubení hřeben	44
3.5	POHONY	44
3.5.1	Krokové motory	44
3.5.2	Servomotory	44
3.6	ELEKTRONIKA	45
3.7	SOFTWARE	45
4	SHRnutí TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE.....	46
II	PRAKTICKÁ ČÁST	47
5	ÚVOD A ZÁKLADNÍ MYŠLENKY.....	48
5.1	ZÁKLADNÍ POŽADAVKY.....	48
5.2	MOŽNOSTI TRHU	49
6	KONSTRUKČNÍ NÁVRH.....	51
6.1	RÁM STROJE	51
6.1.1	Volba materiál rámu.....	51
6.2	LINEÁRNÍ VEDENÍ.....	53
6.2.1	Možné druhy lineárních vedení.....	53
6.2.2	Volba vedení	53
6.3	POHYBOVÉ ŠROUBY.....	54
6.3.1	Možné druhy pohybových šroubů.....	54
6.3.2	Volba pohybových šroubů	55
6.4	PRACOVNÍ STŮL.....	55
6.4.1	Možnosti výběru pracovního stolu.....	55
6.4.2	Volba pracovního stolu	56
6.5	VŘETENO.....	57
6.5.1	Možnosti volby vřetena.....	57
6.5.2	Volba vřetena	57
6.6	MOTORY	58
6.6.1	Servomotory	58
6.6.2	Krokové motory	59
6.6.3	Volba motorů	59
6.7	ELEKTRONIKA	61
6.7.1	Nabízené možnosti	61
6.7.2	Zvolené řešení	61
6.8	SOFTWARE	63
6.9	KONTROLNÍ VÝPOČTY	63
6.9.1	Kontrola šroubů zatížených hmotností rámu	64
6.9.2	Kontrola kuličkových šroubů na vzpěr	65
6.9.3	Kontrolní výpočet vřetena.....	66

6.10	SHRnutí KONSTRUKČNíHO NÁVRHU	67
6.11	SMĚR, KTERÝM BY SE MĚL VÝVOJ HOBBY CNC FRÉZKY DÁLE UBíRAT	68
6.11.1	Řešení koncových spínačů	68
6.11.2	Řešení vedení kabelů.....	68
6.11.3	Návrh řešení utěsnění citlivých prvků.....	69
6.12	VYMODELOVÁNí SESTAVY	70
7	CENOVÁ KALKULACE	71
7.1	POROVNÁNí S KOMERČNĚ PRODÁVANÝMI STROJI.....	73
	ZÁVĚR	75
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	76
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	80
	SEZNAM OBRÁZKŮ	83
	SEZNAM TABULEK.....	85
	SEZNAM PŘÍLOH.....	86

ÚVOD

Pro téma vývoje hobby obráběcího CNC stroje pro frézování jsem se rozhodl z toho důvodu, že se můj otec ve volném čase věnuje konstruování RC modelů letadel. Byl jsem tedy požádán, zda bych byl ochoten se této problematice věnovat ve své bakalářské práci.

CNC frézka by tedy měla urychlit, usnadnit a zpřesnit zhotovení dřevěných prvků letadla, například výrobu žeber v křídlech. Ve výjimečných případech by tato frézka měla sloužit také k obrábění hliníku. Při konstrukčním návrhu této hobby CNC frézky budou její navržené komponenty zohledněny jak z hlediska ekonomického, tak z hlediska jejich vlastní funkce a jakosti. Snahou tohoto konstrukčního návrhu bude získat dobrý poměr cena/výkon. Tento CNC obráběcí stroj by měl být cenově dostupný běžným uživatelům/modelářům. Navržený stroj by ale měl být také konkurenceschopný vůči komerčně prodávaným strojům, což bude v závěru práce ekonomicky vyhodnoceno. Konstrukční návrh této frézky bude vymodelován s prostředí softwaru SolidWorks. Tato sestava bude k dispozici k nahlédnutí na přiloženém CD disku.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 FRÉZOVÁNÍ

První použitelné stroje na frézování – frézky – byly zkonstruovány začátkem 18. století a dnešní podobu dostaly teprve koncem 19. století. Jsou to velmi výkonné stroje a po soustruzích jsou v průmyslu druhé nejrozšířenější. Frézují se obvykle rovinné či tvarové přímkové plochy. [1]

Lze také frézovat obecně tvarové plochy, například pomocí kopírovací frézky či NC a CNC frézky.

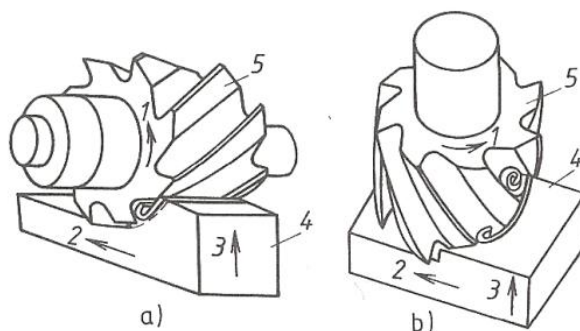
1.1 Definice a princip

Frézování je způsob obrábění rovinných nebo tvarových ploch, vnitřních nebo vnějších, vícebřítým nástrojem. [1]

Nástroj – fréza – je obvykle vícebřítý. Z hlediska chvění je výhodné, je-li v záběru s obrobkem více břitů současně. Při frézování koná nástroj hlavní řezný pohyb (otáčivý) a obrobek koná pohyb posuvný, obvykle přímočarý, někdy otáčivý, nebo obecný pohyb po prostorové křivce. [1]

1.2 Řezný pohyb

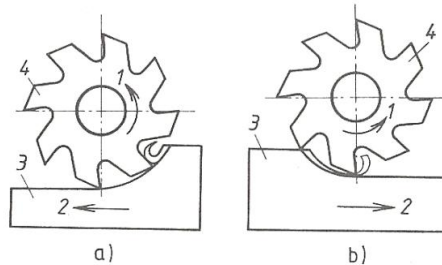
Řezný proces je přerušovaný, jednotlivé zuby nástroje postupně vcházejí a vycházejí z materiálu a odebírají třísku proměnného průřezu. Rozeznáváme dva základní způsoby frézování: frézování obvodem válcové frézy a čelem čelní frézy. [1]



Obr. 1. Frézování a) frézování válcovou frézou (obvodem) b) frézování čelní frézou (čelem) [5]

1 – hlavní (řezný pohyb), 2 – vedlejší pohyb (posuv), 3 – vedlejší pohyb (přisuv), 4 – obrobek, 5 – fréza

Při frézování válcovou frézou řeže fréza zuby na obvodě, při čelním frézování řeže současně zuby na obvodě a na čele. Řezný pohyb je složen z hlavního otáčivého pohybu frézy a vedlejšího přímočarého pohybu (posuvu) obrobku. Z hlediska pohybu nástroje a obrobku vůči sobě dále rozlišujeme frézování na sousledné a nesousledné. [1]



Obr. 2. Frézování a) nesousledné
b) sousledné [5]

1 – řezný pohyb, 2 – posuv, 3 – obrobek, 4 – fréza

1.2.1 Frézování sousledné

Fréza se otáčí ve stejném smyslu s pohybem obrobku. Tříška se tvoří od maximální tloušťky po minimální tloušťku při výjezdu zubu frézy ze záběru. Při sousledném frézování působí vodorovná složka síly ve směru posuvu a svislá složka přitlačuje obrobek ke stolu frézky. Zub frézy zabírá v místě maximální tloušťky třísky. [1]

Výhody:

- Vyšší trvanlivost břitu
- Menší potřebný řezný výkon
- Řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu, takže lze použít jednodušších upínacích přípravků
- Menší sklon ke kmitání
- Obvykle menší sklon k tvoření nárůstku
- Lepší jakost obrobeného povrchu

1.2.2 Frézování nesousledné

Fréza se otáčí proti smyslu s pohybem obrobku. Tříška se tvoří od minimální tloušťky po maximální tloušťku při výjezdu zubu frézy ze záběru. V případě nesousledného frézování zub frézy začne řezat až po dosažení určité tloušťky třísky, do té doby dochází pouze

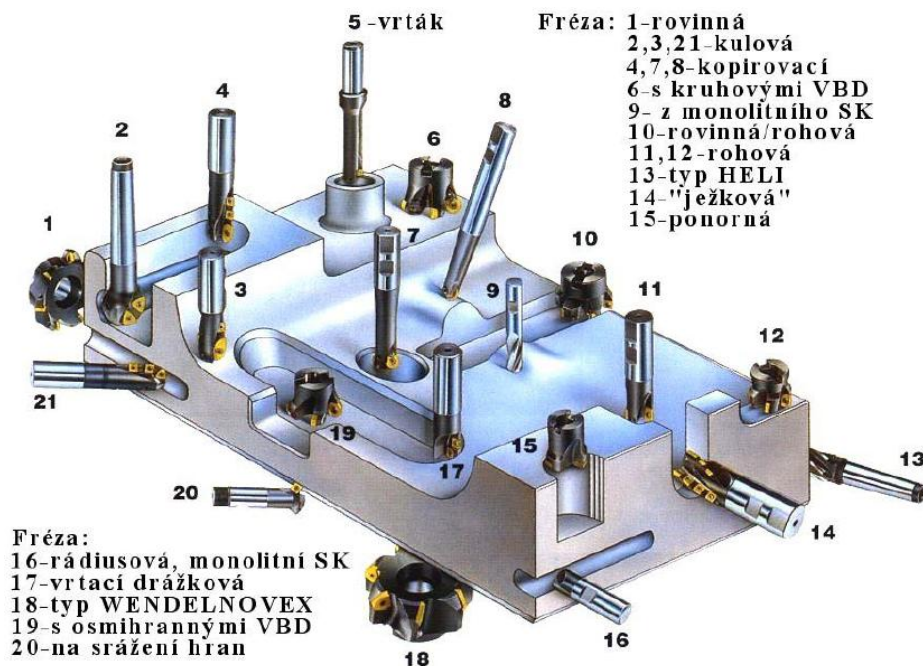
k pěchování materiálu a ke tření hřbetu o obrobek. Při nesousledném frézování působí vodorovná složka síly proti směru posuvu a svislá složka zvedá obrobek od stolu frézky.

Výhody:

- Trvanlivost nástroje nezávisí na okujích, písčitém povrchu obrobku apod.
- Není zapotřebí vymezování vůle mezi posuvovým šroubem a maticí stolu stroje
- Menší opotřebení šroubu a matice
- Záběr zubů frézy při jejich vřezávání nezávisí na hloubce řezu

1.3 Nástroje

Frézy jsou obvykle vícebřité nástroje, jejichž břity jsou rozmístěny na povrchu válcové, kuželové, nebo jiné rotační plochy. Osa rotační plochy je totožná s osou otáčení nástroje.



Obr. 3. Frézy firmy Walter (SRN) [20]

1.3.1 Rozdělení

Jednotlivé frézy můžeme z různých hledisek dělit do několika skupin – zejména podle umístění břitů, způsobu upínání, průběhu ostří, výroby zubů a konstrukce:

Podle umístění břitů:

- válcové – s břity na válcové ploše
- čelní – s břity na válcové a čelní ploše

- kotoučové – s břity na válcové a obou čelních plochách
- kuželové – s břity na jedné nebo dvou kuželových plochách
- tvarové – s břity na tvarových plochách, např.: zaoblovací frézy, frézy na závity, frézy na ozubení (odvalovací a modulové) apod. [1]

Podle způsobu upínání:

- stopkové – s kuželovou (kužel Morse či strmější ISO s větší kuželovitostí) nebo s válcovou stopkou
- nástrčné – upínají se na trn

Podle průběhu ostří zubů frézy:

- s přímým ostřím – mají zuby rovnoběžné s osou rotace frézy
- s šikmým ostřím – zuby jsou vůči ose otáčení frézy nakloněny pod určitým úhlem
- se šroubovitým ostřím – mají jednotlivé zuby rozloženy do tvaru šroubovice a mohou být pravotočivé nebo levotočivé. Vůči ose otáčení frézy má šroubovice sklon 10° až 45° . Výhodou je menší chvění nástroje.

Podle způsobu výroby zubů:

- s frézovanými zuby – zubové mezery se frézují kuželovými frézami
- s podsoustruženými zuby – hřbety zubů se obrábějí na tzv. podtáčecích soustružích a mají tvar Archimédovy spirály; používají se zejména u tvarových fréz [1]. Výhodou takto vyrobených zubů je, že se při ostření na čele jejich profil mění jen minimálně a proto se využívají zejména pro tvarové frézy.

Podle konstrukce:

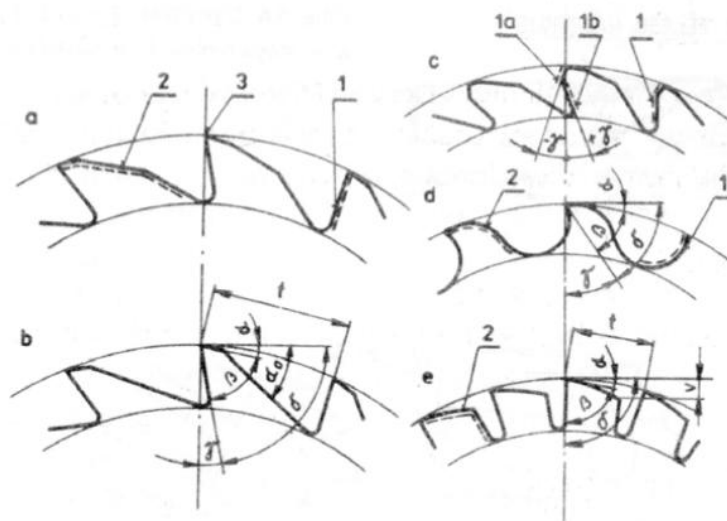
- celistvé (monolitní) – jsou vyrobeny z jednoho kusu
- s vyměnitelnými břitovými destičkami – mají zuby z rychlořezných ocelí, slinutých karbidů, příp. i z řezné keramiky nebo polykrystalického kubického nitridu boru [1]
- skládané – z více samostatných fréz – slouží pro frézování složitých tvarů [1]

Některé typy fréz z rychlořezných ocelí, zejména válcové a čelní frézy větších průměrů, se v poslední době již v podstatě nepoužívají. Tyto frézy jsou nahrazeny frézovacími hlavami s vyměnitelnými břitovými destičkami. Vysoce výkonné čelní frézy až do průměru kolem 25 mm se vyrábějí jako celistvé, ze slinutých karbidů nebo stelitů, metodami práškové metalurgie. [1]

1.3.2 Obecná geometrie zubů frézy

Fréza je nástroj, který je tvořen několika zuby. Každý zub můžeme chápat jako samostatný jednoduchý nůž. Pomocí toho si můžeme geometrii zubu snadněji popsat. Jednotlivé části této geometrie se tedy nazývají:

- čelo – plocha, po které odchází tříška z místa řezu.
- hřbet – plocha přikloněná k obrobené ploše.
- břit (ostří) – řezná hrana, vytvořená jako průsečnice plochy hřbetu a čela. Funkční část nástroje.
- špička – část ostří, která se nachází na spojnici vedlejšího a hlavního ostří.
- zábřit – úzká část hřbetu, která umožňuje zvýšení posuvu až na čtyřnásobek při zachování jakosti obráběného povrchu.
- předčelí – část zubu, která mění jeho geometrii.
- zubová drážka – prostor mezi zuby, kudy odcházejí třísky.
- rozteč – vzdálenost mezi dvěma ostřími zubů.



1 – čelní plocha zubu, 1a – podbroušení čelní plochy ($-\gamma$), 1b – kladná čelní plocha zubu, 2 – hřbetní plocha zubu, 3 – ostří, α – úhel hřbetu, α_0 – úhel odklonu hřbetu, β – úhel břitu, γ – úhel čela, δ – úhel řezu, t – rozteč zubů, v – výška podsoustružení

Obr. 4. Geometrie zubů frézy [21]

1.3.3 Nástrojové úhly

Základní geometrie zubů frézy je dána úhlem hřbetu α , úhlem břitu β a úhlem čela δ . Součet těchto tří základních úhlů je roven 90° . (Matematicky vyjádřeno $\alpha + \beta + \delta = 90^\circ$).

α – úhel hřbetu (alfa) je úhel, který svírá tečná rovina plochy hřbetu s rovinou hlavního ostří [2]. Zvětšením úhlu hřbetu je možno snížit tření hřbetu zubu vůči obráběné ploše. Velikost úhlu hřbetu má však své omezení, neboť by mohlo dojít k přílišnému zeslabování zubu a tedy i ke ztrátě jeho pevnosti.

β – úhel břitu (beta) je úhel, který svírá tečná rovina plochy čela s tečnou rovinou plochy hřbetu [2]. Jeho velikost je závislá na velikosti úhlu čela a úhlu hřbetu. Čím menší tento úhel je, tím snadněji vniká nástroj do materiálu. Avšak, je-li úhel břitu příliš malý, tak dojde ke snížení pevnosti břitu a také se břit snadněji otupí.

γ – úhel čela (gama) je úhel, který svírá tečná rovina plochy čela se základní rovinou [2]. Může být kladný nebo záporný (podbroušení čela). Zmenšováním úhlu čela narůstá řezný odpor.

δ – úhel řezu (delta) je úhel, který svírá tečná rovina plochy čela s rovinou hlavního ostří [2]. Úhel řezu je součet úhlu hřbetu a břitu ($\delta = \alpha + \beta$).

κ – úhel nastavení hlavního ostří (kappa) je úhel, který svírá rovina hlavního ostří se směrem posuvu nástroje [2]. Úhel nastavení hlavního ostří určuje tvar průřezu třísky.

κ' – úhel nastavení vedlejšího ostří (kappa') je úhel, který svírá rovina vedlejšího ostří se směrem posuvu nástroje [2]. Úhel nastavení vedlejšího ostří ovlivňuje kvalitu obrobeného povrchu. Snahou je, aby byl úhel nastavení vedlejšího ostří co nejmenší, avšak takový, aby nedocházelo k velkému tření mezi obrobeným povrchem a nástrojem.

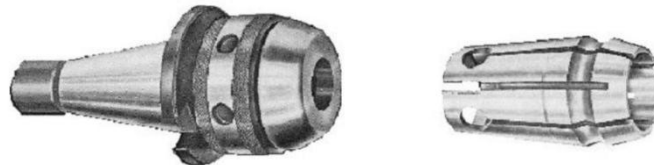
ε – úhel špičky nástroje (epsilon) je úhel, který svírá rovina hlavního ostří s rovinou vedlejšího ostří [2].

λ – úhel sklonu ostří (lambda) je úhel, který svírá tečná přímka ostří se základní rovinou [2]. Úhel sklonu ostří může být jak kladný, tak záporný. Při nulovém úhlu sklonu ostří se tvoří tříska, která se svinuje na čele nože do spirály. Při nenulovém úhlu sklonu ostří odchází tříska ve tvaru šroubovice.

1.3.4 Upínání nástrojů a obrobků

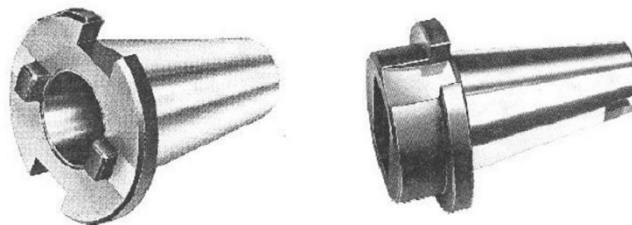
Frézy s válcovou stopkou se obvykle upínají do sklíčidla s upínací kleštinou. V dnešní době se však využívá i jiných způsobů. A to například upínání pomocí hydraulického či tepelného upínače.

Frézy s kuželovou stopkou ISO se upínají buď přímo do vřetene frézky, nebo se využívá redukčních pouzder. Tato pouzdra mají kuželovitý tvar. Vnější kužel stopky odpovídá kuželu v dutině pouzdra a vnější kužel pouzdra odpovídá kuželu v dutině vřetena. Upnutí frézy je tedy způsobeno třením, které je vyvoláno samosvorností kužele. Dutinou vřetene prochází šroub, který slouží k pojištění celkového upnutí. Krouticí moment se v tomto případě přenáší třením a unášecími kameny.



Obr. 5. Upínací pouzdro pro kuželovou stopku ISO [22]

Frézy s kuželovou stopkou Morse se upínají obdobně jako frézy se stopkou ISO. Upínají se tedy do vřetene frézky buď přímo, nebo pomocí redukčního pouzdra a rovněž jsou pojištěny šroubem jako frézy se stopkou ISO. Krouticí moment se v tomto případě přenáší pouze třením.



Obr. 6. Upínací pouzdro pro kuželovou stopku Morse [22]

Nástrčné frézy se upínají na trn. Trn je ukončen kuželem ISO nebo Morse, který přenáší točivý moment z vřetene třením a unášecími kameny. Točivý moment z upínacího trnu na frézu se přenáší perem nebo kameny. [1]



Obr. 7. Upínací trn [22]

Obrobek se upíná pomocí různých upínek, přípravků či svěráků na pracovní stůl stroje. Pro zachycení upínacích prvků nám slouží T drážky, které jsou vyfrézovány na pracovním stole. Hlavní prvek při upínání je upínací šroub pro T drážky, který vyvolává upínací tlak. Na

samotný způsob upnutí obrobku jsou kladeny následující požadavky. Upnutí obrobku musí být dostatečně tuhé, aby byla zaručena nehybnost obrobku a nedocházelo ke chvění obrobku. Zároveň však upínací síla nesmí být natolik velká, aby obrobek jakýmkoliv způsobem deformovala.

K upínání se používají:

- strojní svěráky ovládané ručně, pneumaticky nebo hydraulicky
- upínky se šrouby a opěrkami
- jednoúčelové upínací přípravky
- stavebnicové upínací přípravky

Při návrhu způsobu upnutí obrobku je také třeba zvážit, jakým směrem působí řezná síla, jakou má velikost a zda se v čase mění, či nikoliv.

1.4 Nástrojové materiály

Jelikož je nástroj při obrábění značně mechanicky i tepelně namáhán, musí být vyroben z takového materiálu, který má určité potřebné vlastnosti.

Požadované vlastnosti:

- tvrdost – aby docházelo k ubírání materiálu z obrobku, musí mít nástroj podstatně vyšší tvrdost než je tvrdost obráběného materiálu
- otěruvzdornost – odolnost vůči abrazivnímu opotřebení
- pevnost v tlaku a ohybu
- dobrá tepelná odolnost – během obrábění dochází velkému tepelnému namáhání

Dalšími požadavky na materiál, z něhož má být nástroj vyroben je také jeho nízká cena, dobrá obrobitelnost, atd.

Je ovšem nutno říci, že žádný z řezných materiálů není tak univerzální, aby byl vhodný pro obrábění všech druhů materiálů. Proto je nutné vždy zvážit výhody a nevýhody daného materiálu a najít vhodný kompromis.

1.4.1 Rychlořezné oceli

Rychlořezné oceli (známé také pod zkratkou HSS; z anglického high speed steel) patří mezi nejběžněji používané řezné materiály. Jsou to v podstatě slitiny nástrojových ocelí s určitým množstvím legujících prvků, které výrazně zlepšují jejich řezné vlastnosti.

Legujícími prvky jsou obvykle chrom (zlepšuje kalitelnost), vanad (zvětšuje odolnost proti opotřebení), wolfram (zvětšuje řezivost nástroje, jeho tvrdost a otěruvzdornost), molybden (má podobný vliv jako wolfram), mangan, nikl.

Podle daného obsahu a množství legujících prvků se dělí na rychlořezné oceli:

- pro běžné výkony
- výkonné
- vysoce výkonné – vyrobeny za pomoci práškové metalurgie

Optimální využití nástrojů z RO závisí také na použití vhodného řezného prostředí, tedy řezných emulzí a olejů. Rychlořezná ocel se používá také k výrobě tvarově složitých nástrojů a nástrojů, které jsou vystaveny rázům (např. u přerušovaného řezu). Rychlořezná ocel je houževnatá a v žíhaném stavu je poměrně dobře obrobitelná.

Pro obrábění se často využívá nástrojů vyrobených ze slinutých karbidů. Břítové destičky se na tělo nástroje připevňují buď mechanicky, nebo jsou na něm připájeny.

Dovoluje-li to konstrukce nástroje, pak je velmi vhodné použití vyměnitelných břítových destiček.

Při použití vyměnitelných destiček se zvýšenou a vysokou přesností, určených pro NC stroje, další seřizování zcela odpadá. Nevýhodou je nákladnější upínací zařízení a vyšší požadavky na organizaci údržby. [3]



Obr. 8. Vyměnitelné břítové destičky [23]

1.4.2 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy (dále jen SK) jsou nástrojové materiály vyráběné práškovou metalurgií z karbidů těžkých kovů: karbid wolframu (WC), karbid titanu (TiC), karbid tantalu (TaC) a nízkotavitelného slinovacla kobaltu. [2]

SK jsou směsí dvou a více fází, nikoliv slitinou. Dodatečné úpravy pomocí tepelného zpracování nelze provádět. Jelikož jsou SK velmi tvrdé, lze jejich tvary a rozměry upravovat broušením, lapováním či elektroerozivním obráběním a to pouze v omezené míře.

Veškeré požadované vlastnosti SK jako je tvrdost, houževnatost, odolnost proti otěru a jiné, lze ovlivnit použitým množstvím jednotlivých složek při samotné výrobě. SK mají daleko lepší odolnost proti otěru než rychlořezné oceli. A také jsou oproti rychlořezné oceli a slitinám Co-Cr-W mnohem tvrdší. Nevýhodou SK je jejich těžká obrobitelnost, křehkost a také mají sklon k vydrolování břitů.

Základní rozdělení slinutých karbidů vychází z hlediska řezného procesu a dle ISO se dělí na tři hlavní skupiny:

- Skupina P – slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající plynulou třísku
- Skupina M – slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající plynulou i krátkou třísku
- Skupina K – slinuté karbidy pro obrábění materiálu, dávající krátkou třísku

Tyto skupiny se dále dělí na podskupiny. Podskupiny jsou označeny dvoumístným číslem, které vyjadřuje houževnatost a odolnost vůči otěru. Podskupiny s vysokým číslem jsou u všech tří hlavních skupin druhy s malou odolností vůči otěru a velkou houževnatostí. U podskupin s nízkým číslem je tomu přesně naopak.

Velké frézovací hlavy a čelní válcové frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami vyžadují značně tuhé obráběcí stroje vysokých výkonů. Do frézovací hlavy lze též upnout jednu tzv. *hladící destičku* (má velmi malý úhel nastavení vedlejšího ostří), čímž se dosáhne i při hrubování poměrně velmi kvalitního povrchu. [1]

Tab. 1 Rozdělení slinutých karbidů

Hlavní skupina	Podskupina	Barva ČSN	Obráběný materiál	Houževnatost	Otěruvzdornost
P	P 01	Modř ultramarin světlá č. 4400	Pro obrábění materiálů dávajících dlouhou třísku. Ocel, litá ocel, temperovaná litina	↓	↑
	P 10				
	P 15				
	P 20				
	P 25				
	P 30				
	P 40				
P 50					
M	M 10	Žluť, chromová, tmavá č. 6400	Pro obrábění materiálů dávajících dlouhou i krátkou třísku. Ocel, litá ocel, manganové a austenitické oceli, šedá, temperovaná a legovaná litina, automatová ocel a oceli malých pevností	↓	↑
	M 15				
	M 20				
	M 30				
	M 40				
K	K 01	Červeň višňová č. 8300	Pro obrábění materiálů dávajících krátkou třísku. Šedá, tvrzená a kokilová litina, neželezné kovy, kalená ocel, plastické hmoty, dřevo	↓	↑
	K 05				
	K 10				
	K 20				
	K 30				
	K 40				
	K 50				

Od řezných nástrojů ze slinutého karbidu se vyžaduje, aby vykazovaly co největší otěrůvzdornost a současně i velkou houževnatost. Ideálním druhem by byla taková řezná destička, která by měla tvrdý otěrůvzdorný povrch a houževnaté jádro. Tomuto požadavku vyhovují vyměnitelné destičky ze slinutého karbidu s tvrdými povlaky karbidu titanu TiC, nitridu titanu TiN nebo oxidu hlinitého Al₂O₃. Povlaky mohou být jedno nebo vícevrstvé, s jedním nebo více komponenty. [3]

1.4.3 Povlakování

Povlaky se používají k výraznému zvýšení řezných vlastností (snížení tření, zvýšení tvrdosti, zvýšení odolnosti vůči otěru, zvýšení odolnosti vůči vysokým teplotám, zvýšení odolnosti vůči korozi a kyselinám). Povlaky také zaručují několikanásobně vyšší životnost nástroje. Některé z povlaků a metod povlakování si uvedeme níže:

PVD (physical vapour deposition) – metoda, při které se nanáší povlaková vrstvička odpařením z pevné fáze za teplot pod 600°C. Tato metoda se využívá k povlakování břitových destiček ze slinutých karbidů určených pro přerušovaný řez (frézování). Tloušťka této vrstvy je zhruba 2μm. Mezi základní druhy povlaků této metody patří:

- TiN (nitrid titanu) – tenký povlak odolný proti oxidaci, má zlatavou barvu. Vyniká houževnatostí, vysokou tvrdostí a je vhodný pro razníky, střížníky, vrtáky, frézy a další řezné nástroje.
- TiAlN (titan-aluminium nitrid) – tento povlak je vysoce otěruvzdorný. A přináší výborné výsledky i při suchém obrábění vysokými rychlostmi a posuvy, bez toho aniž by záleželo na tom, zda je nástroj vyroben z rychlořezné oceli nebo SK.
- TiC (karbid titanu) – extrémně tvrdý povlak, který je ovšem křehký. Využívá se jeho otěruvzdornosti. A používá se při výrobě nožů a cermetů, které se používají na strojích s vysokými řeznými rychlostmi.
- Al₂O₃ (oxid hlinitý) – tenká vrstva zaručující ochranu před oxidací.

CVD (chemical vapour deposition). Je to metoda při které se povlaková vrstvička za teploty nad 1000°C chemicky napařuje z plynné fáze. K výhodám této metody patří její výborná adheze mezi podkladem a povlakem, povlakování předmětů složitějších tvarů a variabilita typů povlaků. Jako nevýhodu lze považovat nemožnost povlakovat ostré hrany a tahové zbytkové pnutí v povlaku.

1.4.4 Keramické řezné materiály

Keramické materiály se nejčastěji vyrábějí práškovou metalurgií, slinováním lisovaných prášků do tvaru řezných destiček. Tyto destičky jsou rovněž jako slinuté karbidy náchylné na rázy, což znamená, že nejsou vhodné k obrábění přerušovaným řezem. Ve srovnání se slinutými karbidy jsou keramické materiály při stejné tvrdosti mnohem odolnější vůči otěru. Keramické řezné destičky se po otupení všech řezných hran (6 až 8) neostří, dále se nepoužívají a vyhazují se (recyklují). Keramickými řeznými materiály lze za vysokých řezných rychlostí úspěšně obrábět cementační oceli, nástrojové a rychlořezné oceli, šedou litinu a také tvárnou litinu.

Vlastnosti jako jsou tvrdost, pevnost a odolnost vůči rázům jsou u řezné keramiky závislé na velikosti zrn, jejich rozdělení a také hustotě. Konkrétněji, čím je hustota zrn vyšší a zároveň velikost zrn menší, tím jsou výše uvedené vlastnosti lepší.

Řezná keramika se podle určitých kritérií jako je chemické složení, vlastnosti a doporučené použití dělí do tří základních skupin. A těmi jsou čistá keramika, směsná keramika a keramika na bázi nitridu křemíku.

Čistá keramika obsahuje téměř sto procent korundu Al_2O_3 . Čistá keramika se používá nejčastěji pro dokončovací soustružnické operace za vysokých řezných rychlostí (např. finální soustružení šedé litiny, uhlíkových a nízkolegovaných ocelí). K čisté keramice se stále častěji přidávají různé přísady (např. kysličník zirkonu ZrO_2), které zvyšují její řezivost. Takto upravená bílá keramika se pak nazývá polosměsná keramika.

Směsná keramika obsahuje mimo korund Al_2O_3 také 20 až 40% přísady karbidu titanu TiC . Směsná keramika má oproti čisté keramice větší tepelnou odolnost a také odolnost vůči mechanickým rázům. Tento řezný materiál se používá pro frézování šedé litiny a oceli a také pro dokončovací soustružení zušlechtěných ocelí, cementačních ocelí a tvárné litiny.

Keramika na bázi nitridu křemíku se používá pro dokončovací i hrubovací obrábění šedé litiny. Má poměrně vysokou odolnost vůči mechanickým rázům a je tedy vhodná pro přerušované řezy. Díky své odolnosti vůči teplotním rázům je vhodná i pro soustružení žáropevných slitin.

Obecně je možno zhodnotit keramické řezné materiály jako materiály s vysokou odolností vůči abrazivnímu opotřebení, odolností vůči chemickým vlivům a vysokou odolností vůči poklesu tvrdosti při vyšších teplotách vzhledem k ostatním řezným materiálům. [3]

Na úspěšné použití řezné keramiky mají také vliv pracovní podmínky obrábění, dostatečně tuhé a výkonné stroje atd.

1.4.5 Supertvrde řezné materiály

V současné době se mezi perspektivní řezné materiály řadí, kromě řezné keramiky také tyto dva druhy syntetických řezných materiálů:

- polykrystalický kubický nitrid bóru
- polykrystalický diamant

Hlavní nevýhodou těchto materiálů jsou jejich vysoké pořizovací náklady. V dnešní době patří kubický nitrid bóru a diamant mezi nejtvrdější látky. Z toho důvodu se tyto látky a veškeré materiály, které tyto komponenty obsahují, nazývají jako supertvrde materiály.

Do skupiny supertvrdých materiálů patří:

- diamantové prášky
- prášky kubického nitridu bóru
- brousící kotouče obsahující tyto komponenty

- diamantové brousící pasty
- řezné nástroje osazené segmenty PKNB nebo PD
- orovnávače s práškovými komponenty kubického nitridu bóru nebo diamantu
- kompozitní materiály

Podmínkou reprodukovatelné syntézy diamantu je zvládnutí vysokotlaké aparatury k dosažení tlaků až 6GPa při teplotě nad 1500°C. Použitá technologie s aplikací vysokých bloků při přípravě polykrystalického diamantu se projevuje relativně vysokou cenou a omezenými rozměrovými možnostmi. Totéž platí i o slinutém prášku kubického nitridu bóru, kde je nutné vytvoření tlaku nad 5GPa, při teplotách přes 1400°C. Při slinování se tělíska prášku KNB za pomoci slinovací přísady upraví do žádaného tvaru, který se mechanicky opracovává na konečný požadovaný tvar řezné destičky. [3]

Polykrystalický diamant je doporučen pro obrábění všech neželezných kovů a nekovových materiálů jako např. sklolaminátu, výlisků plněných abrazivními plnidly, tvrdého kaučuku, grafitu, skla, atd. Z kovových materiálů je vhodný zejména k obrábění slitin hliníku, mědi a jejich slitin, obrábění titanu a jeho slitin. Perspektivní je jeho nasazení v oblasti obrábění dřeva. [3]

Nasazení řezných destiček z polykrystalického kubického nitridu bóru se předpokládá při soustružení tvrdých a žáruvzdorných materiálů, dále kalené oceli, nežíhané tvrdé litiny, nástrojů z kalených nástrojových ocelí, kobaltových a niklových slitin atp. Výhodné bude i jejich nasazení jako náhrady za broušení při dokončovacím obrábění, zejména z hlediska integrity takto obrobeného povrchu. [3]

1.5 Stroje

Frézovací stroje – frézky – se vyrábějí ve velkém počtu různých modelů, modifikací a velikostí. Rozděleny jsou obvykle do čtyř hlavních skupin - konzolové, stolní, rovinné a speciální. Z hlediska řízení pracovního cyklu pak můžeme frézky dělit na ručně ovládané a číslicově řízené.

Velikost stroje je určena velikostí pracovní plochy a velikostí kužele ve vřetenu pro upnutí nástroje. Celkové rozměry stroje závisí také na dalších technických parametrech, jako jsou otáčky vřetena a posuvů, výkon elektromotoru a také jakostní parametry u obrobených ploch (vliv tuhosti konstrukce stroje).

Konzolové frézky jsou nejčastěji používaným typem frézek. Po vedení stojanu stroje se pohybuje přestavitelná konzola. Na konzole je umístěn pohyblivý příčný stůl s podélným pracovním stolem, na který se upíná obrobek. Stůl má tedy příčný a podélný posuv. Konzola umožňuje vertikální pohyb stolu. Posuv obrobku je ve třech pravoúhlých souřadnicích umožněn pomocí šroubů a matic. Pohon posuvu není závislý na otáčkách vřeten, neboť je zajištěn obvykle samostatným motorem s převodovkou. Konzolové frézky se dále dělí na vodorovné, svislé, nebo univerzální.

Vodorovné konzolové frézky mají vřeteno uloženo vodorovně, tedy rovnoběžně s plochou podélného stolu. Frézují se na nich zejména drážky pomocí kotoučových či tvarových fréz. Nebo i jiné složité tvary skládanými frézami, například ozubená kola.

Svislé konzolové frézky mají osu pracovního vřeten kolmou na plochu pracovního stolu frézky. Vřeteno je uloženo buď ve svislé hlavě, která může být kolem vodorovné osy nakloněna o $\pm 45^\circ$. Na svislých frézách se frézují zejména rovinné plochy a drážky čelními frézami a stopkovými frézami. Na větších svislých konzolových frézách se pak používají frézovací hlavy.

Univerzální konzolové frézky jsou to v podstatě vodorovné konzolové frézky, s tím rozdílem, že mají pracovní stůl, který umožňuje natočení o $\pm 45^\circ$.

Nástrojařské frézky se také řadí mezi skupinu konzolových frézek. Ty umožňují frézovat plochy skloněné pod různými úhly a vyrábět tak složité obrobky, jako např. řezné nástroje, formy apod. Stůl těchto frézek se kromě běžných pohybů, může otáčet kolem svislé a vodorovné osy. Vřeteník je uložen v posuvném rameni. Pracovní hlava s vřetenem se může natáčet kolem vodorovné osy. K těmto frézám se dodává bohaté příslušenství pro upínání nástrojů a různá přídatná zařízení. [1]

Kopírovací frézky slouží k obrábění složitých prostorových tvarů podle předem připraveného modelu. Mohou to být buď speciálně upravené běžné konzolové frézky, jejichž jeden nebo dva pracovní pohyby jsou ovládány kopírovacím zařízením, nebo jsou to frézky speciálně pro tento účel vyrobené. Význam kopírovacích frézek se snižuje, jsou nahrazovány frézami s numerickým řízením. [1]

Rovinné frézky se liší od konzolových tím, že se pracovní stůl pohybuje pouze v podélném směru po pevném loži. Po svislém stojanu frézky se pomocí pohybového šroubu pohybuje vřeteník. Příčně se pohybuje nástroj vysouváním pinoly z vřeteníku. Rovinné frézky se vyrábějí s jedním vřeteníkem, nebo mohou mít druhý stojan s vřeteníkem na opačné straně

stolu. Vřeteníky jsou na sobě nezávislé a mají samostatnou převodovku i motor. Na rovinných frézách se obrábějí rovinné plochy větších součástí zejména frézovacími hlavami, čelními a kotoučovými frézami a skládanými frézami. [1]

Dále existují rovinné portálové frézky, speciální frézky určené pro speciální druh operace, frézky na drážky, frézky na vačky, pantografické frézky a jiné.

1.6 Řezné podmínky frézování

Volba řezných podmínek závisí na vlastnostech stroje, nástroje, obrobku i prostředí, ve kterém se obrábí, a také na požadované jakosti frézovaných ploch obrobku. Výrobci nástrojů uvádějí v příručkách a katalozích různá doporučení, kterými je vhodné se řídit. Orientační a doporučené řezné podmínky při frézování lze dohledat v literatuře. Otáčky vřeteně a rychlost posuvu stolu se volí na frézce. Ostatní hodnoty je nutno vypočítat pomocí příslušných vztahů.

Řezná rychlost v_c - vyjadřuje rychlost řezného pohybu v metrech za minutu. V podstatě se jedná o obvodovou rychlost frézy.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1)$$

D = průměr frézy [mm]

n = počet otáček vřeteně [min^{-1}]

V praxi se pak z řezných normativů nejprve určuje optimální řezná rychlost, podle které se vypočítají potřebné otáčky a nejbližší nižší se nastaví na stroji. Díky tomu se pak skutečná řezná rychlost od optimální řezné rychlosti liší.

Posuv na otáčku f_{ot} - je dráha v mm, kterou urazí obrobek za jednu otáčku frézy

$$f_{ot} = \frac{f_{\min}}{n} \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

f_{\min} = minutový posuv [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]

n = počet otáček vřeteně [min^{-1}]

Posuv na zub f_z - je dráha v mm, kterou urazí obrobek za záběr jednoho zubu.

$$f_z = \frac{f_{ot}}{z} = \frac{f_{\min}}{n \cdot z} \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

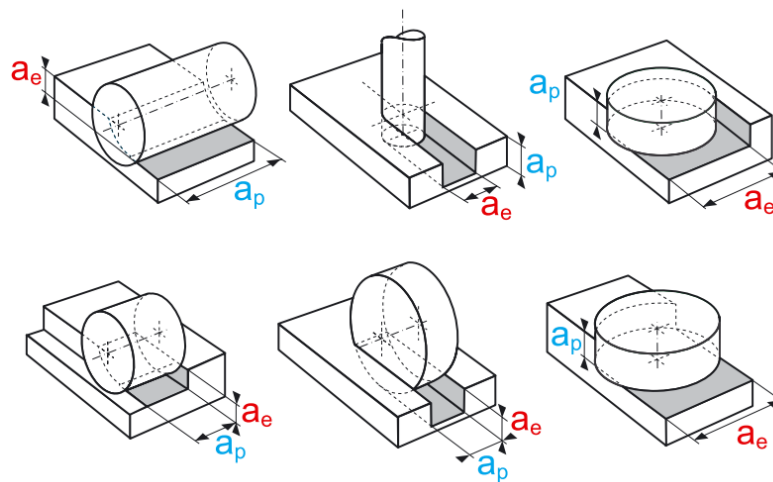
f_{ot} = posuv na otáčku [mm.ot⁻¹]

f_{min} = minutový posuv [mm.min⁻¹]

n = počet otáček vřetene [min⁻¹]

z = počet zubů [-]

Hloubka řezu se u frézování dělí na axiální hloubku řezu a_p , která se měří ve směru osy rotace frézy. A na radiální hloubku řezu a_e , která se měří v rovině kolmé na osu frézy. Obvykle to tak bývá šířka frézované plochy. Viz obr. 9.



Obr. 9. Hloubky řezu při frézování [20]

Průřez třísky A - je průřez odebírané vrstvy materiálu. Má vliv na velikost zatížení břitu a na celkovou velikost řezné síly.

$$A = f_z \cdot a_p \quad [\text{mm}^2] \quad (4)$$

f_z = posuv na zub [mm.zub⁻¹]

a_p = axiální hloubka řezu [mm]

Maximální průřez třísky A_{max} je odebírán jedním zubem frézy ve chvíli, kdy je hloubka řezu maximální a_{max} .

Průměrná tloušťka třísky

$$h_m = f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

f_z = posuv na zub [mm.zub⁻¹]

a_e = radiální hloubka řezu [mm]

D = průměr frézy [mm]

Objem odebíraného materiálu Q je jedním z hlavních kritérií při hodnocení ekonomiky řezného procesu.

$$Q = \frac{a_p \cdot a_e \cdot f_{\min}}{1000} \quad [\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}] \quad (6)$$

a_p = axiální hloubka řezu [mm]

a_e = radiální hloubka řezu [mm]

f_{\min} = minutový posuv [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]

Potřebný výkon motoru P_c je výkon, který je nutno stroji dodat, aby bylo zaručeno, že dojde obrábění.

$$P_c = \frac{a_p \cdot a_e \cdot f_{\min} \cdot k_c}{60 \cdot 10^6 \cdot \eta} \quad [\text{kW}] \quad (7)$$

a_p = axiální hloubka řezu [mm]

a_e = radiální hloubka řezu [mm]

f_{\min} = minutový posuv [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]

k_c = měrný řezný odpor [MPa]

η = účinnost stroje [-]

1.6.1 Dosahované parametry

Souhrnně jsou dosahované parametry při frézování ovlivněny druhem obráběného materiálu, geometrií řezného nástroje, způsobem chlazení a mazání. A v neposlední řadě tuhostí obráběcí soustavy. Neboť v případě malé tuhosti obráběcího stroje, nástroje či upnutí obrobku nelze využít jeho maximální potenciál. V takovém případě bychom zbytečně vyráběli výrobky nekvalitní a nepřesné, byť bychom použili sebepřesnější a dražší nástroje. Což by vedlo k značně neekonomické výrobě. Přehled dosahovaných parametrů při frézování je uveden v následující tabulce.

Tab. 2 Dosahovaná drsnost a přesnost povrchu při frézování

Způsob frézování	Hrubování	Obrábění na čisto	Jemné obrábění
Drsnost povrchu Ra	6,3 až 25	1,6 až 6,3	0,8 až 1,6
Přesnost IT	10 až 13	8 až 11	7 až 8

1.6.2 Příklad z praxe

Obrábění materiálu 1.3343 s tvrdostí 60 ± 1 HRC vyrobeného technologií práškové metalurgie. Pro obrábění na stroji Röders RHP 800 byla použita vícezubá stopková fréza s rohovým rámusem o průměru 10 mm od firmy Voha. Přestože se jedná o dokončovací nástroj, lze jej využít i pro hrubování technologií HSC. [27]

Řezné podmínky při frézování oceli o tvrdosti 60 HRC				
Řezné podmínky	Příklad 1		Příklad 2	
	hrubování	dokončování	hrubování	hrubování
v_c	60 m.min ⁻¹	60 m.min ⁻¹	60 m.min ⁻¹	60 m.min ⁻¹
n	2 387 min ⁻¹	2 387 min ⁻¹	1 900 min ⁻¹	1 900 min ⁻¹
f_z	0,105 mm	0,105 mm	0,087 mm	0,131 mm
v_f	1 000 mm.min ⁻¹	1 000 mm.min ⁻¹	1 000 mm.min ⁻¹	1 500 mm.min ⁻¹
a_s	5 mm	<0,1 mm	5 mm	
a_p	0,3 mm	0,2 mm	0,15 mm	
T	40 min	65 min	1. průchod: 42 min 2. průchod: 23 min	9 min

Obr. 10. Řezné podmínky při frézování oceli o tvrdosti 60 HRC [29]

1.7 Význam frézování

Frézování se používá k výrobě tvarově složitých součástí, jako jsou například vstříkovací formy na plasty, nebo trvalé kovové slévárenské formy a jiné. V dnešní době se využívají zejména CNC frézky, které mohou mít až 5 os. Výhodou takovýchto frézek je možnost výroby tvarově velmi složitých součástí.

V oblasti třískového obrábění neustále dochází k různým inovacím (jak po stránce hardware, tak i softwaru), pracovní časy jsou stále kratší a přesnost vyšší.

2 CNC OBRÁBĚNÍ

Rozdíl mezi klasickým způsobem obrábění a CNC obráběním je právě ve způsobu, jakým je obráběcí stroj řízen. V klasickém pojetí obrábění se setkáme s ovládáním ručním, kdežto u CNC obrábění je stroj řízen číslicově počítačem, což vede k automatizaci výroby.

2.1 Historie

2.1.1 Zrod prvního NC stroje

První číslicově řízené stroje, tzv. NC stroje byli vyvinuty na počátku 50. let. Tento zrod je připisován Johnu T. Parsonsovi, který byl mechanikem a obchodníkem firmy Parsons Corp. zabývající se obráběním. Každý NC stroj je vybaven vlastním řídicím systémem, který obsahuje čtečku programu a dále logické obvody, které převádí údaje z programu na impulsy potřebné pro řízení jednotlivých částí stroje či nástroje. Program, který měli NC stroje vykonávat, byl v minulosti uložen na nosiči, jako je např. děrný štítek, děrná páska a magnetická páska. To umožnilo automatizaci výroby, která usnadňuje a urychluje produktivitu výroby zejména při velkosériové výrobě. V dnešní době se můžeme s NC stroji na některých pracovištích stále setkat, ovšem vývoj je neúprosný, a tak byli NC stroje vybaveny počítačem.

2.1.2 První CNC stroj

V roce 1972 vznikl první CNC řídicí systém, který se v dalších letech neustále vyvíjel, až dosáhl dnešní podoby. CNC stroje jsou dnes již vybaveny vlastním počítačem, který řídí výrobní proces. Dále také obrazovkou, která může sloužit nejen pro ovládání stroje, ale také pro grafickou simulaci sloužící k vizuální kontrole výrobního programu před vlastním zahájením obrábění. CNC stroje jsou samozřejmě vybaveny ovládacím panelem s klávesnicí pro zadávání dat a řízení stroje.

2.2 Definice pojmu CNC

Číslicovým řízením (často označovaným anglickou zkratkou CNC – Computer Numerical Control) rozumíme v širším slova smyslu činnost číslicového počítače pro řízení pohybu nástroje nebo obrobku definovanou rychlostí po dané trajektorii v prostoru nebo rovině. Při číslicovém řízení obráběcích strojů jde konkrétně o řízení procesu obrábění i pomocných funkcí na základě číselných údajů a příkazů. [4]

Všechny informace potřebné pro obrobení součásti jsou zaznamenány ve formě řady numerických znaků. Informacemi potřebnými k obrobení určité součásti jsou:

- informace určující rozměry součásti
- informace charakterizující různé funkce (posuv, otáčky, ...)
- pomocné informace (zapínání chladicí kapaliny, ...)

CNC obráběcí stroj je tedy stroj, který je číslicově řízen a konstrukčně uzpůsoben tak, aby pracoval v automatickém cyklu a měl automatickou výměnu nástrojů, případně obrobků. Číslicově řízené obráběcí stroje starších generací užívaly NC řídicí systémy, zatímco dnes jsou výhradně využívány CNC řídicí systémy. [4]

2.3 Rozdělení CNC obráběcích strojů

CNC obráběcí stroje lze rozdělit dle několika různých kritérií. Rozdělení podle jednotlivých kritérií si uvedeme níže.

Podle počtu technologických operací:

Toto kritérium se zaměřuje na to, zda je stroj pouze jednoúčelový, či se jedná o složitější obráběcí centrum.

- Jednoprofesní stroje jsou takové stroje, které jsou při jednom upnutí obrobku schopny vykonat pouze jeden druh operace (např. vrtání, soustružení, frézování, atd.).
- Víceprofesní stroje jsou takové stroje, které mohou při jednom upnutí obrobku vykonat více druhů operací. Tyto stroje se obvykle nazývají obráběcí centra.

Podle druhu operace:

Stroje můžeme dále dělit podle toho jaký druh operace je na nich vykonáván.

- frézování
- soustružení
- vrtání (včetně zahlubování, vyhrubování, závitování, vyvrtávání)
- broušení
- výroba ozubení (zejména odvalováním)

Podle počtu os:

CNC stroje lze také dělit podle toho, kolik mají současně řízených os.

- Jednoosé obrábění je takové obrábění, při kterém stroj vykonává svůj pohyb pouze v jedné ose. Jako příklad takového stroje si můžeme představit jednoúčelový vrtačí stroj.
- Dvousé obrábění je obrábění, při kterém stroj vykonává svůj pohyb ve dvou osách. Představitelem takového stroje je například soustruh, u kterého je hlavní rotační pohyb vykonáván sklíčidlem a nástroj se pohybuje ve dvou směrech, tedy ve směrech os X a Z.
Jako zajímavost si můžeme uvést 2,5osé obrábění. Jde o způsob frézování, při kterém fréza najede ve směru Z do určité hloubky a poté se pohybuje pouze ve směrech os X a Y.
- Třiosé obrábění je typické zejména pro frézování tvarově složitých součástí. Jde o způsob obrábění, při kterém hlavní rotační pohyb vykonává nástroj a stůl s obrobkem koná posuv ve směrech X, Y, Z.
- Pětiosé obrábění patří mezi nejmodernější druhy obráběcích center. Základní pohyb je zajištěn ve třech osách X, Y, Z. Zbylé dvě osy slouží k naklápění kolem os X a Y.

Jako další kritérium bychom si mohli uvést, zda se jedná o stroje určené pro tvrdou či pružnou automatizaci. Takováto a další podobná kritéria bychom mohli najít ještě několik.

2.4 Výhody a nevýhody

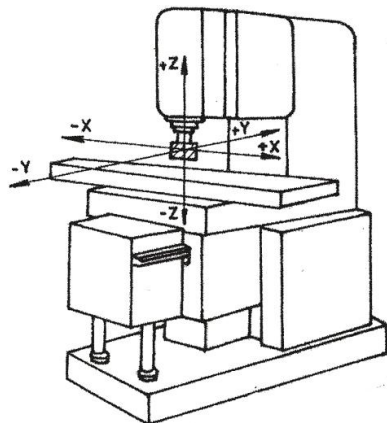
Výhody:

- Hospodárnost a produktivita
- Možnosti editace výrobního programu – kdykoliv jej můžeme upravit, přepsat, nebo uložit.
- Vyšší jakost výrobků – odpadají nepřesnosti způsobené ručním ovládním stroje.
- Možnost výroby tvarově složitých součástí – můžeme vyrobit součásti, které jsou popsány matematickými funkcemi.
- Kratší a přesné výrobní časy – výrobní čas závisí pouze na délce programu, nikoliv na obsluze. Výroba se tedy stává synchronnější a dá se přesněji plánovat.

Nevýhody:

- Vyšší nároky na počáteční investici a servis
- Nutná vyšší kvalifikace pracovníků

2.5 Souřadnicový systém



Obr. 11. Souřadný systém stroje [3]

2.5.1 Kartézský systém souřadnic

Abychom mohli správně popsat pracovní pohyby nástroje v prostoru (resp. definovat bod v prostoru), musí být nutně definován souřadný systém stroje a obrobku, a také vztah mezi nimi. Základní souřadná soustava je pravoúhlá pravotočivá a dopodrobna ji udává norma ČSN ISO 841 „Terminologie os a pohybů“. Jedná se o kartézský systém souřadnic. Tento souřadnicový systém je také známý pod názvem souřadnicový systém „pravé ruky“.

Podle pravidla pravé ruky směřuje kladná osa X ve směru palce, ukazovák ukazuje kladný směr osy Y a ohnutý prostředník kladný směr osy Z. Natočení kolem souřadných os X, Y, Z označujeme adresami A, B, C, přičemž kladný smysl natočení se řídí podle „pravidla pravochoďého šroubu“. [7]

Pravoúhlý souřadný systém je na stroj umístěn za dodržení několika pravidel:

- Vždy musí být definována osa X.
- Osa Z je totožná nebo rovnoběžná s osou hlavního pracovního vřetene.
- Osa X leží v upínací rovině obrobku, nebo je s ní rovnoběžná.
- Kladný smysl lineárních os je od obrobku k nástroji, tedy ve směru zvětšujícího se obrobku. [7]

Má-li stroj více než tři základní osy, pak zbylé osy označujeme U, V, W.

2.5.2 Polární systém souřadnic

Polární systém souřadnic se využívá u obrobků s více úhlovými rozměry. (Jako příklad si můžeme uvést vrtání otvorů umístěných na kružnici, obrábění vaček, atd.). Poloha nějakého konkrétního bodu je v tomto systému udávána pomocí úhlu φ a délky ramena r , jenž udává vzdálenost bodu od počátku souřadnic.

2.5.3 Vztažné body

Pro definování vzájemné polohy stroje, nástroje a obrobku je nutno znát i tzv. nulové a vztažné body.

Referenční bod stroje R je bod na stroji, který je přesně stanoven výrobcem. Nejčastěji to bývá nejdlehlší kout pracovního prostoru. Tento bod slouží k přesnému nastavení odměřovacího systému, neboť po zapnutí stroje nemá řídicí systém informaci o skutečné poloze v jednotlivých osách. To znamená, že aby stroj po zapnutí zjistil svou polohu, musí najet do referenčního bodu, protože poloha referenčního bodu vzhledem k bodu M je systému známa.

Nulový bod stroje M je počátkem souřadného systému pracovního prostoru stroje. Bod je pevně určen konstrukcí (většinou jako průsečík osy hlavního vřetena s upínací rovinou obrobku) a není možné jej měnit. Je to absolutní počátek souřadnic. [7]

U frézek je spojnice referenčního bodu R a nulového bodu stroje M úhlopříčkou pracovního prostoru stroje.

Nulový bod obrobku W lze nastavit v libovolném místě pracovního prostoru. Tvoří počátek souřadnicového systému obrobku. A jeho polohu si nastavuje programátor sám.

Bod špičky nástroje P je nutný v souvislosti, s určením korekce poloměru zaoblení ostří.

2.6 Zápis programu

Řídicí program je sestaven z několika bloků neboli vět. Každá z vět obsahuje geometrickou informaci a technologickou informaci. Geometrická informace slouží k přesnému definování trajektorie nástroje, kdežto technologická informace určuje rychlost otáček vřetene, atd. Každá věta se skládá ze slov. Slovo popisuje jeden příkaz a je složeno z adres a číselného kódu. Adresa určuje, kam bude informace směřována. Číselný kód určuje konkrétní hodnotu. Slovo může být rozměrové nebo bezrozměrové.

Význam adres přípravných a pomocných funkcí včetně rozsahu adres je uveden v následujících tabulkách. [3]

V tomto případě se jedná o nejpoužívanější programovací jazyk zvaný G-kód (ISO-kód). Programovacích jazyků CNC strojů existuje však více, ale z důvodu rozsahu této práce se o nich zmiňovat nebudeme.

Tab. 3 Význam adres

Adresa	Význam
A	počet pulsů 4. osy
D	průměr nástroje [mm]
F	rychlost posuvu [mm/min]
G	přípravná funkce
H	počet opakování, číslo vyžádaného souboru dat
L	adres bloku, podprogramu nebo výpisu
M	pomocná funkce
N	číslo bloku
O	číslo vstupní linky
P	číslo výstupní linky
R	poloměr kruhového oblouku [mm]
S	otáčky vřetene [1/min]
T	čas [s], číslo nástroje
W	hloubka řezu nebo vrtání [mm]
X	posuv v ose X [mm]
Y	posuv v ose Y [mm]
Z	posuv v ose Z [mm]
%	programová oblast

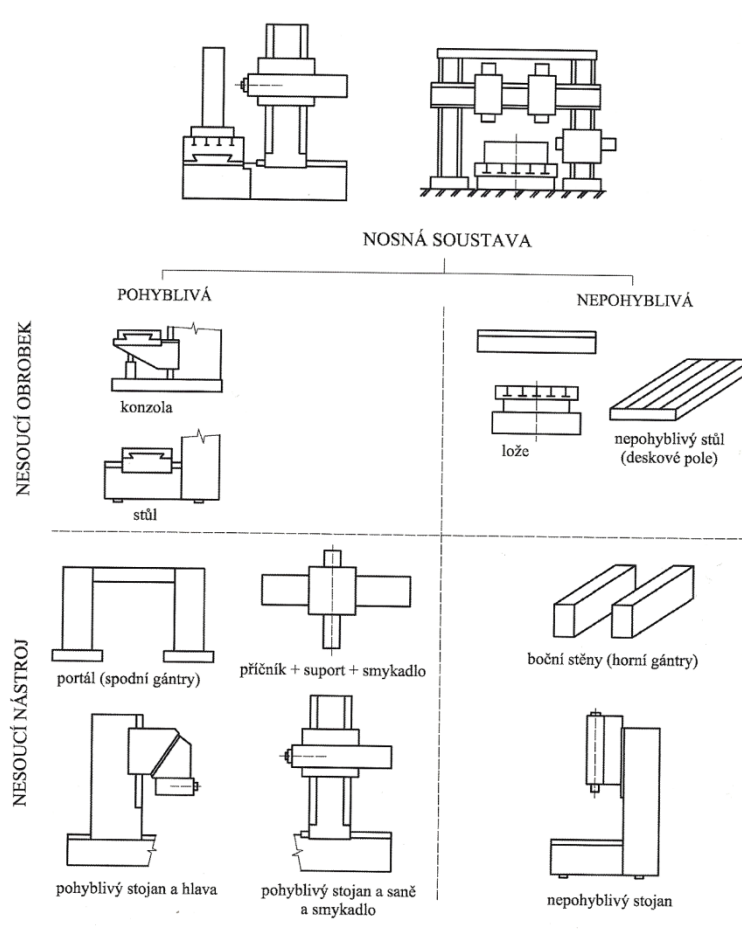
Tab. 4 Seznam pomocných funkcí

Funkce	Význam
M00	programový stop
M01	podmíněný stop
M03	start vřetana doprava ve směru hodinových ručiček
M04	start vřetana doprava proti směru hodinových ručiček
M05	zastavení vřetena
M06	výměna nástroje
M17	konec podprogramu nebo cyklu
M20	výstupní signál
M21	konec výstupního signálu
M25	výstup souřadnic polohy
M29	výstup textového hlášení
M30	konec informace
M99	definice posuvu

Tab. 5 Seznam přípravných funkcí

Funkce	Význam
G00	rychlé polohování
G01	lineární interpolace
G02	kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G03	kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
G04	časová prodleva
G07	externí řízení dráhy
G08	funkce čtvrté osy
G17	volba roviny XY
G18	volba roviny XZ
G19	volba roviny YZ
G21	prázdný blok
G23	podmíněný skok
G25	skok do podprogramu
G26	programový cyklus
G27	programový skok
G28	přepnutí programové oblasti
G29	textová poznámka
G31	najetí na sondu
G40	zrušení korekce
G43	korekce kladná
G44	korekce záporná
G45	korekce kladná poloviční
G46	korekce záporná poloviční
G72	obdélníkový cyklus
G81	vrtací cyklus
G83	vrtací cyklus s výplachem
G85	vystružovací cyklus
G90	absolutní rozměry
G91	přírůstkové rozměry
G92	stanovení absolutních souřadnic polohy
G98	svislá konfigurace frézky
G99	vodorovná konfigurace frézky

3 ZÁKLADNÍ PRVKY CNC FRÉZKY



Obr. 12. Morfologie nosné soustavy CNC obráběcího stroje [4]

3.1 Nosná soustava

Jednou z hlavních částí, bez které by nebylo vůbec možné přesné dílce vyrábět je nosná soustava neboli rám stroje. Rám stroje slouží jako nosná konstrukce pro zbylé komponenty stroje. Celková přesnost vyráběných dílů na obráběcím stroji závisí zejména na tuhosti rámu. Při konstruování nosné soustavy je nutno zvážit několik hledisek a požadavků, jako je:

- Použití kvalitního materiálu rámu
- Dobrá statická tuhost
- Vyhovující dynamická a tepelná stabilita
- Umožnění dobrého odvodu třísek
- Jednoduchá a efektivní výroba

- Malá hmotnost
- Snadná manipulovatelnost
- Dobré uložení na základ [4]

Rám může být vyroben z oceli, litiny, slitiny, nekovových materiálů jako jsou různé kompozity, ale také žuly a různých kombinací materiálů. Nosnou soustavu můžeme rozdělit na pohyblivou a nepohyblivou.

3.1.1 Pohyblivá část

Mezi pohyblivé části nosné soustavy patří konzola a pohyblivý stůl, které nesou obrobek. Dále se mezi pohyblivé části nosné soustavy řadí portály, příčnický, suporty, smýkadla, saně, pohyblivé stojany atd.

3.1.2 Nepohyblivá část

Mezi nepohyblivé části nosné soustavy nesoucí obrobek patří lože, nepohyblivý stůl (deskové pole). Pro nepohyblivou část nesoucí nástroj pak může patřit nepohyblivý stojan.

3.2 Vřeteno

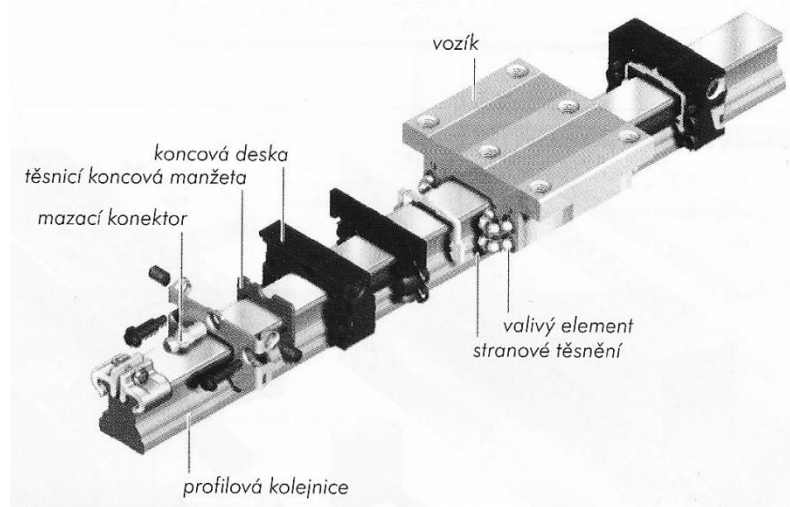
Vřeteno představuje další z důležitých komponent obráběcího CNC stroje. Vřeteno má za úkol zajistit dostatečné otáčky frézy resp. dostatečnou řeznou rychlost. Protože čím vyšší je řezná rychlost, tím se obráběcí časy zkracují, což vede k vyšší výrobě. Požadavky na vřeteno jsou:

- Dostatečná tuhost
- Schopnost zajistit dostatečné a stabilní otáčky



Obr. 13. Vysokootáčkové vřeteno o výkonu 800W od firmy Kress [24]

3.3 Lineární vedení



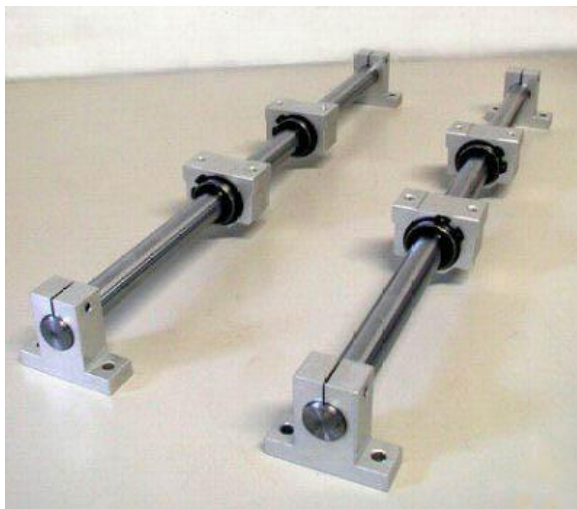
Obr. 14. Lineární vedení [4]

Vedení pohyblivých částí nosné konstrukce může být realizováno několika způsoby. Nejčastěji se jedná o tzv. lineární vedení. Požadavky na toto vedení jsou:

- Dostatečná tuhost
- Minimální tření
- Minimální vůle v ostatních směrech než ve kterém směru osy se vedení pohybuje

3.3.1 Vodící tyče nepodepřené

Nepodepřené vodící tyče patří mezi nejlevnější variantu vedení. Tyto tyče se používají k vedení tzv. domků, které v sobě obsahují ložiska. Jsou povrchově zakaleny a následně broušeny.



Obr. 15. Nepodepřené vodící tyče [25]

3.3.2 Vodící tyče podepřené

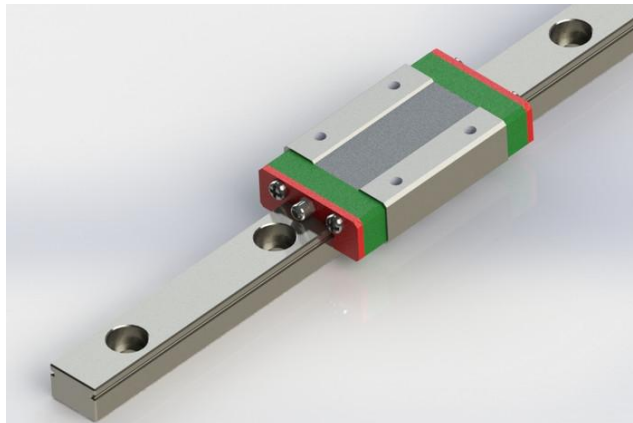
Rozdíl mezi vodícími tyčemi nepodepřenými a podepřenými je pouze v přítomnosti podpěr, které zajišťují větší tuhost konstrukce.



Obr. 16. Podepřené vodící tyče [25]

3.3.3 Prizmatické vedení

Prizmatické vedení je určeno pro stroje s maximálními nároky na přesnost a plynulost lineárního pohybu. Toto vedení zaručuje vysokou tuhost a přesnost. Vozíky takového vedení jsou obstarány valivými elementy, jako jsou kuličky či válečky.



Obr. 17. Prizmatické vedení [26]

3.4 Náhony lineárních vedení

Náhon vedení slouží k převedení rotačního pohybu hřídele (tyče) na přímočarý posuv stolu stroje. Dále budou uvedeny některé z konstrukčních řešení náhonů.

3.4.1 Trapézový šroub

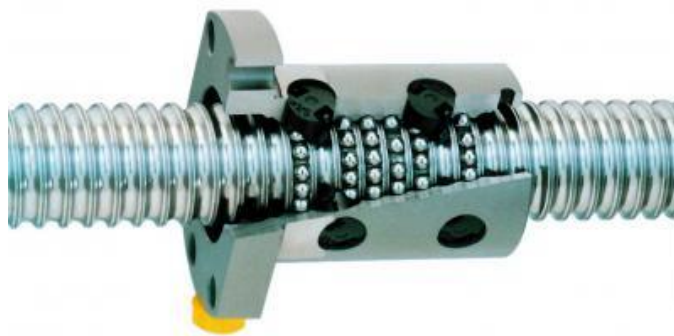
Trapézové tyče (šrouby) s maticemi patří mezi nejlevnější způsob zajištění posuvného pohybu stolu stroje. Jedná se o kluzné posuvné šrouby. Matice mohou být vyrobeny jak z oceli, tak z bronzu či různých termoplastů (není nutno mazat).



Obr. 18. Trapézový šroub [24]

3.4.2 Kuličkový šroub

Kuličkový šroub je dalším ze způsobů jakým se dá zajistit pohyb posuvných částí stroje. V tomto případě se v drážce mezi šroubem a maticí pohybují kuličky. Oproti trapézovému šroubu má kuličkový šroub mnohem nižší tření a tudíž k jeho rozpořehování stačí menší krouticí moment, což šetří spotřebu energie, kterou musí hnací motor dodat.



Obr. 19. Řez kuličkovým šroubem [27]

3.4.3 Ozubený řemen

Ozubený řemen patří mezi další způsoby zajištění pohybu stolu. Bývá vyroben z neoprenu, či jiných polymerních materiálů. Nevýhodou však je, že namáhá tyče na ohyb a také u něj může dojít k zapružení, což vede k nepřesnostem při obrábění.

3.4.4 Ozubený hřeben

Ozubení hřeben je víceméně podobný případ jako u ozubeného řemene. Opět tento způsob náhonu vedení namáhá hřídele na ohyb. Avšak oproti ozubenému řemenu je hřeben vyroben z kovu.

3.5 Pohony

3.5.1 Krokové motory

Krokový motor je synchronní motor, který je řízen impulsy stejnosměrného proudu. Tyto impulsy vyvolávají magnetické pole, které zajistí pootočení rotoru o určitý krok. Počet kroků závisí na jeho konstrukci, konkrétně je počet kroků dán počtem pólových dvojic. Výhodou krokových motorů je jejich cenová dostupnost a jednoduchost. Nevýhodou krokových motorů je, že nemají zpětnou vazbu. To znamená, že motor „neví“ v jaké poloze se nachází. Další nevýhodou je ztráta kroku při přetížení, tzv. zákmit.



Obr. 20. 2-fázový krokový motor firmy Leadshine Technology Co., Ltd. [24]

3.5.2 Servomotory

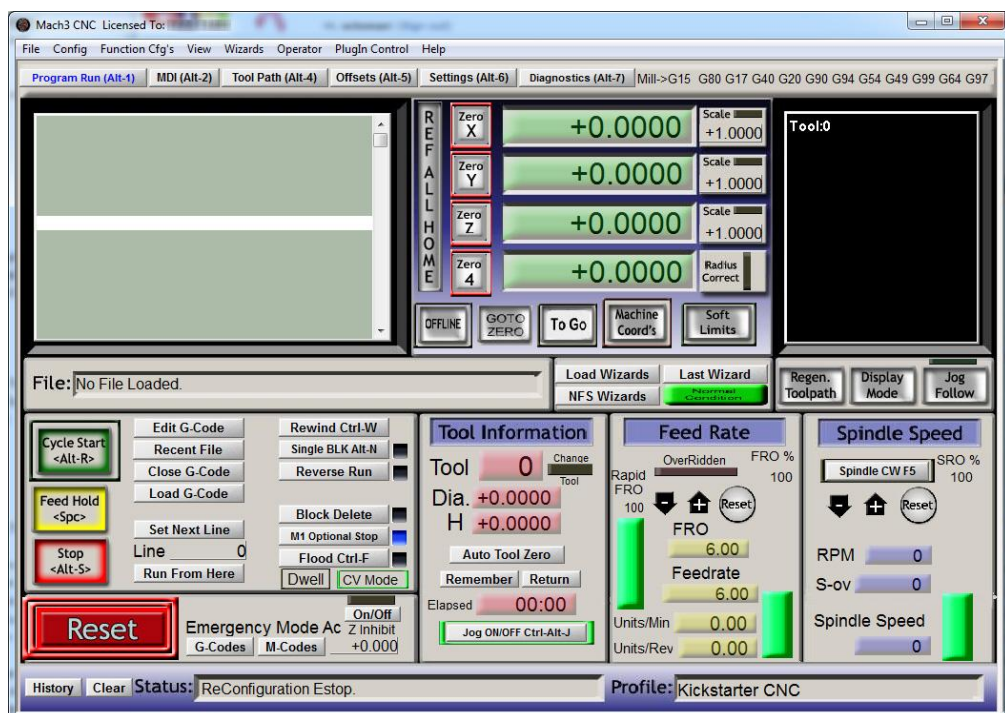
Servomotory jsou v podstatě motory – mohou být synchronní i asynchronní. Oproti krokovým motorům mají zajištěnou zpětnou vazbu, která snímá úhel natočení i otáčky. Výhodou servomotorů oproti krokovým motorům je ta, že mohou být dočasně několikanásobně přetíženy. Nevýhodou těchto motorů je však vysoká pořizovací cena.

3.6 Elektronika

Aby bylo možno obráběcí stroj řídit, je nutno ho opatřit elektronikou. K ovládání krokových motorů je tedy zapotřebí, aby byl stroj vybaven drivery. Dále je nutno mít počítač, ke kterému bude stroj připojen, a samozřejmě také napájecí zdroj. Mezi neposlední komponenty pak patří nejrůznější užitečné prvky typu nouzový vypínač a jiné.

3.7 Software

Pro programování a řízení CNC frézek je na trhu k dostání několik druhů softwaru. Software typu CAD (Computer Aided Design) či CAM (Computer Aided Manufacturing) nabízí několik firem. V případě, že máme na počítači vytvořený 2D či 3D model, je potřeba ho dále převést na něco, čemu bude stroj rozumět (např. G-kód). Takto převedený program na G-kód můžeme použít v obráběcím softwaru. Na trhu je k dostání několik druhů softwaru, placené verze, či zdarma. V této práci bude použit software Mach3, který je na internetu dostupný ke stažení zdarma.



Obr. 21. Prostředí softwaru Mach3 [28]

4 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE

V teoretické části této bakalářské práce bylo obecně probráno téma frézování a způsoby frézování. Byly probrány jednotlivé druhy strojů a nástrojů, nástrojové materiály a také byly probrány jednotlivé komponenty sloužící ke konstrukci CNC frézky.

Cílem praktické části práce je vlastní návrh konstrukčního řešení hobby CNC frézky, která by měla sloužit zejména k obrábění dřeva a v krajním případě i obrábění měkkých kovů (např. hliník). Tento návrh je vymodelován jako CAD sestava v softwaru SolidWorks. Jelikož se jedná o hobby stroj, který by měl být dostupný běžným uživatelům, je v konstrukčním návrhu kladen důraz i na ekonomické hledisko. V závěru práce je pak k tomuto konstrukčnímu návrhu hobby CNC frézky vytvořeno ekonomické zhodnocení a také porovnání s komerčně prodávanými stroji.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 ÚVOD A ZÁKLADNÍ MYŠLENKY

Pro konstrukci hobby CNC frézky jsem se rozhodl z toho důvodu, že se můj otec ve volném čase věnuje stavbě RC modelů letadel. Křídla letadel mají uvnitř dřevěná žebra, která se ručně zhotovují velmi pracně, a proto by tato hobby CNC frézka měla tuto práci urychlit a taky zpřesnit. Mimo jiné by se tato hobby CNC frézka dala využít také na gravírování plošných spojů, které využívám pro stavbu kytarových efektů.



Obr. 22. Frézování těla elektrické kytary [30]

5.1 Základní požadavky

Na obráběcí stroje obecně jsou kladeny určité požadavky jako:

- tuhost soustavy stroj – nástroj – obrobek (Což ovlivňuje celkovou přesnost obrábění.)
- rozměry (V případě hobby obráběcího stroje je nutno zvážit kde bude stroj umístěn. Mnohdy se stává, že majitelem hobby CNC stroje je člověk bydlící v menším bytě, a tak pro má takovýto stroj jenom omezený prostor.)
- obráběný materiál (zejména dřevo, výjimečně hliník)
- druh použitých vedení, motorů, včetně
- způsob upínání obrobků
- počet os (V našem případě postačí frézka tříosá.)
- cena obráběcího stroje (Čím nižší cena tím samozřejmě lepší. Cena stroje se odvíjí nejen od velikosti stroje, ale také od použitých komponent a jejich kvality.)

Pro přesné obrábění je tedy důležitá zejména tuhost stroje. Není-li stroj dostatečně tuhý, pak ani sebepřesnější a výkonný nástroj nezaručí dostatečnou přesnost při obrábění. Jelikož

má navrhovaná CNC frézka sloužit k obrábění dřeva a případně měkkých kovů, je důležité pro její konstrukci zvolit vhodný materiál. Zvolený materiál je tedy dural. Konkrétněji duralový plech/desky o tloušťkách 10 mm, 15 mm a 20 mm, ze kterých budou zhotoveny bočnice, deska pod pracovní stůl, základní deska, držáky pro motory, desky v ose X a Z, a také desky sloužící k vytvoření horního rámu stroje.

Požadovaná velikost pracovní plochy byla několikrát zvažována. Maximální rozměry žeber křídla letadla, které by se měly na tomto CNC stroji obrábět, jsou $300 \times 40 \times 5$ mm. Ovšem mě jakožto amatérského hudebníka (resp. kytaristu) zaujala idea toho, že by se na takovémto stroji dalo vyfrézovat tělo elektrické kytary. Rozměry těl elektrických kytar se pohybují maximálně v hodnotách $550 \times 350 \times 50$ mm. Z toho důvodu jsou po přičtení určité rezervy finální požadované rozměry pracovní plochy stroje $600 \times 400 \times 100$ mm.

5.2 Možnosti trhu

Na trhu je možno zakoupit stroje v řádu několika desetitisíců korun až po miliony korun. Cena těchto strojů je závislá nejen na použitých komponentech a rozměrech stroje, ale vypovídá také o celkové kvalitě zpracování. Komerčně prodávané hobby CNC stroje v naší kategorii (tedy stroje o pracovním prostoru $600 \times 400 \times 100$ mm a výkonu včetně 1 kW), se na trhu pohybují v rozmezí 55 000 Kč až 120 000 Kč, kde jsou mimo jiné k dostání i čtyřosé a pětiosé verze frézovacích CNC strojů.

Na trhu jsou ovšem k dostání i jednotlivé komponenty pro stavbu vlastního CNC stroje. Nákup jednotlivých komponent a stavba vlastního CNC pak samozřejmě vychází finančně výhodněji než nákup již hotového stroje od výrobce. Jednotlivé komponenty se dají zakoupit na internetu buď z ověřených e-shopů nebo na internetových aukčních serverech typu www.aukro.cz či www.ebay.com. Nespornou výhodou nákupu součástí z internetových aukcí (konkrétně z www.ebay.com) je jejich nízká cena a možnost sehnání komponent, které se v České republice shání buď obtížně, nebo nejsou v našich krajích k dostání vůbec. Mnohdy se také stává, že cena poštovního ze zahraničí je dokonce nulová (konkrétně tomu tak bývá u součástí objednávaných z Číny, Taiwanu a dalších asijských zemí, které vyváží své zboží ve velkých objemech na trajektech). Problémem takového nákupu je neúplná jistota obdržení objednané zásilky od uvedeného prodejce, či obdržení zboží v uváděné kvalitě. Každý takový prodejce pak dostává od svých zákazníků hodnocení, které poté slouží pro další zájemce jako zpětná vazba o tom, zda je onen prodejce spolehlivý či nikoliv. Nakupování zboží přes tyto aukční portály tedy funguje na jakési důvěře.

Ceny jednotlivých komponent se na internetu pohybují v určitých rozmezích. V tabulce, která je uvedena níže, jsou uvedeny ceny, v jakých se jednotlivé komponenty pro tuto konkrétní stavbu hobby CNC frézky pohybují. Ceny, které jsou v tabulce níže uvedeny, korespondují s cenami uvedenými na serverech www.cncshop.cz, www.cnc.inshop.cz, www.aliexpress.com, www.ebay.com.

Pro upřesnění zde uvádím, jak jednotlivé položky v tabulce chápat. Ceny lineárního vedení a šroubů v osách X a Y jsou uváděny pro předpokládanou délku 850 mm. Pro osu Z je předpokládaná délka vedení a šroubů 200 mm. Ve všech těchto případech (osách) platí, že cena lineárního vedení zahrnuje podepřené tyče (vodící tyče a kolejničky) s vozíky. Cena posuvných šroubů pak zahrnuje kuličkový šroub s maticí, držákem pro matici, ložiskový domek volný, ložiskový domek pevný a spojku. Rámem stroje je chápána nepohyblivá část stroje, která má za úkol sloužit jako pevná opora pro lineární vedení a také jako nosný prvek nástroje. Elektronika pak zahrnuje drivery potřebné k ovládní krokových motorů, oddělovací desku a zdroj.

Tab. 6 Zmapování nabídky trhu ke dni 28. 4. 2016

Položka		Cena [Kč]	
		min	max
osa x	lineární vedení	2 000	3 000
	pohybové šrouby	3 000	6 000
	krokový motor	1 000	3 000
osa y	lineární vedení	2 000	3 000
	pohybové šrouby	3 000	6 000
	krokový motor	1 000	3 000
osa z	lineární vedení	1 500	2 000
	pohybové šrouby	1 500	3 000
	krokový motor	1 000	3 000
Vřeteno		5 000	10 000
Rám stroje		10 000	20 000
Pracovní stůl s T-drážkou		5 000	8 000
Elektronika		8 000	20 000
Celkem		44000	90000

Z průzkumu trhu bylo zjištěno, že stavba hobby CNC frézky v naší kategorii (pracovní prostor 600 × 400 × 100 mm, 1 kW včetně) vyžaduje minimální investici 44 000 Kč. Podle kvality jednotlivých komponent však může sahát až do hodnoty 90 000 Kč a výše.

V další kapitole jsou dále podrobněji rozepsány informace o jednotlivých zvolených komponentech sloužících pro tuto konkrétní hobby CNC frézku.

6 KONSTRUKČNÍ NÁVRH

U konstrukčního návrhu, který je dále podrobněji rozepsán, bylo bráno na vědomí ekonomické hledisko (stroj by měl být cenově dostupný běžným lidem) s přihlédnutím na požadavek vyšší tuhosti stroje z důvodu případného obrábění měkkých kovů (např. hliník). Jedním z cílů tohoto návrhu je získat dobrý poměr cena/výkon.

Konstrukční návrh této hobby CNC frézky vychází z klasického konceptu portálových frézek. Tedy z takového druhu konstrukce, při níž se rám stroje nijak nepohybuje. Na tomto rámu jsou připevněna jednotlivá lineární vedení s posuvnými šrouby pro osu X a Z, která slouží k pohybu vřetena. Dále je u portálových frézek pohyblivá pracovní plocha, která se pohybuje pouze ve zbylé ose Y a slouží k posunu obrobku do požadované polohy.

6.1 Rám stroje

Na internetu je k vidění několik různých konstrukčních návrhů CNC frézek. Některé návrhy konstrukčních řešení se mi vůbec nelíbí, a to například u frézek, kde se celý horní rám pohybuje po nepodepřených tyčích uložených v čelní a zadní desce lože stroje. U takové konstrukce musí jednoznačně docházet ke chvění stroje, průhybu tyčí a dalším výrazným nepřesnostem při obrábění.

Rozhodl jsem se tedy pro volbu rámu stroje typu portálu, a to hlavně z důvodu zajištění vyšší tuhosti stroje. Rám stroje se skládá ze tří desek a dvou bočnic, které bude potřeba vyrobit. Základní deska má rozměry $850 \times 850 \times 20$ mm. Zbylé dvě horní desky mají rozměry $850 \times 210 \times 15$ mm. Dále se rám skládá ze dvou bočnic, které by se řezaly z jedné duralové desky o rozměrech $350 \times 460 \times 10$ mm.

6.1.1 Volba materiál rámu

U komerčních strojů se běžně setkáme s rámy a loži odlévanými z litiny, která disponuje vysokou tuhostí a je tedy nejlepším konstrukčním řešením. Pro hobby CNC stroj je však odlévání několika kusů ekonomicky nevýhodné a proto bylo potřeba sáhnout po alternativě. U hobby CNC strojů se tak běžně setkáváme s duralovou konstrukcí, která je ekonomicky dostupná a pro svůj účel dostatečně pevná.

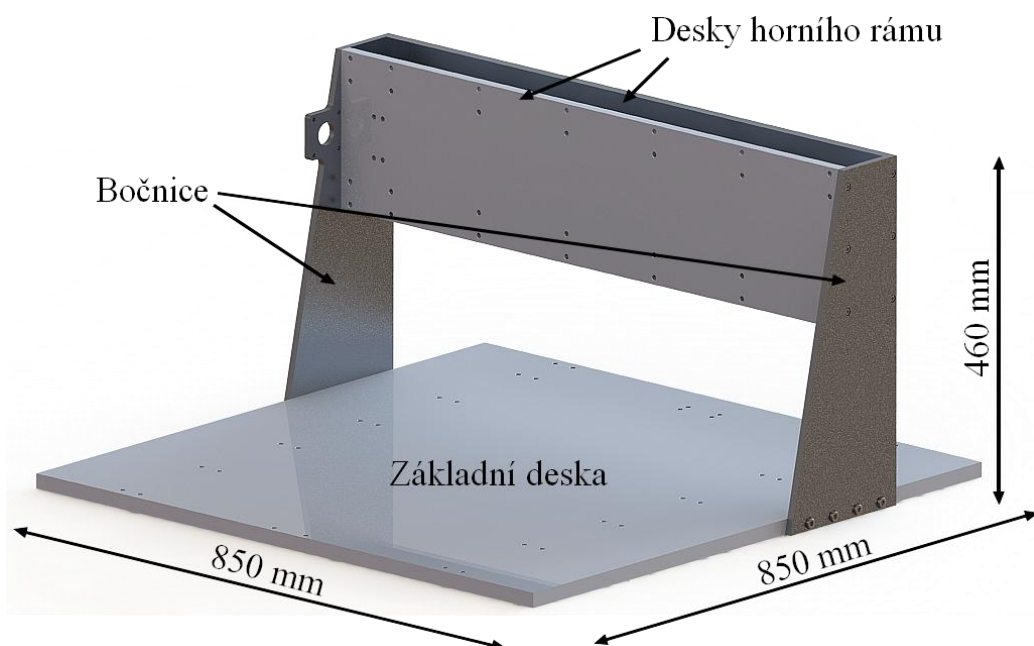
Pro všechny vyráběné desky byl tedy zvolen materiál označovaný evropskou normou jako EN AW 7075 nebo pod chemickým značením AlZn5,5MgCu, což je slitina hliníku běžně známá pod názvem dural. Vyznačuje se zejména vysokou pevností a velmi dobrou obrobi-

telností. Její charakteristické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce níže, přičemž technologické vlastnosti jsou hodnoceny známkami jako ve škole (1 = výborná, 5 = nedostatečná/špatná).

Tab. 7 Vlastnosti hliníkové slitiny AW 7075

Označení podle evropské normy		AW 7075	AlZn5,5MgCu
Označení podle německé DIN normy		3.4365	AlZnMgCu1,5
Minimální staticko-mechanické parametry			
Mez pevnosti	R_m [MPa]	360 - 540	
Mez kluzu	$R_{p0,2}$ [MPa]	220 - 460	
Tažnost	A_5 [%]	1 - 6	
Tvrdość dle Brinella	HBW $_{2,5/62,5}$	104 - 160	
Fyzikální vlastnosti			
Hustota	ρ [kg/m ³]	2 800	
Modul pružnosti	E [MPa]	71 000	
Technologické vlastnosti			
Obrobitelnost		1	
Vhodnost k erozivnímu obrábění		1	
Svařitelnost		5	
Odolnost proti korozi		5	

Cena tohoto materiálu se v dnešní době pohybuje v rozmezí od 150 Kč/kg do 200 Kč/kg. Na obrázku níže je vidět základní konstrukce rámu, na kterou jsou postupně uchyceny jednotlivé komponenty, které jsou popsány v dalších kapitolách.



Obr. 23. Navržený rám frézky

6.2 Lineární vedení

Lineární vedení je nedílnou součástí CNC stroje a má za úkol zajistit přesné vedení polohy pohyblivých prvků v jednotlivých osách. Existují tři základní druhy vedení, které je možno pro stavbu CNC stroje použít.

6.2.1 Možné druhy lineárních vedení

Nejjednodušším a také nejlevnějším druhem vedení je vedení pomocí nepodepřených tyčí. Na tomto druhu vedení se pohybují otevřené či uzavřené domky s kuličkovými ložisky. Nespornou výhodou nepodepřených tyčí je jejich pořizovací cena. Nevýhodou je však jejich nižší tuhost, a tak nejsou vhodným konstrukčním řešením pro stroje obrábějící kovy. Takový druh vedení bývá obvykle používán u jednoduchých nenáročných strojů, které slouží pouze k obrábění dřeva, nebo se jedná o stroje gravírovací.

Druhým způsobem jak zajistit vedení pohyblivých prvků stroje je použití podepřených tyčí. Cena podepřených tyčí je oproti nepodepřeným tyčím asi o 500 Kč za metr délky vyšší. Oproti nepodepřeným tyčím se liší v tom, že jsou po celé své délce podepřeny kolejnici, a tak vykazují vyšší tuhost. Používají se tedy pro CNC stroje, které již mohou obrábět nejrůznější kovy. Průměr tyčí se pohybuje od 10 do 30 mm. Poloha těchto tyčí vůči kolejnici je zajištěna pomocí šroubů, které jsou navrtány skrz oba díly ze spodní strany. Kolejnice je pak k rámu stroje potřeba sešroubovat. Z důvodu přítomnosti kolejnice, která slouží jako podpora, existují vozíky pouze otevřené. Tyto vozíky jsou v některých případech zkonstruovány tak, že se jejich vůle dá seřídít pomocí zapaštěného šroubu s vnitřním šestihranem.

Dalším konstrukčním řešením je volba prizmatického vedení. Jedná se o nejpřesnější způsob vedení. Vozíky prizmatického vedení jsou opatřeny odvalujícími se elementy, jako jsou kuličky, nebo válečky. Odvalující elementy zaručují vedení bez vůlí a také je díky nim zaručeno minimální tření. Nevýhodou prizmatického vedení je vysoká cena, která je oproti podepřeným tyčím asi třikrát vyšší.

6.2.2 Volba vedení

Pro stavbu této hobby CNC frézky je kvůli případnému obrábění měkkých kovů požadováno vedení s vyšší tuhostí. Prizmatické vedení by bylo pro účel tohoto hobby CNC stroje zbytečně nákladné, a tak z výše uvedených možností způsobu vedení bylo vybráno řešení pomocí podepřených tyčí. Z doporučení uvedených na stránkách www.cnc.inshop.cz bylo

zvoleno následující řešení. Pro osu X a Y budou použita vedení SBR-20 (průměr 20 mm, délka 850 mm), na kterých se budou pohybovat vozíky s označením SME-20. Tyto vozíky mají z boční strany zapuštěný šroub pro nastavení vůlí. Pro osu Z bude použito vedení SBR-16 (průměr 16 mm, délka 210 mm), na kterém budou vozíky s označením SBR16UU. Kolejnice tohoto vedení budou přišroubovány v závitových dírách, které bude potřeba vyřezat do základní desky. Vozíky budou v jednotlivých osách k deskám přišroubovány pomocí šroubů s vnitřním šestihranem (M5 v ose Z, M6 v osách X a Y), které budou mít své hlavy vždy v příslušné desce zapuštěny. Na obrázku níže je zobrazeno rozmístění jednotlivých vedení.



Obr. 24. Konstrukční návrh umístění podepřných tyčí s vozíky

6.3 Pohybové šrouby

6.3.1 Možné druhy pohybových šroubů

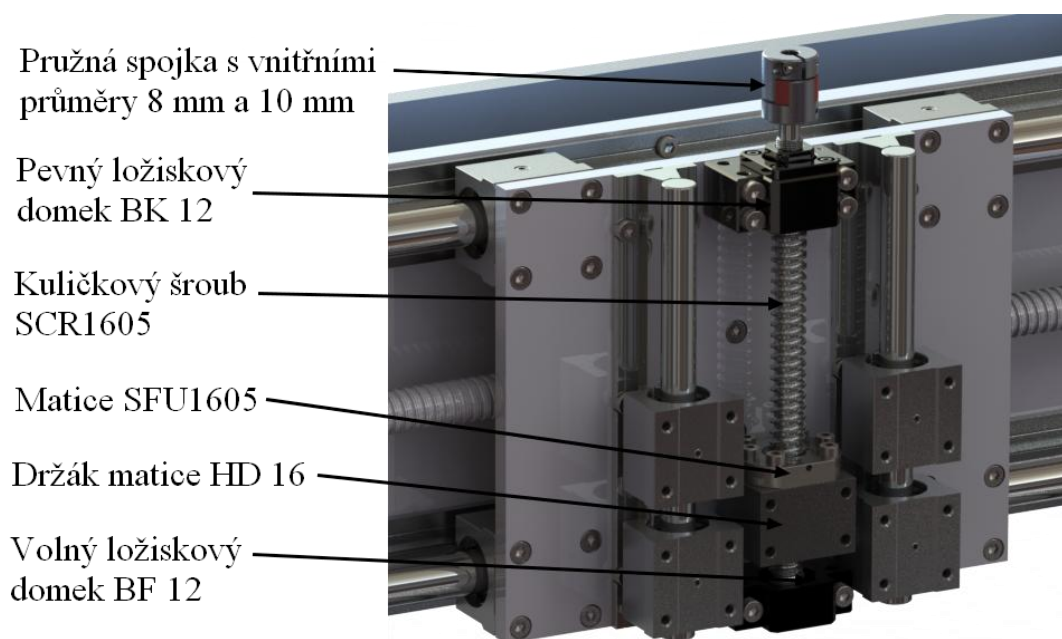
Posuv pohyblivých částí stroje může být zajištěn dvěma druhy šroubů, a to buď pomocí šroubů trapézových, nebo šroubů kuličkových. Trapézové šrouby jsou sice levnější variantou řešení, avšak oproti kuličkovým šroubům kladou při svém pohybu větší odpor a mají vůle, které je potřeba pro správný chod stroje seřadit. Jsou vhodné zejména pro obrábění měkkých materiálů, jako je dřevo a plasty.

Kuličkové šrouby patří mezi moderní řešení posuvu. V drážce mezi maticí a hřídelí se odvalují kuličky po uzavřené dráze. Díky odvalujícím se kuličkám je pohyb vykonáván bez vůlí a s minimálním třením. To zaručuje kuličkovým šroubům vyšší účinnost a tím nižší nároky na potřebný krouticí moment, který je dodáván z motoru. Nevýhodou kuličkových

šroubů je jejich vyšší cena, která se pohybuje v rozmezí 3 000 až 5 000 Kč za metr délky v závislosti na vybraném prodejci (od renomovaného prodejce je cena samozřejmě vyšší než z internetových aukcí).

6.3.2 Volba pohybových šroubů

Pro konstrukci hobby CNC frézky byly z důvodu případného obrábění kovů zvoleny šrouby kuličkové. Pro osu X a Y byly zvoleny šrouby o průměru 20 mm se stoupáním 5 mm. Pro osu Z byl zvolen šroub o průměru 16 mm se stoupáním 5 mm. Pohybová sestava šroubu musí obsahovat nejen samotný kuličkový šroub s příslušným opracováním konců, ale také matici, držák matice, pružnou spojku a ložiskové domky, v nichž bude šroub uložen. Šroub je tedy uložen v jednom pevném ložiskovém domku, který zachycuje axiální sílu a v jednom volném ložiskovém domku, který slouží pouze jako opora v radiálním směru. Z toho důvodu je pevný ložiskový domek přichycen čtyřmi šrouby a ne pouze dvěma, jak je tomu u volného ložiskového domku.



Obr. 25. Pohled na uložení kuličkového šroubu v ose Z

6.4 Pracovní stůl

6.4.1 Možnosti výběru pracovního stolu

U volby pracovního stolu bylo zvažováno několik řešení. Jedním z řešení by byla koupě ocelového stolu s vyvrtanými otvory pro upínání obrobku.



Obr. 26. Upínací stůl s otvory [31]

Jeho cena za rozměr $600 \times 400 \times 15$ mm činí ke dni 3. 5. 2016 na internetovém obchodu www.cncshop.cz 17 587 Kč, což je pro hobby CNC frézku nepřijatelná cena. Proto byl tento návrh zamítnut.

Dalším způsobem, který by vyřešil problematiku pracovního stolu, by byla koupě upínacího stolu s T drážkami.



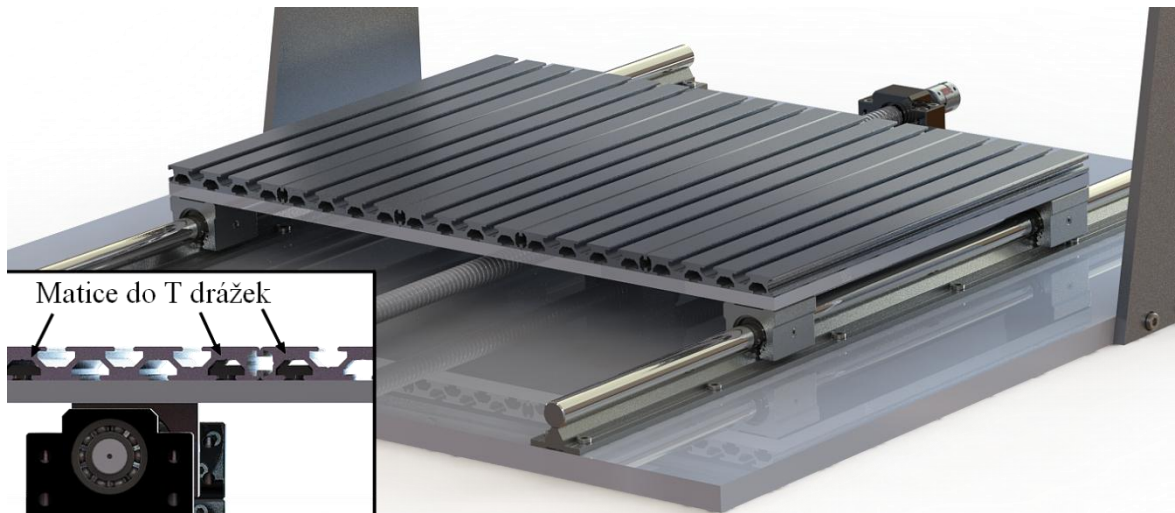
Obr. 27. Upínací stůl s T drážkami [32]

Je vyroben z litého hliníku a jeho horní a spodní plochy jsou broušeny s přesností $\pm 0,01$ mm. Jeho cena za rozměr $600 \times 400 \times 20$ mm je ke dni 3. 5. 2016 k dostání na internetovém obchodu www.cncshop.cz za cenu 7 690 Kč. Pro hobby CNC frézku je toto velmi vhodné řešení.

6.4.2 Volba pracovního stolu

Povedlo se vymyslet ještě o něco levnější řešení, než se nabízí v předchozích dvou možnostech, a to takové řešení, při kterém se využijí hliníkové profily od firmy Bosch Rexroth.

Konkrétně se jedná o hliníkový profil o rozměrech 15 × 120 mm s T drážkami o velikosti 8 mm. Na vozíky, které se pohybují v ose Y, bude pomocí zapuštěných šroubů přichycena deska o rozměrech 600 × 400 × 10 mm. Na této desce pak vedle sebe drží hliníkové profily pomocí matic s T drážkami tak, jak je vidět na obrázku níže. Šířka pracovního stolu je 600 mm, šířka profilu je 120 mm. Takže celkový počet hliníkových profilů je pět.



Obr. 28. Pohled na pracovní stůl zhotovený z pěti hliníkových profilů (v levém dolním rohu je vykreslen detail uchycení stolu pomocí matic do T drážek)

6.5 Vřeteno

6.5.1 Možnosti volby vřetena

Na trhu je k dostání mnoho různých druhů vřeten. Jedná se například o vřetena stejnosměrná, asynchronní a vysokorychlostní, což jsou vysoce výkonná vysokootáčková profesionální vřetena vyžadující přítomnost frekvenčního měniče. Pořídit si takovéto vřeteno pak vyžaduje investici v řádu několika desítek tisíc korun.

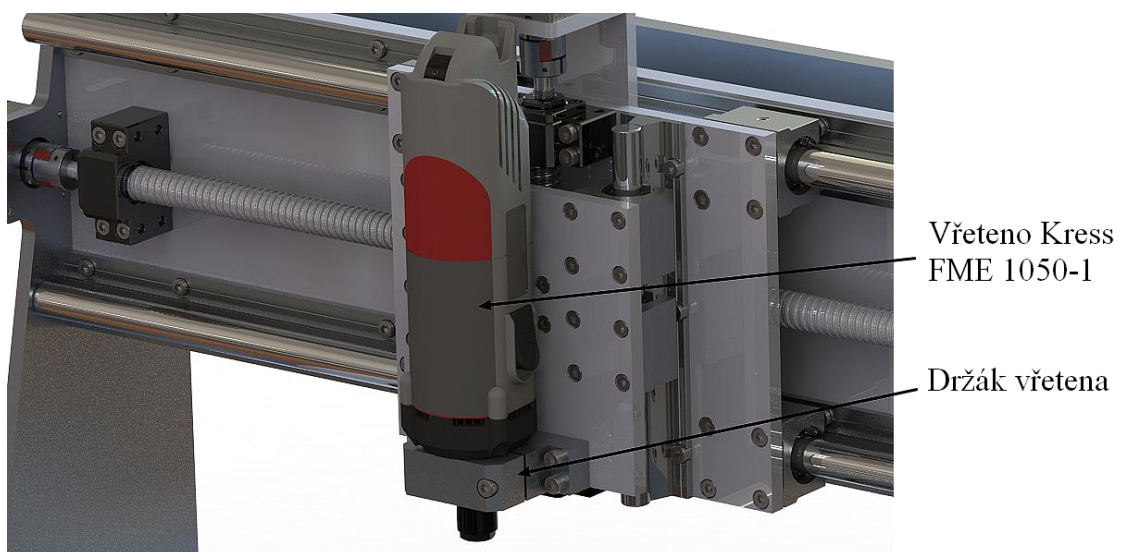
6.5.2 Volba vřetena

Pro účely hobby CNC frézky, které se tato práce týká, nám naprosto dostačuje vysokootáčkové vřeteno od firmy Kress-elektrik GmbH & Co. KG. Konkrétní označení tohoto vřetena je Kress FME 1050-1. Toto vřeteno disponuje výkonem o hodnotě 1050 W a jeho otáčky se pohybují v rozmezí od 5 000 min⁻¹ do 25 000 min⁻¹. Hmotnost vřetena je 1,7 kg. Do zvoleného vřetena lze upínat frézy do průměru 8 mm.



Obr. 29. Vřeteno Kress FME 1050-1 [33]

Vřeteno se napájí ze sítě 230 V, tak jako běžné elektrické spotřebiče. Vřeteno je na stroji upevněno pomocí jednoduchého držáku o vnitřním průměru 43 mm, který je vidět na obrázku níže.



Obr. 30. Pohled na držák vřetena

6.6 Motory

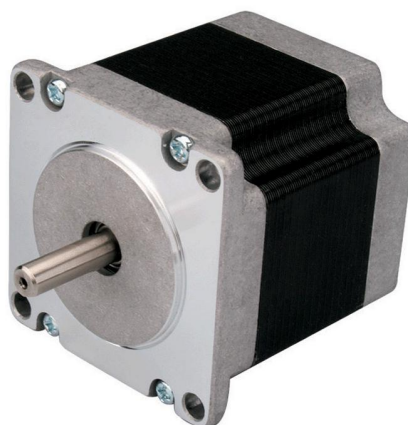
Pohybové šrouby lze rozpohybovat dvěma druhy motorů. Jedná se o servomotory a krokové motory.

6.6.1 Servomotory

Servomotory mohou být asynchronní nebo synchronní. Oproti krokovým motorům mají servomotory zajištěnou zpětnou vazbu, která snímá úhel natočení i otáčky vřetena. Výhodou je, že mohou být dočasně několikanásobně přetíženy. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena. Pro naše účely tak servomotory nejsou vhodným kandidátem.

6.6.2 Krokové motory

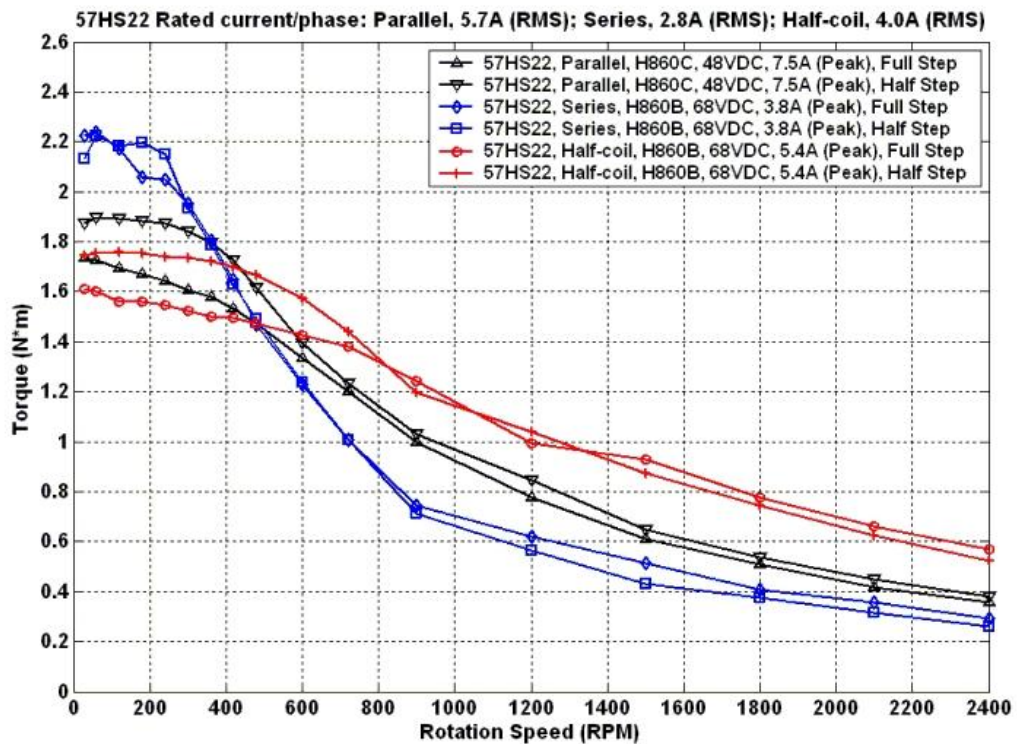
Krokový motor je synchronní a je řízen impulsy stejnosměrného proudu. Tyto impulsy vyvolávají magnetické pole, které pak zapříčiní otočení rotoru o určitý krok. Výhodou těchto motorů je nízká pořizovací cena. Krokové motory mají ovšem tu nevýhodu, že nemají o své poloze zajištěnou zpětnou vazbu a další nevýhodou je také to, že při přetížení může dojít ke ztrátě kroku. Je tedy vhodné krokové motory trochu předimenzovat.



*Obr. 31. Krokový motor 57HS22
Leadshine Technology Co., Ltd. [34]*

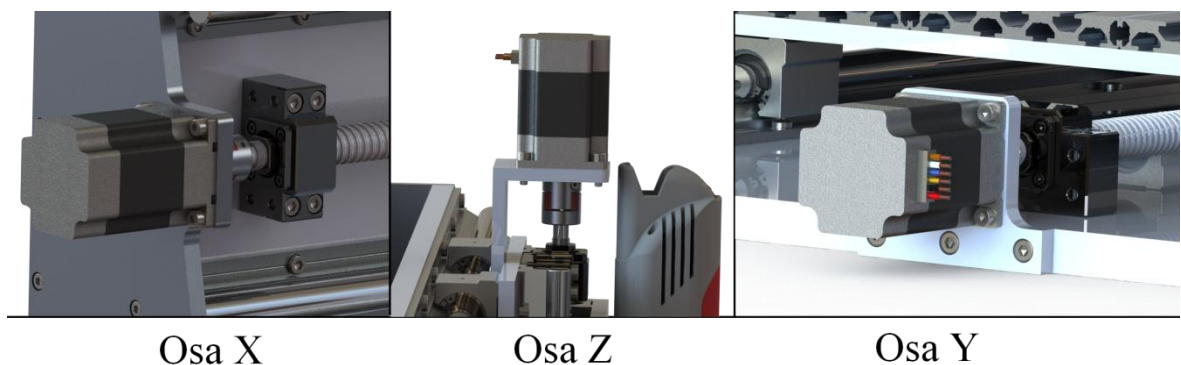
6.6.3 Volba motorů

Pro hobby CNC frézku byl tedy zvolen dvoufázový krokový motor 57HS22 od firmy Leadshine Technology Co., Ltd., který má přírubu s označením Nema23. Jeho rozměry jsou $57 \times 57 \times 81$ mm a jeho hmotnost je 1,2 kg. Při sériovém bipolárním zapojení tento motor odebírá proud o velikosti 2,8 A a poskytuje maximální kroučící moment o velikosti 2,2 Nm. Motor bude napájen 48 V.



Obr. 32. Křivky závislosti kroutičního momentu na počtu otáček za minutu pro krokový motor 57HS22 [35]

Motory jsou celkem tři (vždy pro danou osu jeden) a jsou uloženy ve vyrobených duralových držácích, které slouží zejména k zachycení rotačního pohybu. Důležitá je ovšem i sousost výstupních hřídelí motorů s kuličkovými šrouby. Spojení krokových motorů a kuličkových šroubů je zajištěno pomocí pružné spojky, která tak slouží k vyrovnání drobných odchylek a nesousostí. Spojka má ve všech třech případech vyvrtané otvory o průměru 8 mm pro uchycení hřídele z motoru a 10 mm pro uchycení kuličkového šroubu.



Obr. 33. Uchycení krokových motorů

Na obrázku výše jsou zobrazeny jednotlivé způsoby uchycení krokových motorů. (Na osách Z a Y pomocí hliníkových držáků a na ose X pomocí tvaru v levé bočnici.)

6.7 Elektronika

Zvolené motory 57HS22 se tedy zapojí jako bipolární sériové s proudem 2,8 A. Napájet se budou 48 V. Příkon pro jeden motor je spočten následovně.

$$P_2 = \frac{U \cdot I \cdot n}{\eta} \quad [\text{W}] \quad (8)$$

P_2 = příkon motorů [W]

U = napětí [V]

I = proud [A]

n = počet motorů [-]

η = účinnost [-]

Po dosazení do vztahu (8) získáváme hodnotu příkonu motorů.

$$P_2 = \frac{U \cdot I \cdot n}{\eta} = \frac{48 \cdot 2,8 \cdot 3}{0,85} = \underline{\underline{474,4\text{W}}}$$

Je tedy potřeba použít zdroj o výkonu 500W.

6.7.1 Nabízené možnosti

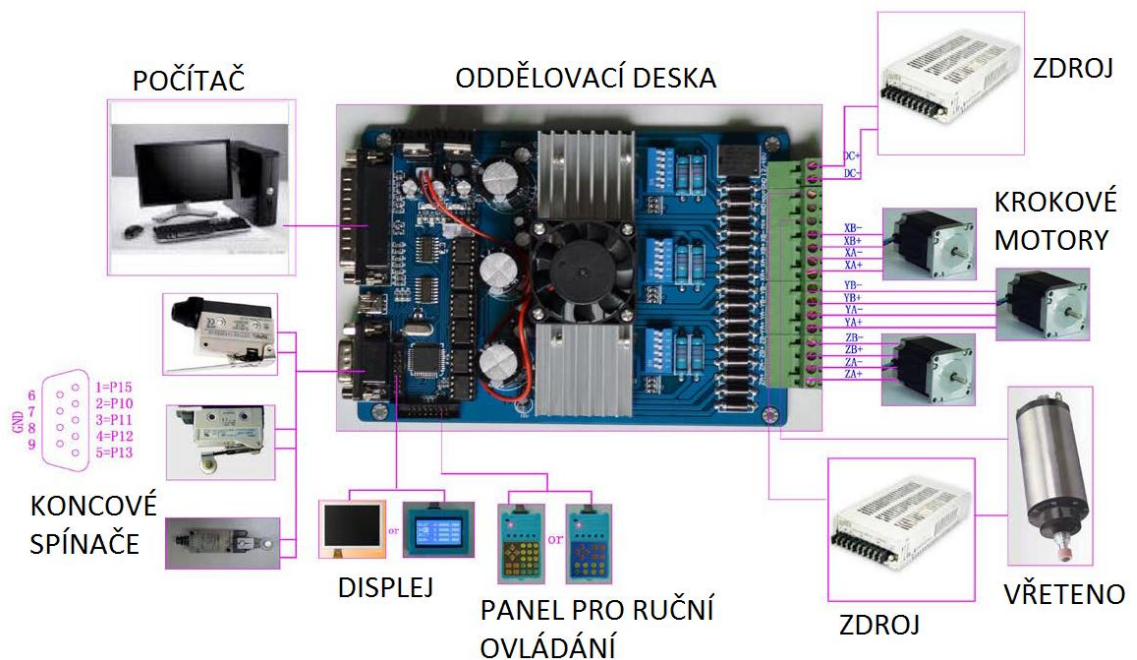
Možným řešením elektroniky stroje je pořídit ke každému krokovému motoru jeden driver, který krokový motor řídí a je usazen na oddělovací desce. Oddělovací deska je pak napájena zdrojem o potřebném výkonu. Tato deska obsahuje výstupy pro zapojení driverů, koncových spínačů, monitoru, panelu pro manuální ovládání stroje a portu pro komunikaci s počítačem (LPT nebo USB).

6.7.2 Zvolené řešení

Pro návrh hobby CNC frézky, které se tato práce týká, volím jednoduché a levné řešení, což je deska již osazená drivery pro 3 krokové motory do 5 A. Deska obsahuje 3 nezávislé drivery využívající chipset Toshiba TB6600AHQ. Deska je kompatibilní se softwarem Mach3, který bude frézka využívat. Komunikace s počítačem probíhá přes LPT port, který má lepší odezvu než USB port. Cena tohoto zařízení se na internetovém obchodu www.cnc.inshop.cz pohybuje od 3 000 Kč do 5 000 Kč v závislosti na tom, zda je toto zařízení vybaveno LCD displejem a manuálním ovladačem. V našem případě byla zvolena nejlevnější varianta, která zmiňovaný LCD displej a manuální ovladač neobsahuje.



Obr. 34. Driverová deska pro řízení 3 krokových motorů do 5A [36]



Obr. 35. Schéma zapojení driverové desky [37]

Jak bylo již dříve spočteno, je potřeba krokovým motorům dodat výkon o velikosti 500 W. Zvolená driverová deska tedy bude napájena průmyslovým spínaným zdrojem od firmy CARSPA HS-500/48, což je zdroj o výkonu 500 W a výstupním napětím 48 V. K desce bude dále připojeno vřeteno Kress FME 1050-1, které je napájeno ze sítě 230 V, tudíž nepotřebuje mít zvláštní zdroj. Panel pro ruční ovládání a displej není pro hobby stroj nutností, takže tyto výstupy z desky budou ponechány prázdné. Koncové spínače také nejsou nezbytnou nutností stroje, avšak v průběhu vývoje této hobby CNC frézky by se měly vyřešit.



*Obr. 36. Průmyslový spínaný zdroj
HS-500/48 CARSPA [38]*

6.8 Software

Jak bylo již v předchozí kapitole naznačeno, zvoleným softwarem, se kterým bude frézka spolupracovat, je Mach3 od výrobce ArtSoft USA. Tento software komunikuje s frézku přes LPT port, podporuje až šestiosé řízení a zápis ve standardním ISO-kódu. Mach3 umožňuje z CAD modelu generovat ISO-kód, což usnadňuje další práci s psaním řídicího programu. Software Mach3 je k dostání zdarma jako demoverze na webových stránkách výrobce ArtSoft USA www.artsoftcontrols.com. Demoverze je ovšem omezena na 500 řádků programu, což pro obrábění na hobby CNC stroji dostačuje. V případě, že by omezená demoverze nebyla dostatečná, by se zakoupila plná licence tohoto softwaru, za kterou výrobce požaduje 175 dolarů. V přepočtu je to přibližně 4 200 Kč, což je oproti jiným softwarům, jejichž cena se pohybuje v řádech desetitisíců korun, příjemná cena.

6.9 Kontrolní výpočty

V následující části této práce jsou pomocí kontrolních výpočtů zodpovězeny otázky na to, zda šrouby, které drží desku horního rámu s veškerými pohyblivými komponentami osy X a osy Z, vydrží namáhání způsobené vlastní hmotností konstrukce. Zda kuličkové šrouby vydrží namáhání na vzpěr a zda je zvolené vřeteno pro případné obrábění hliníku dostatečně vhodné.

6.9.1 Kontrola šroubů zatížených hmotností rámu

Pro jistotu byl proveden kontrolní výpočet namáhání šroubů na střih, které drží desky horního rámu. Pro uchycení každé z desek k bočnicím je použito vždy šest šroubů. Tři šrouby k pravé bočnici a tři šrouby k levé bočnici. Konkrétně jsou použity šrouby s vnitřním šestihranem $M5 \times 30$ ISO 4762. Malý průměr d_3 pro metrický závit o průměru 5 mm pak činí 4,019 mm. Maximální dovolené napětí ve smyku je $\tau_{ds} = 120$ MPa. Nejvíce je ze dvou desek horního rámu zatížena ta deska, která nese veškerá lineární vedení, vřeten, pohybové šrouby a další. Tato deska je tedy pracovní nazývána hlavní deskou horního rámu. Pomocí softwaru SolidWorks byla zjištěna hmotnost, která působí na hlavní (přední) desku horního rámu. Hmotnost, která na šrouby působí je 35 kg. Pro kontrolní výpočet však raději tuto hodnotu vynásobíme bezpečnostním koeficientem $k = 2$.

$$\tau_s = \frac{F}{S} \quad [\text{MPa}] \quad (9)$$

τ_s = napětí ve smyku [MPa]

F = síla způsobená hmotností konstrukce [N]

S = střižná plocha [mm^2]

$$F = m \cdot g \cdot k \quad [\text{N}] \quad (10)$$

m = hmotnost [kg]

g = tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

k = bezpečnostní koeficient [-]

Po dosazení do vztahů (9) a (10) pak dostáváme následující výsledky.

$$F = m \cdot g \cdot k = 35 \cdot 9,81 \cdot 2 = \underline{\underline{686,7N}}$$

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{F}{6 \cdot S_{\text{šroubu}}} = \frac{F}{6 \cdot \frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{686,7}{6 \cdot \frac{\pi \cdot 4,019^2}{4}} = \underline{\underline{9,02MPa}}$$

Jelikož je maximální dovolené napětí ve smyku $\tau_{ds} = 120$ MPa, platí tedy, že $\tau_s < \tau_{ds}$ a závěrem je, že šrouby danému namáhání naprosto vyhovují.

6.9.2 Kontrola kuličkových šroubů na vzpěr

Kontrolní výpočet namáhání nejdelšího šroubu (osa X a totéž osa Y) na vzpěr byl proveden za pomoci katalogového listu kuličkových šroubů [18] od společnosti Hiwin s.r.o., ze kterého jsou jednotlivé vztahy uvedeny zde.

$$F_k = k_k \cdot \frac{d_k^4}{l_k^2} \cdot 10^5 \quad [\text{N}] \quad (11)$$

$$F_{k \max} = F_k \cdot 0,5 \quad [\text{N}] \quad (12)$$

F_k = max. teoretická dovolená axiální síla [N]

$F_{k \max}$ = max. dovolená provozní axiální síla [N]

k_k = koeficient závislosti na uložení (pro pevné uložení na jedné straně šroubu a volné uložení na druhé straně šroubu je dáno $k_k = 2,05$) [-]

d_k = průměr šroubu [mm]

l_k = nepodepřená délka šroubu [mm]

$$F_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot 2000 \cdot \pi \cdot \eta}{P} \quad [\text{N}] \quad (13)$$

F_{\max} = max. skutečná axiální síla [N]

M_{\max} = max. moment krokového motoru [Nm]

P = stoupání kuličkového šroubu [mm]

η = účinnost (standardně 0,88) [-]

Po dosazení do vztahů (11), (12) a (13) byly spočteny následující výsledky.

$$F_k = k_k \cdot \frac{d_k^4}{l_k^2} \cdot 10^5 = 2,05 \cdot \frac{20^4}{760^2} \cdot 10^5 = \underline{\underline{56786\text{N}}}$$

$$F_{k \max} = F_k \cdot 0,5 = 56786 \cdot 0,5 = \underline{\underline{28393\text{N}}}$$

$$F = \frac{M \cdot 2000 \cdot \pi \cdot \eta}{P} = \frac{2,2 \cdot 2000 \cdot \pi \cdot 0,88}{5} = \underline{\underline{2423\text{N}}}$$

Jelikož je maximální dovolená provozní axiální síla $F_{k \max} = 28393 \text{ N}$, platí tedy, že $F_{\max} < F_{k \max}$ a závěrem je, že kuličkové šrouby namáhání na vzpěr vyhovují.

6.9.3 Kontrolní výpočet vřetena

Na webových stránkách společnosti K-TOOLS, která se zabývá výrobou fréz, je uvedena příručka [19] pro stanovení řezných podmínek obrábění hliníku. Obrábění hliníku je pro tuto hobby CNC frézku nejnáročnější operací, která se na ní bude provádět. Proto byly stanoveny řezné podmínky pro obrábění hliníku a dále porovnány s tím, je-li stroj schopen těchto řezných podmínek dosáhnout.

Maximální průměr frézy používané na tomto stroji je $d_1 = 8$ mm. Pro výpočet je zvolena fréza dvoubřitá. Řezná rychlost potřebná pro obrábění hliníku je $v_c = 350$ m.min⁻¹. Posuv na zub pro průměr frézy 8 mm je $f_z = 0,08$ mm. Hodnoty řezné rychlosti a posuvu na zub jsou určeny z příručky [19] společnosti K-TOOLS, ze které jsou mimo jiné převzaty následující vztahy pro výpočet otáček a minutového posuvu.

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{d_1 \cdot \pi} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (14)$$

n = počet otáček [min⁻¹]

v_c = řezná rychlost [m.min⁻¹]

d_1 = průměr nástroje [mm]

$$f_{\min} = f_z \cdot z \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (15)$$

f_{\min} = minutový posuv [mm.min⁻¹]

f_z = posuv na zub [mm]

z = počet zubů frézy (dvoubřitá fréza $z = 2$) [-]

Po dosazení do vztahů (14) a (15) pak dostáváme následující výsledky.

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{d_1 \cdot \pi} = \frac{350 \cdot 1000}{8 \cdot \pi} = \underline{\underline{13926 \text{ min}^{-1}}}$$

Zvolené vřeteno Kress FME 1050-1 poskytuje otáčky v rozmezí od 5 000 min⁻¹ do 25 000 min⁻¹. Je tedy schopno požadovaných otáček dosáhnout a vyvolat tak řeznou rychlost $v_c = 350$ m.min⁻¹, která je potřebná pro obrábění hliníku za použití dvoubřité frézy o průměru 8 mm. Zvolené vřeteno pro dané účely obrábění tedy vyhovuje.

$$f_{\min} = f_z \cdot z \cdot n = 0,08 \cdot 2 \cdot 13926 = \underline{\underline{2228 \text{ mm} / \text{min}}}$$

Pro vyvození vypočteného minutového posuvu na kuličkovém šroubu se stoupáním 5 mm je potřeba, aby nám motor dodal tyto otáčky.

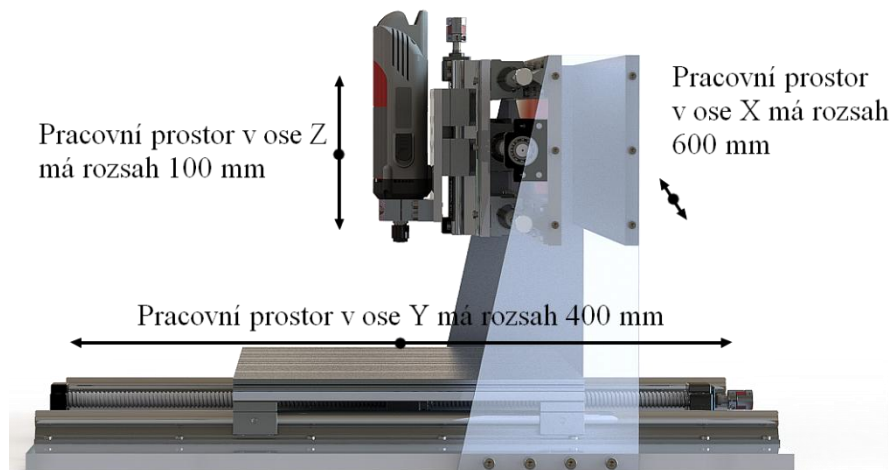
$$n_{motoru} = \frac{f_{min}}{P} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (16)$$

$$n_{motoru} = \frac{2228}{5} = \underline{\underline{445,6 \text{ min}^{-1}}}$$

Z obr. 32., který je uveden v konstrukčním návrhu řešení motorů je vidět, že pro vyvození potřebného minutového posuvu na kuličkovém šroubu se stoupáním 5 mm nám krokový motor poskytne kroutící motor o velikosti přibližně 1,7 Nm.

6.10 Shrnutí konstrukčního návrhu

V konstrukčním návrhu byla navržena duralová konstrukce rámu portálového typu. Pro vedení posuvných částí stroje byly zvoleny podepřené tyče o průměru 20 mm a 16 mm. K rozpořívání těchto částí pak slouží kuličkové šrouby o průměru 20 mm a 16 mm, které jsou poháněny krokovými motory 57HS22 s maximálním kroutícím momentem 2,2 Nm. Kuličkové šrouby jsou s krokovými motory spojeny pomocí pružných spojek. Každý krokový motor odebírá proud o velikosti 2,8 A a všechny tři motory jsou ovládány deskou s driverem, která je napájena zdrojem o výkonu 500 W s výstupním napětím 48 V. Pro případné obrábění hliníku je použito vysokootáčkové vřeteno Kress FME 1050-1 o výkonu 1050 W a maximálních otáčkách až 25 000 min⁻¹. Pro upnutí obrobku slouží pracovní stůl, který se skládá z desky o rozměru 600 × 400 × 10 mm, na které jsou pomocí matic do T drážek přichyceny T drážkové hliníkové profily od firmy Bosch Rexroth.



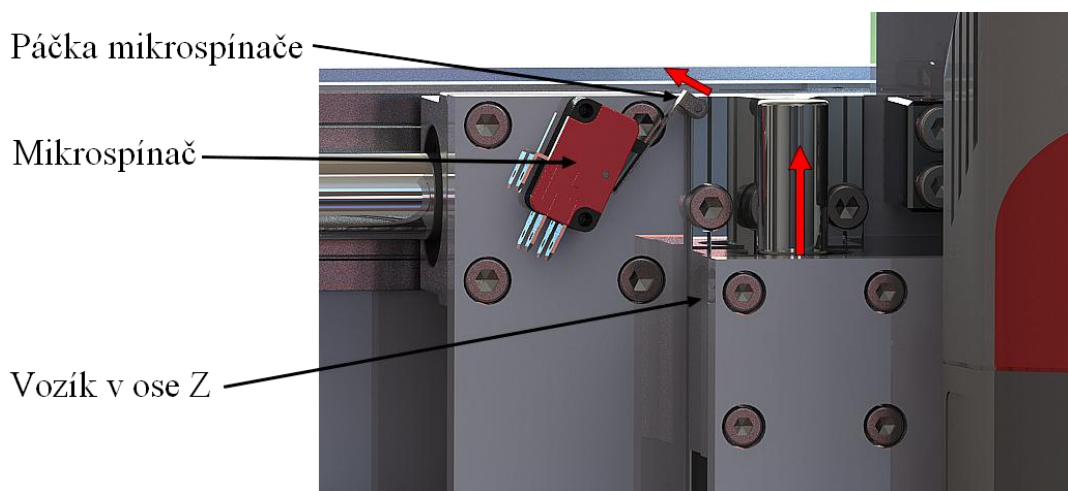
Obr. 37. Rozsah pracovního prostoru navržené hobby CNC frézky

6.11 Směr, kterým by se měl vývoj hobby CNC frézky dále ubírat

V další části vývoje konstrukčního návrhu by bylo vhodné, aby se doplnilo řešení umístění koncových spínačů, vedení kabelů, zakomponování bezpečnostního vypínače a také krytí kuličkových šroubů.

6.11.1 Řešení koncových spínačů

Koncové spínače nejsou nezbytnou součástí stroje, avšak při jejich absenci může dojít k poškození stroje zapříčiněnému nárazem pohyblivé části stroje do jeho rámu. Pro řešení koncových spínačů by byly použity mikrospínače, které by byly na jednotlivých osách vhodně uchyceny tak, aby při přejezdu vozíku došlo ke styku s mikrospínačem a následnému vypnutí pohybu v dané ose. Pro představu je zde uveden obrázek návrhu řešení přibližného polohy koncového spínače v ose Z. Šipka směřující nahoru ve směru osy Z naznačuje pohyb vozíku, který se při dosažení koncové polohy dotkne páčky mikrospínače a dojde tak k rozpojení obvodu a tedy přerušení pohybu v této ose. Cena mikrospínačů se pohybuje okolo 30 Kč za kus.

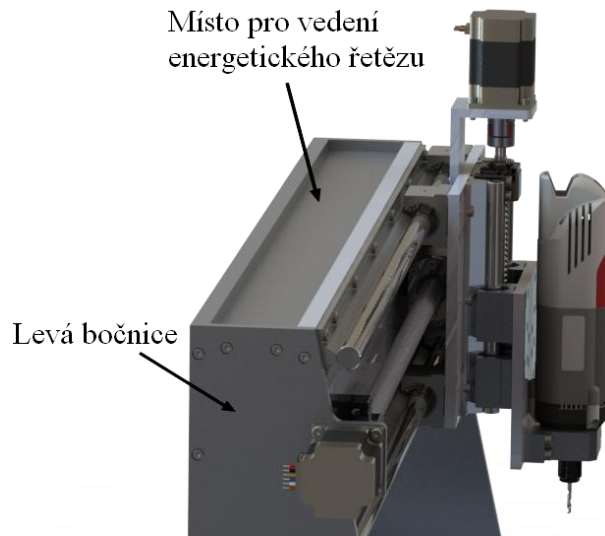


Obr. 38. Návrh přibližné polohy mikrospínače

6.11.2 Řešení vedení kabelů

Vedení kabelů se obvykle řeší pomocí energetických řetězců. Energetické řetězce jsou cenově nenáročné, jejich cena je okolo 400 Kč za metr délky. Tento energetický řetěz by byl přichycen a veden na desce přidané k hornímu rámu stroje tak, aby sloužil k vedení kabelů od krokového motoru v ose Z. Vedení kabelů od krokových motorů v ose X a Y již není problematické, protože se tyto motory nikam nepohybují. Kabely od krokového motoru v ose Z, které by byly vedeny energetickým řetězcem, by se pak svedly po levé bočnici,

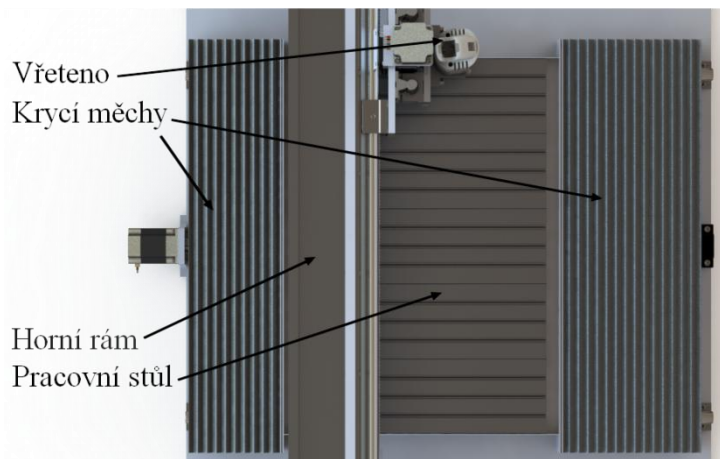
odkud by byly společně s ostatními kabely svázaný pomocí stahovacích pásek a vedeny dále ke krabici s ovládací elektronikou.



Obr. 39. Návrh vedení kabelů od krokového motoru u osy Z

6.11.3 Návrh řešení utěsnění citlivých prvků

Z důvodu prašnosti a vzniku třísek při obrábění je vhodné kuličkové šrouby nějakým způsobem zakrýt. Nejčastěji používaným způsobem krytí kuličkových šroubů a zároveň i vedení je použití elastických krycích měchů. Tyto měchy se vyrábí z různých materiálů přes kůži, plachtovinu, polymery až po hliníková a skleněná vlákna. Čela měchů se pak upevňují pomocí přírub, suchého zipu či druků. Sklady (profily) krycích měchů jsou k dostání v nejrůznějších tvarech. Pro frézku, které se tato práce týká, je jedním z možných návrhů právě použití krycích měchů. Přibližný návrh tohoto řešení je zobrazen na obr. 40.

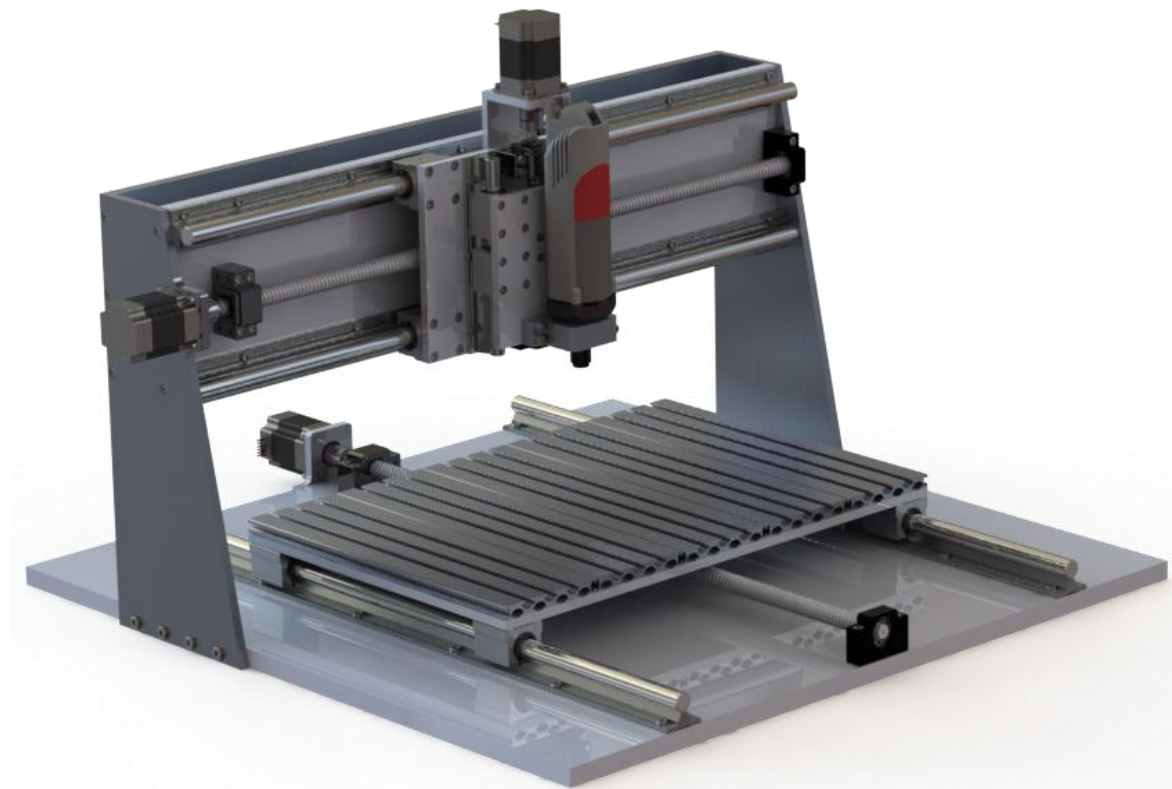


Obr. 40. Návrh krytí kuličkových šroubů (pohled shora)

6.12 Vymodelování sestavy

Konstrukční návrh hobby CNC frézky byl vymodelován jako 3D sestava v CAD softwaru SolidWorks 2014. Jednotlivé díly, jako jsou rám stroje, držáky krokových motorů a desky potřebné pro funkci stroje, bylo potřeba navrhnout a nakreslit. Složitější díly, jako jsou například ložiskové domky, krokové motory a vedení, byly převzaty z webu www.grabcad.com, který slouží nadšeným amatérským konstruktérům pro zjednodušení jejich práce. U převzatých dílů byly zkontrolovány jejich rozměry. V případě, že jejich rozměry nevyhovovaly, byly patřičně poupraveny. Některé díly nebylo možno v požadované velikosti z tohoto komunitního webu získat, a tak byly jejich rozměry upraveny takovým způsobem, aby se shodovaly s výkresovou dokumentací zvolených komponent. Veškeré obrázky této CNC frézky použité v bakalářské práci jsou renderovány do fotorealistické podoby za pomoci funkce Photoview 360.

Pomocí softwaru SolidWorks byla po zadání odpovídajících materiálů pro jednotlivé součásti zjištěna také celková hmotnost stroje, která je přibližně 100 kg. Počet všech součástí použitých pro vymodelování této frézky včetně všech šroubů je 499. Seznam jednotlivých dílů si lze prohlédnout ve vymodelované sestavě, která je přílohou této bakalářské práce.



Obr. 41. Návrh hobby CNC frézky

7 CENOVÁ KALKULACE

V následujících tabulkách je uvedena cenová kalkulace celého konstrukčního návrhu hobby CNC frézky, která je poté dále srovnána s komerčně prodávanými stroji této kategorie. Jelikož se jedná o frézku pro hobby záležitosti, je cena stroje jedním z důležitých faktorů při rozhodování, zda si takový stroj pořídit či nikoliv. Jak již bylo v předchozích kapitolách řečeno, jednotlivé komponenty lze nakupovat nejen z renomovaných e-shopů, ale i přes internetové aukční portály typu www.ebay.com. V předchozích kapitolách bylo zmíněno, že cena hliníkové slitiny AW 7075 neboli duralu se pohybuje v rozmezí 150 Kč/kg až 200 Kč/kg. Pro cenovou kalkulaci vyráběných součástí je tedy zvolena střední cena materiálu 175 Kč/kg.

Tab. 8 Cenová kalkulace vyráběných součástí

Název položky - rozměr	Počet kusů	Hmotnost duralového dílu [kg]	Cena položky při ceně materiálu 175 Kč/kg [Kč]
Bočnice levá	1	1,95	341
Bočnice pravá	1	1,91	334
Deska pod pracovní stůl - 600x400x10 mm	1	6,64	1162
Deska u držáku vřetena - 160x155x10 mm	1	0,66	116
Deska u posuvu v ose x - 255x210x10 mm	1	1,44	252
Držák motoru X	1	0,21	37
Držák motoru Y	1	0,12	21
Hlavní deska horního rámu - 850x210x15 mm	1	7,44	1302
Vedlejší deska horního rámu - 850x210x15 mm	1	7,49	1311
Základní deska - 850x850x20 mm	1	40,35	7061
Celkem			11937

Ceny uvedené v následující tabulce jsou platné ke dni 30. 4. 2016. Komponenty uvedeny v následující tabulce jsou z valné většiny nakupovány v ČR, pouze v ojedinělých případech ze zahraničí. Každá z komponent má uveden odkaz na příslušný internetový obchod, ze kterého byla cena převzata. Tyto odkazy jsou uvedeny v seznamu literatury a je možno je otevřít v elektronické verzi této práce, která je nahrána na přiloženém CD.

Tab. 9 Cenová kalkulace nakupovaných komponent

Název položky	Cena za kus [Kč]	Počet kusů [-]	Cena všech kusů [Kč]	Výrobce	Odkaz
Držák matice 1605 HD16	328	1	328	Neueden	[40]
Držák matice 2005 HD20	396	2	792	Neueden	[40]
Držák pro vřeteno Kress	580	1	580	Neueden	[41]
Hliníkový profil 15x120 délky 400 mm	745	5	3725	Bosch Rexroth	[42]
Krokový motor 57HS22	1780	3	5340	Leadshine Technology, Co.,	[41]
Kuličkový šroub průměr 16, stoupání 5 mm/ot včetně opracování konců	2071	1	2071	Neueden	[43]
Kuličkový šroub průměr 20, stoupání 5 mm/ot včetně opracování konců	3940	2	7880	Neueden	[43]
Ložiskový domek pevný BK-12	1320	1	1320	SYK Sonyung Industry	[41]
Ložiskový domek pevný BK-15	1490	2	2980	SYK Sonyung Industry	[41]
Ložiskový domek volný BF-12	670	1	670	SYK Sonyung Industry	[41]
Ložiskový domek volný BF-15	790	2	1580	SYK Sonyung Industry	[41]
Matice SF-1605	725	1	725	Neueden	[43]
Matice SF-2005	846	2	1692	Neueden	[43]
Podepřená tyč SBR-16 délky 210 mm	229	2	458	Neueden	[43]
Podepřená tyč SBR-20 délky 850 mm	1027	4	4108	Neueden	[43]
Pružná spojka	106	3	318	WHATEARS	[44]
ŠROUB M5x10 ISO 4762	0,88	16	14,08	-	[45]
ŠROUB M5x16 ISO 4762	0,68	16	10,88	-	[45]
ŠROUB M5x25 ISO 4762	0,81	18	14,58	-	[45]
ŠROUB M5x30 ISO 4762	0,99	12	11,88	-	[45]
ŠROUB M6x10 ISO 4762	0,91	20	18,2	-	[45]
ŠROUB M6x12 ISO 4762	0,99	68	67,32	-	[45]
ŠROUB M6x16 ISO 4762	0,87	40	34,8	-	[45]
ŠROUB M6x25 ISO 4762	1,16	3	3,48	-	[45]
ŠROUB M6x30 ISO 4762	1,16	5	5,8	-	[45]
ŠROUB M6x45 ISO 4762	1,54	8	12,32	-	[45]
ŠROUB M6x50 ISO 4762	1,74	10	17,4	-	[45]
ŠROUB M8x35 ISO 4762	2,52	8	20,16	-	[45]
T Matice M6	14,52	20	290,4	Bosch Rexroth	[42]
Vozík SBR16UU	213	4	852	Neueden	[44]
Vozík SME-20	302	8	2416	Neueden	[43]
Vřeteno Kress FME 1050-1	5790	1	5790	Kress Elektrowerkzeug	[41]
Elektronika					
Driverová deska pro 3 krokové motory do 5 A	2411	1	2411	Toshiba	[43]
Průmyslový spínaný zdroj HS-500/48 CARSPA	1860	1	1860	CARSPA	[46]
Celkem			48417		

Celková cena navržené hobby CNC frézky se tedy skládá z ceny vyráběných součástí (11 937 Kč včetně DPH) a ceny nakupovaných komponent (48 417 Kč včetně DPH). Celkem je to tedy 60 354 Kč včetně DPH.

7.1 Porovnání s komerčně prodávanými stroji

V porovnání s komerčně prodávanými stroji dopadl tento konstrukční návrh lépe. Za přibližně stejnou cenu je možno si z internetového obchodu www.cnc.inshop.cz pořídit polo-profesionální CNC frézku s pracovním prostorem 400 × 300 mm s konkrétním katalogovým označením CNCH-4030-800W.



Obr. 42. Poloprofesionální CNC frézka [39]

Přesnější porovnání komerčně prodávané poloprofesionální CNC frézky a navržené hobby CNC frézky je uvedeno následující tabulce, která je barevně rozlišena. Význam jednotlivých barev je potřeba chápat následovně: Červená barva znamená, že daný stroj je vybaven hůře než stroj druhý. Žlutá barva říká, že jsou stroje vybaveny stejně a zelená barva značí, že daný stroj nabízí lepší vybavení než druhý stroj.

Tab. 10 Porovnání navržené CNC frézky s komerčně prodávanou CNC frézku

	Poloprofesionální CNC frézka	Navržená hobby CNC frézka
Vedení v ose X	Podpřené tyče o průměru 20 mm	Podpřené tyče o průměru 20
Vedení v ose Y	Nepodpřené tyče o průměru 20 mm	Podpřené tyče o průměru 20
Vedení v ose Z	Nepodpřené tyče o průměru 16 mm	Podpřené tyče o průměru 16
Pohyb v ose X	Kuličkový šroub	Kuličkový šroub
Pohyb v ose Y	Kuličkový šroub	Kuličkový šroub
Pohyb v ose Z	Kuličkový šroub	Kuličkový šroub
Výkon vřetene	800 W	1050 W
Chlazení	ANO - lihové	NE
Pracovní prostor	400x300x80 mm	600x400x100 mm
Cena (včetně DPH)	67 639 Kč (ke dni 30. 4. 2016)	60 354 Kč

Z porovnání je vidět, že návrh hobby CNC frézky dopadl mnohem lépe a nabízí lepší vybavení než stroj komerčně prodávaný. Navržená konstrukce hobby CNC frézky nabízí větší pracovní prostor, výkonnější vřeteno a o něco vyšší tuhost stroje. Na závěr je ještě potřeba dodat, že cena poloprofesionálního stroje byla ke dni 30. 4. 2016 v akční slevě 25 %. Běžná katalogová cena poloprofesionální je tedy 90 629 Kč včetně DPH. Třicetitisícový rozdíl těchto dvou strojů je pak dosti markantní a návrh hobby CNC frézky lze považovat za úspěšný, neboť je konkurenceschopný a požadovaný poměr cena/výkon byl dosažen.

ZÁVĚR

V této bakalářské práci byla provedena teoretická studie na dané téma. V teoretické části práce bylo probráno téma frézování, což zahrnuje nejenom základní definici frézování, ale také popis řezného pohybu, způsoby frézování, druhy používaných strojů, nástroje, nástrojové materiály a také řezné podmínky. V této práci bylo také probráno téma CNC obrábění, kde je popsáno jednotlivé rozdělení strojů, souřadný systém strojů a také je nastíněn způsob zápisu řídicího programu pomocí ISO-kódu. Jsou zde také popsány základní prvky CNC strojů, konkrétně tedy druhy konstrukčních rámců, vedení, motorů, vřeten, elektroniky a softwaru.

V praktické části této bakalářské práce byl proveden konstrukční návrh hobby CNC frézky, která by měla sloužit k obrábění dřeva a ve výjimečných případech i k obrábění hliníku. Byly navrženy vhodné prvky a celá sestava CNC frézky byla vymodelována v softwaru SolidWorks. Návrh této konstrukce je podložen kontrolním výpočtem namáhání kuličkových šroubů na vzpěr a kontrolním výpočtem zvoleného vřeten. Tato sestava je součástí bakalářské práce a je k dispozici k nahlédnutí jako příloha na přiloženém CD disku. Navržená hobby CNC frézka byla porovnána s komerčně prodávanou hobby CNC frézku. V tab. 10, kde je toto porovnání uvedeno, je vidět, že navržená frézka nabízí oproti komerčně prodávané frézce lepší vybavení za nižší pořizovací cenu. Požadavek na tuto hobby CNC frézku, kterým byla konkurenceschopnost stroje, byl tedy dosažen. Předpokládaná cena takovéto hobby CNC frézky pak činí 60 354 Kč včetně DPH, což je ve srovnání s komerčně prodávanými stroji o několik tisíc korun nižší cena.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005, 256 s. ISBN 80-7183-337-1
- [2] HLUCHÝ, Miroslav a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 2*. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001, 176 s. ISBN 80-7183-245-6
- [3] KOČMAN, Karel. *Speciální technologie: obrábění*. 3., přeprac. a dopl. vyd. Brno: CERM, 2004, 227 s. ISBN 80-214-2562-8
- [4] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. 3. vyd. Praha: MM publishing, 2014, 684s. ISBN 978-80-260-6780-1
- [5] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie 1*. 4., rev. vyd. Praha: Scientia, 2007, 266 s. ISBN 978-80-86960-26-5
- [6] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM Publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2
- [7] OPLATEK, František. *Číslicové řízení obráběcích strojů*. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998, 64 s. ISBN 80-7200-294-5
- [8] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2015, 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3
- [9] MADÁČ, Kamil. *Optimalizácia NC programovania*. Vyd. 1. Košice: Technická univerzita, Strojnícka fakulta, 2012, 256 s. ISBN 978-80-553-1272-9
- [10] BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. *Výrobní inženýrství a technologie*. 1. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014, 173 s. ISBN 978-80-7454-471-2
- [11] ADITHAN, M. a B. PABLA. *CNC machines*. 2nd ed. New Delhi: New Age International Publishers, 2011, xi, 127 s. ISBN 81-224-2019-2
- [12] SMID, P. *CNC Programming Handbook: a Comprehensive Guide to Practical CNC programming*. Industrial Press Inc. New York, 2003, 508 p., ISBN 0-8311-3158-6
- [13] *Za odbornými znalostmi evropsky a interaktivně: Frézování rovinných ploch* [online]. Brno, 2012 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://zoei.sssebrno.cz/frezovani-rovinnych-ploch/>
- [14] *Technologie strojního obrábění kovů a broušení nástrojů* [online]. 2010 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/>

- [15] *MM průmyslové spektrum: Trendy v povlakování slinutých karbidů* [online]. 2001 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-povlakovani-slinutych-karbidu.html>
- [16] *Příručka obrábění* [online]. Mělník, 2004 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: http://www.isstechn.cz/objekty/prirucka_obrabení.pdf
- [17] *Číslicové řízení - Wikipedie* [online]. 2015 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Číslicové_řízení
- [18] *HIWIN - Katalog kuličkové šrouby*. In: *HIWIN s.r.o.* [online]. Brno, 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: http://www.hiwin.cz/cz/produkty/kulickove-srouby/brousene-srouby/63_brousene-kulickove-srouby
- [19] *K-TOOLS - Katalog nástroje a technologie* [online]. Zlín, 2015 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.k-tools.cz/aktuality/20150924154452.pdf>

Internetové zdroje použitých obrázků:

- [20] *Technologie I: Technologie obrábění - 1. část* [online]. Brno, 2003 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabení/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [21] *Obrábění* [online]. Ústí nad Labem, 2015 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://physics.ujep.cz/~mkormund/P232/Obrábění.pdf>
- [22] *Základy frézování* [online]. 2015 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1503/zaklady-frezovani>
- [23] *Britové destičky pro široké spektrum obráběných materiálů* [online]. 2013 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.cnckonstrukce.cz/novinka-121/britove-desticky-pro-siroke-spektrum-obrabenych-materialu.html>
- [24] *CNCShop.cz* [online]. 2010 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/>
- [25] *CNC - hobby: stránky o CNC pro volný čas* [online]. 2007 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.cnc-hobby.cz/index.htm>
- [26] *CNC příslušenstvo* [online]. 2015 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.cncprislusenstvo.sk>
- [27] *MM průmyslové spektrum* [online]. 2008 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com>

- [28] *A Quick CNC* [online]. 2010 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.aquickcnc.com>
- [29] *Obrábění kalených ocelí* [online]. 2011 [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: <http://www.semaco.cz/cz/rubriky/clanky/obrabeni-kalenyh-oceli/>
- [30] *North Texas Wood Works* [online]. 2016 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.ntxww.com/CNCRouting.html#nogo>
- [31] *HD upínací stůl s otvory* [online]. 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/upload/products/preview/512-HDtab.JPG>
- [32] *TD upínací stůl s T drážkami* [online]. 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: http://www.cncshop.cz/img/TD_2.jpg
- [33] *Kress Elektrowerkzeuge: 1050 FME-P : Power tools* [online]. 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.kress-elektrik.com/typo3temp/pics/74a128fbad.jpg>
- [34] *Leadshine Technology Co., Ltd. – 57HS22* [online]. 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.leadshine.com/UploadFile/Pic/Product/53.gif>
- [35] *Leadshine Technology Co., Ltd. – Speed-Torque curves* [online]. 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.leadshine.com/Editor/image/2012020620442485.jpg>
- [36] *4ISP|Driver pro 3 krokové motory do 5A, hliníkový kryt* [online]. 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <https://cnc.inshop.cz/inshop/catalogue/products/pictures/TB3-HA-6600.jpg>
- [37] *HY-TB3DV-S intelligent 3-axis drive board manual* [online]. 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.cnc.inshop.cz/inshop/files/TB3-HM-6600/HY-TB3DV-S%20series%20intelligent%203-axis%20manual.pdf>
- [38] *Průmyslový zdroj 48V= /500W spinaný HS-500/48, CARSPA* [online]. 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.aspa.cz/prumyslovy-zdroj-48v-500w-spinany-hs-500-48-carspa-z105645>
- [39] *Poloprofesionální CNC frézka 400 × 300 mm* [online]. 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: https://cnc.inshop.cz/inshop/catalogue/products/pictures/CNCH-4030-800W_Main.jpg

Odkazy na internetové obchody:

- [40] *AliExpress.com* [online]. 2015 [cit. 2016-04-30] Dostupné z: <http://www.aliexpress.com/?spm=2114.11010108.1000002.1.lzkA6x>
- [41] *CNCShop.cz* [online]. 2010 [cit. 2016-04-30] Dostupné z: <http://www.cncshop.cz>
- [42] *Stavebnicové systémy a komponenty, hliníkové profily, příslušenství a vybavení pracoviště* [online]. 2016 [cit. 2016-04-30] Dostupné z: <http://www.askmt.com>
- [43] *4ISP – Lasery, laserové gravírky, CNC frézky a komponenty* [online]. 2016 [cit. 2016-04-30] Dostupné z: <https://cnc.inshop.cz>
- [44] *Electronic, Cars, Fashion, Collectibles, Coupons and more / eBay* [online]. 2016 [cit. 2016-04-30] Dostupné z: <http://www.ebay.com>
- [45] *Spojovací-material.net* [online]. 2016 [cit. 2016-04-30] Dostupné z: <http://www.spojovaci-material.net>
- [46] *ASPA.cz – nabídka wifi hardware a software pro bezdrátové připojení v pásmu 2,4 GHz, 5 GHz a 10 Ghz* [online]. 2016 [cit. 2016-04-30] Dostupné z: <http://www.aspa.cz>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CNC	Computer Numerical Control
Co	Kobalt
Cr	Chrom
CVD	Chemical vapour deposition
ČSN	Česká technická norma
HRC	Tvrdomost podle Rockwella
HSS	High speed steel
ISO	International Organization for Standardization
KNB	Kubický nitrid bóru
NC	Numerical Control
PD	Polykrystalický diamant
PKNB	Polykrystalický kubický nitrid bóru
PVD	Physical vapour deposition
Ra	Drsnost povrchu
RC	Remote Control
RO	Rychlořezná ocel
SK	Slinuté karbidy
TaC	Karbid tantalu
TiC	Karbid titanu
TiN	Nitrid titanu
W	Wolfram
WC	Karbid wolframu

α	Úhel hřebu	°
β	Úhel břítu	°
γ	Úhel čela	°
δ	Úhel řezu	°
κ	Úhel nastavení hlavního ostří	°
κ'	Úhel nastavení vedlejšího ostří	°
λ	Sklon ostří	°
τ_s	Napětí ve stříhu	MPa
τ_{ds}	Dovolené napětí ve stříhu	MPa
η	Účinnost	-
A	Průřez třísky	mm ²
A_{max}	Maximální průřez třísky	mm ²
a_e	Radiální hloubka řezu	mm
a_p	Axiální hloubka řezu	mm
d_1, D	Průměr frézy	mm
d_k	Průměr kuličkového šroubu	mm
F	Síla	N
F_k	Maximální teoretická dovolená axiální síla	N
F_{kmax}	Maximální dovolená provozní axiální síla	N
F_{max}	Maximální skutečná axiální síla	N
f_{min}	Minutový posuv	mm.min ⁻¹
f_{ot}	Posuv na otáčku	mm
f_z	Posuv na zub	mm
g	Tíhové zrychlení	m.s ⁻²
h_m	Průměrná tloušťka třísky	mm
I	Proud	A

k	Koeficient bezpečnosti	-
k_k	Koeficient závislosti na uložení šroubu	-
l_k	Nepodepřená délka šroubu	mm
m	Hmotnost	kg
M_{\max}	Maximální dovolený provozní moment	Nm
n	Počet otáček; počet motorů	-
P	Stoupání kuličkového šroubu	mm
P_2	Příkon	W
P_c	Potřebný výkon motoru	W
Q	Objem odebíraného materiálu	$\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
S	Plocha	mm^2
U	Napětí	V
v_c	Řezná rychlost	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
z	Počet zubů	-

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Frézování a) frézování válcovou frézou (obvodem) b) frézování čelní frézou (čelem) [5]</i>	13
<i>Obr. 2. Frézování a) nesousledné b) sousledné [5]</i>	14
<i>Obr. 3. Frézy firmy Walter (SRN) [20]</i>	15
<i>Obr. 4. Geometrie zubů frézy [21]</i>	17
<i>Obr. 5. Upínací pouzdro pro kuželovou stopku ISO [22]</i>	19
<i>Obr. 6. Upínací pouzdro pro kuželovou stopku Morse [22]</i>	19
<i>Obr. 7. Upínací trn [22].....</i>	19
<i>Obr. 8. Vyměnitelné břitové destičky [23]</i>	21
<i>Obr. 9. Hloubky řezu při frézování [20]</i>	29
<i>Obr. 10. Řezné podmínky při frézování oceli o tvrdosti 60 HRC [29].....</i>	31
<i>Obr. 11. Souřadný systém stroje [3]</i>	35
<i>Obr. 12. Morfologie nosné soustavy CNC obráběcího stroje [4].....</i>	39
<i>Obr. 13. Vysokootáčkové vřeteno o výkonu 800W od firmy Kress [24]</i>	40
<i>Obr. 14. Lineární vedení [4]</i>	41
<i>Obr. 15. Nepodepřené vodící tyče [25].....</i>	41
<i>Obr. 16. Podepřené vodící tyče [25].....</i>	42
<i>Obr. 17. Prizmatické vedení [26].....</i>	42
<i>Obr. 18. Trapézový šroub [24].....</i>	43
<i>Obr. 19. Řez kuličkovým šroubem [27].....</i>	43
<i>Obr. 20. 2-fázový krokový motor firmy Leadshine Technology Co., Ltd. [24]</i>	44
<i>Obr. 21. Prostředí softwaru Mach3 [28]</i>	45
<i>Obr. 22. Frézování těla elektrické kytary [30].....</i>	48
<i>Obr. 23. Navržený rám frézky</i>	52
<i>Obr. 24. Konstrukční návrh umístění podepřených tyčí s vozíky.....</i>	54
<i>Obr. 25. Pohled na uložení kuličkového šroubu v ose Z.....</i>	55
<i>Obr. 26. Upínací stůl s otvory [31]</i>	56
<i>Obr. 27. Upínací stůl s T drážkami [32]</i>	56
<i>Obr. 28. Pohled na pracovní stůl zhotovený z pěti hliníkových profilů (v levém dolním rohu je vykreslen detail uchycení stolu pomocí matic do T drážek)</i>	57
<i>Obr. 29. Vřeteno Kress FME 1050-1 [33]</i>	58
<i>Obr. 30. Pohled na držák vřetena</i>	58

<i>Obr. 31. Krokový motor 57HS22 Leadshine Technology Co., Ltd. [34]</i>	59
<i>Obr. 32. Křivky závislosti krouticího momentu na počtu otáček za minutu pro krokový motor 57HS22 [35]</i>	60
<i>Obr. 33. Uchycení krokových motorů</i>	60
<i>Obr. 34. Driverová deska pro řízení 3 krokových motorů do 5A [36]</i>	62
<i>Obr. 35. Schéma zapojení driverové desky [37]</i>	62
<i>Obr. 36. Průmyslový spínaný zdroj HS-500/48 CARSPA [38]</i>	63
<i>Obr. 37. Rozsah pracovního prostoru navržené hobby CNC frézky</i>	67
<i>Obr. 38. Návrh přibližné polohy mikrospínače</i>	68
<i>Obr. 39. Návrh vedení kabelů od krokového motoru u osy Z</i>	69
<i>Obr. 40. Návrh krytí kuličkových šroubů (pohled shora)</i>	69
<i>Obr. 41. Návrh hobby CNC frézky</i>	70
<i>Obr. 42. Poloprofesionální CNC frézka [39]</i>	73

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Rozdělení slinutých karbidů.....</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 2 Dosahovaná drsnost a přesnost povrchu při frézování.....</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 3 Význam adres.....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 4 Seznam pomocných funkcí.....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 5 Seznam přípravných funkcí.....</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 6 Zmapování nabídky trhu ke dni 28. 4. 2016.....</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 7 Vlastnosti hliníkové slitiny AW 7075.....</i>	<i>52</i>
<i>Tab. 8 Cenová kalkulace vyráběných součástí.....</i>	<i>71</i>
<i>Tab. 9 Cenová kalkulace nakupovaných komponent.....</i>	<i>72</i>
<i>Tab. 10 Porovnání navržené CNC frézky s komerčně prodávanou CNC frézku.....</i>	<i>74</i>

SEZNAM PŘÍLOH

PI: CD-ROM obsahující tyto soubory:

- 3D model sestavy hobby CNC frézky
- Animace pohybu stroje
- Renderované obrázky stroje
- Elektronická verze bakalářské práce