



Návrh vhodného typu vřetene pro 3D tiskárnu

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství

Autor práce: **Jakub Koudelka**
Vedoucí práce: Ing. Petr Zelený, Ph.D.





Draft a suitable type spindles for 3D printer

Bachelor thesis

Study programme: B2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301R000 – Mechanical Engineering

Author: **Jakub Koudelka**
Supervisor: Ing. Petr Zelený, Ph.D.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub Koudelka**
Osobní číslo: **S13000566**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojní inženýrství**
Název tématu: **Návrh vhodného typu vřetene pro 3D tiskárnu**
Zadávající katedra: **Katedra výrobních systémů a automatizace**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Hlavním cílem této práce je navrhnout nutné úpravy 3D tiskárny, vyvíjené v laboratoři prototypových technologií a procesů, tak aby bylo možné po vytisknutí vyměnit tiskovou hlavu za obráběcí vřeteno pro případné další úpravy vyráběných dílů.

Doporučené metody pro vypracování:


1. Provést studii malých modelářských frézek.
2. Seznámit se s 3D tiskárnou vyvíjenou v laboratoři a porovnat s parametry modelářských frézek.
3. Na základě studie navrhnout úpravy v konstrukci 3D tiskárny.
4. Provést rešerši možných vřeten, typů ovládání a také propojení s řízením 3D tiskárny.
5. Vybrat nejvhodnější typ vřetene a navrhnout jeho upnutí ke stroji.
6. Provést finanční analýzu výhodnosti či nevýhodnosti úprav konstrukce 3D tiskárny vůči pořizovacím nákladům modelářské frézky.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **40 stran textu včetně příloh**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

- [1] SHIGLEY, J.E., Ch.R. MISCHKE a R.G. BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. Brno: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
[2] MAREK, J. a kol. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha: MM Publishing, 2010. ISBN 978-80-254-7980-3.
[3] NOORANI, R. *Rapid Prototyping: principles and applications*. Hoboken: John Wiley a Sons, 2006. ISBN 0-471-73001-7.
[4] GIBSON, I., D.W. ROSEN, a B. STUCKER. *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. New York: Springer, 2010. ISBN 978-1-4419-1119-3.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Zelený, Ph.D.**
Katedra výrobních systémů a automatizace
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jiří Šafka, Ph.D.**
Katedra výrobních systémů a automatizace

Datum zadání bakalářské práce: **5. března 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **5. června 2016**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 5. března 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 10.9.2015

Podpis: 

TÉMA : NÁVRH VHODNÉHO TYPU VŘETENE PRO 3D TISKÁRNU

ABSTRAKT : Bakalářská práce na téma „Volba vřetene pro 3D tiskárnu“ je věnována rešerši jednotlivých částí CNC frézky a 3D tiskárny s popisem a určením vhodnosti pro daný typ stroje. Vzájemné porovnání zvolených vřeten a určení nejvíce vhodného vřetene pro následnou úpravu a osazení na 3D tiskárnu.

KLÍČOVÁ SLOVA: CNC, frézka, fréza, vřeteno, rešerše, 3D tiskárna

THEME : DRAFT A SUITABLE TYPE SPINDLES FOR 3D PRINTER

ABSTRACT: Bachelor's thesis on „Selection of spindle for 3D printer“ is devoted to researches of individual parts CNC milling machines and 3D printer with a description and determination of suitability for machine. Mutual comparison of selected spindles and determine the most suitable spindle for modification 3D printer.

KEYWORDS: CNC, milling machine, mill, spindle, research, 3D printer

Zpracovatel : TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů

Počet stran :45

Počet příloh :1

Počet obrázků :38

Počet grafů :1

Počet tabulek :12

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM GRAFŮ	10
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
ÚVOD	12
CÍL PRÁCE	12
1 ANALÝZA 3D TISKÁREN	13
1.1 Druhy 3D tiskáren na trhu	13
1.2 Materiály pro 3D tisk	14
1.3 Analýza upravované 3D tiskárny	14
2 JEDNOTLIVÉ ČÁSTI STROJE	16
2.1 Vedení posuvové soustavy	16
2.2 Posuvová soustava	18
2.3 Řízení posuvu	19
2.4 Druhy upínání obrobku	20
2.5 Řízení otáček vřetena	22
2.6 Dorazová čidla	23
2.7 Řídící elektronika	24
2.8 Software	24
2.9 Typy frézovacích gravírek	25
3 VOLBA VHODNÝCH PARAMETRŮ VŘETENE	27
3.1 Výběr vřeten	27
3.2 Hmotnost vřetene	27
3.3 Upínací mechanismus	28
3.4 Otáčky vřetene	28
3.5 Výkon vřetene	30

3.6	Házivost vřetene	31
3.7	Napájecí napětí vřetene	32
3.8	Upínací průměr vřetene	33
3.9	Ceny vřeten	33
4	VOLBA VHODNÉHO VŘETENE	34
4.1	Volba vřeten pro úpravu	34
4.2	Proxxon MICROMOT 50	35
4.3	Proxxon MICROMOT LB/E	35
5	NUTNÉ ÚPRAVY 3d TISKÁRNY	36
5.1	Úprava osy Z	36
5.2	Úprava osy Y	37
5.3	Úprava osy X	37
5.4	Úprava držáku extruderu	37
5.5	Úprava vřetene	39
6	ODSÁVÁNÍ ZBYTKOVÉHO MATERIÁLU	40
6.1	Varianty odsávání	40
7	FINANČNÍ ROZBOR ÚPRAV	41
7.1	Standartní díly	41
7.2	Vyráběné díly	41
7.3	Celkové náklady	42
	VYHODNOCENÍ ŘEŠENÍ	43
	ZÁVĚR	43
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	44
	SEZNAM PŘÍLOH	45

SEZNAM OBRÁZKŮ

Číslo	Název	Strana
1	Samoreplikující se tiskárna Průša Mendel	13
2	3D tiskárna Replicator 2 značky Makerbot	13
3	Tiskový materiál ABS v návinu s odlišným zbarvením	14
4	3D tiskárna vyvíjená v laboratoři prototypových technologií a procesů	15
5	Konstrukce Lineárního kolejnicového vedení od firmy HIWIN	16
6	otevřené kuličkové pouzdro	16
7	Vodící tyč podepřená po celé délce v kombinaci s otevřeným kuličkovým pouzdem usazeném v domku	17
8	Uzavřené kuličkové pouzdro	17
9	Vodící tyč podepřená na obou koncích v kombinaci s uzavřeným kuličkovým pouzdem usazeném v domku	17
10	Kuličkový šroub v kombinaci s kuličkovou maticí	18
11	Krokový motor	19
12	Servo motor	20
13	Prizmatický strojní svěrák Primus 100	20
14	Upnutí součásti pomocí upínek	21
15	Magnetická upínací deska VG-612	21
16	Vakuový upínač	21
17	Vrtací bruska Proxxon LB/E s manuálním nastavením otáček	22
18	Vřeteno Proxxon MICROMOT 50 napájené 12V se zpětnovazební regulací otáček pomocí tyristorů	22
19	Vřeteno C31/40-C-3822-300 řízené frekvenčním měničem	23
20	Čidlo LM8-3001	23
21	Mikrospínač	23
22	Řídící elektronika SmoothStepper pro řízení šesti os	24
23	Hlavní dialogové okno programu Mach3	25
24	Hlavní dialogové okno programu EMC2	25
25	Modelářská CNC frézka s řízením otáček vřetene pomocí vysokofrekvenčního měniče	26
26	Modelářská CNC frézka s vřetenem KRESS 1050 s manuálním řízením otáček	27
27	Vřeteno Proxxon MICROMOT 50 napájené 12V se zpětnovazební regulací otáček pomocí tyristorů	35
28	Vřeteno Proxxon MICROMOT LB/E S ohebnou hřídelí MICROMOT 110/P	35
29	Uložení osy Z – Současné řešení.	36
30	Uložení osy Z – Řešení výztuhy osy Z	37

Číslo	Název	Strana
31	Uložení osy X a Y	37
32	Tisk s podporou	38
33	Původní držák vstřikovacích trysek	38
34	Nový držák vstřikovacích trysek	38
35	Držák vřetene	39
36	Osazovací kroužek hřídele	39
37	Výměnný kartáč pro odsávání	40
38	Kartáč s držákem odsávání	40

SEZNAM GRAFŮ

Číslo	Název	Strana
1	Grafické znázornění otáček vzhledem k průměru frézy a řezné rychlosti	29

SEZNAM TABULEK

Číslo	Název	Strana
1	Hmotnosti vřeten	27
2	Upínání fréz ve vřetenech	28
3	Parametry frézy GARANT 19 0730	29
4	Maximální otáčky vřeten a jejich možnosti regulace	30
5	Výkony fréz	31
6	Uložení rotoru vřetene	32
7	Napájecí napětí	32
8	Upínací průměr vřetene	33
9	Ceny vřeten	33
10	Celkové porovnání jednotlivých vřeten	34
11	Ceny standardních dílů	41
12	Ceny vyráběných dílů	42

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Vysvětlení
3D	Trojrozměrné
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
CAD	Computer Aided Design - počítačem podporované navrhování
CAM	Computer Aided Manufacturing - počítačem podporovaná výroba
CNC	Číslicově říjený stroj
DIY	Do it yourself - udělej si sám
FDM	Fused Deposition Modeling - modelování nanášením taveného materiálu
NITS	Národní institut pro standardy a technologie
PLA	Polylactic acid
USB	Universal Serial Bus - univerzální sériová sběrnice

Symbol	Jednotka	Popis
D	[mm]	průměr frézy
P_c	[W]	požadovaný užitný výkon
a_e	[mm]	šířka pracovního záběru
a_p	[mm]	hloubka řezu
h	[mm]	tloušťka třísky
k_c	[MPa]	měrný řezný odpor
k_{c1}	[MPa]	měrný řezný odpor materiálu pro tloušťku třísky 1mm
m_c	[-]	koeficient obráběného materiálu
n	[min ⁻¹]	Otáčky
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
v_f	[m.min ⁻¹]	posuv stolu
z_c	[-]	počet efektivních zubů

ÚVOD

V dnešní době, kdy je obrábění ve strojírenském průmyslu z větší části již zcela automatizováno a řízeno počítačem, se postupně tyto stroje dostávají i do menších firem a domácích dílen. Tento trend se projevuje hlavně díky rozvoji elektrotechniky a informatiky. Nyní již menší CNC frézky nejsou tak cenově nákladné, než jak tomu bylo dříve. Z tohoto důvodu si je mohou dovolit i drobní živnostníci nebo modeláři.

U drobných živnostníků se často ani nejedná o koupi nového obráběcího stroje, ale o pouhou přestavbu stávajícího konvenčního obráběcího stroje.

Domácí kutilové a modeláři se ani tak nezaměřují na samotnou koupi stroje, jelikož je to pro ně při současných cenách nákladné, ale zaměřují se na vlastní výrobu stroje. Díky možnosti internetu, kde tito kutilové vytvářejí vlastní komunitu, již není problém si takovýto stroj postavit. Získání potřebných informací a součástí CNC stroje, ať se jedná o mechanické části, programy nebo elektroniku není díky těmto komunitě složité.

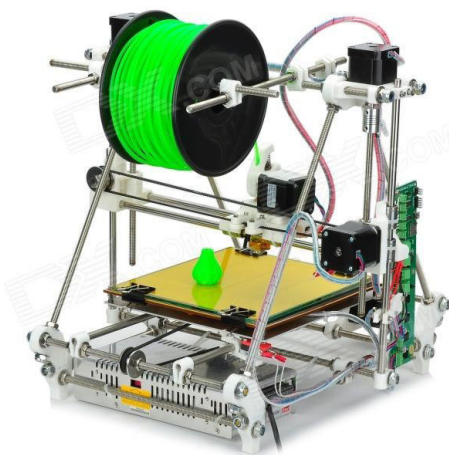
CÍL PRÁCE

Cílem této práce přestavba modelářské 3D tiskárny využívající technologii tisku FDM vyvíjené v laboratoři prototypových technologií a procesů na CNC frézku. 3D tiskárnu má být možno po dokončení tisku osadit přídatným obráběcím vřetenem a následným obráběním vytisknutého dílu zvýšit přesnost vytisknutého dílu. Dalším cílem práce je popis jednotlivých dílů používaných pro výrobu 3D tiskáren a CNC frézek a jejich vzájemné porovnání výhod, nevýhod a vhodnosti pro daný typ přestavby. Na závěr je nutné zhodnocení přestavby z ekonomického hlediska a doporučení pro možnou další úpravu 3D tiskárny.

1 ANALÝZA 3D TISKÁREN

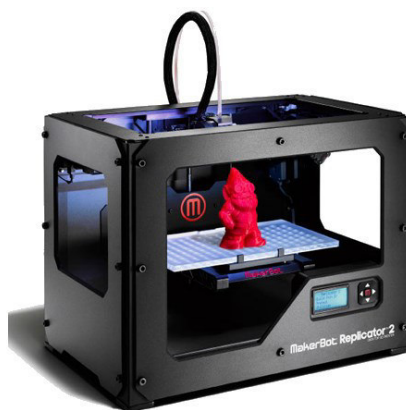
1.1 Druhy 3D tiskáren na trhu

3D tiskárny využívající technologii FDM jsou dnes nejrozšířenější a je možné zakoupit spousty typů tiskáren využívající tuto technologii. Od profesionálních variant až po varianty tzv. „DIY“ tiskárny, které je možné jednoduše sestavit. Tyto tiskárny jsou navíc navrženy tak, aby dokázali sami vytisknout většinu součástí na kompletaci další totožné tiskárny. Tyto vytisknuté díly je nutné pouze doplnit normalizovanými díly, jako jsou například krokové motory, šrouby a matice, které jsou běžně dostupné. Nejznámější z těchto tiskáren u nás je především projekt RepRap a tiskárna od českého vývojáře Průša Mendel [11].



Obr. 1. Samoreplikující se tiskárna Průša Mendel [11].

Dále jsou na trhu tiskárny kompletní. Nejrozšířenějším zástupcem je v této kategorii tiskárna Replicator 2 značky MakerBot. Tato tiskárna navíc nevyžaduje připojení počítače pro její řízení, jako je tomu u tiskárny Mendel. Tiskárna je schopna tisková data načíst z vložené paměťové karty. Dále tiskárna podporuje tisk z více materiálů současně, kde se jeden převážně používá pouze pro stavbu podpory výsledného tisknutého dílu, která je následně odstraněna [11].



Obr. 2. 3D tiskárna Replicator 2 značky Makerbot [11].

Na světovém trhu je dnes již nespočet dalších 3D tiskáren, jak od velkých společností, tak tzv. start-upu, které dále nebudu zmiňovat.

1.2 Materiály pro 3D tisk

Tiskárny se dále odlišují podle materiálu, který na nich lze tisknout. Nejrozšířenějším materiálem je ABS plast. Je to amorfni termoplastický kopolymer. Tento materiál se používá zejména pro jeho zdravotní nezávadnost, odolnost vůči teplotám a mechanickému poškození. Tento materiál je zakoupit v různých barvách díky přidávaným barvivům a pigmentům.

Dalším velice rozšířeným materiálem je PLA, který se vyrábí z kukuřičného škrobu a celulózy. Je také zdravotně nezávadný a ekologicky odbouratelný. Je vhodnější pro tisk složitějších součástí. Jeho nevýhodou je jeho schopnost pohlcovat vlhkost okolí a odolnost vůči vysokým teplotám. Mezi méně časté materiály používající se pro 3D tisk patří dřevěné plastické kompozitní materiály, polykarbonát, polyvinil alkohol a termoplastické elastomery.

Profesionální tiskárny mohou dále tisknout i z kvalitnějších materiálů jako je hliník či nerez. Tento tisk probíhá odlišnou technologií od modelářských tiskáren a to laserovým spékáním [11].



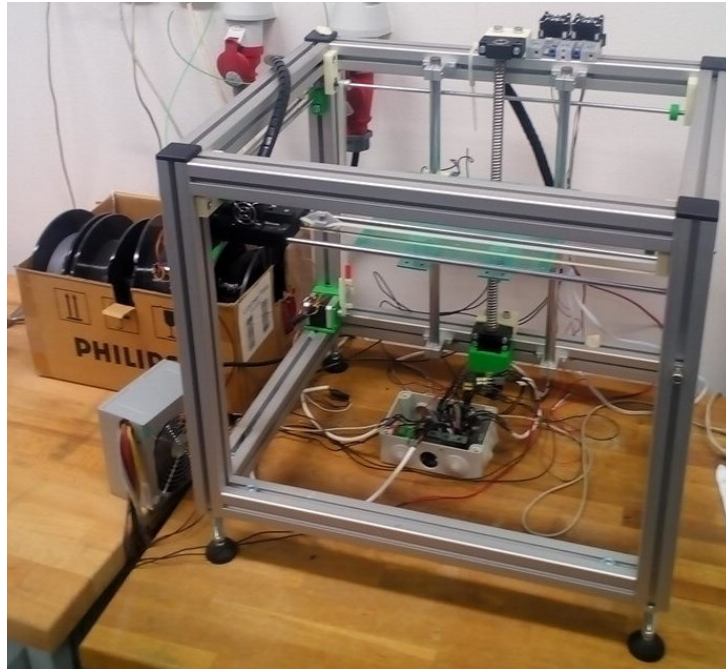
Obr. 3. Tiskový materiál ABS v návínu s odlišným zbarvením [11].

1.3 Analýza upravované 3D tiskárny

Tiskárna, která je určena pro osazení frézovacím vřetenem má odpruženou osu, která je pro frézování nevyhovující a při osazení frézovací hlavou bude nutné pružení pevně zajistit. Tiskárna oproti tiskárně Replicator 2 nemá krytování, což bude třeba zohlednit při návrhu frézovacího vřeteně, jelikož při frézování vzniká odpad, který je vhodné zachytávat. Držák vstřikovací trysky plastické hmoty bude nutné upravit, tak aby byl výměnný za frézovací hlavu. Další možností vytvořit nový držák, který bude rozšířen o pozici pro frézovací hlavu.

Osa Z má vedení pouze z jedné strany, které je pro 3D tisk plně dostačující, ale při obrábění zde mohou vznikat problémy při působení vřetene proti základové desce. Zde hrozí možnost průhybu, kterému je nutno se vyvarovat.

Posuvy jednotlivých os řídí krokové motory, které mají dostatečný kroučící moment pro 3D tisk i dokončovací obrábění vřetenem.



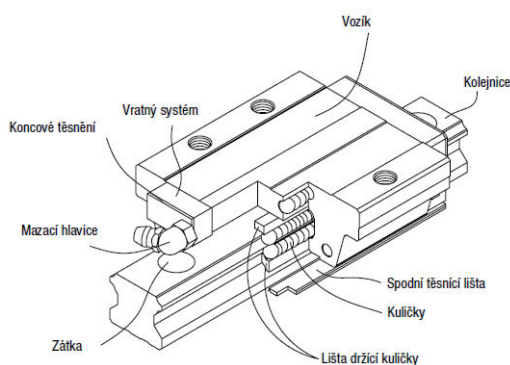
Obr. 4. 3D tiskárna vyvíjená v laboratoři prototypových technologií a procesů.

2 JEDNOTLIVÉ ČÁSTI STROJE

2.1 Vedení posuvové soustavy

Přesnost vedení posuvové soustavy je velice důležitá pro samotný posuv. U vedení se klade důraz hlavně na přesnost, malé vůle a nízký posuvový odpor. Pro modelářskou frézku se často používá jedna ze tří variant v závislosti na použití, požadované přesnosti, životnosti a ceně těchto vedení.

Mezi velice přesnou, a však cenově náročnou variantou, patří vedení pomocí lineárních kolejnic. Toto vedení umožňuje velmi přesný, přímočarý pohyb pomocí valivých elementů kuliček nebo válečků. Tyto elementy obíhají v broušených a kalených drahách vozíku a kolejnice. Výhodou je velmi vysoká únosnost a tuhost při velmi nízkém valivém odporu. Díky konstrukci oblouku oběžných drah jsou zachyceny síly jak ve vertikálním, tak v horizontálním směru [5].



Obr. 5. Konstrukce Lineárního kolejnicového vedení od firmy HIWIN [5].

Mezi další rozšířený typ vedení patří vedení pomocí vodící tyče, v kombinaci s kuličkovým pouzdem. Tato kombinace umožňuje přesný přímočarý pohyb po vodících tyčích. Tento pohyb je umožněn díky kuličkovým drahám v pouzdru, ve kterých obíhají kuličky. Kuličková pouzdra se vyrábějí ve dvou provedeních.

První provedení je otevřené kuličkové pouzdro znázorněné na obrázku 6. Toto pouzdro se používá v kombinaci s vodící tyčí podepřenou po celé jeho délce (obrázek 7). Otevřené pouzdro je vhodné hlavně pro vyšší zatížení, kde je díky celodélkové podpěře zamezeno průhybu vodící tyče [5].



Obr. 6. Otevřené kuličkové pouzdro [3]



Obr. 7. Vodící tyč podepřená po celé délce v kombinaci s otevřeným kuličkovým pouzdem usazeném v domku [3].

Druhá varianta je uzavřené kuličkové pouzdro znázorněné na obrázku 8. Díky uzavřenému profilu je možné vodící tyč podepřít pouze na jeho koncích dle obrázku 9. Tato varianta je vhodná pro menší zatížení, jelikož je zde možný průhyb vodící tyče. Tomuto průhybu lze částečně zabránit volbou vodící tyče většího průměru [5].



Obr. 8. Uzavřené kuličkové pouzdro [5].



Obr. 9. Vodící tyč podepřená na obou koncích v kombinaci s uzavřeným kuličkovým pouzdem usazeném v domku [3].

Vodící tyče se konstrukčně nevyrovnají přesností a tuhostí kolejnicovému vedení s vozíky. Pro modelářskou výrobu jsou však vyhovující pro jejich nižší cenu oproti kolejnicovému vedení.

Další možností vedení je využití samostatné posuvové soustavy. Tato varianta se ale používá velice zřídka. Je vhodná hlavně pro jemné gravírování a 3D tiskárny, kde je velice malé zatížení a nehrozí velké zatížení [5].

2.2 Posuvová soustava

Volba vhodné posuvové soustavy je velice důležitá pro přesnost celého stroje. Na přesnosti posuvové soustavy je závislá i volba pohonu této soustavy, která musí počítat i se samotnou vůlí posuvové soustavy.

Mezi přesnou posuvovou soustavu patří kuličkový šroub v kombinaci s kuličkovou maticí. Rotační pohyb je převeden na přímočarý díky obíhajícím kuličkám v závitech mezi šroubem a maticí (obrázek 10). Díky tomuto převodu je dosaženo nízkého valivého odporu a až 98% mechanické účinnosti. Vzhledem k nízkému valivému odporu je dosaženo vysoké životnosti. Výhodou této soustavy je přesné polohování díky předepnutým maticím, které umožňují bezvúlový pohyb [5].



Obr. 10. Kuličkový šroub v kombinaci s kuličkovou maticí [5].

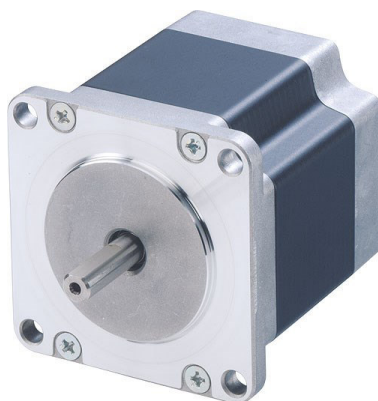
Dnes již méně používaná varianta je volba trapézového šroubu s maticí, který je v dnešní době překonán právě kuličkovým šroubem s maticí. Nevýhoda tohoto šroubu je zejména její mechanická účinnost, která se pohybuje okolo 48%. Díky tření je šroub více opotřebováván než kuličkový šroub jelikož neobsahuje žádné valivé mechanismy. Výhody této varianty je zejména jednoduchost výroby, cena a samosvornost, kterou kuličkový šroub nemá [5].

Další variantou je použití ozubeného řemene. Tento typ posuvu je použit u 3D tiskárny určené k přestavbě v této práci. Posuv zajištěn pomocí ozubeného řemene je u modelářských 3D tiskáren nejrozšířenější vzhledem k nízkým pořizovacím nákladům, jednoduchosti montáže a rychlosti posuvu. Mezi nevýhody těchto řemenů patří hlavně délkové rozměry a nižší přenášený výkon. Výrobci řemeny dodávají v několika délkách, se kterými je potřeba předem počítat při navrhování posuvného mechanismu. Další variantou je zakoupení řemene v metráži. V tomto případě je nutné na řemen umístit spojku, nebo řemen upevnit přímo ke stolu, kterým daný řemen pohybuje [16].

2.3 Řízení posuvu

Řízení posuvové soustavy u modelářských CNC frézek je zpravidla zajištěno dvěma typy motorů, které se odlišují hlavně možnostmi odměřování.

Mezi nejvíce rozšířené motory v modelářské výrobě patří motory krokové znázorněné na obrázku 11. Důvod jejich velkého rozšíření je jejich cena, spolehlivost, bezúdržbový provoz a hlavně u tohoto typu odpadá nutnost použití dodatečné odměřování polohy, při nízkém zatížení, kdy nedochází ke ztrátě kroku. Odměřování není nutné používat hlavně pro jeho vlastnosti. Krokový motor se od běžného motoru liší hlavně způsobem otáčení. Krokový motor se neotáčí plynule, ale po tzv. krocích. Motor má pevně daný minimální úhel, o který se může pootočit. Toto otáčení zajišťuje elektronika vydávající impulsy, a díky nim se otočí vždy o požadovaný úhel. U tohoto způsobu řízení tedy není nutné použít dodatečné odměřování, jelikož poloha je určuje stoupáním závitu a pootočením rotoru. Dodatečné odměřování se používá v případě, kdy může dojít ke ztrátě kroku. V tomto případě je krokový motor osazen enkodérem, který kontroluje pootočení. Enkodér komunikuje s řídicí elektronikou, která porovnává natočení krokového motoru a enkodérů. V případě ztráty kroku, řídicí elektronika krokovému motoru příslušný počet kroků doplní [11, 3].



Obr. 11. Krokový motor [3].

Další možností řízení je použití servomotoru znázorněném na obrázku 12, který v modelářské výrobě není tak běžný, jako krokový motor. Používají se zejména servomotory obsahující integrovaný snímač polohy rotoru. Není nutné používat dodatečné odměřování polohy. Servomotory jsou přesnější než krokové motory díky zpětné kontrole snímačem. Mezi další výhodu lze zařadit i plynulost chodu oproti krokovému motoru, který se neotáčí plynule, ale po krocích [11, 3].



Obr. 12. Servo motor [3].

2.4 Druhy upínání obrobku

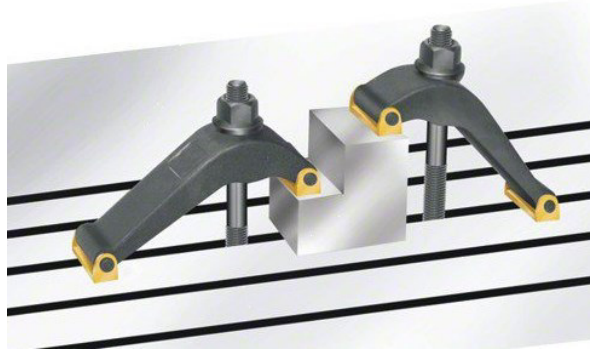
Volbu upínací soustavy obrobku je nutné zvolit vzhledem k použití CNC frézky. Předem je důležité určit hlavně materiály, které lze na frézce zpracovávat. Na zvolených materiálech je totiž závislá upínací soustava.

Velice často se používá prizmatický svěrák hlavně pro jeho univerzálnost. Není totiž důležité, zda zpracováváme kovový či nekovový materiál. Obrobek je upnut pomocí síly sevření svěráku. Tento způsob upínání je však méně vhodný například pro gravírování. Často se gravírují velice rozměrné desky, které nelze díky velikosti do svěráku upnout, a proto je nutné zvolit jiný způsob upínání.



Obr. 13. Prizmatický strojní svěrák Primus 100 [10].

Další možností upínání jsou upínky, které můžeme umístit kamkoliv na pracovní plochu stroje. Je tedy možné do nich upnout i rozměrnější díly. Pro tyto upínky musí být uzpůsoben stůl ke kterému obrobek upínáme.



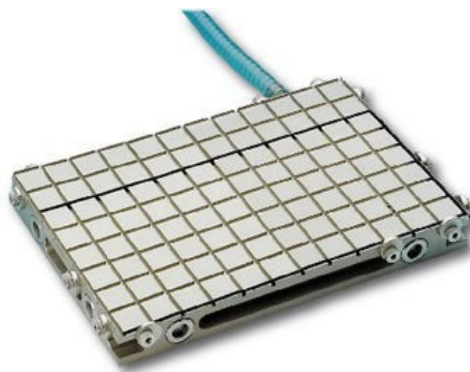
Obr. 14. Upnutí součásti pomocí upínek [8].

Součásti je možné také upínat pomocí magnetického upínače. Tento způsob upínání je velice rychlý, avšak nepoužitelný pro obrábění nemagnetických materiálů, jako jsou plasty, bronz, hliník, dural, měď. Vzhledem k ceně a možnosti upínaných materiálů se v modelářské výrobě téměř nepoužívá [14].



Obr. 15. Magnetická upínací deska VG-612 [14].

Podobný způsob upínání je upínání vakuové. Zde není nutné brát ohled na vlastnosti materiálu, jelikož upínací síla je zajištěna díky podtlaku. U tohoto řešení je nutné brát ohled na povrch, za který je obrobek upínán.



Obr. 16. Vakuový upínač [12].

V modelářské výrobě se také často používá obyčejná oboustranná lepicí páska, která se jednou stranou přilepí k posuvnému stolu a na druhou stranu se nalepí gravírovaná deska. Tento

způsob lze použít pouze u gravírování, jelikož lepicí páska nemá příliš velké přídržné síly. Je však často používána modeláři vzhledem k její velice nízké pořizovací ceně.

2.5 Řízení otáček vřetena

U modelářských CNC frézek se jako vřetena nejčastěji používají v obchodě běžně dostupné druhy ručních gravírek, popřípadě horních frézek. Ty se následně upraví, aby je bylo možné upnout na konstrukci CNC frézky, pokud již nemají osazení určené pro upnutí. Velice okrajově se používají i jiná vřetena určená přímo na takovýto typ stroje.

Jako nejjednodušší typ řízení je použití manuální regulace přímo na vřetenu. V modelářské výrobě je toto nastavování ve většině případů postačující a cenově nejvýhodnější. Vzhledem k obráběným materiálům, postačuje nastavení otáček právě tímto způsobem.



Obr. 17. Vrtací bruska Proxxon LB/E s manuálním nastavením otáček [10].

Další typ nastavení otáček je pomocí elektroniky, která řídí i zbytek systémů stroje jako jsou dorazy, posuvy jednotlivých os, chlazení, apod. U tohoto typu řízení je ale omezení výstupního napětí a proudu. Elektronika je ve většině případů schopna dodávat vřetenu napětí v rozmezí 12-24V. Toto napětí postačuje pro některá sériově vyráběná vřetena a je tedy možné stroj takovýmto vřetenem osadit.



Obr. 18. Vřeteno Proxxon MICROMOT 50 napájené 12V se zpětnovazební regulací otáček pomocí tyristorů [10].

Méně často se modelářské CNC Frézky osazují vřetenem s řízením otáček pomocí frekvenčního měniče. Pořizovací cena tohoto typu vřetene několikanásobně přesahuje cenu předchozích dvou variant. K tomuto vřetenu je nutné zakoupit frekvenční měnič, který je finančně nákladný [2, 11].



Obr. 19. Vřeteno C31/40-C-3822-300 řízené frekvenčním měničem [13].

2.6 Dorazová čidla

Jako dorazová čidla se nejčastěji používají indukční snímače. Jedná se o bezdotykový snímač pracující na formě indukce. Pokud se stůl přiblíží, čidlo vydá povel elektronice, aby zastavila stoj a tím se předešlo kolizi.



Obr. 20. Čidlo LM8-3001 [4].

Další méně častou možností je použití dotykového kontaktního spínače. Elektronika zaznamená najetí stolu na koncový doraz po sepnutí spínače. Toto řešení se často nepoužívá právě pro nutnost mechanického kontaktu.

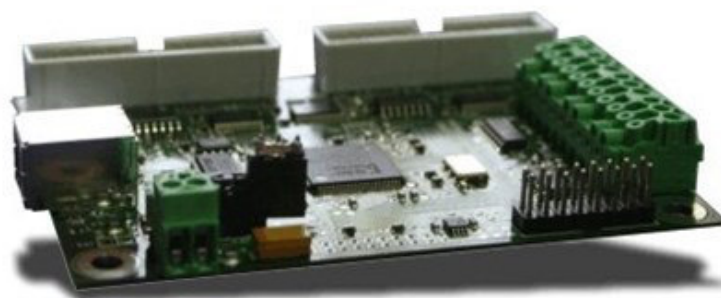


Obr. 21. Mikrospínač [4].

Jako další řešení lze využít systémů optických závor. Optická závora funguje na principu optického přerušení signálů, které je způsobeno předmětem vsunutým mezi přijímací a vysílací diodou.

2.7 Řídící elektronika

Jedna z důležitých částí, která uvádí celý stroj do pohybu a má na starost všechny řídicí prvky, je řídicí elektronika. V dnešní době existuje mnoho typů těchto elektronik. Většinou se liší hlavně podle počtu ovládaných os, počtu vstupů a výstupů, které se používají například na spínání chlazení, vřetena a dorazových čidel. Dále se také liší podle možností generování pulzu pro krokové motory a typu připojení k počítači. Často se liší i podle napájení samostatné elektroniky. Některé totiž ani nemusejí mít externí zdroj a stačí jim napájení přímo z USB portu. Tyto elektroniky nemají dostatečné napětí na řízení vřetene, a proto se používají zřídka [2, 3, 9, 11].

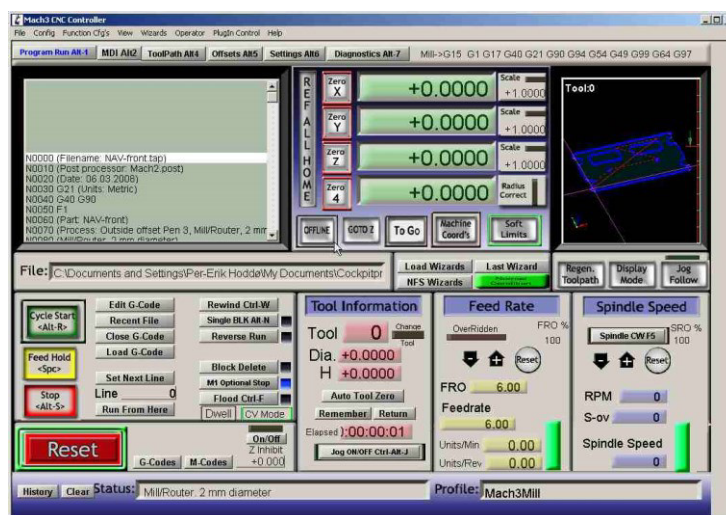


Obr. 22. Řídící elektronika SmoothStepper pro řízení šesti os [3].

2.8 Software

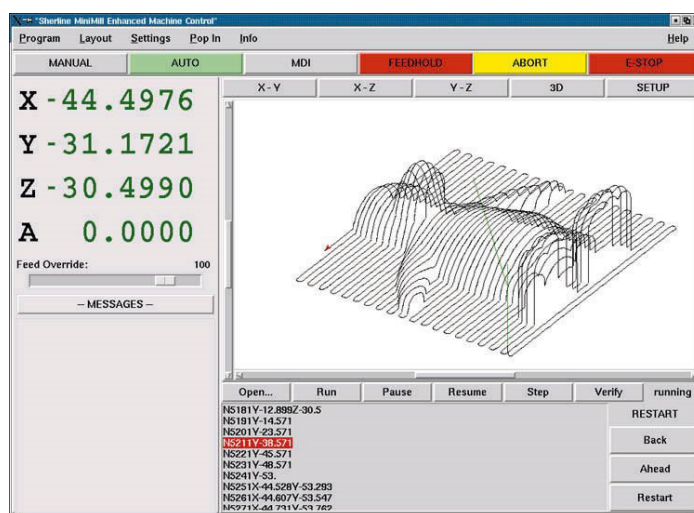
Nedílnou součástí CNC frézky je software zadávající řídicí elektronice příkazy, dle kterých řídí CNC frézku. Na trhu nachází spousta programů pro řízení CNC. Zpravidla se rozdělují na open-source programy, které jsou distribuovány zdarma, a placené programy [2, 9].

Mez rozšířené programy patří program Mach3, který je schopen ovládat až 6 na sobě nezávislých os. Je s ním možné ovládat vřeteno, chlazení, odsávání a další připojitelné příslušenství díky podpoře 20 vstupních a 20 výstupních pinů. Program je řízen standardním ISO kódem, není tedy problém v CAM programu pro něj vygenerovat G kód, kterému nemá problém porozumět. [2].



Obr. 23. Hlavní dialogové okno programu Mach3 [2].

Mezi open-source programy patří program EMC2, který byl původně vyvinut NITS. Tento program je možné spustit pouze pod operačním systémem Linux, který je také open-source. Stejně jako v případě programu Mach3 podporuje řízení šesti os [9].



Obr. 24 Hlavní dialogové okno programu EMC2 [9].

2.9 Typy frézovacích gravírek

První frézka na obrázku 35 má zajištěný posuv kuličkovým šroubem, který má vymezeny vůle. Základový stůl obsahuje T-drážky, které jsou vhodné jak pro upínání v prizmatickém svěráku, tak pro upínání pomocí upínek. Vedení ve všech osách je zajištěno pomocí vodících tyčí. Osa Y je podepřena po celé délce zamezující průhybu. Otáčky vřetena jsou regulovány pomocí frekvenčního měniče a je chlazeno vodou. Vřeteno dosahuje otáček 0-24000 ot/min. Házivost vřetena udávaná výrobcem je 0,05mm. Pro hobby použití přesnost zcela vyhovující. Frézy se do vřetena upínají pomocí výměnných kleštin o různých průměrech, které nám zajišťují vysokou přesnost upnutí frézy [3].



Obr. 25. Modelářská CNC frézka s řízením otáček vřetene pomocí vysokofrekvenčního měniče [3].

Druhá frézka na obrázku 26 má velice podobnou stavbu, ale liší se použitým vřetenem. Bylo použito vřeteno napájeno 230V s ruční regulací otáček. Rozsah otáček je zde 5000-25000 ot/min. Výkon toho vřetene je 1050 W se hmotností 1,7kg. Upínání je zde řešeno opět pomocí výměnných kleštín o průměrech 0- 8 mm. Upínací průměr vřetene je 43 mm [3].



Obr. 26. Modelářská CNC frézka s vřetenem KRESS 1050 s manuálním řízením otáček [3].

3 VOLBA VHODNÝCH PARAMETRŮ VŘETENE

3.1 Výběr vřeten

Pro výběr vhodného vřetene bylo zvoleno několik typů vřeten od různých výrobců s různými parametry. Jsou zde zahrnuta vřetena s různými druhy regulací otáček, upínání fréz, upínání vřetene, provozních napětí a výkonů.

Stanovení vhodných parametrů vřetena je velice závislé na konstrukci, kde bude vřeteno umístěno. V opačném případě by hrozilo předdimenzování nebo poddimenzování frézovacího vřetene. Je nutné zohlednit samotnou tuhost konstrukce, aby nebylo zvoleno vřeteno, které by bylo vzhledem ke své hmotnosti nevhodné. Dále je nutné brát ohled na maximální možný průměr frézy, který lze do vřetena upnout. Je nutné zvolit vhodný výkon a otáčky vřetene.

Vybírané vřeteno je určeno pro modelářskou 3D tiskárnu. Vedení je zde zajištěno pomocí vodících tyčí, které jsou podepřeny pouze na koncích. Posuv je zde řešen pomocí krokových motorů. Na osách X a Y je posuv zajištěn pomocí ozubeného řemene. Na ose Z je zajištěn posuv pomocí kuličkového šroubu. Díky použití kuličkového šroubu místo řemene, jak je tomu u zbývajících os, je zajištěno, že se stůl s obrobkem při vypnutí krokového motoru nebude samovolně pohybovat dolů. Toto je vhodné pouze pro 3D tisk, nikoliv však pro frézování, kde je na ose Z vřeteno a stůl je nepohyblivý. U 3D tiskárny je toto řešení dostatečné, jelikož hmotnost stolu nevykonává vůči kuličkovému šroubu a krokovému motoru dostatečnou sílu, aby byl překonán krouticí moment pro pootočení kuličkového šroubu a následnému pohybu stolu dolů [11].

3.2 Hmotnost vřetene

Vzhledem k nízké tuhosti celé konstrukce není vhodné volit příliš těžké vřeteno. Celková váha vřetene by neměla překročit váhu 0,5kg, aby bylo možné nahradit vstřikovací hlavu frézovací s minimální změnou hmotnosti. V tabulce 1 jsou porovnány hmotnosti jednotlivých vřeten.

Tab. 1. Hmotnosti vřeten [3,8,10].

Název vřetene	Hmotnost[g]
PROXXON GG 12	50
Drill 3000	60
PROXXON MICROMOT 50	230
PROXXON FBS 12/E	450
PROXXON FBS 240/E	450
PROXXON IB/E	500
Dremel 300	550
PROXXON LB/E	630
Dremel 4000	660
KRESS FM 530	1300
KRESS 1050	1700
Teknomotor C31/40-C-3882	3500

3.3 Upínací mechanismus

Horní frézky často používají dva typy upínání. První je upínání pomocí sklíčidla, které není příliš vhodné pro nepřesnost upínání. Hrozí špatné upnutí a následné vyosení frézy.

Druhý typ upínání je pomocí výměnných kleštín s různými průměry. Díky předem určenému průměru nehrozí špatné upnutí a vyosení frézy. Upřednostňuji tedy upínání pomocí výměnných kleštín dle tabulky 2.

Tab. 2. Upínání fréz ve vřetenech [3,8,11].

Název vřetene	Upínání fréz
PROXXON MICROMOT 50	kleštiny
PROXXON LB/E	kleštiny
PROXXON IB/E	kleštiny
KRESS 1050	kleštiny
KRESS FM 530	kleštiny
Teknomotor C31/40-C-3882	kleštiny
Dremel 300	kleštiny
Dremel 4000	kleštiny
PROXXON GG 12	sklíčidlo
PROXXON FBS 12/E	sklíčidlo
PROXXON FBS 240/E	sklíčidlo
Drill 3000	sklíčidlo

3.4 Otáčky vřetene

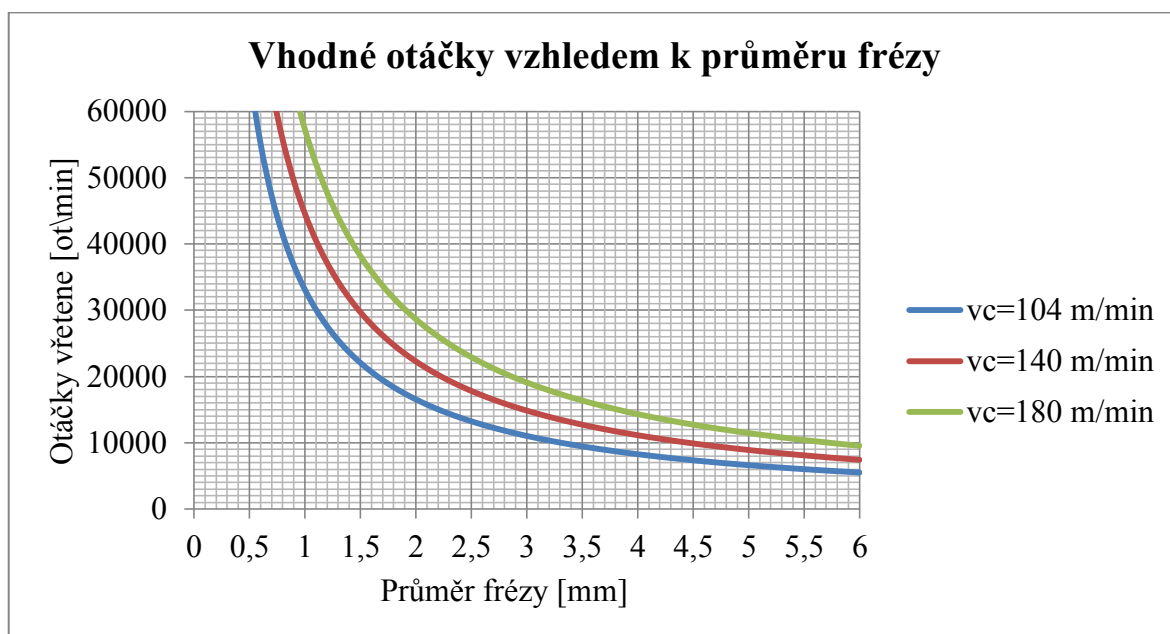
U modelářské CNC frézky jsou často několikrát vyšší otáčky, než otáčky běžné nástrojářské frézky. Je to dáno používáním fréz menších průměrů, kde je nutné pro zachování vhodné rezné rychlosti zajistit vysoké otáčky. Pro příklad výpočtu byla zvolena fréza GARANT 19 0730 3x60 pro obrábění termoplastů, hliníku a jeho slitin. Tyto frézy mají pro jednotlivé materiály rezné rychlosti od 100 do 200 m/min viz tabulka 3. Jako vhodné průměry fréz bylo zvoleno rozmezí mezi 2-6mm. Ze zvolených parametrů lze vypočítat vhodné otáčky (1) pro daný typ obráběného materiálu. Jako obráběný materiál byla zvolena hliníková slitina, která má náročnější rezné podmínky než termoplast nebo balsa [1, 6].

Tab. 3. Parametry frézy GARANT 19 0730 [6].

Materiál	v_c [mm/min]	f_z [mm]	z_c [-]	a_e [mm]
Termoplast	200	0,003	1	3
Hliník	120	0,003	1	3
Slitiny hliníku	100	0,003	1	3

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \quad (1)$$

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



Graf 1. Grafické znázornění otáček vzhledem k průměru frézy a řezné rychlosti [6].

Z grafu 1 je zřejmé, že pro frézy průměrů 2-6 mm jsou vhodné otáčky v rozmezí 5000-25000 ot/min. Díky velkému rozsahu otáček je nutné zvolit vřeteno s regulací otáček.

Tab. 4 Maximální otáčky vřeten a jejich možnosti regulace [3,8,10].

Název vřetene	Otáčky [ot/min]	Regulace
Teknomotor C31/40-C-3882	18000	frekvenční měnič
PROXXON FBS 12/E	15000	manuální
PROXXON FBS 240/E	20000	manuální
PROXXON LB/E	20000	manuální
PROXXON IB/E	20000	manuální
KRESS 1050	25000	manuální
KRESS FM 530	29000	manuální
Dremel 300	33000	manuální
Dremel 4000	35000	manuální
PROXXON GG 12	20000	ne
PROXXON MICROMOT 50	20000	ne
Drill 3000	18000	ne

3.5 Výkon vřetene

Pro určení potřebného výkonu vřetene je nutné nejdříve určit posuv (2), z čehož následně lze vypočítat potřebný výkon (3). Šířka záběru doporučená výrobcem je průměr frézy což jsou 3 mm a výšku záběru volím 1 mm, což je vhodné zejména pro Al slitiny [1].

$$v_f = f_z \times n \times z_c = 0,003 \times 15000 \times 1 = 45 \text{ mm/min} \quad (2)$$

kde: v_f [m.min⁻¹] - posuv stolu,
 n [min⁻¹] - otáčky vřetene,
 z_c [-] - počet efektivních zubů.

$$P_C = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times k_C}{60 \times 10^6} = \frac{1 \times 3 \times 45 \times 350}{60 \times 10^6} = 7,875 \times 10^{-4} \text{ kW} \quad (3)$$

kde: P_C [kW] - požadovaný užitečný výkon,
 a_e [mm] - šířka pracovního záběru,
 a_p [mm] - hloubka řezu,
 v_f [m.min⁻¹] - posuv stolu,
 k_C [MPa] - měrný řezný odpor,
 n [min⁻¹] - otáčky vřetene.

Měrný řezný odpor k_c je dán vztahem [1] :

$$k_c = \frac{k_{c1}}{h_{mc}} = \frac{k_{c1}}{0,8^{0,25}} \approx \frac{k_{c1}}{1} \approx k_{c1} \approx 350 \text{ MPa} \quad (3)$$

U hliníkových slitin je minimální $k_{c1} = 350 \text{ MPa}$ [1]. Doporučená hloubka třísky pro Al slitiny je maximálně 0,8 mm [1] .

Z výše uvedených výpočtů plyne, že pro obrábění Al slitin je potřeba velice malý výkon vřetene. Z důvodu možnosti použití jiných fréz při jiných řezných podmínkách volím požadovaný výkon v rozmezí 40 - 100 W.

Tab. 5. Výkony fréz [3,8,10].

Název vřetene	Výkon [W]
KRESS 1050	1050
Tekomotor C31/40-C-3882	730
KRESS FM 530	530
Dremel 4000	175
Dremel 300	125
PROXXON FBS 12/E	100
PROXXON FBS 240/E	100
PROXXON LB/E	100
PROXXON IB/E	100
PROXXON MICROMOT 50	40
Drill 3000	30
PROXXON GG 12	6

3.6 Házivost vřetene

Házivost je velice důležitá z hlediska přesnosti obrábění a drsnosti povrchu. Tato vada může být způsobena špatnou volbou uložení, například v plastových kluzných ložiskách, které se opotřebovávají rychleji, než kuličková ložiska. Vada může být způsobena i nevhodným vymezením radiálních a axiálních vůlí. Jsou upřednostněna vřetena uložena v ložiskách s vymezenou radiální a axiální vůlí [1].

Tab. 6. Uložení rotoru včetně [3,8,10].

Název vřetene	uložení rotoru	axiální vůle	radiální vůle
KRESS 1050	kuličková ložiska	vymezeny	vymezeny
Teknomotor C31/40-C-3882	kuličková ložiska	vymezeny	vymezeny
Dremel 4000	kuličková ložiska	vymezeny	vymezeny
Dremel 300	kuličková ložiska	vymezeny	vymezeny
PROXXON FBS 240/E	kuličková ložiska	vymezeny	vymezeny
PROXXON LB/E	kuličková ložiska	vymezeny	vymezeny
PROXXON IB/E	kuličková ložiska	vymezeny	vymezeny
PROXXON GG 12	kuličková ložiska	vymezeny	vymezeny
KRESS FM 530	kuličková ložiska	vymezeny	Ano
PROXXON MICROMOT 50	kluzná ložiska	vymezeny	vymezeny
Drill 3000	kluzná ložiska	vymezeny	Ano
PROXXON FBS 12/E	kluzná ložiska	ano	Ano

3.7 Napájecí napětí vřetene

Volba vhodného napájecího napětí je důležitá pro volbu vhodného zdroje napětí. Běžný zdroj energie je zásuvka s napětím 230 V. Další možností je napájení pomocí řídicí elektroniky, kde je často omezení na 12V nebo 24V. Toto záleží na zvolené řídicí elektronice [11].

Tab. 7 Napájecí napětí [3,8,10].

Název vřetene	Napájecí napětí [V]
Drill 3000	12
PROXXON GG 12	12-18
PROXXON MICROMOT 50	12-18
PROXXON FBS 12/E	12-18
PROXXON FBS 240/E	220
PROXXON LB/E	220
PROXXON IB/E	220
KRESS 1050	220
KRESS FM 530	220
Teknomotor C31/40-C-3882	220
Dremel 300	220
Dremel 4000	220

3.8 Upínací průměr vřetene

Vřeteno s osazením pro upnutí do držáku je vhodnější, než vřetena bez osazení. Ty by se musela dodatečně upravit, aby šla upnout do držáku pro vřeteno. Jsou tedy upřednostněna vřetena, která již toto osazení mají.

Tab. 8 Upínací průměr vřetene [3,8,10].

Název vřetene	upínací průměr vřetene [mm]
PROXXON MICROMOT 50	20
PROXXON FBS 12/E	20
PROXXON FBS 240/E	20
PROXXON LB/E	20
PROXXON IB/E	20
KRESS 1050	43
KRESS FM 530	43
Teknomotor C31/40-C-3882	56
PROXXON GG 12	nemá
Drill 3000	nemá
Dremel 300	nemá
Dremel 4000	nemá

3.9 Ceny vřeten

Pro volbu vhodného vřetene je důležitá i samotná cena zvoleného vřetene. Od ceny se samozřejmě odvíjí i kvalita zpracování. Jako ideální cenová hladina je zvolena maximální cena vřetene 3000 Kč. V této cenové kategorii jsou již vřetena s požadovanými parametry.

Tab. 9. Ceny vřeten [3,8,10].

Název vřetene	Cena[Kč]
Drill 3000	274
PROXXON GG 12	388
PROXXON MICROMOT 50	752
PROXXON FBS 12/E	1013
PROXXON FBS 240/E	1531
Dremel 300	1790
PROXXON IB/E	2353
PROXXON LB/E	2509
Dremel 4000	3090
KRESS FM 530	3125
KRESS 1050	4242
Teknomotor C31/40-C-3882	6650

4 VOLBA VHODNÉHO VŘETENE

4.1 Volba vřeten pro úpravu

Ze zvolených vřeten byly zvoleny dvě od Společnosti Proxxon, které splňují nejvíce zvolených požadavků. První vřeteno je Proxxon MICROMOT 50, které nemá vlastní regulaci otáček, a proto bude nutné navrhnout regulaci pomocí elektroniky. Druhé vřeteno je Proxxon MICROMOT LB/E, které již má regulaci a vyšší výkon oproti předchozímu[10].

Tab. 10. Celkové porovnání jednotlivých vřeten.

Název vřetene	Upínání fréz	Váha [g]	Otáčky [ot/min]	Regulace	Výkon [W]	Typ ložisek pro uložení rotoru	axiální vůle	radiální vůle	Napájecí napětí [V]	upínací průměr vřetene [mm]	Cena [Kč]
PROXXON MICROMOT 50	kleštiny	230	20000	ne	40	kluzná	vymezeny	vymezeny	12/18	20	752
PROXXON LB/E	kleštiny	630	20000	manuální	100	kuličková	vymezeny	vymezeny	220	20	2509
PROXXON IB/E	kleštiny	500	20000	manuální	100	kuličková	vymezeny	vymezeny	220	20	2353
KRESS 1050	kleštiny	1700	25000	manuální	1050	kuličková	vymezeny	vymezeny	220	43	4242
KRESS FM 530	kleštiny	1300	29000	manuální	530	kuličková	vymezeny	Ano	220	43	3125
Teknomotor C31/40-C-3882	kleštiny	3500	18000	frekvenční měnič	730	kuličková	vymezeny	vymezeny	220	43	6650
Dremel 300	kleštiny	550	33000	manuální	125	kuličková	vymezeny	vymezeny	220	nemá	1790
Dremel 4000	kleštiny	660	35000	manuální	175	kuličková	vymezeny	vymezeny	220	nemá	3090
PROXXON GG 12	skličidlo	50	20000	ne	6	kuličková	vymezeny	vymezeny	12/18	nemá	388
PROXXON FBS 12/E	skličidlo	450	15000	manuální	100	kluzná	ano	Ano	12/18	20	1013
PROXXON FBS 240/E	skličidlo	450	20000	manuální	100	kuličková	vymezeny	vymezeny	220	20	1531
Drill 3000	skličidlo	60	18000	ne	30	kluzná	vymezeny	Ano	12	nemá	274

4.2 Proxxon MICROMOT 50

Toto vřeteno je vyobrazeno na obrázku 27 a splňuje většinu požadavků. Vřeteno lze upnout pomocí 20 mm osazení, které je u hlavy vřetene a je vyhovující. Výkon vřetene je 40 W, které je postačující. Váha je 230 g odpovídá požadavkům. Napájecí napětí 12–18 V umožňuje vřeteno napájet přímo řídicí elektronikou CNC stroje. Vřeteno lze osadit jak kleštinovým upínáním, tak upínáním pomocí rychloupínacího sklíčidla. Doporučené otáčky vřetene jsou 5 000–20 000 ot/min. Nevýhodou tohoto vřetene je regulace otáček, kterou výrobce řeší dodávaným zdrojem, kde je možné tyto otáčky měnit potenciometrem na zdroji. Pro tot použití by bylo nutné vybavit stroj elektronickým obvodem, který by takovouto regulaci zajistil a propojit ho s řídicím programem [10].



Obr. 27. Vřeteno Proxxon MICROMOT 50 napájené 12V se zpětnovazební regulací otáček pomocí tyristorů [10].

4.3 Proxxon MICROMOT LB/E

Toto vřeteno vyobrazené na obrázku 28 je oproti předchozímu napájeno napětím 230V, s výkonem 100 W, který je vyšší než předchozí zvolené vřeteno. U tohoto vřetena není možné napájení přímo elektronikou. Tento problém je možné vyřešit pomocí relé, které by spínalo napětí 220V pomocí napětí 12 V z elektroniky. Výsledkem by byl nižší odběr proudu z elektroniky a tím menší zahřívání, které by bylo oproti první navrhované variantě výhodnější. Nevýhovující parametr tohoto vřetene je především jeho hmotnost, která je 630 g. Otáčky jsou regulovatelné přímo na vřetenu. Nevýhodou vysoké hmotnosti lze vyřešit pomocí ohebné hřídele MICROMOT 110/P. Instalací této hřídele by bylo možné umístit frézovací vřeteno mimo osy X a Y nesoucí vstříkovací trysky. Výhodou ohebné hřídele je navíc její konstrukce. Ta obsahuje ohebný krk a na konci pevné tělo s dvěma ložisky. Tyto vlastnosti nám zajistí možnost pevného umístění vřetene, vymezení vůlí a snížení zatížení os X a Y [10].

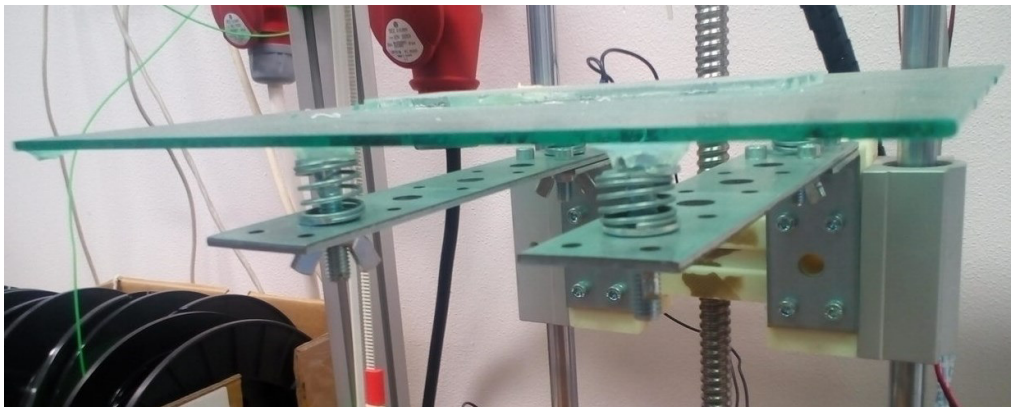


Obr. 28. Vřeteno Proxxon MICROMOT LB/E s ohebnou hřídelí MICROMOT 110/P [10].

5 NUTNÉ ÚPRAVY 3D TISKÁRNY

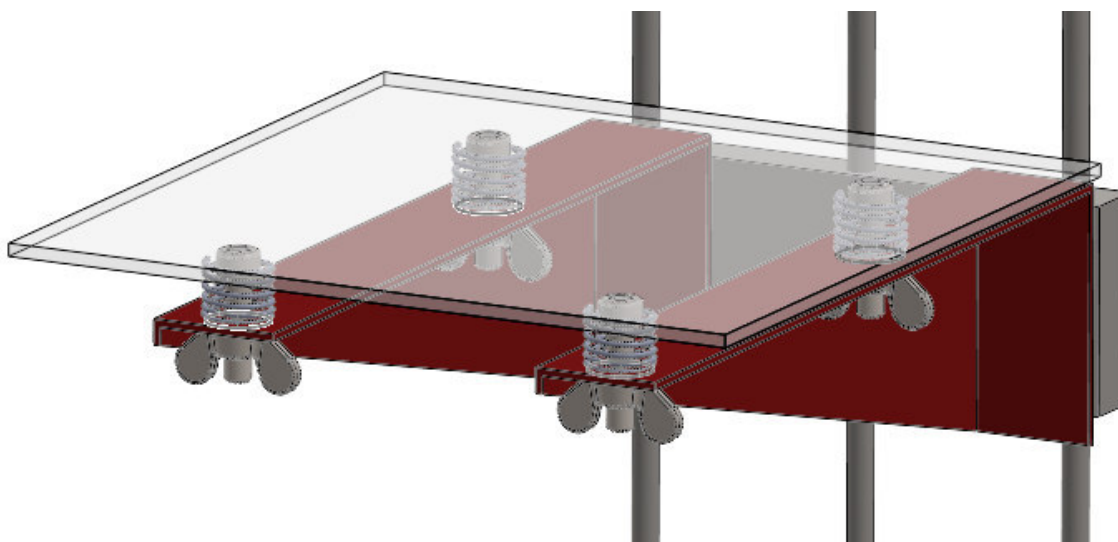
5.1 Úprava osy Z

Tato osa má posuv řešen pomocí kuličkového šroubu, což je dostatečné. Jako největší nevýhoda této osy shledávám nedostatečnou výztuhu stolu která je zde řešena pouze pomocí slabého plechového pásu, který je však pro 3D tisk plně dostačující. Pro frézování je nutné tento plechový pás nahradit kvalitnější výztuhou.



Obr. 29 Uložení osy Z – Současné řešení.

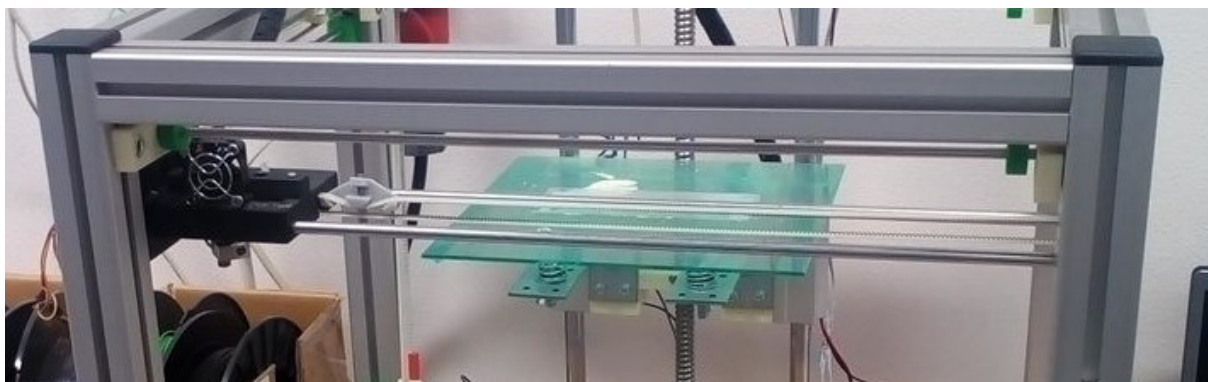
Další problém může vznikat v samotném odpružení stolu, které je zde z důvodu jeho vyrovnání pomocí křídlových matic. Pružiny jsou však dostatečně tuhé pro frézování a není tedy nutné je zaměnit za silnější.



Obr. 30. Uložení osy Z – Řešení výztuhy osy Z.

5.2 Úprava osy Y

Na ose Y je zajištěn posuv pomocí dvou ozubených řemenů, které jsou u 3D tiskáren tohoto typu obvykle používány. Oproti ose Z je zde díky řemenům rychlejší posuv, což je pro 3D tisk žádoucí. Posuv řemene je vyvolán ozubeným kolem, který je rozpohybován krokovým motorem. Tento řemen dále převádí posuvný pohyb na horní ozubené kolo. V tomto kole je umístěna hřídel, která díky svojí délce je schopna převést pohyb na konec druhé strany osy, kde je opět umístěn řemen. Na této ose jsou tedy umístěny dva řemeny pro plynulejší a rovnoměrnější chod. Díky tomuto mechanismu se zabrání zkřížení osy. Při velkém zatížení osy Y, které zde nehrozí, by mohlo dojít ke vzniku torze na hřídeli převádějící pohyb z jedné strany na druhou, čímž by došlo k vychýlení osy X z kolmosti k ose Y. Tomuto by se dalo předejít použitím hřídele o větším průměru, případně použitím druhého krokového motoru, který by se připojil k současnému driveru. Vzhledem k tomu, že při tisku ani při obrábění nevzniknou síly, které by toto mohli způsobit, není nutné tuto osu dodatečně upravovat.



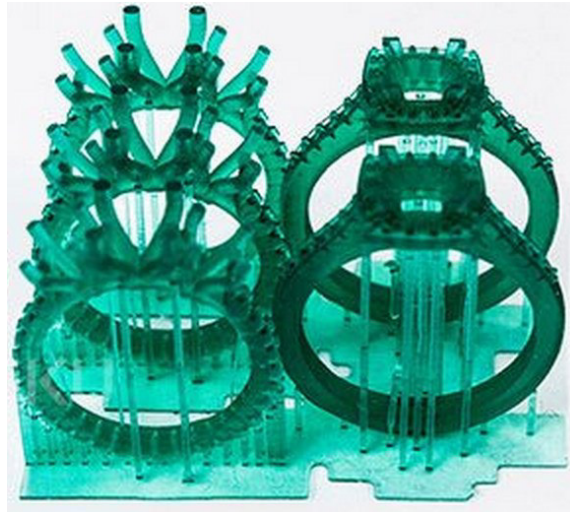
Obr. 31. Uložení osy X a Y

5.3 Úprava osy X

Osa X je řešena stejným způsobem jako osa Y. Není zde tedy nutné, stejně jako na ose Y řešit dodatečné úpravy vedení a posuvu. Tato osa již pohybuje držákem extrudéru napřímo.

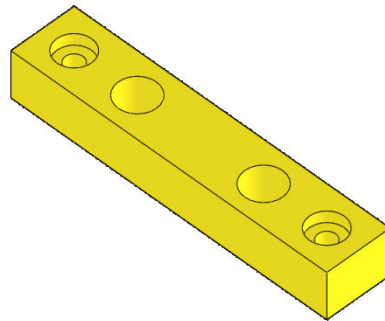
5.4 Úprava držáku extrudéru

Držák je připraven na instalaci dvou vstřikovacích trysek pro vstřikování různých materiálů najednou. Toto řešení vhodné pro složitější díly, které potřebují podporu, aby se díl samotný nezbortil. Druhá tryska tvoří výše zmiňovanou podporu. Po dokončení tisku se podpora odstraní z finálního dílu.

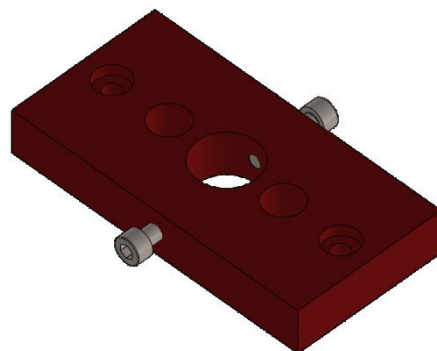


Obr. 32. Tisk s podporou [11]

Držák extrudéru bude nutné nahradit novým držákem, který bude rozšířen o držák prodloužené části vřetena.



Obr. 33. Původní držák vstříkovacích trysek

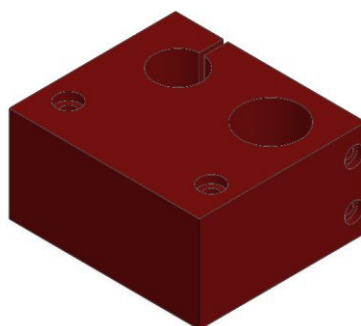


Obr. 34. Nový držák vstříkovacích trysek

5.5 Úprava vřetene

Umístění vřetene jsem zvolil na rám 3D tiskárny. Toto řešení je vhodné hlavně kvůli nízkému zatížení os X a Y. Tyto osy budou oproti původní variantě zatíženy navíc pouze koncem ohebné hřídele, která bude umístěna přímo na držáku trysek.

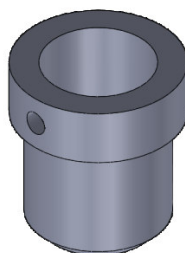
Pro vřeteno je nutné vytvořit držák pro upnutí na rám. Výrobce frézovacího vřetene s touto variantou počítal a vřetenu vytvořil krk o průměru 20 mm, který je určen k pevnému upnutí. Využil jsem tedy této možnosti upnutí.



Obr. 35. Držák vřetene

Jelikož konec ohebné hřídele nemůže být v držáku trysek umístěn při tisku, kde by docházelo ke kolizi, je držák vřetene rozšířen o otvor pro umístění hřídele.

Na hřídeli bude trvale namontován kroužek s osazením. Tento kroužek bude plnit funkci dorazu. Po dokončení tisku se hřídel s dorazovým kroužkem umístí do otvoru na držáku trysek. Hřídel se dorazí až k osazení na kroužku a šrouby na držáku zajistí. Tímto způsobem si zajistíme přesnou pozici frézy i při opakované montáži a demontáži ohebné hřídele na držák trysek.



Obr. 36. Osazovací kroužek hřídele

6 ODSÁVÁNÍ ZBYTKOVÉHO MATERIÁLU

6.1 Varianty odsávání

U této tiskárny je možné zvolit dvě varianty odsávání. První variantou je kompletní zakrytí tiskárny a odsávat celý vnitřní prostor, jak je tomu například u pískovacího zařízení nebo obráběcího centra. Tato varianta však vyžaduje právě kompletní zakrytí tiskárny. Dále by bylo vhodné zakrytí vedení jednotlivých os včetně posuvů, jelikož zde hrozí zanesení, které vede ke zvětšování tření při posuvech.

Další variantou je použití kartáče, kterým lze osadit přímo vřeteno. Tato varianta se používá především u dřevoobráběcích strojů, kde je prach odsáván přímo od vřetene, což zaručuje stálou čistotu pracovní plochy, jelikož je frézovaný materiál držen kartáči uvnitř, dokud není odsán.



Obr. 37. Výměnný kartáč pro odsávání [3].

Jako vhodnější volím druhou variantu, která nevyžaduje takový zásah do celkové úpravy stroje. Standardně lze koupit odsávací kartáče pro vřeteno s osazením 43mm. Což je nevhodný průměr, vzhledem k vybraným vřetenům. Držák je tedy nutné upravit popřípadě vyrobít nový pro menší průměr upínání.

U vybraných vřeten je upínací průměr 20 milimetrů, držák bude tedy vyroben s tímto průměrem. Do držáku je dále nutné vyfrézovat drážku pro vsunutí výměnných kartáčů a vyfrézovat otvor pro odsávání. Držák bude upnut pouze za vřeteno, což je pro naši aplikaci dostačující.



Obr. 38. Kartáč s držákem odsávání [3].

7 FINANČNÍ ROZBOR ÚPRAV

7.1 Standartní díly

Mezi běžně dostupné díly patří hlavně samotné vřeteno, ohebná hřídel a odsávací kartáč. Tyto položky budou tvořit hlavní část nákladů.

Tab. 11. Ceny standardních dílů.

Výrobek	Cena[Kč]
Odsávací kartáč	678
vřeteno PROXXON LB/E	2488
ohebná hřídel Proxxon 110/P	645
vysavač Bomann CB 947	552
spojovací materiál	35
celkem	4398

7.2 Vyráběné díly

Mezi tyto díly patří osazovací kroužek hřídele, držák vřetene držák vstříkovacích trysek a výztuhy osy Z. Nejnákladnější z těchto dílů bude držák vstříkovacích trysek jelikož je tvarově nejsložitější. Všechny díly je možno vyrobit dvěma způsoby.

První způsob výroby je pomocí frézování a soustružení. Výroba tímto způsobem je velice přesná a vzhledem k jednoduchosti jednotlivých dílů i rychlá. Díly neobsahují žádné složité tvary, kde by bylo nutné použít 3D obrábění, které je časově náročné a finančně nákladnější. Tyto díly lze vyrobit 2.5D frézováním.

Druhým způsobem je výroba pomocí 3D tisku. Tyto díly zvládne vytisknout i upravovaná 3D tiskárna, oproti výrobě konvenčními způsoby bude výroba trvat mnohem déle vzhledem k velikosti jednotlivých dílů.

Jako nejvhodnější způsob byla zvolena první varianta výroby, protože jsou díly jednoduché a tisk je pro tento typ výrobku neekonomický a časově náročnější.

Tab. 12. Ceny vyráběných dílů.

Výrobek	Cena[Kč]
výztuhy osy Z	500
Osazovací kroužek hřídele	200
Držák vřetene	400
Držák vstřikovacích trysek	500
celkem	1600

7.3 Celkové náklady

Náklady na kompletní úpravu 3D tiskárny nepřesáhly 6000 Kč. Do těchto nákladů je zahrnut nákup standardních dílů, cena materiálu a cena obrábění těchto dílů.

VYHODNOCENÍ ŘEŠENÍ

Vzhledem k celkovým nákladům, které nepřekročili hranici 6000 Kč, je tato úprava 3D tiskárny vhodná. Nesmí se však zapomínat, že do této ceny není započítán vývoj této úpravy. V případě, že již je 3D tiskárna k dispozici a je zájem ji rozšířit o frézovací vřeteno, jsou dvě varianty řešení. Můžeme si takovouto úpravu provést vlastnoručně, pokud máme potřebné znalosti pro úpravu takového stroje. V opačném případě je nutné úpravu zadat někomu jinému. Do této ceny je tedy nutné zahrnout navíc i cenu vývoje. Vývoj takovéto úpravy může celkové náklady několikanásobně navýšit. Je totiž nutné se s celým strojem seznámit, navrhnout řešení, nechat ho schválit investorem a následně vyrobit. Celý tento postup je čas, který je nutné proplatit.

ZÁVĚR

Tato práce je především určena pro modeláře, zabývající se výrobou vlastních modelů, pro které může navrhovaná 3D tiskárna rozšířena o frézování hlavu znamenat zjednodušení a zrychlení výroby modelů. Zároveň kombinace 3D tiskárny a CNC frézky znamená ušetření prostoru jednoho zařízení.

V úvodu práce jsou popsány nejrozšířenější modelářské 3D tiskárny u nás a jejich stručný popis včetně používaného tisknutelného materiálu. Dále jsou popsány jednotlivé části CNC strojů pro modelářskou výrobu, které jsou vzájemně porovnány z hlediska jejich parametrů a vhodnosti použití. Třetí část je zaměřena na volbu vhodných parametrů frézky, jako je napětí, výkon, upínací mechanismus a otáčky vřetene, pro osazení na 3D tiskárnu. Následně jsou vybraná vřetena vzájemně porovnána vzhledem k jejich parametrům, dostupnosti, nutných úprav a ceně. Z těchto vřeten je zvoleno nejvhodnější, které je následně upraveno pro potřeby osazení na 3D tiskárnu. Další část je zaměřena na úpravu 3D tiskárny pro upnutí zvoleného frézovacího vřetena. Vše je následně zhodnoceno z ekonomického hlediska.

Je vhodné vzít v potaz, zda by nebylo ekonomicky výhodnější zakoupit malou stolní portálovou CNC frézku, u které není nutné provádět kontroly pevnosti a tuhosti. Ceny těchto frézek začínají na 50 000 Kč, což je zhruba pořizovací cena modelářské 3D tiskárny. Tuto frézku by bylo nutné rozšířit o navíječe materiálu a vstříkovací trysky, což je jednodušší a cenově ekonomičtější řešení[15].

Tuto 3D tiskárnu by bylo možné dále rozšířit o další typy strojů, jako je například gravírovací popřípadě řezací laser, Vzhledem k tomu, že tiskárna je již upravena pro obrábění a tím dostatečně vyztužena. Rozšíření by se tedy týkalo pouze bezpečnostního krytování proti průchodu paprsků a hlavy nesoucí vstříkovací trysky a vřeteno.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [2] NEWFANGLED SOLUTIONS LLC. *Mach 3* [online]. 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <http://www.machsupport.com/>
- [3] CNC SHOP S.R.O. *CNC-shop* [online]. 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/>
- [4] GM ELECTRONIC, SPOL. S R. O. *GM electronic* [online]. 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/>
- [5] HIWIN S.R.O. *HIWIN* [online]. 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/>
- [6] HOFFMANN QUALITÄTSWERKZEUGE CZ S.R.O. *Hoffmann Group* [online]. 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/>
- [7] SANDVIK CZ S.R.O. *Sandvik Coromant* [online]. 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/>
- [8] UNITECHNIC.CZ S.R.O. *UNI-MAX* [online]. 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <http://www.uni-max.cz/>
- [9] LINUXCNC.ORG. *LinuxCNC* [online]. 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <http://www.linuxcnc.org/>.
- [10] RF TECHNIK S.R.O. *Proxxon* [online]. 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <http://www.proxxon.com/>.
- [11] HOMOLA, Jan. *3D tisk* [online]. Vydavatelství Nová média, s. r. o., 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <http://www.3D-tisk.cz/>.
- [12] SAV CZECH SPOL. S R.O. *Sav-workholding* [online]. 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <http://www.sav-workholding.cz/>.
- [13] TEKNOMOTOR S.R.L. *Teknomotor* [online]. 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <http://www.teknomotor.com/>.
- [14] VABEX S.R.O. *Strojní svěráky* [online]. 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <http://www.strojniveraky.cz/>.
- [15] 4ISP S.R.O. *4ISP - CNC technika* [online]. 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <https://cnc.inshop.cz/>
- [16] TYMA CZ, S.R.O. *Řemeny TYMA* [online]. 2015 [cit. 2015-09-10]. Dostupné z: <http://www.tyma.cz/>

SEZNAM PŘÍLOH

1 CD