

Návrh CNC obráběcího stroje

Martin Minařík

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin MINAŘÍK**
Osobní číslo: **T10296**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh CNC obráběcího stroje**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma
2. Navrhněte variantu cenově dostupného CNC frézovacího stroje
3. Vytvořte počítačovou sestavu obráběcího stroje



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

- MAREK, J. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Praha: MM Publishing, 2010. 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
- ŠTULPA, M. CNC Obráběcí stroje a jejich programování. BEN, Praha, 2008, ISBN 978-80-7300-207-7.
- ADITHAN, M., PABLA M. CNC Machines. 2nd ed. New Delhi: New Age International Publishers, 2011, XI, 127 s. ISBN 81-224-2019-2.
- BRYCHTA, J. Výrobní stroje obráběcí. VŠB-TU Ostrava, 2003, 150 s. ISBN 80-248-0237-6.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

17. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

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 užít 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

.....

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 nevýdělečně 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 výtěžku 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 výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá originální konstrukcí CNC frézky na obrábění měkkých kovů, například slitin hliníků. Práce je rozdělena do dvou hlavních částí. První část je teoretická, která je tvořena informacemi o CNC obráběcích strojích a popis nejdůležitějších částí stroje. Druhá, praktická část se zabývá vlastním postupem konstruování. Rovněž je zde popsán jednotlivý výběr hlavních součástí a jejich použití. Celá konstrukce je zobrazena v 3D náhledech se základními rozměry.

Klíčová slova: konstrukce, CNC frézka, obrábění, 3D model

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the original construction of a CNC router for machining of soft metals, such as aluminium alloys. The work is divided into two main parts, theoretical and practical. The former consists of information connected with CNC routing machines and description of main components of a router, while the latter is devoted to the construction procedure itself. Also the choice of main groups (parts) is described. The construction is presented in 3D, with principal dimensions displayed.

Keywords: Construction, CNC Milling Machine, Milling, 3D model

Touto cestou bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce, Ing. Ondřeji Bílkovi Ph.D., za poskytnutou literaturu, užitečné rady a čas strávený při odborném vedení této bakalářské práce.

Motto:

Když si myslíš, že to dokážeš, nebo když si myslíš, že to nedokážeš, máš pravdu!

Henry Ford

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

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD..... | 10 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 11 |
| 1 CNC STROJE..... | 12 |
| 1.1 ÚLOHA CNC STROJŮ VE STROJÍRENSTVÍ A EKONOMICE..... | 12 |
| 1.2 HISTORIE VÝVOJE CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ | 13 |
| 1.3 ROZDĚLENÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ | 14 |
| 1.4 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY KLADENÉ NA CNC OBRÁBĚCÍ STROJE | 15 |
| 1.4.1 Polohování nástroje (obrobku)..... | 15 |
| 1.4.2 Vřetena s vřeteníkem..... | 16 |
| 1.4.3 Zásobník (výměník) nástrojů | 16 |
| 1.4.4 Přívody médií a ochranné kryty..... | 17 |
| 1.5 KONSTRUKČNÍ PROCES | 17 |
| 2 CNC FRÉZOVACÍ STROJE..... | 20 |
| 2.1 PRINCIP | 20 |
| 2.2 RÁM FRÉZOVACÍHO STROJE | 21 |
| 2.3 VŘETENO STROJE..... | 23 |
| 2.4 POSUVOVÉ SOUSTAVY LINEÁRNÍ | 24 |
| 2.4.1 Lineární vedení valivá a přímočará | 26 |
| 2.5 NÁSTROJOVÉ SOUSTAVY CNC STROJŮ | 28 |
| 2.6 SYSTÉMY AUTOMATICKÉ VÝMĚNY NÁSTROJŮ | 29 |
| 2.7 SYSTÉMY AUTOMATICKÉ VÝMĚNY OBROBKŮ | 30 |
| 2.8 MÉDIA POUŽÍVANÁ V CNC STROJÍCH..... | 31 |
| 3 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI | 33 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 34 |
| 4 ROZBOR ŘEŠENÍ KONSTRUKCE | 35 |
| 4.1 DŮVOD STAVBY VLASTNÍ CNC FRÉZKY | 35 |
| 4.2 POŽADAVKY NA OBRÁBĚCÍ STROJ..... | 36 |
| 4.3 ANALÝZA TRHU..... | 37 |
| 5 VLASTNÍ KONSTRUKCE..... | 38 |
| 5.1 VÝBĚR VHODNÉ KONSTRUKCE..... | 38 |
| 5.1.1 Tuhost stroje..... | 39 |
| 5.1.2 Konstrukční řešení..... | 40 |
| 5.2 POSTUP KONSTRUOVÁNÍ..... | 41 |
| 5.3 VÝBĚR MATERIÁLU | 42 |
| 6 VÝBĚR VHODNÝCH SOUČÁSTÍ..... | 43 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 6.1 | LINEÁRNÍ VEDENÍ | 43 |
| 6.2 | KULIČKOVÉ ŠROUBY | 47 |
| 6.3 | MOTORY A ŘÍDÍCÍ ELEKTRONIKA | 48 |
| 6.4 | VÝBĚR VŘETENA | 52 |
| 7 | FINÁLNÍ NÁVRH KONSTRUKCE | 56 |
| 7.1 | Osa X | 56 |
| 7.2 | Osa Y | 57 |
| 7.3 | Osa Z..... | 57 |
| 7.4 | NÁHLED CNC FRÉZKY | 59 |
| 7.5 | DISKUZE NAVRŽENÉ KONCEPCE..... | 61 |
| | ZÁVĚR | 62 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 63 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK | 65 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 66 |
| | SEZNAM TABULEK..... | 68 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 69 |

ÚVOD

Hlavní výhodou CNC obráběcích strojů je zvýšení efektivity a rozsahu možností, jak sériové, tak i zakázkové nebo speciální výroby. Číslicově řízené stroje (CNC) v poslední době dominují ve strojírenství, kde přebírají většinu řídicích operací, díky čemuž dochází k výrazné eliminaci chybovosti vlastní obsluhy stroje.

Není nutno dodávat, že ve všech výrobních odvětvích je trvalým směrem vývoje automatizace výrobních procesů. Tomuto požadavku nadmíru vychází vstříc CNC stroje umožňující automatickou výměnou nástroje, nebo obrobku. Zásadní faktorem celé automatizace je možnost používání výpočetní techniky. Pro řízení obráběcích strojů. Díky využití nejmodernějších počítačových programů a algoritmů lze neustále zvyšovat produktivitu, rychlost, přesnost a efektivnost opakujícího se výrobního procesu. Ve strojírenství se počítače nepoužívají pouze k obsluze výrobních strojů, ale rovněž k samotnému vytvoření a sestavení výrobního programu pro ně. Dále nutno dodat, že nové vývojové směry ve strojírenství se odklání od používání konvenčních obráběcích strojů, jako jsou soustruhy a frézky. Nicméně jejich význam nelze bagatelizovat, protože stále nacházejí své uplatnění v přípravných obráběcích pracích, v opravárenství a v dalších dílčích operacích výrobního procesu.

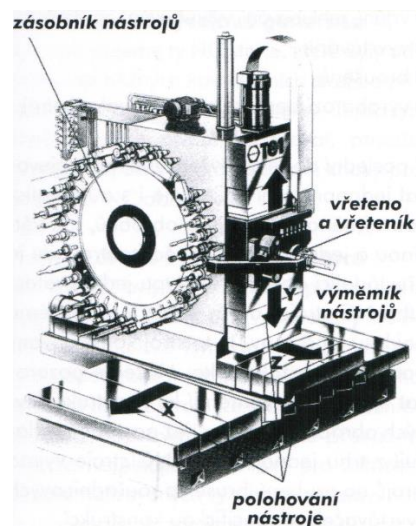
Ve své práci se budu zabývat stavbou originální CNC frézky od 3D návrhu až po cenovou kalkulaci jednotlivých součástí celého stroje. Mé poznatky a informace, které budou uvedeny v praktické části práce, nemohu a ani nechci porovnávat s metodami a postupy velkých firem při precizní výrobě několikátunových strojů za miliony korun, na kterých pracují desítky konstruktérů a celé týmy výpočtářů. Hlavním cílem mé praktické části práce je ukázat, jaké jsou základní součásti konstrukce stroje spolu s vysvětlením správného výběru jednotlivých prvků pro daný typ použití a namáhání. CNC frézku, kterou lze sestavit z uvedených součástí a podle přiložených návrhů lze používat zejména k obrábění složitých tvarů z plastů a měkkých kovů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CNC STROJE

Pokud mluvíme o CNC obráběcích stroji, tak se jedná o zařízení sloužící k obrábění různých materiálů, které je numericky řízeno a konstruováno v provedení pro práci v automatickém cyklu, s možnou bezobslužnou výměnou nástrojů. Starší generace obráběcích strojů používaly NC řídicí systémy, zatímco dnes se používají výhradně CNC systémy řízení. Jinými slovy číslcové řízení počítačem (CNC) je vlastně realizace NC procesu s využitím počítače k řízení funkcí stroje [ČSN EN ISO 2806]. Mezi hlavní části číslcově řízeného obráběcího stroje patří šest hlavních pracovních celků, viz Obr. 1.:

- polohovací nástroje pro obrobek
- vřeteno s vřeteníkem,
- zásobník s výměníkem nástrojů,
- zásobník s výměníkem obrobků,
- přívod chladicího média,
- ochranné kryty a nosná konstrukce stroje. [1, X]

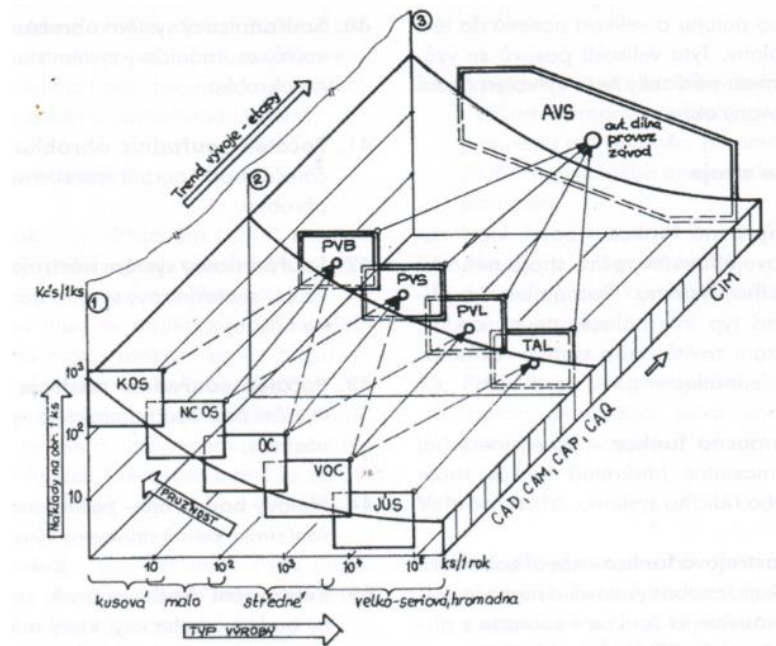


Obr. 1. Vybrané hlavní části číslcově řízeného obráběcího stroje [2]

1.1 Úloha CNC strojů ve strojírenství a ekonomice

Celá konstrukce obráběcího a tvářecího stroje je závislá na subdodávkách součástí z širokého spektra průmyslových oborů, jako je elektronika, kontrolní a měřicí technika, výpočetní technika, atd. Vlastní proces automatizace je považována za jednu z hlavních cest jak

se udržet na světových trzích v podmínkách nekompromisní konkurence. V těchto podmínkách lze obstát jedině tehdy, dokážeme-li vyrábět levněji, kvalitněji a rychleji než jiní. Hlavní vývojové kroky procesu automatizace lze rozdělit do několika etap podle stupně automatizace celého procesu, viz Obr. 2. Základním prvkem (etapou), na které je založena automatizovaná výroba, je možnost využití stavebnicové soustavy všech typů obráběcích strojů pro jejich automatické užívání. [3]



Obr. 2. Etapy automatizace [2]

KOS-konvenční obráběcí stroje, NCOS-číslicově řízené stroje jednoprofesní, OC-obráběcí stroje, VOC-vícevětenová obráběcí centra, JÚS-jednoučelové stroje, PVB-pružná výrobní buňka, PVS-pružná výrobní soustava, PVL-pružná výrobní linka, TAL-tvrdá automatická linka, AVS-automatizovaná výrobní soustava

1.2 Historie vývoje CNC obráběcích strojů

Celý vývoj číslicové techniky - strojů se odehrával současně ve čtyřech hlavních oblastech, kterými jsou vlastní stroje, stavební komponenty, řídicí systémy a celé výrobní soustavy.[3]

V roce 1960 bylo vyvinuto první nerotační obráběcí centrum. Počátkem 60 let se začínají objevovat tranzistorové NC systémy, které jsou posléze nahrazovány integrovanými obvody. Díky použití těchto systémů se začínají objevovat první výrobní linky s NC stanicemi (stroji). V letech 1970 se při stavbě stroje začínají používat kuličkové šrouby a valivá nebo hydrostatická vedení. Dochází k zavádění inprocesního měření a korigování rozměrů.

Je vyrobeno první soustružnické obráběcí centrum s rotujícími nástroji (Herbert). Nově vyvinuté NC řídicí jednotky mají NC systémy s pamětí a možností editovat programy. Díky prudkému vývoji výpočetní techniky se koncem 70. let objeví první CNC systémy s mini-počítači.

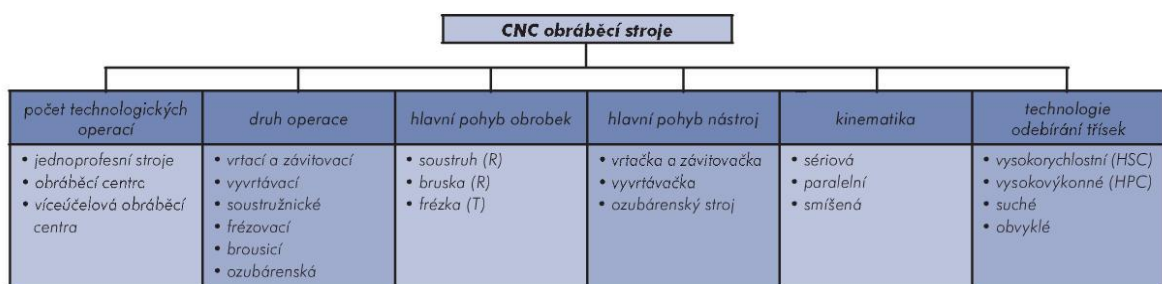
V roce 1980 jsou při konstrukci strojů aplikovány senzory pro přesnou identifikaci a sledování pohybů obráběných objektů. Stroje začínají být vybaveny zásobníky nástrojů a obrobků. Počítačové řídicí systémy začínají být založeny na bázi CNC/PLC multiprocesorových mikropočítačových struktur.

Po roce 1990 jsou obráběcí stroje hromadně vybavovány velkokapacitními zásobníky a mezioperační dopravou nástrojů i obrobků. Tyto pokročilé stroje splňují vysoké požadavky na přesnost a produktivitu z hlediska všech typů výrobních operací. Nově konstruované CNC systémy mají otevřenou architekturu s integrovanými CAD/CAM systémy.

Po roce 2005 se dále vyvíjejí nové generace obráběcích center, které lze velmi snadno integrovat do složitých výrobních celků a technologických operací. [4]

1.3 Rozdělení CNC obráběcích strojů

Dnešní CNC obráběcí stroje lze rozdělit do šesti hlavních kategorií, které jsou patrné z obr. 3.



Obr. 3. Rozdělení CNC obráběcích strojů do jednotlivých kategorií podle základních funkcí, provedení a začlenění do výrobního procesu [1].

Kromě uvedeného členění na obr. 3, lze jednotlivé stroje rovněž kombinovat do větších výrobních celků.

Například pro jednoprofesní CNC obráběcí stroj je typické, že pro technologii třískového obrábění využívají zcela převážně jeden druh operace, a to například: frézování, soustružení, vrtání, zahlubování, vyhrubování, závitování, vyvrtávání, broušení atd.

Nicméně nutno dodat, že v poslední době se začínají objevovat jednoprofesní NC stroje i s automatickou výměnou nástrojů a obrobků. V tomto případě se většinou jedná o jednodušší obráběcí centra s nižší pořizovací cenou. Ve většině případů těchto typů NC strojů se jedná o zařízení konstruované dle požadavků zákazníka. Faktem zůstává, že lze stále více pozorovat trendy, směřující ke konstrukci levných obráběcích center, které postupně vytlačují z trhu jednoprofesní NC stroje. Nicméně jsou zde stále procesy a výrobní operace, kde dominantní roli hrají jednoprofesní NC stroje a to zejména při výrobě ozubení, brusek nebo například souřadnicových vyvrtávaček se specifickou konstrukcí a funkcí.

Výše jsme hovořili o NC strojích schopných vykonávat jednoduché operace. Nicméně pokud stroj umožňuje dále provádět různé druhy operací s automatickou výměnou nástrojů a obrobků, pak lze hovořit o obráběcím centru. Jinými slovy, obráběcím centrem rozumíme takový číslicově řízený stroj, který: může provádět různé druhy operací, pracuje v automatickém cyklu, je vybaven automatickou výměnou nástrojů a obrobků, může dále pracovat v bezobslužném výrobním provozu a je rovněž vybaven diagnostickými a měřicími prvky.

[1]

1.4 Základní požadavky kladené na CNC obráběcí stroje

Při konstrukci CNC strojů jsou kladeny požadavky, zejména na polohovací nástroje s obrobkem, dále na vlastnosti vřetena s vřeteníkem, na zásobník respektive výměník nástrojů, přívody chladících medií, ochranné kryty a další části.

1.4.1 Polohování nástroje (obrobku)

Rám s vodícími plochami, stůl se musí vyznačovat zejména:

- vysokou statickou a dynamickou tuhostí, tj. odolností celého stroje proti vzniku a přenosu všech forem chvění;
- vynikajícím odvodem třísek a to zejména u vysokovýkonných strojů, u nichž nejvíce vzniká velké množství třísek, které při nedokonalém odstraňování, mohou znemožnit práci celého stroje.

Posuvová soustava musí především:

- vyvíjet dostatečně velké síly pro překonání řezných, třecích a zrychlujících sil v celém obráběném rozsahu;
- mít postačující regulační rozsah;
- mít zajištěný plynulý pohyb v celém rozsahu pracovních rychlostí;
- vykazovat stabilitu pohybu při skokových změnách polohy;
- vykazovat maximální tuhost posuvného systému s možností diagnostikovat poruchy. [4]

1.4.2 Vřetena s vřeteníkem

Uložení vřetena musí vykazovat zejména:

- maximální tuhost;
- precizní přesnost chodu
- tepelnou stabilitu.

Upínací systém nástrojů musí vykazovat především:

- spolehlivé upnutí a uvolnění požadovaného nástroje;
- přesnou opakovatelnost upnutí;
- a v neposlední řadě spolehlivý přívod chladicí kapaliny k obrobku. [4]

1.4.3 Zásobník (výměník) nástrojů

Zásobník nástrojů a lůžko nástroje musí:

- mít dostatečnou kapacitu nástrojů;
- vykazovat spolehlivé odložení a vydání nástroje.

Výměník nástrojů musí:

- mít co nejkratší čas výměny nástroje;
- vykazovat vysokou spolehlivost a životnost;
- se vyznačovat jednoduchou konstrukcí. [4]

1.4.4 Přívody médií a ochranné kryty

Přívody chladících medií a ochranné kryty se musí vyznačovat:

- vysokou spolehlivostí funkce;
- vysokou těsností a ekologičností.
- spolu s možností úpravy zařízení dle požadavků zákazníka. [4]

1.5 Konstrukční proces

Při návrhu nového výrobku je nezbytné postupovat podle marketingových zásad a to, že každý takovýto výrobek musí být levnější a lepší. Otázkou zůstává, jakým způsobem provést implementaci „lepšího a levnějšího“ do výrobku. Odpověď na tuto otázku nespočívá pouze v požadavcích na výrobek a ve vyčíslení nákladů, ale rovněž v konstrukci a levné výrobě při požadované kvalitě. Z tohoto důvodu je nutno volit přístupy ovlivňující kvalitu a náklady. Nutno podotknout, že preventivní zabezpečování jakosti má rozhodující význam pro budoucí úspěch výrobku. Standardní předvýrobní etapy může činit až 50% podíl vlivu na výslednou jakost. [5]



Obr. 4. Souhrnný vliv vnějších a vnitřních faktorů na tvorbu technické soustavy, nového výrobku [4]

Shrňme-li všechny výše diskutované aspekty do obr. 4, pak jej lze považovat za znázornění procesu vzniku technické soustavy (např.: obráběcího stroje) pod vlivem základních

třech vnitřních faktorů jako jsou - kvalita, cena a čas - a tří faktorů vnějších, mezi něž patří zejména - soutěž, trh a okrajové podmínky (ekologie, normy, technologie, atd.).

Výše uvedené faktory si lze představit jako jednu soustavu, na niž působí vnější i vnitřní silové účinky. Nebudou-li tyto účinky v rovnováze, povede to ke vzniku nerovnovážnému stavu, což může mít za následek například snižování cen a času potřebného ke konstrukci. Dále je nezbytné zvážit následující otázky ohledně:

- ceny: kolik bude výrobek stát? - vyplatí se nám vůbec?
- času: jakými prvky bude probíhat konstruování? – bude možné použít virtuální prototypování;
- kvality: kontrolu preventivní kvalitu a nasazení moderních metod analýz.

Všechny tyto vnitřní faktory je firma schopna účinně kontrolovat zejména systémovým přístupem. [4]



Obr. 5. Průběh zakázky výrobní firmou [4]

Z obr. 5. je patrná i vnitřní struktura. Ve své podstatě jde o dost komplikovaný děj a proces, na kterém se podílí řada činností jednotlivých zainteresovaných sekcí podniku. Konstrukce hraje v průběhu zakázky firmou velmi významnou roli.

Téměř žádný stroj se v současné době neprodává opakovaně. To klade zvýšené nároky na tvorbu nové výkresové dokumentace tak, aby byly splněny požadavky zákazníka. Kromě výrazného vlivu na průběžnou dobu a výrazného většinového ovlivňování procesů průběhu

zakázky hraje konstrukce dále významnou rolí v tom, že konstruktér ovlivňuje ze 70 % cenu obráběcího stroje.

Na konstrukci leží velká míra zodpovědnosti jak z hlediska cenového, tak i časového, aby byly splněny bezezbytku náročné požadavky zákazníků. Proto musejí být v hojné míře využívány metody tvůrčí práce, zejména systémový přístup již ve fázi nabídky, dále musíme vzít v úvahu všechny možné vlivy, které se podílejí na vzniku technické soustavy. [4]

2 CNC FRÉZOVACÍ STROJE

Frézovací stroje patří mezi nejrozšířenější a nejvýkonnější obráběcí stroje. Slouží k obrábění nejčastěji ploch rovinných, ale i rovných a zakřivených drážek, závitů, zubů ozubených kol apod. [1]

2.1 Princip

Frézování je založeno na využití nástroje s mnoha břity, přičemž jednotlivé břity vcházejí při obrábění do záběru postupně a opět ze záběru vycházejí. Z toho vyplývá neustálá cyklická proměnnost výsledné řezné síly nebo momentu na nástroji. [6]

Podle polohy nástroje vůči obrobku je využíváno frézování obvodové a frézování čelní, také podle orientace hlavních pohybů (rotační řezný pohyb a posuvový pohyb) je princip sousměrného nebo nesousměrného frézování. Rozdíly mezi sousměrným a nesousměrným frézováním jsou např.:

- sousměrné frézování vyžaduje tuhý, bezvůlový pohon posuvů,
- upnutí obrobku může být u sousměrného frézování provedeno menší upínací silou,
- kvalita obrobeného povrchu je vyšší rovněž u sousměrného frézování,
- potřebný příkon u sousměrného frézování je nižší,
- není vhodné využívat sousměrné frézování v případech, kdy nástroj vstupuje do nepředpracovaného povrchu obrobku (možnost poškození břitu zubu).

Stejně lze charakterizovat vlastnosti nesousměrného frézování. Důležitým poznatkem je, že u čelního frézování se mohou uplatňovat oba principy, to znamená, že lze v jedné části frézované plochy sousměrné a v druhé nesousměrné frézování.

Také důležitým poznatkem u principu frézování je přechodně proměnlivá velikost řezné síly. Kvůli těmto cyklickým proměnlivým silám se musí dbát na vysokou statickou a dynamickou tuhost všech částí rámu a pohonů frézovacích strojů.

CNC frézovací stroje umožňují kromě frézování i další třískové obrábění (vrtání, řezání závitů) a mohou mít zásobníky nástrojů a palet s automatickou výměnou. Z tohoto pohledu se jedná o obráběcí centrum.

Podle konstrukční koncepce a druhu frézovacích operací se frézovací stroje (obr. 6.) dělí na frézky konzolové, stolové, lůžové a rovinné. [4]



Obr. 6. Rozdělení frézovacích strojů [4]

2.2 Rám frézovacího stroje

Mezi hlavní části obráběcího stroje patří lože i stojany, popřípadě příčník, sloupy a konzoly. Na jejich tuhosti, odolnosti proti opotřebení vodicích ploch, dynamické stabilitě a stálost tvaru závisí v převážně míře přesnost obrábění. [7]

Při konstruování těchto částí musí konstruktér respektovat spoustu hledisek, která jdou shrnout v některé základní a všeobecně platné požadavky

- kvalitní materiál rámu
- vysoká statická tuhost
- vyhovující dynamická a teplotní stabilita
- umožnění dostatečně dobrého odvodu třísek
- jednoduchá a efektivní výroba
- co nejmenší hmotnost [1]



Obr. 7 Druhy materiálu pro stavbu rámu [1]

Spektrum vhodných materiálů použitých ke stavbě CNC frézovacích strojů by mělo vykazovat následující vlastnosti:

- Vysokou tuhost a nízkou hmotnost: Tyto materiálové vlastnosti společně charakterizuje rychlost šíření zvuku v materiálu. Jako vhodné materiály se z tohoto hlediska jeví materiály na bázi Be (beryllium), B (bor) a C (uhlík), dále mezi ně můžeme zařadit Li (lithium), Mg (hořčík), Al (hliník), Si (křemík) a Ti (titan).
- Vysoké materiálové tlumení: Mechanismus fyzikální podstaty tlumení je velmi složitý. Vysoké hodnoty vnitřního tlumení vykazují především materiály složené z více makroskopických fází nebo materiály s velkým množstvím vnitřních rozhraní mezi jednotlivými složkami. Z tohoto hlediska jsou významné vláknové a částicové kompozity, materiály obsahující pěnové výplně nebo makroskopické kombinace těchto materiálů s konvenčními materiály na bázi FE-C označované jako hybridní struktury [1].

| Fyzikální vlastnosti materiálů rámu | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Parametr | Modul pružnosti [MPa] | Měrná hmotnost [kg.m ⁻³] | Součinitel teplotní roztažnosti [K] | Pevnost v tahu [MPa] |
| Materiál | | | | |
| Ocel St 37 | 2,1 · 10 ⁵ | 7850 | 11,1 · 10 ⁻⁶ | 350 ... 470 |
| Ocelolitina | 1,7 · 10 ⁵ | 7400 | 9,5 · 10 ⁻⁶ | 400 ... 700 |
| Šedá litina 20 | 0,8 – 1,1 · 10 ⁵ | 7200 | 9,0 · 10 ⁻⁶ | 100 ... 200 |
| Měď | 1,2 · 10 ⁵ | 8950 | 16,2 · 10 ⁻⁶ | 200 ... 400 |
| Hliník | 0,7 · 10 ⁵ | 2700 | 23,8 · 10 ⁻⁶ | 120 ... 400 |
| Mosaz | 0,9 · 10 ⁵ | 8500 | 19,0 · 10 ⁻⁶ | 300 ... 700 |
| Titan | 1,1 · 10 ⁵ | 4500 | 10,8 · 10 ⁻⁶ | 500 ... 1200 |
| Beton | 0,2 · 10 ⁵ | 2500 | 11,0 · 10 ⁻⁶ | 5 ... 10 |
| Polymerbeton | 0,4 – 0,6 · 10 ⁵ | 2300 – 2500 | 8,2 – 14,0 · 10 ⁻⁶ | 20 ... 40 |
| Granit | 0,9 · 10 ⁵ | 3000 | 8,0 · 10 ⁻⁶ | 50 |
| Al. oxid – keramika | 2,4 · 10 ⁵ | 3400 | 4,3 · 10 ⁻⁶ | 320 |

Obr. 8. Fyzikální vlastnosti materiálů rámu [8]

2.3 Vřeteno stroje

Vřeteno představuje velmi důležitý prvek ve stavbě frézovacího stroje, a proto jsou na konstrukční provedení kladeny náročné požadavky:

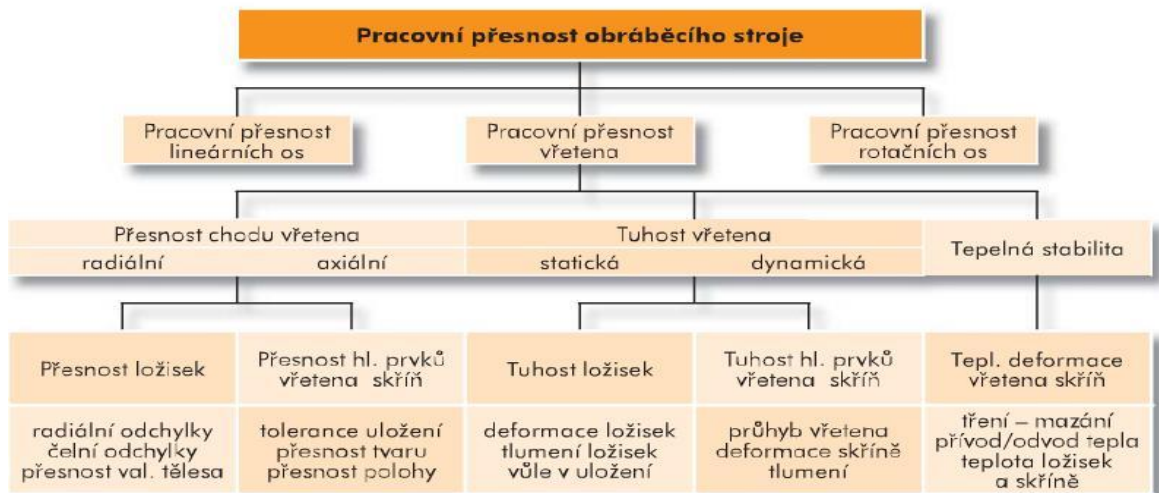
- přesnost chodu - je stanovena velikostí radiálního a axiálního házení,
- v uložení vřetena je důležitá možnost vymezovat vůli vzniklou opotřebením,
- ztráty vznikající v uložení vřetena musí být co nejmenší (oteplování a tepelná dilatace, změna polohy a funkce),
- vřeteno musí být dostatečně tuhé – aby byla dodržena přesnost obrábění obráběcího stroje.

Přesnost se kontroluje na předním konci vřetena na té ploše, která má přímý vliv na přesnost otáčení nástroje. [7]



Obr. 9. Morfologie vřetena [1]

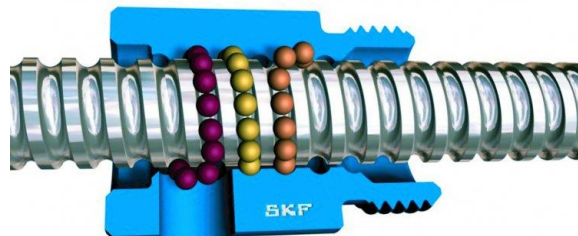
Důležitým ukazatelem kvality obráběcího stroje je pracovní přesnost. Tato přesnost je potom v rozhodující míře ovlivněna zejména pracovní přesností vřetena, jeho přesností chodu (radiální a axiální), tuhostí statickou i dynamickou a teplotními vlastnostmi během těchto vlivů a jejich vzájemné souvislosti vyznačuje přehled na obr. 9. Z tohoto obrázku je zřejmé, že konstrukci vřetene včetně jeho uložení je nutno věnovat důležitou pozornost. Je nutno posuzovat všechny otázky komplexně z hlediska přesnosti, tuhosti, teplotní stability apod. Nutno je mít na zřeteli, že radiální i axiální deformace ovlivňují přímo pracovní přesnost vřetene. [1]



Obr. 10. Hlavní vlivy na pracovní přesnost obráběcího stroje [1]

2.4 Posuvové soustavy lineární

V dnešní době se používají ve stavbách CNC strojů pro realizaci posuvu elektromechanická posuvová soustava nebo náhon lineárního servomotoru. V případě elektromechanické posuvové soustavy je digitální nebo analogový elektrický servomotor napájen na hřídel kuličkového šroubu (obr. 11.). [4]



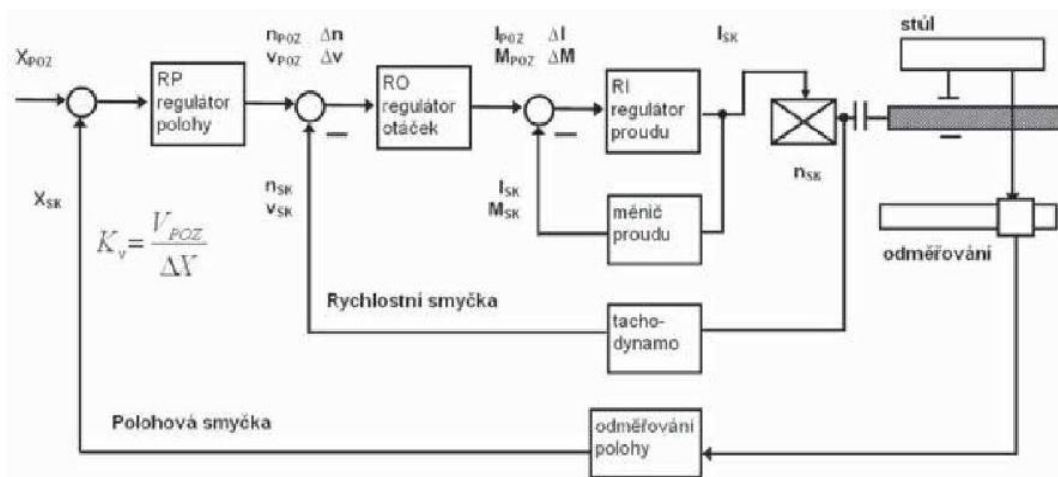
Obr. 11. Řez matice [10]

Jako regulační soustava je elektrický servomechanismus, který je tvořen elektromotorem, polovodičovým měničem (obr. 12.) pro napájení a řízení motoru a regulátorem pro řízení polohy, respektive otáček. Součásti motoru bývají obvykle podle druhu užitého odměřovací snímače rychlosti, popřípadě polohy. [1]



Obr. 12. Servomotor 1FK7 s měničem Sinamics S110 [11]

Rychlostní (otáčkový) servomechanismus (obr. 13.) má pouze otáčkovou zpětnou vazbu. Účel zpětné vazby je pro sledování okamžité hodnoty veličiny a umožňuje rychlé a přesné sledování stanovené rychlosti, přičemž zadávaná rychlost může být výstupem nadřazeného regulátoru, který je regulátor polohy. Polohový servomechanismus (obr. 13.) slouží pro řízení polohy, buď úhlu natočení, nebo posuvové dráhy. [4]



Obr. 13. Blokové schéma rychlostně polohového servomechanismu [4]

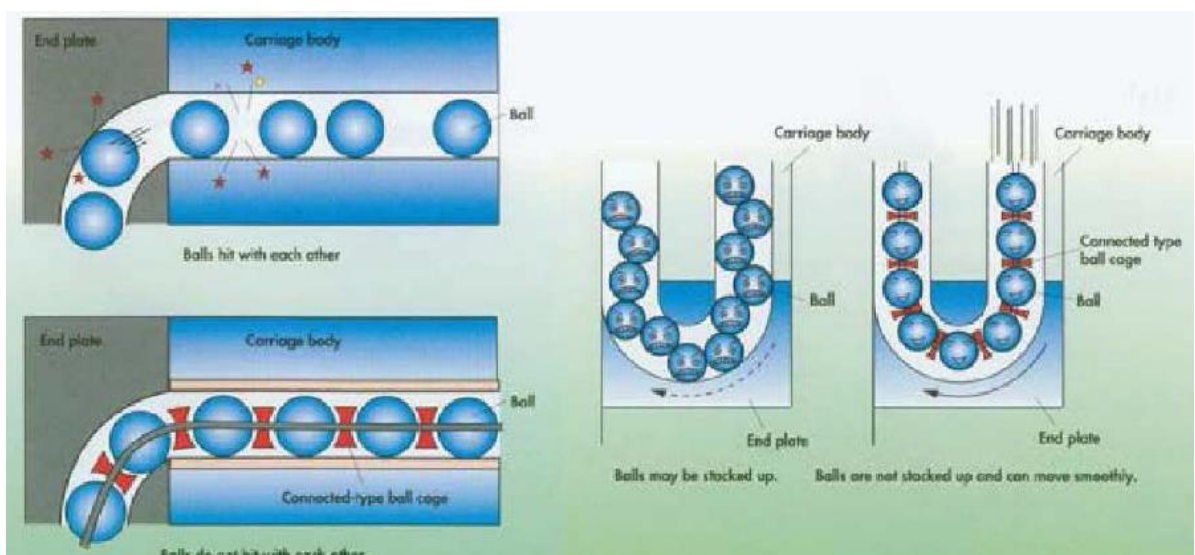
Požadavkem na posuvové soustavy je vysoká tuhost, regulační rozsah, přijatelná dynamická a kinematická přesnost, dále přesnost signálů bez zkreslení a kvalitní regulace. Elektromechanická posuvová soustava se skládá (obr. 13.) z části CNC elektronického systému určeného pro řízení polohy, servomechanismus, mechanické části lineárního posuvu a zpětné vazby na stroji či servomotoru (odměřování). [1]

Posuzující parametry servopohonů:

- propustné pásmo rychlostní smyčky bez polohové vazby a bez zátěže. Jedná se o nejvyšší frekvenci vstupního signálu, kterou dokáže pohon ještě sledovat;
- nerovnoměrnost malých rychlostí. Je definována jako poměr kolísání okamžité rychlosti ke střední rychlosti pohonu;
- dynamická tuhost. Informuje nás o chování pohonu při působení vnějších sil proměnných v čase. Definujeme ji jako rázovou (odezva na skokovou změnu zatížení) nebo jako frekvenční (odezva na harmonicky proměnnou zatěžující sílu) [9].

2.4.1 Lineární vedení valivá a přímočará

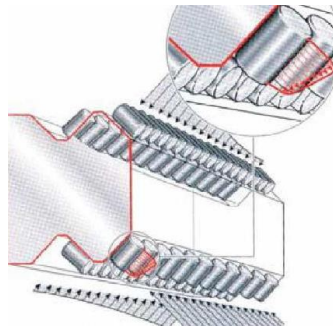
U CNC obráběcích strojů se zvyšujícími nároky na dokonalou plynulost posuvových pohybů a vznikající požadavek na dosažení co nejmenšího rozptylu velikosti dráhy při najíždění na stanovený rozměr. Tyhle mimořádně vysoké požadavky nejdou splnit kluzným vedením hydrodynamickým se zřetelem na vznik trhavých pohybů. Jedním z řešení tohoto systému je, vedení s třením kapalným (hydrostatické), jiným je vedení valivé. Valivého vedení se nejčastěji používá u nejpřesnějších obráběcích strojů [7].



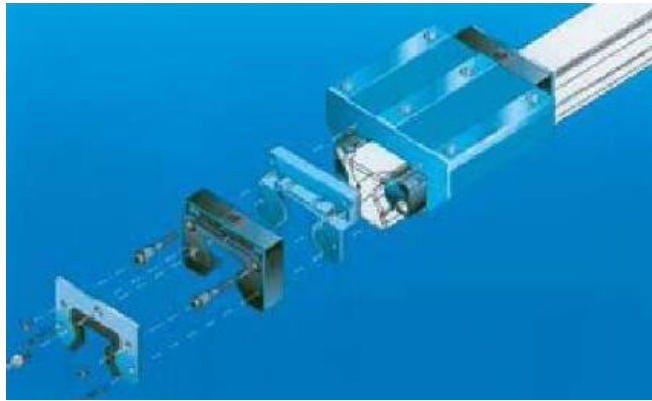
Obr. 14. Řízený převod valivých elementů [1]

Hlavním principem valivého profilového vedení je založen na obíhání omezeného počtu valivých elementů, např. kuliček nebo válečků, po profilu kolejničky, která plní funkci vodi-

cích lišt přišroubovaných k loži. Valivé elementy obíhají uvnitř vozíku (obr. 15.). Skladba valivého profilového vedení je patrná z obr. 16. [1].



Obr. 15. Obíhání valivých elementů [1]



Obr. 16. Skladba valivého profilového vedení [1]

Valivé kuličky nebo válečky jsou v kanálech vozíku převáděny řízeně, popřípadě volně jedna vedle druhé. Valivé elementy jsou v případě řízeného převádění odděleny obdobně jako u valivých ložisek klecí, v tomto případě plastovým páskem (obr. 14.). Valivé elementy jsou používány dvojí, jak bylo řečeno, a sice kuličky a válečky. Únosnější je válečkové vedení a používá se pro větší silové zatížení. Pro rychloběžnější aplikace se používají kuličky [1].

2.5 Nástrojové soustavy CNC strojů

Vzhledem ke stále se rozrůstajícímu sortimentu nových nástrojů se rozvíjí spektrum možností obrábění s vysokou přesností a kvalitou povrchu. Z toho plyne nezbytnost klást vysoké požadavky na nástrojové systémy [1].

Základními požadavky na nástrojové systémy patří: celková pružnost, možnost změny typorozměru při zachování jednoho držáku, spolehlivý systém upnutí jak pro dokončovací operace, tak pro hrubovací obrábění, dále pak možnost ovládní mechanismu v radiální ose, spolehlivost zajištění upínacího mechanismu, požadavek na vysokou přesnost polohy nástroje i po mnohanásobné výměně nástroje dále požadavek na vysokou statickou a dynamickou tuhost nástrojové jednotky, možnost rychlé výměny nástrojů ručně, poloautomaticky nebo plně automaticky, dále pak požadavek na celkové rozměry nosiče (s minimální velikostí), požadavek na snadnou obsluhu a to vše musí odpovídat příslušným normám a standardům. [7]



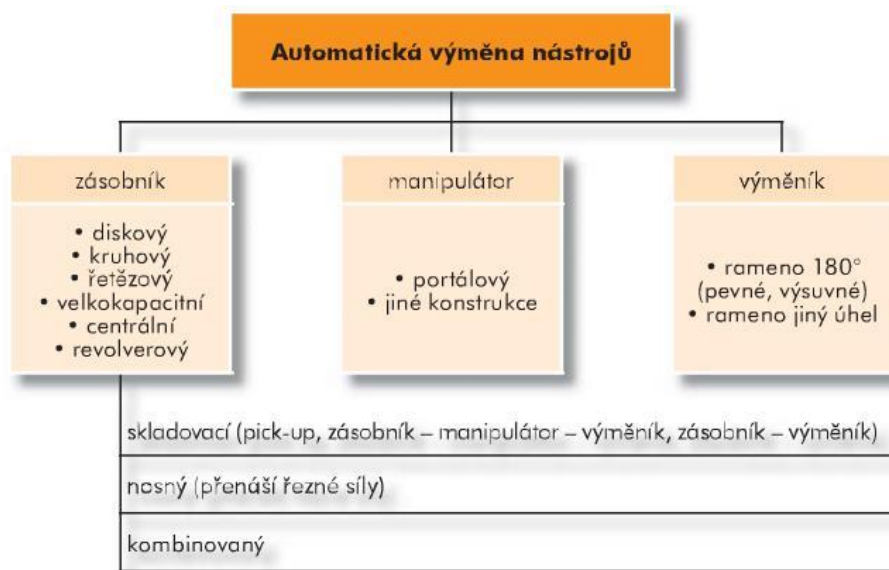
Obr. 17. Schéma morfologie nástrojových soustav pro obráběcí centra [1]

Pro většinu obráběcích center je v současné době nejčastěji využívána struktura nástrojové soustavy, naznačená na obr. 17. Dále jsou navrhovány a vyvíjeny nové typy soustav, tak, aby co nejvíce vyhovovaly výše uvedeným požadavkům. Mezi tyto nově vyvíjené soustavy patří zejména nástrojové systémy s uplatněním na nových typech obráběcích center. Při obrábění nerotačních nebo rotačních obrobků popřípadě pro kombinované obrábění. [1].

2.6 Systémy automatické výměny nástrojů

Specifické požadavky jsou rovněž kladeny na konstrukční provedení jednotlivých uzlů a prvků pro automatickou výměnu nástrojů, viz Obr. 18. a to zejména na:

- minimální čas cyklu výměny nástroje,
- vysokou funkční spolehlivost,
- kapacitu zásobníku v dané oblasti využití,
- co nejúspornější prostorové řešení,
- minimální vliv na funkci pracovní prostor stroje,
- zamezení znečištění celé soustavy,
- vysokou přesnost ustavení polohy nástroje při výměně [7].



Obr. 18. Schéma morfologie automatické výměny nástrojů různých typů [1]

Jak bylo uvedeno výše, hlavní funkcí zásobníku nástrojů je bezpečné uložení a zajištění nástrojových jednotek v těsné blízkosti pracovního prostoru. Dále pak doprava požadované nástrojové jednotky do výchozí polohy pro výměnu. Podle konstrukce stroje a požadované kapacity jsou používána různá koncepční řešení zásobníků, viz Obr. 18 a 19 [7].



Obr. 19. Příklad pneumatického výměníku nástrojů [1]

2.7 Systémy automatické výměny obrobků

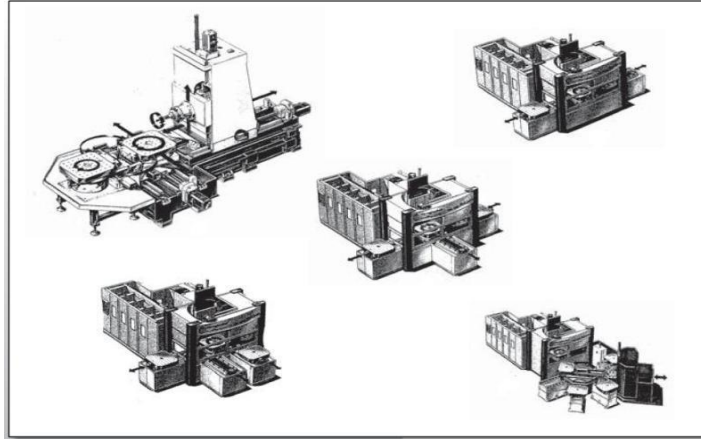
Celá soustava pro automatickou manipulaci, polohování a upínání obrobků v pracovních prostorech CNC obráběcích center představuje rozsáhlou typorozměrovou strukturu, viz Obr. 20.



Obr. 20. Schéma morfologie automatické výměny obrobků CNC stroje [1]

Z ekonomického pohledu je přímé upínání obrobků na pracovní stůl obráběcího centra velmi často nevhodné a to zejména z důvodu, že v danou chvíli stroj nepracuje, a tím se snižuje stupeň jeho využití. Tento ekonomický fakt se prohlubuje s rostoucí pořizovací cenou celého stroje. Zejména z tohoto důvodu jsou vyvíjeny nové systémy, které zkracují uvedené neproduktivní časy na minimum [1].

Běžně jsou na upínacím stole situovány různé typy upínačů jako např.: hydraulické, pneumatické nebo mechanické. Samotnou manipulaci s obrobkem nebo polotovarem provádí manipulátor – robot. [7].

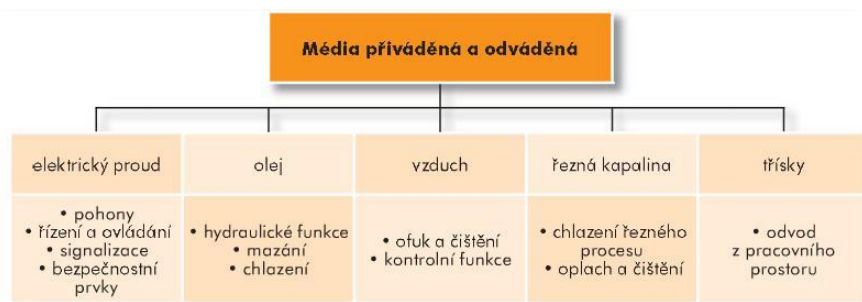


Obr. 21. Příklad výměna technologické palety [4]

Tvar stolu, na kterém jsou automaticky vyměňovány obrobky, může být obdélníkový, obdélníkový s vestavěným kruhovým stolem (nebo dvěma), čtvercový, čtvercový s vestavěným kruhovým stolem, kruhový, nebo jiný [1].

2.8 Média používaná v CNC strojích

Mezi základní média, která jsou využívána a uvažována při konstrukci a funkci CNC obráběcích strojů a center se řadí elektrický proud, olej, vzduch, řezná kapalina a třísky, viz Obr. 22.



Obr. 22. Schéma základního rozdělení přiváděných a odváděných medií [1]

Elektrická média:

Elektrická media jsou využívány následujícími prvky CNC obráběcích strojů:

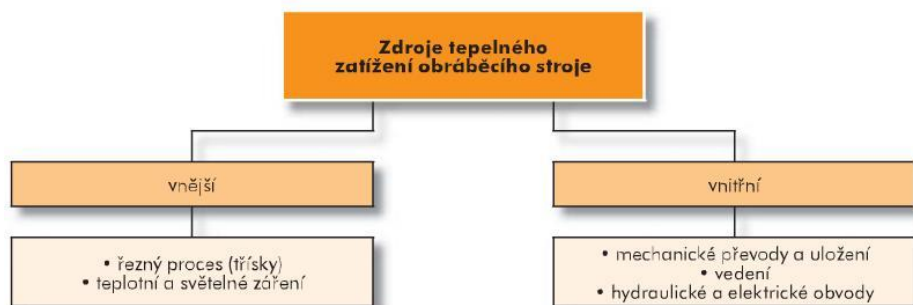
- vřetenovými a posuvovými pohony,

- ovládacími a řídicími prvky jako jsou kontrolní panely s tlačítky, osvětlení, snímače polohy atd.,
- signalizačními prvky pro kontrolu stavu výkonných mechanismů (nástrojů, koncových spínačů, dálkové diagnostiky, atd.),

jistící bezpečnostní prvky, jako jsou například brzdy. [1]

Oleje:

Hlavní funkcí oleje v obvodech CNC obráběcího stroje je chlazení a teplotní stabilizaci - temperace výkonových částí CNC, dále pak případné ovládání pomocných funkcí a v neposlední řadě mazání kluzných ploch. Na tomto místě nutno dodat, že teplotní stabilita celé soustavy je mnohdy rozhodujícím faktorem determinujícím přesnost a kvalitu obrábění. Je zcela jasné, že v průběhu funkce CNC stroje dochází k přeměně různých typů energií na teplo, které lokálně ohřívá jednotlivé části stroje. Hlavní zdroje tepla v CNC strojích jsou shrnuty na Obr. 23.



Obr. 23. Hlavní zdroje tepla, nad kterými je nutné uvažovat při stavbě CNC obráběcího stroje [1]

Základní požadavky kladené na mazací a chladicí oleje:

- schopnost vytvářet souvislý mazací a nosný olejový film,
- odolnost proti stárnutí (degradaci),
- vysoká stabilita v širokém rozmezí teplot,
- odolnost vůči tvoření kalů,
- minimální sklon k tvorbě pěny. [1]

3 SHRNUÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Po prostudování literatury ke stanovenému tématu byl vytvořen přehled problematiky v daném oboru. V teoretické části jsem shrnul dosavadní poznatky o CNC strojích, které zodpovídají základní otázky o historii, účelu a rozdělení CNC strojů. Přímým zaměřením na konkrétní problematiku konstrukce CNC frézovacího stroje, byly popsány jedny z nejdůležitějších částí stroje, které mi pomohly pro inspiraci ve své praktické části.

V praktické části práce se budu věnovat vlastní stavbě CNC frézovacího stroje. Od základní myšlenky až po konečnou 3D sestavu stroje. Mezi tím se zaměřím na analýzu trhu v oblasti CNC strojů. Poté, stanovím nejdůležitější základní požadavky na daný stroj. Nejvíce se budu věnovat výběru co nejvhodnějších a přitom co nejlevnějších komponentů stroje. Můj návrh neobsahuje žádné výpočty, protože je zaměřen pouze na sestavení 3D sestavy a výběru vhodných dílů.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ROZBOR ŘEŠENÍ KONSTRUKCE

Před samotnou konstrukcí bylo nezbytné promyslet tři základní otázky: důvod stavby vlastního stroje, účel stroje a finanční náklady na stavbu stroje.

4.1 Důvod stavby vlastní CNC frézky

Z počátku jsem řešil alternativu, jak vyrábět složité díly, většinou z měkkých kovů například ze slitiny hliníků k vyvíjeným laboratorním zařízením. Začal jsem se zajímat o různé stroje od mnoha renomovaných výrobců. Zjistil jsem, že v dnešní době se dá pořídit celá řada druhů frézek až po obráběcí centra. Nicméně hlavním faktorem, podle kterého jsem vybíral stroj pro požadované účely, byla cena. U renomovaných výrobců je cena příliš vysoká v řádech statisíců až milionů korun českých.



Obr. 24 Obráběcí centrum Tajmac-ZPS MCFV 1050 [12]

Rovněž byla zvažována možnost pořízení menší CNC frézky nepříliš známých firem, např. Obr. 25, jejichž cena se běžně pohybuje kolem půl milionu korun nebo i méně, tato nižší cena ale odpovídá kvalitě. Nicméně hlavním problémem těchto méně kvalitních strojů je, že jejich konstrukce rámu je provedena z méně kvalitního materiálu (např. nekvalitní litiny lože). Dále rovněž záleží, v jakém rozsahu chceme pracovat. Levnější a dostupnější frézky jsou omezené rozsahem a výkonností, a většinou nejsou uzpůsobeny pro obrábění kovů.



Obr. 25 Univerzální CNC frézka Optimum M2CNC [13]

Po prozkoumání trhu jsem došel k rozhodnutí, že se pokusím o stavbu vlastního CNC obráběcího stroje. Na tomto místě nutno dodat, že před deseti lety, by bylo téměř nemožné postavit CNC stroj (obr. 24), bez pomoci velkého finančního a konstrukčního zázemí. Nicméně díky rozvoji internetu a elektroniky řízení strojů, lze snadno a za reálně nízké ceny koupit téměř všechny díly na stroj téměř z celého světa.

4.2 Požadavky na obráběcí stroj

V prvním kroku bylo nezbytné stanovit hlavní požadavky na stroj z hlediska jeho použití a časového využití (zatížení). Proto byly stanoveny prioritní požadavky z hlediska::

- Počtu os, ve kterých se bude operovat: 3 osé CNC, x y z.
- Obráběného rozsahu: přibližně 600 x 500 x 400 mm.
- Obráběného materiálu: Slitiny hliníku, čemuž musí odpovídat výkon vřetene a jednotlivých motorů, které pohání jednotlivé pohybové soustavy (x, y, z).
- Nutnosti využívání chladící emulze.
- Velikosti používaných a upínaných nástrojů.
- Typu a přesnosti používaných lineárních vedení a šroubů.
- Možnosti upínání obrobků.

Odpovědi na výše uvedené požadavky jsou pouze prvotním návrhem, vzhledem k tomu, že celý stroj bude nezbytné přizpůsobit dle dostupných dílů, které se budou postupně nakupovat, tak aby celé zařízení bylo co nejlevnější při zachování všech stěžejních požadavků.

4.3 Analýza trhu

Při vývoji a konstrukci jakéhokoliv zařízení je nezbytné si stanovit rozpočet. Je možné postavit stroje za 20 000,- Kč nebo také za milion Kč. Záleží, v jaké úrovni a kvalitě chceme nakupovat jednotlivé díly. Pokud se rozhodneme pro nejlevnější díly, takzvané hobby, musíme počítat s tím, že cena bude odpovídat kvalitě. Také se můžeme rozhodnout pro nákup profesionálních dílů, které mohou být i 10x dražší. Je ještě jedna možnost nakupování, tou je nakupování dílů přes aukční portály v zahraničí. Díly jsou většinou použité, ale také jsou zde k dostání i díly nové a to v nejvyšší kvalitě a jakosti. Nákup je obvykle riskantní protože vám prodejci nezaručují stav daných součástí, ale i přesto je tato cesta nakupování velmi výhodná při stavbě originálního CNC. Tímto způsobem se dají nakoupit součásti od renomovaných značek za výrazně nižší ceny, až o 80% levněji, než při zakoupení u výrobce. Z důvodu nízké ceny bylo nakupováno více než 90% všech součástí přes mezinárodní aukční internetový portál www.ebay.com. Díly byly zakoupeny z Německa, Velké Británie, Francie, USA, Japonska, Jižní Koreje a dalších zemí. V níže uvedené tabulce (tab. 1) jsem stanovil základní rozpočet jednotlivých částí stroje. Níže uvedené ceny byly zjištěny na internetovém portálu www.ebay.com v letech 2011-2012 (po přepočtu aktuálního kurzu v daném měsíci a roce).

Tab. 1 Základní rozpočet na stavbu originálního CNC.

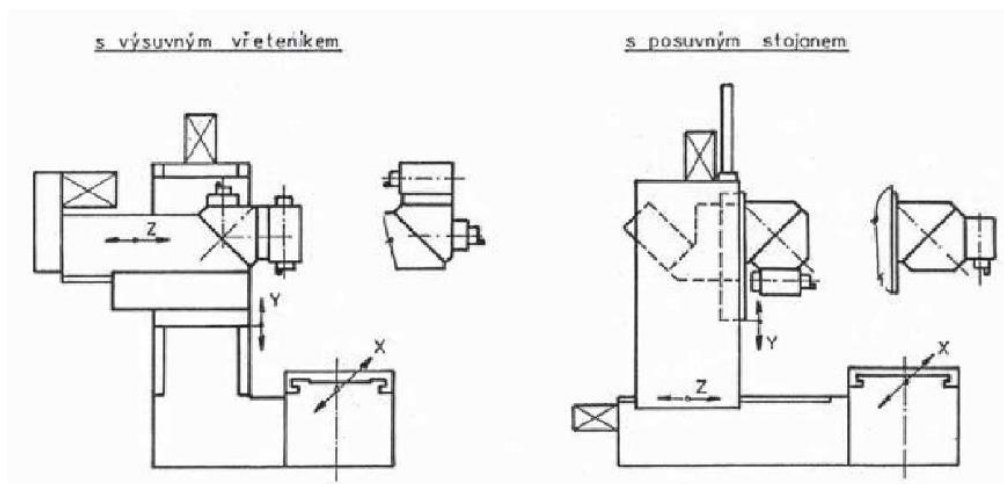
| Rozpočet jednotlivých soustav | | cena | | |
|-----------------------------------|---|-------------------|------------|----------|
| | | od | do | |
| osy | x | lineární vedení | 4 000 Kč | 5 000 Kč |
| | | pohybová soustava | 3 000 Kč | 4 000 Kč |
| | | motor | 2 500 Kč | 5 000 Kč |
| | y | lineární vedení | 3 900 Kč | 6 000 Kč |
| | | pohybová soustava | 3 000 Kč | 3 800 Kč |
| | | motor | 2 500 Kč | 5 000 Kč |
| | z | lineární vedení | 3 000 Kč | 4 000 Kč |
| | | pohybová soustava | 2 000 Kč | 3 000 Kč |
| | | motor | 2 500 Kč | 5 000 Kč |
| Rám stroje (lože) | | 15 000 Kč | 28 000 Kč | |
| Na upínací stůl (T drážkový stůl) | | 8 000 Kč | 15 000 Kč | |
| Vřeteno s upínacím mechanismem | | 9 000 Kč | 11 000 Kč | |
| Okrytování stroje | | 6 000 Kč | 8 000 Kč | |
| Chladicí systém nástroje | | 6 000 Kč | 8 500 Kč | |
| Elektronika | | 35 000 Kč | 45 000 Kč | |
| celkový rozpočet | | 105 400 Kč | 156 300 Kč | |

5 VLASTNÍ KONSTRUKCE

Tato část práce je zaměřena na vlastní konstrukci s 3D návrhy CNC stroje. Je zde popsán výběr vhodné konstrukce s jejím popisem, dále je zde rovněž uveden postup konstruování celého zařízení

5.1 Výběr vhodné konstrukce

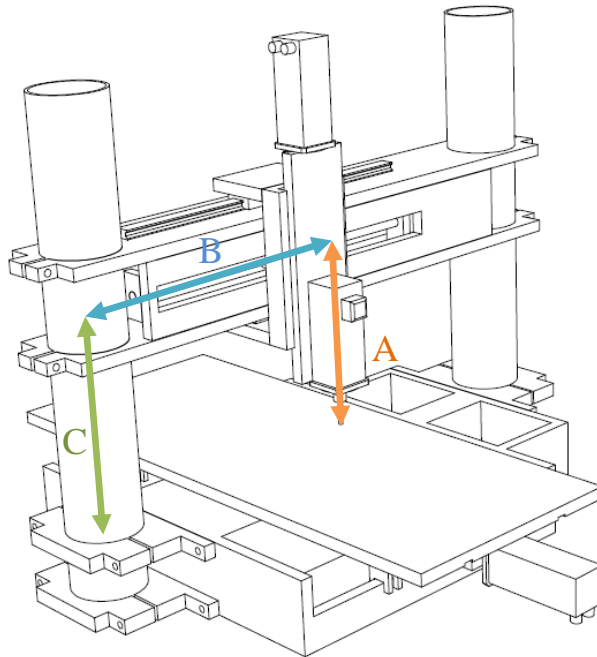
Jsou tři základní konstrukce CNC frézek: stolové horizontální, stolové vertikální a portálové. Dále podle pohybu jednotlivých os: dvouosé, tříosé anebo také pětiosé. Nejčastěji jsou používané varianty stolových frézek. Rovněž nutno uvést, že lze zvýšit užité parametry, například kvalitu obrábění a výkonnost tím, že se odkloníme od koncepce s křížovým stolem. Při tomto přístupu se obrobek oproti klasické konstrukci neposouvá ve dvou nebo více směrech, ale pouze v jednom podélném směru, viz Obr. 26. Přičemž je využívána aplikace vřeteníku s otočnou hlavou. Díky otočné hlavě je možné automatické nastavování polohy vřeteníku do vodorovné nebo svislé polohy pod daným úhlem. Hlavní nevýhodou stolových frézek je, že když chceme docílit velkého rozsahu obrábění, stroj musí být velice robustní a nedosahuje takového rozsahu jako u portálových frézek. Z výše uvedených důvodů jsou stolové frézky používány převážně na výrobu menších a přesných obrobků.



Obr. 26 Přehled možných koncepcí stolových frézek s jedním pohybem v obrobku. [6]

5.1.1 Tuhost stroje

Vzhledem ke snaze o docílení co největšího rozsahu obrábění, jsem se zaměřil na portálový typ konstrukce. Zvolil jsem si, že obrobek bude posouván jen v jedné ose (ose x) a že se bude jednat o tříosou frézku.



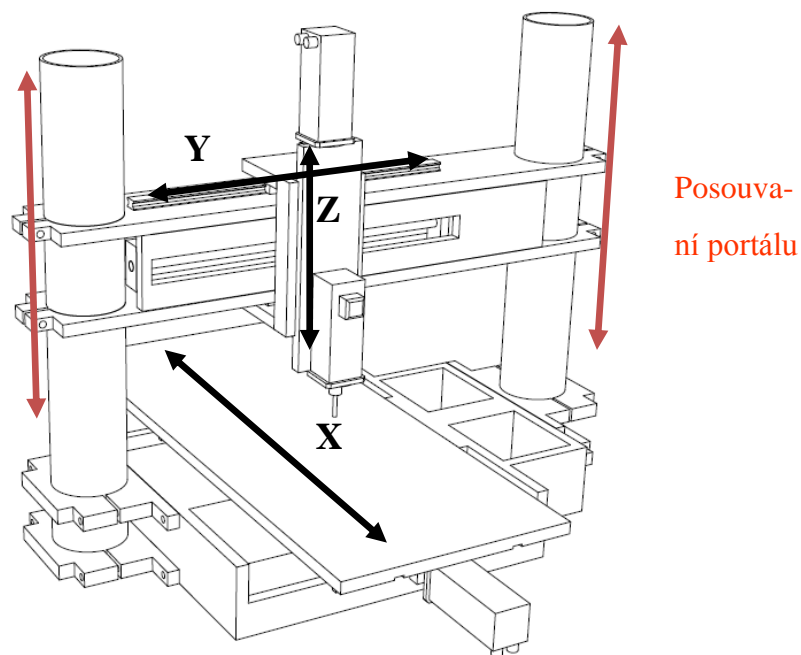
Obr. 27 Prvotní návrh originální konstrukce 3 osé CNC frézky.

Na mém prvotním návrhu CNC frézky (obr. 27) bych chtěl znázornit a objasnit jeden z nejdůležitějších parametrů vztahovaný k frézce a to je tuhost, která je nejvíce ovlivněna vzdálenostmi jednotlivých ramen.

Síly vytvořené frézováním, působí hned na několika ramenech a vytváří tak různé druhy namáhání. Osa Z, která pohybuje vřetenem ve vertikálním směru, je nejvíce namáhána v místě spojení s portálem. Síly působí na rameni A, ty také vytváří namáhání portálu na rameni B a v místě spojení s trubkou. Na rameni C se zase namáhá spojení se základnou. Výsledná tuhost soustavy je ovlivněna tuhostí jednotlivých ramen A, B a C. Čím více je dráha jednotlivých ramen delší, tím je tuhost horší, protože se odchylky na jednotlivých ramenech sčítají. Aby takováto soustava vyhověla požadavkům na frézování, musí být jednotlivá ramena natolik tuhá, aby výchylka při změně směru síly, která vzniká při frézování, byla co nejmenší na konci nástroje. Největší vliv na tuhost má hodnota průřezu portálu a hlavně jeho tvar, respektive tvarová tuhost. Kvůli tomu se zde využívají různé tvarově složitě profily s velkým množstvím hran, které tuhost zvyšují.

5.1.2 Konstrukční řešení

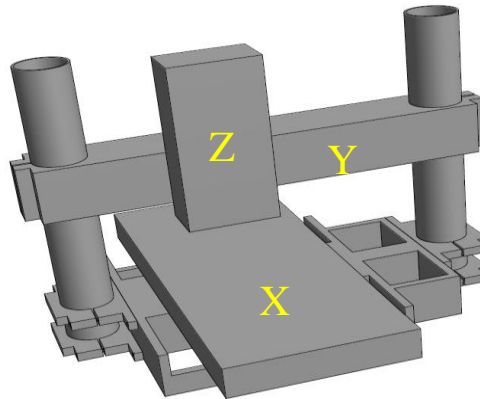
Navrhl jsem konstrukci se dvěma sloupy. Jsou to nerezové trubky o průměru 160mm a tloušťce stěny minimálně 6mm, bezešvé, které budou dále vysypány křemičitým pískem, nebo vylité polymerbetonem pro zvýšení tuhosti. Chci docílit toho, aby se zmenšilo rameno A, tím, že budu posouvat celý portál (obr. 28) po daných trubkách podle výšky obráběného polotovaru. CNC frézka bude tvořena třemi základními osami x, y, z.



Obr. 28 Návrh stroje s popisem jednotlivých os a možností posuvu portálu.

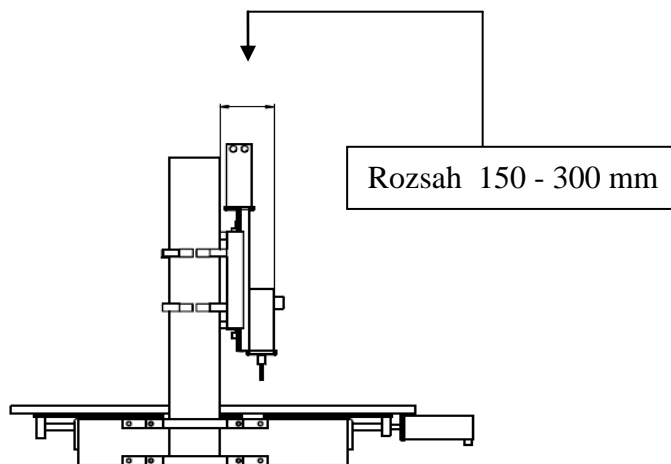
5.2 Postup konstruování

Stanovil jsem si vlastní postup konstruování. Stroj jsem rozdělil do tří základních částí, takzvaných „black boxes“ (černých krabic), viz Obr. 29.



Obr. 29 Rozdělení stroje do tří částí.

Každá část obsahuje lineární vedení, pohybovou část, například kuličkový nebo trapézový šroub a další pohybové prvky jako ozubené řemenice, řemeny, pružné spojky a další důležité prvky. S těmi pohybovými prvky pohybují buď krokové motory, nebo servomotory. Tyto prvky musí být sestaveny v takzvaném „black boxu“, které mají určité omezující rozměry.



Obr. 30 Vzdálenost vřetena od portálu

Největší problém je u části Z, kde všechny pohybové části musí být v co nejmenším prostoru, aby se nevzdalovalo vřeteno od portálu a tím se nezmenšovala tuhost stroje a nevznikaly příliš velké vibrace. Po stanovení rozměrů těchto základních částí se přizpůsobuje zbytek konstrukce, lože a další části stroje.

5.3 Výběr materiálu

Hledal jsem vhodný materiál pro konstrukci lože a dalších částí stroje. Komerční stroje mají lože a prvky rámu většinou odlívané z litiny, která se vyznačuje vysokou tuhostí. Odlévání je výhodné pro sériovou nebo malosériovou výrobu. Pro kusovou výrobu jsou odlévané díly příliš drahé kvůli vysoké ceně formy. Některé firmy v současnosti zkouší odlévat lože z polymerbetonu. Problém u ocelových konstrukcí je, že musí mít povrchovou úpravu a mají horší obrobiteľnosť než slitiny hliníku. Pro svoji konstrukci jsem převážně zvolil slitinu hliníku, která má označení podle euro normy AW-7075, popis viz Tab. 2. Tato slitina se vyznačuje vysokou obrobiteľnosť a dostatečnou odolnosť proti korozi. Nevýhodou je vysoká cena, pohybuje se okolo 190-250,- Kč za kilogram.

Tab. 2 Informativní vlastnosti slitiny AW-7075

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|---------|---------|-------|-------|-------|--------|
| Euro norma | AW-7075 | | | | | | |
| EN označení | AW-AlZn5,5MgCu | | | | | | |
| DIN Označení | AlZnMgCu1,5 | | | | | | |
| Tloušťka desky (mm) | 6-12,5 | 12,5-25 | 12,5-25 | 50-60 | 60-80 | 80-90 | 90-100 |
| Pevnost v tahu RM (Mpa) | 540 | 540 | 530 | 525 | 495 | 490 | 460 |
| Tvrdość (HBS) ,F=160N | 160 | 161 | 158 | 155 | 147 | 144 | 135 |
| El. Vodivost (S) | 19 - 23 | | | | | | |
| Tepelná vodivost (W/mK) | 130 - 160 | | | | | | |
| Eloxovatelnost | nevhodné | | | | | | |
| Svařitelnost | nevhodné | | | | | | |
| Odolnosť vůči korozi /mořské vodě | dostatečná - zlá | | | | | | |
| Obrobiteľnosť | dobrá | | | | | | |

6 VÝBĚR VHODNÝCH SOUČÁSTÍ

Výběr vhodných součástí byl velmi zdlouhavý, vzhledem k minimální zkušenosti s rozdílnými výrobci a dodavateli. Většinu součástí bylo nezbytné prověřit přes internetové diskuze a informační portály pro stavbu CNC strojů. Posléze bylo nezbytné rovněž prostudovat katalogy od výrobců. V další textu budou popsány získané poznatky.

6.1 Lineární vedení

Lineární vedení je jednou z nejdůležitějších částí, zajišťuje spolehlivý a přesný chod jednotlivých os CNC stroje. V komerčních podmínkách se nejčastěji používají tři druhy vedení. Nepodepřené nebo podepřené tyče s kuličkovými ložisky a třetím typem vedení jsou profilové tyče s kuličkovými vozíky.

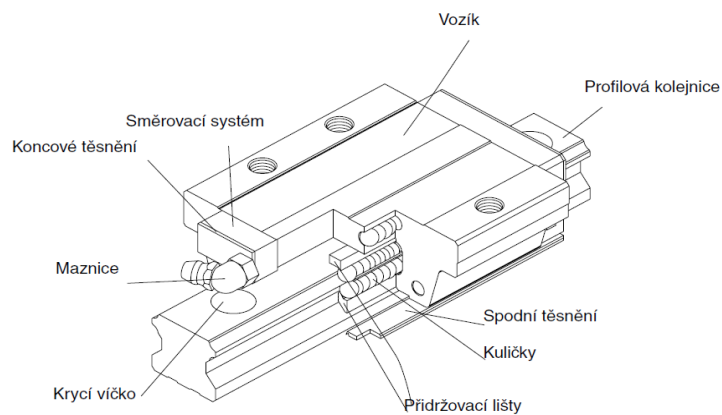


Obr. 31 Nepodepřené a podepřené tyče s kuličkovými ložisky [14]

Nepodepřené tyče s kuličkovými ložisky jsou nejvíce používány při amatérských stavbách CNC strojů a to především kvůli jejich nízké ceně. Velká nevýhoda tohoto vedení je nízká tuhost, díky které je jejich použití omezené. Z těchto důvodů se převážně používají pro výrobu frézek, které obrábí dřevo, nebo na konstrukci gravírovacích center. Použitelná délka je do cca 600 mm, po překročení této délky roste výrazně pružnost celé soustavy. Tento problém se dá částečně řešit podepřením po úsecích tyče. Podepřené tyče o průměru 30mm lze uplatnit na stabilní vedení u frézek na kovy. Kvůli tomu, že tyč je podepřená, musí být ložisko otevřené. To způsobuje, že ložisko má menší stranovou pevnost. Tato

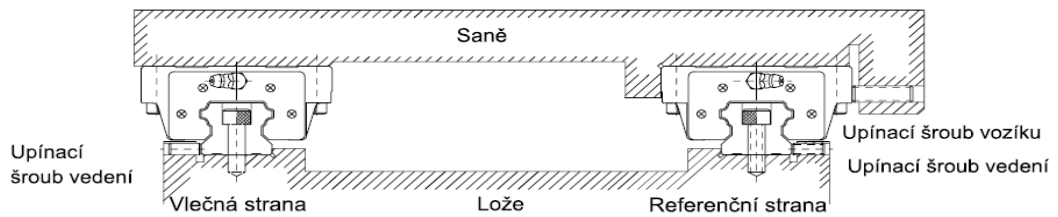
pevnost je kompenzována masivnějším pouzdem. Některé pouzdra mají pro tyto účely zapuštěný šroub na nastavování předpětí.

Profilové tyče s kuličkovými vozíky se skládají z vozíku a kolejnice, viz Obr. 32. Vyrábí se v mnoha variantách, například kuličkové, válečkové, jednořadé, dvouřadé. Princip u všech variant je stejný, jenom se liší nosností a přesností u jednotlivých variant. Vodící kolejnice má přesnou vybroušenou drážku, která slouží pro odvalování kuliček, nebo válečků vozíku. Kuličky nebo válečky obíhají kolem dokola ve vozíku a zaručují vedení bez vůle a s minimálním třením. Tento typ vedení je nejčastěji používáno kvůli vysoké přesnosti. Kolejnice a vedení kuliček ve vozíku jsou vyrobeny s vysokou přesností z kvalitních ocelí a také tomu odpovídá jejich cena.



Obr. 32 Řez vozíku na kolejnici [14]

Z osobních zkušeností lze konstatovat, že vedení nesmí nést žádnou zátěž. Zátěž musí nést pevné a dostatečně tuhé podloží, ke kterému je vedení přišroubované. Všechny tři vedení pouze přenášejí síly mezi dvěma částmi, nikdy nesmí být vedení používáno jako nosič. Důležitý je také způsob spojení vedení s podložím. Na spojení pouze šrouby se nedá velmi spoléhat, kvůli vibracím které vznikají při frézování, může díky nim dojít k posunutí daného vedení. Tomuto se můžeme vyhnout, když použijeme fixační diamantovou pastu na zalepení závitů šroubů a tím zajistíme, že se závit nepovolí. Pasta se dá použít jen na litinu a ocel. Na slitiny hliníku ji nelze použít. Proto se doporučuje, aby vedení bylo zafrézované.



Obr. 33 Upevnění vedení [14]

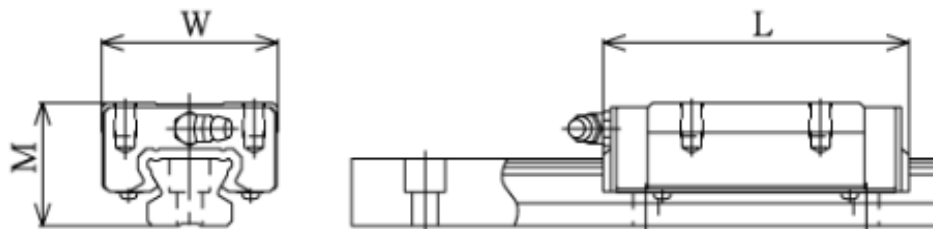
Při výběru vedení byl kladen důraz na dosažení vyšší tuhosti a přesnosti frézky. Z tohoto důvodu jsem zvolil profilové tyče s kuličkovými vozíky. Všechna vedení byla nakoupena z Japonska přes internetový aukční portál www.ebay.com za třetinovou cenu oproti novým dílům prodávaným na našem trhu.

Zakoupené vedení:

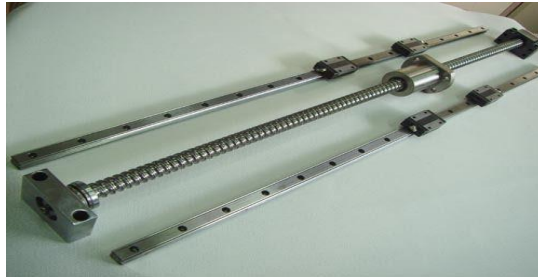
Vedení pro osu X: THK SR20 LM s dvěma vozíky na jedné kolejnici (obr. 34, 35 a tab. 3)

Tab. 3 THK SR20 LM

| Vedení na osu X: THK SR20 LM | | |
|------------------------------|--------|--------------|
| | Rozměr | Hodnota (mm) |
| kolejnice | šířka | 20 |
| | výška | 15,5 |
| vedení | délka | 1050 |
| vozík (obr. 34) | W | 42 |
| | L | 62 |
| | M | 28 |



Obr. 34 Rozměry vozíku THK SR [15]



Obr. 35 Foto zakoupeného vedení s kuličkovým šroubem THK SR20 LM

Cena zakoupeného vedení s kuličkovým šroubem byla 11 400,- Kč. V ČR by cena činila přibližně 40 000,- Kč.

Vedení pro osu Z: NSK LS20 s dvěma vozíky na jedné kolejnici (obr. 36 a tab. 4)

Tab. 4 NSK LS20

| Vedení na osu Z: NSK LS20 | | |
|---------------------------|--------|--------------|
| | Rozměr | Hodnota (mm) |
| kolejnice | šířka | 20 |
| | výška | 15,5 |
| vedení | délka | 460 |
| vozik (obr. 34) | W | 42 |
| | L | 65 |
| | M | 28 |

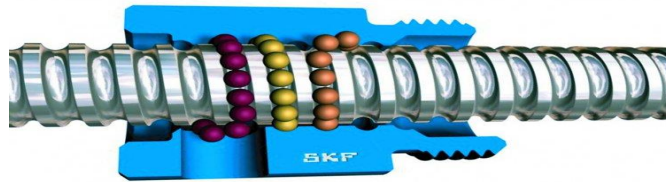


Obr. 36 NSK vedení na osu Z s kuličkovým šroubem THK.

Cena zakoupeného vedení s kuličkovým šroubem byla 5 700,-Kč. V ČR by cena činila cca 25 000,-Kč.

6.2 Kuličkové šrouby

Pro přesný a spolehlivý stroj se používají kuličkové šrouby. Je možné ještě použít trapézový šroub, ale je méně přesný a má větší vůle než kuličkový. Kuličkový šroub se skládá z vlastní vybroušené nebo válcované šroubovice a matice, která má vybroušenou šroubovici. Mezi maticí a šroubem jsou oběhové kuličky, přenášející síly mezi šroubem a maticí.



Obr. 37 Kuličkový šroub [16]

Aby kuličky v matici mohly obíhat, šroubovice a matice musí tvořit uzavřený okruh. Správná funkce šroubu musí být zajištěna hladkým pohybem kuliček v matici. Matice má po stranách těsnicí vložky, které jí uzavírají a chrání před vniknutím nečistot. Šroub se pouze může zatěžovat osovou silou a dráha matice se šroubem musí být rovnoběžná. Důležité je zakrytí šroubu proti nečistotám a uložení konců šroubů do dvouřadých ložisek.

Zakoupený kuličkový šroub: broušený šroub THK MC 1408

Tab. 5 THK MC 1408

| Broušený kuličkový šroub THK MC 1408 | |
|--------------------------------------|--------------|
| Rozměr | Hodnota (mm) |
| Průměr | 15 |
| Stoupání šroubu | 10 |
| Celková délka | 720 |
| Přejíždějící délka | 580 |

Cena uvedeného šroubu 2 280,-Kč, viz Obr. 38. V ČR by cena činila cca 15 000,-Kč.

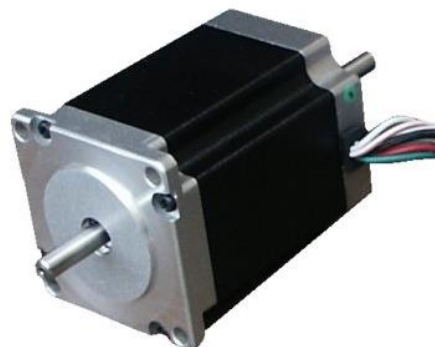


Obr. 38 Kuličkový šroub THK MC 1408.

6.3 Motory a řídicí elektronika

Existují dva nejčastěji používané druhy motorů: krokové a servomotory. Nejčastěji používané v amatérských stavbách bývají krokové motory, kvůli tomu, že jsou mnohem levnější než servomotory, také jsou téměř spolehlivé a bezúdržbové. Nejpoužívanější jsou dvoufázové KM (obr. 39), které mají čtyři vinutí ve dvou fázích (sekcích). Každá fáze je vinuta bifilárně a tato dvě vinutí jdou zapojit sériově nebo paralelně. Také lze použít jen jedno vinutí.

Paralelní spojení má nižší indukčnost. Při tomto spojení dosahujeme vyšších otáček krokových motorů při stejném napětí a momentu. Nevýhodou jsou vyšší proudové nároky na driver (řídicí jednotka motoru). Sériové spojení tvoří při stejném proudu vyšší magnetickou sílu, ale díky vyšší indukčnosti rychle ztrácí moment s otáčkami a vyžaduje vyšší napětí. Kompromis mezi oběma uvedenými motory je použití jednoho vinutí.



Obr. 39 Krokový dvou fázový motor 57STH76 [17]

Řízení krokových motorů se liší od běžných motorů, protože KM se nepohybují kontinuálně, ale po krocích, které vytváří pulzní řízení. Každá fáze se budí sekvenčně a tím vznikne určitý počet kroků na otáčku. Jsou dva základní druhy řízení a to unipolární a bipolární. U prvního unipolárního řízení je princip takový, že se spínají jednotlivé fáze v daném čase a to vytváří rotační pole. Oproti tomu je bipolární motor odlišný, jelikož proud mění směr v jednotlivých fázích a tím vzniká mezi statorem a rotorem větší interakční síla. Bipolární oproti unipolárním řízením má mikrokrokování, které omezuje rezonance v motoru. Díky snímáním proudu driverem v jednotlivých fázích, dokáže přesně určit, v jaké poloze se nachází rotor a tuto polohu umí stabilizovat.



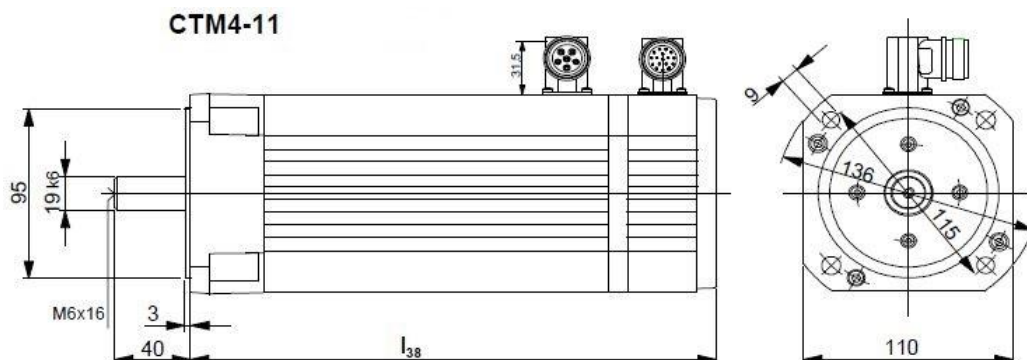
Obr. 40 Driver pro dvou fázové krokové motory M415B [17]

Pro svoji CNC frézku jsem zvolil AC servomotory s rotačními enkodery, protože dosahují vyššího výkonu, krouticího momentu a jsou přesnější. Jejich cena je ovšem vyšší. Oproti krokovým motorům se tolik nepřehřívají a nejsou tak hlučné i jejich chod je čistější, není tak skákavý jak u krokových. Enkodery slouží k určení přesné polohy rotoru vůči statoru. AC servomotory jsou bezkartáčové asynchronní motory s permanentními magnety na rotoru a třífázovým vinutím ve statoru. Optimalizovaná konstrukce motoru s použitím nových magnetických materiálů dovoluje až pětinasobné momentové přetížení. Tyto motory jsou proto vhodné pro dynamicky náročné úlohy. Doplněním vhodnou planetovou převodovkou je možno optimalizovat potřebný moment k otáčkám pohonu.



Obr. 41 AC servomotor CTM4

Zakoupil jsem tři nové motory CTM4-11.4, viz obr. 41, 42 a tab. 6, které jsou pro mé použití zbytečně velké a výkonné. Důvod zakoupení byl takový, že cena v aukci byla nízká. Tyto tři motory jsem zakoupil v aukci přibližně za 15 000,- Kč, přičemž cena u distribučních firem se pohybuje okolo 40 000,- Kč za kus.

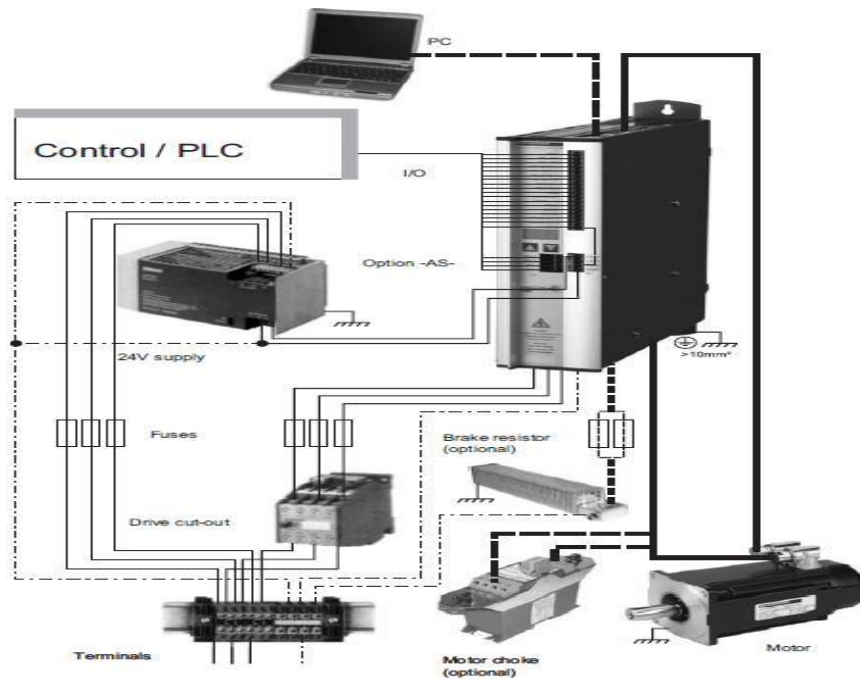


Obr. 42 Rozměry servomotoru CTM4-11 [18]

Tab. 6 Charakteristické veličiny servomotoru CTM4-11.4

| CTM4-11.4 | | |
|---------------------------------|----------|---------|
| Veličina | Jednotka | Hodnota |
| Moment M_{d0} | Nm | 12 |
| Trvalý proud při stání I_{d0} | A | 8,5 |
| Jmenovitý moment M_{dN} | Nm | 9,9 |
| Jmenovitý proud I_{dN} | A | 7,3 |
| Jmenovité otáčky n_N | min-1 | 3000 |
| Jmenovitý výkon P | kW | 3,1 |
| Odpor vinutí R | Ohm | 1,4 |
| Maximální hodnoty | | |
| Max. moment M_{max} | Nm | 54 |
| Max. proud I_{max} | A | 40,8 |
| Max. otáčky n_{max} | min-1 | 6000 |

K těmto motorům jsem nakoupil frekvenční servodrivery od značky Kollmorgen, typ servostar 603. Jednotlivé drivery, které jsem zakoupil přes www.ebay.com za cenu 4 790,-Kč, 4 403,-Kč a 8 980,-Kč. Přičemž cena u distribučních firem se pohybuje okolo 30 000,-Kč za kus.



Obr. 43 Schéma zapojení servodriveru Kollmorgen servostar 603 [19]

Řídící jednotka a řídicí systém:

V amatérských stavbách se nejčastěji používá řízení přes počítač. Především z důvodu, že je cenově nejdostupnější. Pro operační systém Windows působí na trhu nejznámější program Mach3 CNC controller s cenou okolo 4 000,- Kč, dále je zde například program EMC, který se používá pro složitější obrábění. Tento program je určen pro operační systém Linux a je volně dostupný. Velkou nevýhodou těchto softwarů je, že při dlouhých operacích ztrácejí jednotlivé kroky, to může být způsobeno tím, že počítač není stavěný pro tyto účely, protože mezitím co je zapnutý program, běží v počítači mnoho dalších aplikací, které mohou nechtěně zpomalovat nebo narušovat celý proces obrábění.

Pro profesionální stroje se používají PLC jednotky, velkou nevýhodou těchto řídicích jednotek je jejich příliš vysoká cena, která se pohybuje ve statisících Kč. Pro řízení svého stroje jsem zakoupil PLC řídicí jednotku od německé firmy SM motion control GmbH, typ SM400 (obr. 44). Tato starší řídicí jednotka byla pořízena za přibližně 20 000,-Kč.



Obr. 44 PLC řídicí jednotka SM400 [20]

Charakteristické vlastnosti SM400:

- Kontinuální jednotka pro ovládání výkonových zesilovačů pro 4 nebo 8 krokových servomotorů.
- Operace ilustrovaná přes menu provozní části se 7 palcovým displejem nebo LCD displej
- Posloupnost příkazů, výklad přes rozhraní RS232
- Osa řízení s lineární, kruhovou interpolací šroubovice a stejně elektrických zařízení
- Uživatelsky definovatelné rozsah I / O, rozšiřitelné až na 64 vstupů a 64 výstupů

6.4 Výběr vřetena

Vřeteno je považováno za jeden z nejdůležitějších komponentů frézky. Vřetena se rozlišují podle toho, na co budou používány, jestli na gravírování, nebo třeba na frézování kovů. Hlavní parametry, které charakterizují a odlišují vřetena, jsou otáčky, robustnost, výkon, způsob upínání nástrojů, například pomocí kuželů, kleštin a dalších.



Obr. 45 Proxxon micromot 50/E [21]

Například výše uvedené vřeteno Proxxon (obr. 45) s výkonem 40 W, otáčkami 20 000 ot/min s upínáním fréz o průměru 1-3,2 mm do kleštin. Toto vřeteno je vhodné maximálně na frézování a gravírování do plastů, nebo dřeva a podobných materiálů. Na frézování běžnými nástroji a do kovů má malý výkon, malou tuhost a vysoké otáčky. Výhodou toho vřetena je nízká cena, okolo 2000,- Kč.



Obr. 46 Frézovací motor PROXXON BFW 40/E [21]

Další vřeteno, které uvádím jako příklad je Proxxon BFW 40/E (obr. 46) s výkonem 250W, s otáčkami v rozsahu 900-6000 ot/min, s upínáním přes kleštiny od 2 do 6 mm. Oproti prvnímu vřetenu má širší oblast použití. Může se používat na frézování nekovových i kovových materiálů. Největší problém tohoto vřetena je, že nemá aktivní chlazení, které omezuje dobu provozu, ale dá se chladit přidáním externího ventilátoru. Tím se dá docílit celkem kvalitního a tichého vřetene za nízkou cenu okolo 4 500,-Kč.

Pokud chceme obrábět kovy, měli bychom použít kompaktní asynchronní (AC) vřeteno, tyto vřetena mají kvalitní konstrukci, tomu odpovídá vysoká cena. AC vřeteno je tvořeno asynchronním motorem s kotvou na krátko. Dělí se na jednofázové u malých výkonů do 1kW a nebo pro vyšší výkony třífázové. AC vřetena mají poměrně stabilní otáčky, dobrou momentovou charakteristiku a účinnost.



Obr. 47 AC vřeteno od značky Teknomotor [17]

Dříve byl problém s regulací otáček u těchto vřeten, protože tyto vřetena jdou regulovat jen pomocí změny frekvence napájecího napětí. V současnosti se frekvenční měniče staly cenově dostupnější a tím se taky staly nejpoužívanějším regulačním příslušenstvím.



Obr. 48 AC frekvenční měniče VFD-EL [17]

Při výběru vřetena je důležité dbát na to, že výrobci udávají jmenovitý výkon při maximálních otáčkách, z toho plyne, že vřeteno s 18000 ot/min a výkonem 1,2kw má při 3000 ot/min výkon kolem 300W. Záleží, v jakých otáčkách chceme vřeteno používat, pokud v nižších otáčkách, je lepší se zaměřit na výkonnější vřetena. Dalším faktorem, který nutno vzít je hmotnost vřetena. Čím je vřeteno těžší tím lze dosáhnou lepší kvality obrábění. Mohutnější vřeteno lépe absorbuje vibrace vznikající při frézování.

Pro účely stavby CNC použijí vřeteno, které je tvořeno litinovou kostkou o rozměrech 160 x 200 x 160 mm. Ve kterém je kvalitně uložené vřeteno s řemenicí, a mechanickým vyha-zovacím trnem sk30. AC motor vřetena je Lenze 1,2 kW/200Hz při 2800 ot/min. Celá kostka má otočné upínání, díky kterému jde hlava naklánět, viz Obr. 49.



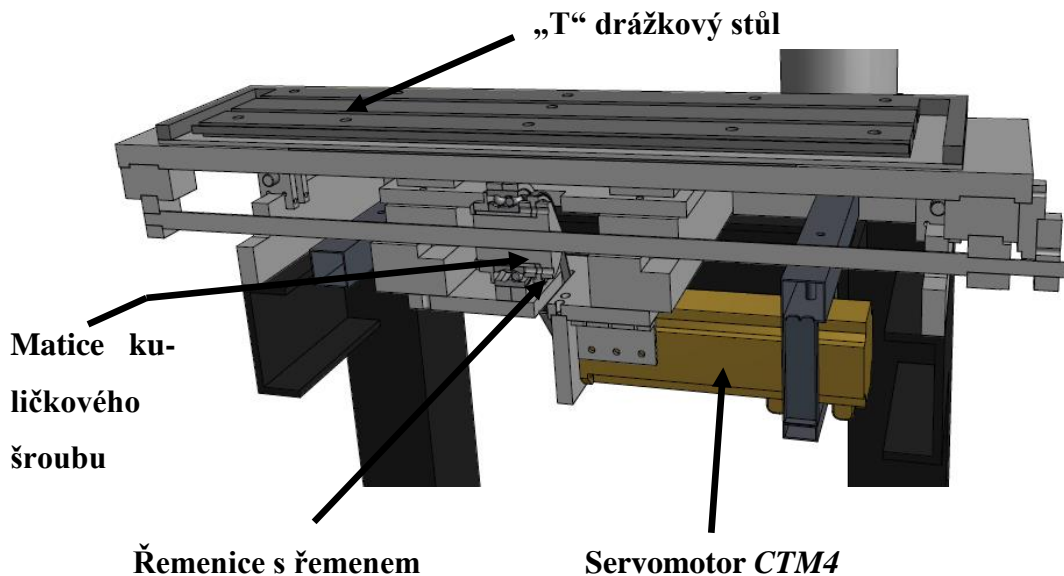
Obr. 49 Vřetenová kostka

7 FINÁLNÍ NÁVRH KONSTRUKCE

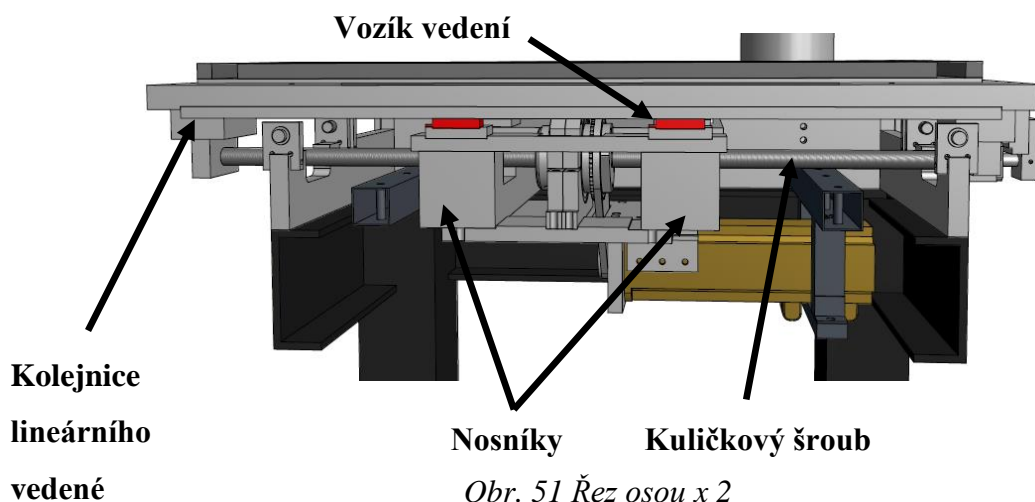
Po zakoupení hlavní dílů jsem navrhl předběžnou konstrukci stroje pomocí školní licence softwaru Autodesk Inventor do níže uvedené podoby. V této části práce je naznačeno řešení jednotlivých os s umístěním motoru, lineárních vedení, šroubů a dalších prvků.

7.1 Osa X

U osy x jsem navrhl vozíky vedení a matici kuličkového vedení napevno. Lineární pohyb bude vykonávat kolejnice vedení se šroubem, díky tomu bude zakryté vedení i kuličkový šroub proti vniku nečisto. Motor je uschován pod ložem a pohání matici šroubu. Viz obr. 50 a 51.



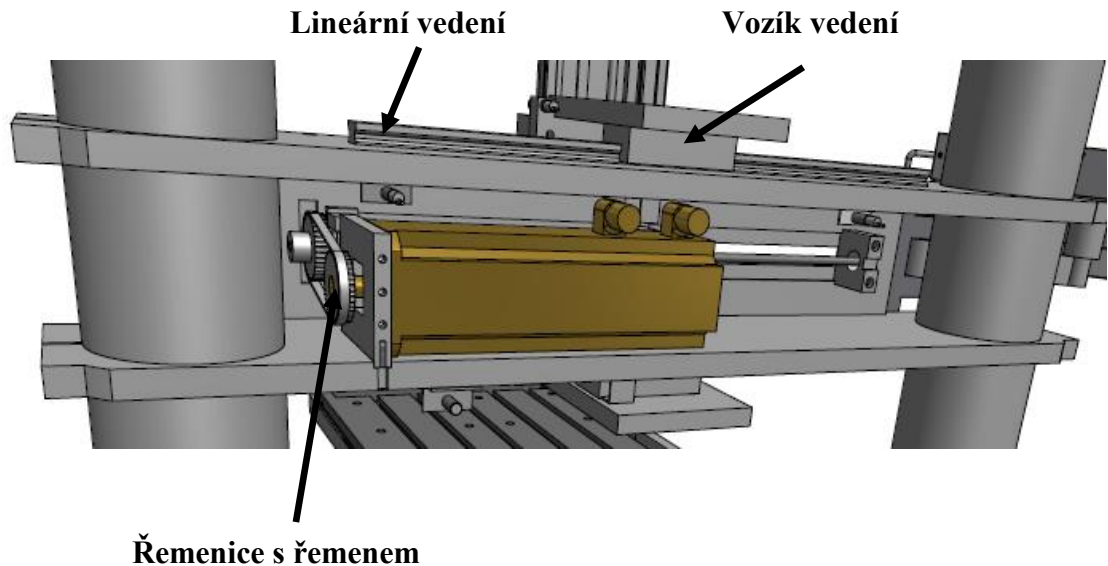
Obr. 50 Řez osou x 1



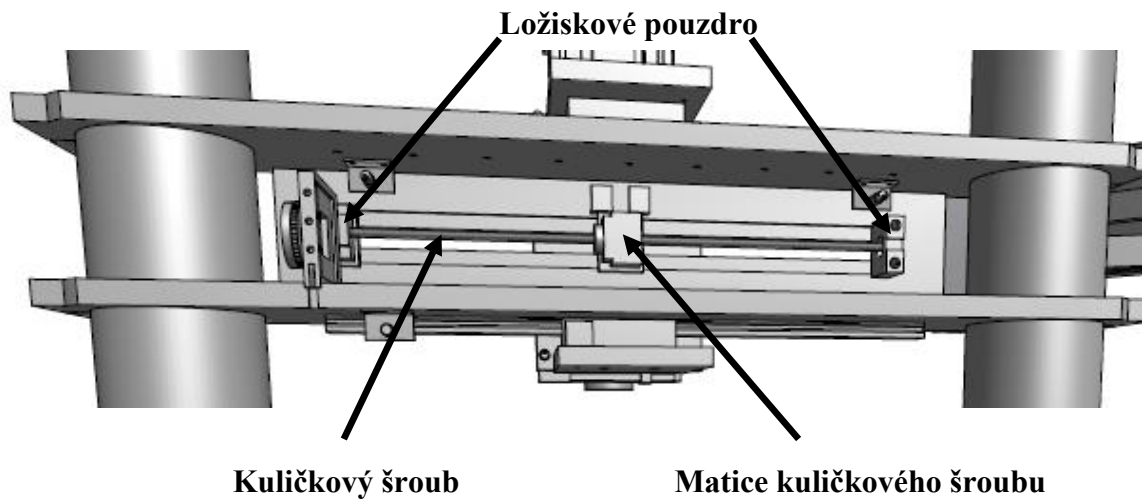
Obr. 51 Řez osou x 2

7.2 Osa Y

U této osy jsem se snažil servomotor, kuličkový šroub a spojení motoru se šroubem pomocí ozubených řemenic skrýt do portálu. Lineární vedení je uložené po vnějších stranách portálu, viz Obr. 52 a 53.



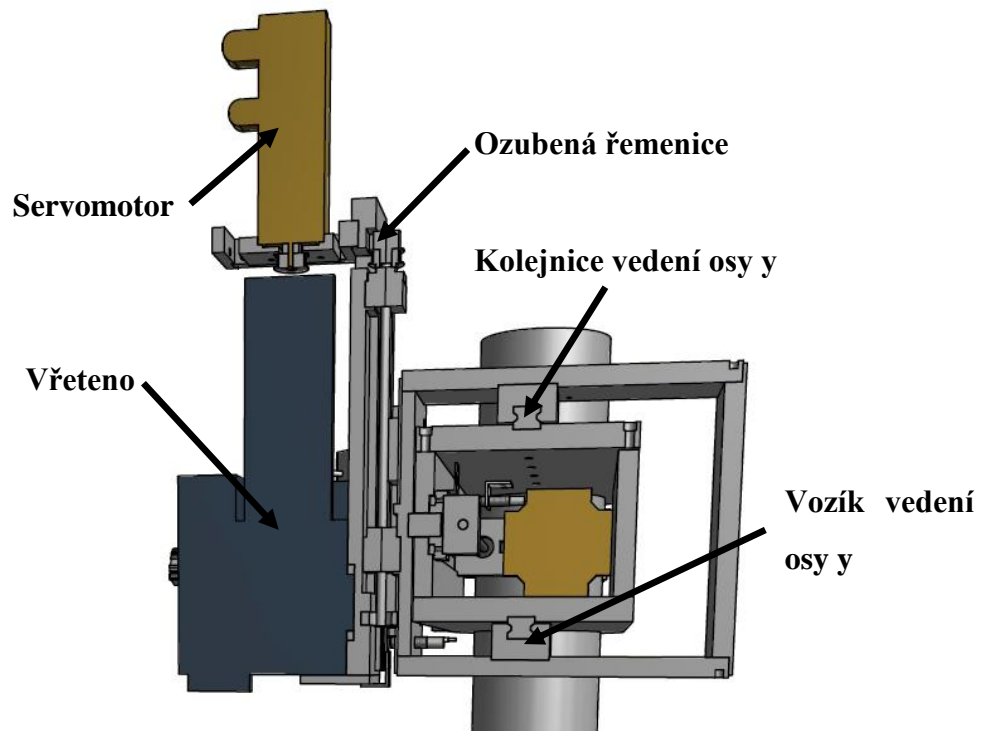
Obr. 52 Řez osy y 1



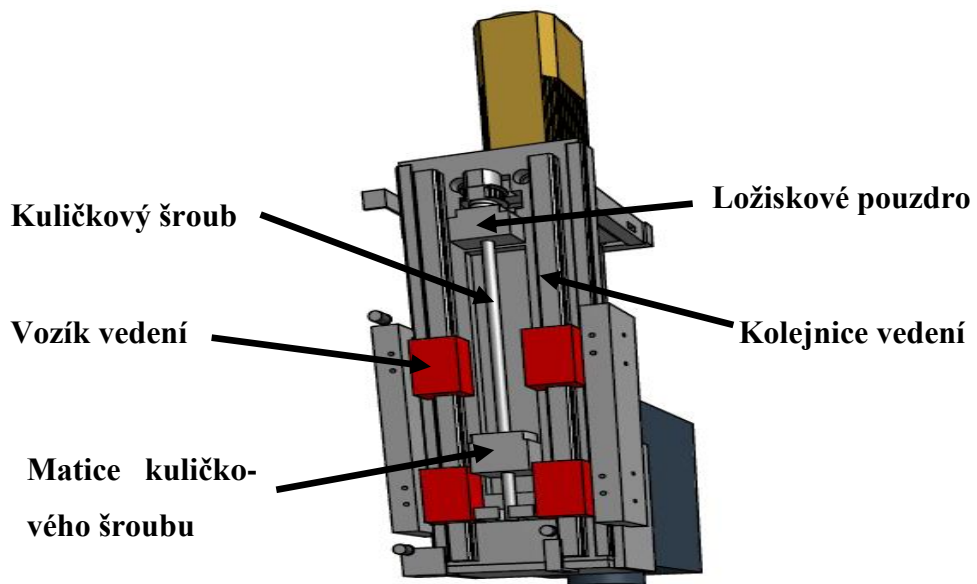
Obr. 53 Řez osy y 2

7.3 Osa Z

V ose z, bylo nejvíce problematické naskládat všechny komponenty (jako například lineární vedení, kuličkový šroub, atd.) do co nejmenšího prostoru, viz Obr. 54 a 55.



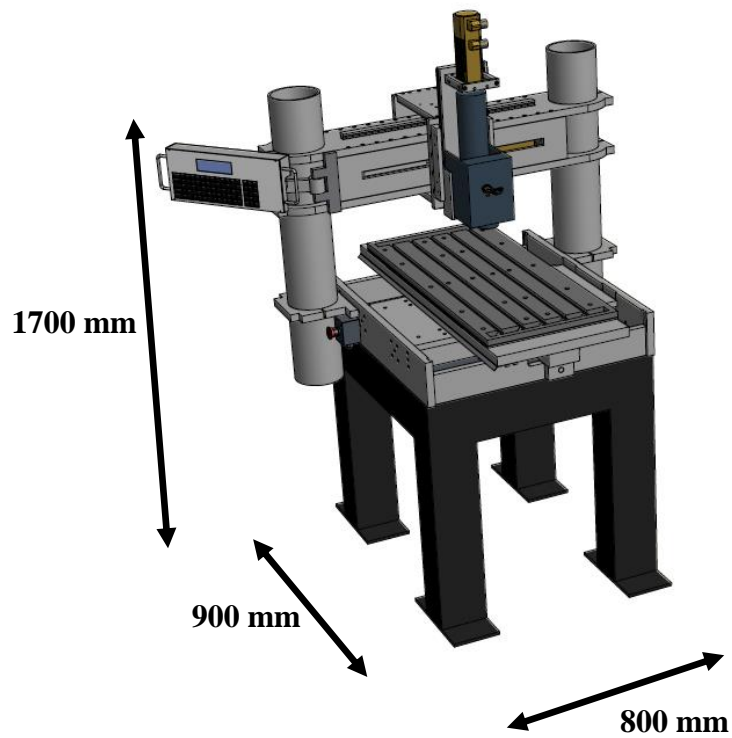
Obr. 54 Řez osy z



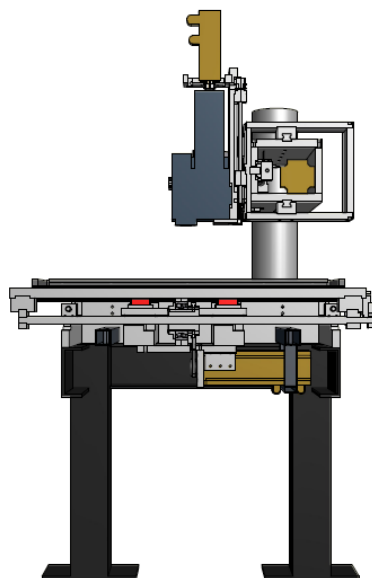
Obr. 55 Vedení osy z

7.4 Náhled CNC frézky

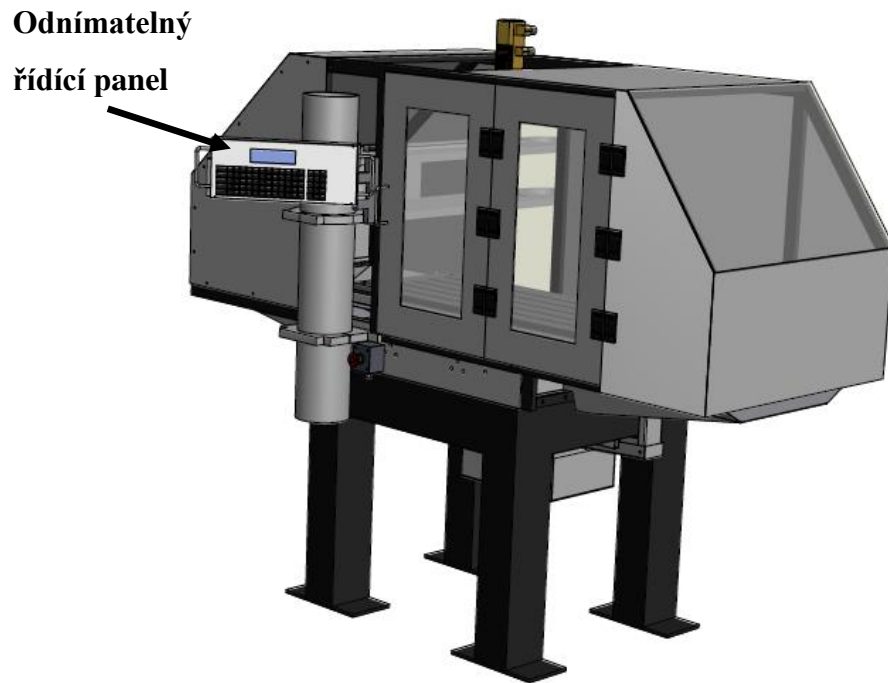
Na závěr uvádím návrh celé soustavy s jejími základními rozměry, viz Obr. 56, řez CNC frézku viz Obr. 57, náhled frézky se zakrytováním, viz Obr. 58 a řez frézku se zakrytováním a odvodem chladicí kapaliny viz Obr. 59.



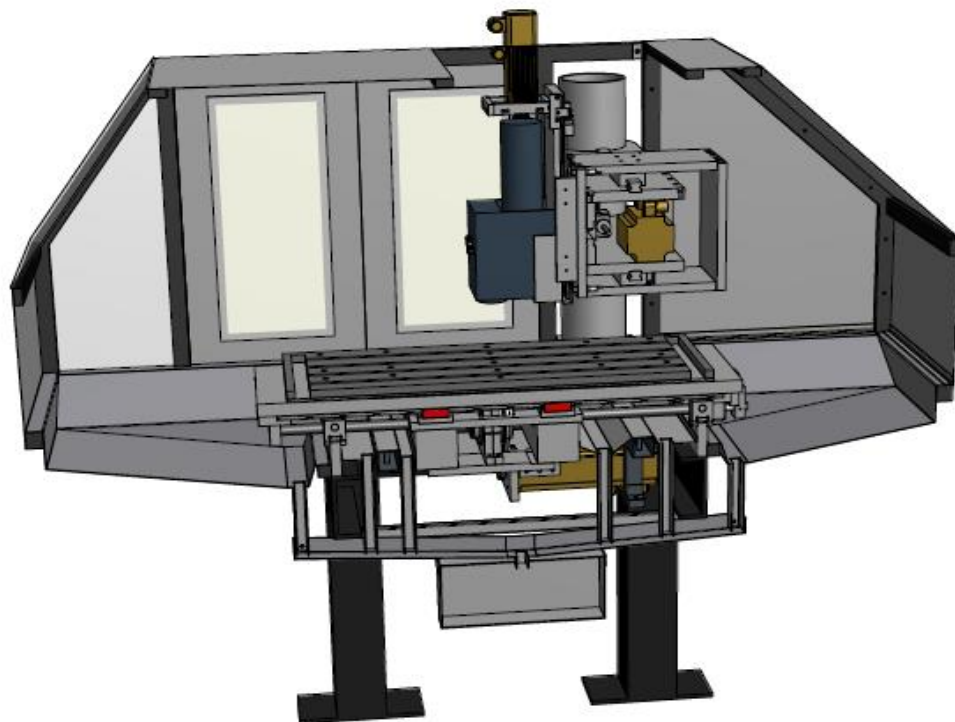
Obr. 56 Náhled CNC frézky



Obr. 57 Řez CNC frézky



Obr. 58 Frézka se zakrytáním



Obr. 59 Řez systému na odvod chladicí kapaliny

7.5 Diskuze navržené koncepce

Od prvotní navržené konstrukce, která byla navrhována bez zakoupených komponentů, se finální (skutečná) konstrukce velmi liší. Tento rozdíl je ukázán v tab. 7 a byl způsoben tím, že se jednotlivé součásti v prvotním předpokladu liší od skutečných. Tato odlišnost mezi předpokládanými a skutečnými součástmi vznikla důsledkem nakupování co nejlevnějších dílů přes aukční portál, jak bylo již uvedeno. Při tomto nakupování byly vybírány díly co nejvíce parametricky shodné s mým předpokladem, ale nikdy se nepovedlo zakoupit přesně předpokládané součásti.

Tab. 7 Porovnání předpokládaných a skutečných rozměrů stroje

| | | hodnota (mm) | | |
|-------------------------------------|------------------|--------------|------------|------------|
| | | rozměr | předpoklad | skutečnost |
| osa x | kolejnice vedení | délka | 1000 | 1058,5 |
| | | šířka | 18 | 20 |
| | vozík vedení | délka | 50 | 62,4 |
| | | šířka | 35 | 42,2 |
| | | výška | 20 | 20,7 |
| | kuličkový šroub | délka | 1000 | 1162,8 |
| | | průměr | 20 | 25 |
| motor | výkon | 1 kW | 3,1 kW | |
| přejíždějící délka osy | | | 600 | 680 |
| osa y | kolejnice vedení | délka | 650 | 700 |
| | | šířka | 25 | 28 |
| | vozík vedení | délka | 100 | 130 |
| | | šířka | 70 | 60,2 |
| | | výška | 45 | 38 |
| | kuličkový šroub | délka | 680 | 720 |
| | | průměr | 20 | 15 |
| motor | výkon | 1 kW | 3,1 KW | |
| přejíždějící délka osy | | | 520 | 590 |
| osa z | kolejnice vedení | délka | 500 | 463 |
| | | šířka | 25 | 20 |
| | vozík vedení | délka | 60 | 65,1 |
| | | šířka | 30 | 42 |
| | | výška | 20 | 22 |
| | kuličkový šroub | délka | 420 | 381 |
| přejíždějící délka osy | | | 300 | 240 |
| Celkový rozměr stroje s okrytíváním | | délka | 2000 | 2200 |
| | | šířka | 1100 | 1230 |
| | | výška | 1800 | 1760 |

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo popsat hlavní části CNC obráběcího stroje z hlediska požadavků na jednotlivé části a součásti s uvedením zásadních parametrů a cenových rozsahů pro jednotlivé komponenty. Dále byla navržena optimální konstrukce pro dosažení požadovaných parametrů sestavovaného stroje v podobě 3D sestav.

V teoretické části práce byly nastíněny základní informace o CNC strojích. Byly diskutovány nejdůležitější části CNC strojů, jako je posuvová soustava, rám stroje, automatické výměníky nástrojů a další. Rovněž byly popsány druhy CNC strojů a požadavky na ně kladené.

Praktická část práce je založena na mých osobních zkušenostech získaných při hledání vhodných dílů k praktickému sestavení CNC frézky určené zejména na obrábění slitin hliníku. V této části byly zejména popsány hlavní části typické CNC frézky. Nedílnou součástí praktické části je cenová kalkulace celé stavby a jednotlivých dílů. V závěru praktické části práce jsou uvedeny 3D náhledy konstrukce stroje, který bude dále vyvíjen.

V úplném závěru nutno podotknout, že celá stavba stroje není levnou záležitostí, přičemž je nezbytné důkladně promyslet veškeré kroky konstrukce, výběru a nákupu jednotlivých dílů respektive součástí. V další práci se hodlám věnovat vlastní výrobě, kompletaci, testování výše uvedeného originálního CNC stroje a výpočtu základních parametrů stroje.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Marek, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha: MM Publishing, 2010, 420s. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [2] Borský, V. *Jednoúčelové stroje a víceúčelové obráběcí stroje II*. 2. Vyd. Brno: VUT Brno-FS, 1992, 216 s. ISBN 80-214-0175-3.
- [3] Zelený, J. *Vysokorychlostní obrábění*, speciál MM Průmyslové spektrum, 1. Vydání, 2000, 114 s. ISBN 8085986-19-1.
- [4] Marek, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. 1. Vydání. Praha: MM publishing, 2006 282s. ISBN 1212-2572.
- [5] Vavřík, I., Blecha, P. *Řízení jakosti*. 1.vyd. Brno: VUT v Brně, Ústav výrobních strojů systémů a robotiky, 1996. 114s.
- [6] Borský, V. *Obráběcí stroje*. 1.vyd. Brno: VUT Brno – FS, 1992. 216s. ISBN 80-214-0470-1.
- [7] Borský, V. *Základy stavby obráběcích strojů*. 2. vyd. Brno: VUT Brno – FS, 1991. 214 s. ISBN 80-214-0361-6.
- [8] Mráz, P., Talácko, J. *Konstrukce strojů s kompozitními materiály*. 1. Vyd. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. 226 s. ISBN 80-01-03540-9.
- [9] Skalla, J. *Návrh a dimenzování polohových servomechanismů obráběcích strojů*. Habilitační práce. Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní, 1995.

Internetové zdroje obrázků:

- [10] *Czech Republic-Ložiska a ložiskové jednotky Mazací systémy Mechatronika Těsnění Služby – SKF.cz* [online]. 2005, [cit. 2013-5-4]. <http://www.skf.com/portal/skf_cz/home?lang=cs>
- [11] *Market Insight Couples with Innovative Motion Control Ideas* [online]. 2013, [cit. 2013-4-15]. <http://www.designworldonline.com/market-insight-couples-with-innovative-motion-control-ideas/#_>

- [12] *TAJMAC-ZPS, a.s.* [online]. 2012, [cit. 2013-5-1].
< <http://www.tajmac-zps.cz/cs/MCFV-1050>>
- [13] *První hanácká BOW* [online]. 2005, [cit. 2013-4-25].
< <http://www.bow.cz/produkty/univerzalni-cnc-frezky/>>
- [14] *MIDOL* [online]. 2008, [cit. 2013-4-28].
<<http://www.midol.cz/midol-cz/>>
- [15] *THK Technical Support* [online]. 2006, [cit. 2013-4-19].
<<https://tech.thk.com/>>
- [16] *MM spektrum* [online]. 2013, [cit. 2013-4-10].
<<http://www.mmspektrum.com/>>
- [17] *CNCshop.cz* [online]. 2010, [cit. 2013-5-1].
<<http://www.cncshop.cz/>>
- [18] *Frekvenční měniče, regulované pohony, servo motory, PLC –Control Techniques, Emerson a.s.* [online]. 2010, [cit. 2013-5-1].
< <http://www.controltechniques.sk/>>
- [19] *Kollmorgen* [online]. 2011, [cit. 2013-4-22].
< <http://www.kollmorgen.com/>>
- [20] *SM Motion Control* [online]. 2013, [cit. 2013-5-6].
< <http://www.smmotioncontrol.de/>>
- [21] *GM electronic* [online]. 1990, [cit. 2013-4-25].
< <http://www.gme.cz/elektricke-brusky-a-frezy/> >

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|---------|---|
| CNC | Computer numerical controlled. |
| NC | Numerical controlled. |
| PLC | Programmable logic controller (programovatelný logický automat) |
| CAD/CAM | Computer aided design (počítačem podporované projektování) |
| 3D | Trojdimenzionální |
| PC | Personal computer (osobní počítač) |
| KM | Krokový motor |
| AC | Asynchroní, alternating current (střídavý proud) |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| <i>Obr. 1. Vybrané hlavní části číslicově řízeného obráběcího stroje [2]</i> | 12 |
| <i>Obr. 2. Etapy automatizace [2]</i> | 13 |
| <i>Obr. 3. Rozdělení CNC obráběcích strojů do jednotlivých kategorií podle základních funkcí, provedení a začlenění do výrobního procesu [1]</i> | 14 |
| <i>Obr. 4. Souhrnný vliv vnějších a vnitřních faktorů na tvorbu technické soustavy, nového výrobku [4]</i> | 17 |
| <i>Obr. 5. Průběh zakázky výrobní firmou [4]</i> | 18 |
| <i>Obr. 6. Rozdělení frézovacích strojů [4]</i> | 21 |
| <i>Obr. 7 Druhy materiálu pro stavbu rámu [1]</i> | 22 |
| <i>Obr. 8. Fyzikální vlastnosti materiálů rámu [8]</i> | 22 |
| <i>Obr. 9. Morfologie vřetena [1]</i> | 23 |
| <i>Obr. 10. Hlavní vlivy na pracovní přesnost obráběcího stroje [1]</i> | 24 |
| <i>Obr. 11. Řez matice [10]</i> | 24 |
| <i>Obr. 12. Servomotor 1FK7 s měničem Sinamics S110 [11]</i> | 25 |
| <i>Obr. 13. Blokové schéma rychlostně polohového servomechanismu [4]</i> | 25 |
| <i>Obr. 14. Řízený převod valivých elementů [1]</i> | 26 |
| <i>Obr. 15. Obíhání valivých elementů [1]</i> | 27 |
| <i>Obr. 16. Skladba valivého profilového vedení [1]</i> | 27 |
| <i>Obr. 17. Schéma morfologie nástrojových soustav pro obráběcí centra [1]</i> | 28 |
| <i>Obr. 18. Schéma morfologie automatické výměny nástrojů různých typů [1]</i> | 29 |
| <i>Obr. 19. Příklad pneumatického výměníku nástrojů [1]</i> | 30 |
| <i>Obr. 20. Schéma morfologie automatické výměny obrobků CNC stroje [1]</i> | 30 |
| <i>Obr. 21. Příklad výměna technologické palety [4]</i> | 31 |
| <i>Obr. 22. Schéma základního rozdělení přiváděných a odváděných medií [1]</i> | 31 |
| <i>Obr. 23. Hlavní zdroje tepla, nad kterými je nutné uvažovat při stavbě CNC obráběcího stroje [1]</i> | 32 |
| <i>Obr. 24 Obráběcí centrum Tajmac-ZPS MCFV 1050 [12]</i> | 35 |
| <i>Obr. 25 Univerzální CNC frézka Optimum M2CNC [13]</i> | 36 |
| <i>Obr. 26 Přehled možných koncepcí stolových frézek s jedním pohybem v obrobku. [6]</i> | 38 |
| <i>Obr. 27 Prvotní návrh originální konstrukce 3 osé CNC frézky.</i> | 39 |
| <i>Obr. 28 Návrh stroje s popisem jednotlivých os a možností posuvu portálu.</i> | 40 |

| | |
|---|----|
| <i>Obr. 29 Rozdělení stroje do tří částí.</i> | 41 |
| <i>Obr. 30 Vzdálenost vřetena od portálu</i> | 41 |
| <i>Obr. 31 Nepodepřené a podepřené tyče s kuličkovými ložisky [14]</i> | 43 |
| <i>Obr. 32 Řez vozíku na kolejnici [14]</i> | 44 |
| <i>Obr. 33 Upevnění vedení [14]</i> | 45 |
| <i>Obr. 34 Rozměry vozíku THK SR [15]</i> | 45 |
| <i>Obr. 35 Foto zakoupeného vedení s kuličkovým šroubem THK SR20 LM</i> | 46 |
| <i>Obr. 36 NSK vedení na osu Z s kuličkovým šroubem THK.</i> | 46 |
| <i>Obr. 37 Kuličkový šroub [16]</i> | 47 |
| <i>Obr. 38 Kuličkový šroub THK MC 1408.</i> | 48 |
| <i>Obr. 39 Krokový dvou fázový motor 57STH76 [17]</i> | 48 |
| <i>Obr. 40 Driver pro dvou fázové krokové motory M415B [17]</i> | 49 |
| <i>Obr. 41 AC servomotor CTM4</i> | 49 |
| <i>Obr. 42 Rozměry servomotoru CTM4-11 [18]</i> | 50 |
| <i>Obr. 43 Schéma zapojení servodriveru Kollmorgen servostar 603 [19]</i> | 51 |
| <i>Obr. 44 PLC řídicí jednotka SM400 [20]</i> | 52 |
| <i>Obr. 45 Proxxon micromot 50/E [21]</i> | 52 |
| <i>Obr. 46 Frézovací motor PROXXON BFW 40/E [21]</i> | 53 |
| <i>Obr. 47 AC vřeteno od značky Teknomotor [17]</i> | 54 |
| <i>Obr. 48 AC frekvenční měniče VFD-EL [17]</i> | 54 |
| <i>Obr. 49 Vřetenová kostka</i> | 55 |
| <i>Obr. 50 Řez osou x 1</i> | 56 |
| <i>Obr. 51 Řez osou x 2</i> | 56 |
| <i>Obr. 52 Řez osy y 1</i> | 57 |
| <i>Obr. 53 Řez osy y 2</i> | 57 |
| <i>Obr. 54 Řez osy z</i> | 58 |
| <i>Obr. 55 Vedení osy z</i> | 58 |
| <i>Obr. 56 Náhled CNC frézky</i> | 59 |
| <i>Obr. 57 Řez CNC frézky</i> | 59 |
| <i>Obr. 58 Frézka se zakrytváním</i> | 60 |
| <i>Obr. 59 Řez systému na odvod chladicí kapaliny</i> | 60 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|--|-----------|
| <i>Tab. 1 Základní rozpočet na stavbu originálního CNC.....</i> | <i>37</i> |
| <i>Tab. 2 Informativní vlastnosti slitiny AW-7075</i> | <i>42</i> |
| <i>Tab. 3 THK SR20 LM</i> | <i>45</i> |
| <i>Tab. 4 NSK LS20.....</i> | <i>46</i> |
| <i>Tab. 5 THK MC 1408</i> | <i>47</i> |
| <i>Tab. 6 Charakteristické veličiny servomotoru CTM4-11.4</i> | <i>50</i> |
| <i>Tab. 7 Porovnání předpokládaných a skutečných rozměrů stroje.....</i> | <i>61</i> |

SEZNAM PŘÍLOH

P1: CD disk, který obsahuje v adresáři 3D sestavy jednotlivé soubory:

- 3D sestava CNC frézky.pdf
- Okrytování.pdf
- Rám stroje.pdf
- Rozložení osy x.pdf
- Rozložení osy y.pdf
- Rozložení osy z.pdf
- Rozstřel sestavy frézky.pdf
- Sestava CNC frézky.avi

