

# Výroba, montáž a zprovoznění 3-osého obráběcího stroje

Bc. Martin Minařík

---

Diplomová práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin Minařík**  
Osobní číslo: **T13501**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Výroba, montáž a zprovoznění 3-osého obráběcího stroje**

Zásady pro vypracování:

1. vypracujte literární rešerši z oblasti technologie výroby a konstrukce CNC obráběcích strojů
2. pro danou 3D sestavu 3-osé frézky proveďte výrobu a montáž jednotlivých prvků
3. popište technologii výroby vybraných prvků CNC frézky
4. popište rámcový postup montáže prvků, postup nastavení a seřízení pohonů a zprovoznění CNC frézky
5. vymodelujte součást v CAD software a vyrobte na 3-osé CNC frézce
6. proveďte hodnocení rozměrové a tvarové přesnosti vyrobené součásti; na základě zjištěných údajů navrhnete zlepšení pracovní přesnosti stroje.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. ADITHAN, M a B PABLA. CNC machines. 2nd ed. New Delhi: New Age International Publishers, 2011, xi, 127 s. ISBN 81-224-2019-2.
2. MAREK, Jiří a Petr BLECHA. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM publishing, 2010, 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
3. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 80-7300-207-8.
4. MADÁČ, Kamil. Optimalizácia NC programovania. Vyd. 1. Košice: Technická univerzita, Strojnícka fakulta, 2012, 256 s. ISBN 978-80-553-1272-9.
5. GROOVER, Mikell P. Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems. 5th ed. Hoboken, NJ: Wiley, c2013, xv, 1101 s. ISBN 978-1-118-23146-3.
6. KOČMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
7. LUKOVICS, Imrich, Libuše SÝKOROVÁ a František VOLEK. Části a mechanismy strojů. Vyd. 1. V Brně: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická ve Zlíně, 2000, 185 s. ISBN 8021415665.

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**30. ledna 2015**

Termín odevzdání diplomové práce:

**13. května 2015**

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



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

Příjmení a jméno: Minářik Martin

Obor: KTZ

## 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 <sup>1)</sup>;
- 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 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> 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 <sup>3)</sup> 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 6.5.2015

  
.....

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

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

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

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

<sup>2)</sup> 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 vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> 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). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

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

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá výrobou a montáží originálního tříosého CNC frézovacího stroje na obrábění nekovových materiálů a měkkých kovů, například slitin hliníku. Práce je rozdělena do dvou hlavních částí. První teoretická část pojednává o CNC obráběcích strojích a jejich konstrukčním procesů. Druhá, praktická část, se zabývá návrhem vhodné konstrukce ve formě 3D modelu a vlastní realizací stavby stroje. V této části je rovněž popsán výběr hlavních konstrukčních prvků a výroba testovací součásti, podle které byla stanovena přesnost sestaveného stroje. Poslední částí práce je celková nákladová kalkulace.

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

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the manufacture and assembly of the original 3-axis CNC router for machining non-metallic materials or soft metals, such as aluminium alloys. The work is subdivided into two main parts, theoretical and practical. The former focuses on information regarding CNC routers/milling machines and the description of construction processes, the latter deals with designing the suitable construction in the means of a 3D model and the actual construction of the machine. The choice of main components is also described there, along with the production of testing samples for determining the precision of the router and cost calculation.

Keywords: CNC router, production, assembly, construction, 3D model, machining

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

Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mi pomáhali při samotné stavbě stroje.

Motto:

*Najít správný směr, mezi opatrností a odvahou je to největší umění.*

Tomáš Baťa

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 CNC OBRÁBĚCÍ STROJE</b> .....	<b>11</b>
1.1 OBRÁBĚCÍ CENTRA .....	13
1.1.1 Obráběcí centra na rotační součásti.....	13
1.1.2 Obráběcí centra na nerotační součásti.....	14
1.1.3 Multifunkční obráběcí centra .....	15
1.2 JEDNOÚČELOVÉ OBRÁBĚCÍ STROJE.....	16
1.2.1 CNC vrtací a vyvrtávací stroje.....	16
1.2.2 CNC brousící stroje.....	17
1.3 CNC STROJE PRO SPECIÁLNÍ APLIKACE .....	18
1.4 STROJE PRO NEKONVENČNÍ TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ .....	19
<b>2 KONSTRUKCE CNC STROJŮ</b> .....	<b>20</b>
2.1 KONSTRUKČNÍ PROCES .....	20
2.1.1 Konstrukční kriminalistika.....	21
2.2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VÝVOJ STROJŮ .....	22
2.3 DESIGN CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ .....	23
2.3.1 Ergonomie .....	25
2.4 ZÁKLADNÍ KONSTRUKČNÍ ČÁSTI OBRÁBĚCÍHO STROJE .....	27
2.4.1 Nosná soustava.....	27
2.4.2 Pohybová soustava .....	30
2.4.2.1 Posuvová soustava .....	30
2.4.2.2 Náhonové soustavy .....	31
2.4.2.3 Vřetenostroje.....	32
2.4.3 Automatická výměna nástroje a obrobku.....	33
2.4.4 Ochranné kryty obráběcího stroje .....	35
2.5 ZKOUŠENÍ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ .....	36
2.6 PROVOZUSCHOPNOST CNC STROJŮ.....	37
<b>3 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI</b> .....	<b>40</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>41</b>
<b>4 ROZBOR KONSTRUKCE</b> .....	<b>42</b>
4.1 VÝBĚR KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ OBRÁBĚCÍHO STROJE .....	42
4.2 DESIGN STROJE.....	43
4.3 POŽADAVKY Kladné na stroj .....	44
4.4 ROZPOČET NA REALIZACI VÝROBY A MONTÁŽE STROJE.....	45
<b>5 VÝROBA A MONTÁŽ STROJE</b> .....	<b>47</b>



5.1	VÝBĚR VHODNÝCH SOUČÁSTÍ .....	48
5.2	NOSNÝ RÁM STROJE .....	50
5.3	Osa X .....	52
5.4	Osa Y .....	58
5.5	Osa Z.....	62
5.6	ZAKRYTOVÁNÍ STROJE .....	65
<b>6</b>	<b>NASTAVENÍ ELEKTRONIKY .....</b>	<b>66</b>
6.1	ŘÍZENÍ POHONŮ .....	66
6.2	PLC JEDNOTKA .....	68
6.2.1	Kontrola nastavení .....	70
6.3	ZKOUŠKA PŘESNOSTI OBRÁBĚCÍHO STROJE .....	71
6.3.1	Výroba testovací součásti.....	71
6.3.2	Měření testovací součásti .....	72
<b>7</b>	<b>ZHODNOCENÍ VYROBENÉHO STROJE.....</b>	<b>76</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>88</b>

## ÚVOD

Pod pojmem obráběcí stroj se rozumí specializovaný stroj zkonstruovaný pro odebrání materiálu v třískové nebo jiné formě. Nejrozšířenější jsou obráběcí stroje na kovy, za nimi následují obráběcí stroje na dřevo, polymerní materiály, sklo a další materiál. V poslední době začínají ve strojírenství dominovat číslicově řízené stroje (CNC), které přebírají většinu řídicích operací, díky čemuž dochází k eliminaci chybovosti vlastní obsluhy stroje. Výhodou CNC obráběcích strojů je zvýšení efektivity a rozsahu možností, jak sériové, tak i zakázkové nebo speciální výroby.

CNC stroje umožňující automatickou výměnu nástroje nebo obrobku, vycházejí vstříc požadavku pro automatizaci výrobních postupů. Zásadním faktorem celé automatizace je možnost používání výpočetní techniky. Díky využití nejmodernějších počítačových programů a algoritmů lze neustále zvyšovat produktivitu, rychlost, přesnost a efektivnost opakujícího se výrobního procesu. Dále je nutné dodat, že nové vývojové směry ve strojírenství se odklání od používání konvenčních obráběcích strojů, jako jsou soustruhy a frézky. V poslední době se ve strojírenství začínají prosazovat nekonvenční technologie obrábění jako je například řezání pomocí vodního a laserového paprsku. Nicméně význam konvenčního obrábění nelze opomenout, protože stále nachází své uplatnění v sériové výrobě, přípravných obráběcích pracích, v opravárenství a v dalších dílčích operacích výrobního procesu.

Ve své práci se budu zabývat stavbou originálního 3-osého CNC frézovacího stroje od 3D návrhu, až po samotnou výrobu a montáž stroje. Po popisu sestavování stroje dle jednotlivých tří os (X, Y, Z) a nastavení elektroniky, byla vyrobena testovací součást (dle normy ČSN ISO 10791-7), která definuje přesnost obráběcího stroje. Hlavním cílem praktické části práce je ukázat postup při sestavování a výběr vhodných prvků pro daný typ použití a technologii obrábění. Vyroběný stroj, který bude uvedený v praktické části práce, nemohu a ani nechci porovnávat se stroji od renomovaných firem, které jsou precizně vyrobeny za miliony korun, na kterých pracují desítky konstruktérů.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

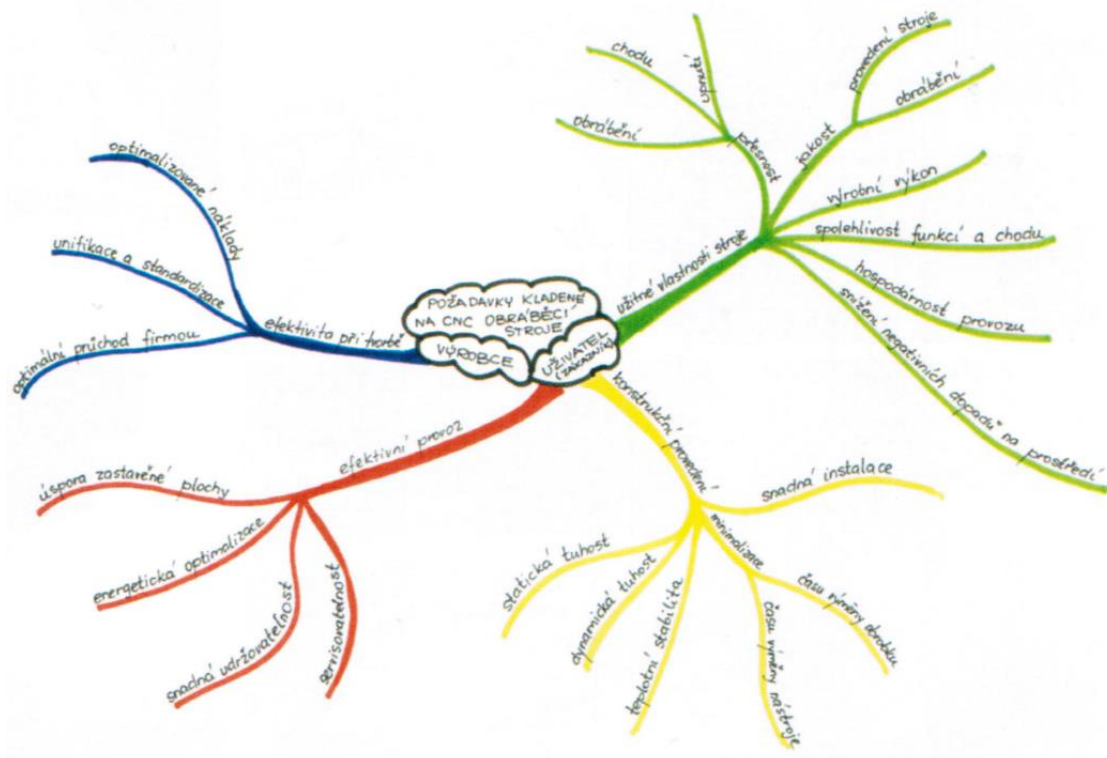
## 1 CNC OBRÁBĚCÍ STROJE

Označení CNC vychází z anglického označení Computer Numerical Control – číslicové řízení počítačem. Číslicovým řízením rozumíme v širším slova smyslu činnost číslicového počítače pro řízení pohybu nástroje nebo obrobku definovanou rychlostí po dané trajektorii v prostoru nebo rovině. Při číslicovém řízení obráběcích strojů jde konkrétně o řízení procesu obrábění i pomocných funkcí na základě číselných údajů a příkazů.

Informace potřebné pro obrobení součásti jsou zaznamenány ve formě řady numerických znaků. Potřebné informace k obrábění jsou:

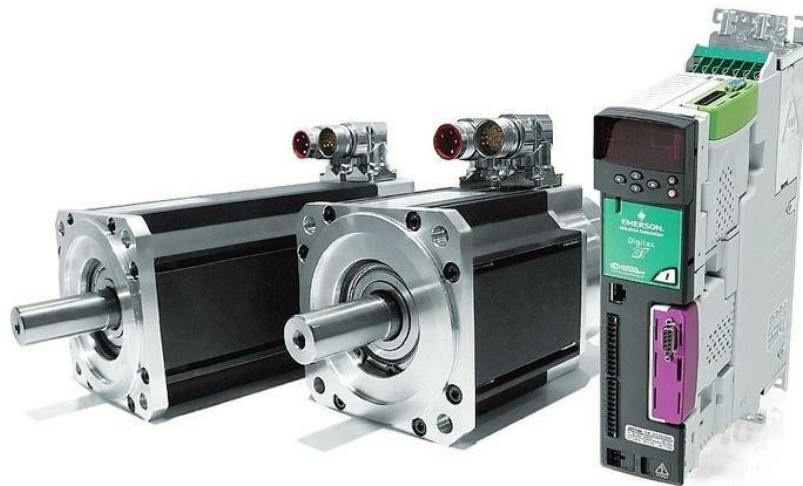
- informace určující rozměry součástí;
- informace charakterizující různé funkce například posuv, otáčky, atd.;
- pomocné informace

Požadavky na obráběcí stroje se posuzují ze dvou hledisek. Nejprve z pohledu výrobce, kterého zajímá především ekonomická stránka tvorby. Dále je důležitý pohled zákazníka, kterého především zajímají vlastnosti stroje, efektivní provoz a konstrukční uzpůsobení stroje. [1]



Obr. 1 Požadavky na CNC obráběcí stroje [1]

Je patrné, že požadavky na jednotlivé konstrukční prvky CNC stroje jsou velice náročné. Z těchto důvodů je potřeba konstrukci číslcových strojů věnovat náležitou pozornost. Přebírání převážné většiny řídicích operací, u strojů číslcově řízených řídicím systémem v automatickém režimu provozu stroje, dochází k míře eliminace chybovosti operátora stroje. Koncepce stroje se kvůli jednotlivým požadavkům výrazně liší od strojů stavěných pro lidskou obsluhu. Celková konstrukční soustava CNC strojů se vyznačuje vysokou tuhostí a precizního provedení, navrženými tak, aby docházelo k minimálnímu tepelnému namáhání jednotlivých uzlů stroje. Nejčastěji se užívají pohony (servopohony) s velkým regulačním rozsahem z důvodů hospodárného řezného režimu. V současné době se nejvíce využívají střídavé servopohony (nazývané AC servopohony), jak pro pohon vřeten, tak pro pohon posuvů. [13,1]



*Obr. 2 AC servopohony se servodriverem [18]*

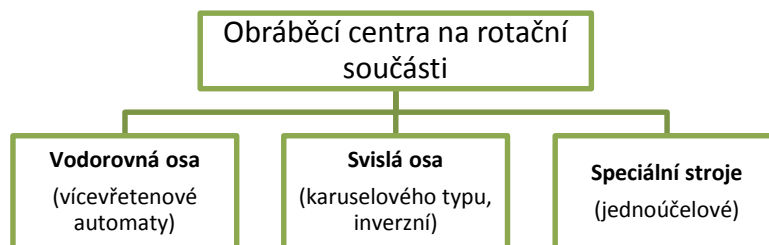
Základní rozdělení CNC obráběcích strojů jsou dle hledisek kinematiky (sériová, paralelní, smíšená), jednoprofesní (soustružnické, frézovací, atd.) a obráběcí centra. Kromě předešlých hledisek mohou nastat kombinace, jako například jednoprofesní CNC frézka se sériovou kinematikou pro vysokorychlostní obrábění. Jednoprofesní CNC stroje jsou charakteristické kvůli tomu, že pro technologie třískového obrábění využívají převážně jeden druh operace a to: [1]

- frézování;
- soustružení;
- broušení;
- vyvrtávání;
- vrtání, vyhrubování, zahlubování, závitování;

## 1.1 Obráběcí centra

### 1.1.1 Obráběcí centra na rotační součásti

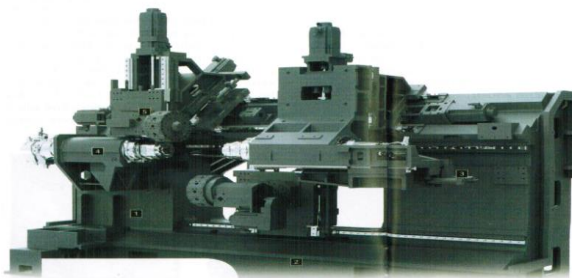
Obecně tyto stroje nazýváme soustružnické stroje. Patří mezi nejpoužívanější skupinu obráběcích strojů s definovanou geometrií břitu nástroje, a rovněž představují nejrozšířenější typ obráběcích strojů určených k obrábění rotačních součástí. Pro obráběcí centra na rotační součásti je charakteristický hlavní řezný pohyb dosahovaný otáčením obrobku. Přesnost práce na těchto strojích závisí na přesnosti uložení rotující činné části (vřetena, upínací desky) soustružnického stroje, její statické tuhosti a tvarové přesnosti. Proto je kladen velký důraz na konstrukci a výpočet vřeten a upínacích desek. [2]



Obr. 3 Rozdělení soustružnických strojů a obráběcích center [1]

Číslicové řízení přineslo do soustruhů nové možnosti obrábění, především z hlediska zjednodušení konstrukce, ale také přineslo i nová, nutná konstrukční opatření. Dosáhlo se zjednodušení a umožnění výroby složitých rotačních ploch, zjednodušilo se řezání závitů a bylo nahrazeno kopírovací zařízení. Pokud hovoříme o soustružnickém obráběcím centru, musí tento stroj umožňovat: [1,2]

- automatickou výměnu nástrojů (většinou revolverový nosný zásobník);
- různé technologické operace (vrtání, frézování);
- automatickou výměnu obrobku
- práce v automatickém cyklu či bezobslužném provozu.



Obr. 4 Morfologie soustružnického obráběcího centra Sprint [1]



### 1.1.2 Obráběcí centra na nerotační součásti

Od začátku uvedení na trh má tato koncepce obráběcích strojů trvalý a progresivní vzestup, jak co do výrobního objemu, tak do zlepšování užitečných parametrů. Pro obráběcí centra je specifické, že jedna ze dvou základních operací třískového obrábění je dominantní, například frézování je dominantní a soustružení doplňkové anebo naopak. [3]

Obráběcí centra (dále OC) na nerotační součásti (viz obr. 5) jsou konstrukčně odvozena z jednoprofesních CNC frézovacích strojů a proto jsou někdy označována jako frézovací obráběcí centra. Méně konstrukčně složitě řešení tohoto typu obráběcích center jsou charakterizována mimo jiné ještě tím, že pro řízení mohou být použity jednodušší CNC řídicí systémy, nebo pouze snímače polohy, případně pouze polohové řízení. [1,3]



*Obr. 5 CNC vertikální obráběcí centrum 5-ti osé [19]*

CNC OC na nerotační součásti se rozdělují do dvou základních skupin, na OC s vodorovnou osou vřetena a na OC se svislou osou. První jmenovaná skupina představuje nejčastěji používaný typ a to pro své přednosti jako možnosti obrábění složitých součástí z více stran, vyšší tuhostí vřetena (dána umístěním na rámu stroje, tzv. menším vyložení), lepší odchod třísek a dobrá automatizace. Druhá skupina se svislou osou vřetene nachází vzhledem k požadavkům technologie obrábění poměrně časté použití a to pro svoje přednosti, ke kterým patří výhodná koncepce pro obrábění plochých, deskovitých součástí, jednodušší upínání obrobků i základní polohování jednotlivých os a zpravidla nižší cena proti OC s vodorovným vřetenem. [1,13]

### 1.1.3 Multifunkční obráběcí centra

Tyto obráběcí centra jsou konstrukčně odvozena z CNC frézovacích anebo soustružnických OC. Multifunkčním obráběcím centrem rozumíme CNC obráběcí stroj, který splňuje dané požadavky:

- velkou kinematickou adaptabilitu v obrobku a nástroji;
- vlastnosti obráběcího stroje;
- umožňující v co největší možné míře obrábět různé tvary obrobků na jedno upnutí a na jednom stroji.

Často lze pozorovat konstrukce, které jsou napůl obráběcími centry a multifunkčními obráběcími centry (viz obr. 6). Do jejich pohybových os je přidán soustružnický stůl (frézovací stroje) anebo frézovací vřeten, ale technicky využitelné přidané parametry (výkon, moment) jsou velmi odlišné. [13,1]



*Obr. 6 Multifunkční obráběcí centrum MULTICUT 630 [20]*

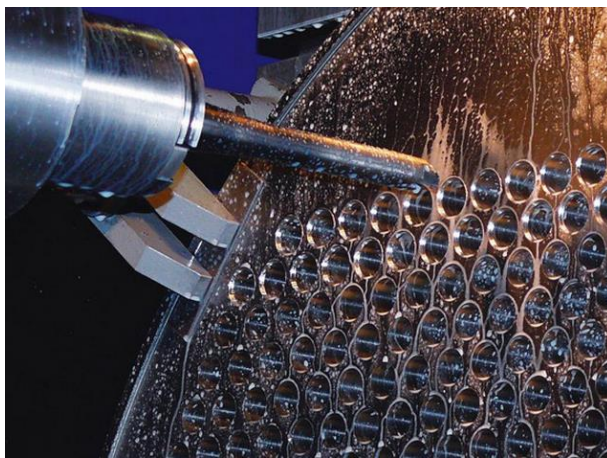
Multifunkční obráběcí centra se rozdělují na tři skupiny, semimultifunkční, soustružnická a frézovací. Charakteristickým znakem u semimultifunkční OC je zvýšený počet volností v nástroji anebo v obrobku a zároveň ve většině případů doplnění soustružnických operací k frézovacím strojům. Pokud jsou obráběny větší rotační součásti v sériové produkci, pak se používají pro tyto operace soustružnická multifunkční obráběcí centra. Většími součástmi jsou myšleny, součásti o hmotnosti nad 5 tun, zejména pak součásti používané při stavbě letadel, kosmických raket, které vyžadují nové obráběcí technologie. Při výrobě těchto součástí je požadavek na vysokou pružnost a zejména komplexní soustružnicko-frézovací operace do jednoho stroje s cílem obrobit přesně, v co nejkratším čase a na jedno upnutí. [1]

## 1.2 Jednoúčelové obráběcí stroje

Jednoúčelové CNC obráběcí stroje jsou charakteristické tím, že pro technologie třískového obrábění využívají jeden druh operace. Mezi ně může patřit CNC vrtací a vyvrtávací, brousící, obráběcí stroje na ozubení, stroje pro vysokorychlostní obrábění atd.

### 1.2.1 CNC vrtací a vyvrtávací stroje

CNC vrtací stroje jsou orientovány na jednu technologickou operaci, k obrábění otvorů a to jak při vrtání do plného materiálu, tak při obrábění vnitřních již dříve vytvořených otvorů. Další operace, které mohou CNC vrtací stroje provádět, jsou řezání závitů, srážení hran či vystružování. Otáčivý pohyb nejčastěji realizuje nástroj, který též většinou zajišťuje pohyb do řezu. Konstrukční řešení vrtacího vřetena nebo vrtací jednotky tedy většinou musí zabezpečovat jeho otáčení i posuv. Celková konstrukce vrtacího stroje musí být řešena s ohledem na zajišťující podmínky jako jsou velké krouticí momenty a velké osové síly (zejména při vrtání do plného materiálu), odvod tepla a odvod třísek, správný posuv do řezu. [2]



*Obr. 7 Automatické vrtání otvorů [21]*

CNC vyvrtávací stroje se dělí na vodorovnou osu vřetene, kam patří stolové, křížové, nebo deskové stroje a dále na svislou osu vřetene (tzv. souřadnicové). První jmenovaný typ s vodorovnou osou vřetene zahrnuje univerzální stroje vhodné k obrábění složitých součástí v kusové a malosériové výrobě. Pokud je obrobek upnut na rotačním stole, je možné při jednom upnutí provést současně nebo postupně různé operace z různých stran obrobku. Souřadnicové vyvrtávačky jsou specifické k obrábění přesných otvorů IT6, IT5 v přesných osových vzdálenostech  $\pm 0,01$  až  $\pm 0,005$  mm. Lze na nich provádět jemné frézování. [2]

### 1.2.2 CNC brousící stroje

CNC brousící stroje náleží do skupiny strojů pracujících s nástrojem s geometricky ne-definovaným břitem. Také sem patří stroje pro honování a lapování. Využití těchto obráběcích strojů je velmi rozsáhlé. Výhodnou vlastností způsobů obrábění na CNC brousících strojích je i možnost obrobení kalených materiálů. Tato technologie se zejména používá tehdy, je-li požadován přesný tvar (kruhovitost pod  $0,2 \mu\text{m}$ ), rozměr obrobku přesnosti 1 až  $3 \mu\text{m}$  a získání vysoké jakosti obrobené plochy  $Ra=0,8$  až  $0,2 \mu\text{m}$ , které jinými technologiemi třískového obrábění není možno docílit. [2]

Moderní číslicově řízené brousící stroje jsou vybaveny nejen CNC řízením pro souvislé řízení jednotlivé dráhy, ale i jednoduchým NC řízením jedné osy, nebo dokonce pouhou indikací polohy. Pro zvýšení spolehlivosti a zejména zjednodušení programování a tím jeho zpřístupněním pro běžnou obsluhu se začalo používat CNC řízení stroje. Tyto stroje jsou často vybaveny řadou kompenzací, jako je kompenzace orovnění, kompenzace úbytku orovnávacího kotouče a kompenzace úbytku brousícího kotouče. [2]



*Obr. 8 Broušení vnějších průměrů šikmým zápichem na stroji EJ 3 [22]*

Univerzální CNC brousící stroje jsou konstruovány tak, aby na nich bylo možné brousit jak vnější, tak i vnitřní plochy. Tyto univerzály jsou vyráběny se svislou i s vodorovnou osou, dané provedení bylo navrženo pro kompletní obrobení obrobku, jak při vnějším, tak i vnitřním broušením na jedno upnutí. [1]

Přibližně 90-92% výkonu se při broušení mění v teplo a to z důvodu tření, ubývání kotouče a deformace. Proto je důležité efektivní chlazení a mazání, které výrazně optimalizuje brusný výkon. Jako chladicí médium se používá voda nebo pro docílení kvalitnějšího povrchu je dosaženo při chlazení olejem. Olej má také mazací funkci, maže funkční pohybové prvky stroje. [2]

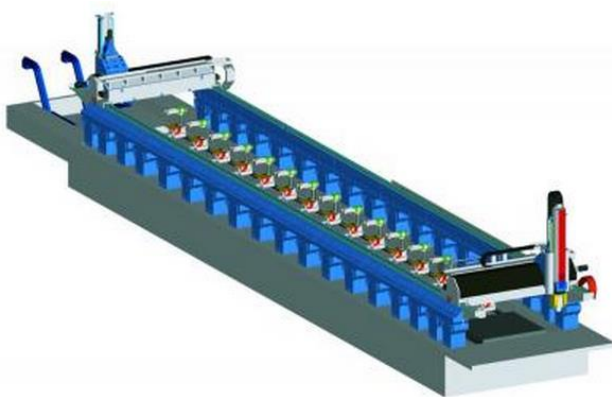
### 1.3 CNC stroje pro speciální aplikace

V porovnání se standartními stroji principiálně nemají speciální stroje nikterak odlišné konstrukční uzly. Víceméně se jedná o to, že je posílena některá jejich konstrukční skupina například zvětšená posuvová síla, uložení vřetene s větší životností tak, aby stroj splňoval požadované podmínky pro daný druh a způsob obrábění. Příkladem speciálních strojů jsou vícevřetenová obráběcí centra (viz obr. 9), kde stroj je osazen pohyblivým stojanem umožňující obrábět více vřeteny. [1]



Obr. 9 Čtyřvřetenové obráběcí centrum Chiron TZ [23]

Příkladem speciální aplikace jsou duo a tandemové obráběcí stroje (viz 10). Tyto obráběcí stroje se používají pro obrábění dlouhých obrobků na portálových centrech, kdy je použito takzvané tandemové spřažení dvou příčníků viz obr. 10. Každý z obou příčníků je ovládán vlastním řídicím systémem, tím je umožněno opracování rozměrných polotovarů oběma příčnicky současně, ale i samostatná práce na dvou dílcích o menší velikosti. [14]



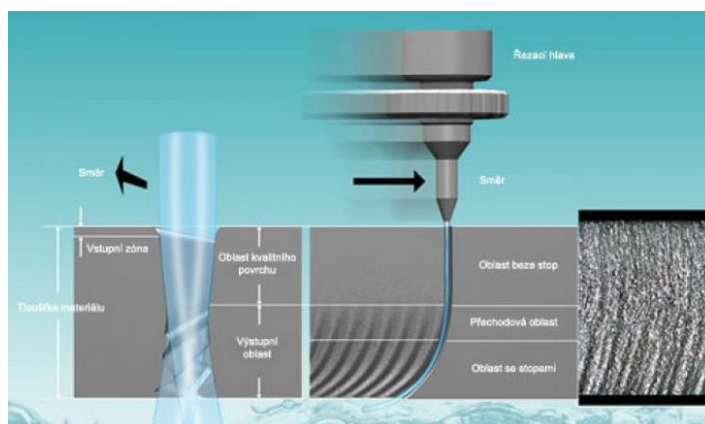
Obr. 10 Tandemové provedení portálového obráběcího stroje FPPC 350/28 [24]



## 1.4 Stroje pro nekonvenční technologie obrábění

V současné době se dostává do popředí nekonvenční technologie obrábění, díky rostoucím požadavkům na vysoký výkon obrábění, ekologickou šetrnost při obrábění materiálů a vysoké pevnosti polotovarů. Tato technologie se uplatňuje nejvíce tam, kde jsou klasické metody obrábění nevhodné nebo málo výkonné. K odebrání materiálu je využíváno nejrozličnějších fyzikálních nebo chemických principů. Mezi základní principy patří obrábění mechanickými procesy (vodním paprskem, ultrazvukem), paprskem koncentrované energie (laser, plazma), elektrickým výbojem (elektroerozivní) a chemické obrábění. V průmyslu jsou nejvíce uplatňovány stroje pro obrábění vodním paprskem a laserem. Princip strojů je v podstatě stejný jako u většiny CNC obráběcích strojů s rozdílem toho, že klasické třískového obrábění je nahrazeno nekonvenční technologií. [4]

Stroje pro obrábění vodním paprskem jsou založeny na principu vytékajícího proudu vody o vysoké rychlosti a tlaku (viz obr. 11). Vodní paprsek s příměsí abrazivních látek umožňuje ekonomicky a ekologicky obrábět téměř všechny materiály používané v průmyslu (kovy, dřevo, papír, plasty, tvrdokovy, kompozity a mnoho dalších). [4]



Obr. 11 Řezání vodním paprskem [25]

Další významnou nekonvenční technologií jsou stroje pro obrábění laserem. Principem každého laseru je aktivní prostředí, které je elektricky, nebo opticky buzeno. Buzením je dodávána energie do laseru, která je pak procesem stimulované emise vyzářena v podobě laserového svazku. K tomu, aby vznikl laserový svazek, je potřeba vytvořit tzv. optický rezonátor, který je tvořen odraznými zrcadly. Lasery se rozdělují podle typu aktivního prostředí. Základní typy jsou plynové, pevnolátkové, vláknové a diodové lasery. [16]



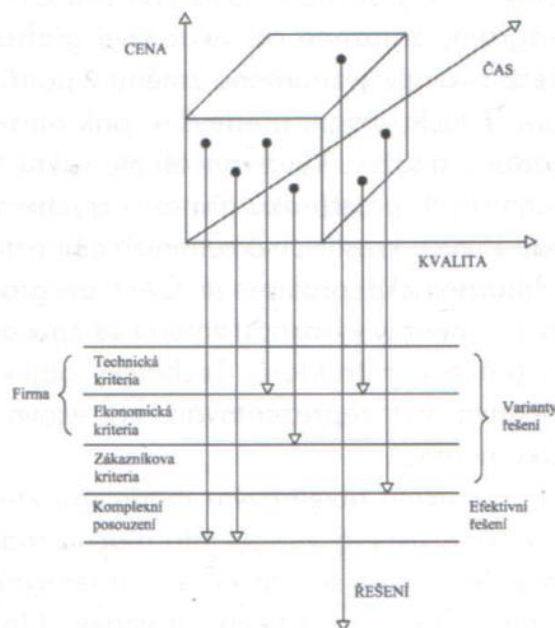
## 2 KONSTRUKCE CNC STROJŮ

Technický objekt, kterým je CNC obráběcí stroj, musí být koncepčně sestaven tak, aby jeho konstrukční části zabezpečovaly realizaci takových procesů na daném objektu, které zajišťují požadované funkce obráběcího stroje s požadovanou jakostí, bezpečností a bezrizikovitostí, při respektování ekonomických, sociálních a ekologických požadavků. Splnění těchto požadavků vyžaduje realizovat určitou personální politiku a stupeň organizovanosti činností, což může být spojeno s psychologickými a právními aspekty. [5]

### 2.1 Konstrukční proces

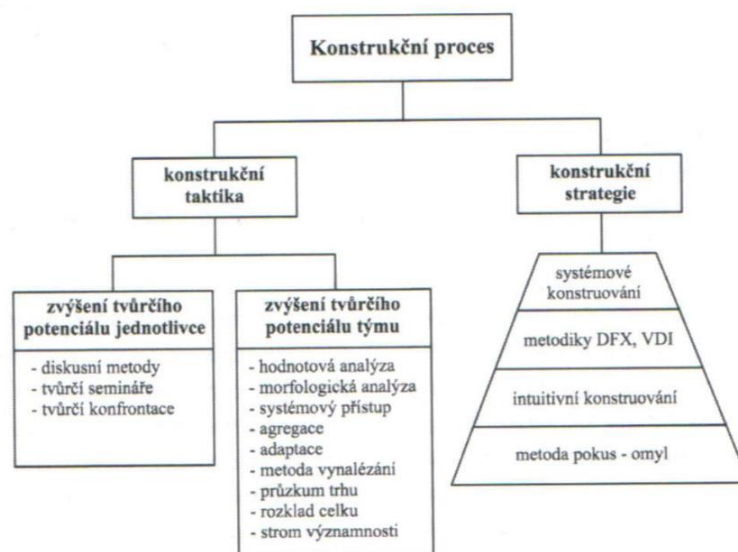
Konstruování je postup, kdy je za využití systémového přístupu nalezeno technicko-ekonomicky optimální řešení za účelem uspokojení potřeby vlastní či zákaznické. Přitom musí být přihlédnuto k řízení procesu, jako jsou rizika vlastního konstrukčního procesu, jakosti a inovaci. Celkový průběh konstrukce by měl být členěn na logicky po sobě následující a přehledné dílčí kroky. Tyto kroky konstruktéra lze rozdělit do tří rozdílných etap řešení konstrukčního problému: [1,13]

- formulace úkolu;
- hledání řešení;
- hodnocení a rozhodování určené s optimálním řešením konstrukce.



Obr. 12 Komplexní posuzování konstrukčních variant [1]

Nejpoužívanější metodou při konstruování je systematické konstruování. Jedná se o podpůrný strategický prostředek pro racionální konstruování. Primárním faktorem je člověk – konstruktér. Systematicky vedený proces má dvě hlavní části (viz obr. 13), které tvoří konstrukční strategie a konstrukční taktika. První jmenovaná strategie pomáhá řešit konstruktérovi danou konstrukční úlohu a pomáhá také hledat řešení. Konstrukční taktika obsahuje pracovní metody, které pomáhají konstruktérovi nebo týmu zvyšovat jeho tvůrčí potenciál. Všechny metody lze zjednodušeně přirovnat k hledání konstrukčního řešení na rámcově doporučené „ideální“ cestě v „mapě“ systematicky uspořádaných a provázaných poznatků z teorie i praxe. [6]



Obr. 13 Kompozice systematicky vedeného konstrukčního procesu [1]

### 2.1.1 Konstrukční kriminalistika

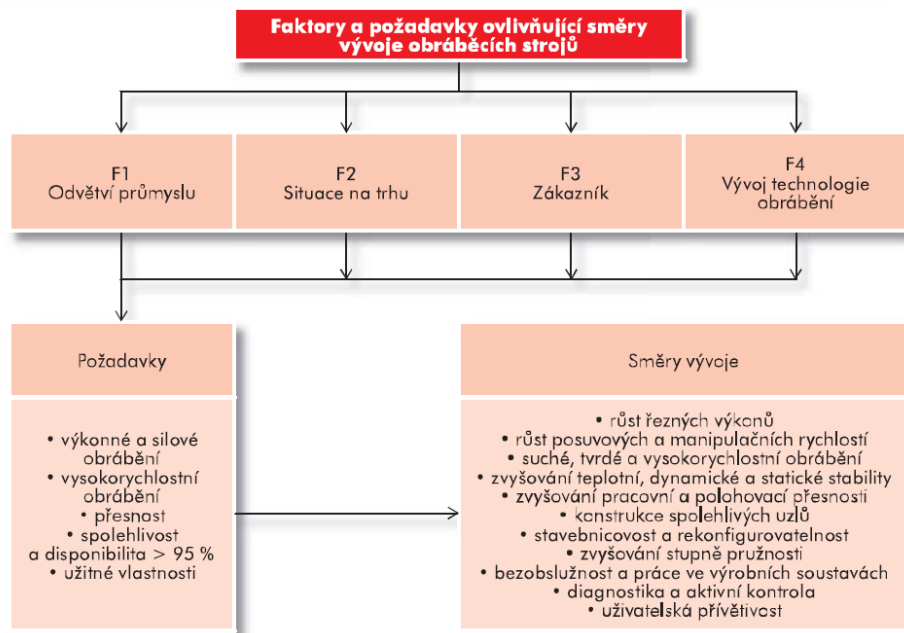
Při tvorbě produktu v podniku je občas zapotřebí řešit poruchy daného produktu, problémové situace, ztrátu schopnosti nebo možnosti plnění funkce. Těmto stavům pomáhá předcházet takzvaná konstrukční kriminalistika, která je nástrojem v průmyslovém podniku, který slouží ke zjišťování nefunkčnosti výrobku a to tak, že pomocí svých metod a vybavení a za využití stop i jiných souvisejících skutečností odhaluje, vyšetřuje a objasňuje příčiny. Stopa na výrobku, která je zanechána pomocí konstrukční kriminalistiky, může mít dvojitý povahu, materiální (hmotnou), anebo paměťovou (myšlenkovou). Materiální stopy vznikají působením různých prvků výrobku vzájemně mezi sebou a často jsou důsledkem činností pracovníka výroby anebo montáže, kdy dochází k nesprávné funkci výrobku či špatné konstrukce. [1]

## 2.2 Faktory ovlivňující vývoj strojů

Hlavním faktorem ovlivňující vývoj strojů je zákazník. Hlavním úspěchem pro výrobce je umět předpovídat požadavky zákazníka a zároveň nacházet řešení při tvorbě přidané hodnoty pro zákazníka. Přidaná hodnota pro zákazníka je porovnávána spolu s užitnými vlastnostmi CNC obráběcího stroje. Mezi užité vlastnosti patří: [1]

- přesnost obrábění;
- spolehlivost stroje;
- kvalita a jakost povrchu při obrábění;
- multifunkčnost;
- ekologičnost;
- produktivita;
- automatizace chodu stroje.

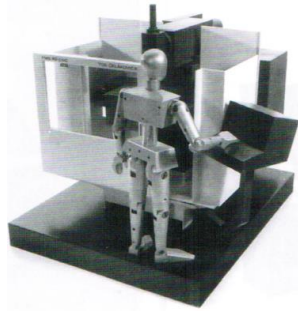
Výrobce kromě hledání užité hodnoty pro zákazníka nabízí i takové služby, které učiní nabízený obráběcí stroj konkurenceschopnější. Pro většinu zákazníků samostatný stroj nic neznamena. Zákazník potřebuje vyřešit úlohu spočívající v obrábění dané součásti, stroj mít rychle dodaný a za co nejpříjemnější cenu. Celkové faktory ovlivňující vývoj lze rozdělit do dvou faktorů, vnitřní faktory působící ve firmě (inovace, podniková strategie, osobní přístup konstruktéra) a vnější faktory působící mimo (zákazník, průmyslový trh, strategie obrábění). [1]



Obr. 14 Faktory a požadavky ovlivňující směry vývoje [7]

### 2.3 Design CNC obráběcích strojů

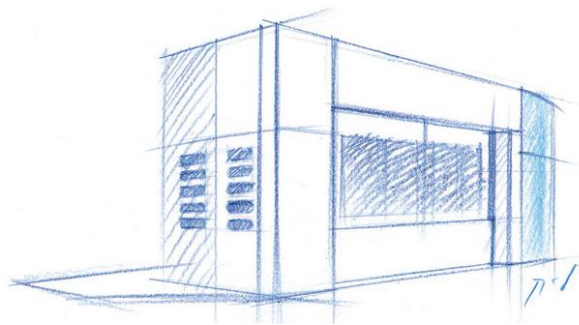
Výrobky různého druhu, dopravní prostředky i průmyslová zařízení, vytváří naše vnímání okolí a postoj člověka k jeho přijímání. Design vyjadřuje kulturní hodnoty. Dobrý design oslovuje a je oceňován znakem, hmatem, sluchem a čichem. [8]



*Obr. 15 Model frézky FNG40 CNC z TOS Čelákovice, polovina 70. let 20. stol [1]*

Uplatnění designu v oblasti CNC obráběcích strojů a průmyslových zařízení se v některých ohledech odlišuje od významu designu spotřebních výrobků. V popředí vystupuje především významná funkce utváření pracovního prostředí a co nejvhodnějšího zpřístupnění funkčnosti stroje jeho uživateli. K vytvoření ideální pracovní pohody obsluhy obráběcího stroje přispívají jak přímá ergonomická měřítka, tak nepřímá měřítka celkové kompozice hmot, barevnosti a provedení detailů. Cílem je vytvořit prostředí, které nebude pro obsluhu rozptylující a příliš unavující při optimálních podmínkách stroj ovládat. Výhodou dobrého designu se tak pro uživatele stroje stává především zvýšení produktivity práce. Z hlediska užitných vlastností jsou další přidanou hodnotou: [13,6]

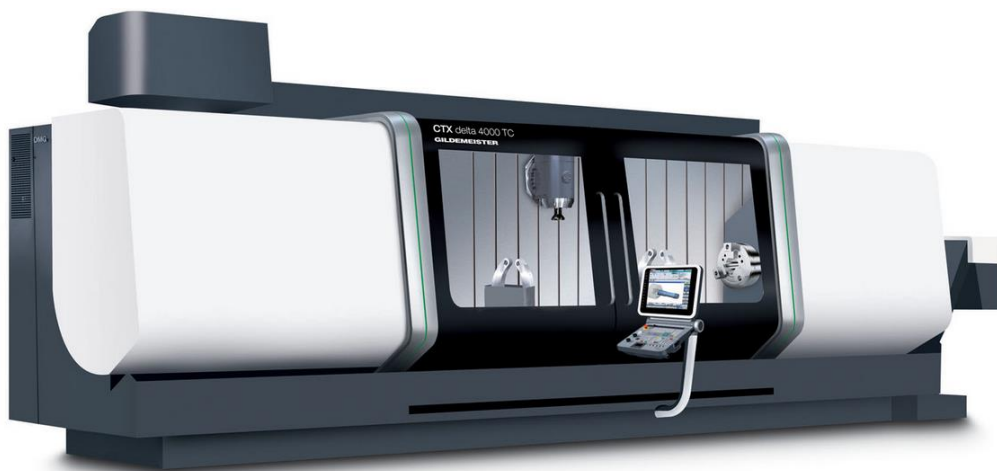
- funkčnost;
- bezpečnost;
- snadnost užívání;
- spolehlivost.



*Obr. 16 Design kapotáže [26]*

V dnešní době je pro výrobce nezbytným prostředkem design, který pomáhá v silné konkurenci k lepšímu prosazení se na trhu. U CNC obráběcích strojů, které se mají prosadit na trhu, se musí snoubit kvalitní design s funkčností a výkonem. Pokud daný obráběcí stroj dobře vypadá, vyvolává na pohled pocit důvěry v celkovou kvalitu. Pěkné krytování nemůže zakrýt nedostatky v technické kvalitě stroje, je ale důležitým prvkem odlišení a zvýšení celkové hodnoty stroje. Nových rysů designu je docíleno především uplatňováním: [1,13]

- důkladného zpracování detailů;
- nových konstrukčních postupů;
- efektů osvětlení;
- nových materiálů.



*Obr. 17 Multifunkční obráběcí centrum CTX delta 400 TC [27]*

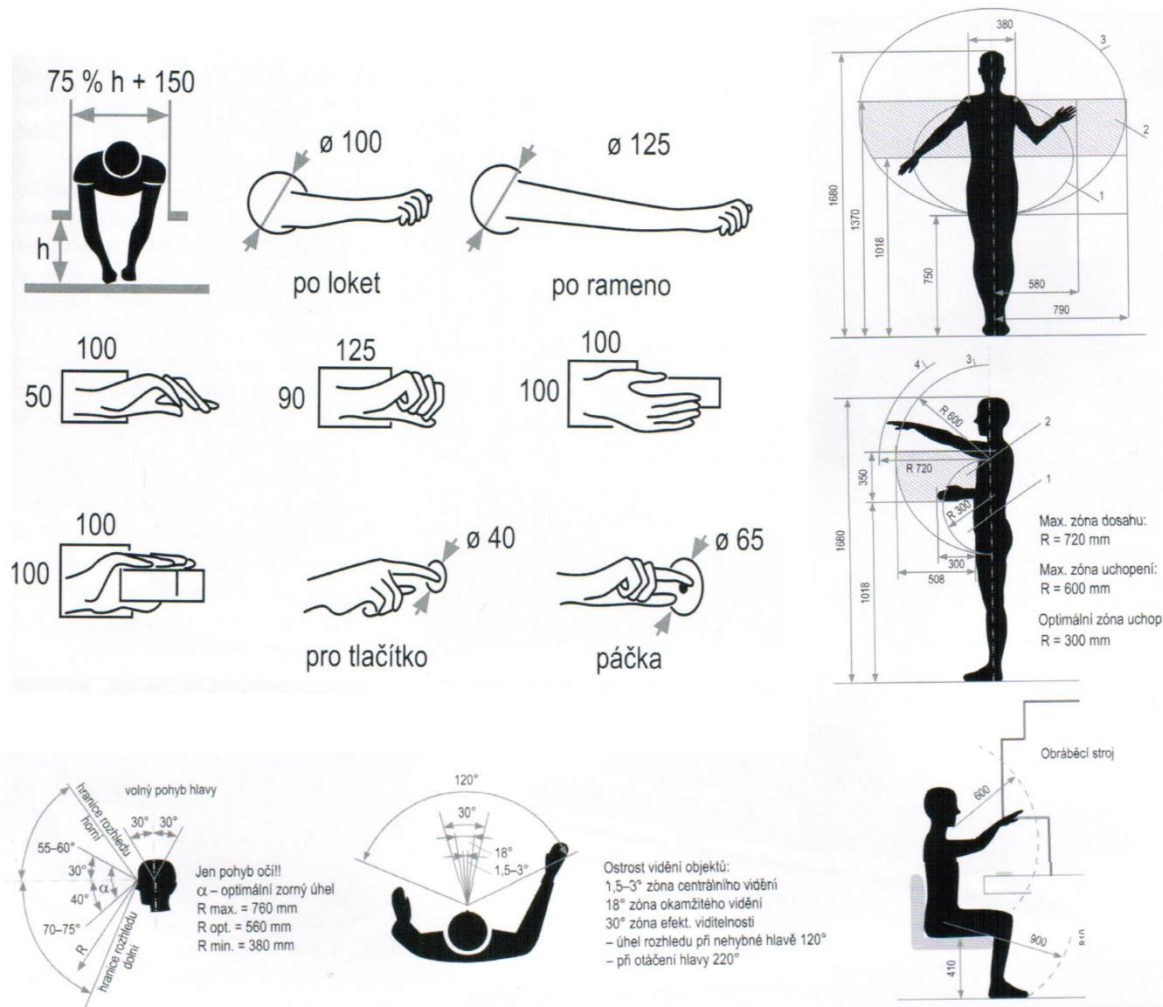


*Obr. 18 Automatická výrobní linka [28]*

### 2.3.1 Ergonomie

Vhodné rozhraní pro ovládání obráběcího stroje a prostoru pohybu obsluhy je jedním z hlavních cílů návrhu designu krytování. Pro docílení produktivity a efektivity práce operátora musí být docíleno lehkosti a přesnosti ovládání stroje. Cílem je navrhnout pro obsluhu takové pracovní prostředí, které umožní navození stavu psychické pohody, v níž může člověk efektivně posuzovat stav pracovního procesu a rozhodovat o jeho dalším průběhu. Oblast, ve které operátor působí, se rozděluje na dvě části - na pracovní zónu a pracovní prostor. [1]

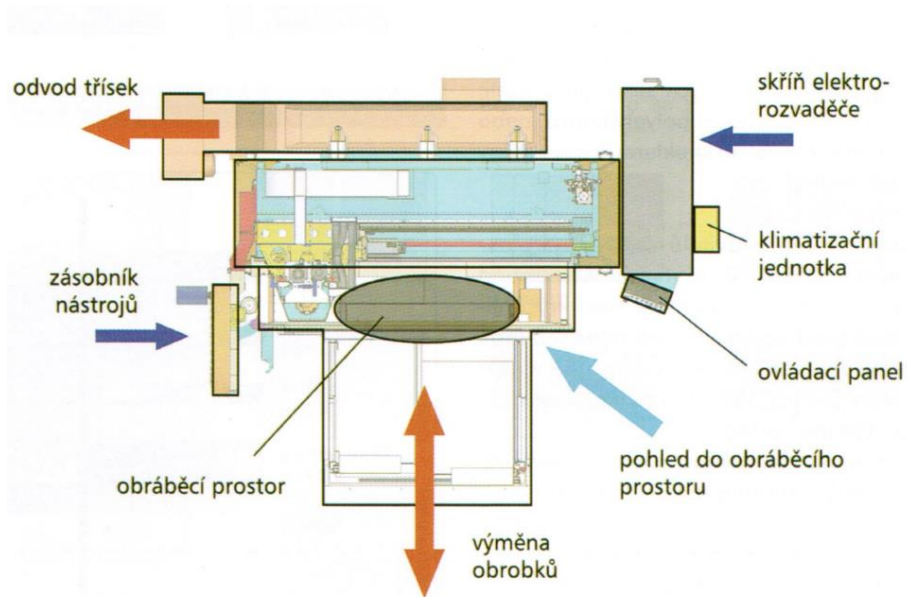
Pracovní zóna definuje souhrn všech bodů v definovaném prostoru, v nichž obsluha působí v průběhu práce z jednoho specifického místa. Při navrhování zón je nutné přihlížet k základním antropologickým rozměrům člověka (viz obr. 19). [9]



Obr. 19 Rozměry pracovních zón [9]

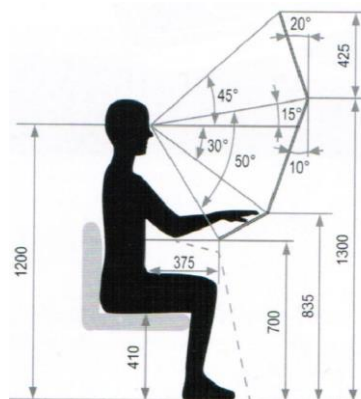


Pracovní prostor obsahuje naopak celou oblast, v níž obsluha při manipulaci aktivně působí kolem stroje (viz obr. 20). Důležité je při uspořádání pracovního prostředí především zajištění bezproblémového vizuálního kontaktu obsluhy s procesem obrábění při ponechání komfortu práce a všech bezpečnostních předpisů. Při návrhu umístění ovladačů, oken, průhledů, bezpečnostních prvků a signálních kontrolky stavu stroje, se musí respektovat základní pracovní zóny člověka (viz obr. 19). [9]



Obr. 20 Základní funkční požadavky na přístup ke stroji [1]

Na hlavní ovládací panel CNC řídicího systému jsou soustředěny téměř všechny ovládací prvky stroje, s výjimkou zapínacích prvků stroje na rozvaděči. Hlavní ovládací panel musí splňovat hlavní funkci řídicí, kontrolní a indikační. Návrh řešení ovládacího panelu musí umožňovat jednoduché a pohodlné ovládání a současně umožnit dobrou čitelnost všech zobrazovaných informací (viz obr 21). [9]



Obr. 21 Ergonomicky vhodné rozmístění ovládacích panelů [9]

## 2.4 Základní konstrukční části obráběcího stroje

### 2.4.1 Nosná soustava

Při návrhu nosné soustavy musí konstruktér dbát na řadu hledisek, jako dobrá statická tuhost, použití kvalitních materiálů, malá hmotnost atd. Vlastnosti dané nosné soustavy se hodnotí především materiálem, tvarováním (žebrování, tloušťky stěn) a spoji (poloha a provedení pevných i pohyblivých spojení). Všechny tyto vlastnosti do jisté míry ovlivňuje konstruktér, ale existuje mnoho omezení, například náklady a velmi složité optimalizující postupy. Jako materiál pro nosnou konstrukci se nejčastěji používá šedá litina, ocel, v poslední době i různé neželezné materiály, zejména beton a polymer-beton. [11]

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

Obr. 22 Fyzikální vlastnosti materiálů [10]

Daný materiál musí mít co nejvyšší vnitřní tlumení. Toto tlumení vykazují materiály složené z více makroskopických fází nebo s velkým množstvím vnitřních rozhraní mezi jednotlivými složkami. Těmto hlediskům vyhovují vláknové a částicové kompozity, materiály obsahující pěnové výplně. Mezi nekonvenční materiály jako je přírodní žula (granit), používané na nosné soustavy pro velmi přesné stoje (mikrofrézování, broušení). Výhodou přírodní žuly je dokonalá rozměrová stálost bez vnitřního pnutí a také dobré tlumení. V poslední době pro nosné soustavy se ve větším měřítku začal používat polymerbeton, který se vyznačuje specifickými vlastnostmi a požadavky [12]:

- využívá se výhoda vylití vnitřního prostoru ocelového nebo litinového dílu, a tím je docíleno výrazného zlepšení parametrů tuhosti a stability;

- při výrobě rámu se používá technologie odlévání do forem (dřevěné, kovové, z polymeru);
- některé funkční a připojovací plochy (závitové otvory, vedení, plochy pro manipulaci) musejí být do rámu z polymerbetonu vhodně s požadovanou pevností spojení;
- velkou výhodou ve srovnání s ocelí nebo litinou je tekutá konzistence. Při pokojové teplotě se dají vyrábět libovolné tvary.



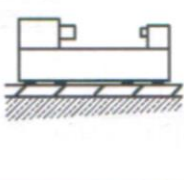
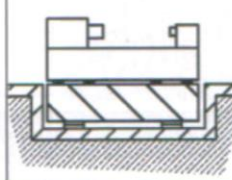
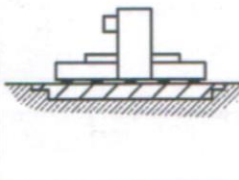
*Obr. 23 Základní rám stroje z polymerbetonu [29]*

Při výrobě jednotlivé, nebo malé série nosné soustavy se používá technologie svařování jednotlivých částí. Počet svarů, jejich směr a velikost musí být voleny tak, aby nedocházelo k vzájemnému pnutí, které zborťí profil svaru. Proto jsou voleny průběžné svary malých velikostí. Spoje v místech svarů působí tlumivě, neboť se v malé vzdálenosti stýkají části, které se při kmitání vzájemně pohybují. Neopatrné pohyby, které vznikají s třením které při nich vzniká, přispívá k tlumení chvění. [12]

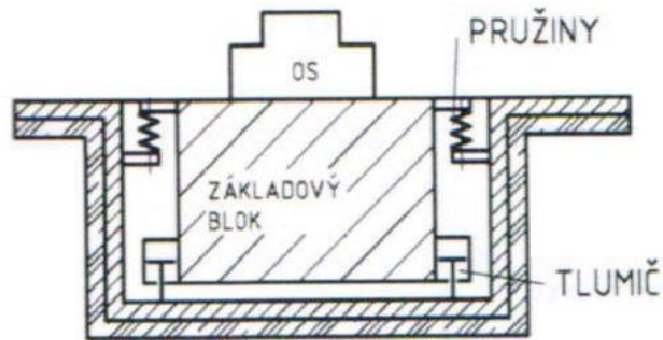
Důležitou problematikou u nosných soustav je teplotní stabilita. Na CNC obráběcí stroje v provozu působí řada zdrojů tepla, které v závislosti na zatížení jednotlivých pohybových částí a čase ovlivňují změny teploty v nosné soustavě. Změny teplot jsou příčinou nežádoucích deformací, které mají za důsledek nepříznivý vliv na přesnost a výrobnost strojů. [12]

Ke zvýšení tuhosti stroje může přispět správně dimenzované uložení nosné soustavy k základně. Upevnění obráběcího stroje se provádí různými konstrukčními principy a musí zejména umožňovat ustavení a zajištění stroje v potřebné poloze, zvýšení celkové tuhosti volbou vhodného základu a aktivní a pasivní izolace proti dynamickým vlivům. Při uložení

stroje přímo na podlahu se používají pružné nebo pevné nastavitelné podložky. Pružná podložka má za úkol zajistit potřebnou přesnost uložení, ale i vnitřní tlumení soustavy (stroj – podlaha). Pružné uložení se nejčastěji používá z pryže, která musí být odolná vůči olejům a chladicím kapalinám. Pro stroje s dostatečně tuhým rámem se používá uložení přímo na podlahu, pomocí tří bodového ustavení. Při použití základového bloku (samostatný betonový podklad), na který je ustaven nosný rám obráběcího stroje, který je tlumen pomocí pružných prvků, jako jsou pryžové koberce a pružiny, které je nutné zajistit, aby se základna rámu stýkala jen s těmito tlumícími prvky. Proto je celý základový blok uložen do vany (schránky). [1]

Druh uložení stroje na základ			
Použití – vlastnosti	volné ustavení na základové desce – podlaze	uložení na samostatném izolovaném základě	uložení na samostatném základě
oblast využití	malé (lehké) stroje	přesné obráběcí stroje	střední a velké obráběcí stroje
tuhost obráběcího stroje	vlastní tuhost dobrá (samonosný rám)	celková tuhost rámu nízká (nesamonosný rám)	celková tuhost rámu nízká (nesamonosný rám)
účel ukládacích prvků	tlumení + ustavení stroje	tlumení – ustavení stroje – tuhé spojení se základem	ustavení stroje + tuhé spojení se základem

Obr. 24 Členění uložení obráběcích strojů na základ [12]



Obr. 25 Pružné uložení soustavy [12]

## 2.4.2 Pohybová soustava

Pohybové soustava se skládá ze tří základních soustav, do které patří posuvové soustavy lineární, náhonové soustavy a vřetenno stroje.

### 2.4.2.1 Posuvová soustava

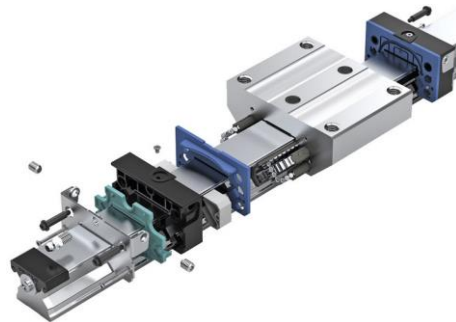
Skladba posuvové soustavy se skládá z lineárního vedení, které může být valivé či kluzné a dále se skládá z rotačních prvků jako je kuličkový (viz obr. 26) a trapézový šroub, které převádí rotační pohyb na přímočarý. Přímočarý pohyb u obráběcích strojů je hlavní posuvový řezný pohyb nástroje nebo obrobku. Transformace rotačního pohybu na přímočarý je docíleno pomocí kuličkového šroubu a matice. Rotační pohyb šroubu udává servopohon, který je připojen k šroubu pomocí spojky (nejčastěji pružné spojky), nebo napřímo přes vložený převod (řemen, ozubené kolo).



Obr. 26 Řez kuličkovým šroubem [30]

Nejvíce používané lineární vedení u CNC obráběcích strojů, jsou profilové valivé vedení. Princip valivého vedení je založeno na principu obíhání valivých elementů (válečků nebo kuliček) po profilu kolejniče. Vedení se skládá z kolejniče a vozíku, ve kterém obíhají dané elementy a z dalších prvků jako mazničky, stírací lišty a ochranné prvky proti vniknutí

nečistot. Válečkové (valivé elementy) vedení se používá pro větší silové zatížení. Pro rychloběžné aplikace jsou vhodnější kuličkové vedení. [14]



Obr. 27 Princip valivého profilového vedení [31]

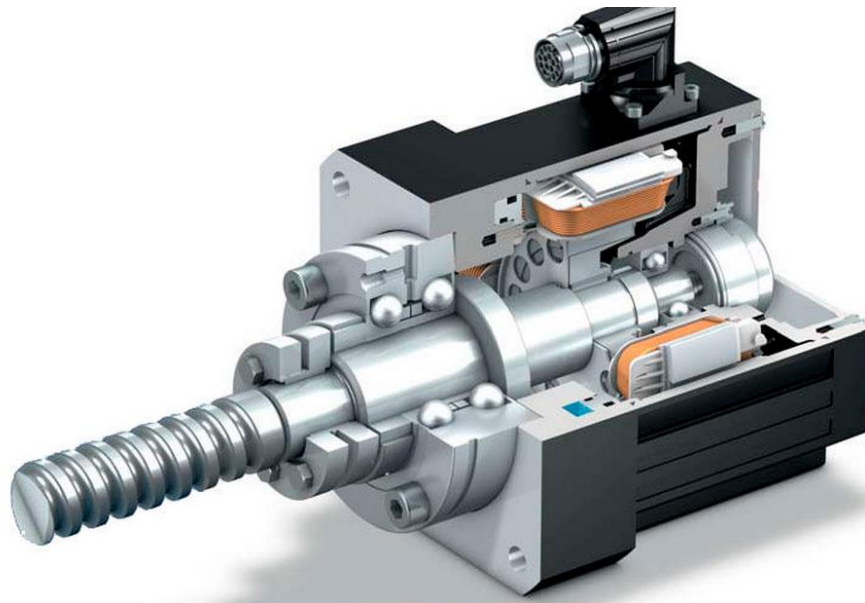
#### 2.4.2.2 Náhonové soustavy

V konstrukci CNC obráběcích strojů existují dva hlavní typy rotačních náhonových soustav. Hlavní soustava je nástroj, kde se pohání vřeteno, naklápěcí hlavy a pohon posuvu vřetena. Do druhé soustavy patří obrobek (náhon rotačního a naklápěcího stolu). Nejčastěji se používají servomotory, které jsou řízeny pomocí driveru. Jednotlivé drivery napájejí motory a posílají základní informace o poloze, výkonu, teplotě a otáčkách řídicí jednotce. Nákladově nižší variantou jsou krokové motory, které jsou však oproti servomotorům méně spolehlivé, hlučnější a slouží pro menší výkony. Konstruktivní řešení ustálení rotačních soustav vůči lineárnímu vedení:

- převod pomocí ozubených řemenů nebo přes ozubené kola;
- přímé propojení, kdy je servomotor napojen přes spojku;
- přes vloženou mechanicky říditelnou převodovku.

K jednotlivým motorům se přidává odměřovací zařízení, které slouží ke zpětné vazbě pro řídicí jednotku. Nejčastěji se používají fotoelektrické snímače, pracující na otickém principu (takzvané enkodery). Odměřovací zařízení se vyznačuje malou zástavbovou výškou. Tento princip se nazývá přímé odměřování. Pro docílení přesnějšího polohování jednotlivých pohybů lineárních vedení se používá takzvané nepřímé odměřování. Jako nepřímé odměřování lze použít magnetické nebo optické lišty. [13]

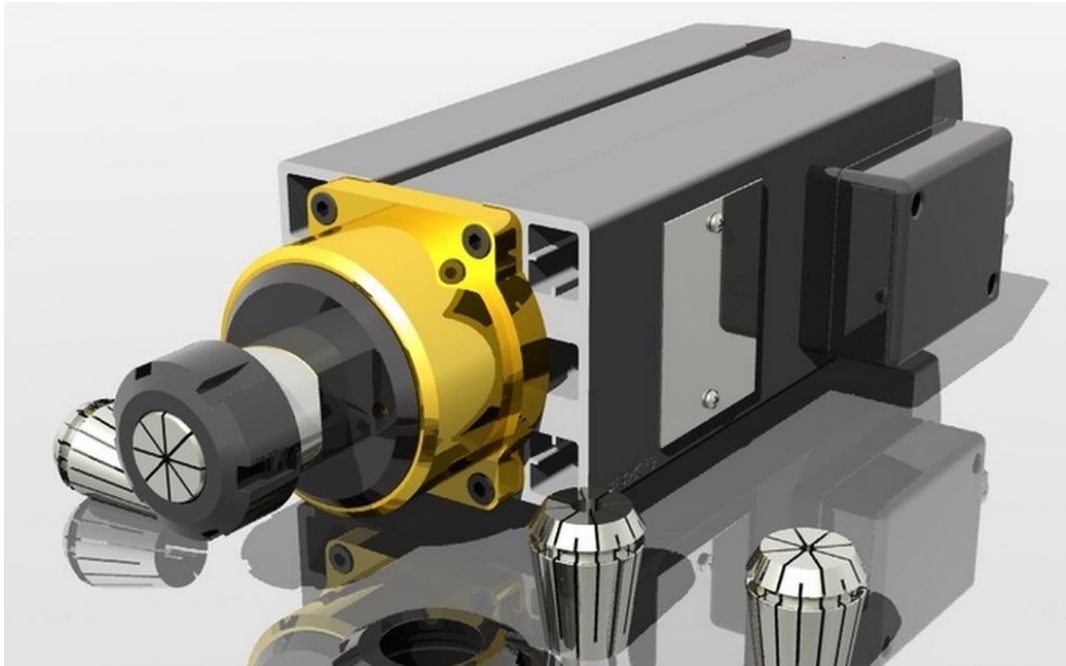




*Obr. 28 Servomotor s poháněným kuličkovým šroubem [32]*

### **2.4.2.3 Vřeteno stroje**

Výběr vhodného vřetena je jedním z hlavních kritérií kvality kladené na obráběcí stroj. Kvalita výroby je limitovaná dynamickou tuhostí a tlumení systému uložení vřetene. Proto je důležitá dynamická charakteristika vřetena obráběcího stroje. Mezi základní části vřetena patří systém uložení, náhon vřetena a systém uchycení nástroje (nebo obrobku při obrábění rotačních součástí). Mezi periferní zařízení můžeme zařadit integrované nebo exteriérové systémy pohonu vřetene, mazání ložisek, chlazení, monitorování. Požadavky na vřeteno se koncentrují na geometrickou přesnost vřetene, výběr vhodného materiálu, tvarovou stálost při teplotním zatížení. Relativní mírou kvality vřetene bývá tuhost předního konce v porovnání s hmotností vřetena. Přední konec je část vřetena, který vyčnívá ze skříně vřetenové soustavy. Na vhodnou úpravu tohoto konce vřetena musí být kladená velká pozornost, tak aby zabezpečoval optimální uchycení nástroje nebo obrobku. Toto uchycení nástroje musí být rychlé, přesné, tuhé a spolehlivé. Důležité je správné uložení vřetenové hřídele. V závislosti na konkrétních podmínkách práce vřetene se používají kluzné, elektromagnetické anebo valivé systémy uložení. Kluzné a elektromagnetické uložení se používají ve speciálních případech, kde jsou kladeny extrémně vysoké nároky na tuhost nebo maximální frekvence otáčení. U CNC obráběcích strojů se nejčastěji používá systém valivého uložení. V porovnání s kluzným uložením je valivé uložení vysoce efektivní a při dodržení základních podmínek je dostatečně spolehlivé. [1]



Obr. 29 CNC vřeteno s kleštinovým upínačem nástroje [33]

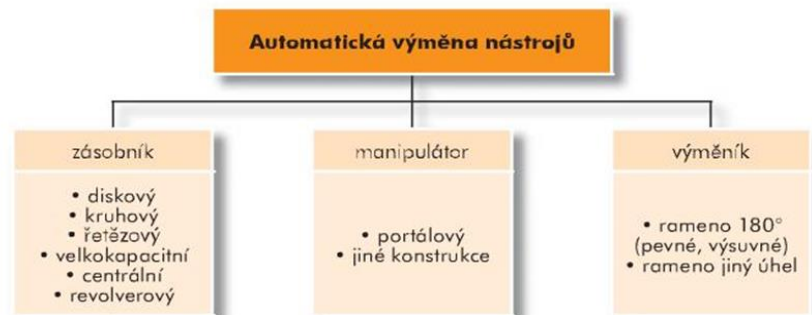
### 2.4.3 Automatická výměna nástroje a obrobku

Automatická výměna nástroje je součástí základního technologického principu obrábění. Výměna se realizuje ve dvou případech, buď se vyměňuje opotřebovaný nástroj za nový, nebo si jiný nástroj žádá posloupnost technologických operací. Na konstrukci automatické výměny jsou kladeny požadavky na spolehlivost, minimální čas výměny nástroje, optimální kapacita nástrojů a prostorové uspořádání. [12]



Obr. 30 Elektronický zásobník nástrojů [34]

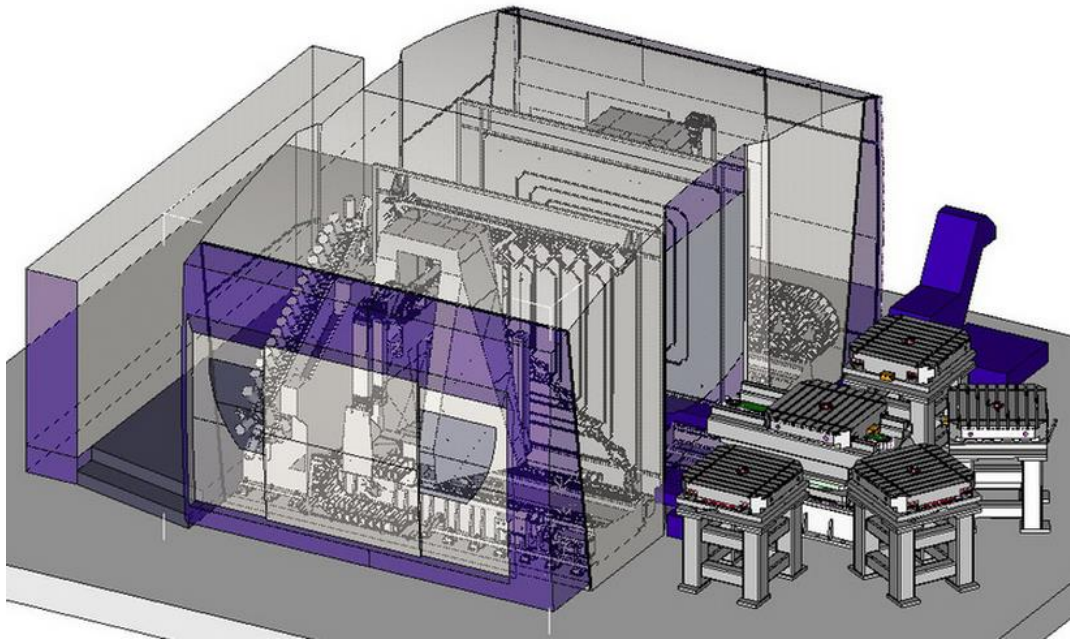
Konstrukční řešení zásobníku je zejména ovlivněno typem stroje, pro který je určen, typem nástroje (rotační nástroje, nástroje pro soustružení), způsobem upnutí a počtem nástrojů. Nelze opomenout konstrukční řešení bezpečnosti obsluhy, to se týká zejména zamezení vstupu obsluhy do prostoru zásobníku a provozního stavu CNC obráběcího stroje při výměně nástroje obsluhou nebo pomocí automatiky výměnného zařízení. [14]



Obr. 31 Morfologie automatické výměny nástrojů [7]

Zkrácení nevýrobních časů, tím pádem zmírnění ekonomických ztrát vlivem ustavování obrobku lze učinit systémem automatické výměny. U obrobků o velkých rozměrech a váze jsou vedle sebe dva nebo více pracovních prostorů. Pracovní prostor je tvořen upínací deskou, která je tvořena T-drážkami. Tento způsob upnutí se používá u stojů, kde upínací stůl je nepohyblivý, všechny pohyby koná rám stroje. Princip je založen na dvou prostorech, kde na jednom místě se upíná a seřizuje obrobek, na vedlejším pracovním prostoru se obrábí. Aby nedošlo ke zranění obsluhy, je prostor, kde se upevňuje obrobek a obrábí, oddělen mobilní zábranou.

Druhá technologie automatické výměny je založena na pohybu obrobku do pracovního prostoru stroje. Obrobek při automatické výměně se může pohybovat volně, na strojní paletě, nosné desce a na speciálních přípravcích. Ať už se obrobek pohybuje volně, nebo na nosné desce, vždy je nutné dosáhnout co nejkratšího času automatické výměny již obrobené součásti za neobrobený obrobek. Univerzální způsob výměny je pomocí palet, horní plocha (upínací) je většinou opatřena T-drážkami, pro snadné upnutí. Palety musí zajišťovat tuhé upnutí obráběné součásti, opakovaně přesné polohování přímo v pracovním prostoru obráběcího stroje. Obvykle se obrobky upínají na palety pomocí mechanických upínek, šroubů a pomocných přípravků. V některých případech u sofistikovaných palet jsou obrobky upínány hydraulicky. Přesouvání palety z manipulátoru do obráběcího prostoru se děje například pomocí řetězů a čepu, šroubu, hydraulického válce anebo šnekového hřebenu. [1,14]



Obr. 32 Automatická výměna palet TOS [35]

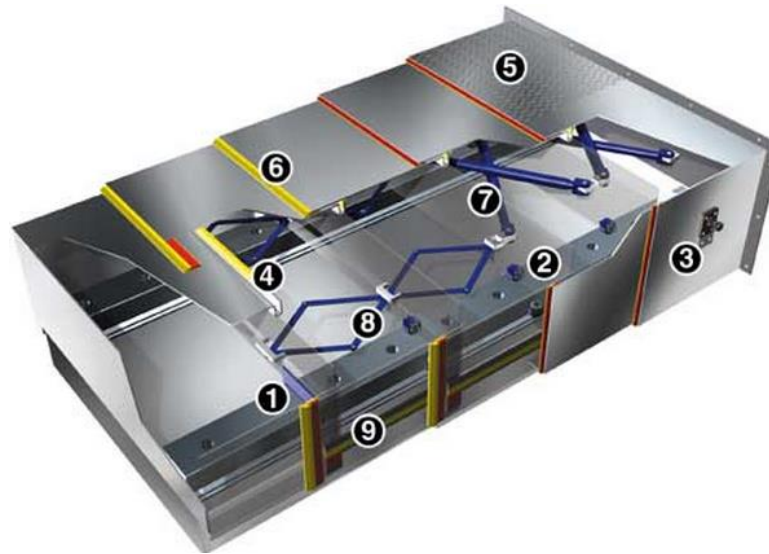
#### 2.4.4 Ochranné kryty obráběcího stroje

Každá technologie obrábění má svá specifika, přičemž vedle přínosů, které nám výrobní technologie přináší je každý výrobní proces doprovázen účinky působícími na okolí. Doprovázející účinky při třískovém obrábění, zejména odebíraný materiál ve formě třísek, dále řezná kapalina, která standardně slouží k chlazení nástroje a hluk, který vzniká při provozu stroje. Třísky z odebíraného materiálu lze považovat za hlavní zdroj poškozování obráběcího stroje. Pokud by nebyla zajištěna dostatečná ochrana proti nepříznivým účinkům obrábění, docházelo by k destrukci funkčních částí stroje (lineární vedení a kuličkové šrouby). Ochranné kryty neslouží jen k chránění funkčních částí, ale také k ochraně obsluhy stroje, které chrání před hlukem a úrazem rovněž z důvodu, že třísky mají vysokou kinetickou energii a teplotu.

Ochranné kryty obráběcího stroje se skládají z krytů pracovního prostoru, který dělíme na vnitřní (oddělení pohyblivých mechanismů od obráběcího prostoru) a vnější (od okolí, chrání obsluhu a životní prostředí). Konstrukce vnitřního krytování, které chrání samotný stroj, nejčastěji nejvíce omezuje a zároveň komplikuje konstrukční řešení těch částí stroje, které mají chránit. Ochranné kryty hlavních pohyblivých částí způsobují zvětšení pracovní části stroje a tím i celý půdorys obráběcího stroje. Nejvíce používané vnitřní krytování je pomocí teleskopických krytů (viz obr. 33), které se skládají plechových dílců zohýbaných do požadovaného tvaru a rozměrů. Aby nevznikalo usazování nečistot mezi jednotlivými



plechovými díly teleskopického krytu, jsou spáry vyplněny těsněním a také jsou součástí krytu stírací lišty. [1,13]



Obr. 33 Teleskopický kryt [36]

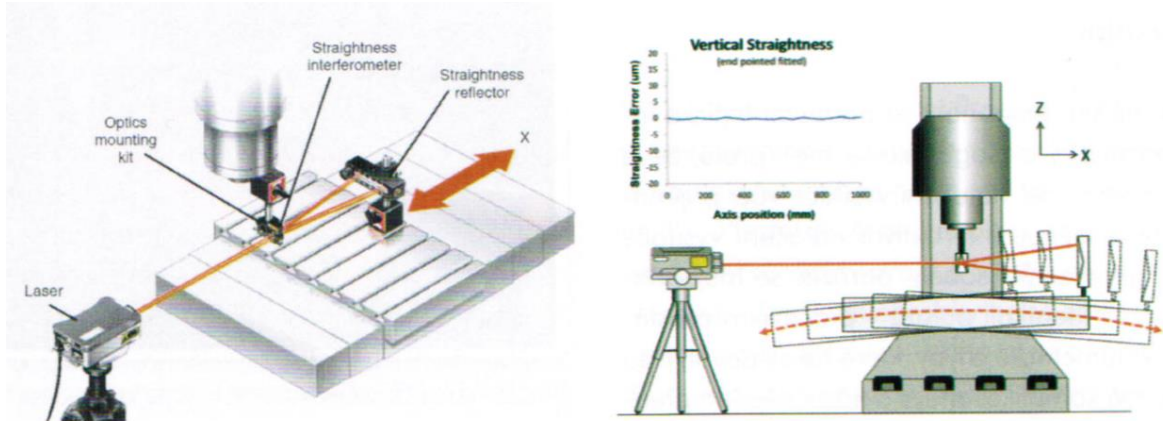
## 2.5 Zkoušení obráběcích strojů

Zkoušení CNC obráběcích strojů je důležitou součástí životního cyklu stroje. Lze je rozdělit do tří skupin. První skupina zkoušek je spojena se smluvním závazkem mezi prodejcem a kupujícím stroje, je nazývána přejímací zkouška. Obvykle se koná ve dvou krocích, nejprve přímo u producenta stroje a následně po sestavení stroje u zákazníka. Dané přejímací zkoušky mají za cíl prověřit výrobcem deklarované vlastnosti stroje, jako jsou základní stavební rozměry stroje a zdvihy v jednotlivých osách, velikost posuvů, otáček a výkonů motorů. Druhá skupina zkoušek zahrnuje prototypové zkoušky, slouží k ověření vlastností nově navržených a vyrobených strojů. Prototypové zkoušky rozšiřují řadu měření, které poskytují důležité informace především tvůrci stroje, jako je měření deformací statických, dynamických, tepelných a měření hlučnosti. Třetí skupinou jsou provozní zkoušky a kontrola, kde se měří vůle v pohonech a vedení, házení, oteplení a také se měří nečistoty v mazání. Pro měření geometrické přesnosti strojů se používají dané technické prostředky[1]:

- mechanické (úchylkoměry, vodováhy, pravítka, úhelníky, pomůcky a přípravky);
- optické (laserové interferometry a laserové tomografy);
- elektronické (elektronické vodováhy),

V poslední době je nejvíce používané měření geometrické přesnosti pomocí laserového interferometru. Princip je založen na tom, že zdroj (vysílač) je umístěn mimo stroj a odrazeč

je umístěn na pohybovou plochu. Laserový interferometr měří rozdíl délek ve směru paprsku na základě změny počtu interferenčních proužků a známé vlnové délky laserového světla. [1]



Obr. 34 Ukázka laserové realizace měření [1]

## 2.6 Provozní schopnost CNC strojů

Snahou každého majitele po pořízení investice do obráběcího stroje, je aby pracovní stroj účinně využíval a svou činností produkoval firmě přiměřený zisk. Důležitým faktorem je rentabilita provozu stroje, při které je velmi problematické spoléhat se na to, že bude trvalý přísun zakázek pro daný stroj. Při nevhodně stanoveném podnikatelském záměru se může stát, že daný stroj bude morálně zastarávat, protože nebude produkovat zisk.

Základní výpočty rentability provozu[1]:

- Výpočet potřebných strojů pro přijetí zakázky:

$$P_s = \frac{T_k \cdot Q}{60 \cdot T_s \cdot S_s} \quad (1)$$

$P_s$  – počet nutných strojů [ks];

$T_k$  – doba obrábění součásti [min];

$Q$  – požadovaná produkce [ks];

$T_s$  – efektivní časový fond stroje za rok [h];

$S_s$  – směnnost na stroji 1, 2, 3 směny [-].

- Dostupnost stroje (čistý provozní čas obráběcího stroje):

$$DS = \frac{T_P \cdot P}{T_P} \quad (2)$$

DS – dostupnost stroje [-];

$T_P$  – plánovaný čas provozu stroje [min];

P – čas přerušení provozu [min].

- Výkonost obráběcího stroje (hodnota využitelnosti provozního času):

$$VS = \frac{T_{KS} \cdot Q_S}{T_O} \quad (3)$$

VS – výkonnost obráběcího stroje [-];

$T_{KS}$  – doba obrábění součástí [min/ks];

$Q_S$  – skutečný výrobní výkon [ks];

$T_O$  – teoretický časový fond na obrobení [min].

- Úroveň kvality (podává informaci o ztrátách vlivem výroby neshodných dílů):

$$UK = \frac{Q_S \cdot Z}{Q_S} \quad (4)$$

UK – úroveň kvality obráběcího stroje [-];

$Q_S$  – skutečný výrobní výkon [ks];

Z – počet neshodných dílů [ks].

- Stupeň využití:

$$SV = \frac{T_{TP}}{T_T} \quad (5)$$

SV – stupeň využití stroje [-];

$T_{TP}$  – teoretický časový fond plánovaného prostroje [min];

$T_T$  – teoretický časový fond [min].

- Celková efektivnost obráběcího stroje:

$$CES = DS \cdot VS \cdot UK \cdot 100 [\%] \quad (6)$$

Hodnota CES se u nejlepších pracovišť pohybuje kolem 85%. V České republice se průměr pohybuje mezi 40 a 60%.



- Totální efektivnost stroje TEEP (považujeme za ztrátu na stroji také čas plánovaných prostojů:

$$TEEP = DS \cdot VS \cdot UK \cdot SV \cdot 100 [\%] \quad (7)$$

Uvedené koeficienty nevypovídají pouze o rentabilitě provozu CNC obráběcího stroje, ale také o provozuschopnosti daného stroje.

Provozeroschopnost stroje je schopnost plnit požadované funkce a dodržet rozměrové hodnoty obrobku předepsané na výkresové dokumentaci. Ke zvýšení provozuschopnosti přispívá vhodná systematická údržba. [1]

### 3 SHRNU TÍ 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 typech obráběcích center, jednoúčelových strojích a strojích pro speciální aplikace. Byla popsána základní problematika konstrukce obráběcích strojů, konkrétně se zaměřením na konstrukční proces, návrh designu, zkoušení strojů a základní konstrukční části. Výše popsané poznatky mi pomohly pro inspiraci ve své praktické části.

V praktické části práce se budu věnovat vlastní konstrukci a stavbě CNC frézovacího stroje, které obsahuje návrh vhodné konstrukce až po samotný nákup, výrobu jednotlivých prvků a závěrečnou montáž obráběcího stroje. Nejvíce se budu věnovat popisování postupu skládání jednotlivých konstrukčních částí stroje. Návrh, výroba a montáž neobsahuje žádné výpočty, jelikož zvolené téma je velice obsáhlé. Z toho důvodu bylo vycházeno z poznatků a konzultací se zkušenými konstruktéry a z vlastní intuice.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

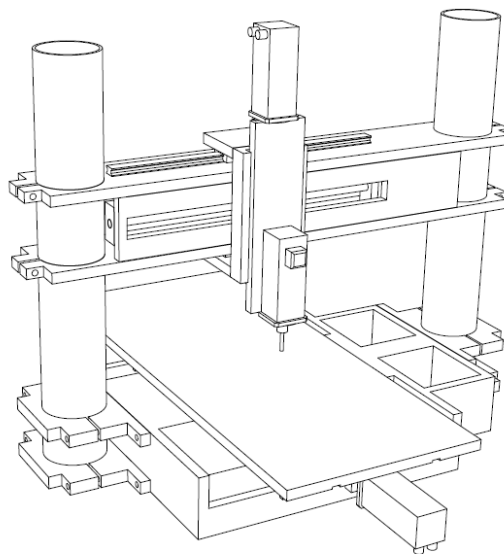
## 4 ROZBOR KONSTRUKCE

Vybraná koncepce vyrobeného a sestaveného obráběcího stroje je 3osý CNC frézovací stroj. Před samotnou realizací projektu bylo nezbytné promyslet čtyři základní části konstrukce: výběr vhodné konstrukce, design, požadavky a náklady na stavbu stroje. 3D návrh konstrukce a výběr vhodných dílů k sestavení stroje byl rozpracován v rámci bakalářské práce Martina Minaříka (Návrh CNC obráběcího stroje, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2013).

### 4.1 Výběr konstrukčního řešení obráběcího stroje

Existují tři základní skupiny konstrukčního uzpůsobení frézovacího stroje. První dvě skupiny, které jsou nejvíce rozšířené, jsou pojmenované po orientaci vřetene, horizontální a vertikální frézky. Třetí skupinou jsou portálové frézovací stroje, které se zejména používají pro obrábění obrobků větších rozměrů a hmotnosti. Dále podle pohybu jednotlivých os: dvouosé, tříosé, pětiosé a více osé.

Po prostudování výhod jednotlivých typů konstrukcí, byla zvolena vertikální konstrukce stroje. Dominantou stroje jsou dva nosné sloupy, na kterých je ustálen portál, v kterém je uložena pohybová část osy Y. Portálem se dá pohybovat po sloupech a nastavovat dle výšky použití. Nosné sloupy jsou vyrobeny z nerezové trubky o průměru 167mm a tloušťce stěny 6mm, bezešvé, které budou dále vysypány křemičitým pískem, nebo vylité polymerbetonem pro zvýšení tuhosti.



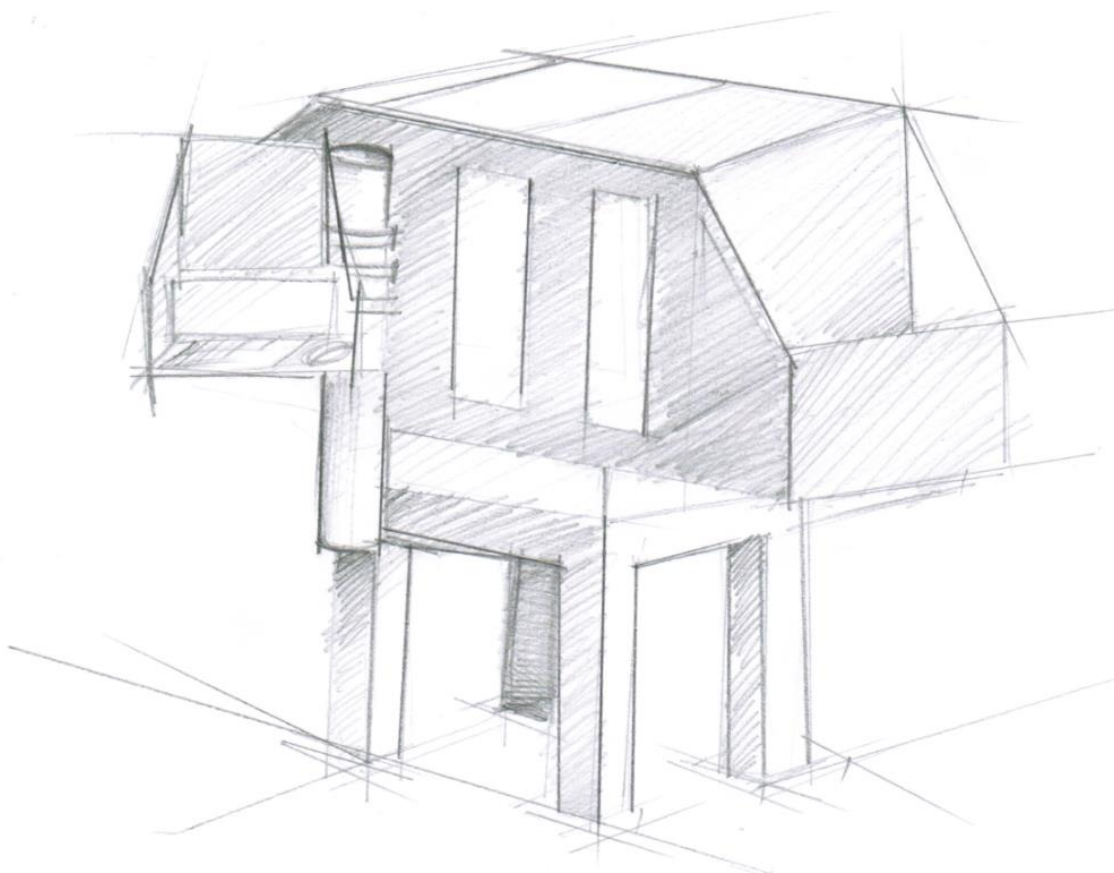
Obr. 35 Návrh obráběcího stroje s dvěma nosnými sloupy

Výhodou tohoto provedení je, že osa Z, která slouží k pohybování vřetene směrem k a z obrobku, nemusí mít dlouhou funkční pohybovou délku posuvu, tím je docíleno zvýšení tuhosti stroje. Výška nastavení portálu se odvíjí od velikosti obráběné součásti a hloubky obráběné plochy. Portál také slouží k uložení pohybových částí a pohonu pro osu Y, také chrání před vniknutí nečistot a třísek na šroub.

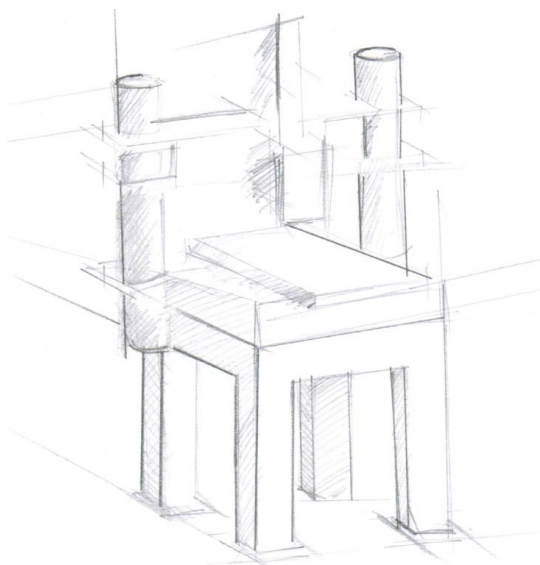
Obrobek se bude pohybovat jen v jedné ose (ose X) a bude se upínat na T-drážkovém stole.

## 4.2 Design stroje

Při návrhu designu stroje se vycházelo z ergonomie pohybu obsluhy stroje a rozměrů pracovního prostoru vhodného pro člověka (viz kapitola 2.3.1). Cílem při návrhu designu bylo navrhnout pro obsluhu takové pracovní prostředí, které umožní obsluze snadnou manipulaci v prostoru obráběcího stroje, co nejsnadnější výměnu a upnutí obrobků, nástrojů a čištění vnitřního prostoru. Také bylo prioritou snadná dostupnost k vycentrování jednotlivých os do nulové pozice, která je definována pro řídicí program.

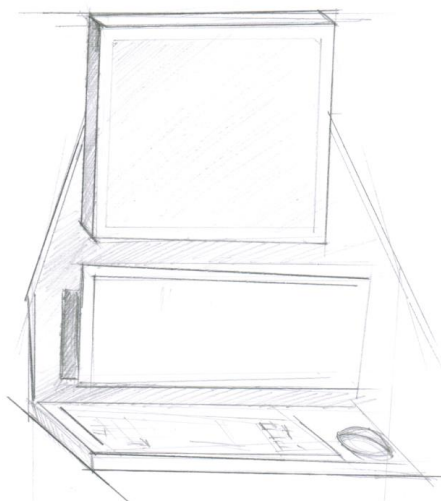


Obr. 36 Navržený design stroje s ochrannými kryty



*Obr. 37 Návrh rámu stroje*

Na hlavní ovládací panel CNC řídicího systému jsou soustředěny téměř všechny ovládací prvky stroje, které musí splňovat funkci řídicí, kontrolní a indikační. Proto bylo důležité optimálně umístit kontrolního panelu, umožňující jednoduché a pohodlné ovládání a zároveň přehlednou čitelnost informačního displeje.



*Obr. 38 Návrh ovládacího panelu*

### **4.3 Požadavky kladné na stroj**

Před samotným návrhem konstrukce CNC frézky bylo nezbytné stanovit hlavní požadavky na stroj z hlediska jeho použití a časového využití (zatížení). Proto byly stanoveny základní požadavky z hlediska:

- Obráběného rozsahu: přibližně 600 x 500 x 200 mm;



- Počtu os, ve kterých se bude obrábět: 3 osé CNC, X, Y, Z;
- Obráběného materiálu: Převážné slitiny hliníku, polymerů a slitin kovů čemuž musí odpovídat výkon vřetene a jednotlivých motorů, které pohání jednotlivé pohybové soustavy (X, Y, Z);
- Velikosti nástrojů a jejich upnutí do vřetene;
- Výběru vhodného lineárního vedení a druhu šroubů;
- Výběru co nejvhodnějších pohonů;
- Možnosti upínání obrobků (pomocí T-drážkového stolu, svěráků a přípravků);
- Nutnosti využívání chladicí emulze na chlazení nástroje.



Obr. 39 Frézovací hlava [37]

Výše uvedené požadavky jsou pouze prvotním návrhem, vzhledem k tomu, že celý CNC frézovací stroj bude nezbytné přizpůsobit dle dostupných dílů, které byly postupně nakupovány, tak aby celé zařízení bylo co nejlevnější při zachování všech stěžejních požadavků kladených na obráběcí stroj.

#### 4.4 Rozpočet na realizaci výroby a montáže stroje

Základní rozpočet byl sestaven po analýze trhu a poptávce jednotlivých dílů u renomovaných výrobců. Především bylo zjištěno, že základní funkční částí u spolehlivých výrobců jsou pro danou realizaci stavby stroje příliš finančně nákladné. Je možné zakoupit i levnější díly od neznámých výrobců z Asie, musíme však počítat s tím, že cena bude odpovídat kvalitě. Tyto levnější díly se dají použít pro stroje na obrábění méně velkých a lehčích obrobků, kde není zapotřebí docílení vysoké přesnosti obrábění, například u popisovacích strojů).

Třetí variantou je zakoupení potřebných dílu na stavbu obráběcího stroje pomocí internetových aukčních portálů v zahraničí, kde cena jednotlivých součástí může být i 10x nižší než přímo od výrobce. Díly jsou většinou použité, ale jsou zde k dostání i díly nové a to v nejvyšší kvalitě a jakosti. Nákup je obvykle riskantní, jelikož prodejci nezaručují stav daných součástí, ale i přesto je tato cesta nakupování velmi výhodná při stavbě originálního CNC svépomocí. Z důvodu nízké ceny byla nakupována větší část všech součástí přes mezinárodní aukční internetový portál [www.ebay.com](http://www.ebay.com). Díly byly zakoupeny z Německa, Velké Británie, Francie, USA, Japonska, Jižní Koreje a dalších zemí. V níže uvedené tabulce (tab. 1) byl stanoven základní rozpočet jednotlivých částí stroje. Uvedené ceny byly zjištěny v letech 2012-2014 po analýze trhu. V závěru této práce je rozepsaná finální nákladová kalkulace stavby CNC frézovacího stroje.

Tab. 1 Prvotní rozpočet na realizaci stavby CNC frézky

Části stroje		Cena [Kč]		
		od	do	
PLC řídicí jednotka		20 000	35 000	
Vřeteno stroje		10 000	15 000	
Elektronika (rozvodná skříň, spínací a bezpečnostní prvky)		35 000	48 000	
Osa	x	pohybová soustava (kul. šroub a převod)	4 000	8 000
		lineární vedení (profilové vedení)	4 200	7 500
		pohonná soustava (servomotor a řízení)	2 500	5 500
		koncové a nulovací snímače	800	1 500
		ostatní konstrukční částí (vyráběné nosné prvky)	7 400	12 000
	y	pohybová soustava (kul. šroub a převod)	3 800	6 700
		lineární vedení (profilové vedení)	3 900	5 800
		pohonná soustava (servomotor a řízení)	2 500	5 500
		koncové a nulovací snímače	800	1 500
		ostatní konstrukční částí (vyráběné nosné prvky)	6 500	9 500
	z	pohybová soustava (kul. šroub a převod)	3 000	5 100
		lineární vedení (profilové vedení)	3 500	5 800
		pohonná soustava (servomotor a řízení)	2 200	5 200
		koncové a nulovací snímače	800	1 500
		ostatní konstrukční částí (vyráběné nosné prvky)	5 400	7 800
Rám stroje (lože)		10 000	15 000	
Na upínací stůl, T-drážkový stůl		4 500	8 000	
Zakrytování stroje		9 000	14 000	
Chladicí systém nástroje		4 800	6 900	
Režie		7 500	8 100	
Celkový rozpočet		152 100	238 900	

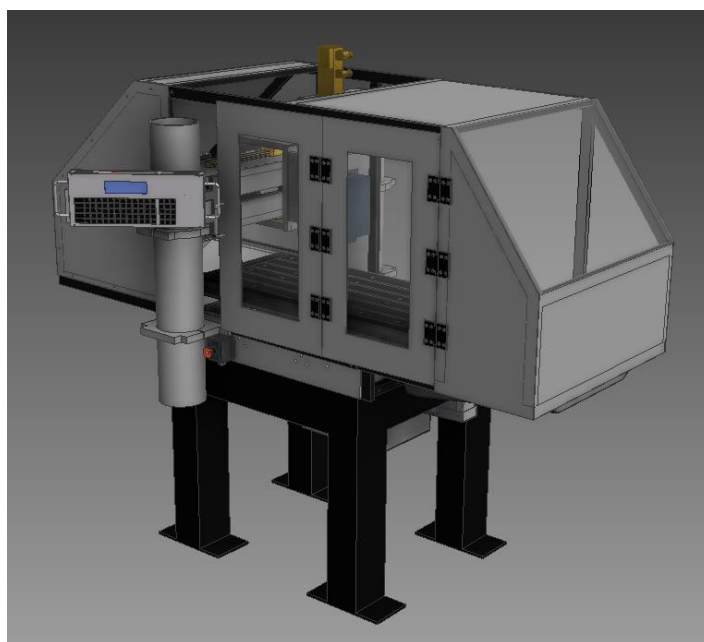
## 5 VÝROBA A MONTÁŽ STROJE

Tato část práce se věnuje samotné realizaci výroby jednotlivých nosných prvků a montáži stroje. Stavba stroje je rozdělena do základních skupin, jako jsou: nosné lože, podle osy stroje (X, Y a Z) a okrytování. V jednotlivých skupinách je popsán postup výroby a vhodný výběr pohybových součástí a jejich uložení. Při konstruování se vycházelo z prostudované literatury a z poznatků zkušených konstruktérů (daná problematika byla konzultována s konstruktéry z firmy Tajmac-ZPS s.r.o., která se zabývá CNC obráběcími centry).

Po zakoupení hlavních dílů byl vymodelován 3D model CNC frézovacího stroje pomocí školní licence softwaru Autodesk Inventor, do níže uvedené podoby. Pomocí modelování se optimalizovalo umístění jednotlivých částí stroje, což pomáhalo při výrobě nosných prvků. Některé prvky v modelu byly nakresleny zjednodušeně, ale důležité prvky součástí byly zachovány, především ustalovací plochy a rozteče děr.

Díly, které nebylo možné zakoupit (nosné prvky), byly vyrobeny ve vlastní dílně na zařízeních, jako například:

- Frézka Bohr-Frasmaschine F20-V
- Sloupová vrtačka Heltos VS20 B-CE1
- Soustruh Tos Galanta SM 16B
- Pásová pila Proma PPS-170TH
- Digitální svařovací stroj Migatronic Automatic 273i



Obr. 40 3D model CNC frézovacího stroje [15]

Některé rozměrově větší součásti byly vyrobeny pomocí vodního paprsku ve firmě MRB Sazovice. Dohotovění součástí bylo provedeno v kooperaci s firmami v okolí Zlína.

Většina vyráběných dílů byla ze slitiny hliníku EN AW-7075. Slitina se vyznačuje nejvyššími pevnostními vlastnostmi u komerčně dostupných slitin, také je dobře obrobitelná a má vysokou odolnost proti korozi. Mechanické vlastnosti: mez pevnosti 530 MPa, mez kluzu 470 MPa, tažnost 8 % a tvrdost dle Brinella 145.

## 5.1 Výběr vhodných součástí

V této kapitole je co nejjednodušším způsobem popsán výběr vhodných součástí. Výběr byl velmi zdoluhavý, vzhledem k minimálním zkušenostem s rozdílnými výrobci a dodavateli. Většinu součástí bylo nezbytné prověřit přes internetové diskuze, informační portály pro stavbu CNC strojů a diskuzní fóra určena pro konstruktéry strojů. Konkrétní součásti, které byly vybrány pro stavbu stroje, jsou popsány v dalších kapitolách. V této podkapitole jsou především uvedeny základní poznatky dosažené při výběru nejdůležitějších součástí, mezi které patří lineární vedení, kuličkové šrouby a pohony jednotlivých os.

Lineární vedení zajišťuje spolehlivý a přesný chod jednotlivých os CNC stroje. Nejčastěji se používají tři druhy vedení. Nepodepřené nebo podepřené tyče s kuličkovými ložisky a třetím typem vedení jsou profilové tyče s kuličkovými vozíky. Nejlevnější vedení jsou nepodepřené tyče s kuličkovými ložisky, používají se v nejméně náročných podmínkách, jako jsou stroje pro popisování (gravírovací frézky). Využití tohoto typu vedení je omezeno kvůli nízké tuhosti. Lepší alternativou tohoto provedení jsou podepřené tyče s kuličkovými ložisky. Z důvodu podepření tyče musí být ložisko otevřené. To způsobuje, že ložisko má menší radiální pevnost. V průmyslu jsou nejvíce používány profilové tyče s kuličkovými vozíky, které se skládají z vozíku a kolejnice (viz kapitola 2.4.2). Vyznačují se vysokou tuhostí a přesností, jejich hlavní nevýhodou je relativně vysoká cena.



Obr. 41 Příklad různých typů vedení - nepodepřené a podepřené tyče [38]

Pro přeměnu rotačního pohybu, který vykonává motor na přímočarý posuv, slouží šrouby. Propojení motoru se šrouby může být realizováno pomocí spojky, řemenového převodu a ozubených kol. U konvenčních obráběcích strojů se používají buď trapézové, nebo kuličkové. První jmenované jsou méně používané, kvůli malé přesnosti, nicméně jejich cena je nízká, což může být i významnou výhodou. Druhou variantou jsou kuličkové šrouby, které mohou být válcované anebo broušené, záleží na vyžadované přesnosti. Také mohou být předepnuté, jednochodé a vícechodé. U CNC strojů se nejvíce používají kuličkové šrouby pro jejich přesný a spolehlivý chod.



*Obr. 42 Kuličkový šroub [39]*

Jednotlivé pohybové soustavy pohánějí motory. Existují dva nejčastěji používané druhy motorů při stavbách CNC strojů: krokové a servomotory. První jmenované krokové motory se nejčastěji používají v amatérských stavbách, díky jejich nízké pořizovací ceně oproti servomotorům. Nevýhodou těchto motorů oproti servomotorům může být: nižší spolehlivost, nižší výkon a jejich hlučnost (otáčení rotoru po definovaných krocích). Proto v konvenčních strojích se převážně používají AC servomotory. Velkou výhodou servomotoru je, že jsou opatřeny rotačními enkodéry, které snímají pootočení rotoru, tím je docíleno přesnější polohování se zpětnou vazbou z řídicí jednotky. Každý motor musí být řízen takzvaným driverem, který posílá dané příkazy motoru a sbírá informace o jeho aktuálních parametrech (poloze pootočení rotoru, otáčkách, teplotě atd.).

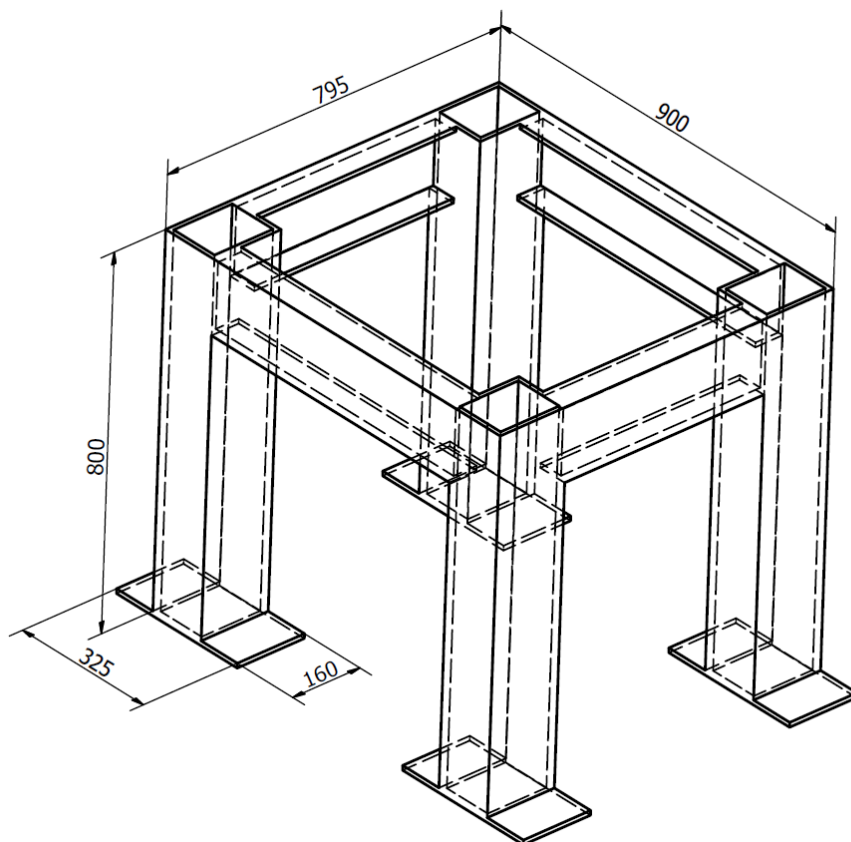
Celkové řízení stroje je docíleno pomocí řídicího systému, který vyhodnocuje všechny data a dle programu (ve formě G kódu) dává příkazy jednotlivým motorům a popřípadě vřetenu stoje. Nejlevnější variantou řízení je pomocí stolního počítače, ve kterém je instalovaný řídicí software (u amatérských staveb se nejčastěji používá software Mach3,

který lze zakoupit za přijatelnou cenu okolo 4 000,- Kč). Nevýhodou tohoto řízení je, že může docházet ke ztrátám kroků v programu v důsledku toho, že na PC pracují skryté procesy, které narušují chod řízení CNC stroje. Z tohoto důvodu je lepší zvolit PLC ovládací jednotku, které je pro danou aplikaci přímo určená. Největší nevýhodou těchto jednotek je jejich příliš vysoká cena (v řádech 100 000,- Kč).

## 5.2 Nosný rám stroje

Při návrhu a výrobě nosného rámu se vycházelo z předem stanoveného rozsahu dostupných finančních prostředků. Výroba rámu pro obráběcí stroje tradičními způsoby, jako je odlévání slitin, nebo nekonvenční metodou odlévání z polymerbetonu, byly pro tuto stavbu stroje finančně nedostupné. Proto být zvolena méně nákladná varianta, kterou je svaření kovového rámu.

Základním prvkem svařeného rámu jsou ocelové profily U, dle normy DIN 1026-1 U160 (s rozměry: výška průřezu 160 mm, šířka 65 mm a tloušťkou stěny 7,5 mm) z kterých je rám svařen do požadovaných tvarů a rozměrů dle obr. 43.



Obr. 43 3D model nosného rámu stroje



Rám stroje je tvořen čtyřmi svařenými obdélníkovými sloupy, které nesou celou zá-  
těž stroje. Pro zvýšení tuhosti mohou být sloupy vyplněny polymerbetonem, nebo vysypány  
křemičitým pískem. Zde byla zvolena metoda vysypání křemičitým pískem, z důvodu lepší  
manipulace s rámem stroje při případném stěhování. Písek má dále výhodu, že jednotlivé  
zrna mají dohromady velkou plochu, která slouží k tlumení vibrací (jednotlivé zrna o sebe  
třou a tím tlumí vznikající rázy z obrábění).



*Obr. 44 Fotografie svařeného rámu stroje*

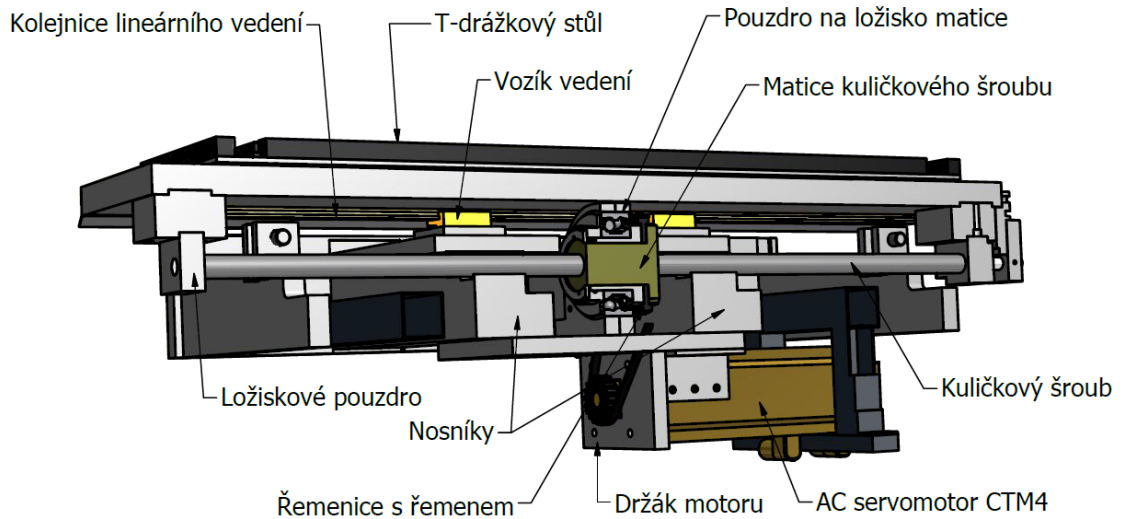
Rámová konstrukce je uložena na antivibrační podložce, kterou lze vidět na obr. 45.  
Podložka pomáhá tlumit přenos vibrací ze stroje do podlahy a naopak. Zakoupená antivib-  
rační rohož byla vyrobena z recyklované pryže o tloušťce 15 mm.



*Obr. 45 Použitá antivibrační rohož z recyklované pryže [40]*

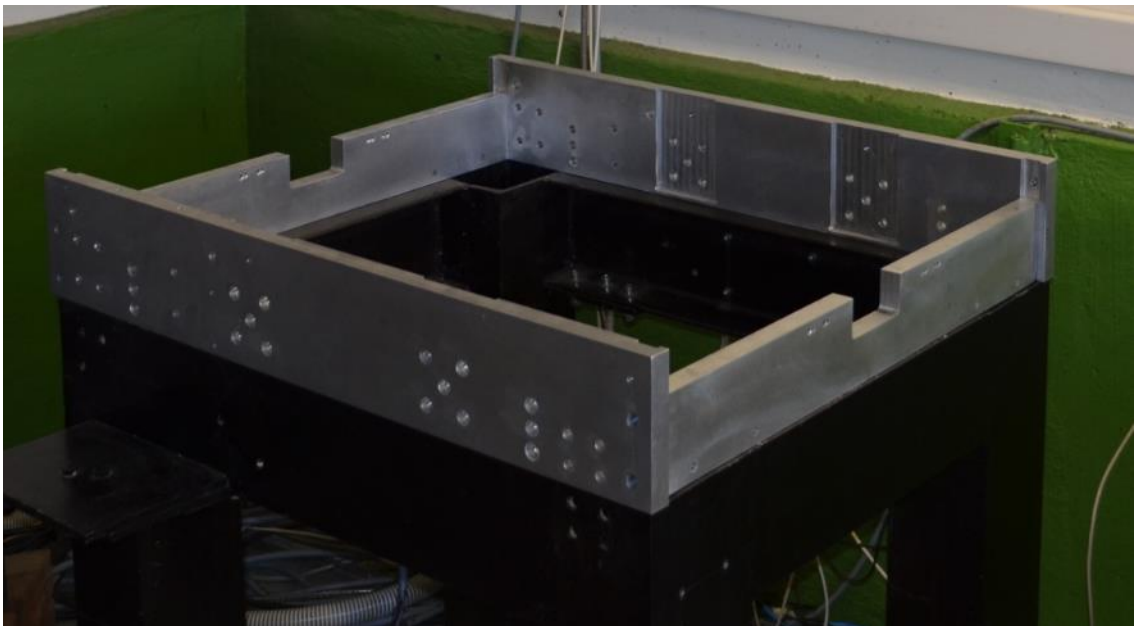
### 5.3 Osa X

Po zakoupení hlavních částí, nutných k realizaci stavby stroje byl sestaven 3D model, který lze vidět na obr. 46. Zakoupené součásti jsou popsány níže.



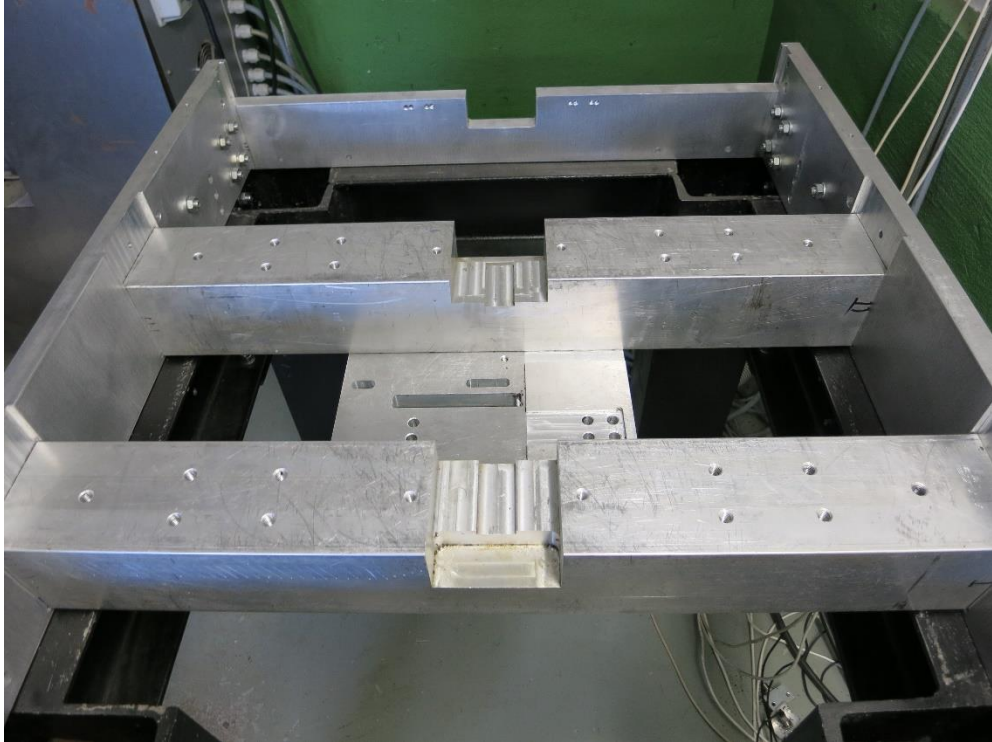
Obr. 46 Řez osou X

Soustava osy X je sestavena z vlastního rámu, na kterém jsou připevněny pohybové části. Obvodová část rámu je sešroubovaná ze čtyř desek z materiálu EN AW-7075 (jak lze vidět na obr. 47). Jednotlivé desky jsou vzájemně do sebe zasunuty v předem vyfrézovaných drážkách.



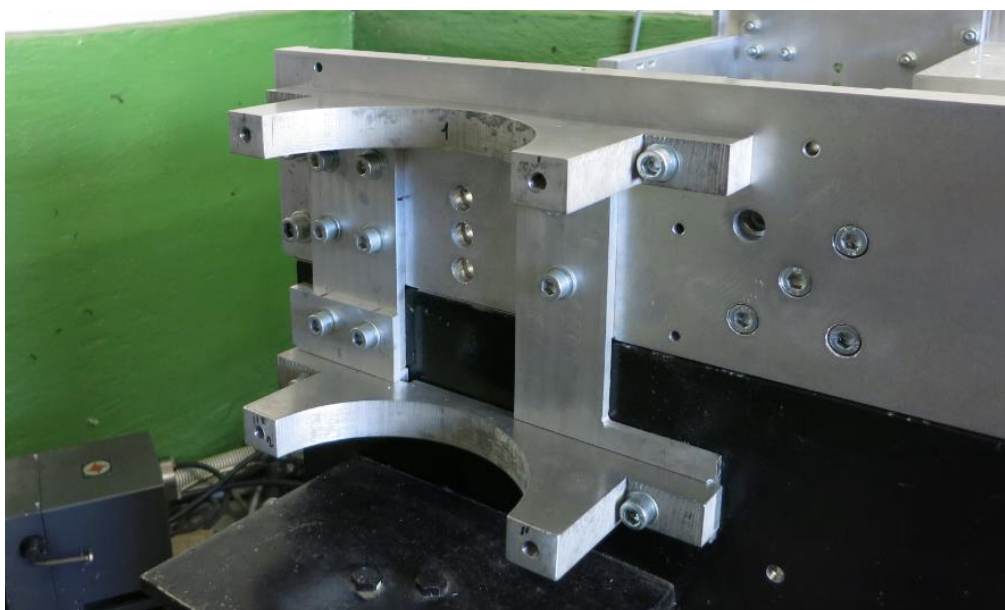
Obr. 47 Obvodový rám pro umístění osy X

Do rámu jsou vloženy nosníky, na které působí váha posuvného stolu s obráběným materiálem. Nosníky mají tvar čtverce o průřezu 100 x 100mm a jsou vloženy do obvodových desek rámu.



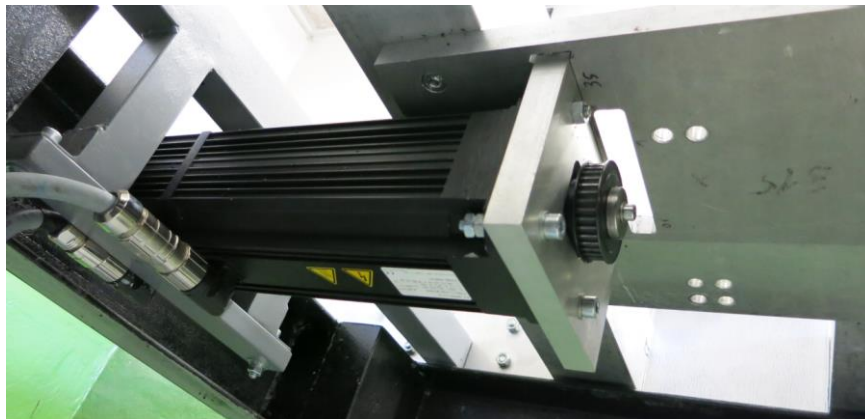
*Obr. 48 Vložené nosníky posuvného stolu ve směru osy x*

Na levé a pravé straně obvodového rámu jsou připevněny upínky (obr. 49), které slouží k upnutí nosných sloupů portálu.



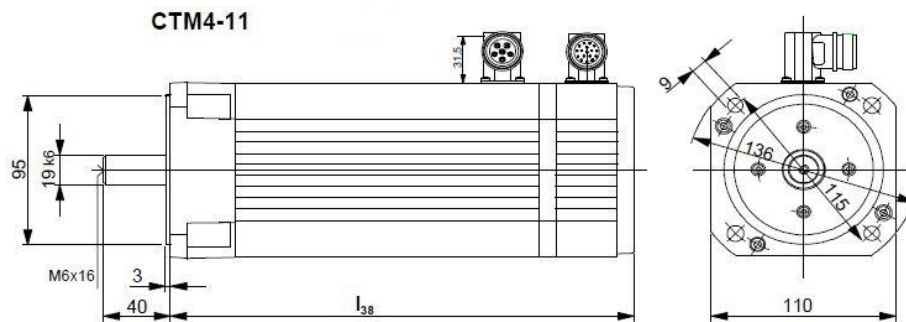
*Obr. 49 Upínky portálových sloupů na rámu osy X*

Pod nosníky je vložen servomotor za pomoci přiloženého profilu (šedý profil, držící motor v zadní části stroje), který je vyplněn betonem, pro zvýšení tuhosti. Převod mezi pohonem a kuličkovým šroubem zprostředkovává řemenový převod. Motor je upnut ve vyfrézované desce, která je vložena do drážky. Drážka plní funkci vedení motoru při napínání řemenice.



Obr. 50 Upnutí motoru v ose X

Pro osu x byl zakoupen AC servomotor CTM4-11.4 viz obr. 50, 51. Stejný motor je použit pro pohánění zbývajících os. Přestože jsou tyto motory pro tento stroj příliš velké a výkonné, byly zakoupeny vzhledem k jejich výhodné cenové dostupnosti.



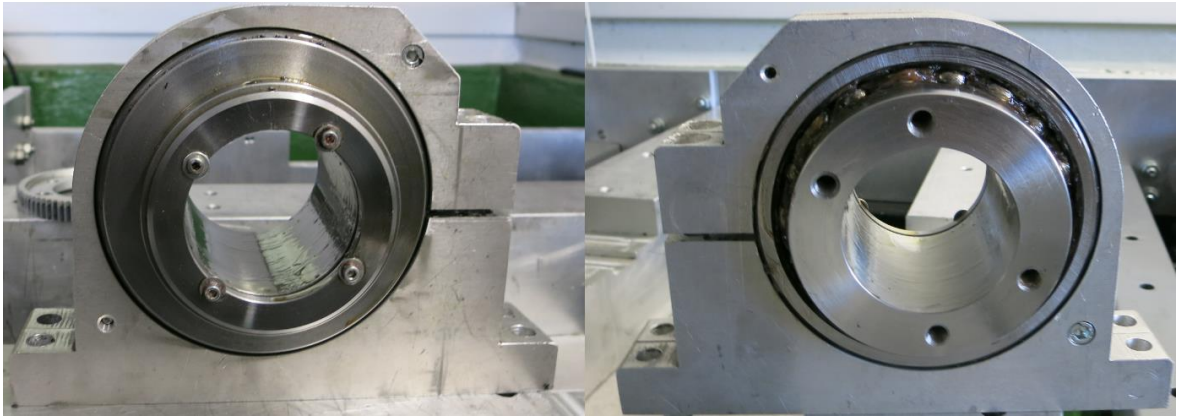
Obr. 51 Rozměry servomotoru CTM4-11 [41]

Tab. 2 Charakteristické veličiny servomotoru CTM4-11.4

CTM4-11.4		
Veličina	Jednotka	Hodnota
Moment $M_{d0}$	Nm	12
Jmenovitý výkon P	kW	3,1
Jmenovitý moment $M_{dN}$	Nm	9,9
Jmenovitý proud $I_{dN}$	A	7,3
Jmenovité otáčky $n_N$	min-1	3000

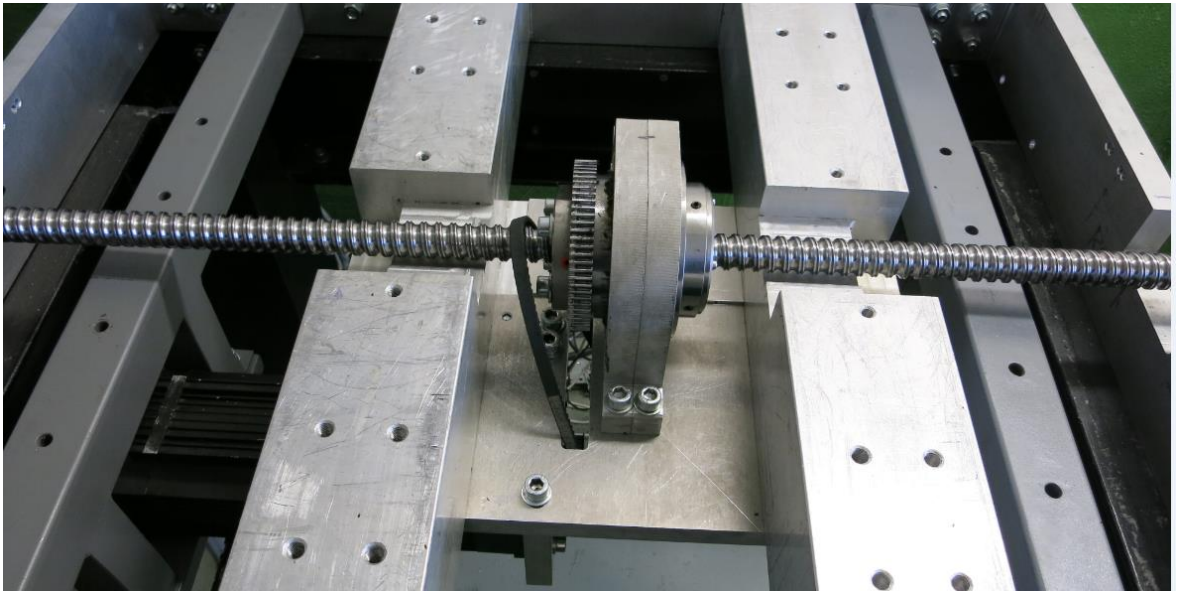


Pohybová soustava je založena na pevně uložené matici kuličkového šroubu. Zakoupený vybroušený kuličkový šroub THK o průměru 20mm se stoupáním 10mm se pohybuje s lineárním vedením. Matice je uložena v ložiskovém pouzdře (viz obr. 52). Pouzdro bylo vyřezáno z duralové desky (EN AW-7075) vodním paprskem a posléze na frézce přesně odfrézováno.



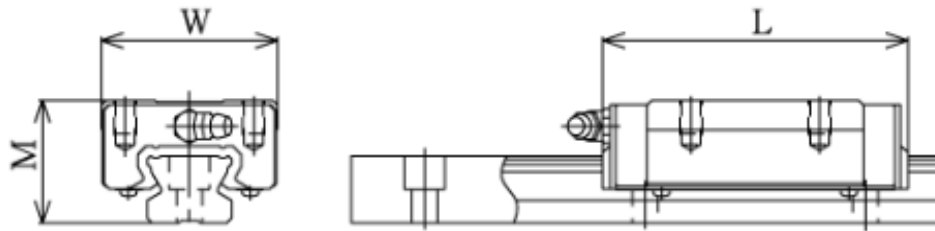
*Obr. 52 Ložiskové pouzdro pro matici na ose X*

Součástí uložené matice je i ozubená řemenice, která je propojena řemenem k motoru, převodem 1:3 (motor : matice).



*Obr. 53 Uložení šroubu na rámu*

Pro osu x bylo zakoupeno profilové lineární vedení THK SR20 LM (obr. 54) s dvěma vozíky na jedné kolejnici. Vozíky jsou na pevno přišroubovány do zapuštěné desky, která je připevněna k nosníkům. Zapuštění vozíku slouží k přesnému uložení vozíku v jedné rovině.

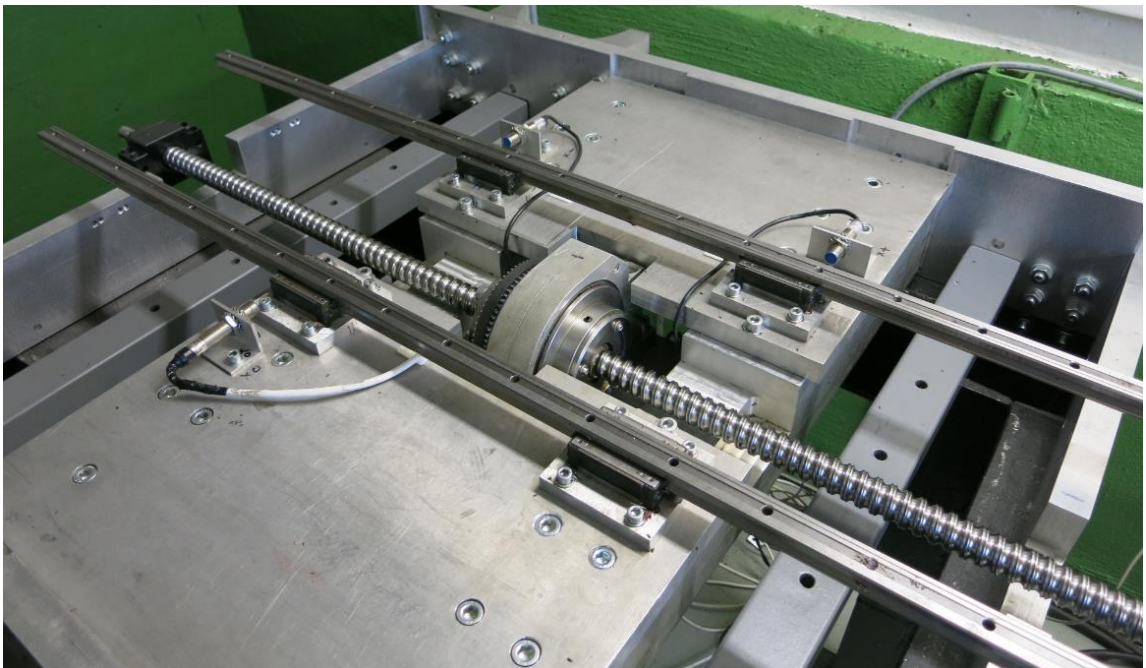


Obr. 54 Vozíku THK SR20 [42]

Tab. 3 Základní rozměry vedení THK SR20

Lineární vedení: THK SR20 LM		
	Rozměr	Hodnota (mm)
Kolejnice	šířka	20
	výška	15,5
Vedení	délka	1050
Vozík (obr. 51)	W	42
	L	62
	M	28

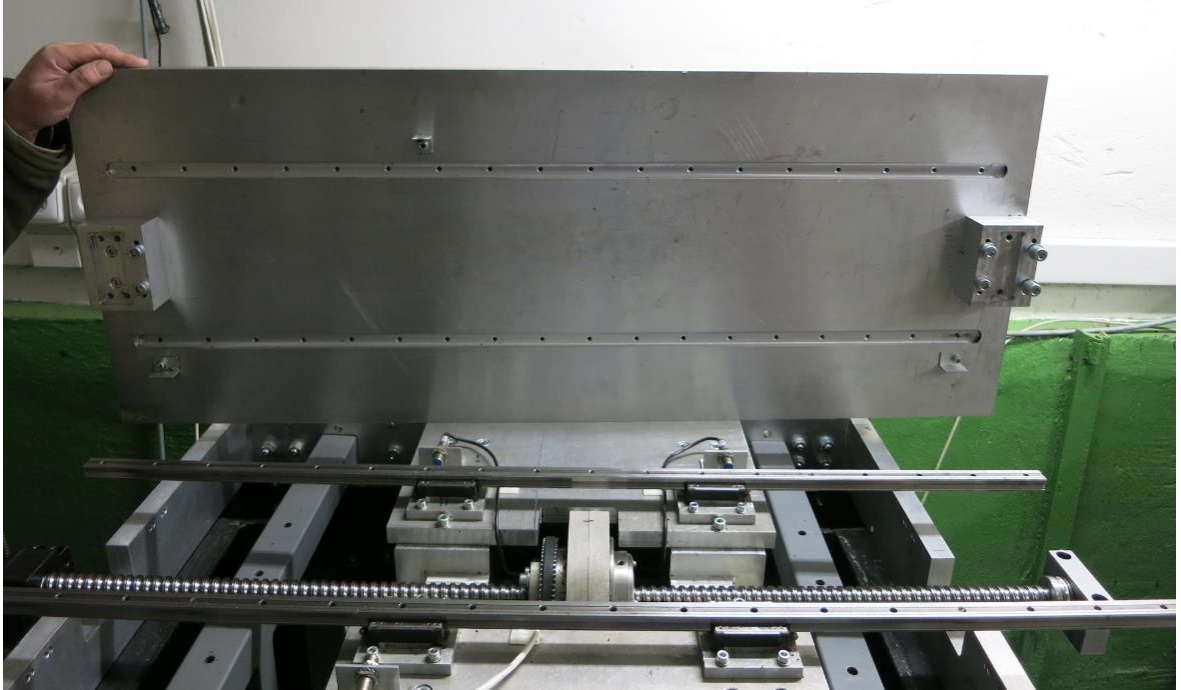
Na obr. 55 lze vidět rozmístění profilového vedení vůči kuličkovému šroubu. V ose X jsou zakomponovány dva koncové indukční snímače, pro dva směry pohybu (viz obr. 55). Třetí indukční snímač je určen k nulování stroje („HOME“ – při spuštění stroje se vynulují jednotlivé osy, pomocí odjetí jednotlivých os do výchozí polohy).



Obr. 55 Rozmístění vedení a kuličkového šroubu

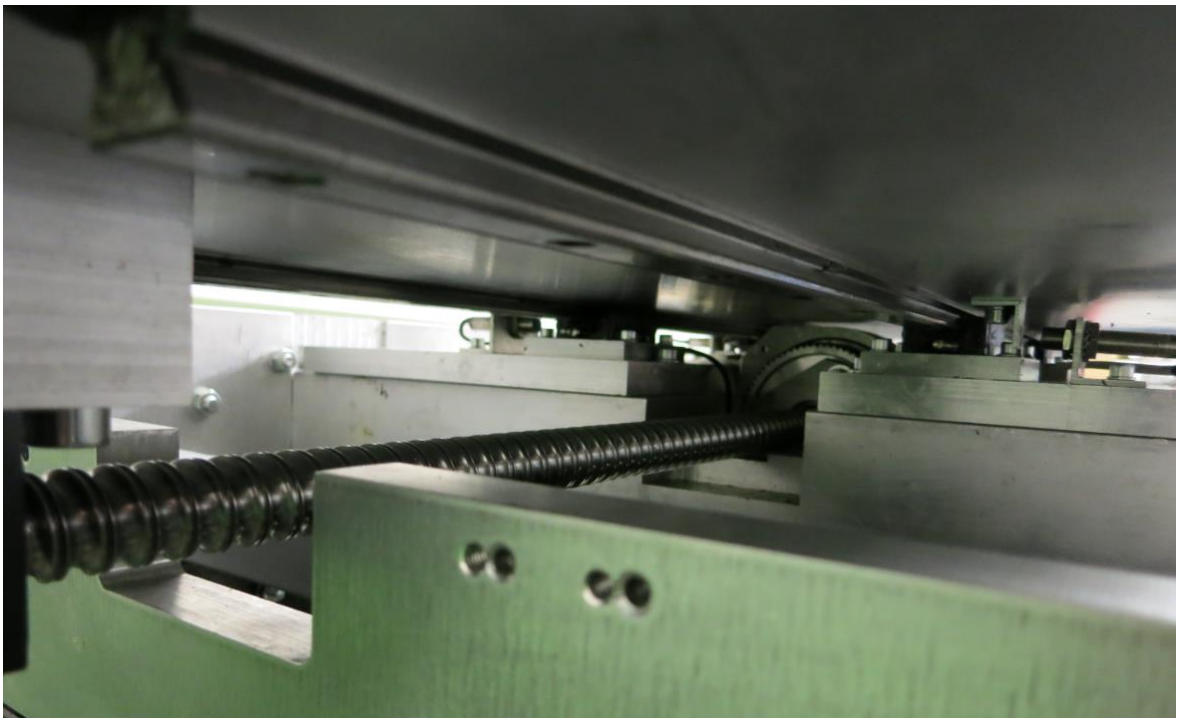


Horní deska stolu stroje má ze spodní strany vyfrézované drážky, které slouží k přesnému usazení lineárního vedení (viz obr. 56). Deska obsahuje spínací kontakty pro indukční čidla a zapuštěné kostky pro připojení ložiskových pouzder šroubu.



*Obr. 56 Horní deska stolu stroje*

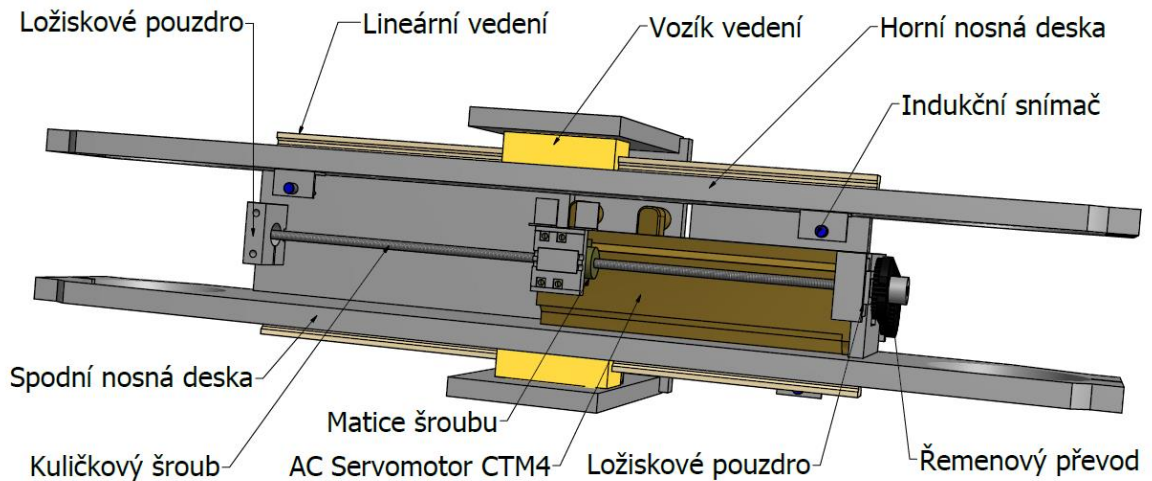
Na obr. 57 lze vidět zkompletovanou pohybovou soustavu osy X.



*Obr. 57 Pohybová soustava osy X*

## 5.4 Osa Y

Po zakoupení hlavních částí, nutných k realizaci stavby osy y byl sestaven 3D model, který lze vidět na obr. 58. Zakoupené součásti jsou popsány níže. Před stavbou byl stanoven cíl, aby pohybové prvky byly uloženy v portálu a tím chráněny proti nečistotám.



Obr. 58 Řez osou Y

Nosným prvkem osy Y jsou dva nerezové sloupky o průměru 167mm (viz obr. 59), vyplněny křemičitým pískem pro zvýšení tuhosti. Sloupky jsou přichyceny k rámu stroje pomocí čtyř upínek vyřezaných na vodním paprsku z duralu (EN AW-7075).



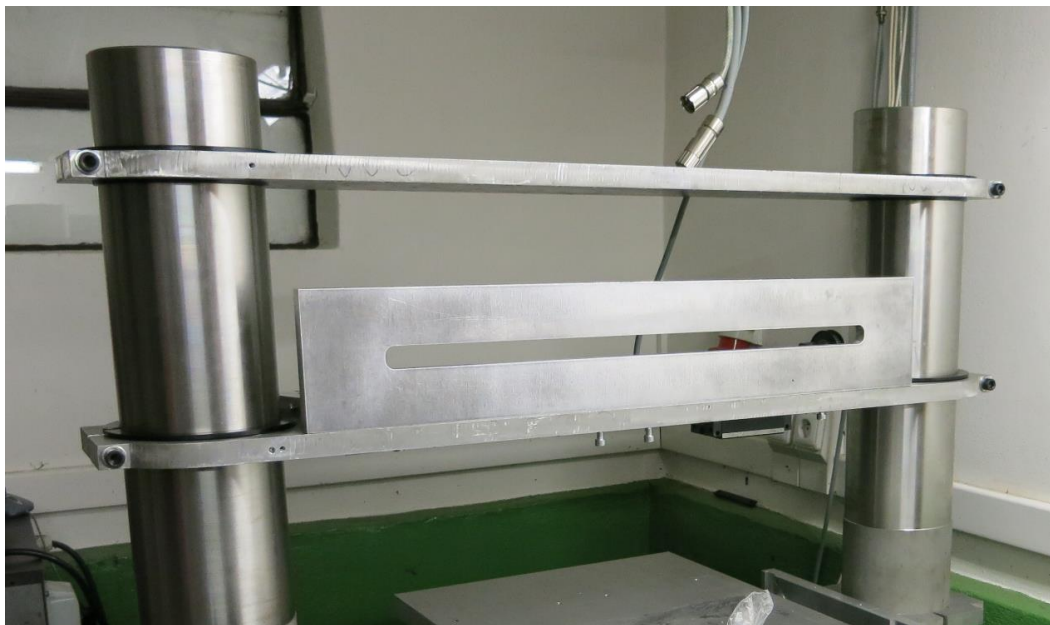
Obr. 59 Rozložení nosných sloupů

Portál je tvořen dvěma hlavními nosnými deskami, které jsou vyřezány vodním paprskem z duralové desky (EN AW-7075). Na konci desek jsou vloženy vodící vložky, které mají za účel přesný chod po nerezových sloupech.



*Obr. 60 Spodní nosná deska osy Y*

Mezi hlavními deskami je vložena roztečná deska. Deska plní funkci stanovující vzdálenost mezi nosnými deskami a také chrání před vnikem nečistot a třísek do vnitřního prostoru portálu.



*Obr. 61 Rozložený portál*



Pro osu y byl zakoupen broušený kuličkový šroub THK MC 1408 o parametrech: průměr šroubu 15mm, stoupání 10mm, celková délka šroubu 720mm a předjížděcí délka 580mm.



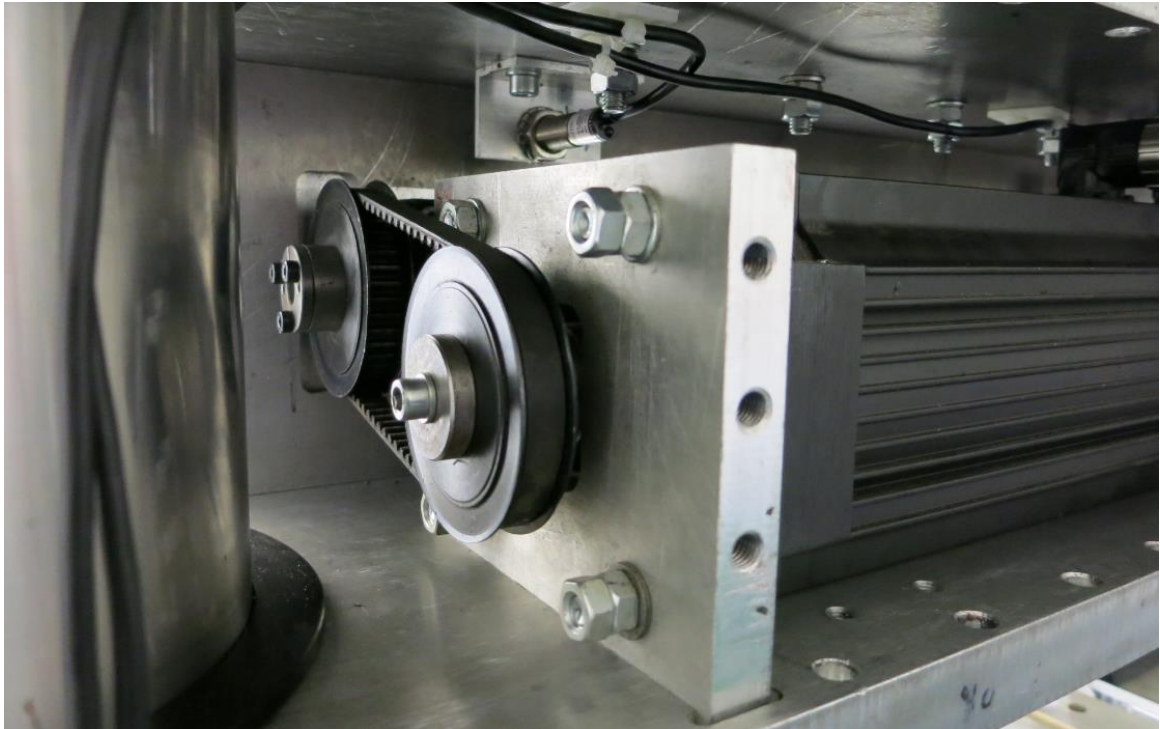
Obr. 62 Kuličkový šroub pro osu Y

Na obr. 63 lze vidět uložení šroubu na rozpěrné desce. Matice kuličkového šroubu je přišroubována k redukci (viz obr. 62), která chodí v definované drážce, vyfrézovaná na rozpěrné desce. Na horní nosné desce jsou umístěny koncové indukční snímače, které chrání pohybovou soustavu před nárazem do pevných částí stroje. Spínací prvky pro koncové snímače jsou umístěny na matici šroubu.



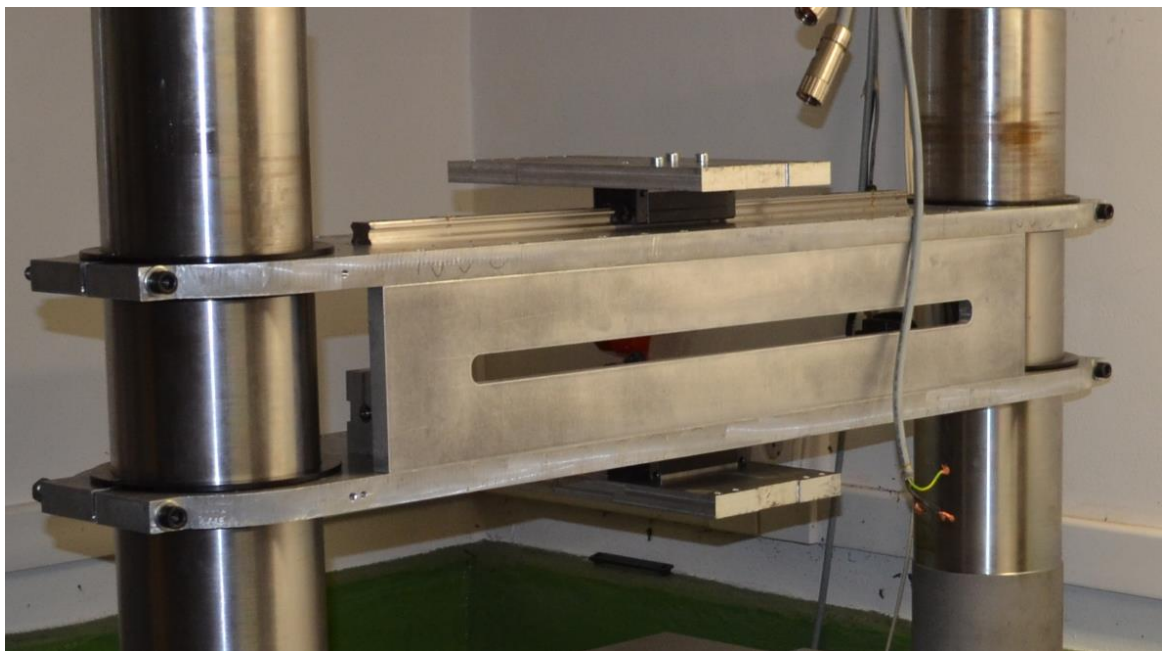
Obr. 63 Provedení uložení šroubu v ose Y

Změny rotačního pohybu ze servomotoru na přímočarý je docíleno pomocí kuličkového šroubu. Převod mezi motorem a šroubem je aplikován ozubeným řemenem.



*Obr. 64 Řemenový převod*

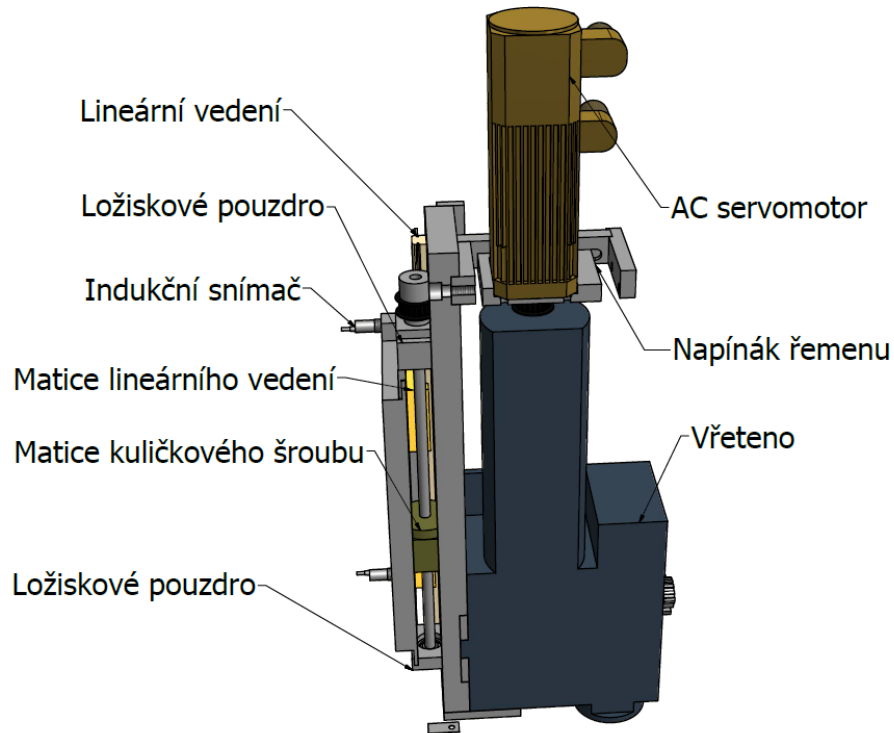
Profilové lineární vedení od firmy NSK je zapuštěno ve vyfrézovaných drážkách na nosných deskách viz obr. 65. Na vozících od vedení jsou přidělaný propojovací desky spojující osu y s osou Z.



*Obr. 65 Lineární vedení v ose Y*

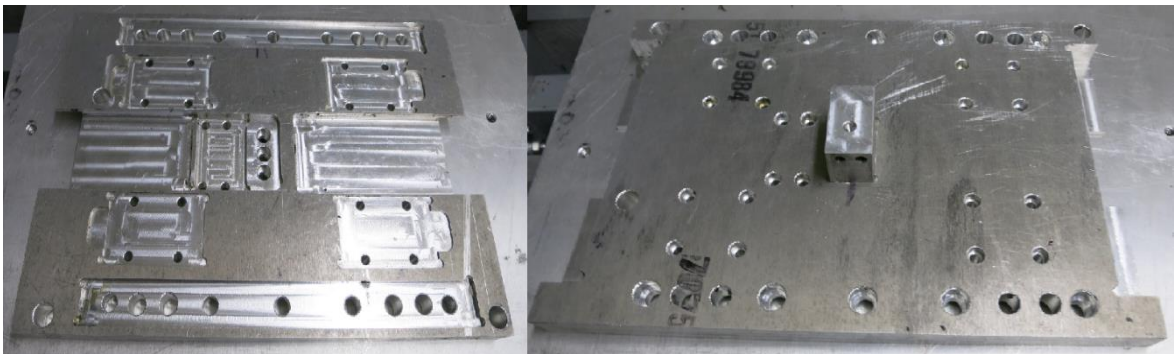
## 5.5 Osa Z

Po zakoupení hlavních součástí, nutných k realizaci stavby osy Z byl sestaven 3D model, který lze vidět na obr. 66. Zakoupené součásti jsou popsány níže. Byl stanoven požadavek, aby pohybová soustava osy Z byla soustředěna, v co nejmenším prostoru.



Obr. 66 Řez osu Z

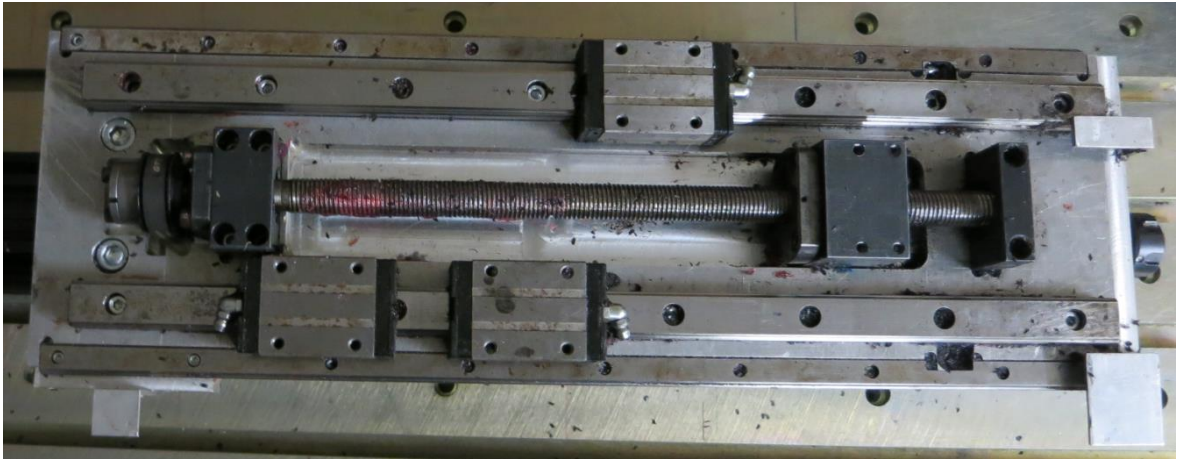
Osa Z je tvořena dvěma hlavníma deskami, jednu z nich lze vidět na obr. 67. Je vyfrézovaná z duralu (EN AW-7075). Jednotlivé vyfrézované prvky slouží k osazení vozíků lineárního vedení, matice kuličkového šroubu a dalších součástí. Ze zadní strany hlavní desky je umístěn propojovací prvek, který spojuje osu Z s maticí kuličkového šroubu osy Y.



Obr. 67 Hlavní deska osy Z

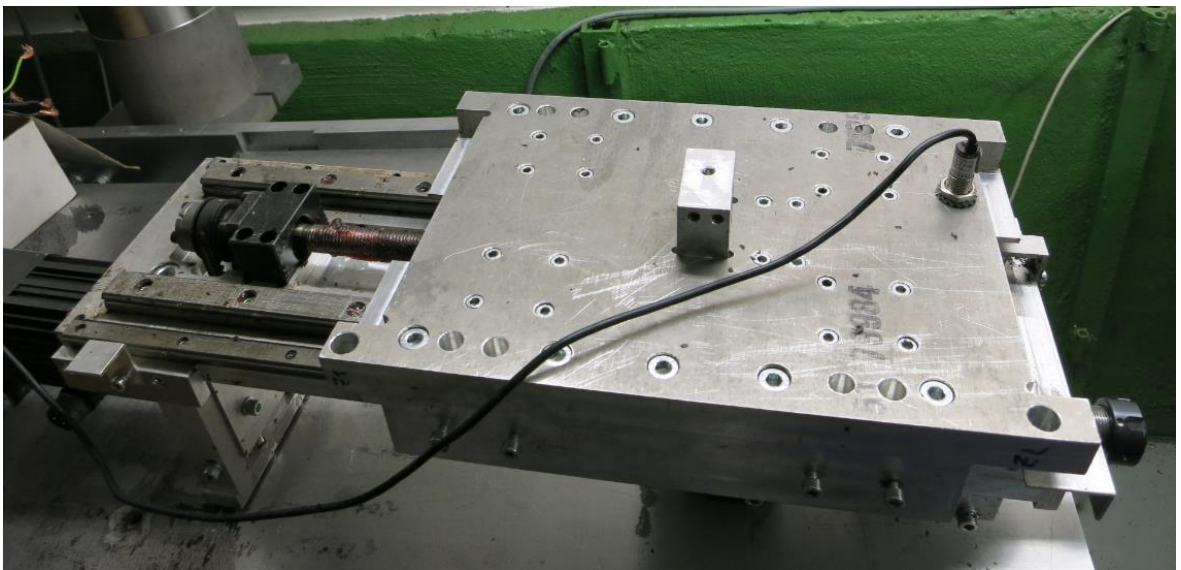


Na obr. 68 lze vidět rozložení osy Z. Středem vede kuličkový šroub od firmy THK o průměru 10mm se stoupáním 2mm. Šroub je uchycen pomocí ložiskových pouzder k vedlejší desce. Na desce jsou umístěny dva typy vedení. Centrální vedení, po stranách kuličkového šroubu je od firmy NSK LS20 o rozměrech kolejničky: šířka 20 mm, výška 15,5 mm a délka 460 mm. Na obou vedení jsou umístěny dva vozíky o rozměrech: šířka 42 mm a délka 65 mm. Po stranách je vedlejší vedení, které stabilizuje boční namáhání osy Z při obrábění.



*Obr. 68 Rozložení osy Z*

Níže uvedený obr. 69 zobrazuje sestavenou osu Z, na které lze najít indukční snímače. Celá pohybová soustava osy je zkonstruována do šířky 69 mm, tím byla splněna podmínka, aby soustava byla v co nejmenším prostoru (s co největší tuhost osy Z).



*Obr. 69 Zkompletována osa Z*

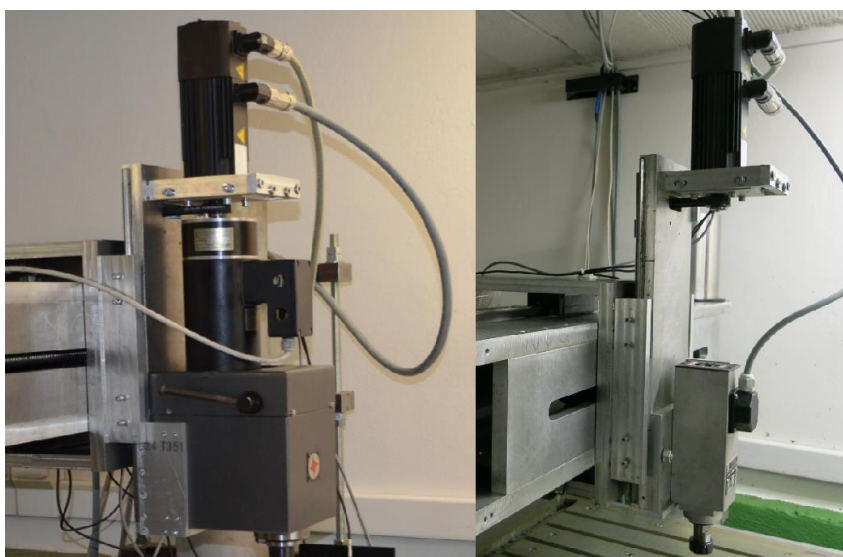


Na obr. 70 je zachyceno spojení osy Z s pohybovou soustavou osy Y a celkové rozložení na portálu.



*Obr. 70 Umístění osy Z k portálu*

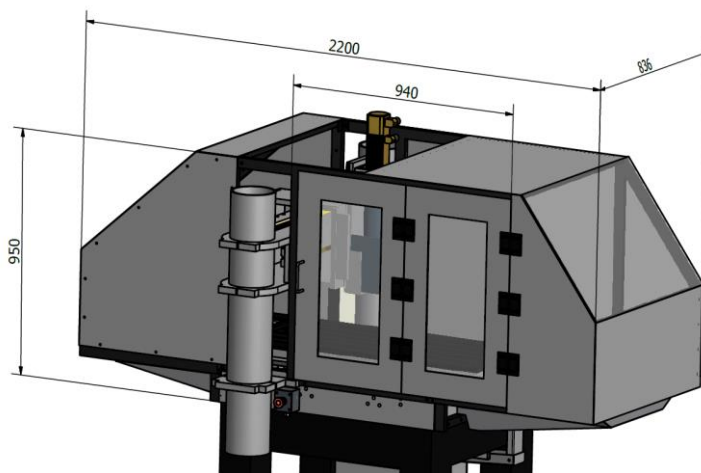
Byly zakoupeny dvě varianty vřeten, viz obr. 71. První vřeteno na obrázku je tvořeno litinovou kostkou o rozměrech 160 x 200 x 160 mm. Ve kterém je jakostně uložené vřeteno s řemenicí, a mechanickým vyhadzovacím trnem sk30. AC motor vřetena je Lenze 1,2 kW/200Hz při 2800 ot/min. Celá kostka má otočné upínání, díky kterému jde hlava naklánět. Tento typ vřetene je využit pro obrábění kovů. Vřeteno je omezeno otáčkami, do 5600 ot/min, nedá se použít pro gravírování a obrábění plastů. Pro tyto účely bylo zakoupeno druhé vysokootáčkové vřeteno značky Teknomotor o výkonu 0,73kW při 18000 ot/min.



*Obr. 71 Vřetena: vlevo Lenze a vpravo Teknomotor*

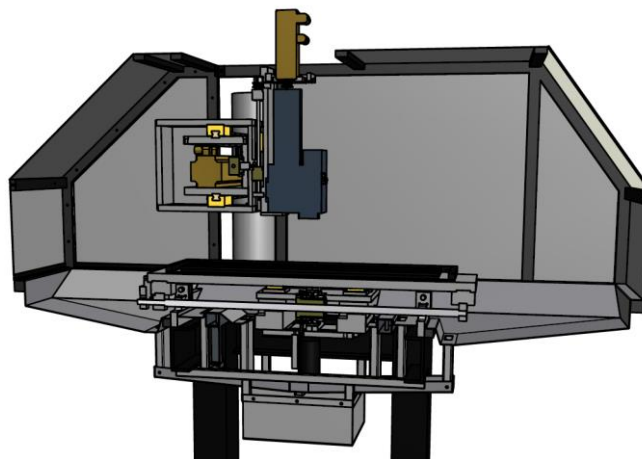
## 5.6 Zakrytování stroje

Z důvodu náročnosti stavby CNC frézovacího stroje se realizace výroby a montáže zakrytování nestihla, ale byl sestaven 3D model s umístěním a provedením příslušných ochranných krytů. Model lze vidět na obr. 72, kde jsou zobrazeny základní rozměry ochranného krytu stroje a umístění dvířek pro vstup do vnitřního prostoru stroje. Kryty budou vyrobeny v kooperaci za pomoci laserového vyřezávání z 1,5mm ocelového plechu. Jednotlivé plechy budou přišroubovány na přídatný rám, který bude uložen na hlavní konstrukci stroje. Rámová konstrukce je navržena z obdélníkových ocelových profilů o průřezu 40x20x2mm, jednotlivé profily budou k sobě svařeny.



*Obr. 72 3D model stroje se zakrytáváním*

Na obr. 73 je zachyceno rozmístění odváděcích kanálů pro chladicí emulzi stékající do centrální nádrže umístěné pod obráběcí stroj. Aby emulze co nejlépe odtékala z vnitřního prostoru stroje, jsou kanály umístěny ve spodních krytech stroje.



*Obr. 73 Řez odvodem chladicí emulze*

## 6 NASTAVENÍ ELEKTRONIKY

Tato kapitola je zaměřena na sestavení a nastavení potřebné ovládací elektroniky. Při sestavování elektronických prvků se vycházelo z manuálů od výrobců servodriverů a PLC ovládací jednotky. Vzhledem ke komplexnosti sestavení a odladění elektronických prvků jsou jednotlivé popisy v této kapitole uvedeny schematicky a zjednodušeně.

### 6.1 Řízení pohonů

Pro řízení tří AC servomotorů CTM byly zakoupeny tři analogové servodrivery Servostar 603 od firmy Kollmorgen (viz obr. 74). Čtvrtým řízeným prvkem bylo vřeteno, které se ovládá a napájí přes frekvenční měnič Lenze.



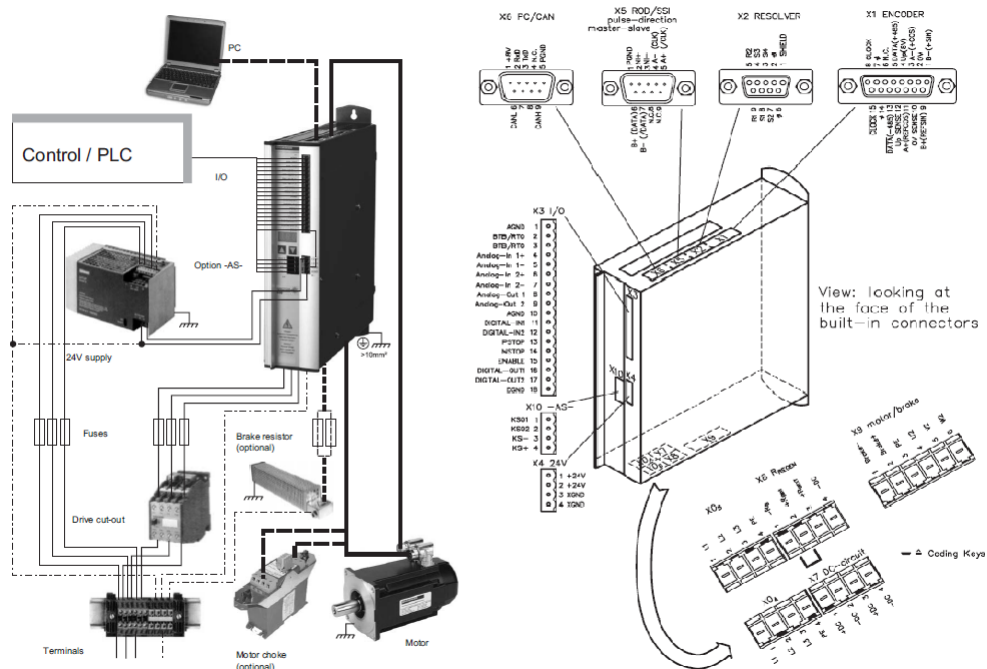
*Obr. 74 Servodriver Kollmorgen Servostar 603*

Níže uvedený obr. 75 zobrazuje zapojení ovládacích prvků do série, úplně vpravo lze vidět 24V zdroj nutný k napájení řízení, vedle zdroje je umístěn frekvenční měnič ovládající vřeteno stroje.



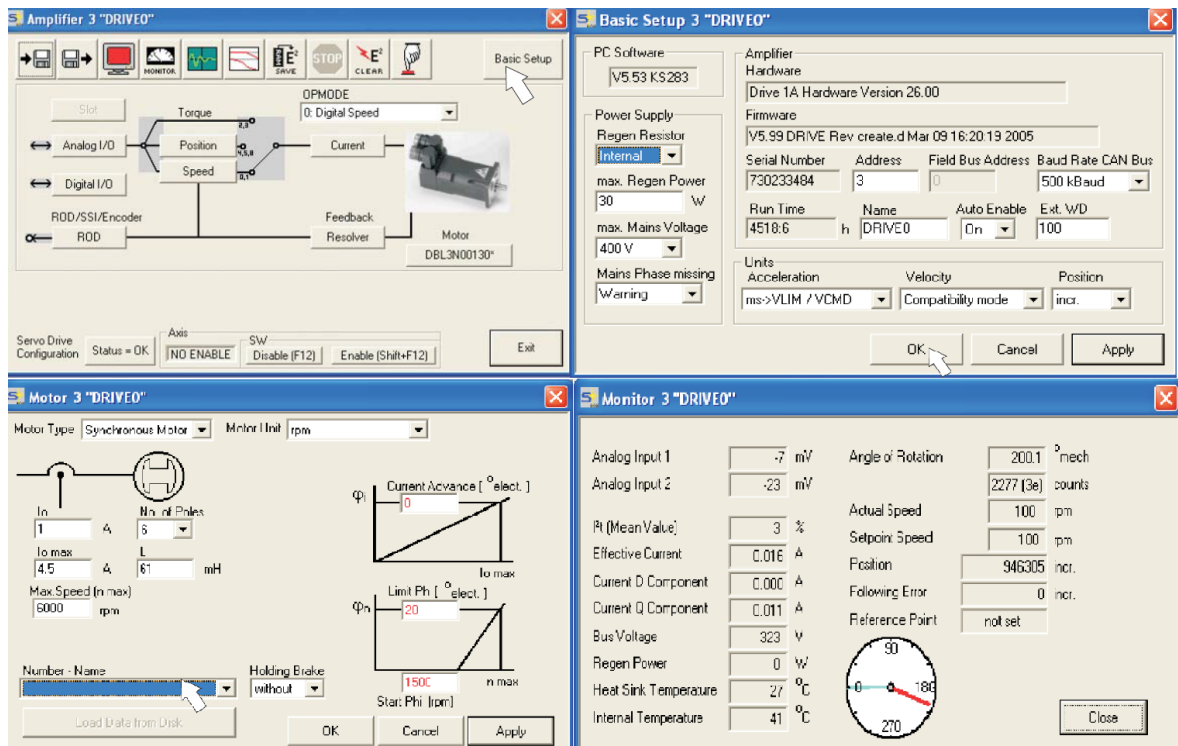
*Obr. 75 Zapojené drivery*

Zapojení driverů s ostatními prvky jde vidět na obr.76 i se schématem zapojení konektorů.



Obr. 76 Základní schéma zapojení driverů [43]

Nastavení motoru bylo provedeno za pomoci PC, které se připojilo k driverům přes sériový port. Nastavení parametrů se provádí přes software Drive (obr. 77) od společnosti Kollmorgen, na kterém kromě parametrů lze monitorovat průběh otáčení rotoru motoru.



Obr. 77 Zobrazení softwaru Drive [43]

## 6.2 PLC jednotka

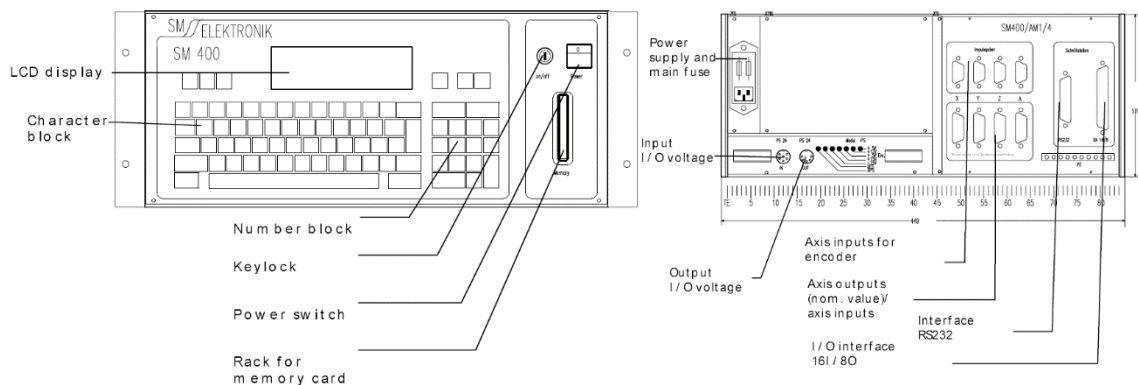
Pro řízení CNC frézky byla zakoupena ovládací PLC jednotka SM 400 (obr. 78) od Německé firmy SM Motion Control GmbH.



Obr. 78 PLC ovládací jednotka SM 400 [44]

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, komunikace přes rozhraní RS232;
- osa řízení s lineární, kruhovou interpolací šroubovice a stejně elektrických zařízení
- uživatelsky definovatelný rozsah I / O, rozšiřitelné až na 64 vstupů a 64 výstupů.



Obr. 79 Popis ovládací jednotky SM 400 [44]

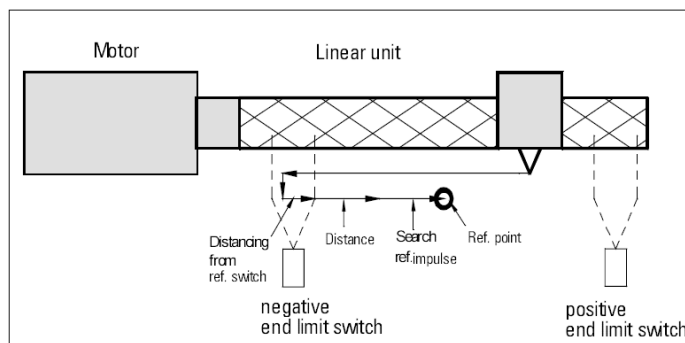


Od ovládací jednotky byl oddělen přední panel s displejem a klávesnicí. Panel byl přidělán do externího krytu s ručkami po stranách (viz obr. 80). Tato úprava vedla ke zlepšení obsluhy a lepší manipulaci s ovládacím panelem.



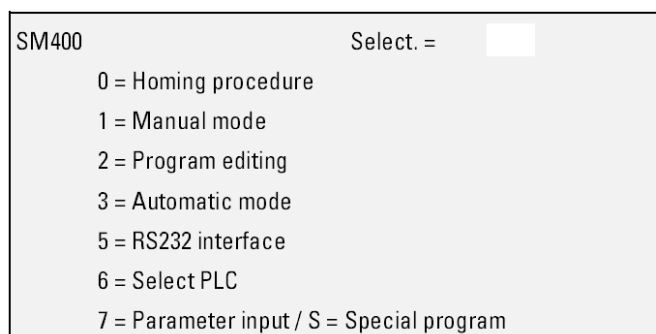
Obr. 80 Úprava ovládacího panelu

Po zapnutí stroje se jednotlivé osy posunou do referenčního bodu (takzvaná „home“ pozice). Postup posuvu do home pozice lze vidět na obr. 81. Po zapnutí stroje se aktivuje automatický nulovací proces. Proces probíhá v přesně definovaných podmínkách a postupným najížděním jednotlivých os stroje.



Obr. 81 Schéma posuvu do referenčního bodu [44]

Níže uvedený obr. 82 zobrazuje hlavní menu ovládací jednotky. Při nastavování parametrů stroje se vycházelo z manuálu k jednotce SM 400.



Obr. 82 Hlavní menu jednotky SM 400 [44]



### 6.2.1 Kontrola nastavení

Hlavním nastavovaným parametrem v ovládací jednotce, byl poměr mezi rotací kuličkového šroubu a posuvu vedení na 1 mm. Pro ověření správného nastavení, bylo nutné získat reálnou zpětnou vazbu o přesnosti posunu. Zpětná vazba byla získána pomocí číselníkového úchylkoměru Kinex s rozlišením 0,01 mm (s měřitelným rozsahem 20mm). Díky tomu bylo ověřeno správné nastavení jednotlivých os stroje.



*Obr. 83 Měření pomocí úchylkoměru*

Jelikož úchylkoměr má malý rozsah měření, bylo nutné proměřit posuv v osách v celé délce, možného pohybu dané osy. Z těchto důvodů bylo provedeno druhé kontrolní měření pomocí optické odměřovací lišty od společnosti Heidenhain s přesností 0,001mm a rozsahem 1050 mm.



*Obr. 84 Měření pomocí optického odměřování*

### 6.3 Zkouška přesnosti obráběcího stroje

Tato část práce se věnuje vymodelování a vyrobení testovací součásti na CNC frézce. S následným vyhodnocením rozměrové a tvarové přesnosti součásti. Zkouška je prováděna dle normy ČSN ISO 10791-7. Norma neuvádí přesně všechny podmínky zkoušky, spíše doporučuje. Přesně definované podmínky si udává zákazník a výrobce.

#### 6.3.1 Výroba testovací součásti

Před samotnou výrobou součásti na CNC frézce byl nakreslen 3D model testovaného obrobku (obr. 85) pomocí Autodesk Inventor. Při sestavování modelu se vycházelo z výše uvedené normy. Výkres vyrobené součásti je vložen v příloze P I.



Obr. 85 Model (vlevo) a vyrobená součást (vpravo)

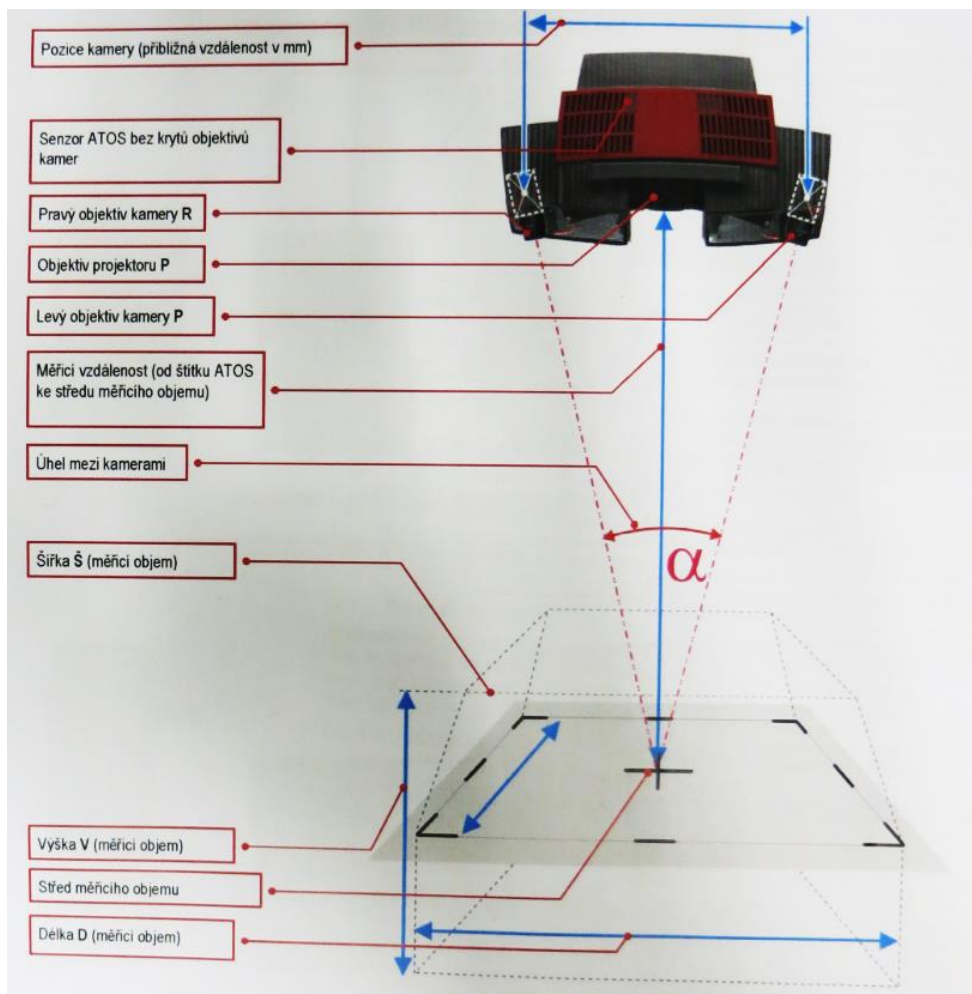
Dle normy má být zkušební obrobek umístěn přibližně do střední polohy dráhy v souřadnicích X a v souřadnicích Y a Z do poloh vhodných jinak z hlediska upnutí obrobku anebo přípravku a jednak z hlediska délky nástroje. Obrobek musí být vhodně připevněn, aby bylo docíleno maximální stability nástrojů a obrobku.

Parametry obrábění:

- Materiál obrobku: slitina hliníku - EN AW 5083
- Rozměry polotovaru: 165 x 165 x 40 mm
- Hrubování: válcová fréza, průměr 20mm, délka řezné části 20mm. Rychlost posuvu 1600 mm/min a otáčky nástroje 4500 ot/min
- Profilování: válcová fréza, průměr 10mm, délka řezné části 50mm. Rychlost posuvu 1600 mm/min a otáčky nástroje 5000 ot/min

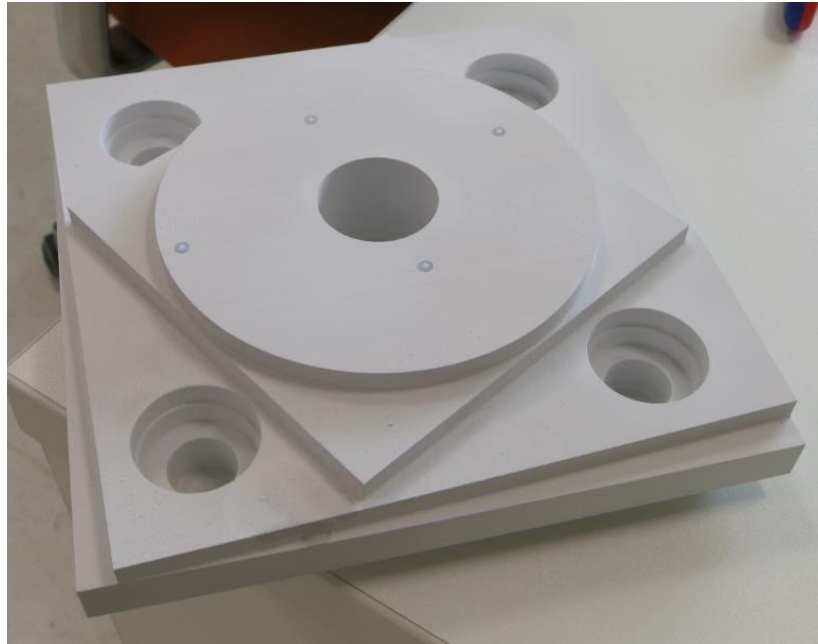
### 6.3.2 Měření testovací součásti

Měření bylo prováděno v laboratoři na Univerzitě Tomáše Bati pomocí 3D skeneru Atos II od firmy GOM. „ATOS je mobilní bezdotykový optický 3D skener firmy GOM určený pro nejrůznější aplikace. Jeho vysoká výkonnost, velké rozlišení a široká flexibilita měřicích objemů umožňující přesnou a efektivní kontrolu kvality výroby (Quality Control), ukládání optimalizovaných dat z design aplikací, skenování poškozených tvarových vložek a celých sestav lisovacích nástrojů a vstřikovacích forem. Nejširší využití systému ATOS je v oblastech CAD, CAM a FEM, kde je vyžadováno měření reálných objektů a jejich následné srovnání s teoretickým modelem. Všechny systémy ATOS mohou být doplněny o počítačem řízený rotační stůl, což je vhodné pro opakovaná měření stejných dílů. V případě požadavku plné automatizace měření je k dispozici počítačem řízený průmyslový robot.“ [17] Základní parametry skeneru: plocha měření 38 x 29 – 1500 x 1130 mm<sup>2</sup>, hustota bodů 0,02-0,79mm a počet naměřených bodů na jeden záběr 5 miliónů.



Obr. 86 Schéma principu 3D skeneru Atos II

Na součást byl nanesen speciální bílý (titaničitý) prášek a byly nalepeny čtyři kontrolní body, které slouží k přesnému umístění nasnímaných bodů při pootočení součásti.



*Obr. 87 Poprášená součást*

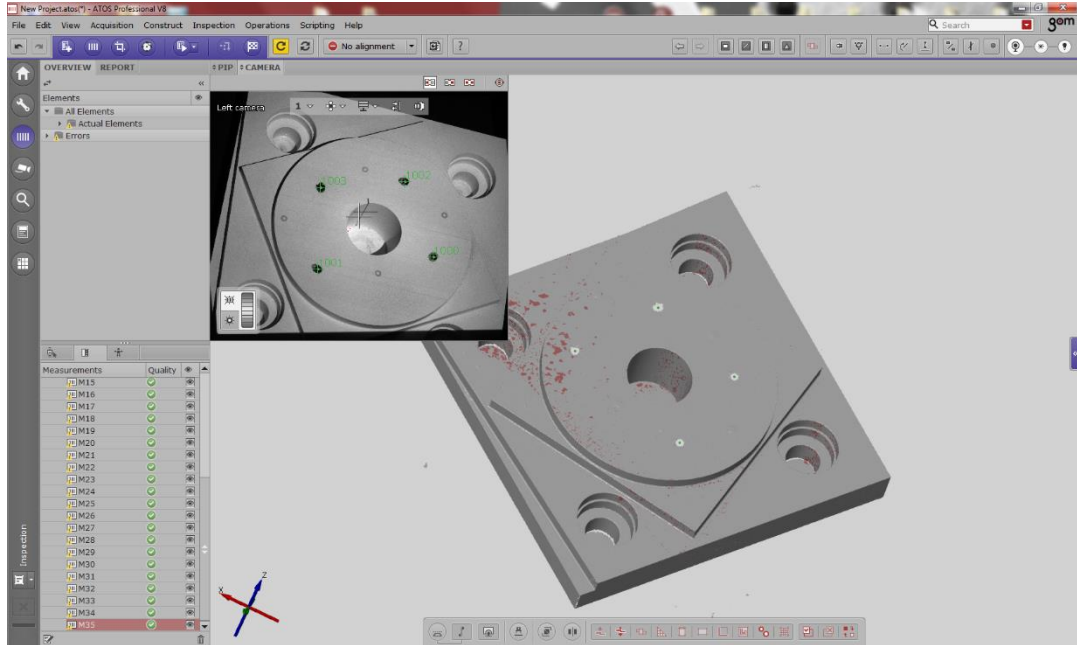
Níže uvedený obr. 88 zobrazuje umístění součástí na rotačním stole, který se postupně pootáčí dle potřeby.



*Obr. 88 Skenování zkušební součásti*

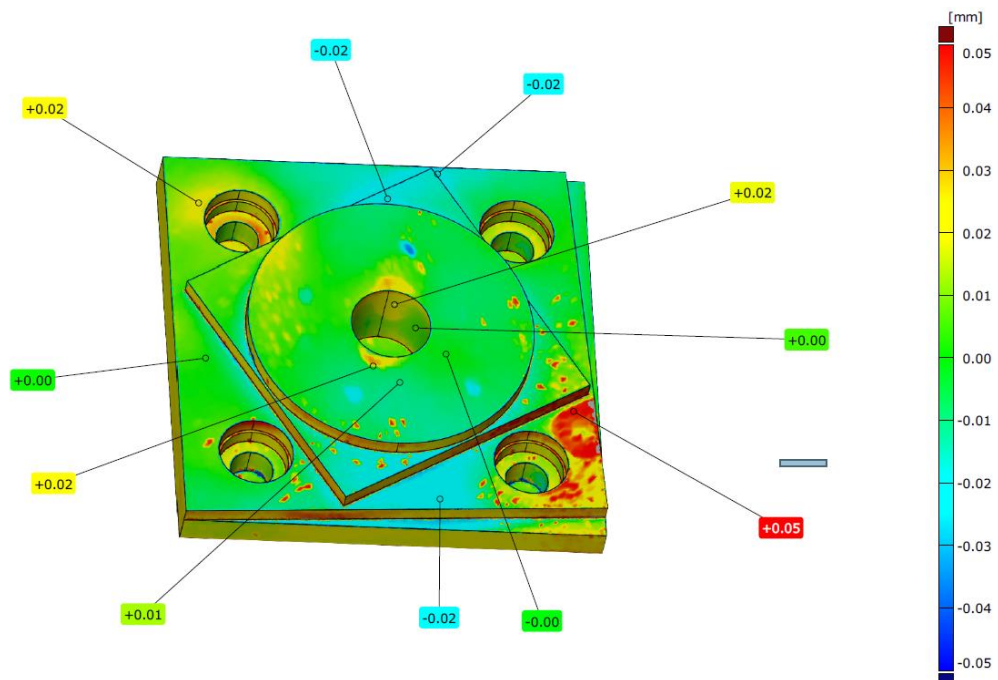


Níže lze vidět průběh a výsledky skenované zkušební součásti v prostředí programu ATOS Profesionál V8. Do programu byl nahrán vymodelovaný model obráběné součásti a byl porovnán s reálným obrobkem.

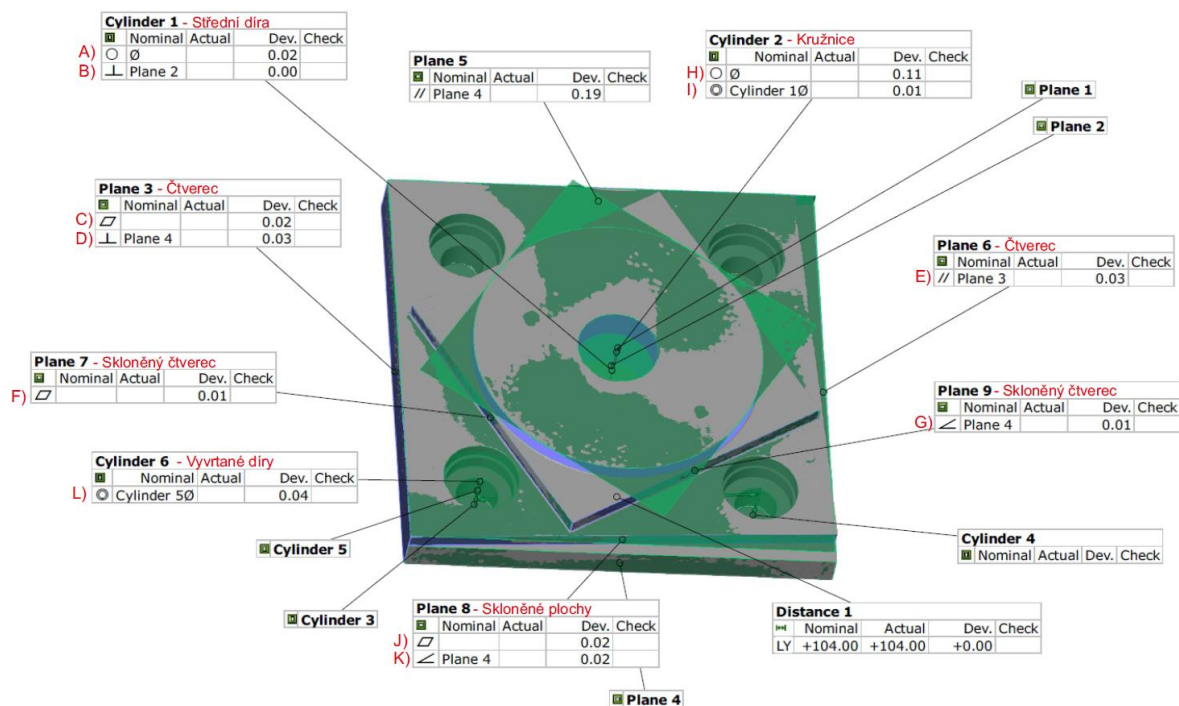


Obr. 89 Zobrazení skenované součásti v softwaru ATOS Pro V8

Na obr. 90 je zobrazen výsledek porovnání reálné součásti s 3D modelem. Analýza ukazuje tvarovou změnu okolo 0,01 mm. Červená anomálie, která ukazuje odchylku 0,05 mm, je způsobena velkou vrstvou naneseného prášku (vrstvu lze vidět na obr. 87).



Obr. 90 Výsledky tvarových změn



Obr. 91 Výsledek měření

Výsledky měření jsou znázorněny na obr. 91, kde lze vidět tolerance předmětů daných normou. Porovnání výsledků měření s danými tolerancemi jsou popsány v tab. 4. U některých měřených částí součásti vyšla tolerance v průměru o 0,01 mm vyšší. Odchylka mohla být způsobena nízkou mírou hustoty bodů 0,02 mm při skenování 3D skeneru Atos. Dalším vlivem ovlivňující odchylku, může být nepřesnost nakoupených pohybových dílů (některé zakoupené díly byly již použity, proto prodejce nezaručoval přesnost). Pro zpřesnění výsledku bylo doporučeno proměřit součást pomocí souřadnicového měřicího stroje.

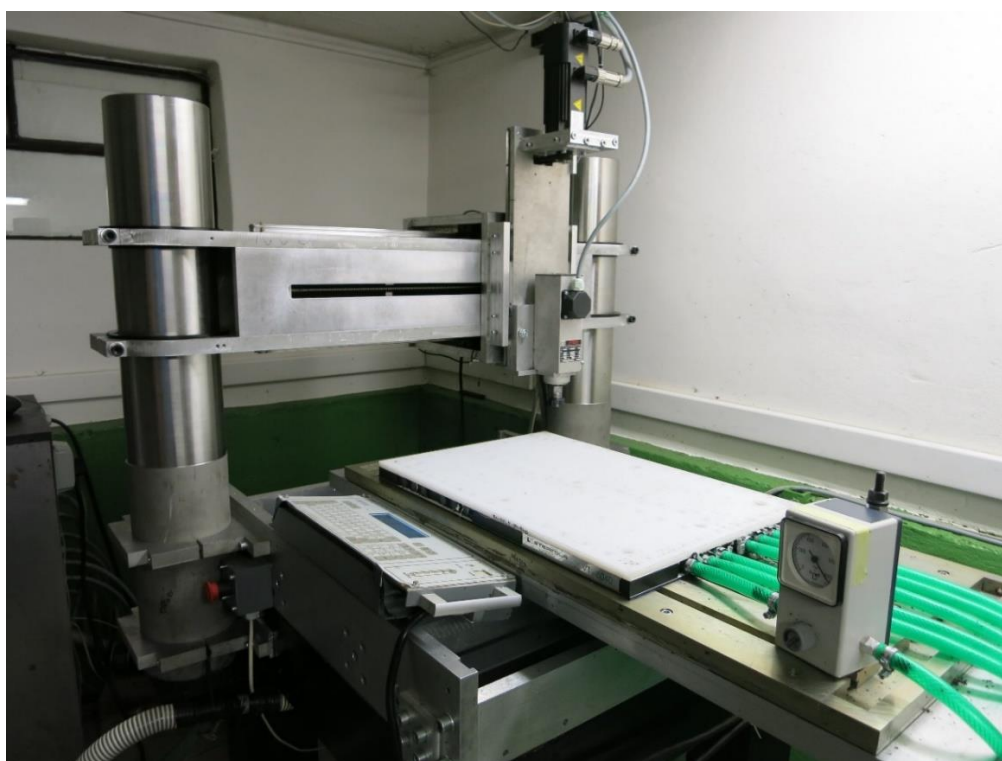
Tab. 4 Porovnání naměřených tolerancí s normou

Předmět		Tolerance daná normou (mm)	Naměřená tolerance (mm)
Střední díra	A) Válcovitost	0,010	0,020
	B) Kolmost osy díry k základně A	0,010	0,000
čtverec	C) Přímost stran	0,010	0,020
	D) Kolmost přilehlých stran k základně B	0,010	0,030
	E) Rovnoběžnost protilehlé strany se základnou	0,010	0,030
Skloněný čtverec	F) Přímost stran	0,010	0,010
	G) Přesnost úhlů 75° vzhledem k základně B	0,010	0,010
Kružnice	H) Kruhovitost	0,015	0,011
	I) Soustřednost kružnice se střední dírou	0,025	0,010
Skloněné plochy	J) Přímost ploch	0,010	0,020
	K) Přesnost úhlů vzhledem k základně B	0,010	0,020
Vyvrтанé díry	L) Soustřednost vnitřní díry s vnější	0,020	0,040



## 7 ZHODNOCENÍ VYROBENÉHO STROJE

Po zakoupení nezbytných součástí, potřebných k realizaci výroby CNC frézky, byl sestaven 3D model, ze kterého se vycházelo při výrobě všech nutných dílů, které se nedají zakoupit. Po dokončení výroby nosných prvků stroje a sestavení jednotlivých os X, Y a Z, byla dokončena montáž stroje (viz obr. 92). Nebyly však dokončeny všechny prvky stroje (například zakrytování) z důvodu časové náročnosti celé stavby. Základní rozměry stroje jsou zobrazeny v příloze P II.



*Obr. 92 CNC frézka s vakuovým upínacím stolem*

Přesnost stroje byla stanovena pomocí normy ČSN ISO 10791-7 uvedené výše. Po vyhodnocení výsledku měření, byla stanovena přesnost 0,02 mm. Pro upřesnění přesnosti stroje by bylo zapotřebí provést více měření. Nutno dodat, že pro účely, pro které byl obráběcí stroj vyroben, je změřená přesnost dostačující.

Na závěr práce byl sestaven přehled nákladů jednotlivých částí stroje (viz tab. 5). V tabulce lze vidět porovnání předpokládaných a reálných nákladů na realizaci stavby stroje. Celková cena stavby byla 196 479,- Kč, což splnilo předpokládaný rozpočet.

Tab. 5 Porovnání předpokládaných a reálných nákladů

části stroje		Cena [Kč]		
		Max. předpoklad	Reálná	
PLC řídicí jednotka		35 000	20 170	
Vřeteno stroje		15 000	25 000	
Elektronika (rozvodná skříň, spínací a bezpečnostní prvky)		48 000	16 900	
Osa	x	pohybová soustava (kul. šroub a převod)	8 000	5 680
		lineární vedení (profilové vedení)	7 500	7 348
		pohonná soustava (servomotor a řízení)	5 500	9 792
		koncové a nulovací snímače	1 500	1 253
		ostatní konstrukční částí (vyráběné nosné prvky)	12 000	15 000
	y	pohybová soustava (kul. šroub a převod)	6 700	3 540
		lineární vedení (profilové vedení)	5 800	6 730
		pohonná soustava (servomotor a řízení)	5 500	8 156
		koncové a nulovací snímače	1 500	1 148
		ostatní konstrukční částí (vyráběné nosné prvky)	9 500	14 783
	z	pohybová soustava (kul. šroub a převod)	5 100	4 325
		lineární vedení (profilové vedení)	5 800	2 623
		pohonná soustava (servomotor a řízení)	5 200	6 543
		koncové a nulovací snímače	1 500	1 334
		ostatní konstrukční částí (vyráběné nosné prvky)	7 800	8 600
Rám stroje (lože)		15 000	13 400	
Na upínací stůl, T-drážkový stůl		8 000	6 500	
Zakrytování stroje		14 000	-	
Chladicí systém nástroje		6 900	-	
Režie		8 100	17 654	
Celkový rozpočet		238 900	196 479	



Obr. 93 Ukázka praktického využití zkonstruované CNC frézky

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo popsat výrobu a montáž CNC obráběcího stroje z hlediska požadavků na jednotlivé části a součásti s uvedením zásadních parametrů a cenových rozsahů pro jednotlivé komponenty. Před výrobou 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 popsány druhy CNC strojů a požadavky na ně kladené. Rovněž byly diskutovány konstrukční procesy nutné ke správnému návrhu stroje. V konstrukčních procesech byly také popsány hlavní části CNC strojů, jako je nosná soustava, včetně stroje, ochranné kryty a další.

Praktická část práce je založena na popisu výroby a montáže CNC frézky určené zejména na obrábění slitin hliníku. V této části byla zejména popsána realizace stavby jednotlivých os X, Y a Z, až po samotné sestavení celého stroje. Nedílnou součástí praktické části je cenová kalkulace celé stavby a jednotlivých dílů. Závěr práce byl zaměřen na výrobu a testování zkušebního obrobku dle normy ČSN ISO 10791-7, pomocí které se definovala přesnost obráběcího stroje.

Závěrečná měření obrobené součástí (dle ČSN ISO 10791-7) na sestaveném stroji ukázala, že přesnost stroje odpovídá zadaným požadavkům.

Vlastní návrh a svépomocná stavba stroje zabrala více jak tři roky. V rámci minimalizace cenové náročnosti celé stavby tohoto stroje z vlastních zdrojů bylo nezbytné promyslet a optimalizovat veškeré kroky konstrukce, výběru a nákupů pohybových a ovládacích prvků. Další práce bude věnována dokončení zbývajících částí stroje a zlepšování jeho přesnosti. Přesnost zkonstruovaného zařízení bude dále zlepšována postupnou výměnou méně přesných, dříve použitých součástí, zejména lineárních vedení a kuličkových šroubů. Dále bude optimalizováno nastavení ovládací PLC jednotky.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Marek, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014, 684s. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [2] Borský, V. *Obráběcí stroje*. 1.vyd. Brno: VUT Brno – FS, 1992. 216s. ISBN 80-214-0470-1.
- [3] Borský, V. *Jednoúčelové stroje a víceúčelové obráběcí stroje II*. 2. vyd. Brno: VUT Brno-FS, 1992, 216 s. ISBN 80-214-0175-3.
- [4] Morávek, R. *Nekonvenční metody obrábění*. Plzeň: Západočeská univerzita Plzeň, 1999, 102 s. ISBN 80-708-2518-9.
- [5] Janíček, P., Marek, J. *Expertní inženýrství v systémovém pojetí*. 1nd ed. Praha: Grada, 2013, 592 s. ISBN 978-80-247-4127-7.
- [6] Hosnedl, S., Marek, J. *Cerative Designing of Machine Tolls- Contextually*. Journal of mechanical Engineering, 2008, 104 s. ISSN 1895-7595
- [7] Marek, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. 1. Vydání. Praha: MM publishing, 2006 282s. ISBN 1212-2572.
- [8] Jarvinen, J., Koskinen I. *Industrial Design as a Culturally Reflexive Activity in Manufacturing*. Saarijarvi: Publication series of the University of Art and Design Helsinki UIAH, 2001. 190 s. ISBN 951-563-405-9.
- [9] Rozum, K. *Výrobní stroje I*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, 2005
- [10] Mráz, P., Talácko, J. *Konstrukce strojů s kompozitními materiály*. 1. Vyd. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. 226 s. ISBN 80-01-03540-9.
- [11] Janda, J., Divišova, H. *Metodika konstruování*. 1. vyd. Nadas Martin: VŠDS Žilina, 1990. 112 s. ISBN 80-7100-029-9.
- [12] Borský, V. *Základy stavby obráběcích strojů*. 2. vyd. Brno: VUT Brno-FS, 1991, 214 s. ISBN 80-214-0361-6.
- [13] Graham T. S. *CNC Machining Technology: Volume I*. Springer Science & Business Media, 2013, 178 s. ISBN 1447120515.
- [14] Graham T. S. *CNC Machining Technology: Volume III*. Springer Science & Business Media, 2013, 137 s. ISBN 1447117484.

[15] MINAŘÍK, M. *Návrh CNC obráběcího stroje*. Zlín: Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati, 2013, 69 s.

Internetové zdroje literatury:

[16] Novák, M. *Průmyslové lasry (1)– princip laseru*. [online]. MM průmyslové spektrum, 13.3.2012 , [cit. 2015-4-18].<  
<http://www.mmspektrum.com/clanek/prumyslove-lasery-1-princip-laseru.html>>

[17] *ATOS Triple Scan*. [online]. MCAE Systems, s.r.o., [cit. 2015-5-5].  
<<http://www.mcae.cz/atos>>

Internetové zdroje obrázků:

[18] *Directindustry* [online]. 2015, [cit. 2015-4-6].< <http://www.directindustry.com/>>

[19] *Mikron Moravia, s.r.o.* [online]. 2008, [cit. 2015-4-11].  
< <http://www.mikronmoravia.cz/obrabeci-stroje-leadwell/>>

[20] *Kovosvit MAS, a.s.* [online]. 2015, [cit. 2015-4-11]. < <http://www.kovosvit.cz/>>

[21] *Tos Varnsdorf a.s.* [online]. 2015, [cit. 2015-4-13].  
<<http://www.tosvarnsdorf.cz/cz/produkty/>>

[22] *EJ-Junker* [online]. 2015, [cit. 2015-4-13]. < <http://www.junker-group.de/cz/loesungen/schleifmaschinen/ej.php>>

[23] *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012, [cit. 2015-4-14].  
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/energeticky-usporne-vyrobní-stroje.html>>

[24] *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011, [cit. 2015-4-14]. <http://www.mmspektrum.com/clanek/robustni-obrabeci-centrum.html>

[25] *VY-TECH steel s.r.o.* [online]. 2015, [cit. 2015-4-15]. <http://www.vytech.cz/clanky/technologie/>

[26] *Hrstege a.s.* [online]. 2008, [cit. 2015-4-19]. <<http://www.hestego.cz/krytovani-stroju/kapotaze-stroju/modularni-system/>>

[27] *Tech media publishing s.r.o.* [online]. 2011, [cit. 2015-4-19].  
<<http://www.techmagazin.cz/121>>

- [28] *Red-dot-21*. [online]. 2014, [cit. 2015-4-19]. <<http://www.red-dot-21.com/products/automatic-transmission-gear-production-line-automatic-production-line-22659/>>
- [29] *Durcrete GmbH*. [online]. 2014, [cit. 2015-4-21]. <<http://durcrete.de/examples-machine-elements/?lang=en/>>
- [30] *BS-WIKI*. [online]. 2011, [cit. 2015-4-23]. <[http://www.bswiki.de/mediawiki/index.php?title=Datei:Schnittdarstellung\\_kugelgewindetrieb.jpg](http://www.bswiki.de/mediawiki/index.php?title=Datei:Schnittdarstellung_kugelgewindetrieb.jpg)>
- [31] *PK SERVIS technické součásti s.r.o.* [online]. 2008, [cit. 2015-4-23]. <<http://www.pkservis.com/cz/linearni-vedeni>>
- [32] *Direct industry*. [online]. 2015, [cit. 2015-4-23]. <<http://www.directindustry.com/prod/stober/electric-actuator-linear-ball-screw-servo-motor-6037-796159.html>>
- [33] *GRAB CAD*. [online]. 2015, [cit. 2015-4-24]. <https://grabcad.com/library/cnc-spindle-motor-1kw-1>>
- [34] *AL-SOLID s.r.o.* [online]. 2015, [cit. 2015-4-24]. <<http://www.alsolid.cz/cnc/>>
- [35] *Tos Varnsdorf a.s.* [online]. 2015, [cit. 2015-4-25]. <http://www.tosvarnsdorf.cz/cz/produkty/specialnistroje/speedtec/#prettyPhoto>
- [36] *Hennig cz s.r.o.* [online]. 2015, [cit. 2015-4-26]. <http://www.hennig-cz.com/index.php?id=34&L=3%27%60%28%5B%7B%5E~>
- [37] *MM Průmyslové spektrum*. [online]. 2015, [cit. 2015-5-2]. <<http://www.mmspektrum.com/clanek/zakladni-aspekty-mazani-2.html> >
- [38] *MIDOL, s.r.o.* [online]. 2015, [cit. 2015-5-2]. <<http://www.midol.cz/linearni-technika>>
- [39] *American balls screw repairs*. [online]. 2010, [cit. 2015-5-2]. <<http://www.americanballscrewrepairs.com/our-company.html>>
- [40] *LTRADE STRORES s.r.o.* [online]. 2013, [cit. 2015-5-3]. <[http://www.qrshop.cz/antivibracni-podlozka-60-x-60-x-1-5-cm/#vice\\_informaci](http://www.qrshop.cz/antivibracni-podlozka-60-x-60-x-1-5-cm/#vice_informaci)>



- [41] *Frekvenční měniče, regulované pohony, servo motory, PLC –Control Techniques, Emerson a.s.* [online]. 2010, [cit. 2015-5-3].  
< <http://www.controltechniques.sk/>>
- [42] *MIDOL* [online]. 2008, [cit. 2015-5-5].  
<<http://www.midol.cz/profilova-vedeni>>
- [43] *Kollmorgen*. [online]. 2013, [cit. 2015-5-5]. < <http://www.kollmorgen.com/en-us/products/drives/servo/serviced-drives/s600/>>
- [44] *SM Motion Control GmbH*. [online]. 2015, [cit. 2015-5-5].  
<<http://www.smmotioncontrol.de/en/436-2/controls/sm-400>>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

CNC	Computer numerical controlled.
OC	Obráběcí centrum
NC	Numerical controlled.
PLC	Programmable logic controller (programovatelný logický automat)
CAD	Computer aided design (počítačem podporované projektování)
CAM	Computer Aided Manufacturing (Počítačová podpora obrábění)
FEM	Metoda konečných prvků
EN	Evropská norma
ČSN	Česká technická norma
ISO	International Organization for Standardization (mezinárodní organizace pro normalizaci)
3D	Trojdimenzionální
PC	Personal computer (osobní počítač)
KM	Krokový motor
AC	Asynchronní, alternating current (střídavý proud)
DS	Dostupnost stroje
VS	Výkonnost obráběcího stroje
UK	Úroveň kvality obráběcího stroje
SV	Stupeň využití stroje
CES	Celková efektivnost obráběcího stroje
TEEP	Totální efektivnost stroje

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Požadavky na CNC obráběcí stroje [1].....</i>	11
<i>Obr. 2 AC servopohony se servodriverem [18] .....</i>	12
<i>Obr. 3 Rozdělení soustružnických strojů a obráběcích center [1].....</i>	13
<i>Obr. 4 Morfologie soustružnického obráběcího centra Sprint [1] .....</i>	13
<i>Obr. 5 CNC vertikální obráběcí centrum 5-ti osé [19].....</i>	14
<i>Obr. 6 Multifunkční obráběcí centrum MULTICUT 630 [20].....</i>	15
<i>Obr. 7 Automatické vrtání otvorů [21] .....</i>	16
<i>Obr. 8 Broušení vnějších průměrů šikmým zápichem na stroji EJ 3 [22] .....</i>	17
<i>Obr. 9 Čtyřvřetenové obráběcí centrum Chiron TZ [23].....</i>	18
<i>Obr. 10 Tandemové provedení portálového obráběcího stroje FPPC 350/28 [24] ...</i>	18
<i>Obr. 11 Řezání vodním paprskem [25] .....</i>	19
<i>Obr. 12 Komplexní posuzování konstrukčních variant [1] .....</i>	20
<i>Obr. 13 Kompozice systematicky vedeného konstrukčního procesu [1].....</i>	21
<i>Obr. 14 Faktory a požadavky ovlivňující směry vývoje [7] .....</i>	22
<i>Obr. 15 Model frézky FNG40 CNC z TOS Čelákovice, polovina 70. let 20. stol [1] .</i>	23
<i>Obr. 16 Design kapotáže [26].....</i>	23
<i>Obr. 17 Multifunkční obráběcí centrum CTX delta 400 TC [27] .....</i>	24
<i>Obr. 18 Automatická výrobní linka [28].....</i>	24
<i>Obr. 19 Rozměry pracovních zón [9].....</i>	25
<i>Obr. 20 Základní funkční požadavky na přístup ke stroji [1] .....</i>	26
<i>Obr. 21 Ergonomicky vhodné rozmístění ovládacích panelů [9] .....</i>	26
<i>Obr. 22 Fyzikální vlastnosti materiálů [10].....</i>	27
<i>Obr. 23 Základní rám stroje z polymerbetonu [29].....</i>	28
<i>Obr. 24 Členění uložení obráběcích strojů na základ [12].....</i>	29
<i>Obr. 25 Pružné uložení soustavy [12].....</i>	30
<i>Obr. 26 Řez kuličkovým šroubem [30].....</i>	30
<i>Obr. 27 Princip valivého profilového vedení [31].....</i>	31
<i>Obr. 28 Servomotor s poháněným kuličkovým šroubem [32].....</i>	32
<i>Obr. 29 CNC vřeteno s kleštinovým upínačem nástroje [33] .....</i>	33
<i>Obr. 30 Elektronický zásobník nástrojů [34].....</i>	33
<i>Obr. 31 Morfologie automatické výměny nástrojů [7] .....</i>	34
<i>Obr. 32 Automatická výměna palet TOS [35].....</i>	35

<i>Obr. 33 Teleskopický kryt [36]</i> .....	36
<i>Obr. 34 Ukázka laserové realizace měření [1]</i> .....	37
<i>Obr. 35 Návrh obráběcího stroje s dvěma nosnými sloupy</i> .....	42
<i>Obr. 36 Navržený design stroje s ochrannými kryty</i> .....	43
<i>Obr. 37 Návrh rámu stroje</i> .....	44
<i>Obr. 38 Návrh ovládacího panelu</i> .....	44
<i>Obr. 39 Frézovací hlava [37]</i> .....	45
<i>Obr. 40 3D model CNC frézovacího stroje [15]</i> .....	47
<i>Obr. 41 Příklad různých typů vedení - nepodepřené a podepřené tyče [38]</i> .....	48
<i>Obr. 42 Kuličkový šroub [39]</i> .....	49
<i>Obr. 43 3D model nosného rámu stroje</i> .....	50
<i>Obr. 44 Fotografie svařeného rámu stroje</i> .....	51
<i>Obr. 45 Použitá antivibrační rohož z recyklované pryže [40]</i> .....	51
<i>Obr. 46 Řez osou X</i> .....	52
<i>Obr. 47 Obvodový rám pro umístění osy X</i> .....	52
<i>Obr. 48 Vložené nosníky posuvného stolu ve směru osy x</i> .....	53
<i>Obr. 49 Upínky portálových sloupů na rámu osy X</i> .....	53
<i>Obr. 50 Upnutí motoru v ose X</i> .....	54
<i>Obr. 51 Rozměry servomotoru CTM4-11 [41]</i> .....	54
<i>Obr. 52 Ložiskové pouzdro pro matici na ose X</i> .....	55
<i>Obr. 53 Uložení šroubu na rámu</i> .....	55
<i>Obr. 54 Vozíku THK SR20 [42]</i> .....	56
<i>Obr. 55 Rozmístění vedení a kuličkového šroubu</i> .....	56
<i>Obr. 56 Horní deska stolu stroje</i> .....	57
<i>Obr. 57 Pohybová soustava osy X</i> .....	57
<i>Obr. 58 Řez osou Y</i> .....	58
<i>Obr. 59 Rozložení nosných sloupů</i> .....	58
<i>Obr. 60 Spodní nosná deska osy Y</i> .....	59
<i>Obr. 61 Rozložený portál</i> .....	59
<i>Obr. 62 Kuličkový šroub pro osu Y</i> .....	60
<i>Obr. 63 Provedení uložení šroubu v ose Y</i> .....	60
<i>Obr. 64 Řemenový převod</i> .....	61
<i>Obr. 65 Lineární vedení v ose Y</i> .....	61

<i>Obr. 66 Řez osu Z</i> .....	62
<i>Obr. 67 Hlavní deska osy Z</i> .....	62
<i>Obr. 68 Rozložení osy Z</i> .....	63
<i>Obr. 69 Zkompletována osa Z</i> .....	63
<i>Obr. 70 Umístění osy Z k portálu</i> .....	64
<i>Obr. 71 Vřetena: vlevo Lenze a vpravo Teknomotor</i> .....	64
<i>Obr. 72 3D model stroje se zakrytváním</i> .....	65
<i>Obr. 73 Řez odvodem chladící emulze</i> .....	65
<i>Obr. 74 Servodriver Kollmorgen Servostar 603</i> .....	66
<i>Obr. 75 Zapojené drivery</i> .....	66
<i>Obr. 76 Základní schéma zapojení driverů [43]</i> .....	67
<i>Obr. 77 Zobrazení softwaru Drive [43]</i> .....	67
<i>Obr. 78 PLC ovládací jednotka SM 400 [44]</i> .....	68
<i>Obr. 79 Popis ovládací jednotky SM 400 [44]</i> .....	68
<i>Obr. 80 Úprava ovládacího panelu</i> .....	69
<i>Obr. 81 Schéma posuvu do referenčního bodu [44]</i> .....	69
<i>Obr. 82 Hlavní menu jednotky SM 400 [44]</i> .....	69
<i>Obr. 83 Měření pomocí úchylkoměru</i> .....	70
<i>Obr. 84 Měření pomocí optického odměřování</i> .....	70
<i>Obr. 85 Model (vlevo) a vyrobená součást (vpravo)</i> .....	71
<i>Obr. 86 Schéma principu 3D skeneru Atos II</i> .....	72
<i>Obr. 87 Poprášená součást</i> .....	73
<i>Obr. 88 Skenování zkušební součásti</i> .....	73
<i>Obr. 89 Zobrazení skenované součásti v softwaru ATOS Pro V8</i> .....	74
<i>Obr. 90 Výsledky tvarových změn</i> .....	74
<i>Obr. 91 Výsledek měření</i> .....	75
<i>Obr. 92 CNC frézka s vakuovým upínacím stolem</i> .....	76
<i>Obr. 93 Ukázka praktického využití zkonstruované CNC frézky</i> .....	77

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Prvotní rozpočet na realizaci stavby CNC frézky.....</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 2 Charakteristické veličiny servomotoru CTM4-11.4 .....</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 3 Základní rozměry vedení THK SR20 .....</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 4 Porovnání naměřených tolerancí s normou .....</i>	<i>75</i>
<i>Tab. 5 Porovnání předpokládaných a reálných nákladů.....</i>	<i>77</i>



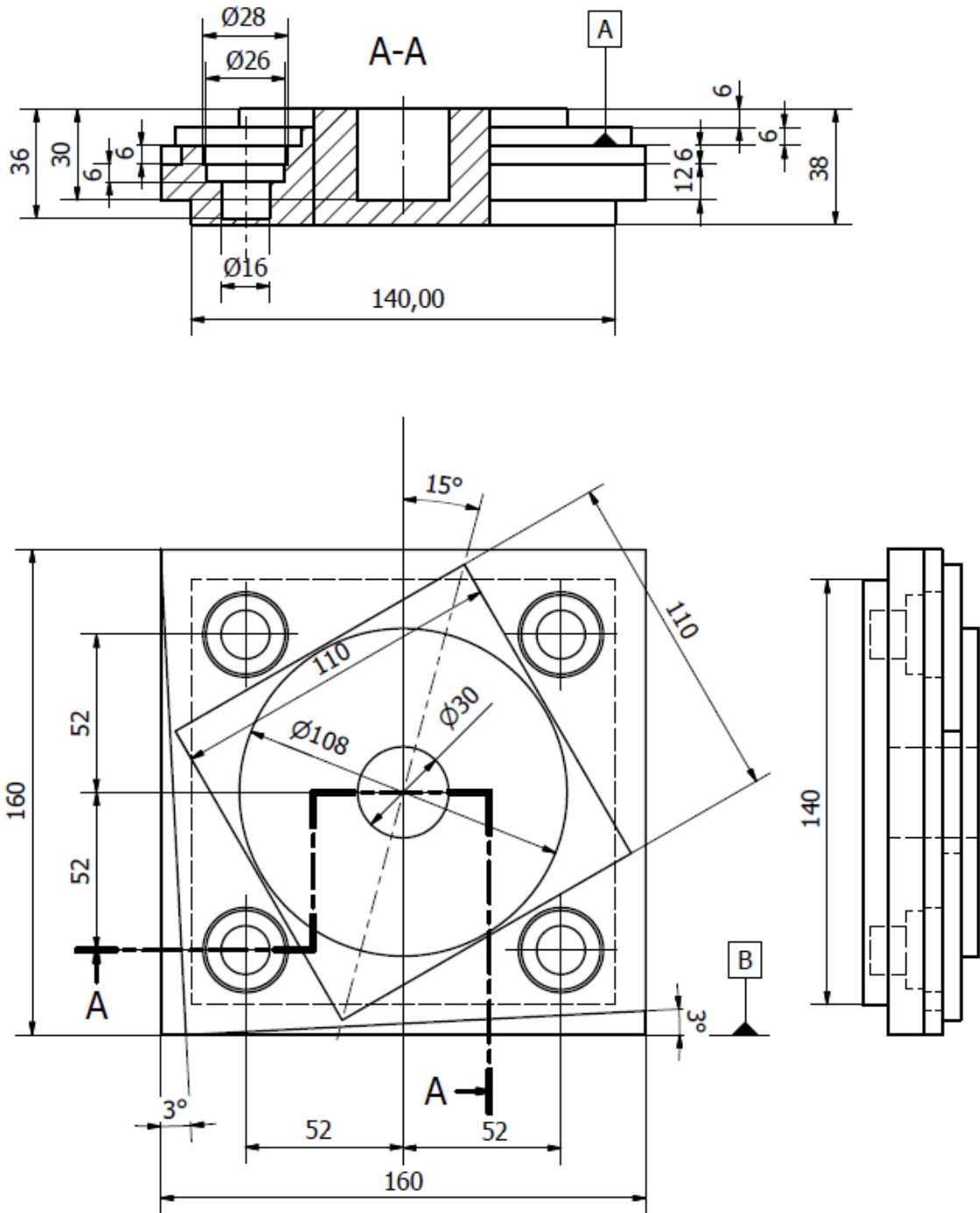
## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Rozměry testovací součásti

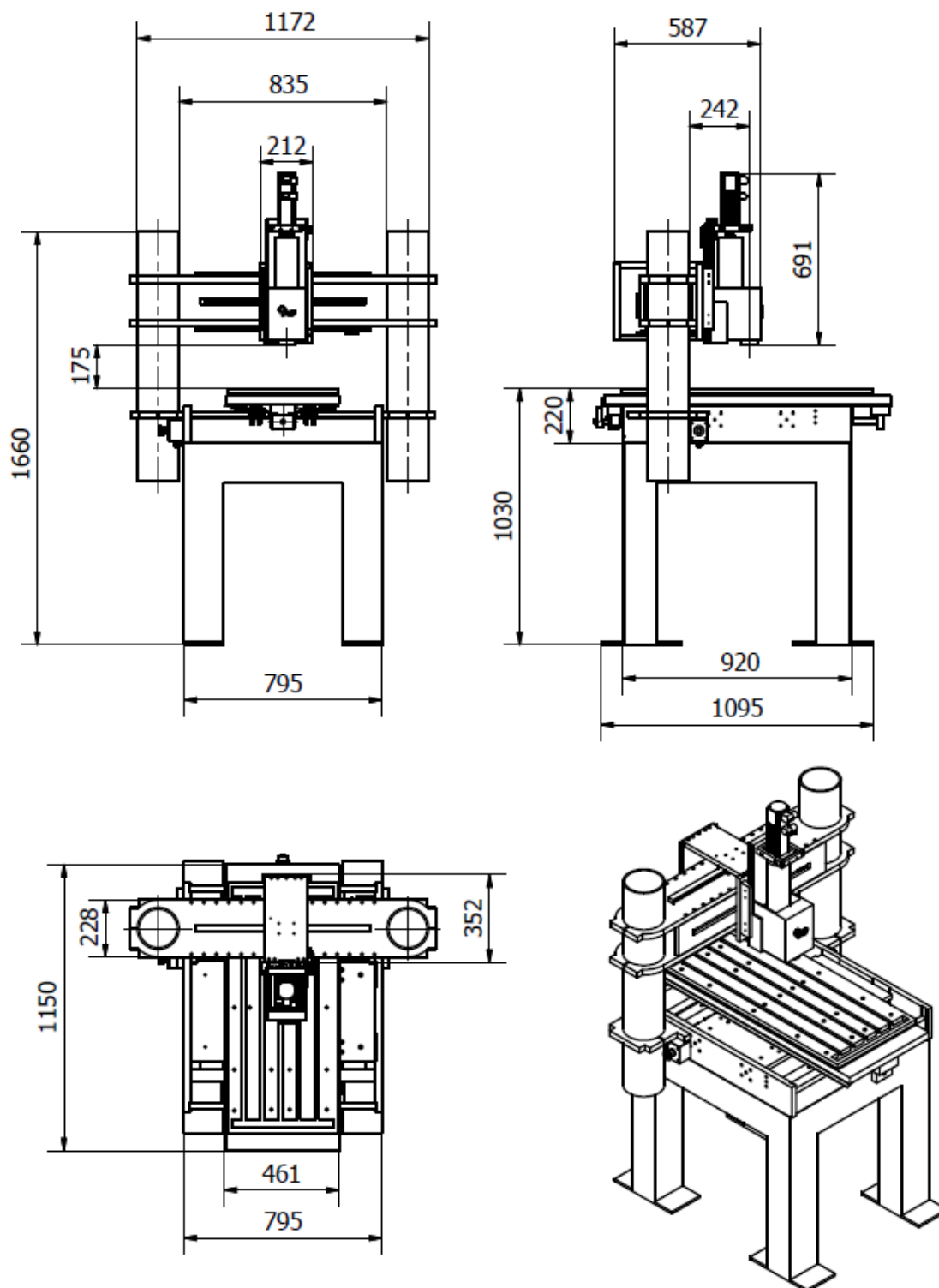
Příloha P II: Základní rozměry vyrobeného stroje

Příloha P III: CD disk

# PŘÍLOHA P I: ROZMĚRY TESTOVACÍ SOUČÁSTI



## PŘÍLOHA P II: ZÁKLADNÍ ROZMĚRY VYROBENÉHO STROJE



## **PŘÍLOHA P III: CD DISK**

- 3D model testovací součásti: testovací\_soucast.stp
- Model skenované součásti: obrobek.atos
- Výkres zkušební součásti: vykres\_soucast.pdf
- Výsledky měření: výsledky\_skenování.pdf
- Rozměry vyrobeného stroje: rozměry CNC frézka.pdf
- Video z průběhu stavby: stavba.mp4