

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2302T013 Stavba výrobních strojů a zařízení

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Konstrukce a design CNC frézky

Autor: **Bc. Jan Ferenc, DiS.**

Vedoucí práce: **Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**

Akademický rok 2019/2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

|                   |   |
|-------------------|---|
| Jméno a příjmení: | <b>Bc. Jan FERENC, DiS.</b>               |
| Osobní číslo:     | <b>S19N0054K</b>                          |
| Studijní program: | <b>N2301 Strojní inženýrství</b>          |
| Studijní obor:    | <b>Stavba výrobních strojů a zařízení</b> |
| Téma práce:       | <b>Konstrukce a design CNC frézky</b>     |
| Zadávací katedra: | <b>Katedra konstruování strojů</b>        |

### Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Zpracovat návrh konstrukce CNC frézky pro modelářské účely.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Všeobecná charakteristika frézovacích strojů umožňující CNC řízení
2. Charakteristika předpokládaných komponent stroje
3. Konstrukční návrh modelářské CNC frézky včetně návrhu osy X, Y, Z
4. Návrh designu modelářské CNC frézky
5. Ekonomicko-technické zhodnocení

Rozsah diplomové práce: **50-70 stran A4**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

MAREK, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2010

FOREJT, M., PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, toáření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006

PÍČ, J. *Obrábění : III. díl obráběcí stroje*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1957

ZELENKA, A., HANINGER, M. *Strojírnost II*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1984

BORSKÝ, V. *Základy stavby obráběcích strojů*. Brno: Vysoké učení technické, 1991

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů  
Konzultant diplomové práce: **Ing. et Ing. Vladislav Hajný, DiS.**  
SPŠ automobilní a technická České Budějovice  
Datum zadání diplomové práce: **16. října 2019**  
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



**Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**  
děkan



**Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Plzni dne 16. října 2019

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

**V Plzni dne:** .....

.....  
**podpis autora**

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval mé vedoucí diplomové práce Prof. Ing. Václavě Lašové, Ph.D., a konzultantům Ing. Petru Bernardínovi, Ph.D. a Ing. et Ing. Vladislavu Hajnému, DiS. za odborné vedení, poskytnutí cenných rad a připomínek, které mi byly velkým přínosem při řešení diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval své rodině a blízkým za podporu, kterou mi poskytovali po celou dobu mého studia.

# ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

|                      |  |                              |                         |
|----------------------|--|------------------------------|-------------------------|
| <b>AUTOR</b>         | Příjmení<br>Bc. Ferenc, DiS.                         | Jméno<br>Jan                 |                         |
| <b>STUDIJNÍ OBOR</b> | 2302T019 „Stavba výrobních strojů a zařízení“        |                              |                         |
| <b>VEDOUcí PRÁCE</b> | Příjmení (včetně titulů)<br>Prof. Ing. Lašová, Ph.D. | Jméno<br>Václava             |                         |
| <b>PRACOVISŤE</b>    | ZČU - FST - KKS                                      |                              |                         |
| <b>DRUH PRÁCE</b>    | <b>DIPLOMOVÁ</b>                                     | <del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del> | Nehodící se<br>škrtněte |
| <b>NÁZEV PRÁCE</b>   | Konstrukce a design CNC frézky                       |                              |                         |

|                |         |                |     |                    |      |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|
| <b>FAKULTA</b> | strojní | <b>KATEDRA</b> | KKS | <b>ROK ODEVZD.</b> | 2020 |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

|               |     |                     |     |                      |   |
|---------------|-----|---------------------|-----|----------------------|---|
| <b>CELKEM</b> | 119 | <b>TEXTOVÁ ČÁST</b> | 112 | <b>GRAFICKÁ ČÁST</b> | 7 |
|---------------|-----|---------------------|-----|----------------------|---|

|   |   |
|---|---|
| <p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS<br/>(MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL<br/>POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>                                       | <p>Cílem této diplomové práce bylo vytvoření takového konstrukčního návrhu CNC portálové frézky pro modelářské účely, aby bylo možné daný stroj vyrobit pomocí běžně dostupných konvenčních obráběcích strojů. Práce se skládá z několika kapitol, které popisují realizaci návrhu.</p> |
| <p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA<br/>JEDNOSLOVNÉ POJMY,<br/>KTERÉ VYSTIHUJÍ<br/>PODSTATU PRÁCE</b></p> | <p>CNC, frézka, modelář, model, Inventor, stroj</p>   |

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

|                          |   |   |
|--------------------------|---|---|
| <b>AUTHOR</b>            | <b>Surname</b><br>Bc. Ferenc, DiS.                                | <b>Name</b><br>Jan                            |
| <b>FIELD OF STUDY</b>    | 2302T019 „Design of Manufacturing Machines and Equipment”         |   |
| <b>SUPERVISOR</b>        | <b>Surname (Inclusive of Degrees)</b><br>Prof. Ing. Lašová, Ph.D. | <b>Name</b><br>Václava                        |
| <b>INSTITUTION</b>       | ZČU - FST - KKS   |   |
| <b>TYPE OF WORK</b>      | <b>DIPLOMA</b>  | <b>BACHELOR</b><br>Delete when not applicable |
| <b>TITLE OF THE WORK</b> | Construction and design of CNC milling machine                    |   |

|                |                        |                   |                |                     |      |
|----------------|------------------------|-------------------|----------------|---------------------|------|
| <b>FACULTY</b> | Mechanical Engineering | <b>DEPARTMENT</b> | Machine Design | <b>SUBMITTED IN</b> | 2020 |
|----------------|------------------------|-------------------|----------------|---------------------|------|

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

|                |     |                  |     |                       |   |
|----------------|-----|------------------|-----|-----------------------|---|
| <b>TOTALLY</b> | 119 | <b>TEXT PART</b> | 112 | <b>GRAPHICAL PART</b> | 7 |
|----------------|-----|------------------|-----|-----------------------|---|

|   |   |
|---|---|
| <b>BRIEF DESCRIPTION<br/>TOPIC, GOAL, RESULTS<br/>AND CONTRIBUTIONS</b> | The aim of this thesis was to create such a structural design of CNC gantry milling machine for modeling purposes, so that the machine can be produced using commonly available machine tools. The thesis consists of several chapters describing the implementation of the proposal. |
| <b>KEY WORDS</b>  | CNC milling machine, modeler, model, Inventor, machine  |

# Obsah

|   |    |
|---|----|
| Přehled použitých zkratk a symbolů.....   | 11 |
| 1. Úvod.....                              | 15 |
| 2. Historie.....                          | 16 |
| 3. Rozdělení frézovacích strojů.....      | 18 |
| 3.1 Konzolové frézky.....                 | 19 |
| 3.1.1 Frézka se svislým vřetenem.....     | 19 |
| 3.1.2 Frézka s vodorovným vřetenem.....   | 20 |
| 3.1.3 Frézka universální.....             | 21 |
| 3.2 Stolové Frézky.....                   | 22 |
| 3.3 Portálové frézky.....                 | 23 |
| 3.3.1 Horní gantry.....                   | 23 |
| 3.3.2 Spodní gantry.....                  | 24 |
| 3.3.3 S pohyblivým stolem.....            | 25 |
| 4. Základní konstrukční části stroje..... | 26 |
| 4.1 Rám stroje.....                       | 27 |
| 4.2 Pohonný systém vřetena.....           | 29 |
| 4.2.1 Přímá koncepce.....                 | 29 |
| 4.2.2 Klasická koncepce.....              | 30 |
| 4.2.3 Vřeteno.....                        | 31 |
| 4.3 Lineární posuvová soustava.....       | 32 |
| 4.3.1 Lineární vedení.....                | 32 |
| 4.3.1.1 Kluzné vedení.....                | 33 |
| 4.3.1.2 Valivé vedení.....                | 34 |
| 4.3.1.3 Hydrostatické vedení.....         | 35 |
| 4.3.2 Pohybové šrouby.....                | 36 |
| 4.3.2.1 Trapézové šrouby.....             | 36 |



|  |    |
|--|----|
| 4.3.2.2 Kuličkové šrouby .....                                 | 37 |
| 4.3.3 Pohon.....   | 38 |
| 4.3.3.1 Krokové motory .....                                   | 39 |
| 4.3.3.2 Servomotory .....                                      | 40 |
| 5. Konstrukce frézky .....                                     | 41 |
| 5.1 Volba parametrů stroje .....                               | 41 |
| 5.2 Volba konstrukce frézky .....                              | 42 |
| 5.2.1 Stanovení řezných sil – obvodové frézování.....          | 47 |
| 5.2.2 Stanovení řezných sil – čelní frézování.....             | 48 |
| 5.2.3 Stanovení řezných sil – vrtání do plného materiálu ..... | 49 |
| 5.3 Návrh osy X .....  | 52 |
| 5.3.1 Kontrola lineárního vedení osy X .....                   | 52 |
| 5.3.2 Kontrola kuličkového šroubu osy X.....                   | 55 |
| 5.3.3 Volba pohonu osy X.....                                  | 57 |
| 5.4 Návrh osy Y .....  | 61 |
| 5.4.1 Kontrola lineárního vedení osy Y .....                   | 61 |
| 5.4.2 Kontrola kuličkového šroubu osy Y.....                   | 64 |
| 5.4.3 Volba pohonu osy Y.....                                  | 66 |
| 5.5 Návrh osy Z.....   | 69 |
| 5.5.1 Kontrola lineárního vedení osy Z.....                    | 69 |
| 5.5.2 Kontrola kuličkového šroubu osy Z.....                   | 72 |
| 5.5.3 Volba pohonu osy Z .....                                 | 74 |
| 5.6 Pevnostní analýza rámu stroje.....                         | 77 |
| 5.6.1 Stanovení tuhosti na nástroji .....                      | 82 |
| 5.7 Ergonomie a design stroje .....                            | 83 |
| 5.8 Elektrická výzbroj stroje .....                            | 92 |
| 5.8.1 Napájecí zdroj .....                                     | 93 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.8.2 Hlavní vypínač a jištění stroje ..... | 93  |
| 5.8.3 Prvky řízení stroje .....             | 94  |
| 6. Finanční rozvaha .....                   | 96  |
| 7. Závěr.....                               | 100 |
| 8. Použité prameny a literatura.....        | 101 |
| 9. Seznam obrázků .....                     | 108 |
| 10. Seznam tabulek .....                    | 112 |

## Přehled použitých zkratk a symbolů

| <b>Symbol</b> | <b>Název symbolu</b>  | <b>Jednotka</b> |
|---------------|---|-----------------|
| $a$           | zrychlení šroubu  | m/s             |
| $a_e$         | šířka záběru  | mm              |
| $a_p$         | hloubka záběru  | mm              |
| $A_z$         | průřez třísky   | mm              |
| $C_0$         | statická únosnost   | N               |
| $C_{dvn}$     | dynamická únosnost  | N               |
| $d_k$         | malý průměr šroubu  | mm              |
| $d_m$         | dynamické poměry  | -               |
| $D_n$         | průměr nástroje   | mm              |
| $D_{nmax}$    | $D_n$ faktor  | -               |
| $d_s$         | jmenovitý průměr šroubu   | mm              |
| $D_v$         | průměr nástroje   | mm              |
| $f_1$         | efektivní součinitel valivého tření ve vodících plochách        | -               |
| $f_2$         | efektivní součinitel třetí $K_{sm}$ redukovaný na poloměr $K_s$ | -               |
| $f_3$         | efektivní součinitel tření redukovaný na poloměr čepu           | -               |
| $F_{ad}$      | dynamická axiální síla  | N               |
| $F_{amax.}$   | max. dovolená axiální síla                                      | N               |
| $F_{aš}$      | statická síla působící v ose šroubu                             | N               |
| $F_{at}$      | max. teoretická dovolená axiální síla                           | N               |
| $F_c$         | řezná síla  | N               |
| $F_c$         | tangenciální řezná síla   | N               |
| $F_f$         | síla posuvu   | N               |
| $f_h$         | faktor tvrdosti   | -               |
| $F_{os}$      | zatěžující síly   | N               |
| $F_{oz}$      | zatěžující síly   | N               |
| $F_p$         | předeprnutí kuličkového šroubu                                  | N               |
| $f_r$         | posuv na otáčku   | mm              |

|            |  |                   |
|------------|--|-------------------|
| $F_{ře}$   | řezná síla   | N                 |
| $f_{SM}$   | statická konstrukční bezpečnost                            | -                 |
| $f_t$      | faktor teploty   | -                 |
| $f_w$      | faktor zatížení  | -                 |
| $f_z$      | posuv na zub   | mm                |
| $f_z$      | posuv na zub   | mm/zub            |
| $g$        | gravitační zrychlení                                       | m·s               |
| $h$        | tloušťka třísky  | mm                |
| $h_m$      | průměrná tloušťka třísky                                   | mm                |
| $i$        | převodový poměr  | -                 |
| $J_m$      | redukovaný moment setrvačnosti<br>posuvových hmot          | kg·m <sup>2</sup> |
| $J_{mot.}$ | moment setrvačnosti motoru                                 | kg·m <sup>2</sup> |
| $J_{rhm}$  | celkový moment setrvačnosti redukovaný<br>na hřídel motoru | kg·m <sup>2</sup> |
| $J_s$      | moment setrvačnosti kuličkového šroubu                     | kg·m <sup>2</sup> |
| $J_{sp}$   | moment setrvačnosti spojky                                 | kg·m <sup>2</sup> |
| $k_c$      | měrná řezná síla   | MPa               |
| $k_c$      | měrná řezná síla   | MPa               |
| $k_{c1}$   | měrná řezná síla   | MPa               |
| $k_{c1}$   | měrná řezná síla   | MPa               |
| $k_d$      | koeficient uložení   | -                 |
| $k_f$      | bezpečností faktor   | -                 |
| $kk$       | koeficient kuličkového šroubu                              | -                 |
| $K_r$      | nástrojový úhel  | °                 |
| $K_r$      | úhel nastavení ostří                                       | °                 |
| $L$        | jmenovitá životnost  | m                 |
| $l$        | rozteč vozíků  | m                 |
| $l_1$      | vzdálenost řezné síly od středu vozíku                     | m                 |
| $l_2$      | vzdálenost zatěžující síly                                 | m                 |
| $l_3$      | vzdálenost řezné síly od středu                            | m                 |
| $L_h$      | životnost v hodinách                                       | hod.              |
| $l_{np}$   | nepodepřená délka šroubu                                   | N                 |

|                      |   |         |
|----------------------|---|---------|
| $l_y$                | rozteč vozíků v ose Y   | m       |
| $l_z$                | rozteč vozíků v ose Z   | m       |
| $m_c$                | exponent nárůstu měrné řezné síly                             | -       |
| $m_c$                | exponent nárůstu měrné řezné síly                             | -       |
| $m_{\text{celk}}$    | celková hmotnost  | kg      |
| $M_G$                | moment zátěže od třecích sil<br>přesouvaných hmot             | Nm      |
| $M_{GT}$             | moment tíhové složky  | Nm      |
| $M_{k\text{celk.}}$  | celkový krouticí moment                                       | Nm      |
| $M_{kd}$             | celkový moment zátěže redukovaný<br>na hřídel motoru          | Nm      |
| $M_{k\text{dyn}}$    | potřebná velikost momentu                                     | Nm      |
| $M_{k\text{min.}}$   | minimální moment motoru                                       | Nm      |
| $M_{ks}$             | celkový statický moment zátěže<br>redukovaný na hřídel motoru | Nm      |
| $M_{KSM}$            | moment zátěže od kuličkového hřídele                          | Nm      |
| $M_{kv}$             | krouticí moment vřetena                                       | Nm      |
| $m_o$                | max. hmotnost obrobku   | kg      |
| $m_s$                | hmotnost stolu  | kg      |
| $m_{sz}$             | hmotnost soustavy osy Z                                       | kg      |
| $M_x$                | příčná osa $M_x$  | Nm      |
| $M_y$                | příčná osa $M_y$  | Nm      |
| $M_z$                | hmotnost osy Z  | kg      |
| $M_z$                | příčná osa $M_z$  | Nm      |
| $n_{kr.}$            | krit. otáčky šroubu   | ot/min. |
| $n_{\text{max.}}$    | max. otáčky šroubu  | ot/min. |
| $n_{\text{š}}$       | otáčky šroubu   | ot/min. |
| $n_v$                | otáčky vřetene  | ot/min. |
| $P$                  | ekvivalentní zatížení   | N       |
| $P$                  | stoupání šroubu   | mm      |
| $P_1, P_2, P_3, P_4$ | tečné zatížení  | N       |
| $P_1, P_3$           | radiální zatížení $P_1, P_3$                                  | N       |
| $P_2, P_4$           | radiální zatížení $P_2, P_4$                                  | N       |

|                |   |         |
|----------------|---|---------|
| $P_v$          | výkon vřetene   | kW      |
| $P_v$          | výkon vřetene   | kW      |
| $t_{roz}$      | čas rozběhu   | s       |
| $v_c$          | řezná rychlost  | m/min.  |
| $v_c$          | řezná rychlost  | m/min.  |
| $v_f$          | rychlost posuvu   | mm/min. |
| $v_{rp}$       | rychlost posuvu   | mm/min. |
| $x$            | součinitel  | -       |
| $Z_n$          | počet zubů  | ks      |
| $Z_v$          | počet zubů  | ks      |
| $\alpha$       | úhel sklonu vedení                                      | °       |
| $\eta_{celk.}$ | celková účinnost  | -       |
| $\eta_L$       | účinnost jednoho válečkového ložiska                    | -       |
| $\eta_{L2}$    | účinnost kuličkových ložisek pro<br>oboustranné uložení | -       |
| $\gamma_o$     | nástrojový ortogonální úhel čela                        | °       |
| $\gamma_o$     | ortogonální úhel čela                                   | °       |
| $\eta_s$       | účinnost kuličkového šroubu                             | -       |
| $\eta_{s2}$    | účinnost kuličkového $K_{sm}$                           | -       |
| $\eta_v$       | účinnost vedení   | -       |

# 1. Úvod

Touha a snaha opracovávat materiál provází lidstvo již od pradávných dob. Dob, kdy člověk přestal zahazovat použité předměty, a začal si z nich vyrábět nástroje a následně i stroje.

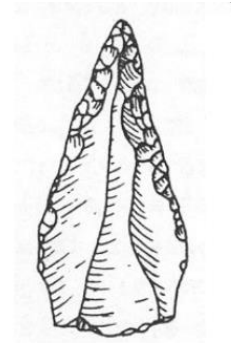
Postupem času s vzrůstající vyspělostí a kvalitou strojů a nástrojů se proces obrábění stal stále nepostradatelnějším, a to nejen z pohledu usnadnění a zefektivnění lidské práce, ale také z pohledu zábavy a seberealizace. V dnešní době využívá obrábění (v různé podobě) celá řada oborů, včetně oboru modelářského. Vyspělé technologie, víceosé obráběcí stroje a sofistikované i uživatelsky přívětivé softwary umožňují modelářům vytvářet zcela funkční a mnohdy i neuvěřitelné maketové modely, které lze během výroby dle potřeby kdykoli upravit. Díky tomu je v podstatě možné okamžitě a pružně reagovat na potřebu provedení konstrukčních změn návrhu na základě testování hotových komponent.

Současná doba nám nabízí mnoho technologických možností, např. CNC frézování, soustružení, řezání laserem aj.. Ne každý modelář má možnost využít všech těchto technologií a zpravidla je odkázán na někoho, kdo danou technologii poskytuje, popřípadě zprostředkovává, což s sebou často přináší problémy a zdržení.

Tento fakt mě vedl k tomu, navrhnout konstrukční řešení frézky pro modelářské účely.

## 2. Historie

Proces obrábění materiálů se neustále vyvíjí a adaptuje. Již v období starého paleolitu se objevují první známky opracování kamene tzv. štípaná industrie. S vývojem lidské mysli se vyvíjely a zdokonalovaly i metody výroby nástrojů, které postupovaly od štípaných a drobnými retusemi upravených pazourků ke složitějším nástrojům skládaných z více částí, které mohly být ještě dále upraveny např. broušením nebo leštěním.



V době, kdy se rané civilizace dostaly na vrchol rozvoje (cca 3 000 př. n. l.), se již objevovaly známky jednoduchých strojů, například ruční vrtačky pracující na principu luku z roku 2700 př. n. l.

Na sklonku patnáctého století našeho letopočtu přišel Leonardo Da Vinci s řešením popisující otáčející se soustruh v jednom směru, čímž příznačně zasáhl doposud stagnující rozvoj techniky v Evropě. V následujících letech také navrhl svislé a vodorovné vyvrtávačky.[1]

Největší rozmach získalo obrábění kovu s příchodem průmyslové revoluce v 18. století, kdy docházelo k přechodu z ruční výroby k tovární strojní velkovýrobě. V tomto období hrály významnou roli nové vědecké a technologické objevy, např. využití spirálovitých vrtáků zatočených z pásu pro obrábění kovu využívané od roku 1820. Dalším příkladem může být rok 1830, kdy byla v USA vyvinuta frézka. Roku 1839 přišel J. G. Bodmer, původem ze Švýcarska, s konstrukcí soustruhu se svislým vřetenem (karusel). V roce 1861 byl Italem G. Martignonim vyroben vrták s vyfrézovanou drážkou, přičemž stoupání drážek vrtáku bylo rozdílné dle materiálu. Roku 1873 byl v USA představen obráběcí automat Hartford. Jednalo se o CH. M. Spencerem vylepšený revolverový soustruh umožňující posouvání materiálu a výměnu nástrojů pomocí vaček a pák. [2]

V průběhu 40. let 20. století začíná do procesu obrábění vstupovat řízení a automatizace tzv. NC řízení (numeric control), které postihlo současně několik odvětví výroby obráběcích strojů. Zejména výrobu jednotlivých strojních komponent, řídicích systémů, strojních celků a dalších. Za zakladatele NC řízení je považován John T. Parsons z firmy Parsons Corp., kterému byl v roce 1942 nabídnut kontrakt na výrobu dřevěných vazníků listů rotorů helikoptér. Problémy plynoucí z výroby přivedly Parsonsona na myšlenku použití lisovaných kovových vazníků na místo dřevěných. Jako šablonu pro výrobu přípravku použil Parsons obrys vazníku, který byl definován sedmnácti body. Parsons roku 1946 přizval



ke spolupráci Franka Stulena ze společnosti Wright Field. Stulen pro pevnostní výpočty používal kalkulačky s děrnými kroužky. Tento princip byl použit i k sestavení obrysu vazníku dvěšestě body místo původních sedmnácti. Stulen vytvořil tabulky čísel, které sloužily k řízení jednotlivých os X a Y. Tato metoda se nazývá „metoda podle čísel“ (by the numbers). Postupem času se však ukázalo, že systém přímého řízení nedokáže dosáhnout potřebné přesnosti. Bylo proto nutné použít určitý systém zpětné vazby pro přímé měření polohy např. „selsyn“. Koncem 40. let byly jako pohonné jednotky použity elektricky řízené motory a elektromotory. Pro odměřování se pak používaly lineární či rotační odměřovací systémy a v případě polohování se využívalo optických principů. [3]

V 50. letech se rozvinul systém tzv. pravoúhlého řízení. Tento systém našel uplatnění především u jednoduchých strojů, např. vrtaček. V roce 1960 vytvořila americká firma Kearney & Trecker první frézovací centrum na nerotační součásti využívající tranzistorové NC systémy. Ve stejném období přichází německá společnost Siemens se svým prvním číslicovým řízením pro ovládání obráběcího stroje založeným na tzv. relé, které později dostává název Sinumerik. [4]

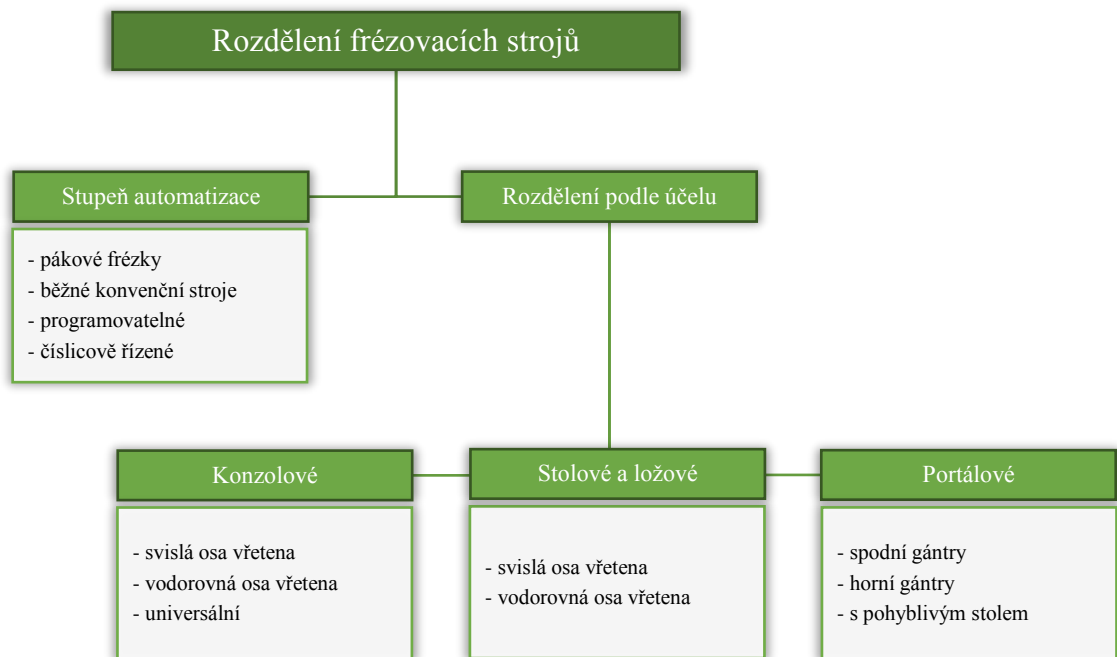
V 70. letech se v NC strojích začíná uplatňovat kuličkové, valivé a hydrostatické vedení. Paměť a funkce umožňující editaci programů v NC systémech dodala americká firma Westinghouse. V roce 1972 učinila významný krok společnost FANUC, která založila první obráběcí centrum CNC FANUC ROBODRILL, a tím posunula vývoj NC strojů k CNC. Tyto systémy jsou založené na technologii počítačového číslicového řízení. [5]

Rozkvět techniky pro CNC obrábění se nejvíce promítl v 80. letech. Řídicí systémy měly aplikovány multiprocessorové mikropočítačové struktury na bázi CNC/PLC. V technologii třískového obrábění se také značně prosazovala frézovací a soustružnická centra. Ve strojích jsou nově montovány specifická čidla pro rozpoznání a sledování pohybu objektů.

Rozech CNC strojů dále narůstal i v 90. letech. V současné době se programátoři nejvíce věnují vývoji synchronizace Hardware a Software, sloučení CAD/CAM systémů do CNC strojů, efektivnějšímu řízení prostřednictvím externích počítačových stanic i vývoji v oblasti umělé inteligence. [6]

### 3. Rozdělení frézovacích strojů

Trh nabízí širokou škálu frézovacích strojů dle účelu, provedení, velikostí a výkonů. Frézky jsou považovány za nejvýkonnější a nejčastější obráběcí stroje, které umožňují obrábění rovinných ploch, drážek, závitů, ozubených kol apod. Vlastního procesu obrábění je dosahováno pomocí mnohobřitého nástroje, jehož břity vnikají do materiálu postupně, čímž je generovaná cyklicky se měnící hodnota řezné síly. Z tohoto důvodu dochází ke vzniku chvění stroje. Proto je kladen důraz na vysokou statickou a dynamickou tuhost stroje. [7]



Obrázek 2 Rozdělení frézovacích strojů [8]

### 3.1 Konzolové frézky

Jedná se o nejrozšířenější druh frézek, které svou konstrukcí umožňují obrábět rovinné a tvarové plochy malých a středně velkých obrobků převážně v kusové a malosériové výrobě. Všechny typy konzolových frézek disponují pohyblivou svisle přestavitelnou konzolou, na které jsou umístěny příčné saně a podélný stůl.

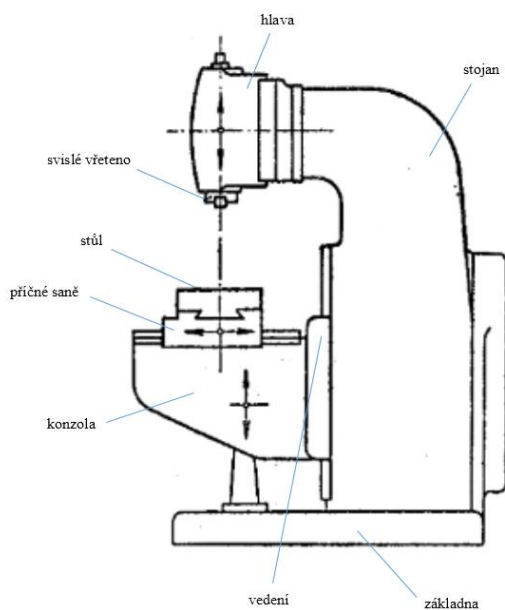
Frézky rozlišujeme podle způsobu uložení vřeteně, a to na frézky se svislým vřetenem, s vodorovným vřetenem a frézky univerzální.

#### 3.1.1 Frézka se svislým vřetenem

Jak název napovídá, osa pracovního vřeteně má svislý směr kolmý na pracovní plochu stolu. Vlastní vřeteně je uloženo v hlavě stroje zpravidla pomocí valivých ložisek (válečkových, kuželíkových) tak, aby bylo dosaženo tuhého a přesného uložení. Dle potřeby je možné hlavu natočit na jednu nebo druhou stranu v rozsahu desítek stupňů.

Aby bylo možné pohybovat obrobkem, popřípadě jej přestavovat do požadované polohy, je stroj vybaven ručními, strojními nebo kombinací obou druhů pohonů.

Jsou vhodné k obrábění rovinných ploch čelními frézami a k čelnímu frézování drážek.[9]



Obrázek 4 Kinematické schéma svislá konzolová frézka [11]



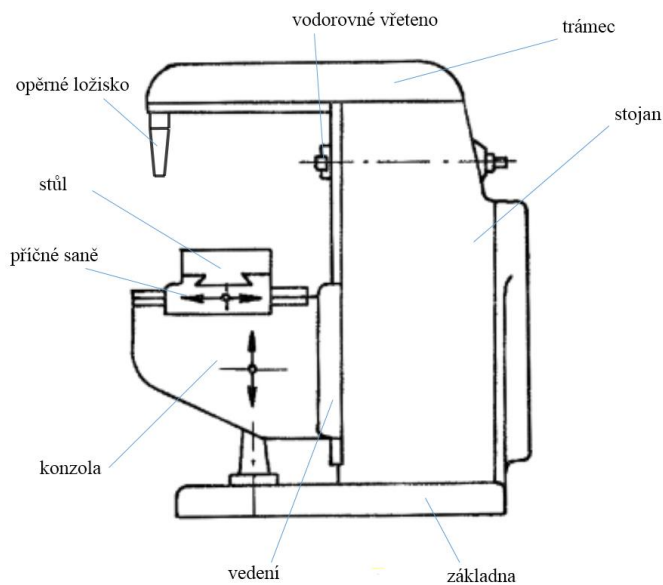
Obrázek 3 Frézka TOS FA 4 [10]

### 3.1.2 Frézka s vodorovným vřetenem

Tyto frézky se vyznačují vodorovnou osou pracovního vřetena kolmou na směr pohybu pracovního stolu a vodorovnou s plochou stolu. Frézky umožňují obrábění ploch a otvorů pomocí nástrojů upnutých přímo na vřetení stroje, tím částečně pracují jako horizontální vyvrtávací stroje.

Další možností je využití průběžného frézovacího trnu, který je zasazen na jedné straně pomocí kuželové stopky v dutině vřetena stroje a na straně druhé pomocí jednoho nebo dvou podpěrných ložisek. Ložiska jsou posuvně uložena na rameni (trámci) nebo válcových tyčích stroje.

Jsou vhodné pro výrobu tvarových ploch, drážek a ozubení pomocí kotoučových, válcových a tvarových fréz. [12]



Obrázek 6 Kinematické schéma vodorovná konzolová frézka [14]

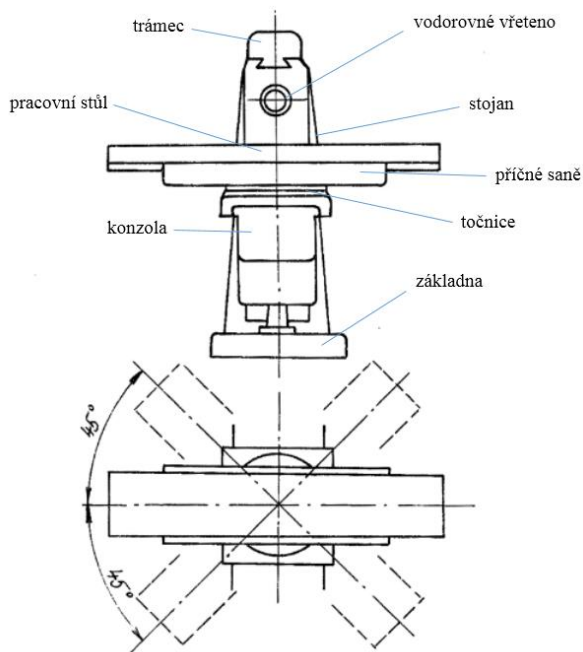


Obrázek 5 TOS FA 3 AH [13]

### 3.1.3 Frézka universální

Konstrukce universálních frézek je v podstatě stejná jako u frézek s vodorovně uloženým vřetenem s tím rozdílem, že umožňují natáčení pracovního stolu kolem svislé osy v rozsahu  $45^\circ$  na jednu i druhou stranu. Díky této funkci a vhodného příslušenství, jako je universální dělicí přístroj, svislá frézovací hlava, otočný stůl a jiné, jsou nedílnou součástí např. nástrojařských dílen.

Jsou vhodné k výrobě nástrojů (závitníků, výstružníků.), šroubových drážek, šneků, ozubení atd.[15]



Obrázek 7 TOS FAU 5 [17]

Obrázek 8 Kinematické schéma universální konzolová frézka [16]



Obrázek 9 Frézka universální s dělicím přístrojem [18]

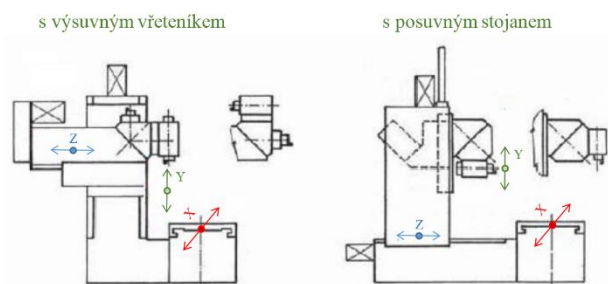
## 3.2 Stolové Frézky

Za nástupce konzolových frézek lze do jisté míry považovat frézky stolové. Absence konzoly v jejich konstrukci dodává stroji vyšší tuhost a přesnost. Hlavní předností je neměnná přesně definovaná výška stolu. Základními částmi stroje jsou lože, stojan, vřeteník a pracovní stůl.

Lože nese stojan, který může být usazen pevně (s výsuvným vřeteníkem) nebo pomocí vedení pohyblivě (s posuvným stojanem). Dostatečně dimenzované vodící plochy jsou zpravidla řešeny jako kalené plochy s protiplochou obloženou plastem (např. Turcit). Tím je docíleno dobrých tlumících a dynamických vlastností.

Charakteristickým znakem „klasické“ koncepce stolových frézek je pracovní stůl pojíždějící v podélném a příčném směru. Avšak zvyšováním výkonosti a kvality obrábění se při konstrukci jednotlivých uzlů klade důraz na maximální tuhost. Upouští se tedy od „klasické“ koncepce využívající křížový pracovní stůl. U novějších typů strojů se využívá stolu pohybujícího se pouze v podélném směru. Vynecháním příčného směru se dosahuje razantního zvýšení tuhosti stroje.

Stolové frézky jsou vyráběny ve dvou provedení, a to ve vodorovném a svislém, které uplatňujeme při obrábění větších a těžších obrobků.[19]



Obrázek 10 Schéma pohybu jednotlivých os [20]



Obrázek 11 TOS VALUE FUT [21]



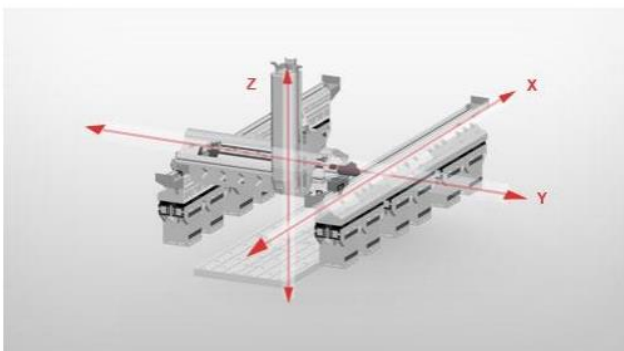
### 3.3 Portálové frézky

Portálové frézky patří do skupiny frézek rovinných, které se konstrukčně podobají frézám stolovým. Jak již název napovídá, typickým znakem této konstrukce je portál, tvořený dvojicí tuhých sloupů spojených příčkou, po které pomocí vedení pojíždí vřeteník. Dalšími částmi stroje jsou rám, upínací stůl a vedení. Portálové frézky dělíme podle konstrukčního provedení vedení portálu na frézky typu horní gantry, spodní gantry a s pohyblivým stolem.

Jedná se o velmi výkonné a přesné stroje nacházející uplatnění zejména při obrábění rovinných a tvarových ploch, dále pak při výrobě skříňovitých součástí v automobilovém a leteckém průmyslu.[22]

#### 3.3.1 Horní gantry

U tohoto provedení portálové frézky nedochází k pohybu celého portálu, nýbrž jen k pohybu samotné příčky s vřeteníkem. Ta se pohybuje pomocí dvojice synchronních pohonů a vedení uloženého na horní straně sloupů (stěn), které jsou pevně spojeny se základem. Díky nižší hmotnosti, kterou je nutné pohybovat, je dosaženo lepší dynamiky stroje. Pod příčkou se nachází nepohyblivě uložený pracovní stůl s přesně definovanou výškou, opatřeným T-drážkami. Tato koncepce umožňuje obrábět tvarově složité a rozměrné obrobky zejména pro automobilový a vlakový průmysl.[23]



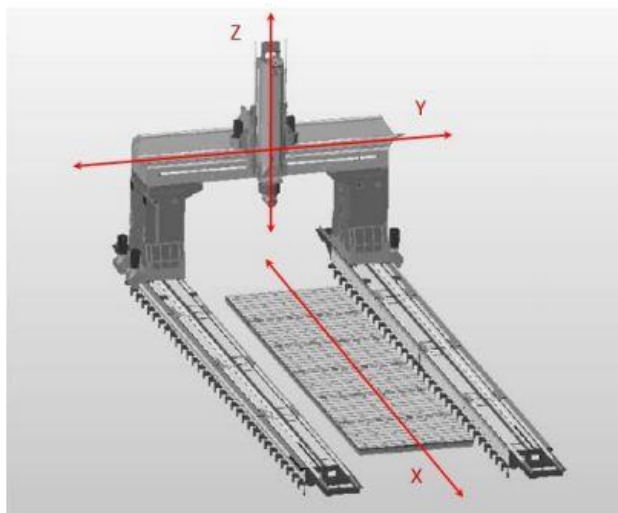
Obrázek 12 Schéma pohybu jednotlivých os horní gantry [24]



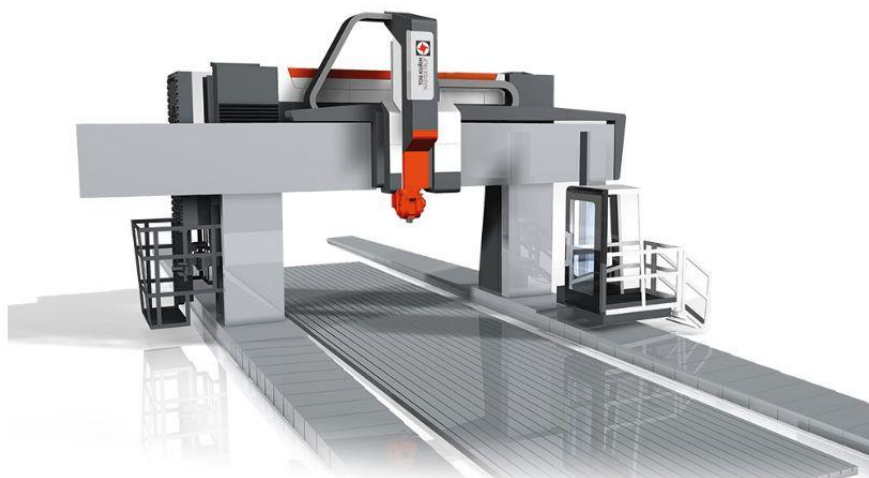
Obrázek 13 FPPC Týc s.r.o. [25]

### 3.3.2 Spodní gantry

Tento typ se od předchozího liší především pohybujícím se portálem, který se pohybuje taktéž nad pevně uloženým stolem s přesně definovanou výškou. Vedení portálu je realizováno ve spodní části stroje. O pohyb portálu se stará dvojice synchronizovaných pohonů. Jelikož se většinou jedná o stavebnicové verze strojů s rozmanitým příslušenstvím, je možné stroje uplatnit jako vrtací, vyvrtávací, frézovací a soustružnická centra. V případě využití výškově přestavitelného příčnicku, lze tyto operace aplikovat i na velmi vysokých, rozměrných a hmotných obrobcích.[26]



Obrázek 15 Schéma pohybu jednotlivých os spodní gántry [28]

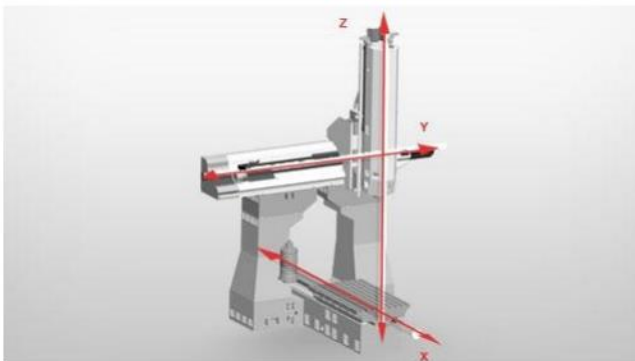


Obrázek 14 TOS FRU [27]

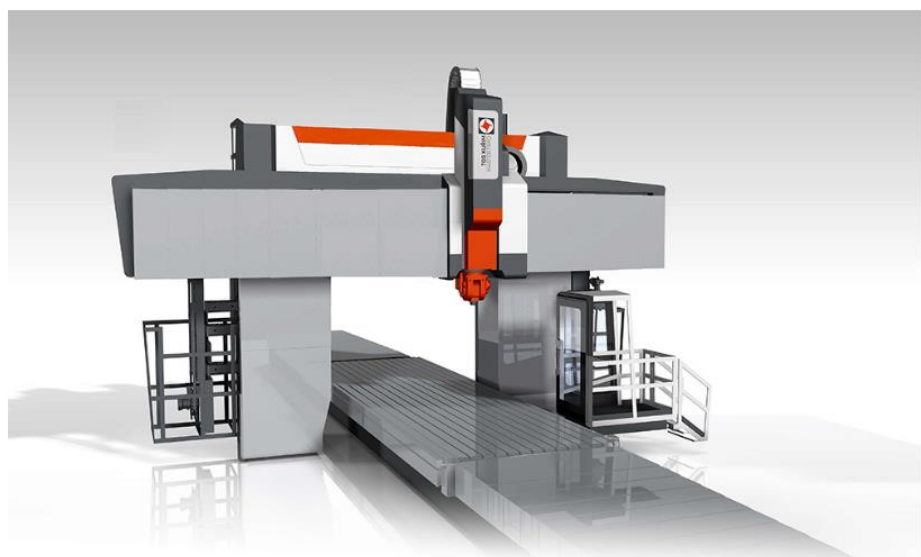


### 3.3.3 S pohyblivým stolem

Od obou výše zmíněných konstrukcí se tato frézka liší uložením portálu a pracovního stolu. A to tak, že portál tvořený sloupy a příčkou je pevně spojen s ložem, na němž se ve směru osy X pohybuje pracovní stůl. Tato konstrukce přispívá jak ke zvýšení tuhosti stroje, tak ke zjednodušení řízení osy X, jelikož odpadá potřeba dvou synchronizovaných pohonů. Pro dosažení bezproblémového provozu je nutné využití vhodného krytování vodící plochy pracovního stolu. Portálové frézky s pohyblivým stolem mají zpravidla větší délku lože, nežli výše zmiňované typy a jsou vhodné zejména pro obrobky menší hmotnosti.[29]



Obrázek 17 Schéma pohybu jednotlivých os pohyblivý stůl [31]



Obrázek 16 TOS FRP [30]

## 4. Základní konstrukční části stroje

V této kapitole budou popsány komponenty, které budou použity při návrhu jednotlivých konstrukčních celků stroje. Jedná se o:

- Rám stroje
- Pohonný systém vřetena
- Lineární posuvová soustava
- Elektrická výzbroj stroje

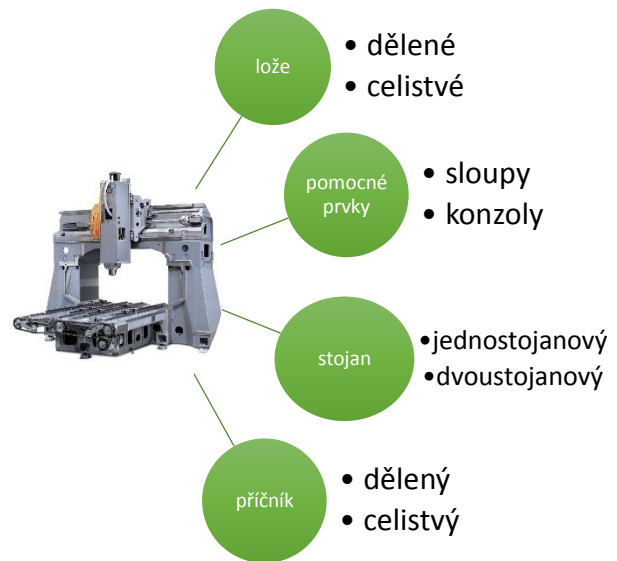


Obrázek 18 Základní konstrukční části stroje [32]

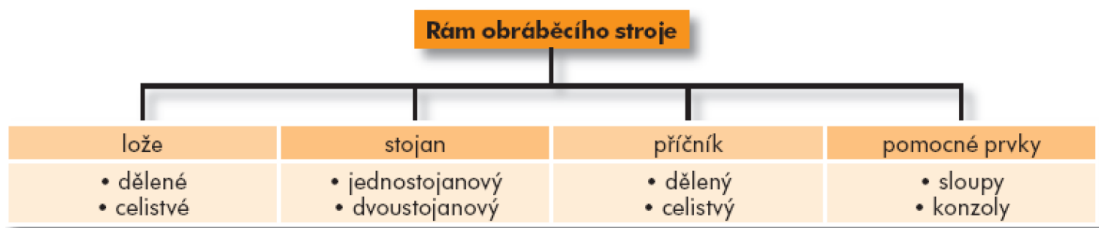
## 4.1 Rám stroje

Rám je základním prvkem obráběcích strojů tvořený několika základními částmi (ložem, stojany, příčnky, konzolami), které svojí tuhostí, odolností proti opotřebení, dynamickou a tvarovou stálostí mají zásadní vliv na přesnost obrábění. Požadavky, které je nutné brát v úvahu při návrhu těchto částí, lze shrnout do několika stručných bodů.[33]

- kvalitní materiál rámu
- dobrá statická tuhost
- dynamická a tepelná stabilita
- umožnění odvodu třísek
- jednoduchá výroba
- malá hmotnost
- snadná manipulovatelnost
- dobré uložení na základ



Obrázek 19 Morfologie rámu obráběcího stroje [34]

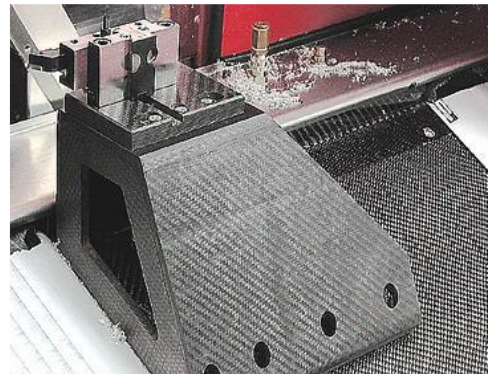


Obrázek 20 Druhy materiálů [35]

Ke konstrukci rámu lze využít různé materiály i různé způsoby výroby (odlévání, svařování). Jedním z nejpoužívanějších materiálů k výrobě rámu je šedá litina, zejména díky ekonomické výhodnosti u větších sériích, dobrému vnitřnímu tlumení a obrobitelnosti. Její nevýhodou je malý modul pružnosti a nevhodnost použití pro malé série z hlediska cen forem a jader. Vzhledem k vlastnostem litiny jsou odlévané díly těžší než díly svařované zejména kvůli nutnosti využití tlustších stěn a hustšího žebrování.[36]

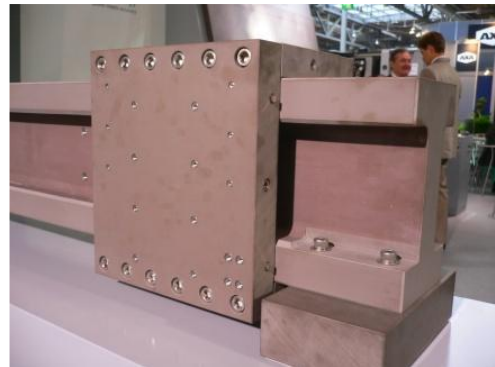
Při konstrukci strojů v malých počtech či jednotlivých kusech je vhodné volit svařované konstrukce rámu. Lze tak vyrábět tvarově složité díly s velkými přechody tlouštěk stěn při zachování vysoké hodnoty modulu pružnosti. Nevýhodou takových konstrukcí je jednak vnitřní pnutí vzniklé svařováním rámu a také, že z pravidla nelze využít základní materiál pro výrobu vodících ploch. Ty je nutno tvořit pomocí lišt z vhodného materiálu (umělá hmota, barevný kov, kalené ocele) přišroubovaných či přivařených k vlastnímu rámu. V dnešní době již však nejsou výjimkou rámy zhotovené z nekonvenčních materiálů. Do této kategorie můžeme zařadit například:

Vláknové kompozity na bázi uhlíkových vláken. Tyto materiály se vyznačují vynikajícími hodnotami modulu pružnosti, tepelnou stálostí a vyšším materiálovým tlumením. Výroba dílů je však nákladná, přičemž pro jejich spojení s ostatními díly je zapotřebí komplikovaných spojovacích prostředků.[37]



Obrázek 21 Díl z vláknových kompozitu [38]

Keramické materiály na bázi hliníku a křemíku. Disponují velmi nízkou hodnotou tepelné roztažnosti, vynikající rozměrovou stálostí a lze je opracovávat pomocí třiskového obrábění. Nevýhodné jsou z pohledu nákladů na výrobu a složitého spojování s ostatními díly.[39]



Obrázek 22 Díl z keramických materiálů [40]

Polymerní a vysokopevnostní betony. Jsou zpravidla využívány jako materiál pro vylévání vnitřních prostor ocelových nebo litinových dílů, popřípadě k výrobě vlastních dílů odléváním do forem. Formy jsou vyráběny jak dřevěné (menší počet odlití), tak kovové (vhodné pro sériovou výrobu). Polymerbetony se tlumením vibrací řadí na úroveň litiny. Před vlastním odlitím je možné do formy instalovat elektrické i fluidní rozvody. Nevýhodou těchto materiálů je nákladná výroba, komplikované spojení s ostatními díly a v podstatě minimální možnost zásahu do hotového dílu.[41]

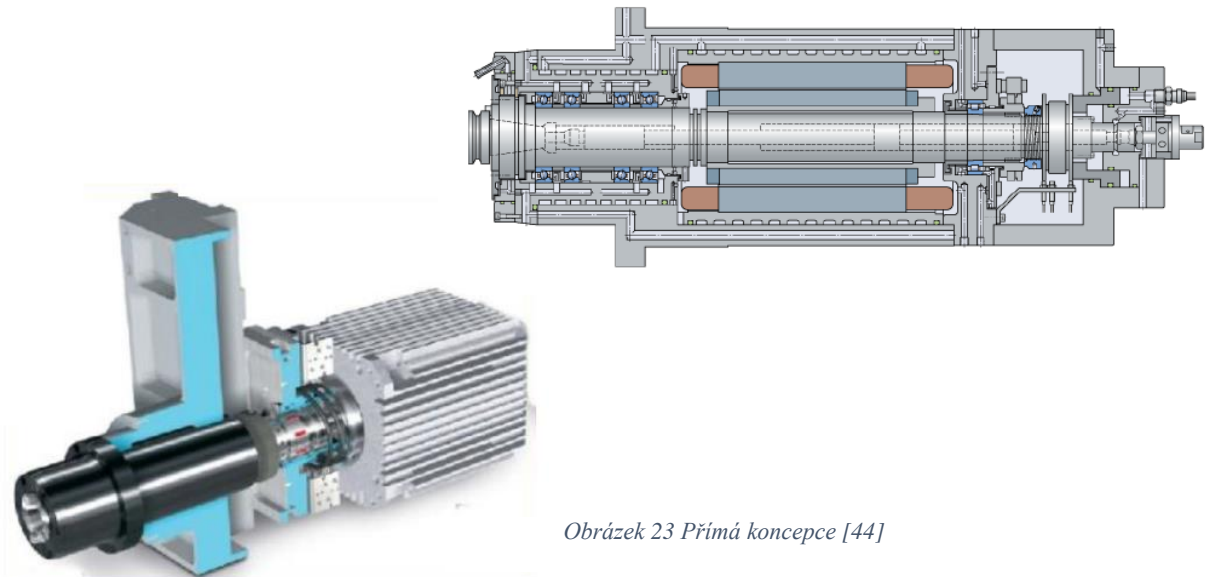
## 4.2 Pohonný systém vřetena

Pohonný systém tvořený hnacím členem, náhonem, mechanismem (např. převodový) a výstupním členem (vřetenem) spotřebovává mechanickou energii k tvorbě a odvodu třísky z místa řezu vznikajícího relativním pohybem mezi nástrojem a obrobkem.

Rozlišujeme dvě základní koncepce pohonného systému, a to přímou (elektrovřetena) a klasickou (hnací člen + převodovka). Obě tyto koncepce by měly zajistit dostatečný otáčkový rozsah při zachování konstantního výkonu a možnosti nastavení optimální řezné rychlosti.[42]

### 4.2.1 Přímá koncepce

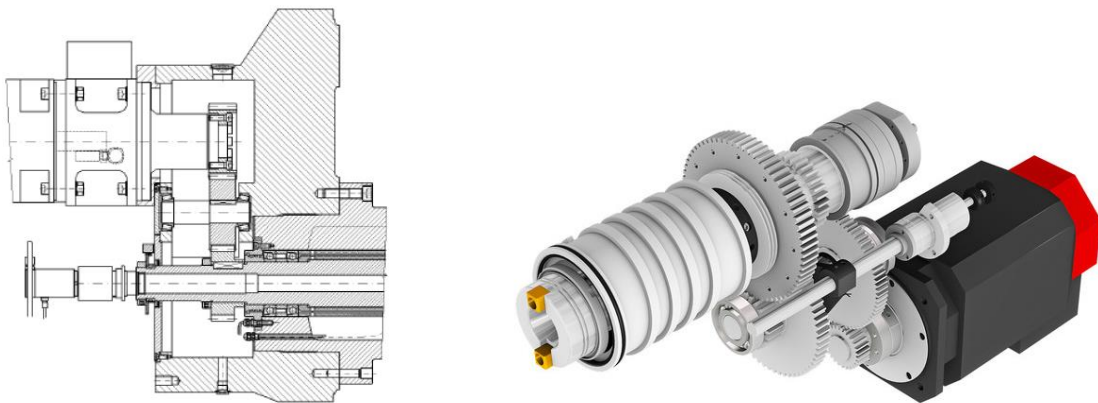
Přímou koncepci charakterizuje integrovaný pohon ve vřetení, jehož rotor je součástí vřetenové hřídele, a přímý pohon pomocí zubové spojky. Tyto varianty se využívají především pro vysokorychlostní obrábění. Nevýhodou integrovaného pohonu je vlastní motor. Ten při provozu vytváří značné množství tepla, které nevhodně ovlivňuje vřeteno a tím i přesnost. Z tohoto důvodu je součástí vřeten chlazení tvořené soustavou kanálů.[43]



Obrázek 23 Přímá koncepce [44]

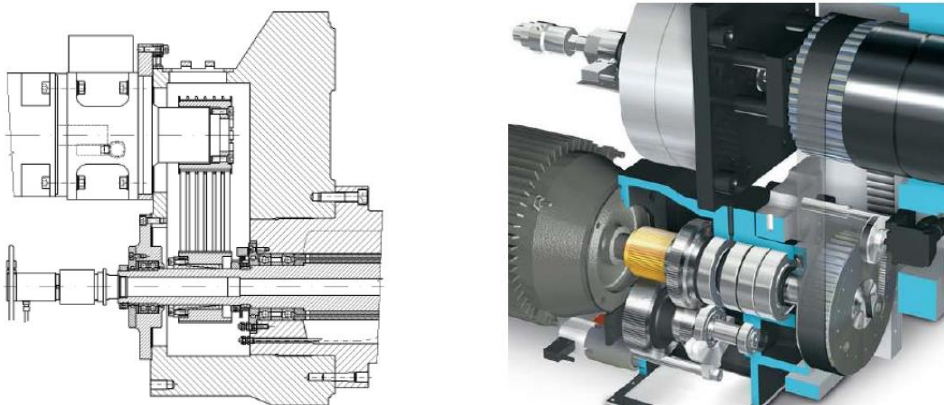
## 4.2.2 Klasická koncepce

Klasická koncepce je tvořena vloženým převodem, který je realizován buď ozubenými koly, nebo řemenem (klínový, drážkový). Náhon vřetena pomocí ozubených kol se využívá v případech, ve kterých vyžadujeme nízké otáčky a vysoké momenty. K výhodám patří snadná změna převodového poměru, nenáročná údržba a vyšší životnost. Nevýhodou je nižší účinnost převodu, generování vibrací a teplo vznikající třením mezi zuby (mazání).[45]



Obrázek 24 Klasická koncepce – převod s ozubenými koly [46]

Náhon vřetena pomocí řemenového převodu se využívá jednak pro nízké otáčky a vysoké momenty, ale také pro vysoké otáčky a nízké momenty. Používají se klínové (prosté spojení) a ozubené řemeny (přesné polohování). K výhodám patří vyšší účinnost, tlumení vibrací a klidný chod. Mezi nevýhody řemenových převodů patří nízká životnost způsobená stárnutím řemene a vyšší namáhání ložisek vlivem předepnutí řemene. [47]



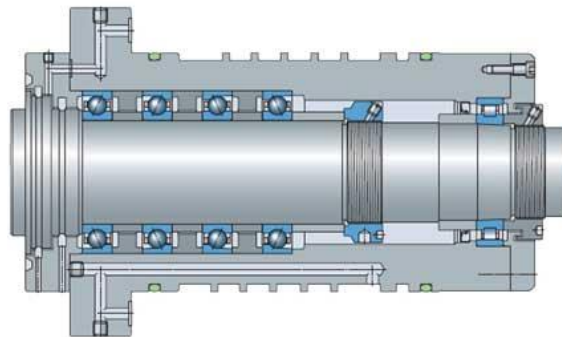
Obrázek 25 Klasická koncepce - řemenový převod [48]



### 4.2.3 Vřeteno

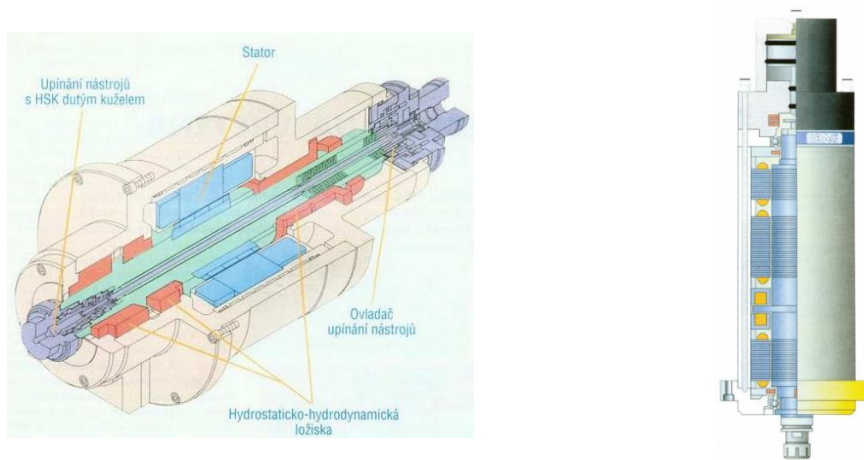
Vřeteno je nejdůležitějším prvkem hlavního pohonného systému, které svou konstrukcí přímo ovlivňuje celkovou přesnost stroje a kvalitu obráběných ploch. Z tohoto důvodu jsou na vřetena kladeny vysoké požadavky, jako např. přesnost chodu, dokonalé vedení, minimální ztráty v uložení, tuhost a v neposlední řadě životnost a spolehlivost.

Vřetenová hřídel s upínací plochou nástroje je z pravidla uložena ve valivých ložiscích a to tak, že přední část vřetenové hřídele je podepřena dvojicí ložisek s požadavkem na vyšší přesnost vedení (radiální házení), a zadní část hřídele je uložena pomocí axiálního ložiska běžné přesnosti.[49]



Obrázek 26 Valivé uložení vřetene [50]

Valivé uložení však není jediným používaným způsobem uložení hřídele vřeten. Zpravidla u elektrovřeten se můžeme setkat, např. s uložení aerostatickým (vzduchové), hydrostatickým popřípadě magnetickým.



Obrázek 27 Hydrostatické a magnetické uložení vřetene [51]

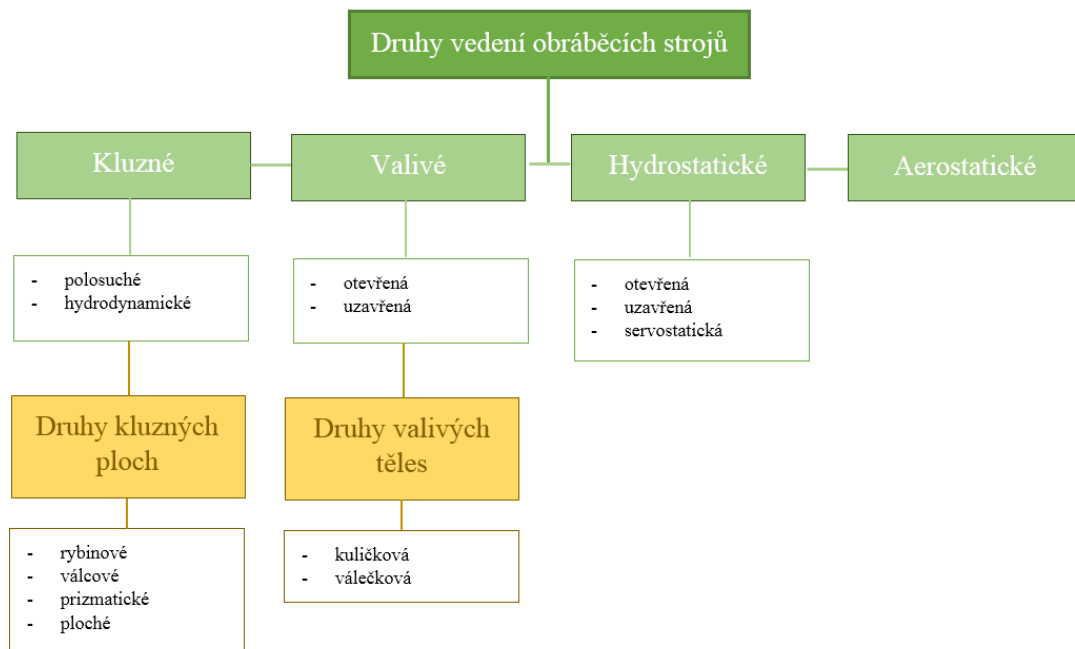
## 4.3 Lineární posuvová soustava

### 4.3.1 Lineární vedení

Lineární vedení je systém vodících ploch umožňující vzájemný styk, přesně definovaný pohyb jednotlivých pohyblivých částí stroje (stoly, saně, smykadla) a přenos zatížení z jednoho dílu na druhý. Obecně požadované vlastnosti na vedení jsou:

- přesnost vodících drah
- minimální vůle
- vysoká tuhost a tlumení
- odolnost proti opotřebení
- malé pasivní odpory

Všechny výše zmíněné vlastnosti přímo ovlivňují zejména přesnost stroje, dynamickou stabilitu a kvalitu obrábění.[52]



Obrázek 28 Druhy vedení obráběcích strojů [53]



### 4.3.1.1 Kluzné vedení

Tento druh vedení se ve velké míře používal u starších strojů, jako jsou například konzolové frézky či hrotové soustruhy. Dnes se s tímto druhem vedení můžeme setkat u velkých strojů nebo tam, kde potřebujeme přenést vysoká zatížení.

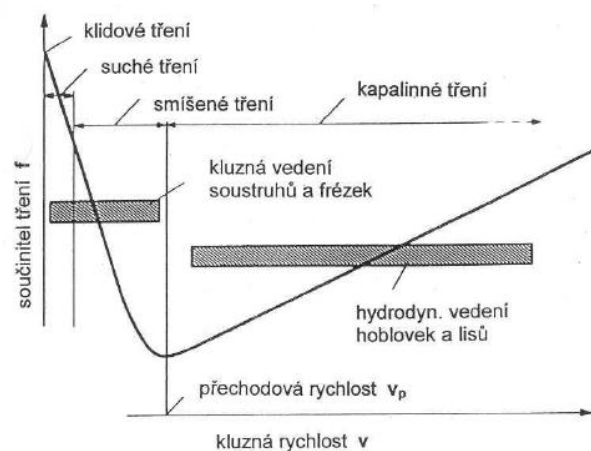
Kluzná vedení dělíme na vedení s polosuchým třením, u kterých vlivem nedostatečné mazací vrstvy dochází k neustálému styku po sobě se pohybujících se ploch. Vznikají tak vysoké pasivní odpory a vůle, jsou však nenáročná na výrobu a údržbu.

Dalším druhem jsou vedení hydrodynamická, u nichž se využívá hydrodynamického vztlaku k vytvoření kapalinného tření. Vztlak vzniká na principu pohybu nakloněné desky v proudu kapaliny. Kapalinné tření však vzniká až při vyšších rychlostech.

Obě tato vedení jsou tedy náchylná na vznik trhavých pohybů. Tomuto jevu lze předejít volbou různých materiálů kluzných ploch či obložením vodících ploch jiným materiálem (Metaloplast, Turcite B).[54]



Obrázek 30 Kluzné vedení [56]



Obrázek 29 Diagram vzniku trhavých pohybů [55]

### 4.3.1.2 Valivé vedení

Současná doba klade na obráběcí stroje stále větší a větší požadavky na přesnost, výkonnost a kvalitu. Z těchto důvodů byla kluzná vedení z větší části nahrazena vedením valivým. To svými vlastnostmi, jako jsou malý součinitel tření, vyšší tuhost, možnost předepnutí a dlouhá životnost, zvyšuje plynulost posuvových pohybů a přesnost polohování. Mezi nevýhody valivých vedení patří zejména vysoká cena, malá schopnost tlumit chvění a nutnost krytování.

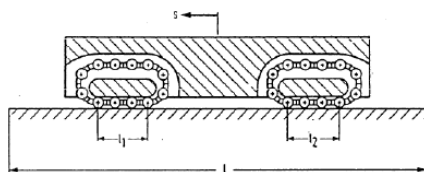
Valivá vedení mohou být realizována jako otevřená či uzavřená s omezenou délkou zdvihu, předepínaná pouze tíhou pohyblivé skupiny nebo předepnutá, schopná přenášet i klopné momenty. Dalším druhem je pak vedení s neomezenou délkou zdvihu, které bývá realizováno pomocí valivých hnízd nebo profilových kolejnič.[57]

Všechny konstrukce valivých vedení k vlastnímu pohybu využívají valivá tělesa, která podle typu dělíme na:

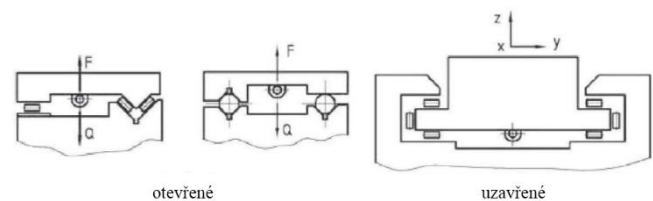
- kuličková – mají menší tuhost, menší citlivost na výrobní nepřesnosti
- válečková – mají větší tuhost, únosnost, citlivost na přesnou výrobu
- jehličková



Obrázek 33 Profilové valivé vedení [60]



Obrázek 31 Schéma valivých hnízd [58]



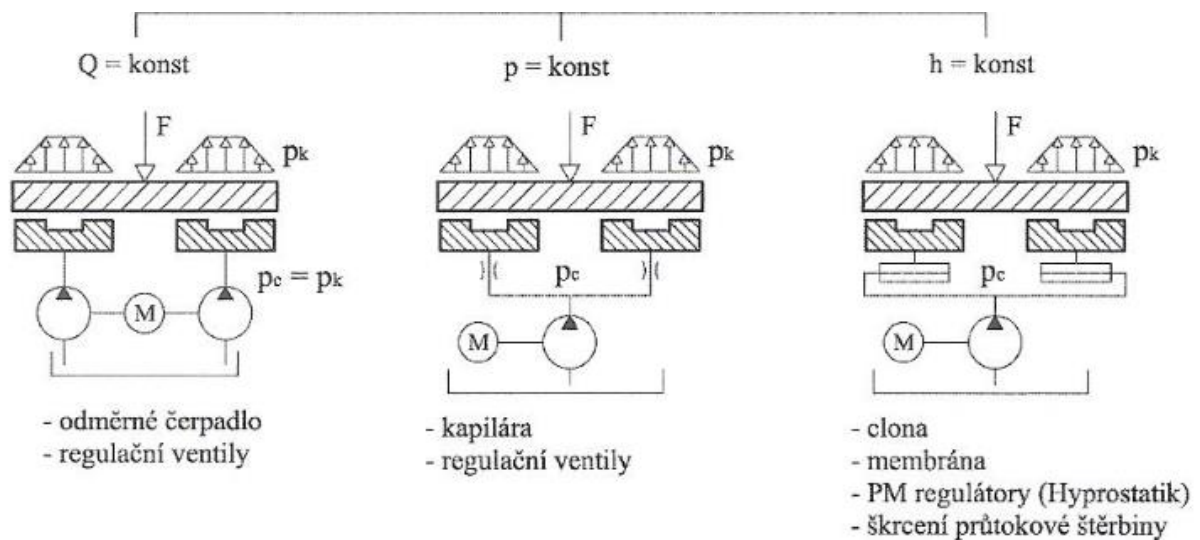
Obrázek 32 Druhy konstrukce valivého vedení [59]

### 4.3.1.3 Hydrostatické vedení

Přívodem tlakového oleje mezi kluzné plochy vzniká tzv. kapalinné tření. Hydrostatická vedení díky tomu dosahují velmi nízkého součinitele tření (0.0001), přičemž neustálý přívod tlakové kapaliny zabraňuje dosednutí třecích ploch i za klidu stroje, a tak je docíleno snížení opotřebení vedení. Stroje vybavené tímto druhem vedení se vyznačují vysokou tlumící schopností v kolmém směru na vodící plochy, vysokou tuhostí a bezvůlového uložení. Nevýhodou tohoto vedení je náročná výroba a nákladný provoz.

Hydrodynamické vedení se skládá z ložiskových jednotek, které jsou na jedné straně vedení, a z hladké části, která je na straně druhé.

Tlakový olej, který je přiváděn do ložiskových jednotek je nutné regulovat tak, aby byly protiplochy vedení rovnoběžné. K regulaci se nejčastěji využívají membrány, regulátory či kapiláry.[61]



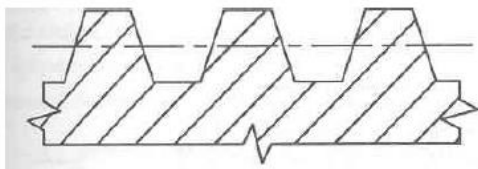
Obrázek 34 Způsoby zásobování kapes olejem a jeho regulace [62]

## 4.3.2 Pohybové šrouby

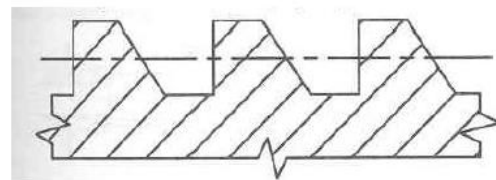
Pohybové šrouby nalézají své uplatnění v široké škále aplikací od jednoduchých zdvihacích zařízení až po pohon složitých obráběcích center. Využíváme je tedy tam, kde chceme převést otáčivý pohyb na posuvný a krouticí moment v osovou sílu. Pohybové šrouby dělíme na šrouby s kluzným třením (plošným dotykem) a šrouby s valivým třením (bodovým dotykem).

### 4.3.2.1 Trapézové šrouby

Trapézové šrouby jsou vyráběny ve třech třídách přesnosti a to s čtvercovým nebo lichoběžníkovým (rovnoramenným, nerovnoramenným) závitem. Nejčastěji používaným typem závitu je lichoběžníkový rovnoramenný, jehož výhodami jsou snadná výroba a pohodlné vymezení vůle pomocí podélně dělené matice, která je stahovaná šrouby. K nevýhodám trapézových šroubů patří nízká účinnost a vyšší opotřebení způsobené kluzným třením. Trapézové šrouby se zpravidla používají pro kratší výsuvy (čelisti soustruhu, lícní desky, výsuvy pinoly koníka).[63]



Obrázek 36 Typ závitu – rovnoramenný [65]



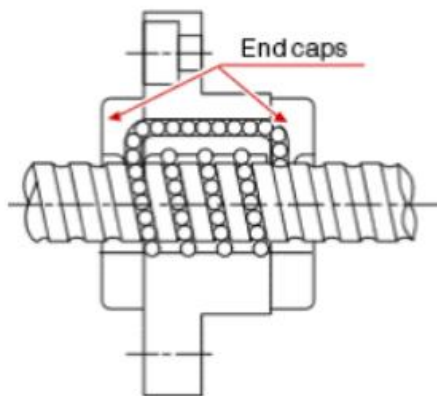
Obrázek 35 Typ závitu – nerovnoramenný [64]



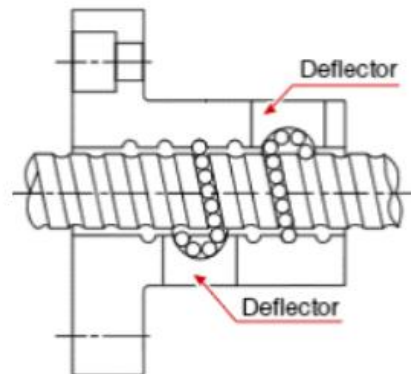
Obrázek 37 Trapézový závit [66]

### 4.3.2.2 Kuličkové šrouby

U kuličkových šroubů se k převodu otáčivého pohybu na posuvný využívá oběhu (vnitřního, vnějšího) kuliček v závitech. Jelikož dochází pouze k bodovému dotyku, je účinnost kuličkového šroubu oproti šroubům trapézovým 90 % a více.[67]



Obrázek 38 Systém vnějšího oběhu kuliček [69]



Obrázek 39 Systém vnitřního oběhu kuliček [68]

K výrobě matic a kuličkových šroubů se z pravidla používají speciální chrommolibdenové oceli, které jsou v oblasti funkčních ploch dále zušlechťovány tak, aby byla dosažena požadovaná povrchová tvrdost.

Kuličkové šrouby se vyznačují vysokou tuhostí, účinností a přesností, přičemž omezujícími faktory při použití v konstrukci mohou být zejména dodávaná délka a vyšší cena. Vyrábějí se válcováním, okružováním či broušením, a to v pěti třídách přesnosti.



Obrázek 41 Válcovaný kul. šroub [70]



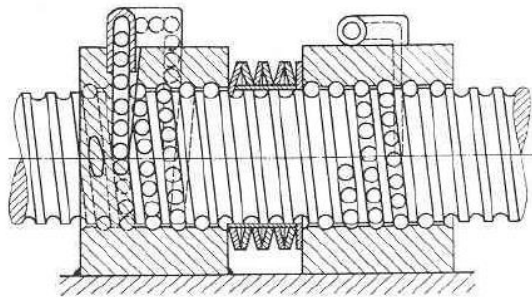
Obrázek 40 Okružovaný kul. šroub [71]



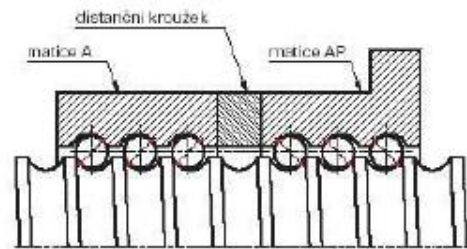
Obrázek 42 Broušený kul. šroub [72]

Matice je na šroub možné montovat jak s vůlí, tak s předepnutím. To zvyšuje přesnost polohování, avšak i namáhání šroubu od přídavného třecího momentu, což vede k snížení životnosti. Předepnutí je možné provést:

- distančním kroužkem u dvojice matic
- diferencí ve stoupání závitu
- diferencí mezi jednotlivými chody závitu
- dvojicí matic a talířových pružin



Obrázek 44 Předepnutí pomocí dvou matic a pružin [74]



Obrázek 43 Předepnutí pomocí dvou matic a distančního kroužku [73]

### 4.3.3 Pohon

Motor je základní částí pohonného systému, který přeměnou či přenosem energie vytváří silové účinky působící na soustavu a umožňuje tak její pohyb. Motory je možné dělit podle vstupní energie na elektromotory a hydromotory, dále pak podle charakteru výstupního pohybu na rotační (kroučící moment, otáčky) a lineární (posuvová síla, rychlost posuvu).

Při stavbě obráběcích strojů se pro zajištění hlavního a vedlejšího rezného pohybu využívají především motory elektrické. Jedná se o konstrukčně jednoduché stroje, vyznačující se tichým chodem, malými ztrátami a nenáročností na údržbu.

V současné době se můžeme setkat s celou řadou druhů elektromotorů a jejich konstrukčních řešení, avšak pro účely této práce bude pohled zaměřen pouze na servomotory a krokové motory.[75]

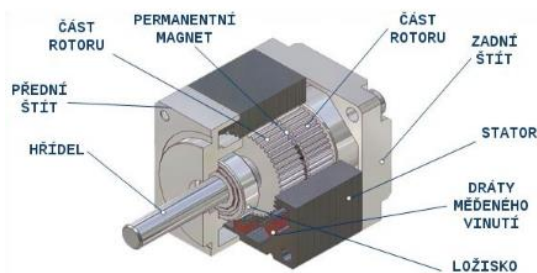


### 4.3.3.1 Krokové motory

Krokové elektromotory jsou bezkomutátorové synchronní točivé stroje využívající elektromagnetické indukce. Napěťové impulsy stejnosměrného proudu postupně napájejí jednotlivé pólové dvojice, přičemž vzniká magnetické pole, které přitáhne opačný pól magnetu rotoru. Pro vlastní pohyb motoru je nutné použít řídicí elektroniku tzv. driver. Výkonná elektronika generuje jednotlivé digitální impulsy, které pak krokový motor převádí na postupné otáčení hřídele motoru. Z pravidla se jeden impuls rovná pootočení rotoru o jeden krok. Krokové motory můžeme rozdělit podle počtu fází na 2-fázové, 3-fázové a 5-fázové.

Řízení krokových motorů provádíme přímo bez zpětné vazby, tedy bez využití snímačů otáček a polohy. Krokové motory jsou díky své jednodušší konstrukci provozně spolehlivější a cenově dostupnější, přičemž nevyžadují žádnou údržbu.

Nicméně značnou nevýhodou krokových motorů je ztráta kroku (porušení synchronizace s řídicími pulzy) vlivem přetížení, přičemž největším mínusem jsou zhoršující se dynamické vlastnosti v závislosti na velikosti momentu setrvačnosti připojené zátěže.[76]



Obrázek 46 Části krokového motoru [78]



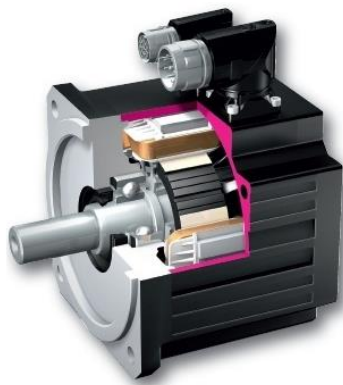
Obrázek 45 3 fázový krokový motor Nema23 [77]

### 4.3.3.2 Servomotory

Se servomotory se v běžném životě setkáváme v různých aplikacích, u kterých požadujeme nastavení přesné polohy (škrticí klapky, čtecí hlavy pevných disků, RC modely). Jedná se tedy o motory, které pomocí snímačů a regulační techniky umožňují kontrolovat přesnou polohu hřídele, jeho otáčky či zrychlení. Servomotory dělíme na asynchronní, synchronní a stejnosměrné motory, přičemž rozdíl mezi jednotlivými druhy není dán pouze principem pohonu ale zejména v možnostech jejich regulace.[79]

Asynchronní servomotory lze několikanásobně krátkodobě přetížít a jsou tak vhodné pro aplikace, ve kterých se pracuje s vysokými setrvačnými hmotami. Jedná se například o portálové roboty, navíjecí bubnové pohony či zdvihací osy v portálech.

Synchronní servomotory jsou tvořeny dvěma základními částmi a to rotorem skládajícím se z hřídele, na němž jsou uloženy permanentní magnety, a statoru, který je tvořen třífázovým vinutím. U těchto motorů je k řízení otáček potřeba frekvenčního měniče, který upravuje výstupní napětí a frekvenci, přičemž umožňuje i snadnou a rychlou reverzaci otáčivého pohybu. Synchronní servomotory se vyznačují vysokým a takřka neměnným krouticím momentem, kterého dosahují v širokém spektru otáček. Jsou tedy vhodné k pohonu os obráběcích strojů, pro automobilový průmysl, manipulaci a logistiku.[80]



Obrázek 48 Synchronní servomotor [82]



Obrázek 47 Servomotory Siemens [81]



## 5. Konstrukce frézky

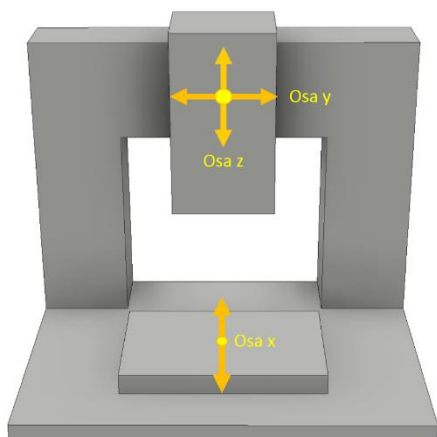
### 5.1 Volba parametrů stroje

Návrh se zabývá konstrukcí modelářské frézky, jež by měla umožnit obvodové, čelní i drážkové frézování a vrtání především hliníkových slitin a slitin mědi frézou o předpokládaném průměru 6 mm a vrtákem o průměru 5 mm.

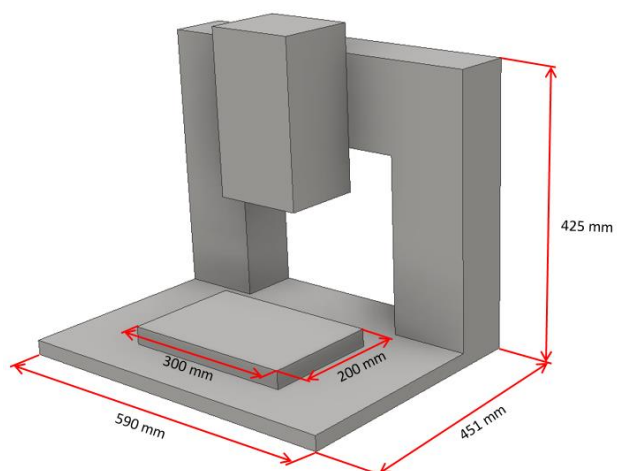
Jedná o malý stroj s rozměry rámu plynoucí z pravděpodobného umístění na pracovním stole popřípadě na vlastním rámu. Při volbě rozměrů byly také zohledněny technické možnosti umožňující vlastní výrobu. Předběžně zvolené rozměry a hodnoty uvedené v následující tabulce se mohou v průběhu konstrukčního řešení měnit.

|  |                          |
|--|--------------------------|
| <i>Zvolený průměr frézy</i>              | 6 mm                     |
| <i>Zvolený průměr vrtáku</i>             | 5 mm                     |
| <i>Rozměr základu stroje</i>             | 590 x 451 mm             |
| <i>Pojezd v ose x</i>                    | 162 mm                   |
| <i>Pojezd v ose y</i>                    | 300 mm                   |
| <i>Pojezd v ose z</i>                    | 100 mm                   |
| <i>Obráběný materiál</i>                 | slitiny hliníku a mědi   |
| <i>Max. hmotnost obrobku</i>             | 5 kg                     |
| <i>Upínací plocha stolu</i>              | 300 x 200 mm             |
| <i>Rychlost posuvů x, y, z</i>           | 2500 – 5000 mm/min       |
| <i>Min. životnost kuličkových šroubů</i> | 10 000 hod.              |
| <i>Min. životnost lineárního vedení</i>  | 10 000 hod.              |
| <i>Tuhost na nástroji v ose x</i>        | 20 000 Nmm               |
| <i>Tuhost na nástroji v ose y</i>        | 20 000 Nmm               |
| <i>Přesnost stroje</i>                   | 0.05 mm                  |
| <i>Řezné prostředí</i>                   | kapalinné, ofuk vzduchem |

Tabulka 1 Základní parametry stroje



Obrázek 49 Popis jednotlivých os

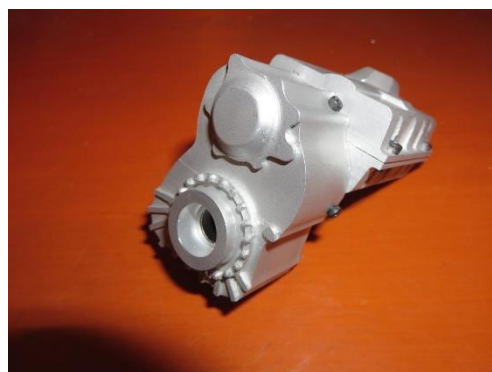


Obrázek 50 Základní parametry stroje

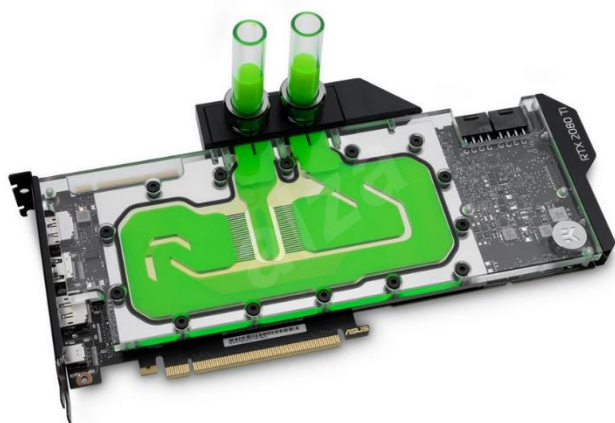
## 5.2 Volba konstrukce frézky

Na začátku projektu jsem si na základě internetových zdrojů a publikací vytvořil povědomí o možných konstrukcích frézovacích strojů a situaci na trhu. Dnešní trh je velmi pestrý a nabízí širokou škálu frézek různých typů, modifikací, velikostí atd., avšak pro mne, jakožto běžného uživatele, jsou tyto stroje nedostupné především po cenové stránce, nebo naopak jsou cenově dostupné, ale svou konstrukcí a výkonem naprosto nevhodné pro požadované využití.

Jak již bylo zmíněno v úvodu, frézka by měla sloužit pro modelářské účely, a to zejména k výrobě komponent pro RC modely Tatra (např. převodové skříně, hydraulická čerpadla, apod.), (obr. 51), PC moding (např. chladicí bloky), (obr. 52,53). Tyto komponenty budou vyráběny výhradně z hliníkových slitin a slitin mědi, z čehož vyplývá i volba obráběcích nástrojů pro dané operace, a to pro frézování a vrtání.



Obrázek 53 Model Tatra s celokovovou převodovkou Josefa Dojčara



Obrázek 52 Chladicí blok grafické karty



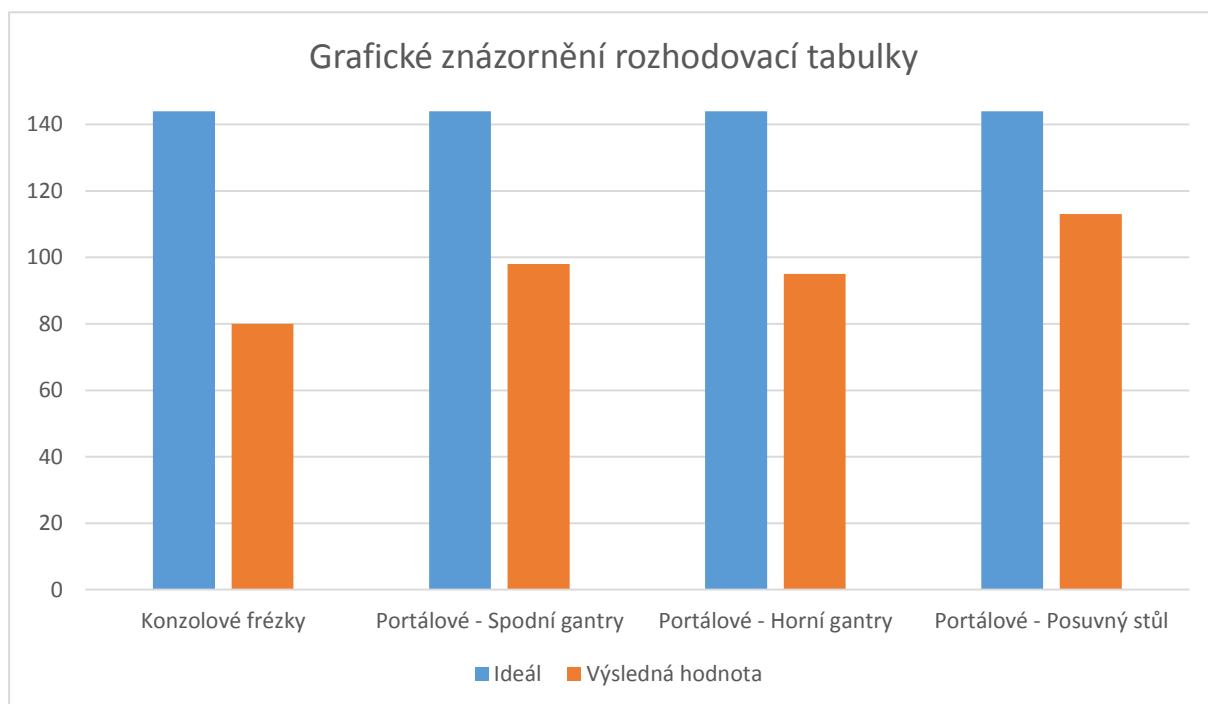
Obrázek 51 Chladicí blok procesoru

Ačkoli se jedná o modelářskou frézku, vlastní konstrukce by měla v určitém ohledu splňovat kromě dobrých technických parametrů (tuhosti, přesnosti, výkonosti), také kritéria z hlediska ergonomie (komfort obsluhy) a designu (tvarová jednotnost, barevnost).

Na základě výše uvedených skutečností a s ohledem na mé vlastní zkušenosti jsem ohodnotil základní vlastnosti uvažovaných typů frézek (obr. 7, 15, 12, 17) a vytvořil pro ně rozhodovací tabulku. Jednotlivé atributy jsou v ní hodnoceny na stupnici 0 – 4. Čím je bodové ohodnocení vyšší, tím je daná vlastnost lepší a naopak.

| <i>Vlastnosti</i>           | <i>Požadovaná hodnota</i> | <i>Váha</i> | <i>Konzolové frézky</i> |           | <i>Portálová Spodní gantry</i> |           | <i>Portálová Horní gantry</i> |           | <i>Portálová Pohyblivý stůl</i> |           |
|-----------------------------|---------------------------|-------------|-------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|-------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
| <i>Upínací plocha stolu</i> | <i>velká</i>              | 3           | 2                       | <b>6</b>  | 3                              | <b>9</b>  | 3                             | <b>9</b>  | 3                               | <b>9</b>  |
| <i>Velikost prostoru</i>    | <i>velká</i>              | 3           | 2                       | <b>6</b>  | 4                              | <b>12</b> | 4                             | <b>12</b> | 4                               | <b>12</b> |
| <i>Rozjezdy os</i>          | <i>velká</i>              | 3           | 3                       | <b>9</b>  | 4                              | <b>12</b> | 4                             | <b>12</b> | 4                               | <b>12</b> |
| <i>Náročnost výroby</i>     | <i>nízká</i>              | 4           | 2                       | <b>8</b>  | 1                              | <b>8</b>  | 2                             | <b>4</b>  | 3                               | <b>12</b> |
| <i>Náročnost údržby</i>     | <i>nízká</i>              | 4           | 3                       | <b>12</b> | 3                              | <b>12</b> | 3                             | <b>12</b> | 3                               | <b>12</b> |
| <i>Korozivzdornost</i>      | <i>vysoká</i>             | 3           | 4                       | <b>12</b> | 4                              | <b>12</b> | 4                             | <b>12</b> | 4                               | <b>12</b> |
| <i>Tuhost</i>               | <i>vysoká</i>             | 4           | 3                       | <b>12</b> | 4                              | <b>12</b> | 3                             | <b>16</b> | 4                               | <b>16</b> |
| <i>Přesnost</i>             | <i>střední</i>            | 4           | 3                       | <b>12</b> | 3                              | <b>12</b> | 3                             | <b>12</b> | 4                               | <b>16</b> |
| <i>Cena</i>                 | <i>nízká</i>              | 3           | 1                       | <b>3</b>  | 2                              | <b>9</b>  | 3                             | <b>6</b>  | 4                               | <b>12</b> |
| <i>Součet</i>               |                           |             |                         | 80        |                                | 98        |                               | 95        |                                 | 113       |

*Tabulka 2 Rozhodovací tabulka*



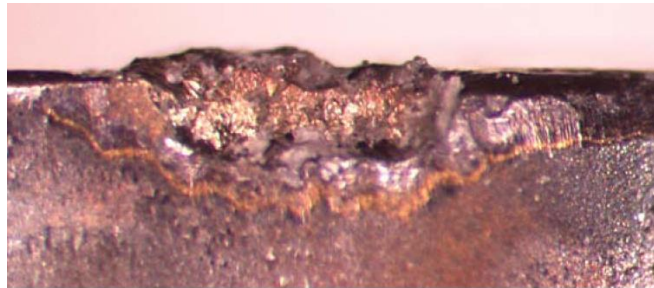
Z výsledků výše uvedené tabulky a grafu je zřejmé, že i přes svá úskalí portálové frézky (viz kapitola 3.3), bodově převyšují frézky konzolové. V tabulce jsou portálové frézky hodnoceny jednotlivě dle typu uložení pohonu. Jednotlivé typy se mezi sebou liší především ve složitosti výroby a ceně, přesto již mezi nimi není velký rozdíl. Na základě této rozhodovací tabulky jsem zvolil variantu s nejvyšším bodovým ohodnocením, a to portálovou frézku s pohyblivým stolem.

Vzhledem k tomu, že jsem si stanovil základní parametry stroje, a vybral nejvhodnější konstrukční variantu, v následujících kapitolách se budu zabývat jednotlivými konstrukčními celky, a to návrhem vřetene, lineárního vedení, kuličkových šroubů a pohonů jednotlivých os.

Před vlastním návrhem vřetena bylo nutné stanovit řezné podmínky pro jednotlivé operace a vymežit tak oblast, ve které bude daná frézka využívána. Na základě této předběžné úvahy a níže uvedené charakteristiky materiálu byly stanoveny základní parametry a hodnoty potřebné pro návrh daného vřetene.

Jak již bylo výše uvedeno, obráběný materiál bude na bázi hliníkových slitin. Díky svým mechanickým vlastnostem se jedná o jeden z nejpoužívanějších materiálů, především v automobilovém a leteckém průmyslu. Z pohledu obrábění se však jedná o velmi problémový materiál. Kvůli nízké teplotě tavení a sklonu k adhezi dochází k problematickému utváření třísky a nalepování materiálu na břit či čelo nástroje (vzniká tzv. nárůstek).

Snížení daného jevu je podmíněno správnou volbou řezných podmínek, chlazení nebo vhodnou úpravou řezného nástroje (mikroleštění, kluzné vrstvy).



Obrázek 54 Nárůstek na břitu nástroje [84]

Pro obrábění hliníkových slitin se nejčastěji využívají dvouzubé monolitní stopkové frézy s ostrým pozitivním břitem. Pro určení řezných podmínek byla zvolena tvrdokovová fréza od firmy NAVEL spol. s. r. o., která je určena pro obrábění neželezných kovů.

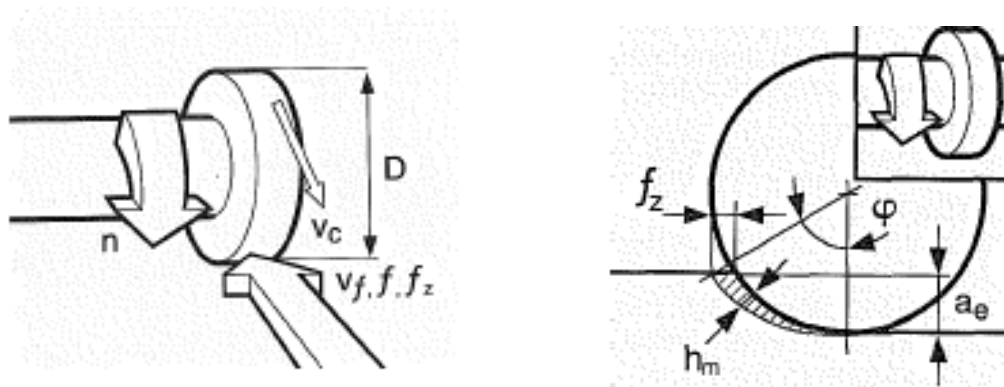


Obrázek 55 Dvoubřitá tvrdokovová fréza [85]

## 5.2.1 Stanovení řezných sil – obvodové frézování

Pro stanovení výkonu vřetena bylo nutné určit řezné síly vznikající při jednotlivých způsobech obrábění (obvodové, čelní frézování, vrtání). K výpočtu řezných sil byly použity řezné podmínky doporučené výrobcem frézy a vrtáku. Porovnáním vypočteného silového zatížení bylo následně vybráno zatížení, jehož hodnota byla nejvyšší. Tím je zajištěno, že vřeteno bude dimenzováno na maximální možné zatížení.

Ukázalo se však, že pro zvolený průměr frézy a odpovídající optimální řezné podmínky by bylo nutné použít značně výkonné a rozměrné vřeteno. Na základě tohoto zjištění bylo nutné provést úpravu řezných podmínek i průměru zvolené frézy.



Obrázek 56 Základní veličiny obvodového frézování [86]

|   |            |
|---|------------|
| Průměr nástroje - $D_n$                   | 6 mm       |
| Počet zubů - $Z_n$                        | 2          |
| Posuv na zub - $f_z$                      | 0.1 mm     |
| Hloubka záběru - $a_p$                    | 4 mm       |
| Šířka záběru - $a_e$                      | 2 mm       |
| Řezná rychlost - $v_c$                    | 200 m/min. |
| Úhel nastavení ostří - $K_r$              | 90°        |
| Ortogonální úhel čela - $\gamma_o$        | 0°         |
| Exponent nárůstu měrné řezné síly - $m_c$ | 0.25       |
| Měrná řezná síla - $k_{c1}$               | 750 MPa    |

Tabulka 3 Parametry pro výpočet řezných sil – obvodové frézování

Otáčky vřetene: 
$$n_v = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_n} = 10610 \frac{ot}{min.} \quad (1)$$

Rychlost posuvu: 
$$v_f = n_v \cdot Z_n \cdot f_z = 2122 \frac{mm}{min.} \quad (2)$$

Průměrná tloušťka třísky: 
$$h_m = f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D_n}} = 0.058 \text{ mm} \quad (3)$$

$$h_m \geq 0.04 \quad \text{vyhovuje}$$

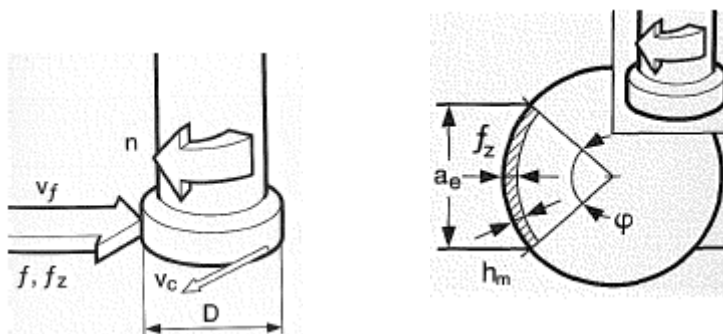
Měrná řezná síla: 
$$k_c = \frac{k_{c1}}{h_m^{m_c}} = 1.53 \cdot 10^3 \text{ MPa} \quad (4)$$

Výkon vřetene: 
$$P_v = \frac{a_e \cdot a_p \cdot v_f \cdot k_c}{60 \cdot 10^6} = 0.433 \text{ kW} \quad (5)$$

Řezná síla: 
$$F_{\gamma_e} = k_c \cdot a_p \cdot f_z = 612.014 \text{ N} \quad (6)$$

Krouticí moment vřetena: 
$$M_{kv} = F_{\gamma_e} \cdot \frac{D_n}{2 \cdot 10^3} = 1.836 \text{ Nm} \quad (7)$$

### 5.2.2 Stanovení řezných sil – čelní frézování



Obrázek 57 Základní veličiny čelního frézování [87]

|   |            |
|---|------------|
| Průměr nástroje - $D_n$                   | 6 mm       |
| Počet zubů - $Z_n$                        | 2          |
| Posuv na zub - $f_z$                      | 0.08 mm    |
| Hloubka záběru - $a_p$                    | 4.2 mm     |
| Šířka záběru - $a_e$                      | 6 mm       |
| Řezná rychlost - $v_c$                    | 155 m/min. |
| Úhel nastavení ostří - $K_r$              | 90°        |
| Ortogonální úhel čela - $\gamma_0$        | 0°         |
| Exponent nárůstu měrné řezné síly - $m_c$ | 0.25       |
| Měrná řezná síla - $k_{c1}$               | 750 MPa    |

Tabulka 4 Parametry pro výpočet řezných sil – čelní frézování



Otáčky vřetene: 
$$n_v = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_n} = 8223 \frac{ot}{min.} \quad (8)$$

Rychlost posuvu: 
$$v_f = n_v \cdot Z_n \cdot f_z = 1316 \frac{mm}{min.} \quad (9)$$

Průměrná tloušťka třísky: 
$$h_m = \frac{\sin K_r \cdot 180 \cdot a_e \cdot f_z}{\pi \cdot D_n \cdot \arcsin\left(\frac{a_e}{D_n}\right)} = 0.051 \text{ mm} \quad (10)$$

Měrná řezná síla: 
$$k_c = \frac{k_{c1}}{h_m^{m_c}} = 1.579 \cdot 10^3 \text{ MPa} \quad (11)$$

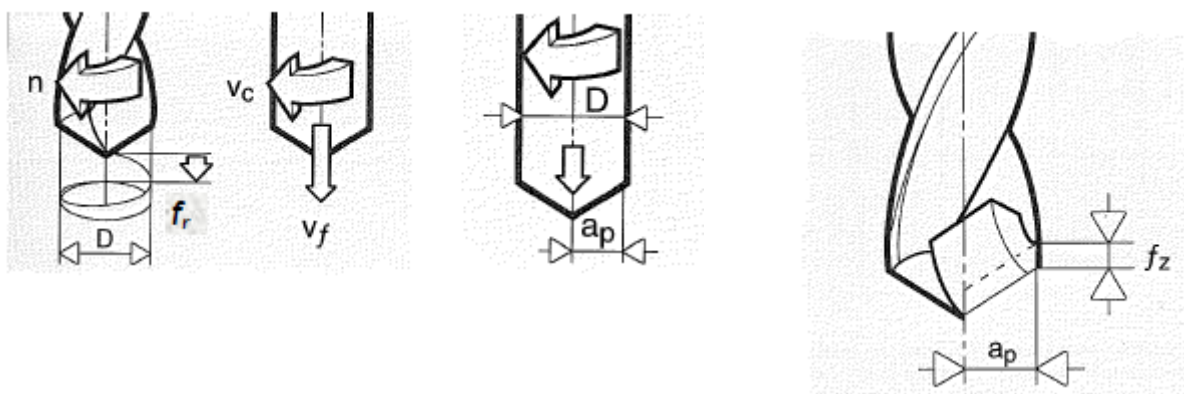
Výkon vřetene: 
$$P_v = \frac{a_e \cdot a_p \cdot v_f \cdot k_c}{60 \cdot 10^6} = 0.872 \text{ kW} \quad (12)$$

Řezná síla: 
$$F_{\text{ře}} = k_c \cdot a_p \cdot f_z = 530.467 \text{ N} \quad (13)$$

Krouticí moment vřetene: 
$$M_{kv} = F_{\text{ře}} \cdot \frac{D_n}{2 \cdot 10^3} = 1.591 \text{ Nm} \quad (14)$$

### 5.2.3 Stanovení řezných sil – vrtání do plného materiálu

K výpočtu řezných sil vznikajících při vrtání do plného materiálu byl zvolen vrták od společnosti SANDVIK Coromant, a to CoroDrill 460. Jedná se o vrták pro univerzální použití.



Obrázek 58 Základní veličiny vrtání do plna [88]

|   |            |
|---|------------|
| Průměr nástroje - $D_v$                       | 6 mm       |
| Počet zubů - $Z_v$                            | 2          |
| Posuv na otáčku - $f_r$                       | 0.16 mm    |
| Řezná rychlost - $v_c$                        | 140 m/min. |
| Nástrojový úhel - $K_r$                       | 70°        |
| Nástrojový ortogonální úhel čela - $\gamma_0$ | 30°        |
| Exponent nárůstu měrné řezné síly - $m_c$     | 0.25       |
| Měrná řezná síla - $k_{c1}$                   | 750 MPa    |
| Součinitel - $x$                              | 240        |

Tabulka 5 Parametry pro výpočet řezných sil – vrtání do plného mat.

$$\text{Otáčky nástroje:} \quad n_v = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_v} = 7427 \frac{\text{ot}}{\text{min.}} \quad (15)$$

$$\text{Posuvová rychlost:} \quad v_f = f_r \cdot n_v = 1188 \frac{\text{mm}}{\text{min.}} \quad (16)$$

$$\text{Posuv na zub:} \quad f_z = \frac{v_f}{n_v \cdot Z_v} = 0.08 \text{ mm/zub} \quad (17)$$

$$\text{Šířka třísky:} \quad a_p = \frac{D_v}{2 \cdot \sin 70} = 3.193 \text{ mm} \quad (18)$$

$$\text{Tloušťka třísky:} \quad h = f_z \cdot \sin 70 = 0.075 \text{ mm} \quad (19)$$

$$\text{Průřez třísky:} \quad A_z = a_p \cdot h = 0.24 \text{ mm}^2 \quad (20)$$

$$\text{Měrná řezná síla:} \quad k_c = \frac{k_{c1}}{h^{m_c}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = 1.003 \cdot 10^3 \text{ MPa} \quad (21)$$

$$\text{Tangenciální řezná síla:} \quad F_c = k_c \cdot A_z = 240.631 \text{ N} \quad (22)$$

$$\text{Síla posuvu:} \quad F_f = 0.5 \cdot k_c \cdot \frac{D_v}{2} \cdot f_r \cdot \sin 70 = 226.119 \text{ N} \quad (23)$$

$$\text{Výkon vřetene:} \quad P_v = \frac{D_v \cdot f_r \cdot v_c}{x} = 0.56 \text{ kW} \quad (24)$$

$$\text{Kroucí moment vřetena:} \quad M_{kv} = F_c \cdot r_v = 0.722 \text{ Nm} \quad (25)$$

Z výše provedených výpočtů řezných sil vyplývá, že dané vřeteno bude nejvíce namáhané při obvodovém frézování. Návrh vřetena bude tedy proveden s ohledem na tyto hodnoty, které jsou uvedeny v tabulce 6. Již v úvodu bylo zmíněno, že konstrukce dané frézky by měla sloužit zejména pro modelářské účely. Volba vřetene nebude tedy vycházet pouze z požadavků maximálního zatížení, ale také z požadavku na co nejjednodušší, nejlehčí a cenově přijatelnou konstrukci uložení vřetene.

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| <i>Otáčky vřetene při obvodovém frézování - <math>n_v</math></i> | 10 610 ot·min <sup>-1</sup> |
| <i>Výkon vřetene - <math>P_v</math></i>                          | 0.433 kW                    |
| <i>Potřebný krouticí moment - <math>M_{kv}</math></i>            | 1.836 Nm                    |
| <i>Řezná rychlost - <math>v_c</math></i>                         | 200 m/min.                  |

*Tabulka 6 Hodnoty pro návrh vřetene*

Na základě pohonných systémů vřeten (viz kapitola 4.2), byla zvolena přímá koncepce pohonu ve variantě elektrovřetena. Vlastní vřeteno je vybaveno vodním chlazením, které zajišťuje odvod tepla z vřetene a celkově přispívá ke snížení hlučnosti. Vřeteno bude k posuvovému mechanismu osy Z upevněno pomocí upeňovací příruby.



*Obrázek 59 Elektrovřeteno 2.2 kW ER 20 [89]*

|  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| <i>Otáčky vřetene - <math>n_v</math></i>     | 3000 - 24000 ot·min <sup>-1</sup> |
| <i>Výkon vřetene - <math>P_v</math></i>      | 2.2 kW                            |
| <i>Krouticí moment - <math>M_{kv}</math></i> | 7.0 – 0.875 Nm                    |
| <i>Kleštinový upínač</i>                     | ER 20                             |

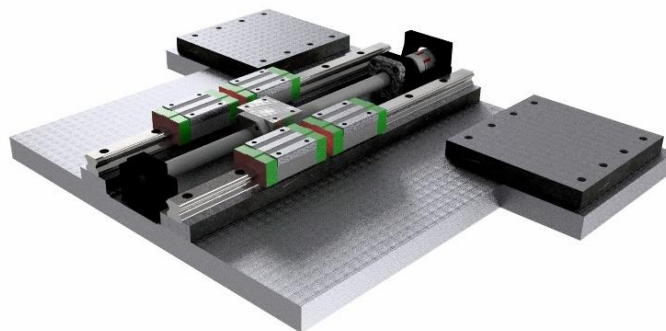
*Tabulka 7 Parametry zvoleného vřetene*

## 5.3 Návrh osy X

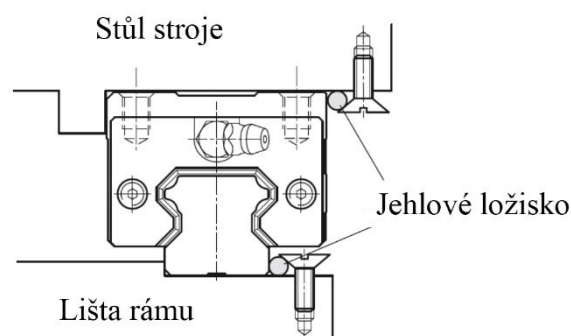
### 5.3.1 Kontrola lineárního vedení osy X

K základu stroje jsou přivařeny dvě lišty, jejichž funkční plochy jsou opracovány a broušeny. Tyto lišty slouží k uložení kolejnice lineárního vedení, které bude provedeno dle výrobcem doporučených způsobů. Vzhledem k možnému vzniku vibrací, bočních sil a rázů je zvoleno uložení pomocí referenční hrany a přítlačných válečků. Tento způsob přispívá k vyšší tuhosti a přesnosti. O pohyb pracovního stolu se budou starat dva páry úzkých vozíků HGH–20 a tedy i kolejnice velikosti 20 mm značky HIWIN.

V prostoru mezi kolejnicemi lineárního vedení bude pomocí ložiskových domečků BF12 a FK12 uložen předběžně zvolený kuličkový šroub o průměru 16 mm s maticí a upevňovacím domečkem, sloužící k posuvu pracovního stolu. Domeček FK bude axiálně přišroubován v držáku motoru.



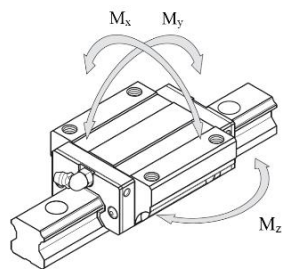
Obrázek 60 Návrh pohonného systému osy X



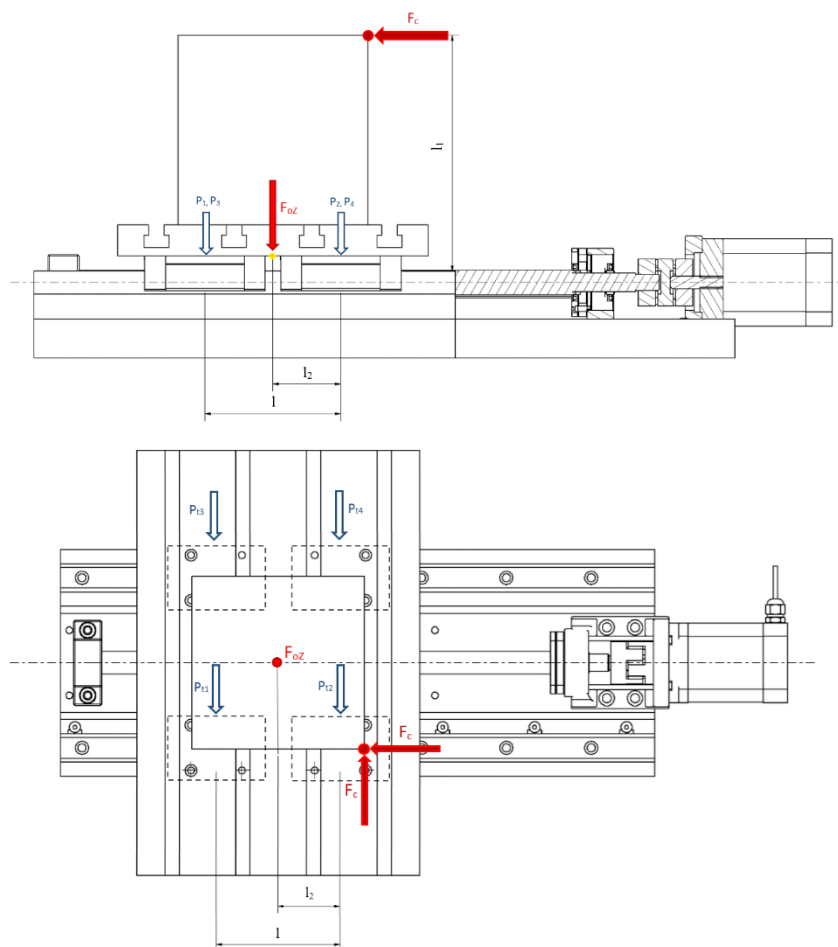
Obrázek 61 Schéma uložení kolejnice a vozíku lineárního vedení [90]

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| Hmotnost stolu - $m_s$                         | 2.7 kg                             |
| Max. hmotnost obrobku - $m_o$                  | 5 kg                               |
| Řezná síla - $F_c$                             | 612.014 N                          |
| Rozteč vozíků - $l$                            | 0.0875 m                           |
| Vzdálenost řezné síly od středu vozíku - $l_1$ | 0.15520 m                          |
| Vzdálenost zatěžující síly - $l_2$             | 0.061 m                            |
| Krouticí moment - $M_{kv}$                     | 1.836 Nm                           |
| Statická únosnost - $C_0$                      | 35 900 N                           |
| Dynamická únosnost - $C_{dyn}$                 | 21 180 N                           |
| Gravitační zrychlení - $g$                     | $9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ |
| Faktor tvrdosti - $f_h$                        | 1                                  |
| Faktor teploty - $f_t$                         | 1                                  |
| Faktor zatížení - $f_w$                        | 2                                  |
| Statická konstrukční bezpečnost - $f_{SM}$     | 3                                  |

Tabulka 8 Parametry pro výpočet klopných momentů



Obrázek 62 Schéma působení klopných momentů [91]



Obrázek 63 Výpočtové schéma klopných momentů osy X

### Klopné momenty:

$$\text{Zatěžující síly:} \quad F_{os} = (m_s + m_o) \cdot g = 75.537 \text{ N} \quad (26)$$

$$\text{Příčná osa - } M_x: \quad M_x = \frac{F_c \cdot l_1}{4} = 23.746 \text{ Nm} \quad (27)$$

$$\text{Příčná osa - } M_y: \quad M_y = \frac{F_c \cdot l_1}{4} = 23.746 \text{ Nm} \quad (28)$$

$$\text{Příčná osa - } M_z: \quad M_z = \frac{F_c \cdot l_2}{4} + \frac{M_{kv}}{4} = 9.792 \text{ Nm} \quad (29)$$

### Zatížení jednotlivých vozíků:

$$\text{Radiální zatížení } P_1, P_2 \quad P_1, P_3 = \frac{F_{os}}{4} - \frac{F_c \cdot l_1}{2 \cdot l} = -523.885 \text{ N} \quad (30)$$

$$\text{Radiální zatížení } P_2, P_4 \quad P_2, P_4 = \frac{F_{os}}{4} + \frac{F_c \cdot l_1}{2 \cdot l} = 561.653 \text{ N} \quad (31)$$

$$\text{Tečné zatížení } P_1, P_2, P_2, P_4 \quad P_{1234} = \frac{F_c}{4} = 153.004 \text{ N} \quad (32)$$

$$\text{Ekvivalentní zatížení:} \quad P = P_2, P_4 + P_{1234} = 714.657 \text{ N} \quad (33)$$

$$\text{Bezpečnostní faktor:} \quad k_f = \frac{C_0}{P} = 50.234 \quad (34)$$

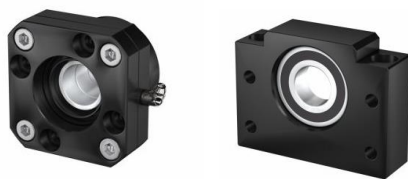
$$\text{Jmenovitá životnost:} \quad L = \left( \frac{f_h \cdot f_t \cdot C_{dyn}}{f_w \cdot P} \right) \cdot 50000 = 7.409 \cdot 10^5 \text{ m} \quad (35)$$

$$\text{Životnost v hodinách:} \quad L_h = \left( \frac{C_{dyn}}{P} \right) \cdot \frac{50000}{4 \cdot 60} = 5.423 \cdot 10^6 \text{ hod.} \quad (36)$$

### 5.3.2 Kontrola kuličkového šroubu osy X

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| <i>Hmotnost stolu - <math>m_s</math></i>                          | 2.7 kg                             |
| <i>Max. hmotnost obrobku - <math>m_o</math></i>                   | 5 kg                               |
| <i>Řezná síla - <math>F_c</math></i>                              | 612.014 N                          |
| <i>Rychlost posuvu - <math>v_{rp}</math></i>                      | 2122 mm/min.                       |
| <i>Jmenovitý průměr šroubu - <math>d_s</math></i>                 | 16 mm                              |
| <i>Malý průměr šroubu - <math>d_k</math></i>                      | 12.9 mm                            |
| <i>Stoupání šroubu - <math>P</math></i>                           | 5 mm                               |
| <i>Nepodepřená délka šroubu - <math>l_{np}</math></i>             | 325.5 mm                           |
| <i>Dynamická únosnost - <math>C_{dyn}</math></i>                  | 7320 N                             |
| <i>Statická únosnost - <math>C_0</math></i>                       | 12470 N                            |
| <i>Gravitační zrychlení - <math>g</math></i>                      | $9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ |
| <i><math>D_n</math> faktor - <math>D_{nmax}</math></i>            | 90 000                             |
| <i>Čas rozběhu - <math>t_{roz}</math></i>                         | 0.1 s                              |
| <i>Koeficient uložení - <math>kd</math></i>                       | 1.88                               |
| <i>Koeficient závislosti na uložení - <math>kk</math></i>         | 2.05                               |
| <i>Účinnost kuličkového šroubu - <math>\eta_s</math></i>          | 0.92                               |
| <i>Účinnost vedení - <math>\eta_v</math></i>                      | 0.98                               |
| <i>Účinnost jednoho válečkového ložiska - <math>\eta_L</math></i> | 0.95                               |

Tabulka 9 Parametry pro výpočet kuličkového šroubu



Obrázek 65 Ložiskové domečky FK a BF [93]



Obrázek 64 Kuličkový šroub s maticí [92]

### Kontrola maximálních otáček:

Otáčky šroubu:  $n_{\xi} = \frac{v_{rp}}{P} = 424.4 \text{ ot}/\text{min.}^{-1}$  (37)

Krit. otáčky šroubu:  $n_{kr.} = k_d \cdot \frac{d_k^4}{l_{np}^2} \cdot 10^8 = 2.289 \cdot 10^4 \frac{\text{ot}}{\text{min.}}$  (38)

Max. otáčky šroubu:  $n_{max.} = n_k \cdot 0.8 = 1.831 \cdot 10^4 \frac{\text{ot}}{\text{min.}}$  (39)

$$n_{\xi} \leq n_{max.}$$

### Kontrola silového zatížení:

Max. teoretická dovolená

axiální síla:  $F_{at.} = k_k \cdot \frac{d_k^4}{l_{np}^2} \cdot 10^5 = 5.358 \cdot 10^4 \text{ N}$  (40)

Max. dovolená axiální síla:  $F_{amax.} = F_{at} \cdot 0.5 = 2.679 \cdot 10^4 \text{ N}$  (41)

Zrychlení šroubu:  $a = \frac{v_{rP}}{t_{roz.}} = 0.354 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  (42)

Otáčkový  $D_n$  faktor:  $D_n = d_s \cdot n_{\xi} = 6.79 \cdot 10^3$  (43)

$$D_n \leq D_{nmax.}$$

Statická síla působící v  
ose šroubu:

$$F_{aš} = F_c = 612.014 \text{ N} \quad (44)$$

Dynamická axiální síla:  $F_{ad} = (m_s + m_o) \cdot a = 2.723 \text{ N}$  (45)

Kontrola vzpěrné tuhosti - Statika:  $F_{aš} \leq F_{amax.}$  (46)

Kontrola vzpěrné tuhosti - Dynamika:  $F_{ad} \leq F_{amax.}$  (47)



### Životnost kuličkového šroubu:

$$\text{Životnost v otáčkách:} \quad L = \left(\frac{C_{dyn}}{F_m}\right)^3 \cdot 10^6 = 1.369 \cdot 10^{10} \text{ ot.} \quad (48)$$

$$\text{Životnost v hodinách:} \quad L_h = \left(\frac{C_{dyn}}{F_m}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{n_m \cdot 60} = 1.075 \cdot 10^6 \text{ hod.} \quad (49)$$

### 5.3.3 Volba pohonu osy X

#### Potřebný krouticí moment pro dané zatížení:

$$\text{Celková účinnost:} \quad \eta_{celk.} = \eta_s \cdot \eta_V \cdot \eta_L = 0.829 \quad (50)$$

$$\text{Minimální moment motoru:} \quad M_{kmin.} = \frac{F_{aš} \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta_{celk.}} = 0.587 \text{ Nm} \quad (51)$$

$$\text{Úhlové zrychlení šroubu:} \quad \epsilon_{\xi} = \frac{2 \cdot a \cdot \pi}{P_{0.005}} = 444.431 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2} \quad (52)$$

$$\text{Úhlové zrychlení motoru:} \quad \epsilon_{\xi} = \epsilon_m \quad (53)$$

|  |   |
|--|---|
| <i>Celková hmotnost - <math>m_{celk.}</math></i>                                     | 7.7 kg  |
| <i>Převodový poměr - <math>i</math></i>  | 1   |
| <i>Efektivní součinitel valivého tření ve vodících plochách - <math>f_1</math></i>   | 0.005   |
| <i>Efektivní součinitel tření Kšm redukovaný na poloměr Kš - <math>f_2</math></i>    | 0.003   |
| <i>Efektivní součinitel tření redukovaný na poloměr čepu - <math>f_3</math></i>      | 0.003   |
| <i>Úhel sklonu vedení - <math>\alpha</math></i>                                      | 0°  |
| <i>Účinnost kuličkových ložisek pro oboustranné uložení - <math>\eta_{L2}</math></i> | 0.846   |
| <i>Účinnost kuličkového Kšm - <math>\eta_{S2}</math></i>                             | 0.846   |
| <i>Moment setrvačnosti motoru - <math>J_{mot.}</math></i>                            | $4 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$     |
| <i>Moment setrvačnosti kuličkového šroubu - <math>J_s</math></i>                     | $1.699 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ |
| <i>Moment setrvačnosti spojky - <math>J_{sp}</math></i>                              | $5.01 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  |

Tabulka 10 Parametry pro výpočet statických a dynamických účinků

### Statická zatížení:

Moment tíhové složky: 
$$M_{GT} = \frac{m_{celk.} \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot P_{0.005}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_{celk.}} = 0 \text{ Nm} \quad (54)$$

Moment zátěže od třecích sil  
přesouvaných hmot: 
$$M_G = \frac{m_{celk.} \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot P_{0.005}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_S \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_P} = 3.86 \cdot 10^{-4} \text{ Nm} \quad (55)$$

Předepnutí kuličkového šroubu: 
$$F_p = 0.35 \cdot F_{aš} = 214.205 \text{ N} \quad (56)$$

Moment zátěže od kuličkového  
hřídele:

$$M_{KSM} = \frac{F_p \cdot P_{0.005}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_P} \cdot (1 - \eta_{S2}) + \frac{0.5 \cdot (F_{aš} + m_{celk.} \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot f_1) \cdot d_s \cdot f_2}{i \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_P} =$$
$$M_{KSM} = 0.048 \text{ Nm} \quad (57)$$

Celkový statický moment zátěže  
redukovaný na hřídel motoru: 
$$M_{ks} = M_{GT} + M_G + M_{KSM} = 0.049 \text{ Nm} \quad (58)$$

### Dynamické zatížení:

Moment zátěže od kuličkového  
hřídele:

$$M_{KSM} = \frac{F_p \cdot P_{0.005}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_P} \cdot (1 - \eta_{S2}) + \frac{0.5 \cdot m_{celk.} \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot f_1 \cdot d_s \cdot f_2}{i \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_P} =$$
$$M_{KSM} = 0.031 \text{ Nm} \quad (59)$$

Celkový moment zátěže  
redukovaný na hřídel motoru: 
$$M_{kd} = M_{GT} + M_G + M_{KSM} = 0.031 \text{ Nm} \quad (60)$$

Redukovaný moment setrvačnosti  
posuvových hmot: 
$$J_m = m_{celk.} \cdot \left( \frac{P_{0.005}}{2 \cdot \pi} \right)^2 = 4.876 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (61)$$

Celkový moment setrvačnosti  
redukovaný na hřídel motoru: 
$$J_{rhm} = J_{mot} + J_m + J_s + J_{sp} = 6.747 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (62)$$

Potřebná velikost momentu:

$$M_{kdyn} = J_{rhm} \cdot \epsilon_{\dot{\zeta}} + M_{kd} = 0.061 \text{ Nm} \quad (63)$$

Dynamické poměry:

$$d_m = \frac{J_{rhm}}{J_{mot}} = 1.687 \quad (64)$$

$$1.5 \leq d_m \leq 3$$

|   |          |
|---|----------|
| <i>Minimální potřebný moment motoru - <math>M_{kmin}</math>.</i>    | 0.587 Nm |
| <i>Moment motoru dle statického pohledu - <math>M_{ks}</math></i>   | 0.049 Nm |
| <i>Moment motoru dle dynamického hlediska - <math>M_{kd}</math></i> | 0.061 Nm |
| <i>Celkový krouticí moment <math>M_{kcelk}</math>.</i>              | 0.697 Nm |

Tabulka 11 Souhrn momentů pro návrh motoru osy X

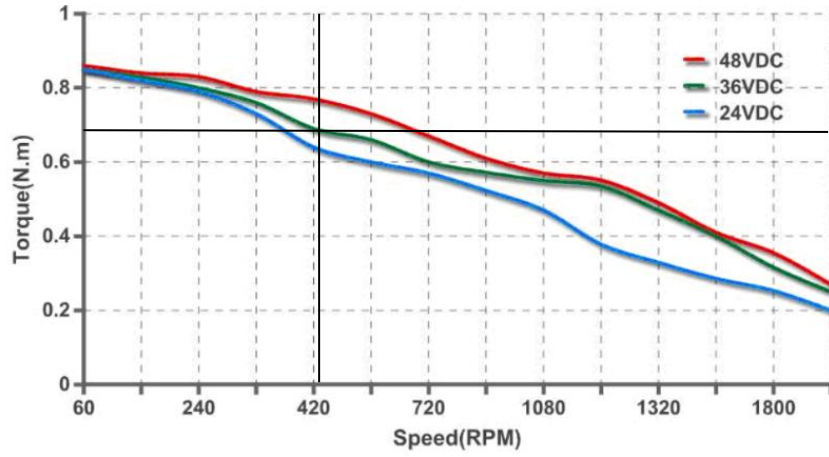
Dle výše provedených výpočtů, splňují požadované hodnoty krouticího momentu a otáček jak krokový motor, tak servomotor dané řady. V obou případech se jedná o třífázové provedení s napájecím napětím 48V a velikostí příruby Nema23. Z tohoto důvodu jsou níže uvedeny obě varianty, které je možné použít pro pohon osy X.



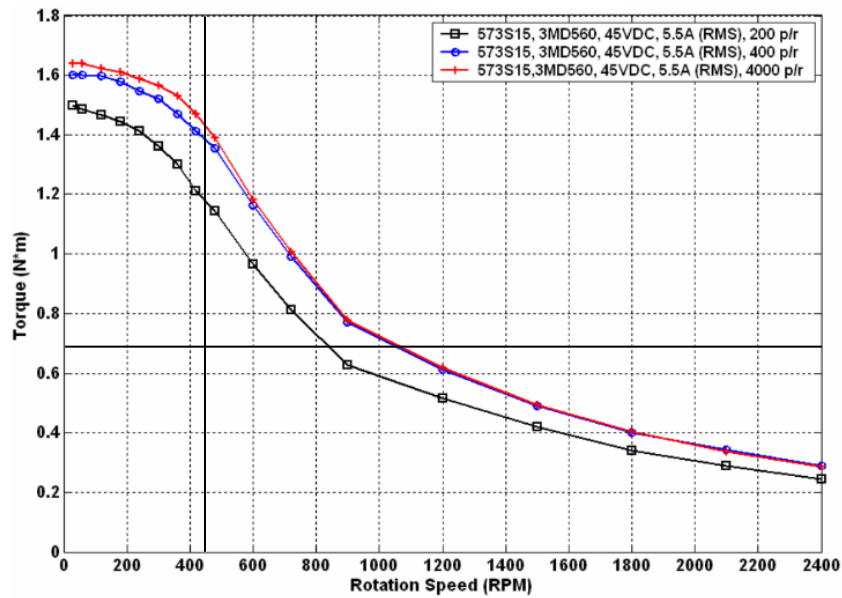
Obrázek 67 Easy servomotor ES-M32309 [95]



Obrázek 66 Krokový motor 57S315 [94]



Obrázek 68 Výkonová charakteristika servomotoru ES-M32309 [96]



Obrázek 69 Výkonová charakteristika krokového motoru [97]

## 5.4 Návrh osy Y

### 5.4.1 Kontrola lineárního vedení osy Y

K upevňovacím deskám je přivařen uzavřený profil (jākl) o rozměrech 100x80x6 mm doplněný o ocelovou desku tloušťky 10 mm. Tato deska slouží jako přídavný materiál pro obrábění a výrobu závitů. Na tuto desku jsou přivařeny dvě lišty, jejichž funkční plochy jsou opracovány a broušeny. Tyto lišty slouží k uložení kolejnice lineárního vedení, které bude provedeno dle výrobcem doporučených způsobů. Vzhledem k možnému vzniku vibrací, bočních sil a rázů, je zvoleno uložení pomocí referenční hrany a přítlačných válečků. Tento způsob přispívá k vyšší tuhosti a přesnosti. O pohyb desky osy Z se budou starat dva páry vozíků MSB–20 TS značky PMI.

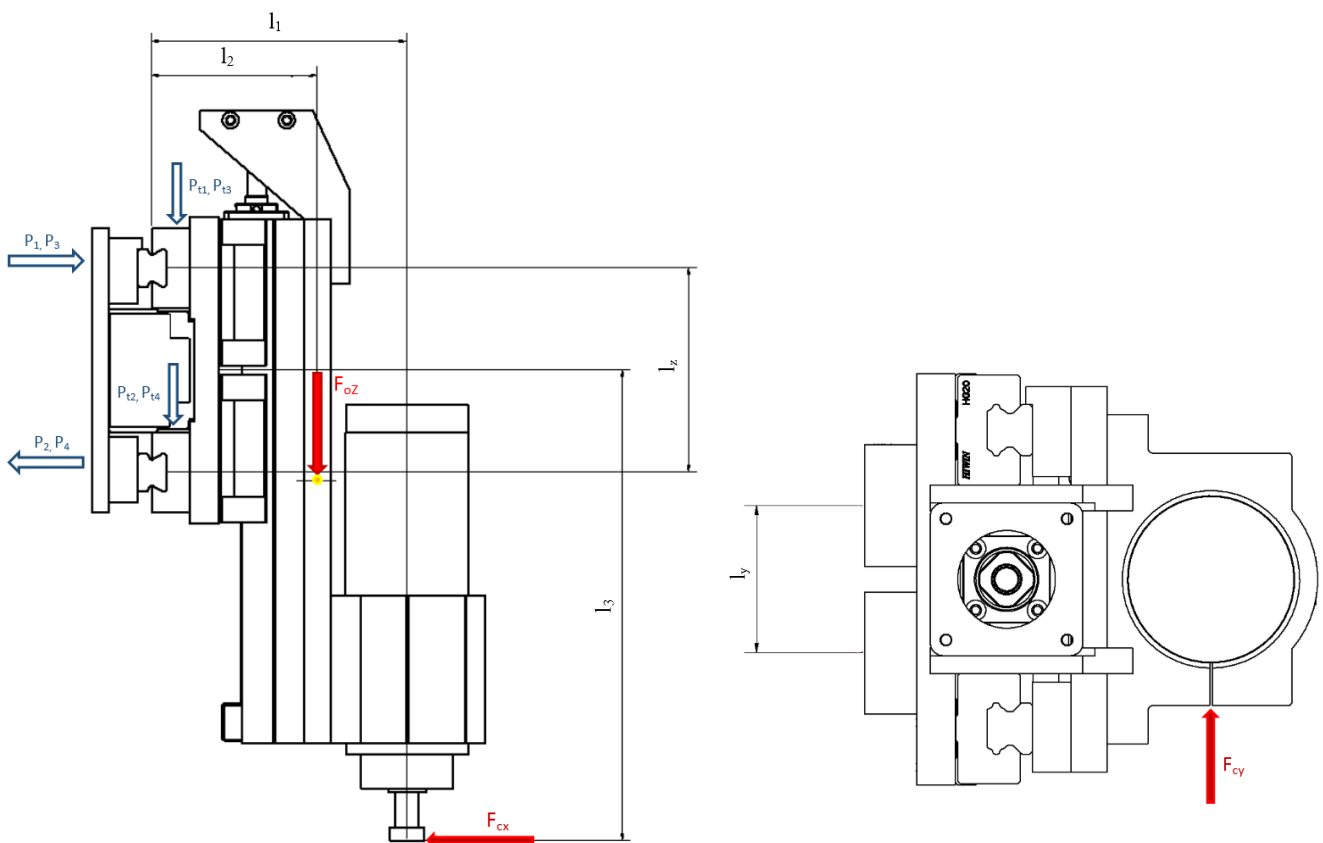
Mezi kolejnicemi lineárního vedení bude pomocí ložiskových domečků BF12 a FK12 uložen předběžně zvolený kuličkový šroub o průměru 16 mm s maticí a upevňovacím domečkem sloužící k posuvu upevňovací desky osy Z. Domeček FK bude axiálně přišroubován v držáku motoru.



Obrázek 70 Návrh pohonného systému osy Y

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| Hmotnost osy Z - $m_{oZ}$                      | 21 kg                              |
| Řezná síla - $F_c$                             | 612.014 N                          |
| Rozteč vozíků v ose Z - $l_z$                  | 0.108 m                            |
| Rozteč vozíků v ose Y - $l_y$                  | 0.0573 m                           |
| Vzdálenost řezné síly od středu vozíku - $l_1$ | 0.133 m                            |
| Vzdálenost zatěžující síly - $l_2$             | 0.0851 m                           |
| Vzdálenost řezné síly od středu - $l_3$        | 0.258 m                            |
| Krouticí moment - $M_{kv}$                     | 1.836 Nm                           |
| Statická únosnost - $C_0$                      | 14 200 N                           |
| Dynamická únosnost - $C_{dyn}$                 | 9 700 N                            |
| Gravitační zrychlení - $g$                     | $9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ |
| Faktor tvrdosti - $f_h$                        | 1                                  |
| Faktor teploty - $f_t$                         | 1                                  |
| Faktor zatížení - $f_w$                        | 2                                  |
| Statická konstrukční bezpečnost - $f_{sm}$     | 3                                  |

Tabulka 12 Parametry pro výpočet klopných momentů



Obrázek 71 Výpočtové schéma klopných momentů osy Y

### Klopné momenty:

$$\text{Zatěžující síly:} \quad F_{oz} = m_{oz} \cdot g = 206.01 \text{ N} \quad (65)$$

$$\text{Příčná osa - } M_x: \quad M_x = \frac{F_c \cdot l_1}{4} + \frac{F_{oz} \cdot l_2}{4} = 24.732 \text{ Nm} \quad (66)$$

$$\text{Příčná osa - } M_y: \quad M_y = \frac{F_c \cdot l_1}{4} = 20.349 \text{ Nm} \quad (67)$$

$$\text{Příčná osa - } M_z: \quad M_z = \frac{F_c \cdot l_3}{4} + \frac{M_{kv}}{4} = 39.934 \text{ Nm} \quad (68)$$

### Zatížení jednotlivých vozíků:

$$\text{Radiální zatížení } P_1, P_3 \quad P_1, P_3 = \frac{F_{oz}}{2 \cdot l_z} + \frac{F_c \cdot l_3}{2 \cdot l_z} = 1 \text{ 685 N} \quad (69)$$

$$\text{Radiální zatížení } P_2, P_4 \quad P_2, P_4 = -\frac{F_{oz}}{2 \cdot l_z} - \frac{F_c \cdot l_3}{2 \cdot l_z} = -1 \text{ 685 N} \quad (70)$$

$$\text{Tečné zatížení } P_1, P_2, P_3, P_4 \quad P_{1234} = \frac{F_c}{4} + \frac{F_{oz}}{4} + \frac{F_c \cdot l_y}{4 \cdot l_y} = 357.51 \text{ N} \quad (71)$$

$$\text{Ekvivalentní zatížení:} \quad P = P_1, P_3 + P_{1234} = 2042 \text{ N} \quad (72)$$

$$\text{Bezpečnostní faktor:} \quad k_f = \frac{C_0}{P} = 6.953 \quad (73)$$

$$\text{Jmenovitá životnost:} \quad L = \left( \frac{f_h \cdot f_t \cdot C_{dyn}}{f_w \cdot P} \right) \cdot 50000 = 1.187 \cdot 10^5 \text{ m} \quad (74)$$

$$\text{Životnost v hodinách:} \quad L_h = \left( \frac{C_{dyn}}{P} \right) \cdot \frac{50000}{4 \cdot 60} = 2.232 \cdot 10^4 \text{ hod.} \quad (75)$$

## 5.4.2 Kontrola kuličkového šroubu osy Y

|   |                        |
|---|------------------------|
| <i>Hmotnost soustavy osy Z - <math>m_{sz}</math></i>              | 21 kg                  |
| <i>Řezná síla - <math>F_c</math></i>                              | 612.014 N              |
| <i>Rychlost posuvu - <math>v_{rp}</math></i>                      | 2122 mm/min.           |
| <i>Jmenovitý průměr šroubu - <math>d_s</math></i>                 | 16 mm                  |
| <i>Malý průměr šroubu - <math>d_k</math></i>                      | 12.9 mm                |
| <i>Stoupání šroubu - <math>P</math></i>                           | 5 mm                   |
| <i>Nepodepřená délka šroubu - <math>l_{np}</math></i>             | 360.5 mm               |
| <i>Dynamická únosnost - <math>C_{dyn}</math></i>                  | 7320 N                 |
| <i>Statická únosnost - <math>C_0</math></i>                       | 12470 N                |
| <i>Gravitační zrychlení - <math>g</math></i>                      | 9.81 m·s <sup>-2</sup> |
| <i><math>D_n</math> faktor - <math>D_{nmax}</math></i>            | 70 000                 |
| <i>Čas rozběhu - <math>t_{roz}</math></i>                         | 0.1 s                  |
| <i>Koeficient uložení - <math>k_d</math></i>                      | 1.88                   |
| <i>Koeficient závislosti na uložení - <math>k_k</math></i>        | 2.05                   |
| <i>Účinnost kuličkového šroubu - <math>\eta_s</math></i>          | 0.92                   |
| <i>Účinnost vedení - <math>\eta_v</math></i>                      | 0.98                   |
| <i>Účinnost jednoho válečkového ložiska - <math>\eta_L</math></i> | 0.95                   |

Tabulka 13 Parametry pro výpočet kuličkového šroubu

### Kontrola maximálních otáček:

Otáčky šroubu: 
$$n_s = \frac{v_{rp}}{P} = 424.4 \text{ ot/min.}^{-1} \quad (76)$$

Krit. otáčky šroubu: 
$$n_{kr.} = k_d \cdot \frac{d_k}{l_{np}^2} \cdot 10^8 = 1.866 \cdot 10^4 \frac{\text{ot}}{\text{min.}} \quad (77)$$

Max. otáčky šroubu: 
$$n_{max.} = n_k \cdot 0.8 = 1.493 \cdot 10^4 \frac{\text{ot}}{\text{min.}} \quad (78)$$

$$n_s \leq n_{max.}$$



### Kontrola silového zatížení:

Max. teoretická dovolená

axiální síla:  $F_{at.} = k_k \cdot \frac{d_k^4}{l_{np}^2} \cdot 10^5 = 4.368 \cdot 10^4 \text{ N}$  (79)

Max. dovolená axiální síla:  $F_{amax.} = F_{at} \cdot 0.5 = 2.184 \cdot 10^4 \text{ N}$  (80)

Zrychlení šroubu:  $a = \frac{v_{rP}}{t_{roz.}} = 0.354 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  (81)

Otáčkový  $D_n$  faktor:  $D_n = d_s \cdot n_s = 6.79 \cdot 10^3$  (82)

$$D_n \leq D_{nmax.}$$

Statická síla působící v  
ose šroubu:

$$F_{aš} = F_c = 612.014 \text{ N} \quad (83)$$

Dynamická axiální síla:

$$F_{ad} = m_{sz} \cdot a = 7.427 \text{ N} \quad (84)$$

Kontrola vzpěrné tuhosti - Statika:  $F_{aš} \leq F_{amax.}$  (85)

Kontrola vzpěrné tuhosti - Dynamika:  $F_{ad} \leq F_{amax.}$  (86)

### Životnost kuličkového šroubu:

Životnost v otáčkách:  $L = \left(\frac{C_{dyn}}{F_m}\right)^3 \cdot 10^6 = 1.369 \cdot 10^{10} \text{ ot.}$  (87)

Životnost v hodinách:  $L_h = \left(\frac{C_{dyn}}{F_m}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{n_m \cdot 60} = 1.075 \cdot 10^6 \text{ hod.}$  (88)

### 5.4.3 Volba pohonu osy Y

Potřebný krouticí moment pro dané zatížení:

Celková účinnost:  $\eta_{celk.} = \eta_S \cdot \eta_V \cdot \eta_L = 0.829$  (89)

Minimální moment motoru:  $M_{kmin.} = \frac{F_{aš} \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta_{celk.}} = 0.587 \text{ Nm}$  (90)

Úhlové zrychlení šroubu:  $\epsilon_{\xi} = \frac{2 \cdot a \cdot \pi}{P_{0.005}} = 444.431 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$  (91)

Úhlové zrychlení motoru:  $\epsilon_{\xi} = \epsilon_m$  (92)

|  |   |
|--|---|
| <i>Celková hmotnost - <math>m_{celk.}</math></i>                                     | 21 kg   |
| <i>Převodový poměr - <math>i</math></i>  | 1   |
| <i>Efektivní součinitel valivého tření ve vodících plochách - <math>f_1</math></i>   | 0.005   |
| <i>Efektivní součinitel tření Kšm redukovaný na poloměr Kš - <math>f_2</math></i>    | 0.003   |
| <i>Efektivní součinitel tření redukovaný na poloměr čepu - <math>f_3</math></i>      | 0.003   |
| <i>Úhel sklonu vedení - <math>\alpha</math></i>                                      | 0°  |
| <i>Účinnost kuličkových ložisek pro oboustranné uložení - <math>\eta_{L2}</math></i> | 0.846   |
| <i>Účinnost kuličkového Kšm - <math>\eta_{S2}</math></i>                             | 0.846   |
| <i>Moment setrvačnosti motoru - <math>J_{mot.}</math></i>                            | $4 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$     |
| <i>Moment setrvačnosti kuličkového šroubu - <math>J_s</math></i>                     | $1.873 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ |
| <i>Moment setrvačnosti spojky - <math>J_{sp}</math></i>                              | $5.6 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$   |

Tabulka 14 Parametry pro výpočet statických a dynamických účinků

Statická zatížení:

Moment tíhové složky:  $M_{GT} = \frac{m_{celk.} \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot P_{0.005}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_{celk.}} = 0 \text{ Nm}$  (93)

Moment zátěže od třecích sil  
přesouvaných hmot:  $M_G = \frac{m_{celk.} \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot P_{0.005}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_S \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_P} = 0.001 \text{ Nm}$  (94)

Předepnutí kuličkového šroubu:  $F_p = 0.35 \cdot F_{aš} = 214.205 \text{ N}$  (95)

Moment zátěže od kuličkového hřídele:

$$M_{KSM} = \frac{F_p \cdot P_{0.005}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_P} \cdot (1 - \eta_{S2}) + \frac{0.5 \cdot (F_{aš} + m_{celk.} \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot f_1) \cdot d_s \cdot f_2}{i \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_P} =$$

$$M_{KSM} = 0.048 \text{ Nm} \quad (96)$$

Celkový statický moment zátěže redukováný na hřídel motoru:

$$M_{ks} = M_{GT} + M_G + M_{KSM} = 0.049 \text{ Nm} \quad (97)$$

Dynamické zatížení:

Moment tíhové složky:

$$M_{GT} = \frac{m_{celk.} \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot P_{0.005}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_{celk.}} = 0 \text{ Nm} \quad (98)$$

Moment zátěže od třecích sil přesouvaných hmot:

$$M_G = \frac{m_{celk.} \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot P_{0.005}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_S \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_P} = 0.001 \text{ Nm} \quad (99)$$

Moment zátěže od kuličkového hřídele:

$$M_{KSM} = \frac{F_p \cdot P_{0.005}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_P} \cdot (1 - \eta_{S2}) + \frac{0.5 \cdot m_{celk.} \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot f_1 \cdot d_s \cdot f_2}{i \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_P} =$$

$$M_{KSM} = 0.031 \text{ Nm} \quad (100)$$

Celkový moment zátěže redukováný na hřídel motoru:

$$M_{kd} = M_{GT} + M_G + M_{KSM} = 0.032 \text{ Nm} \quad (101)$$

Redukovaný moment setrvačnosti

posuvových hmot:

$$J_m = m_{celk.} \cdot \left( \frac{P_{0.005}}{2 \cdot \pi} \right)^2 = 1.33 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (102)$$

Celkový moment setrvačnosti

redukováný na hřídel motoru:

$$J_{rhm} = J_{mot} + J_m + J_s + J_{sp} = 7.763 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (103)$$

Potřebná velikost momentu:  $M_{kdyn} = J_{rhm} \cdot \xi_{\zeta} + M_{kd} = 0.067 \text{ Nm} \quad (104)$

Dynamické poměry:

$$d_m = \frac{J_{rhm}}{J_{mot}} = 1.941 \quad (105)$$

$$1.5 \leq d_m \leq 3$$

|   |          |
|---|----------|
| <i>Minimální potřebný moment motoru - <math>M_{kmin}</math>.</i>      | 0.587 Nm |
| <i>Moment motoru dle statického pohledu - <math>M_{ks}</math></i>     | 0.049 Nm |
| <i>Moment motoru dle dynamického hlediska – <math>M_{kdyn}</math></i> | 0.067 Nm |
| <i>Celkový krouticí moment <math>M_{kcelk}</math>.</i>                | 0.703 Nm |

*Tabulka 15 Souhrn momentů pro návrh motoru osy Y*

Dle výše provedených výpočtů je k pohonu osy Y možné použít jak krokový motor, tak servomotor, které byly navrženy pro osu X. Jedná se tedy o Easy servomotor ES-M32309 a krokový motor 57S315. Splňují požadované hodnoty krouticího momentu a otáček. V obou případech se jedná o třífázové provedení s napájecím napětím 45-48V a velikostí příruby Nema23.



*Obrázek 72 Easy servomotor ES-M32309, Krokový motor 57S315 [98]*

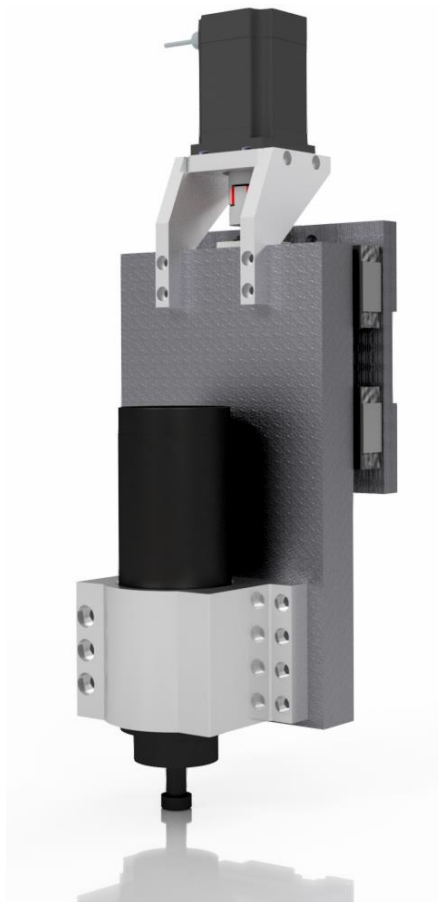
## 5.5 Návrh osy Z

### 5.5.1 Kontrola lineárního vedení osy Z

K nosné desce osy Z jsou přišroubovány vozíky lineárního vedení značky PMI. V těchto vozících se pohybuje dvojice profilových kolejnic, které jsou přišroubovávány k lištám vřetenové desky. Funkční plochy těchto lišt jsou opracovány a broušeny.

Jelikož i zde mohou vznikat vibrace, boční síly a rázy, je i pro tuto osu zvoleno uložení pomocí referenční hrany a přítlačných válečků. Tento způsob přispívá k vyšší tuhosti a přesnosti.

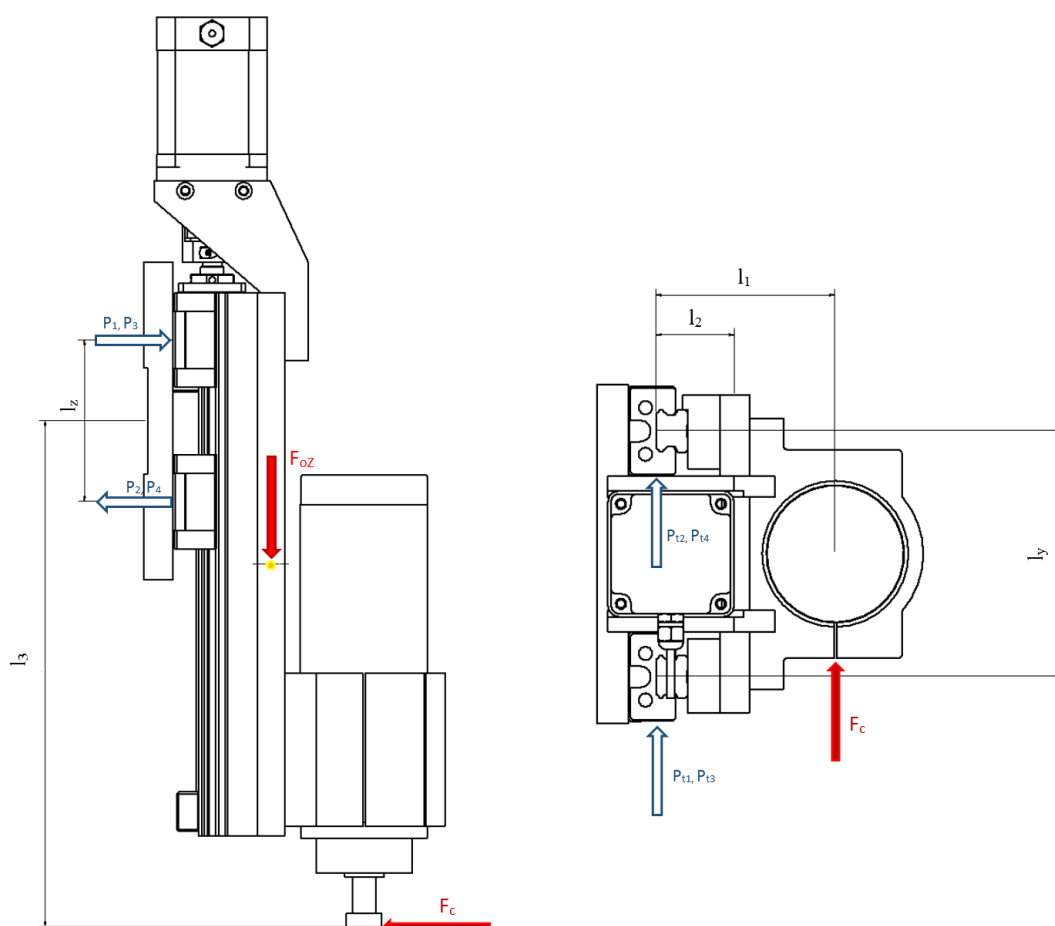
Mezi kolejnicemi lineárního vedení je pomocí ložiskových domečků BK12 a BF12 uložen kuličkový šroub o průměru 12 mm. Uchycení motoru je v tomto případě řešeno pomocí držáku upevněného k vřetenové desce.



Obrázek 73 Návrh pohonného systému osy Z

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| Hmotnost osy Z - $m_z$                         | 17.5 kg                            |
| Řezná síla - $F_c$                             | 612.014 N                          |
| Rozteč vozíků v ose Z - $l_z$                  | 0.0825 m                           |
| Rozteč vozíků v ose Y - $l_y$                  | 0.116 m                            |
| Vzdálenost řezné síly od středu vozíku - $l_1$ | 0.0845 m                           |
| Vzdálenost zatěžující síly - $l_2$             | 0.037 m                            |
| Vzdálenost řezné síly od středu - $l_3$        | 0.258 m                            |
| Krouticí moment - $M_{kv}$                     | 1.836 Nm                           |
| Statická únosnost - $C_0$                      | 14 200 N                           |
| Dynamická únosnost - $C_{dyn}$                 | 9 700 N                            |
| Gravitační zrychlení - $g$                     | $9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ |
| Faktor tvrdosti - $f_h$                        | 1                                  |
| Faktor teploty - $f_t$                         | 1                                  |
| Faktor zatížení - $f_w$                        | 2                                  |
| Statická konstrukční bezpečnost - $f_{sm}$     | 3                                  |

Tabulka 16 Parametry pro výpočet klopných momentů



Obrázek 74 Výpočtové schéma klopných momentů osy Z

### Klopné momenty:

$$\text{Zatěžující síly:} \quad F_{Oz} = m_z \cdot g = 171.675 \text{ N} \quad (106)$$

$$\text{Příčná osa - } M_x: \quad M_x = \frac{F_c \cdot l_1}{4} = 12.929 \text{ Nm} \quad (107)$$

$$\text{Příčná osa - } M_y: \quad M_y = \frac{F_c \cdot l_1}{4} + \frac{F_{Oz} \cdot l_2}{4} = 14.517 \text{ Nm} \quad (108)$$

$$\text{Příčná osa - } M_z: \quad M_z = \frac{F_c \cdot l_3}{4} + \frac{M_{kv}}{4} = 39.934 \text{ Nm} \quad (109)$$

### Zatížení jednotlivých vozíků:

$$\text{Radiální zatížení } P_1, P_3 \quad P_1, P_3 = \frac{F_{Oz}}{2 \cdot l_z} + \frac{F_c \cdot l_3}{2 \cdot l_z} = 1997 \text{ N} \quad (110)$$

$$\text{Radiální zatížení } P_2, P_4 \quad P_2, P_4 = -\frac{F_{Oz}}{2 \cdot l_z} - \frac{F_c \cdot l_3}{2 \cdot l_z} = -1997 \text{ N} \quad (111)$$

$$\text{Tečné zatížení } P_1, P_2, P_3, P_4 \quad P_{1234} = \frac{F_c}{4} + \frac{F_{Oz}}{4} + \frac{F_c \cdot l_y}{4 \cdot l_y} = 348.926 \text{ N} \quad (112)$$

$$\text{Ekvivalentní zatížení:} \quad P = P_1, P_3 + P_{1234} = 2346 \text{ N} \quad (113)$$

$$\text{Bezpečnostní faktor:} \quad k_f = \frac{C_0}{P} = 6.052 \quad (114)$$

$$\text{Jmenovitá životnost:} \quad L = \left( \frac{f_n \cdot f_t \cdot C_{dyn}}{f_w \cdot P} \right) \cdot 50000 = 1.034 \cdot 10^5 \text{ m} \quad (115)$$

$$\text{Životnost v hodinách:} \quad L_h = \left( \frac{C_{dyn}}{P} \right) \cdot \frac{50000}{4 \cdot 60} = 1.472 \cdot 10^4 \text{ hod.} \quad (116)$$

## 5.5.2 Kontrola kuličkového šroubu osy Z

|   |                        |
|---|------------------------|
| <i>Hmotnost soustavy osy Z - <math>m_{sz}</math></i>              | 17,5 kg                |
| <i>Řezná síla - <math>F_c</math></i>                              | 612.014 N              |
| <i>Rychlost posuvu - <math>v_{rp}</math></i>                      | 2122 mm/min.           |
| <i>Jmenovitý průměr šroubu - <math>d_s</math></i>                 | 12 mm                  |
| <i>Malý průměr šroubu - <math>d_k</math></i>                      | 12.9 mm                |
| <i>Stoupání šroubu - <math>P</math></i>                           | 5 mm                   |
| <i>Nepodepřená délka šroubu - <math>l_{np}</math></i>             | 360.5 mm               |
| <i>Dynamická únosnost - <math>C_{dyn}</math></i>                  | 7320 N                 |
| <i>Statická únosnost - <math>C_0</math></i>                       | 12470 N                |
| <i>Gravitační zrychlení - <math>g</math></i>                      | 9.81 m·s <sup>-2</sup> |
| <i><math>D_n</math> faktor - <math>D_{nmax}</math></i>            | 70 000                 |
| <i>Čas rozběhu - <math>t_{roz}</math></i>                         | 0.1 s                  |
| <i>Koeficient uložení - <math>k_d</math></i>                      | 1.88                   |
| <i>Koeficient závislosti na uložení - <math>k_k</math></i>        | 2.05                   |
| <i>Účinnost kuličkového šroubu - <math>\eta_s</math></i>          | 0.92                   |
| <i>Účinnost vedení - <math>\eta_v</math></i>                      | 0.98                   |
| <i>Účinnost jednoho válečkového ložiska - <math>\eta_L</math></i> | 0.95                   |

Tabulka 17 Parametry pro výpočet kuličkového šroubu

### Kontrola maximálních otáček:

Otáčky šroubu: 
$$n_s = \frac{v_{rp}}{P} = 424.4 \text{ ot/min.}^{-1} \quad (117)$$

Krit. otáčky šroubu: 
$$n_{kr.} = k_d \cdot \frac{d_k}{l_{np}^2} \cdot 10^8 = 3.37 \cdot 10^4 \frac{\text{ot}}{\text{min.}} \quad (118)$$

Max. otáčky šroubu: 
$$n_{max.} = n_k \cdot 0.8 = 2.696 \cdot 10^4 \frac{\text{ot}}{\text{min.}} \quad (119)$$

$$n_s \leq n_{max.}$$



### Kontrola silového zatížení:

Max. teoretická dovolená

axiální síla:  $F_{at.} = k_k \cdot \frac{d_k^4}{l_{np}^2} \cdot 10^5 = 3.566 \cdot 10^4 \text{ N}$  (120)

Max. dovolená axiální síla:  $F_{amax.} = F_{at} \cdot 0.5 = 1.783 \cdot 10^4 \text{ N}$  (121)

Zrychlení šroubu:  $a = \frac{v_{rP}}{t_{roz.}} = 0.354 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  (122)

Otáčkový  $D_n$  faktor:  $D_n = d_s \cdot n_s = 5.093 \cdot 10^3$  (123)

$$D_n \leq D_{nmax.}$$

Statická síla působící v ose šroubu:  $F_{aš} = m_z \cdot g = 171.675 \text{ N}$  (124)

Dynamická axiální síla:  $F_{ad} = m_{sz} \cdot a = 6.189 \text{ N}$  (125)

Kontrola vzpěrné tuhosti - Statika:  $F_{aš} \leq F_{amax.}$  (126)

Kontrola vzpěrné tuhosti - Dynamika:  $F_{ad} \leq F_{amax.}$  (127)

### Životnost kuličkového šroubu:

Životnost v otáčkách:  $L = \left(\frac{C_{dyn}}{F_m}\right)^3 \cdot 10^6 = 2.631 \cdot 10^{11} \text{ ot.}$  (128)

Životnost v hodinách:  $L_h = \left(\frac{C_{dyn}}{F_m}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{n_m \cdot 60} = 2.066 \cdot 10^7 \text{ hod.}$  (129)

### 5.5.3 Volba pohonu osy Z

|  |   |
|--|---|
| <i>Celková hmotnost - <math>m_{celk.}</math></i>   | 17.5 kg   |
| <i>Převodový poměr - <math>i</math></i>  | 1   |
| <i>Efektivní součinitel valivého tření ve vodících plochách - <math>f_1</math></i>                                     | 0.005   |
| <i>Efektivní součinitel tření <math>K_{\xi m}</math> redukovaný na poloměr <math>K_{\xi}</math> - <math>f_2</math></i> | 0.003   |
| <i>Efektivní součinitel tření redukovaný na poloměr čepu - <math>f_3</math></i>  | 0.003   |
| <i>Úhel sklonu vedení - <math>\alpha</math></i>  | 90°   |
| <i>Účinnost kuličkových ložisek pro oboustranné uložení - <math>\eta_{L2}</math></i>                                   | 0.846   |
| <i>Účinnost kuličkového <math>K_{\xi m}</math> - <math>\eta_{S2}</math></i>  | 0.846   |
| <i>Moment setrvačnosti motoru - <math>J_{mot.}</math></i>  | $3 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$     |
| <i>Moment setrvačnosti kuličkového šroubu - <math>J_s</math></i>   | $4.087 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ |
| <i>Moment setrvačnosti spojky - <math>J_{sp}</math></i>  | $5.6 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$   |

Tabulka 18 Parametry pro výpočet statických a dynamických účinků

#### Potřebný krouticí moment pro dané zatížení:

$$\text{Celková účinnost:} \quad \eta_{celk.} = \eta_S \cdot \eta_V \cdot \eta_L = 0.829 \quad (130)$$

$$\text{Minimální moment motoru:} \quad M_{kmin.} = \frac{F_{a\dot{s}} \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta_{celk.}} = 0.165 \text{ Nm} \quad (131)$$

$$\text{Úhlové zrychlení šroubu:} \quad \varepsilon_{\xi} = \frac{2 \cdot a \cdot \pi}{P_{0.005}} = 444.431 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2} \quad (132)$$

$$\text{Úhlové zrychlení motoru:} \quad \varepsilon_{\xi} = \varepsilon_m \quad (133)$$

#### Statická zatížení:

$$\text{Moment tíhové složky:} \quad M_{GT} = \frac{m_{celk.} \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot P_{0.005}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_{celk.}} = 0.165 \text{ Nm} \quad (134)$$

$$\text{Moment zátěže od třecích sil přesouvaných hmot:} \quad M_G = \frac{m_{celk.} \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot P_{0.005}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_S \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_P} = 0 \text{ Nm} \quad (135)$$

$$\text{Předepnutí kuličkového šroubu:} \quad F_p = 0.35 \cdot F_{a\dot{s}} = 60.086 \text{ N} \quad (136)$$

Moment zátěže od kuličkového hřídele:

$$M_{KSM} = \frac{F_p \cdot P_{0.005}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_P} \cdot (1 - \eta_{S2}) + \frac{0.5 \cdot (F_{a\dot{s}} + m_{celk.} \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot f_1) \cdot d_s \cdot f_2}{i \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_P} =$$

$$M_{KSM} = 0.012 \text{ Nm} \quad (137)$$

Celkový statický moment zátěže redukováný na hřídel motoru:

$$M_{ks} = M_{GT} + M_G + M_{KSM} = 0.177 \text{ Nm} \quad (138)$$

Dynamické zatížení:

Moment tíhové složky:

$$M_{GT} = \frac{m_{celk.} \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot P_{0.005}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_{celk.}} = 0.165 \text{ Nm} \quad (139)$$

Moment zátěže od třecích sil přesouvaných hmot:

$$M_G = \frac{m_{celk.} \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot P_{0.005}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_S \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_P} = 0 \text{ Nm} \quad (140)$$

Moment zátěže od kuličkového hřídele:

$$M_{KSM} = \frac{F_p \cdot P_{0.005}}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_P} \cdot (1 - \eta_{S2}) + \frac{0.5 \cdot m_{celk.} \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot f_1 \cdot d_s \cdot f_2}{i \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_P} =$$

$$M_{KSM} = 0.009 \text{ Nm} \quad (141)$$

Celkový moment zátěže redukováný na hřídel motoru:

$$M_{kd} = M_{GT} + M_G + M_{KSM} = 0.173 \text{ Nm} \quad (142)$$

Redukovaný moment setrvačnosti posuvových hmot:

$$J_m = m_{celk.} \cdot \left( \frac{P_{0.005}}{2 \cdot \pi} \right)^2 = 1.108 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (143)$$

Celkový moment setrvačnosti redukováný na hřídel motoru:

$$J_{rhm} = J_{mot} + J_m + J_s + J_{sp} = 5.077 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (144)$$

Potřebná velikost momentu:  $M_{kdyn} = J_{rhm} \cdot \xi_{\dot{s}} + M_{kd} = 0.196 \text{ Nm} \quad (145)$

Dynamické poměry:  $d_m = \frac{J_{rhm}}{J_{mot}} = 1.692 \quad (146)$

$$1.5 \leq d_m \leq 3$$

|   |          |
|---|----------|
| Minimální potřebný moment motoru - $M_{kmin}$ .     | 0.165 Nm |
| Moment motoru dle statického pohledu - $M_{ks}$     | 0.177 Nm |
| Moment motoru dle dynamického hlediska – $M_{kdyn}$ | 0.196 Nm |
| Celkový krouticí moment $M_{kcelk}$ .               | 0.538 Nm |

Tabulka 19 Souhrn momentů pro návrh motoru osy Z

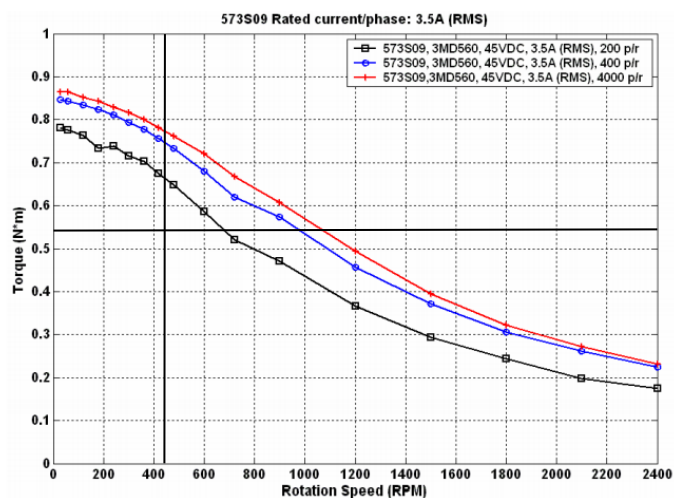
Dle výše provedených výpočtů je k pohonu osy Z možné použít jak krokový motor, tak servomotor. V případě servomotoru se jedná o Easy servomotor ES-M32309, který je navrhnut i u předešlých os a o krokový motor 57S309. Oba pohony disponují dostatečnou rezervou krouticího momentu a otáček. V obou případech se jedná o třífázové provedení s napájecím napětím 45-48V a velikostí příruby Nema23.



Obrázek 75 Easy servomotor ES-M32309 [101]



Obrázek 77 Krokový motor 57S309 [99]

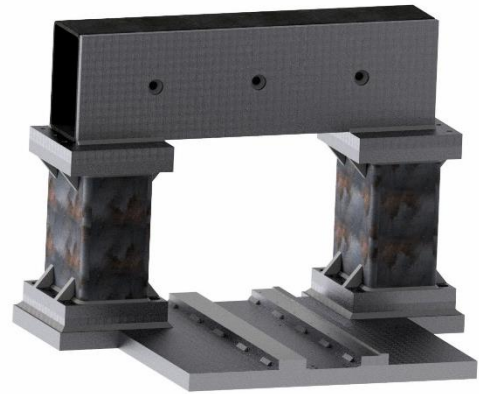


Obrázek 76 Výkonová charakteristika krokového motoru 57S309 [100]

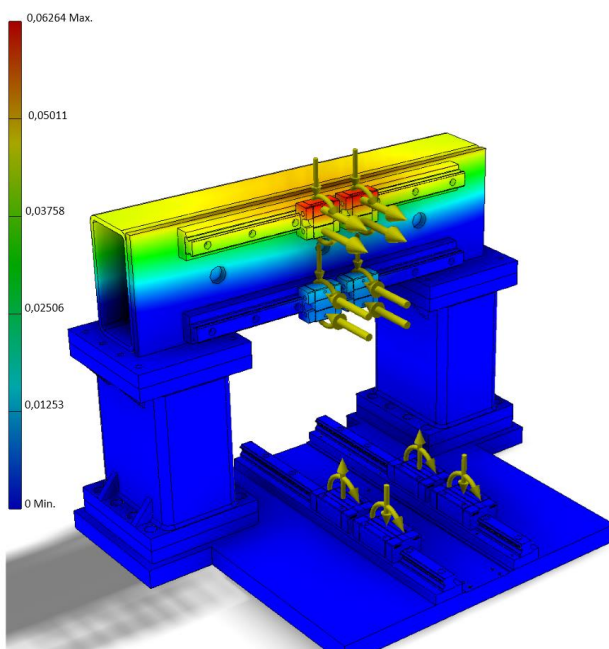
## 5.6 Pevnostní analýza rámu stroje

V této kapitole se budu věnovat optimalizaci předběžně navrhnutého rámu stroje, na jehož základě byly určeny rozměry potřebné k výpočtu jednotlivých os stroje. Jak již bylo dříve zmíněno, rozměry a materiál rámu stroje byly voleny s ohledem na strojní vybavení, na němž bude daná frézka vyráběna. Základ rámu je tvořen masivní ocelovou deskou, dvojicí sloupů s upevňovacími platlemi a příčnicí. Sloupy i příčník byly voleny jako jákl o rozměrech 160x8x6 mm (ČSN EN 10219-1).

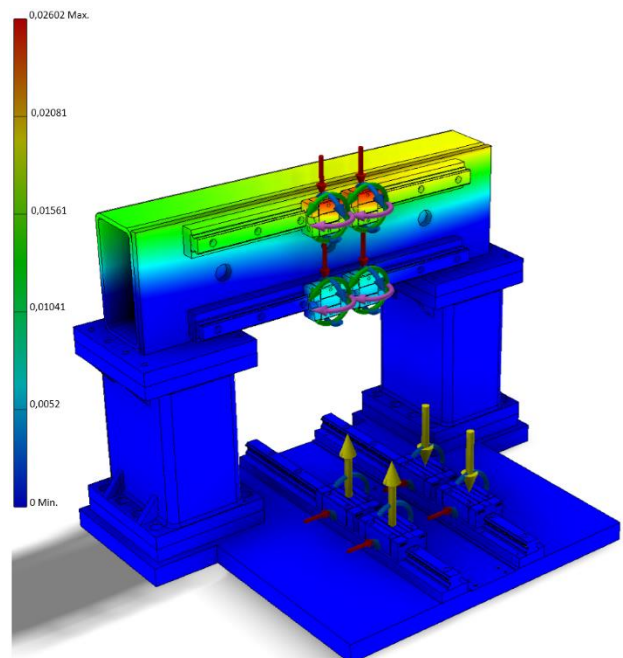
Vlastní optimalizace byla provedena pomocí MKP analýzy, a to v Autodesk Inventoru 2016. Jako vstupní hodnoty pro MKP analýzu byly použity výsledky výše provedených výpočtů. Pro analýzu celkové deformace (viz obr 79, 80, 86, 87) bylo nutné upravit model včetně tak, aby se chovalo jako dokonale tuhé těleso. Jelikož se jedná o kupovaný díl, nelze u něj tuhost nijak ovlivnit.



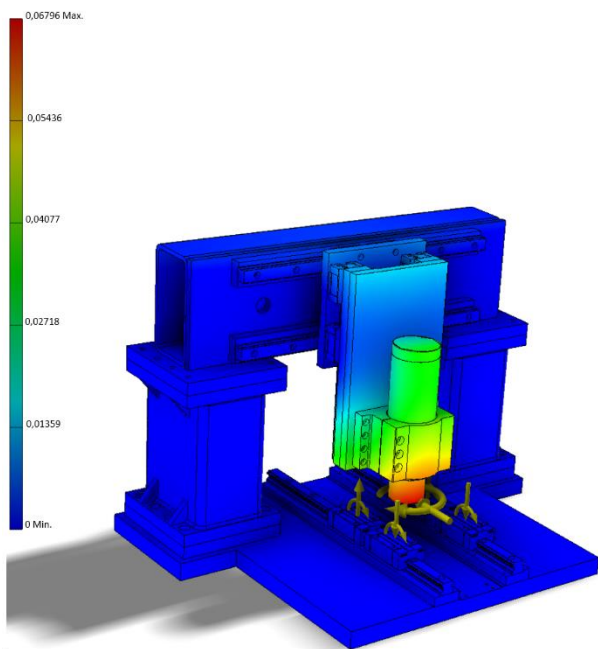
Obrázek 78 Předběžný návrh rámu stroje



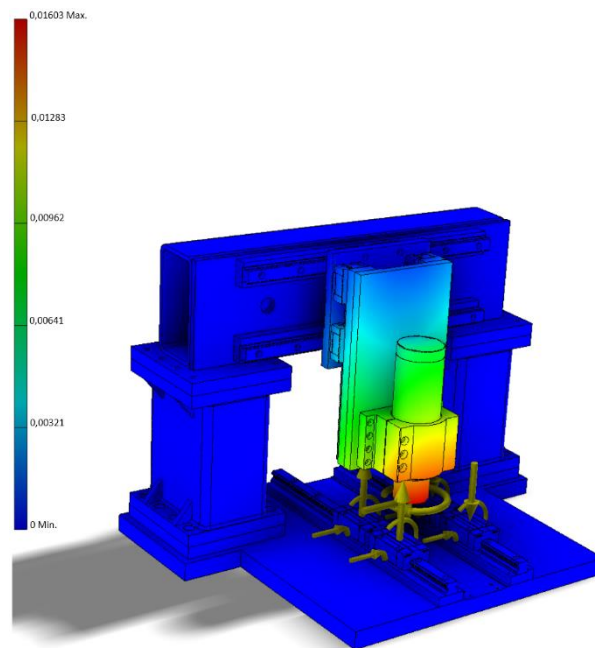
Obrázek 79 Posunutí portálu v ose X



Obrázek 80 Posunutí portálu v ose Y



Obrázek 81 Celková sesunutí od zatěžující řezné síly a kroučícího momentu v ose X



Obrázek 82 Celková posunutí od zatěžující řezné síly a kroučícího momentu v ose Y

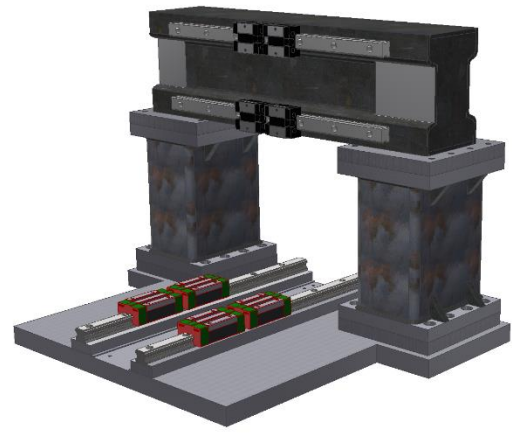
Z obrázků 79 a 80 je patrné, že spodní a střední část rámu stroje byla zvolena, jako dostatečně tuhá tzn., nedochází zde vlivem působení zatěžujících sil a momentů téměř k žádnému posunutí (deformaci) rámu. Jako nedostačující se však ukázal profil (jákl) tvořící portál. Zde vlivem zatěžujících účinků dochází k významnému posunutí (deformaci) v ose X cca o 0,062 mm a v ose Y cca o 0,026 mm. Vzhledem k velikosti stroje a jeho využití by po přičtení případných deformací vznikajících vlivem zatížení na ose Z došlo k značnému snížení přesnosti stroje.

Na základě výsledků MKP analýzy byly provedeny konstrukční změny návrhu portálu a to takové, aby bylo dosaženo pokud možno, co nejmenších hodnot posunutí v jednotlivých osách.

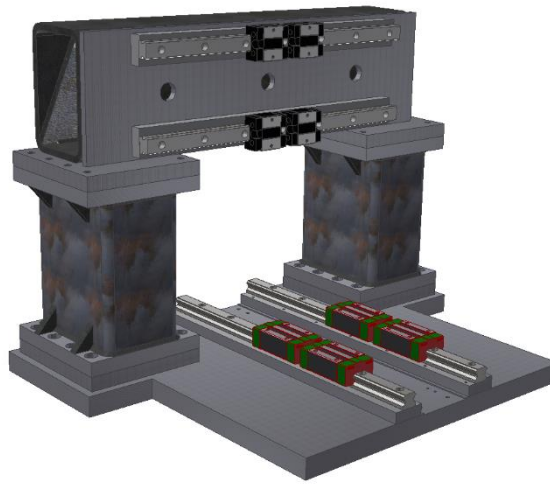
Byla navržena celkem tři možná řešení, z nichž byla vybraná varianta vykazující nejlepší výsledky s ohledem na složitost výroby. Jednou z variant bylo doplnění portálu dvojicí výztužných žeber pro každý sloup (viz obr. 83). Další varianta předpokládala výrobu portálu jako svařence z několika částí (viz obr. 84). Poslední variantou je opět jákl s vně uhlopříčně umístěnou příčkou (viz obr. 85). Tato varianta dosáhla nejlepších výsledků jak z pohledu hodnot posunutí, tak i z pohledu výroby.



Obrázek 84 Vyztužení pomocí žeber



Obrázek 83 Portál tvořený svařencem

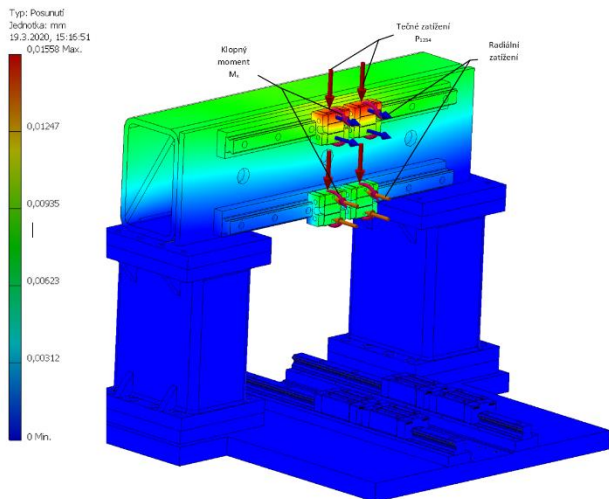


Obrázek 85 Portál s vně uhlopříčně uloženou příčkou

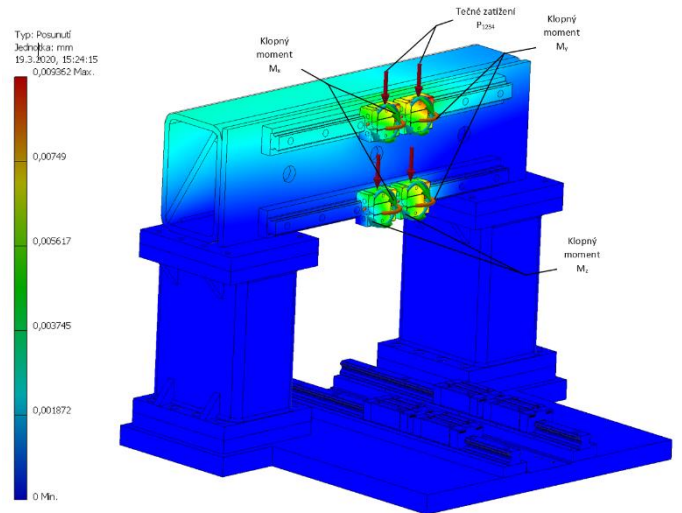
| Portál                                  | Způsob zatížení  | Max. posunutí v ose x | Max. posunutí v ose y |
|---|------------------|-----------------------|-----------------------|
| Výchozí návrh – obr. 78                 | Posunutí portálu | 0,06264 mm            | 0,02602 mm            |
|   | Celková posunutí | 0,06853 mm            | 0,01603 mm            |
| Vyztužení pomocí žeber – obr. 83        | Posunutí portálu | 0,03406 mm            | 0,01528 mm            |
|   | Celková posunutí | 0,0536 mm             | 0,01591 mm            |
| Portál tvořený svařencem – obr. 84      | Posunutí portálu | 0,02721 mm            | 0,01475 mm            |
|   | Celková posunutí | 0,04647 mm            | 0,01889 mm            |
| Portál s vně uloženou příčkou – obr. 85 | Posunutí portálu | 0,01719 mm            | 0,00916 mm            |
|   | Celková posunutí | 0,03958 mm            | 0,0158 mm             |

Tabulka 20 Souhrn výsledků MKP analýzy navržených variant portálu



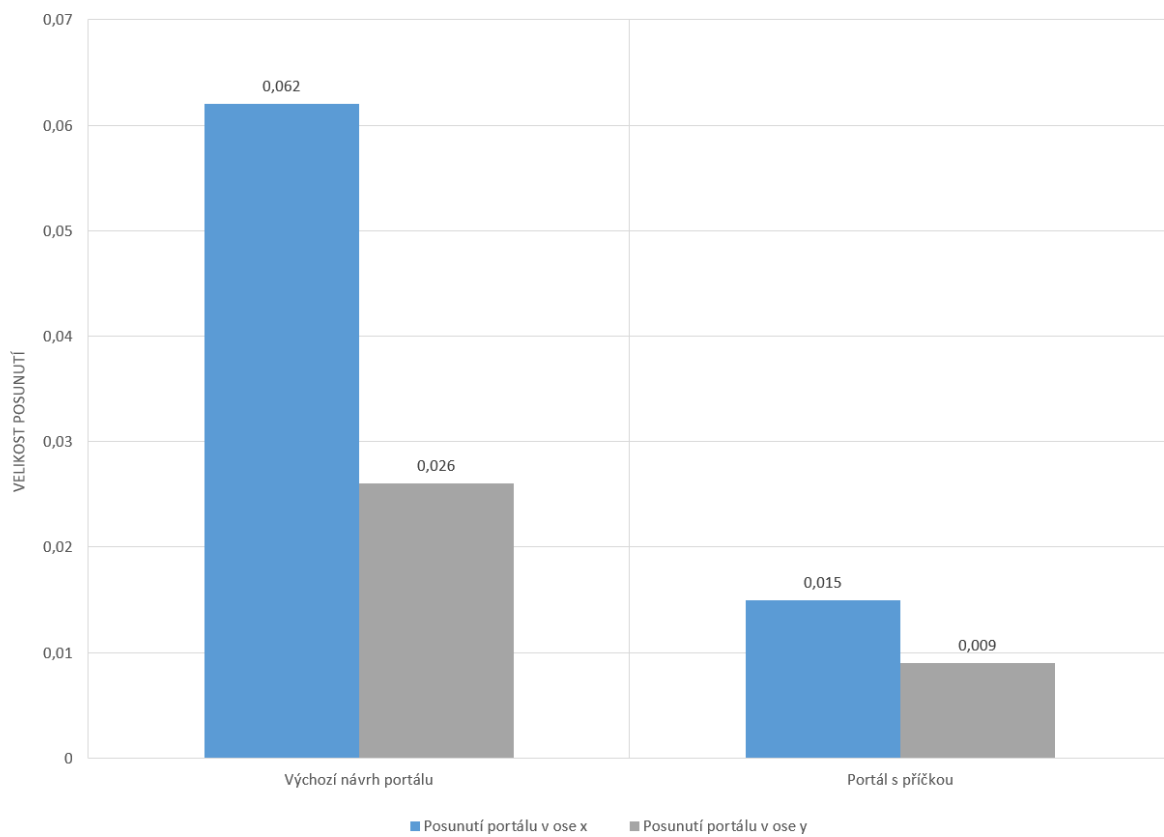


Obrázek 86 Posunutí v ose x

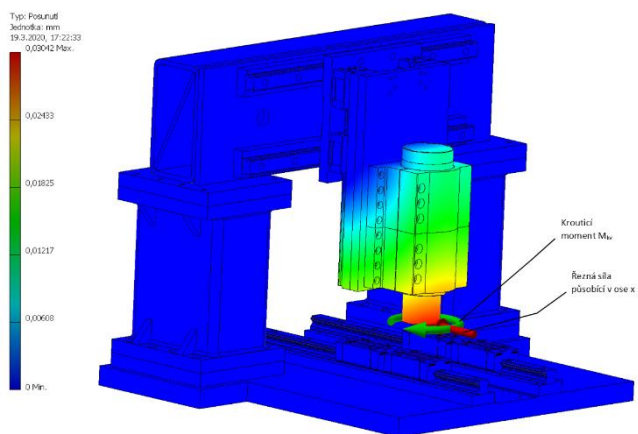


Obrázek 87 Posunutí v ose y

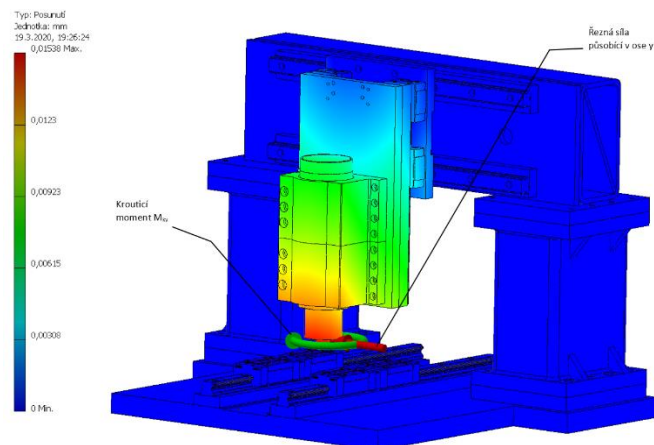
### Posunutí portálu v ose X a Y





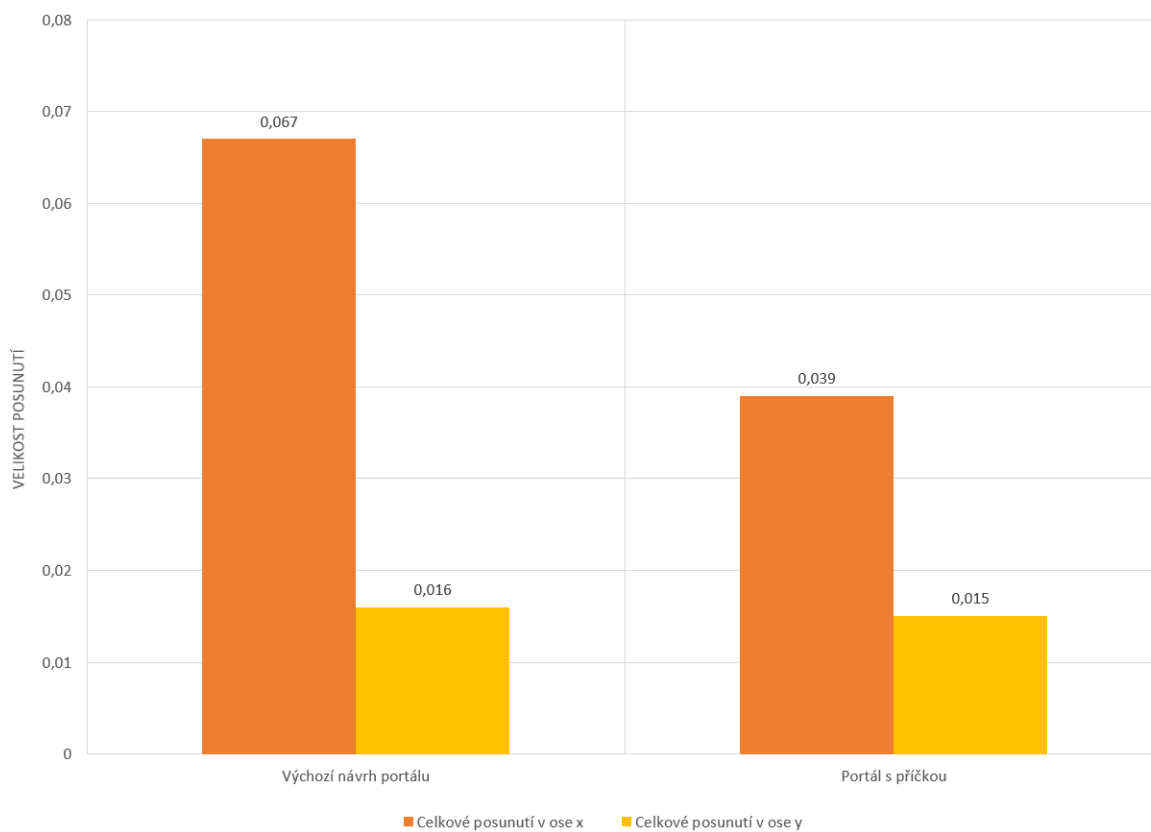


Obrázek 88 Celkové posunutí u varianty s uhlopříčně uloženou příčkou v ose x



Obrázek 89 Celkové posunutí u varianty s uhlopříčně uloženou příčkou v ose y

### Celkové posunutí v ose X a Y



### 5.6.1 Stanovení tuhosti na nástroji

|  |            |
|--|------------|
| Řezná síla - $F_{re}$                        | 612.014 N  |
| Maximální posunutí ve směru osy x - $u_x$    | 0.03958 mm |
| Maximální posunutí ve směru osy x - $u_{x2}$ | 0,03042 mm |
| Maximální posunutí ve směru osy y - $u_y$    | 0.0158 mm  |
| Stanovená tuhost na nástroji - $k_{cs}$      | 20 000 Nmm |

Tabulka 21 Parametry pro výpočet tuhosti na nástroji

Tuhost na nástroji v ose x:  $k_{cx} = \frac{F_{re}}{u_x} = 15\,462,7\, Nmm$

Tuhost na nástroji v ose x:  $k_{cx2} = \frac{F_{re}}{u_{x2}} = 21\,118\, Nmm$

Tuhost na nástroji v ose y:  $k_{cy} = \frac{F_{re}}{u_y} = 38\,735\, Nmm$

V počátku návrhu byla tuhost na nástroji stanovena na 20 000 Nmm. Z pohledu výchozího konstrukčního návrhu tuhost na nástroji ve směru osy X nedosáhla ani hodnoty 10 000 Nmm. Úpravou portálu však došlo k celkovému snížení posunutí v jednotlivých osách, a tím i ke zvýšení tuhosti, avšak stále nedostatečné hodnotě v ose X, jejíž hodnota dosáhla 15 452,7 Nmm. Aby nedošlo k přílišnému zvýšení hmotnosti osy Z, byla provedena úprava ve formě přidání hliníkového držáku elektrovřetena, čímž došlo ke zvýšení tuhosti nad požadovanou hodnotu, a to na 21 118 Nmm.

## 5.7 Ergonomie a design stroje

V této kapitole se budu zabývat návrhem designu frézky, neboť kromě vynikajících technologických parametrů, kterými by měl stroj disponovat, je také nutné věnovat pozornost ergonomii a celkovému designu stroje.

Kvalitní design působí jak na naše smysly (zrak, hmat, sluch), tak i na naše myšlení. Norio Ohga (bývalý prezident Sony) uvedl, že výrobek musí zákazníka přimět k myšlení: „Jsem rád, že jsem si to koupil“, „Jsem rád, že to používám“, „Jsem rád, že to mám“.[102]

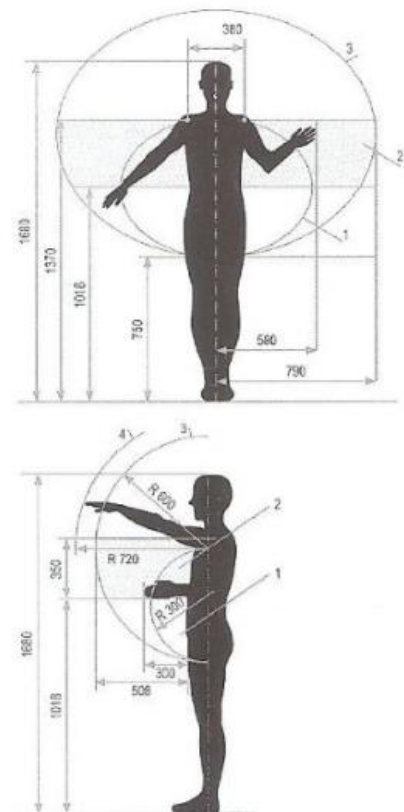
V oblasti designu obráběcích strojů (průmyslového designu) je kladen důraz zejména na tzv. humanizaci techniky, tedy na vytvoření vhodného pracovního prostředí, které nebude člověka nadměrně unavovat a rozptylovat. K návrhu takového prostředí využíváme objektivních (přímých) měřítek ergonomie a nepřímých měřítek, jako jsou celková kompozice hmot, barevnost a provedení detailů.[103]

Přímá měřítka:

- základní antropometrické rozměry
- základní zóny zorného pole člověka
- rozměry pracovních zón
- umístění ovládacích a informačních panelů

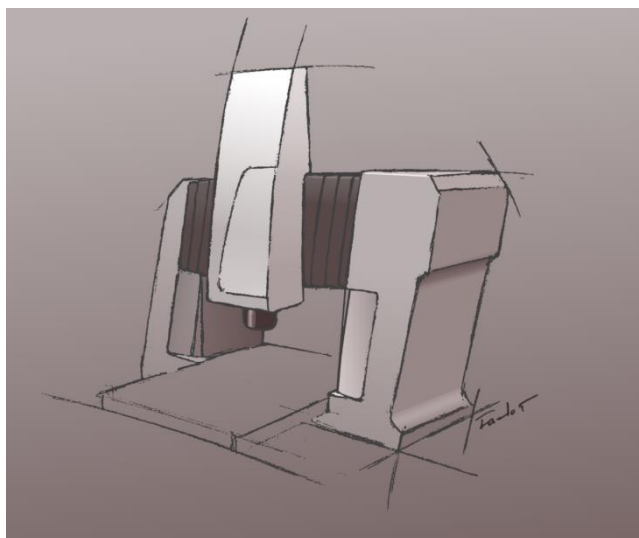
Nepřímá měřítka:

- kompozice
- proporce
- rytmus
- symetrie
- barevnost a kontrast



Obrázek 90 Rozměry pracovních zón [104]

Pro navrhnutou konstrukci portálové frézky jsou nastíněny dva druhy designu stroje. Výtvarné návrhy jednotlivých variant vytvořil po vzájemné konzultaci Martin Fazekaš, DiS. První varianta je určena pro tzv. otevřenou konstrukci. Jedná se o krytování sloužící k ochraně hlavních pohonných částí stroje, jako jsou lineární vedení, kuličkové šrouby a vlastní rám. Předpokládaným materiálem krytování by měl být ocelový plech o síle 1 mm jak pro kryty rámu, tak pro lamely teleskopického krytování jednotlivých os.

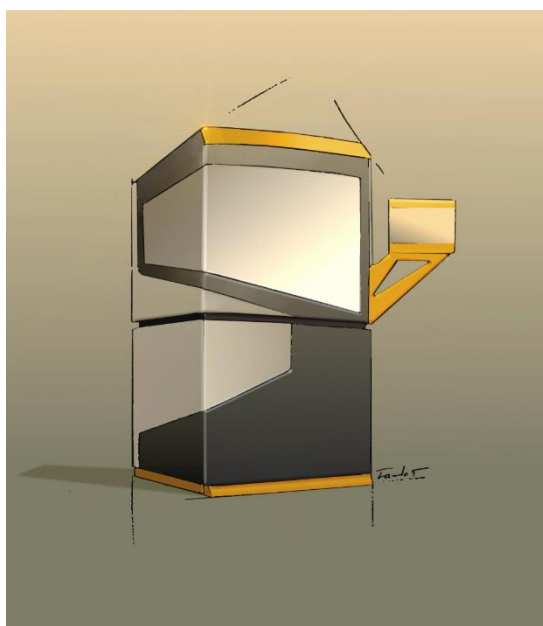


*Obrázek 91 Návrh otevřené verze [105]*

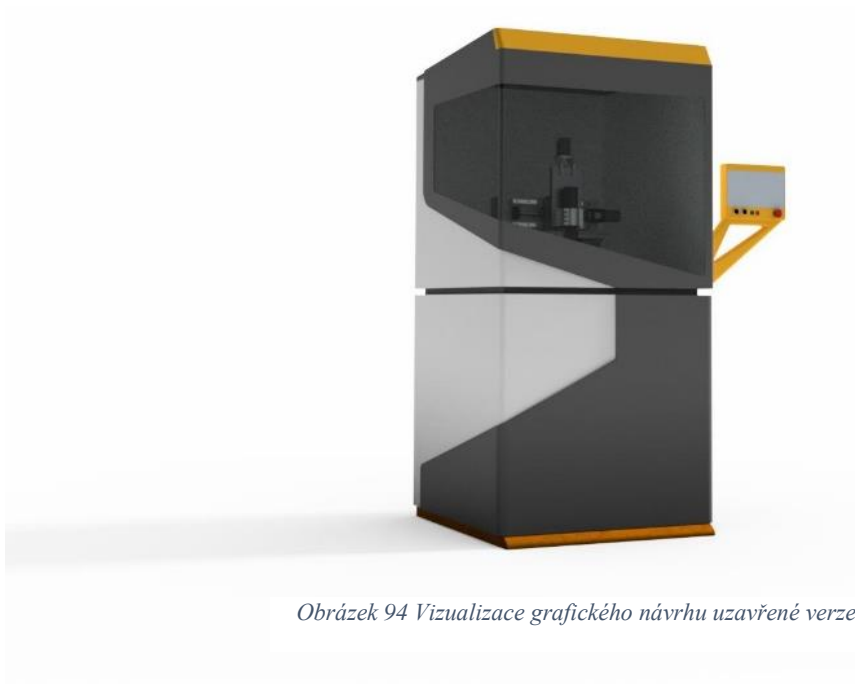


*Obrázek 92 Vizualizace grafického návrhu*

Druhá varianta návrhu je pro tzv. uzavřenou konstrukci. Mělo by se jednat o nosný rám, na kterém bude vlastní frézka usazena. K ochraně lineárního vedení a kuličkových šroubů by měly být využity pryžové skládací měchy. Okolní krytování by mělo být tvořeno opět ocelovým plechem o síle 1 mm. Průzor by pak měl být vytvořen pomocí polykarbonátu.



Obrázek 93 Návrh uzavřené verze [106]



Obrázek 94 Vizualizace grafického návrhu uzavřené verze

Z požadavku použití kapalinného chlazení při obrábění, jsem zvolil druhé koncepční řešení, které by svou konstrukcí mělo zajistit nejen utěsnění pracovního prostoru před únikem řezné kapaliny a obrobeného materiálu do okolí stroje, ale také tento odpadový materiál odvést z pracovního prostoru do sběrného zařízení.

Před vlastní realizací tohoto konstrukčního řešení, bylo nutné stanovit základní rozměry. Stroj bude umístěn v dílně se vstupním otvorem o rozměrech 3 x 2,5 m vedle pracovního stolu, jehož šířka je 1,2 m.

|   |         |
|---|---------|
| <i>Maximální výška stroje – <math>v_{max}</math>.</i>         | 2000 mm |
| <i>Maximální hloubka stroje – <math>h_{max}</math>.</i>       | 1200 mm |
| <i>Maximální šířka stroje – <math>\check{s}_{max}</math>.</i> | 1100 mm |

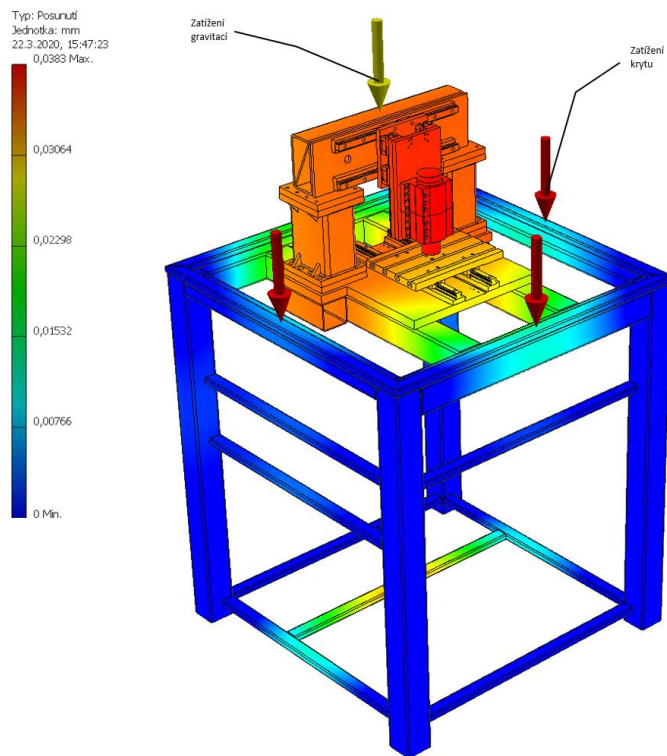
*Tabulka 22 Maximální rozměry stroje*

Vlastní krytování stroje se bude skládat ze dvou celků, a to z nosného rámu sloužícího k upevnění frézky a dalšího příslušenství a horního krytu se vstupními dveřmi.

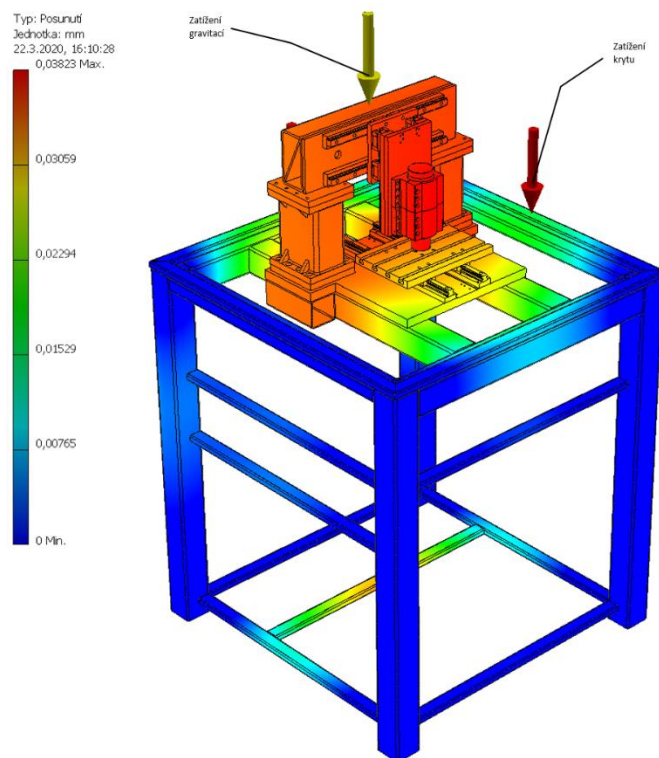
Nejprve jsem navrhl nosný rám, který je zhotoven jako svařenec ocelových profilů čtvercového a obdélníkového tvaru. Pomocí MKP analýzy byl celý rám optimalizován tak, aby došlo především ke snížení průhybu rámu ve střední části tedy v místě upevnění frézky. Při výpočtu byl rám zatížen tíhou frézky a horního krytování (při otevření a zavření).



*Obrázek 95 Nosný rám stroje*



Obrázek 96 Posunutí rámu při zavřeném horním krytu

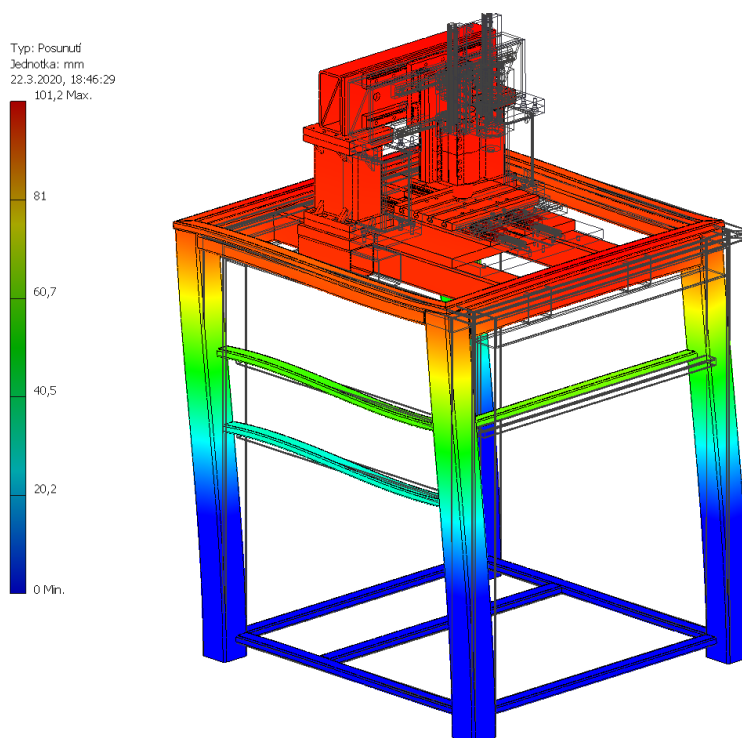


Obrázek 97 Posunutí rámu při otevřeném horním krytu

Na závěr byla celá konstrukce zkontrolována z pohledu vlastních a budících frekvencí. Pomocí modální analýzy byly určeny vlastní frekvence konstrukce, které jsou zobrazeny v následující tabulce. Jak je z této tabulky zřejmé, budící frekvence leží v oblasti vlastních frekvencí rámu a jsou pro tuto konstrukci hrozbou. Na základě tohoto zjištění byl rám doplněn vzpěrami.

| <i>Vlastní frekvence konstrukce<br/>[Hz]</i> | <i>Budící frekvence vřetene<br/>[Hz]</i> |
|--|--|
| 1 <i>Vlastní tvar: 25,07</i>                 | Minimální - 50                           |
| 2 <i>Vlastní tvar: 28,07</i>                 | Vrtání - 123,8                           |
| 3 <i>Vlastní tvar: 61,61</i>                 | Čelní frézování - 137,07                 |
| 4 <i>Vlastní tvar: 91,56</i>                 | Obvodové frézování - 179                 |
| 5 <i>Vlastní tvar: 109,49</i>                | Maximální - 400                          |
| 6 <i>Vlastní tvar: 110,81</i>                |  |
| 7 <i>Vlastní tvar: 152,57</i>                |  |
| 8 <i>Vlastní tvar: 190,68</i>                |  |

*Tabulka 23 Porovnání vlastních a budících frekvencí*

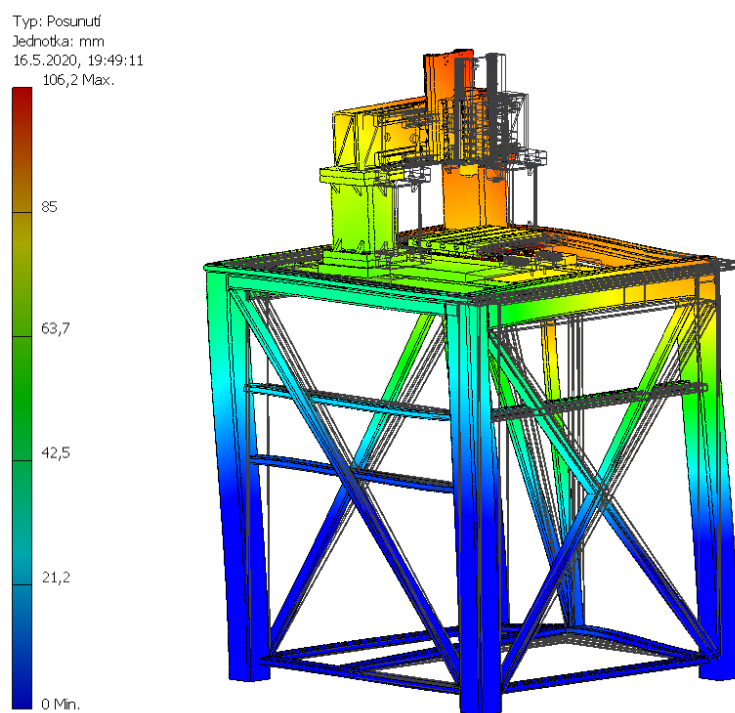


*Obrázek 98 První vlastní tvar*



| <i>Vlastní frekvence konstrukce<br/>[Hz]</i> | <i>Budící frekvence vřetene<br/>[Hz]</i> |
|--|--|
| 1 <i>Vlastní tvar: 41,05</i>                 | Minimální - 50                           |
| 2 <i>Vlastní tvar: 59,02</i>                 | Vrtání - 123,8                           |
| 3 <i>Vlastní tvar: 90,53</i>                 | Čelní frézování - 137,07                 |
| 4 <i>Vlastní tvar: 93,46</i>                 | Obvodové frézování - 179                 |
| 5 <i>Vlastní tvar: 113,73</i>                | Maximální - 400                          |
| 6 <i>Vlastní tvar: 121,17</i>                |  |
| 7 <i>Vlastní tvar: 121,39</i>                |  |
| 8 <i>Vlastní tvar: 129,26</i>                |  |

*Tabulka 24 Porovnání vlastních a budících frekvencí po úpravě*

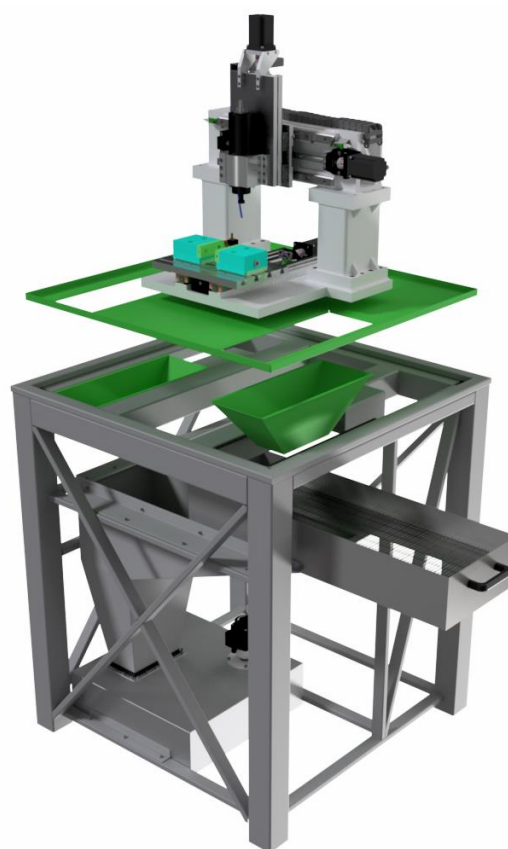


*Obrázek 99 První vlastní tvar po úpravě*

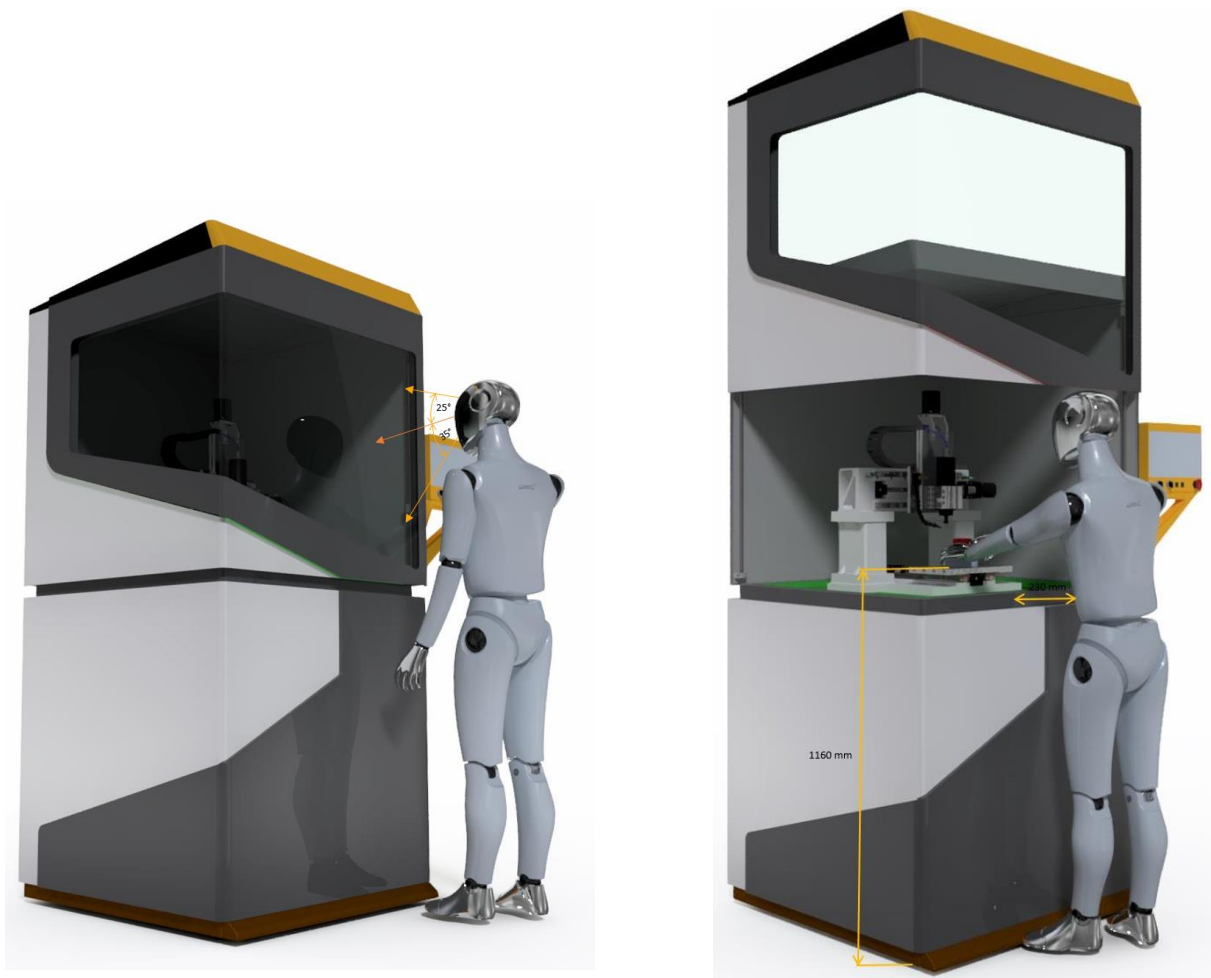
Nosný rám je mimo příček sloužících k upevnění frézky, doplněn také o menší příčky, a to ve střední a spodní části rámu. Tyto příčky slouží nejen k celkovému zpevnění rámu, ale především jako upevňovací prvky odpadového hospodářství. Tento systém je tvořen ručně vyjímatelným šuplíkem skládajícím se z obvodového rámu a síta sloužícího k zachycení odpadového materiálu. Dále je tvořen šachtou, která má za úkol svést řeznou kapalinu do zásobní nádrže a sběrné nádrže s čerpadlem.



*Obrázek 101 Sestava nosného rámu*



*Obrázek 100 Součásti odpadového hospodářství*



Obrázek 102 Ergonomie stroje

## 5.8 Elektrická výzbroj stroje

Konstrukce obráběcích strojů se řídí celou řadou norem a zákonů (normy typu A, B, C). K základním požadavkům kladených na obráběcí stroje patří nejen správná a bezporuchová funkce stroje, ale především bezpečnost a ochrana zdraví. Konstrukce stroje musí tedy zaručit, že při provozu, seřizování a opravách nedojde k ohrožení a zranění osob.[107]

Stejné požadavky platí i v případě elektrické výzbroje stroje. Z obecných požadavků konstrukce elektrického zařízení vyplývá, že je nutné zvážit:

Možná nebezpečí:

- poruchy elektrického zařízení (úraz elektrickým proudem)
- poruchy v řídicích obvodech (chybná funkce stroje)
- poruchy napájení (ovlivnění funkcí stroje)
- hlukové emise (nevhodné prostředí pro operátora)

Kvalita elektrického napájení:

- odchylka od jmenovitého napětí ( $\pm 10\%$ )
- odchylka od jmenovitého kmitočtu ( $\pm 2\%$ )

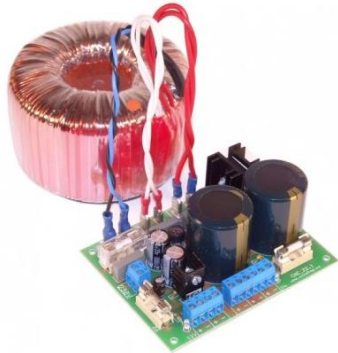
Elektromagnetickou kompatibilitu:

- odrušení přístrojů a motorů
- uzemnění krytů stroje a dalšího příslušenství s rámem stroje
- použití stínění k oddělení signálových a silových vodičů (el. magnetické, el. statické) [108]

Mimo některých výše popsaných obecných zásad jsem se při návrhu elektrického zařízení zaměřil i na konkrétní prvky. Avšak vzhledem k rozsahu dané problematiky budou dále zmíněny a stručně charakterizovány pouze prvky, které jsou dle mého názoru nezbytné k vytvoření určitého povědomí.

### 5.8.1 Napájecí zdroj

Jako první bych zmínil způsob napájení stroje. Mělo by být realizováno jedním zdrojem pro napájení pohonů os a dalším zdrojem pro napájení příslušenství (chlazení, osvětlení apod.). Pro tuto konstrukci stroje je možné využít dvou typů napájecích zdrojů. Jedním typem je klasický transformátorový zdroj a typem druhým je zdroj spínaný.[109]



Obrázek 104 Nespínaný zdroj [111]



Obrázek 103 Průmyslový spínaný zdroj [110]

### 5.8.2 Hlavní vypínač a jištění stroje

Dalším důležitým a podmíněným prvkem je hlavní vypínač stroje. Vlastní provedení a parametry jsou definované příslušnými normami. Obecně však lze říci, že od hlavního vypínače stroje požadujeme, aby odpojil elektrické zařízení od napájení, a to s dostatečnou vypínací schopností, přičemž by na rukojeti měly být jasně definované polohy zapnuto, vypnuto (0,1) a možnost uzamčení ve vypnuté poloze. Barevné schéma rukojeti hlavního vypínače by mělo být šedé nebo černé barvy. V případě, že se jedná o vypínač s funkcí nouzového zastavení, musí mít barvu červenou.[112]



Obrázek 106 Hlavní vypínač [113]

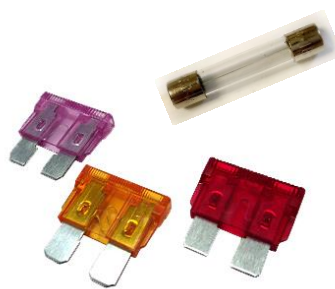


Obrázek 105 Hlavní vypínač pro funkci nouzového zastavení [114]

Nezbytnou součástí elektrických obvodů není pouze hlavní vypínač, ale jsou jimi i prvky zaručující ochranu elektrického zařízení (obvodu), a to zejména proti nadproudu vzniklém při zkratu, přetížení nebo nadměrných teplot atd. Jedná se tedy o pojistky či jističí přístroje (jističe), které mohou mít několik podob.



Obrázek 108 Jistič jednofázový [115]

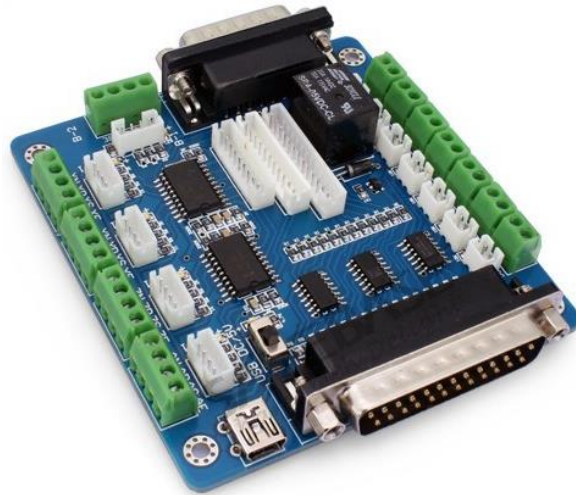


Obrázek 107 Tavné pojistky

### 5.8.3 Prvky řízení stroje

Prvky, které potřebujeme pro řízení a ovládání stroje jsou především řídicí systém, drivery servomotoru, spínače, ovládací panely atd. Vzhledem k tomu, že se jedná o hobby modelářskou frézku, nebude k řízení stroje využit řídicí systém od renomovaných výrobců (Heidenhain, Siemens, Fanuc), ale tzv. low cost řídicí systém pro softwary Mach3 nebo CNC linux. Systém je zpravidla instalován na klasická PC disponující LPT portem. U novějších základních desek již LPT port není a pro připojení oddělovací desky je tedy nutné využít např. USB převodníků.

Oddělovací deska je jakýmsi prostředníkem mezi řídicím počítačem a frézovacím strojem. Jednak z počítače prostřednictvím LPT portu přijímá řídicí impulzy a současně slouží k připojení prvků potřebných pro chod stroje. Jedná se o drivery pohonů, koncové spínače jednotlivých os, referenční snímače, řízení vřetene, ručního ovladače, tlačítka pro nouzové zastavení.[116]



Obrázek 109 Oddělovací deska

Daná oddělovací deska umožňuje připojení až pěti driverů. Je tedy schopna řídit nezávisle pět os. V této konstrukci se bude jednat o řízení pouze tří os. Tím zde vzniká rezerva pro případné použití rotační či výkyvné osy, jakožto možného příslušenství. Zvolené drivery umožňují připojení encoderu (součástí pohonu), bude tak vytvořena zpětná vazba umožňující kontrolu polohy. Jak již bylo zmíněno, k desce je možné připojit koncové spínače.

Vlivem možných chyb, které mohou vzniknout například špatným nastavením stroje či přímo v průběhu vlastního obrábění (kolísání napětí, ztrátou kroku atd.), je nutné stroj vybavit prvky, které zamezí pohybu jednotlivých os mimo jejich pracovní rozsah. Jedná se o spínače, které jsou instalovány v koncových polohách jednotlivých os. V případě najetí stroje na tento spínač dojde k rozepnutí spínače, a tím i k zastavení stroje. [117]



Obrázek 110 Driver pohonu ES - D508 [119]



Obrázek 111 Mechanický spínač [118]



## 6. Finanční rozvaha

Vzhledem k tomu, že se jedná o modelářskou frézku, je z pohledu vyrobiteľnosti důležitá dostupnost navrženého materiálu, komponent a samozřejmě cena, za kterou daný stroj postavíme.

Výše navržená konstrukce frézky je tedy tvořena převážně z běžně dostupného hutního materiálu. Aby bylo docíleno pokud možno co nejnižších nákladů na konstrukci rámu stroje, budou některé části rámu, vzhledem k jejich atypickým rozměrům, řezány z ocelových desek. Zkrátí se jak výrobní časy jednotlivých komponent, tak i náklady na jejich výrobu.

Komponenty, kterými bude stroj osazen, byly též voleny s ohledem na cenu a dostupnost. Cenový rozsah konstrukce by se měl pohybovat v rozmezí 45 000 – 95 000 Kč. Tento rozsah ceny je uvažován s ohledem na konkurenční frézky a cenu, kterou lze do stroje investovat.

| <i>Osa X</i>                      |               |           |
|-----------------------------------|---------------|-----------|
|                                   | Množství [ks] | Cena [kč] |
| <i>Hutní materiál</i>             | 11            | 1689      |
| <i>Spojovací materiál</i>         | 58            | 19        |
| <i>Lineární vedení</i>            | 2             | 2400      |
| <i>Vozíky lineárního vedení</i>   | 4             | 4620      |
| <i>Ložisková jednotka BF - 12</i> | 1             | 695       |
| <i>Ložisková jednotka FK - 12</i> | 1             | 1020      |
| <i>Kuličkový šroub R1605</i>      | 1             | 786       |
| <i>Matice kuličkového šroubu</i>  | 1             | 3255      |
| <i>Držák motoru</i>               | 1             | 1465      |
| <i>Pružná spojka</i>              | 1             | 335       |
| <i>Domek matky kul. šroubu</i>    | 1             | 620       |
| <i>Upínací stůl</i>               | 1             | 2090      |
| <i>Cena za obrábění</i>           |               | 2835      |
|                                   | 83            | 20121     |

Tabulka 25 Kalkulace osy X



*Osa Y*

|                                   | Množství [ks] | Cena [kč] |
|-----------------------------------|---------------|-----------|
| <i>Hutní materiál</i>             | 8             | 1003      |
| <i>Spojovací materiál</i>         | 50            | 14        |
| <i>Lineární vedení</i>            | 2             | 2400      |
| <i>Vozíky lineárního vedení</i>   | 4             | 4620      |
| <i>Ložisková jednotka BF - 12</i> | 1             | 695       |
| <i>Ložisková jednotka FK - 12</i> | 1             | 1020      |
| <i>Kuličkový šroub R1605</i>      | 1             | 786       |
| <i>Matice kuličkového šroubu</i>  | 1             | 3255      |
| <i>Držák motoru</i>               | 1             | 1465      |
| <i>Pružná spojka</i>              | 1             | 335       |
| <i>Domek matky kul. šroubu</i>    | 1             | 620       |
| <i>Cena za obrábění</i>           |               | 4000      |
|                                   | 77            | 20213     |

Tabulka 26 Kalkulace osy Y

*Osa Z*

|                                   | Množství [ks] | Cena [kč] |
|-----------------------------------|---------------|-----------|
| <i>Hutní materiál</i>             | 3             | 157       |
| <i>Spojovací materiál</i>         | 45            | 47        |
| <i>Lineární vedení</i>            | 2             | 2400      |
| <i>Vozíky lineárního vedení</i>   | 4             | 4620      |
| <i>Ložisková jednotka BF - 12</i> | 1             | 695       |
| <i>Ložisková jednotka BK - 12</i> | 1             | 1320      |
| <i>Kuličkový šroub R1605</i>      | 1             | 590       |
| <i>Matice kuličkového šroubu</i>  | 1             | 3255      |
| <i>Držák motoru</i>               | 3             | 50        |
| <i>Pružná spojka</i>              | 1             | 335       |
| <i>Držák vřetene</i>              | 1             | 457       |
| <i>Domek matky kul. šroubu</i>    | 1             | 620       |
| <i>Cena za obrábění</i>           |               | 1825      |
|                                   | 77            | 16371     |

Tabulka 27 Kalkulace osy Z

### Elektroinstalace

|                                    | Množství [ks] | Cena [kč] |
|------------------------------------|---------------|-----------|
| <i>Elektro vřeteno</i>             | 1             | 4535      |
| <i>Invertor 2,2 kW</i>             | 1             | 1660      |
| <i>Easy servo motor</i>            | 3             | 7950      |
| <i>Easy servo driver ES – D508</i> | 3             | 8760      |
| <i>Vodiče pro připojení motorů</i> | 3             | 1065      |
| <i>Ovládací vodiče</i>             | 3             | 180       |
| <i>Spínaný zdroj</i>               | 3             | 6450      |
| <i>Koncové spínače</i>             | 1             | 198       |
| <i>Ovládací prvky</i>              | 3             | 435       |
| <i>Jistící prvky</i>               | 4             | 335       |
| <i>Spínací prvky</i>               | 1             | 457       |
|                                    | 32            | 32601     |

Tabulka 28 Kalkulace elektroinstalace

### Krytování a nosný rám stroje

|  | Množství [ks] | Cena [kč] |
|--|---------------|-----------|
| <i>Hutní materiál</i>                  |               |           |
| <i>Opláštění</i>                       | 23            | 6760      |
| <i>Rám vrchní části krytování</i>      | 16            | 790       |
| <i>Nosný rám</i>                       | 31            | 2524      |
| <i>Lineární vedení vstupních dveří</i> |               |           |
| <i>Vodící tyče Ø 12 mm</i>             | 2             | 660       |
| <i>Domečky kuličkových pouzder</i>     | 4             | 480       |
| <i>Kuličková pouzdra</i>               | 4             | 320       |
| <i>Upevnění vodících tyčí</i>          | 4             | 360       |
| <i>Odpadové hospodářství</i>           | 6             | 1520      |
| <i>Elektrické prvky</i>                | 6             | 1200      |
|  | 96            | 14614     |

Tabulka 29 Kalkulace krytování

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| <i>Kalkulace osy X</i>            | 20121  |
| <i>Kalkulace osy Y</i>            | 20213  |
| <i>Kalkulace osy Z</i>            | 16371  |
| <i>Kalkulace elektroinstalace</i> | 32601  |
| <i>Kalkulace krytování</i>        | 14614  |
| <i>Celková kalkulace</i>          | 103920 |

*Tabulka 30 Celková cenová kalkulace stroje*

Celková kalkulace ceny stroje přesáhla stanovený rozsah o 8 920 Kč. Z pohledu použitých komponent je toto navýšení akceptovatelné, avšak lze tuto cenu ještě snížit, například použitím krokových motorů na místo Easy servomotorů či snížením počtu spínaných zdrojů.

## 7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vytvoření takového konstrukčního návrhu CNC frézky, aby bylo možné daný stroj vyrobit pomocí běžně dostupných konvenčních obráběcích strojů. Práce se skládá z několika kapitol, které popisují realizaci návrhu.

První kapitola popisuje historický vývoj od doby před naším letopočtem až po současnost. Druhá kapitola dělí jednotlivé typy frézovacích strojů, přičemž je každý druh obráběcího stroje doplněn o stručný popis konstrukce, princip funkce a použití. Následuje kapitola, v níž jsou popsány jednotlivé komponenty, které jsou na strojích používány.

Další kapitola se již zabývá vlastním konstrukčním návrhem. Na základě předchozích kapitol byla vytvořena rozhodovací tabulka, s jejíž pomocí byla vybrána nejvhodnější varianta konstrukce. Před vlastním návrhem jednotlivých os stroje bylo nutné stanovit řezné podmínky pro jednotlivé operace a vymežit tak oblast, ve které bude daná frézka využívána. Na základě této předběžné úvahy a charakteristik obráběného materiálu byly stanoveny základní parametry a hodnoty potřebné pro návrh vřetene. Komponenty posuvové soustavy jednotlivých os byly navrženy a kontrolovány z pohledu životnosti. Další částí návrhu konstrukce bylo provedení pevnostní analýzy rámu stroje. Vlastní optimalizace byla provedena pomocí MKP analýzy v Autodesk Inventor 2016, na jejímž základě byla provedena úprava příčnicku. Neméně důležitou kapitolou je část práce zabývající se ergonomií a designem. Pro tento konstrukční návrh byly na základě obecných pravidel vypracovány dva druhy designu krytování, ze kterých byl jeden zvolen a dále rozpracován. Poslední podkapitolou konstrukční části je elektrická výzbroj stroje, která se zaměřuje především na bezpečnost a ochranu zdraví při práci a popis základních komponent elektroinstalace. Poslední kapitola se zabývá finanční kalkulací navrhovaného stroje.

Výsledkem této diplomové práce je jednak konstrukční návrh CNC portálové frézky pro modelářské účely, ale také jakýsi ucelený souhrn informací a podkladů umožňující návrh dalších podobných strojů.

## 8. Použité prameny a literatura

- [1] *Paleolit a mezolit, 2011* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupný z WWW: <[https://is.muni.cz/el/1421/podzim2011/HIAK103/um/28692686/03\\_PALEOLIT\\_A\\_MEZO\\_LIT.pdf](https://is.muni.cz/el/1421/podzim2011/HIAK103/um/28692686/03_PALEOLIT_A_MEZO_LIT.pdf)>.
- [2] SVOBODA, Rostilav. *10 dat z historie obrábění na CNC strojích. Kam sahá historie CNC obrábění* [online]. Factory automation : Praha, 2016. [cit. 2019-05-12]. Dostupný z WWW: <<https://factoryautomation.cz/o-factoryautomation-cz/>>.
- [3] SVOBODA, Rostilav. *10 dat z historie obrábění na CNC strojích. Kam sahá historie CNC obrábění* [online]. Factory automation : Praha, 2016. [cit. 2019-05-12]. Dostupný z WWW: <<https://factoryautomation.cz/o-factoryautomation-cz/>>.
- [4] SVOBODA, Rostilav. *10 dat z historie obrábění na CNC strojích. Kam sahá historie CNC obrábění* [online]. Factory automation : Praha, 2016. [cit. 2019-05-12]. Dostupný z WWW: <<https://factoryautomation.cz/o-factoryautomation-cz/>>.
- [5] SVOBODA, Rostilav. *10 dat z historie obrábění na CNC strojích. Kam sahá historie CNC obrábění* [online]. Factory automation : Praha, 2016. [cit. 2019-05-12]. Dostupný z WWW: <<https://factoryautomation.cz/o-factoryautomation-cz/>>.
- [6] SVOBODA, Rostilav. *10 dat z historie obrábění na CNC strojích. Kam sahá historie CNC obrábění* [online]. Factory automation : Praha, 2016. [cit. 2019-05-12]. Dostupný z WWW: <<https://factoryautomation.cz/o-factoryautomation-cz/>>.
- [7] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích stojů*. Praha : MM publishing, 2010. 420 s. ISBN:978-80-254-7980-3.
- [8] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích stojů*. Praha : MM publishing, 2010. 420 s. ISBN:978-80-254-7980-3.
- [9] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha : Grada, 2015. 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [10] *Frézka svíslá* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z WWW: <<https://www.strojesvoboda.cz/katalog.php?page=DETAIL&katalog=Stroje/Fr%C3%A9zka&key=&id=8107&ids=8120&o=1>>.
- [11] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha : Grada, 2015. 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [12] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha : Grada, 2015. 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [13] *Stroje/Frézka* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z WWW: <<https://www.strojesvoboda.cz/katalog.php?page=KATALOG&katalog=Stroje/Fr%C3%A9zka&mask=&o=1>>.
- [14] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha : Grada, 2015. 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.

- [15] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha : Grada, 2015. 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [16] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha : Grada, 2015. 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [17] *Frézka univerzální FA 5 U – Sovex* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z WWW: <<https://www.sovex.cz/component/mtree/obrazek/9>>.
- [18] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha : Grada, 2015. 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [19] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha : Grada, 2015. 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [20] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha : Grada, 2015. 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [21] *TOS FUT – TOS Kuřim – OS, a.s.* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.tos-kurim.cz/cz/produktove-portfolio/horizontalni-obrabeci-centra/tos-fut>>.
- [22] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha : Grada, 2015. 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [23] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha : Grada, 2015. 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [24] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha : Grada, 2015. 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [25] *Portálové centrum horní gantry – FPPC* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z WWW: <<https://www.strojirna-tyc.cz/fppc/>>.
- [26] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha : Grada, 2015. 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [27] *TOS FRP – TOS Kuřim – OS, a.s.* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.tos-kurim.cz/cz/produktove-portfolio/portalova-obrabeci-centra/tos-fru>>.
- [28] KOŘÍNEK, Jan. *Vývoj nového konstrukčního provedení osy Z pro stroje typové řady FPPC*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta trojná, Katedra konstruování strojů, 2015. 116 s. Diplomová práce. Vedoucí práce Doc. Ing. Jaroslav Krátký, Ph.D.
- [29] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha : Grada, 2015. 240 s. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [30] *TOS FRP – TOS Kuřim – OS, a.s.* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.tos-kurim.cz/cz/produktove-portfolio/portalova-obrabeci-centra/tos-frp>>.
- [31] LAŠOVÁ, Václava. *Základy stavby obráběcích strojů*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů, 2012. 153 s. ISBN 978-80-261-0126-0.
- [32] *Obráběcí stroje, CNC stroje, CNC soustruhy* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z WWW: <<https://www.kovosvit.cz/mmc-1500-p12.html#files>>.

- [33] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích stojů. Praha : MM publishing, 2010. 420 s. ISBN:978-80-254-7980-3.
- [34] *Obráběcí stroje, CNC stroje, CNC soustruhy* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z WWW: <<https://www.kovosvit.cz/mmc-1500-p12.html#files>>.
- [35] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích stojů. Praha : MM publishing, 2010. 420 s. ISBN:978-80-254-7980-3.
- [36] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích stojů. Praha : MM publishing, 2010. 420 s. ISBN:978-80-254-7980-3.
- [37] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích stojů. Praha : MM publishing, 2010. 420 s. ISBN:978-80-254-7980-3.
- [38] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích stojů. Praha : MM publishing, 2010. 420 s. ISBN:978-80-254-7980-3.
- [39] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích stojů. Praha : MM publishing, 2010. 420 s. ISBN:978-80-254-7980-3.
- [40] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích stojů. Praha : MM publishing, 2010. 420 s. ISBN:978-80-254-7980-3.
- [41] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích stojů. Praha : MM publishing, 2010. 420 s. ISBN:978-80-254-7980-3.
- [42] LAŠOVÁ, Václava. *Základy stavby obráběcích strojů*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů, 2012. 153 s. ISBN 978-80-261-0126-0.
- [43] LAŠOVÁ, Václava. *KKS/KVS 1*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. 375 s.
- [44] LAŠOVÁ, Václava. *KKS/KVS 1*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. 375 s.
- [45] LAŠOVÁ, Václava. *KKS/KVS 1*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. 375 s.
- [46] *CNC vertikální centrum s box vedením F750B* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.profika.cz/cnc-stroje/cnc-vertikalni-centrum-f750b>>.
- [47] LAŠOVÁ, Václava. *KKS/KVS 1*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. 375 s.
- [48] LAŠOVÁ, Václava. *KKS/KVS 1*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. 375 s.
- [49] LÁBUS, M. *Deskripce vřeten u HSC obráběcích strojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Blecha, Ph.D.

- [50] *Nueva generación de rodamientos de superprecisión: una tradición en evolución* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://evolution.skf.com/es/nueva-generacion-de-rodamientos-de-superprecision-una-tradicion-en-evolucion/>>.
- [51] LÁBUS, M. *Deskripce vřeten u HSC obráběcích strojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Blecha, Ph.D.
- [52] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha : MM publishing, 2014. 684 s. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [53] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha : MM publishing, 2014. 684 s. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [54] LAŠOVÁ, Václava. *KKS/KVS 1*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. 375 s.
- [55] LAŠOVÁ, Václava. *KKS/KVS 1*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. 375 s.
- [56] *Lineární versus kluzné vedení* [online]. [cit. 201-05-13]. Dostupné z WWW: <<https://www.mmspektrum.com/clanek/linearni-versus-kluzne-vedeni.html>>.
- [57] LAŠOVÁ, Václava. *KKS/KVS 1*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. 375 s.
- [58] LAŠOVÁ, Václava. *KKS/KVS 1*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. 375 s.
- [59] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha : MM publishing, 2014. 684 s. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [60] *Profilové vedení Thomson* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupný z WWW: <<https://www.bibus.cz/prehled-produktu/mechatronika/linearni-loziska-a-vedeni/profilove-vedeni/>>.
- [61] LAŠOVÁ, Václava. *KKS/KVS 1*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. 375 s.
- [62] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha : MM publishing, 2014. 684 s. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [63] LAŠOVÁ, Václava. *KKS/KVS 1*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. 375 s.
- [64] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha : MM publishing, 2010. 420 s. ISBN:978-80-254-7980-3.
- [65] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha : MM publishing, 2010. 420 s. ISBN:978-80-254-7980-3.
- [66] LAŠOVÁ, Václava. *KKS/KVS 1*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. 375 s.



- [67] LAŠOVÁ, Václava. *KKS/KVS 1*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. 375 s.
- [68] *Systém recirkulace a atributy kuličkových šroubů* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://m.cz.gearwf.com/info/recirculation-system-and-attributes-of-ball-sc-27419083.html>>.
- [69] *Systém recirkulace a atributy kuličkových šroubů* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://m.cz.gearwf.com/info/recirculation-system-and-attributes-of-ball-sc-27419083.html>>.
- [70] ZEMČÍK, Matěj. *Návrh a analýza křížového stolu*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, 2018. 75 s. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Jiří Tůma, Ph.D.
- [71] ZEMČÍK, Matěj. *Návrh a analýza křížového stolu*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, 2018. 75 s. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Jiří Tůma, Ph.D.
- [72] ZEMČÍK, Matěj. *Návrh a analýza křížového stolu*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, 2018. 75 s. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Jiří Tůma, Ph.D.
- [73] LAŠOVÁ, Václava. *KKS/KVS 1*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. 375 s.
- [74] LAŠOVÁ, Václava. *KKS/KVS 1*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. 375 s.
- [75] LAŠOVÁ, Václava. *KKS/KVS 1*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů. 375 s.
- [76] FERENC, Jan. *Návrh konstrukce a řízení ohraňovacího lisu*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů, 2016. 26 s. Semestrální práce.
- [77] *Krokový 3-fázový motor 1,3Nm* [online]. [2019-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.cncshop.cz/573s15-krokovy-3-fazovy-motor-1-3nm>>.
- [78] FERENC, Jan. *Návrh konstrukce a řízení ohraňovacího lisu*. Plzeň : Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů, 2016. 26 s. Semestrální práce.
- [79] *SEW-EURODRIVE* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z WWW: <<https://www.sew-eurodrive.cz/domu.html>>.
- [80] ZEMČÍK, Matěj. *Návrh a analýza křížového stolu*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, 2018. 75 s. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Jiří Tůma, Ph.D.
- [81] Servomotor EZ - *REM-Technik - Průmyslová a domovní automatizace* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z WWW: <<https://www.rem-technik.cz/pohyb-pohony-prevody/motory-a-servomotory/servomotory/servomotor-ez-178.html>>.

- [82] *Servomotor EZ - REM-Technik - Průmyslová a domovní automatizace* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z WWW: <<https://www.rem-technik.cz/pohyb-pohony-prevody/motory-a-servomotory/servomotory/servomotor-ez-178.html>>.
- [83] DOJČAR, Josef. *Model Tatra s celokovovou převodkou*. Foto archiv autora.
- [84] KŘÍŽ, Antonín, a kol.. *Obrábění slitiny AlSi1Mg0,5Mn nástroji s progresivními tenkými vrstvami*. Plzeň : Západočeská univerzita, 2007. 21 s.
- [85] *Diamantové nástroje, cbn, pkd a tvrdokovové nástroje* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z WWW: <[http://www.navel.cz/docs/NAVEL%20-%20katalog%202017-2018/Jednotliv%C4%9B%20pro%20WWW%20str%C3%A1nky/CZK/navel-katalog-2017-2018%20CZK%20\(TK%20frezy\).pdf](http://www.navel.cz/docs/NAVEL%20-%20katalog%202017-2018/Jednotliv%C4%9B%20pro%20WWW%20str%C3%A1nky/CZK/navel-katalog-2017-2018%20CZK%20(TK%20frezy).pdf)>.
- [86] *Rotační frézování*. Plzeň : Západočeská univerzita, Katedra technologie obrábění. 38 s.
- [87] *Rotační frézování*. Plzeň : Západočeská univerzita, Katedra technologie obrábění. 38 s.
- [88] *Rotační frézování*. Plzeň : Západočeská univerzita, Katedra technologie obrábění. 38 s.
- [89] *Pinterest - Česká republika* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z WWW: <<https://cz.pinterest.com/sboguske/cnc-laser-engraver/>>.
- [90] *Ampo : Lineární vedení*. Žďár nad Sázavou. 55 s. Katalog produktů.
- [91] *Ampo : Lineární vedení*. Žďár nad Sázavou. 55 s. Katalog produktů.
- [92] Youright Precision. *Kuličkový šroub*, [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z WWW: <<http://cz.globallscrew.com/ball-screw/heavy-load-ball-screw.html>>.
- [93] *CNCShop.cz* [online]. ]. [2019-05-15]. Dostupné z WWW z: <<http://www.cncshop.cz/>>.
- [94] *Krokový 3-fázový motor 1,3Nm* [online]. [2019-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.cncshop.cz/573s15-krokovy-3-fazovy-motor-1-3nm>>.
- [95] *CNCShop.cz* [online]. ]. [2019-05-15]. Dostupné z WWW z: <<http://www.cncshop.cz/>>.
- [96] *CNCShop.cz* [online]. ]. [2019-05-15]. Dostupné z WWW z: <<http://www.cncshop.cz/>>.
- [97] *CNCShop.cz* [online]. ]. [2019-05-15]. Dostupné z WWW z: <<http://www.cncshop.cz/>>.
- [97] *Krokový 3-fázový motor 1,3Nm* [online]. [2019-05-15]. Dostupné z WWW: <http://www.cncshop.cz/573s15-krokovy-3-fazovy-motor-1-3nm>>.
- [99] *CNCShop.cz* [online]. ]. [2019-05-15]. Dostupné z WWW z: <<http://www.cncshop.cz/>>.
- [100] *CNCShop.cz* [online]. ]. [2019-05-15]. Dostupné z WWW z: <<http://www.cncshop.cz/>>.
- [101] *CNCShop.cz* [online]. ]. [2019-05-15]. Dostupné z WWW z: <<http://www.cncshop.cz/>>.
- [102] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích stojů III*. Praha : MM publishing, 2014. 684 s. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [103] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích stojů III*. Praha : MM publishing, 2014. 684 s. ISBN 978-80-260-6780-1.

- [104] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha : MM publishing, 2014. 684 s. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [105] FAZEKAŠ, Martin. *Návrh otevřené verze*. Foto archiv autora.
- [106] FAZEKAŠ, Martin. *Návrh uzavřené verze*. Foto archiv autora.
- [107] ZAHRADNÍK, Jiří. PISKAČ, Luděk. PFEIFER, Václav. Elektrická výzbroj obráběcích strojů. Plzeň : Západočeská univerzita, 2006. 183 s. ISBN 80-7043-494-5.
- [108] ZAHRADNÍK, Jiří. PISKAČ, Luděk. PFEIFER, Václav. Elektrická výzbroj obráběcích strojů. Plzeň : Západočeská univerzita, 2006. 183 s. ISBN 80-7043-494-5.
- [109] ZAHRADNÍK, Jiří. PISKAČ, Luděk. PFEIFER, Václav. Elektrická výzbroj obráběcích strojů. Plzeň : Západočeská univerzita, 2006. 183 s. ISBN 80-7043-494-5.
- [110] *CNCShop.cz* [online]. ]. [2019-05-15]. Dostupné z WWW z: <<http://www.cncshop.cz/>>.
- [111] *CNCShop.cz* [online]. ]. [2019-05-15]. Dostupné z WWW z: <<http://www.cncshop.cz/>>.
- [112] ZAHRADNÍK, Jiří. PISKAČ, Luděk. PFEIFER, Václav. Elektrická výzbroj obráběcích strojů. Plzeň : Západočeská univerzita, 2006. 183 s. ISBN 80-7043-494-5.
- [113] ZATLOUKAL, Martin. *Seznámení s ovládním CNC stroje – HURCO* [online]. Uherský Brod, 2013. [cit. 2019-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://slideplayer.cz/slide/13210624/>>.
- [114] *Hlavní vypínače* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.ritek.cz/hlavni-vypinace/>>.
- [115] *CNCShop.cz* [online]. ]. [2019-05-15]. Dostupné z WWW z: <<http://www.cncshop.cz/>>.
- [116] ZAHRADNÍK, Jiří. PISKAČ, Luděk. PFEIFER, Václav. Elektrická výzbroj obráběcích strojů. Plzeň : Západočeská univerzita, 2006. 183 s. ISBN 80-7043-494-5.
- [117] ZAHRADNÍK, Jiří. PISKAČ, Luděk. PFEIFER, Václav. Elektrická výzbroj obráběcích strojů. Plzeň : Západočeská univerzita, 2006. 183 s. ISBN 80-7043-494-5.
- [118] *CNCShop.cz* [online]. ]. [2019-05-15]. Dostupné z WWW z: <<http://www.cncshop.cz/>>.
- [119] *CNCShop.cz* [online]. ]. [2019-05-15]. Dostupné z WWW z: <<http://www.cncshop.cz/>>.

## 9. Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 1 Štípaná industrie .....                                   | 16 |
| Obrázek 2 Rozdělení frézovacích strojů [8].....                     | 18 |
| Obrázek 3 Frézka TOS FA 4 [10] .....                                | 19 |
| Obrázek 4 Kinematické schéma svislá konzolová frézka [11] .....     | 19 |
| Obrázek 5 TOS FA 3 AH [13] .....                                    | 20 |
| Obrázek 6 Kinematické schéma vodorovná konzolová frézka [14] .....  | 20 |
| Obrázek 7 TOS FAU 5 [17] .....                                      | 21 |
| Obrázek 8 Kinematické schéma universální konzolová frézka [16]..... | 21 |
| Obrázek 9 Frézka universální s dělicím přístrojem [18] .....        | 21 |
| Obrázek 10 Schéma pohybu jednotlivých os [20] .....                 | 22 |
| Obrázek 11 TOS VALUE FUT [21] .....                                 | 22 |
| Obrázek 12 Schéma pohybu jednotlivých os horní gantry [24].....     | 23 |
| Obrázek 13 FPPC Týc s.r.o. [25] .....                               | 23 |
| Obrázek 14 TOS FRU [27] .....                                       | 24 |
| Obrázek 15 Schéma pohybu jednotlivých os spodní gantry [28].....    | 24 |
| Obrázek 16 TOS FRP [30] .....                                       | 25 |
| Obrázek 17 Schéma pohybu jednotlivých os pohyblivý stůl [31] .....  | 25 |
| Obrázek 18 Základní konstrukční části stroje [32] .....             | 26 |
| Obrázek 19 Morfologie rámu obráběcího stroje [34].....              | 27 |
| Obrázek 20 Druhy materiálů [35] .....                               | 27 |
| Obrázek 21 Díl z vláknových kompozitu [38] .....                    | 28 |
| Obrázek 22 Díl z keramických materiálů [40] .....                   | 28 |
| Obrázek 23 Přímá koncepce [44] .....                                | 29 |
| Obrázek 24 Klasická koncepce – převod s ozubenými koly [46] .....   | 30 |
| Obrázek 25 Klasická koncepce - řemenový převod [48] .....           | 30 |
| Obrázek 26 Valivé uložení vřetene [50] .....                        | 31 |
| Obrázek 27 Hydrostatické a magnetické uložení vřetene [51] .....    | 31 |
| Obrázek 28 Druhy vedení obráběcích strojů [53] .....                | 32 |
| Obrázek 29 Diagram vzniku trhavých pohybů [55].....                 | 33 |
| Obrázek 30 Kluzné vedení [56] .....                                 | 33 |
| Obrázek 31 Schéma valivých hnízd [58] .....                         | 34 |

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 32 Druhy konstrukce valivého vedení [59] .....                    | 34 |
| Obrázek 33 Profilové valivé vedení [60] .....                             | 34 |
| Obrázek 34 Způsoby zásobování kapes olejem a jeho regulace [62] .....     | 35 |
| Obrázek 35 Typ závitu – nerovnoramenný [64] .....                         | 36 |
| Obrázek 36 Typ závitu – rovnoramenný [65] .....                           | 36 |
| Obrázek 37 Trapézový závit [66].....                                      | 36 |
| Obrázek 38 Systém vnějšího oběhu kuliček [69].....                        | 37 |
| Obrázek 39 Systém vnitřního oběhu kuliček [68].....                       | 37 |
| Obrázek 40 Okružovaný kul. šroub [71].....                                | 37 |
| Obrázek 41 Válcovaný kul. šroub [70] .....                                | 37 |
| Obrázek 42 Broušený kul. šroub [72] .....                                 | 37 |
| Obrázek 43 Předepnutí pomocí dvou matic a distančního kroužku [73] .....  | 38 |
| Obrázek 44 Předepnutí pomocí dvou matic a pružin [74] .....               | 38 |
| Obrázek 45 3 fázový krokový motor Nema23 [77] .....                       | 39 |
| Obrázek 46 Části krokového motoru [78].....                               | 39 |
| Obrázek 47 Servomotory Siemens [81] .....                                 | 40 |
| Obrázek 48 Synchronní servomotor [82] .....                               | 40 |
| Obrázek 49 Popis jednotlivých os .....                                    | 42 |
| Obrázek 50 Základní parametry stroje .....                                | 42 |
| Obrázek 51 Chladicí blok procesoru .....                                  | 43 |
| Obrázek 52 Chladicí blok grafické karty .....                             | 43 |
| Obrázek 53 Model Tatra s celokovovou převodovkou Josefa Dojčara .....     | 43 |
| Obrázek 54 Nárůstek na břitu nástroje [84] .....                          | 46 |
| Obrázek 55 Dvoubřítá tvrdokovová fréza [85] .....                         | 46 |
| Obrázek 56 Základní veličiny obvodového frézování [86].....               | 47 |
| Obrázek 57 Základní veličiny čelního frézování [87].....                  | 48 |
| Obrázek 58 Základní veličiny vrtání do plna [88] .....                    | 49 |
| Obrázek 59 Elektrovřeteno 2.2 kW ER 20 [89].....                          | 51 |
| Obrázek 60 Návrh pohonného systému osy X.....                             | 52 |
| Obrázek 61 Schéma uložení kolejnice a vozíku lineárního vedení [90] ..... | 52 |
| Obrázek 62 Schéma působení klopných momentů [91].....                     | 53 |
| Obrázek 63 Výpočtové schéma klopných momentů osy X .....                  | 53 |
| Obrázek 64 Kuličkový šroub s maticí [92] .....                            | 55 |

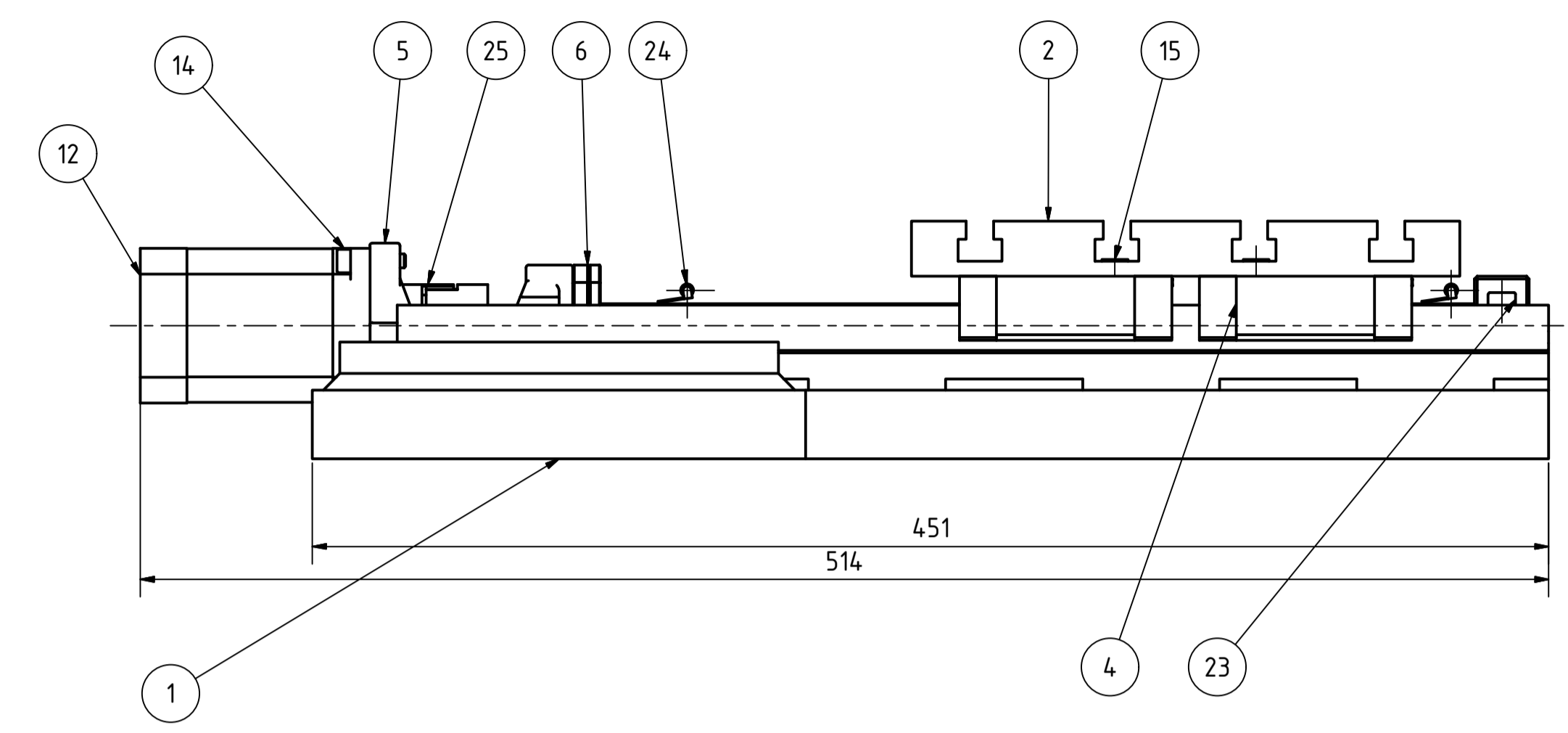
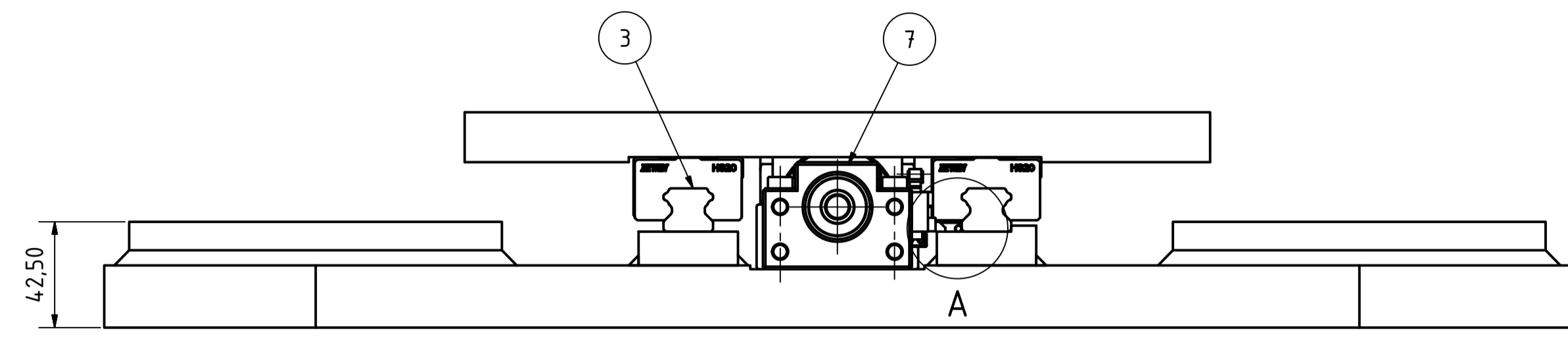
|  |    |
|--|----|
| Obrázek 65 Ložiskové domečky FK a BF [93].....   | 55 |
| Obrázek 66 Krokový motor 57S315 [94].....  | 59 |
| Obrázek 67 Easy servomotor ES-M32309 [95] .....  | 59 |
| Obrázek 68 Výkonová charakteristika servomotoru ES-M32309 [96].....                    | 60 |
| Obrázek 69 Výkonová charakteristika krokového motoru [97].....                         | 60 |
| Obrázek 70 Návrh pohonného systému osy Y .....   | 61 |
| Obrázek 71 Výpočtové schéma klopných momentů osy Y .....                               | 62 |
| Obrázek 72 Easy servomotor ES-M32309, Krokový motor 57S315 [98] .....                  | 68 |
| Obrázek 73 Návrh pohonného systému osy Z .....   | 69 |
| Obrázek 74 Výpočtové schéma klopných momentů osy Z.....                                | 70 |
| Obrázek 75 Easy servomotor ES-M32309 [101] .....                                       | 76 |
| Obrázek 76 Výkonová charakteristika krokového motoru 57S309 [100].....                 | 76 |
| Obrázek 77 Krokový motor 57S309 [99].....  | 76 |
| Obrázek 78 Předběžný návrh rámu stroje .....   | 77 |
| Obrázek 79 Posunutí portálu v ose X.....   | 77 |
| Obrázek 80 Posunutí portálu v ose Y .....  | 77 |
| Obrázek 81 Celková sesunutí od zatěžující řezné síly a krouticího momentu v ose X..... | 78 |
| Obrázek 82 Celková posunutí od zatěžující řezné síly a krouticího momentu v ose Y..... | 78 |
| Obrázek 83 Portál tvořený svařencem .....  | 79 |
| Obrázek 84 Vyztužení pomocí žebek .....  | 79 |
| Obrázek 85 Portál s vně uhlopříčně uloženou příčkou .....                              | 79 |
| Obrázek 86 Posunutí v ose x .....  | 80 |
| Obrázek 87 Posunutí v ose y .....  | 80 |
| Obrázek 88 Celkové posunutí u varianty s uhlopříčně uloženou příčkou v ose x .....     | 81 |
| Obrázek 89 Celkové posunutí u varianty s uhlopříčně uloženou příčkou v ose y .....     | 81 |
| Obrázek 90 Rozměry pracovních zón [104] .....  | 83 |
| Obrázek 91 Návrh otevřené verze [105] .....  | 84 |
| Obrázek 92 Vizualizace grafického návrhu .....   | 84 |
| Obrázek 93 Návrh uzavřené verze [106].....   | 85 |
| Obrázek 94 Vizualizace grafického návrhu uzavřené verze .....                          | 85 |
| Obrázek 95 Nosný rám stroje.....   | 86 |
| Obrázek 96 Posunutí rámu při zavřeném horním krytu .....                               | 87 |
| Obrázek 97 Posunutí rámu při otevřeném horním krytu.....                               | 87 |

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 98 První vlastní tvar.....                                    | 88 |
| Obrázek 99 První vlastní tvar po úpravě.....                          | 89 |
| Obrázek 100 Součásti odpadového hospodářství.....                     | 90 |
| Obrázek 101 Sestava nosného rámu.....                                 | 90 |
| Obrázek 102 Ergonomie stroje.....                                     | 91 |
| Obrázek 103 Průmyslový spínaný zdroj [110].....                       | 93 |
| Obrázek 104 Nespínaný zdroj [111] .....                               | 93 |
| Obrázek 105 Hlavní vypínač pro funkci nouzového zastavení [114] ..... | 93 |
| Obrázek 106 Hlavní vypínač [113] .....                                | 93 |
| Obrázek 107 Tavné pojistky .....                                      | 94 |
| Obrázek 108 Jistič jednofázový [115].....                             | 94 |
| Obrázek 109 Oddělovací deska .....                                    | 95 |
| Obrázek 110 Driver pohonu ES - D508 [119] .....                       | 95 |
| Obrázek 111 Mechanický spínač [118].....                              | 95 |

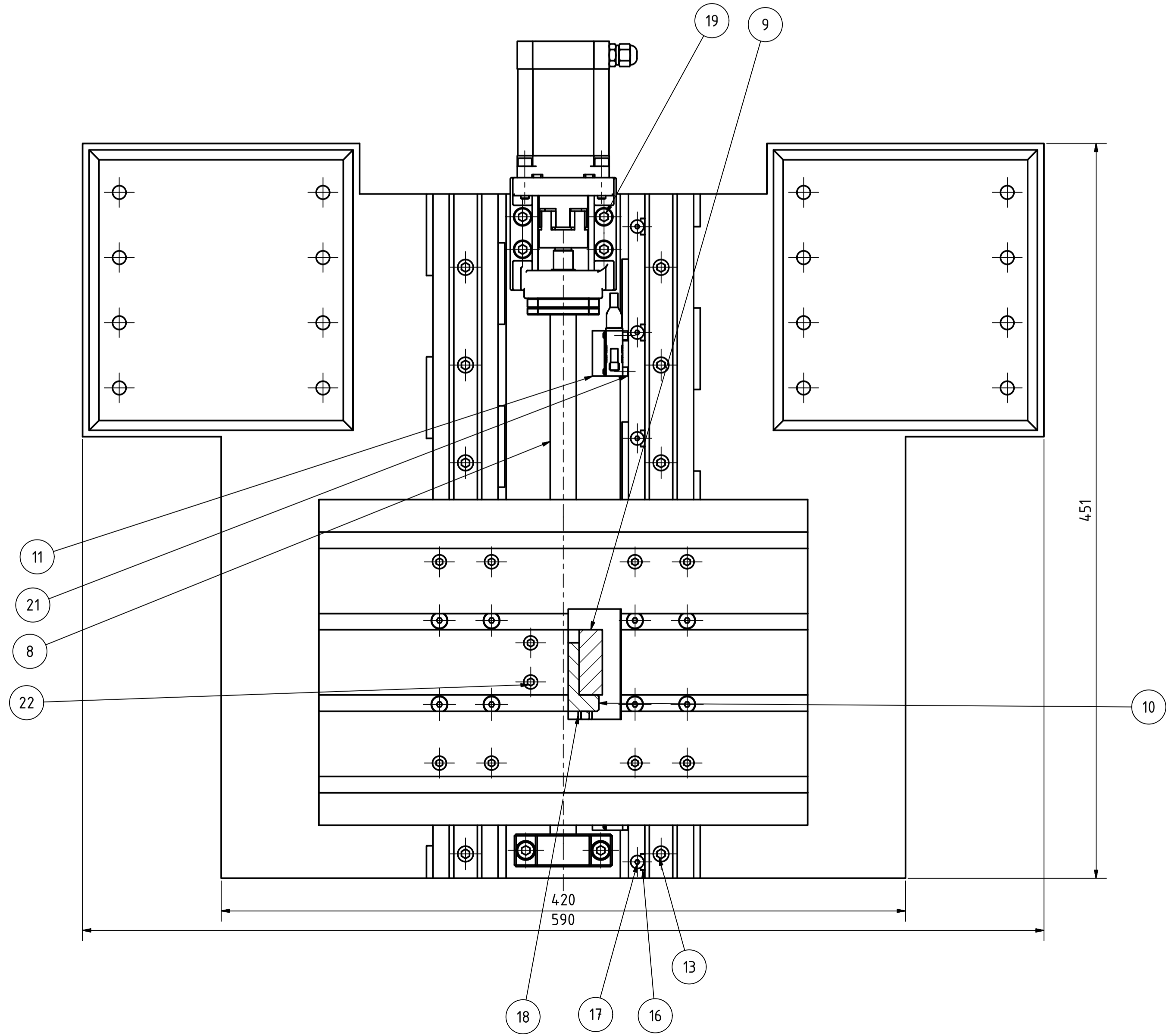
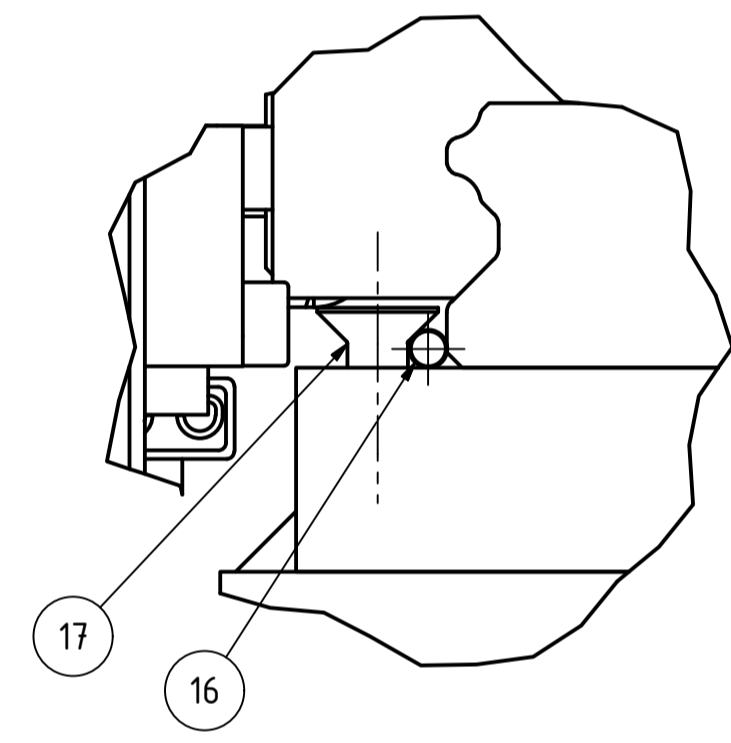
## 10. Seznam tabulek

|  |    |
|--|----|
| Tabulka 1 Základní parametry stroje .....                                | 41 |
| Tabulka 2 Rozhodovací tabulka .....                                      | 44 |
| Tabulka 3 Parametry pro výpočet řezných sil – obvodové frézování .....   | 47 |
| Tabulka 4 Parametry pro výpočet řezných sil – čelní frézování .....      | 48 |
| Tabulka 5 Parametry pro výpočet řezných sil – vrtání do plného mat ..... | 50 |
| Tabulka 6 Hodnoty pro návrh vřetene.....                                 | 51 |
| Tabulka 7 Parametry zvoleného vřetene .....                              | 51 |
| Tabulka 8 Parametry pro výpočet klopných momentů .....                   | 53 |
| Tabulka 9 Parametry pro výpočet kuličkového šroubu.....                  | 55 |
| Tabulka 10 Parametry pro výpočet statických a dynamických účinků .....   | 57 |
| Tabulka 11 Souhrn momentů pro návrh motoru osy X.....                    | 59 |
| Tabulka 12 Parametry pro výpočet klopných momentů .....                  | 62 |
| Tabulka 13 Parametry pro výpočet kuličkového šroubu.....                 | 64 |
| Tabulka 14 Parametry pro výpočet statických a dynamických účinků .....   | 66 |
| Tabulka 15 Souhrn momentů pro návrh motoru osy Y .....                   | 68 |
| Tabulka 16 Parametry pro výpočet klopných momentů .....                  | 70 |
| Tabulka 17 Parametry pro výpočet kuličkového šroubu.....                 | 72 |
| Tabulka 18 Parametry pro výpočet statických a dynamických účinků .....   | 74 |
| Tabulka 19 Souhrn momentů pro návrh motoru osy Z .....                   | 76 |
| Tabulka 20 Souhrn výsledků MKP analýzy navržených variant portálu.....   | 79 |
| Tabulka 21 Parametry pro výpočet tuhosti na nástroji.....                | 82 |
| Tabulka 22 Maximální rozměry stroje .....                                | 86 |
| Tabulka 23 Porovnání vlastních a budících frekvencí .....                | 88 |
| Tabulka 24 Porovnání vlastních a budících frekvencí po úpravě .....      | 89 |
| Tabulka 25 Kalkulace osy X .....   | 96 |
| Tabulka 26 Kalkulace osy Y .....   | 97 |
| Tabulka 27 Kalkulace osy Z.....  | 97 |
| Tabulka 28 Kalkulace elektroinstalace .....                              | 98 |
| Tabulka 29 Kalkulace krytování .....                                     | 98 |
| Tabulka 30 Celková cenová kalkulace stroje.....                          | 99 |



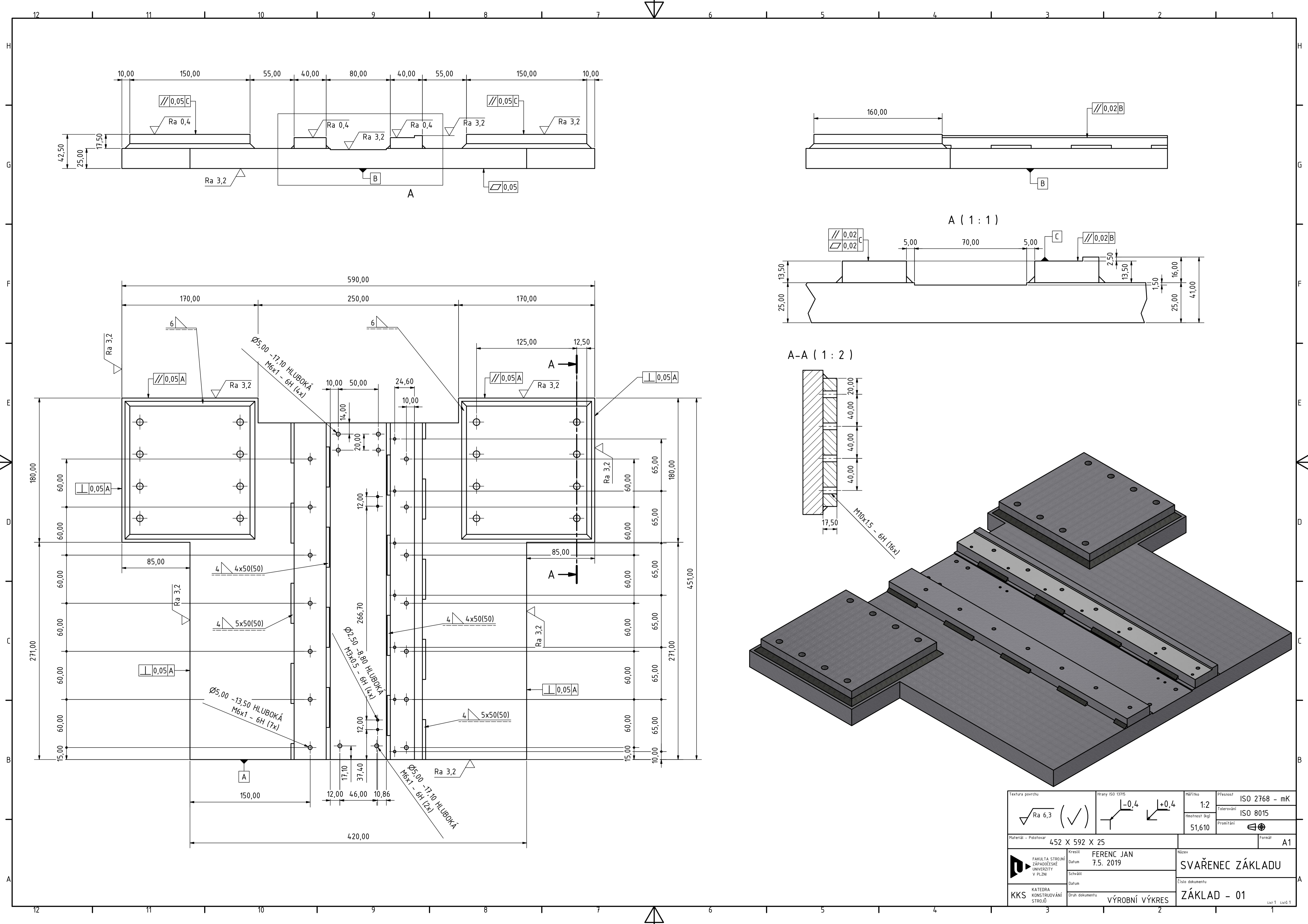


A (2:1)



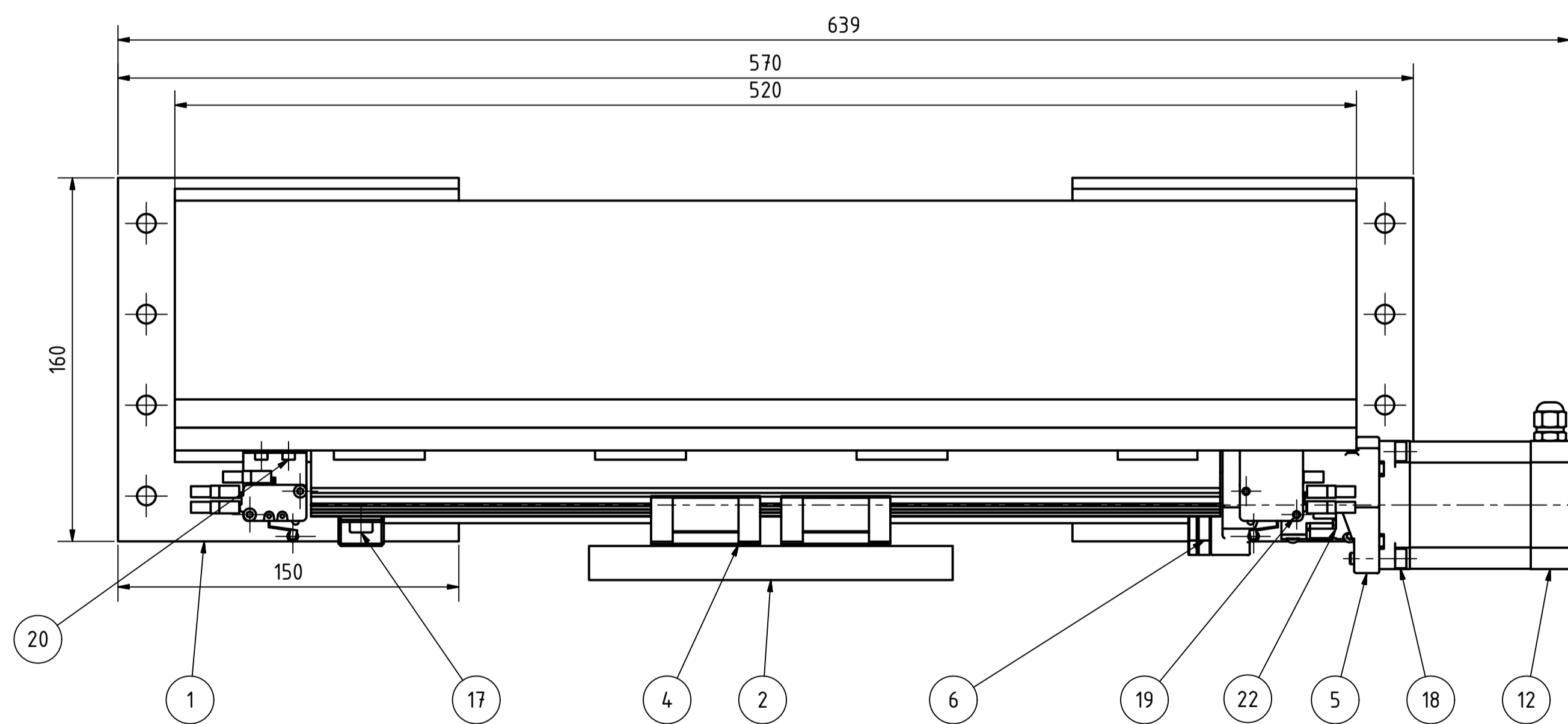
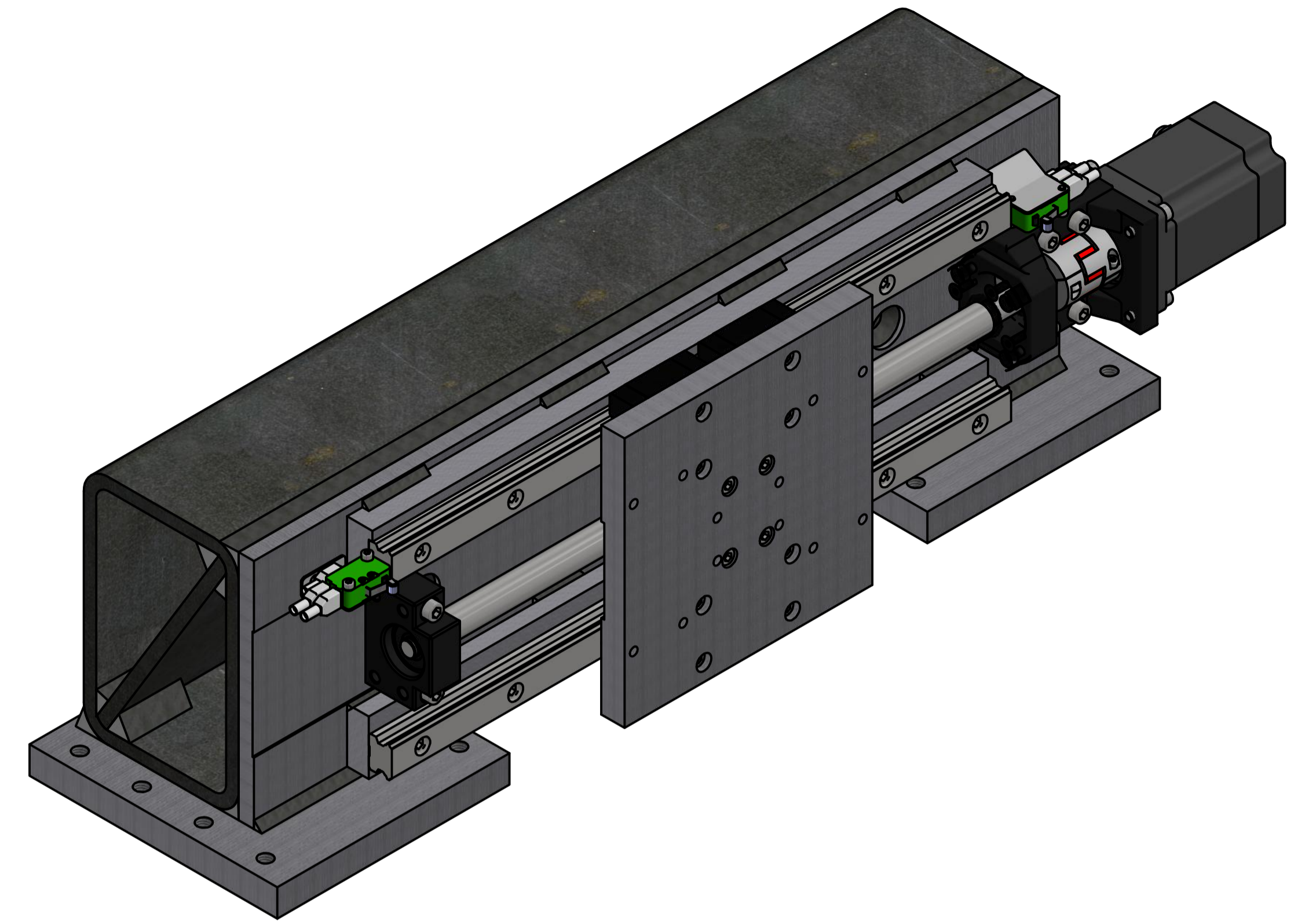
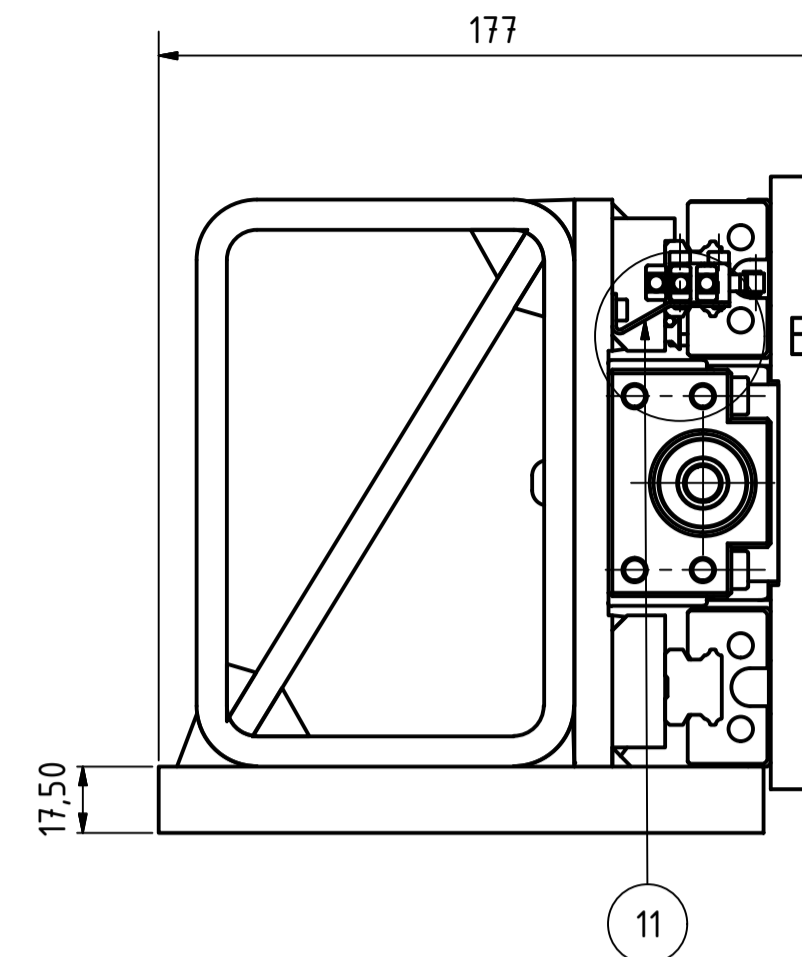
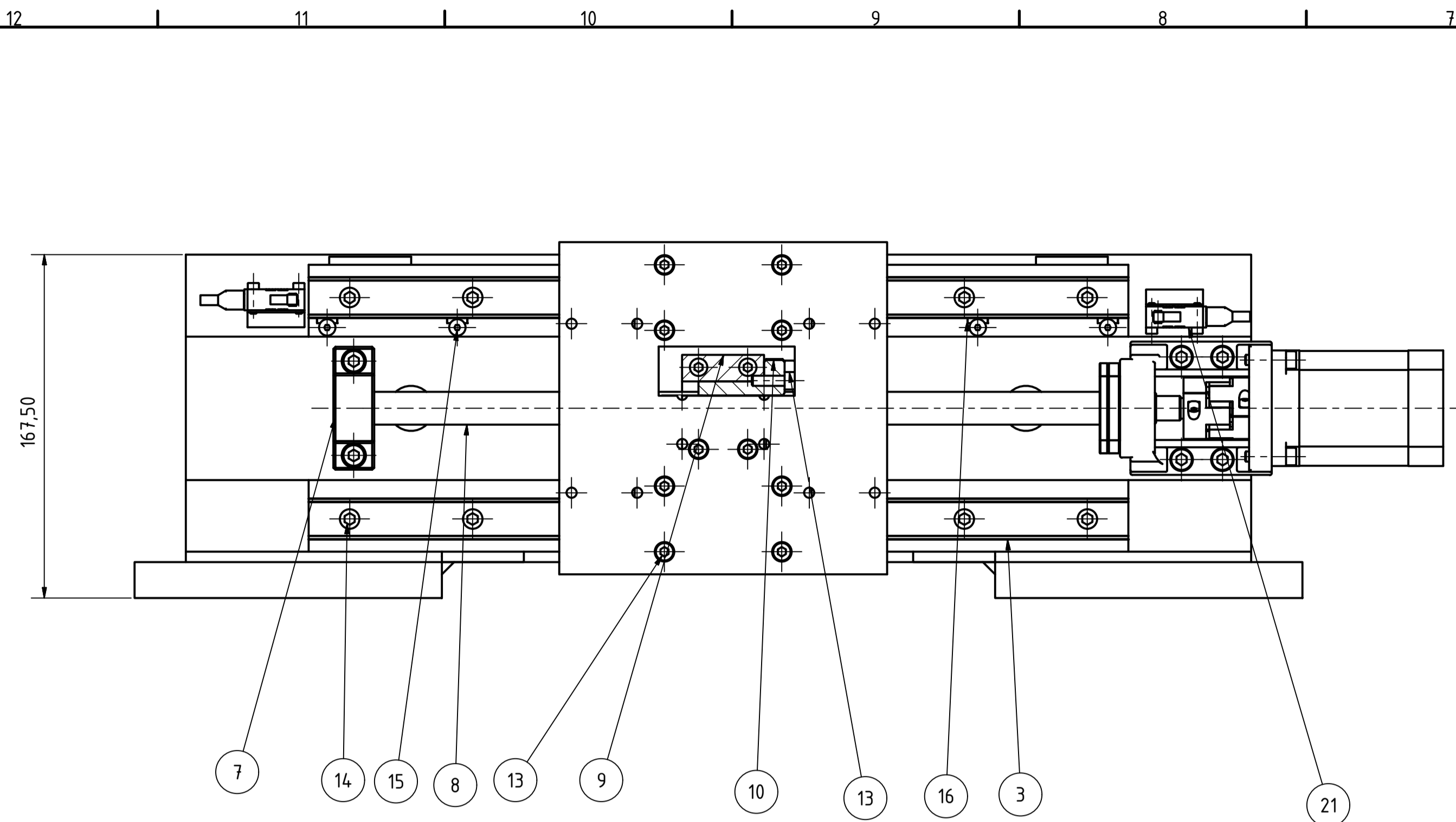
| KUSOVNÍK |    |                             |  |              |
|----------|----|-----------------------------|--|--------------|
| POZICE   | KS | ČÍSLO SOUČÁSTI              | POPIS  | HMOTNOST     |
| 1        | 1  | Svařenec základu            | Ocelový svařenec   | 51,610 kg    |
| 2        | 1  | Stůl s T drážkami           | Hliníkový polotovar 300x200  | 2,415 kg     |
| 3        | 2  | HGR20R                      | Kolejnice lineárního vedení  | 0,924 kg     |
| 4        | 4  | HGH20CA                     | Vozíky lineárního vedení   | 0,528 kg     |
| 5        | 1  | MBA12-C                     | Držák krokového motoru   | 0,708 kg     |
| 6        | 1  | FK12A                       | Uložení kuličkového hřídele  | 0,000 kg     |
| 7        | 1  | BF12                        | Uložení kuličkového hřídele  | 0,267 kg     |
| 8        | 1  | Hřídel                      | Kuličkový šroubu   | 0,556 kg     |
| 9        | 1  | Domek Matky kul. šroubu     | Hliníkový polotovar  | 0,128 kg     |
| 10       | 1  | Matice kul. šroubu          | Předepnutá matice kuličkového šroubu                                   | 0,206 kg     |
| 11       | 2  | Držák micro spínače - osa X | Plechová součást   | 0,001 kg     |
| 12       | 1  | Krokový motor - Nema 23     | Krokový motor - 573S15   | 4,191 lbmass |
| 13       | 14 | ISO 4762 - M6 x 20          | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem                         | 0,007 kg     |
| 14       | 12 | ISO 4762 - M5 x 20          | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem                         | 0,005 kg     |
| 15       | 8  | ISO 10642 - M5 x 8          | Šroub se zápusťnou hlavou s vnitřním šestihranem - 1 - výrobní třída A | 0,002 kg     |
| 16       | 7  | Jehla průměr 2 mm           | Ocelová jehla - kalená   | 0,000 kg     |
| 17       | 7  | DIN 7991 - M4x10            | Šrouby se zapuštěnou hlavou s vnitřním šestihranem                     | 0,001 kg     |
| 18       | 6  | ISO 4762 - M5 x 16          | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem                         | 0,004 kg     |
| 19       | 4  | ISO 4762 - M6 x 35          | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem                         | 0,011 kg     |
| 20       | 4  | ISO 4762 - M3 x 5           | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem                         | 0,001 kg     |
| 21       | 4  | ISO 4762 - M3 x 12          | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem                         | 0,001 kg     |
| 22       | 4  | ISO 4762 - M5 x 25          | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem                         | 0,006 kg     |
| 23       | 2  | ISO 4762 - M6 x 45          | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem                         | 0,013 kg     |
| 24       | 2  | Micro spínač                | Pákový micro - spínač rozpínací  | 0,007 lbmass |
| 25       | 1  | Pružná spojka               | LK20-C25-8/10  | 0,104 lbmass |

|          |            |                 |                |        |  |        |    |
|----------|------------|-----------------|----------------|--------|--|--------|----|
| Měřítko  | 1:2        | Hmotnost (kg)   | 63             | Průměr |  | Formát | A1 |
| Kreslil  | FERENC JAN | Název           | SESTAVA OSY X  |        |  |        |    |
| Datum    | 4.5. 2019  | Číslo dokumentu | SESTAVA - 01A  |        |  |        |    |
| Schválil |            | Druh dokumentu  | VÝKRES SESTAVY |        |  |        |    |
| Datum    |            |                 |                |        |  |        |    |

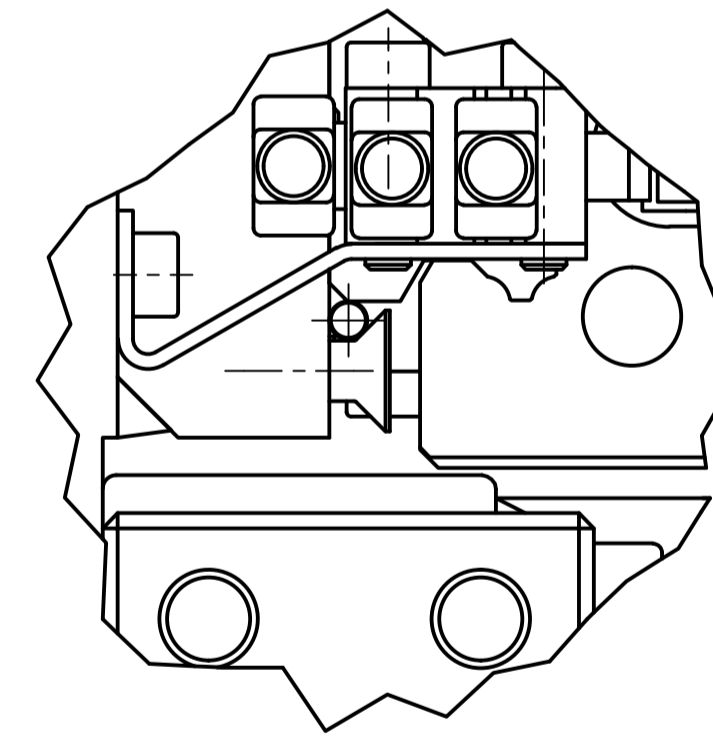


|  |                                  |                                |                           |
|--|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Textura povrchu<br>Ra 6,3 (✓)          | Mezery ISO 13715<br>-0,4 / +0,4  | Měřítko<br>1:2                 | Přesnost<br>ISO 2768 - mK |
|  |                                  | Heřtčnost (kg)<br>51,610       | Tolerování<br>ISO 8015    |
| Materiál - Polotovár<br>452 X 592 X 25 | Kreslí<br>FERENC JAN             |                                | Formát<br>A1              |
|  | Datum<br>7.5. 2019               | Název<br>SVAŘENEC ZÁKLADU      |                           |
| KKS<br>KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ     | Druh dokumentu<br>VÝROBNÍ VÝKRES | Číslo dokumentu<br>ZÁKLAD - 01 |                           |



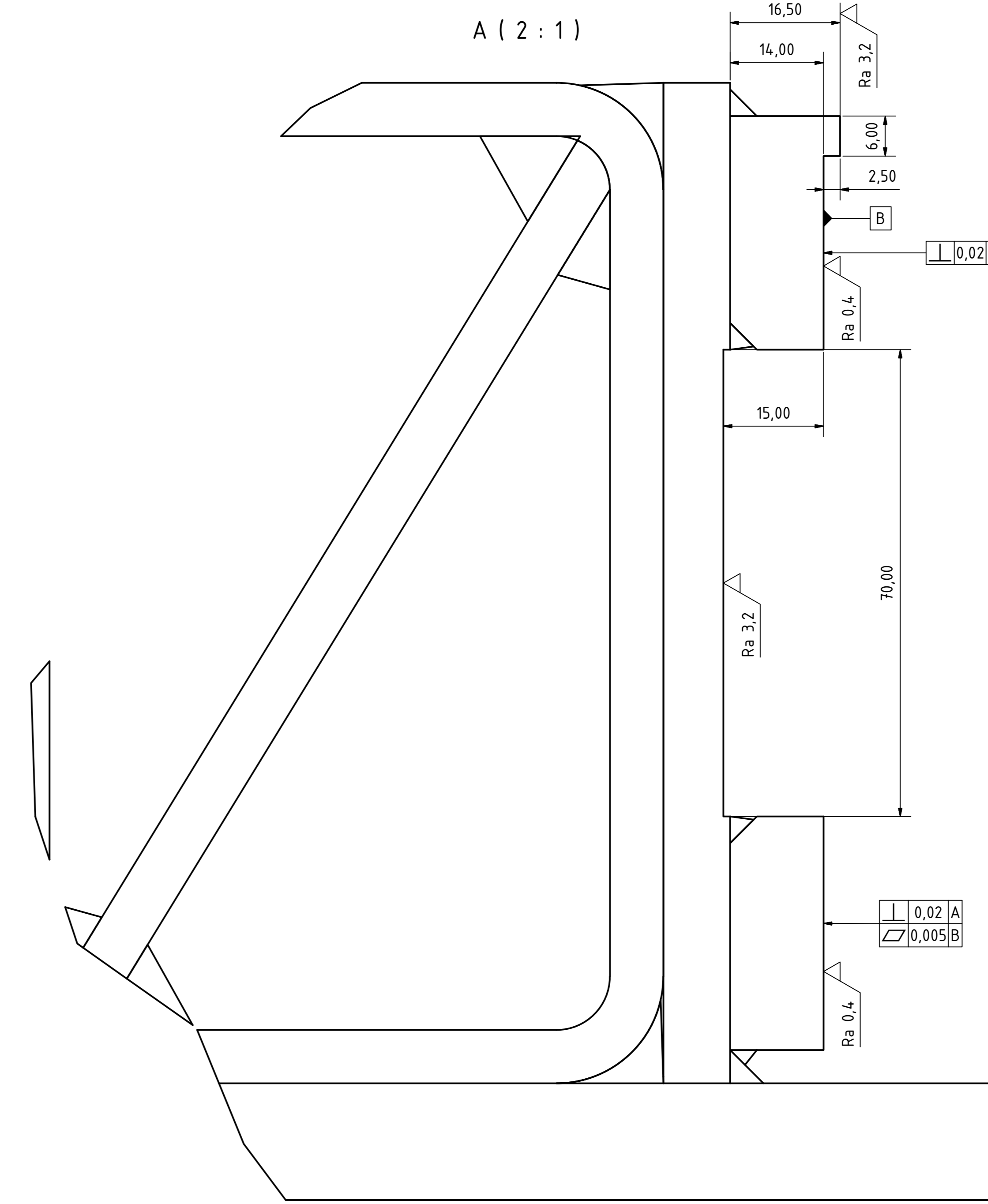
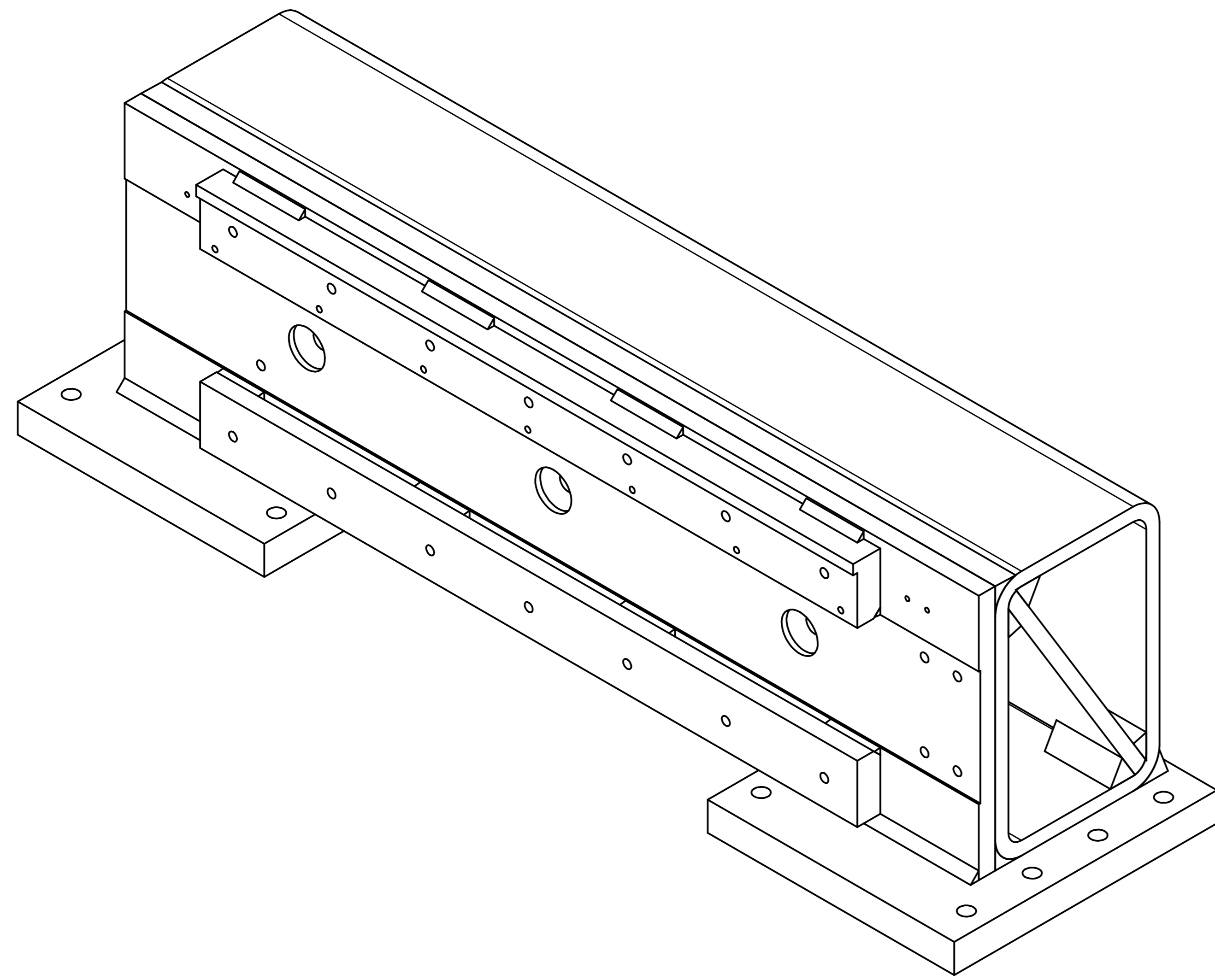
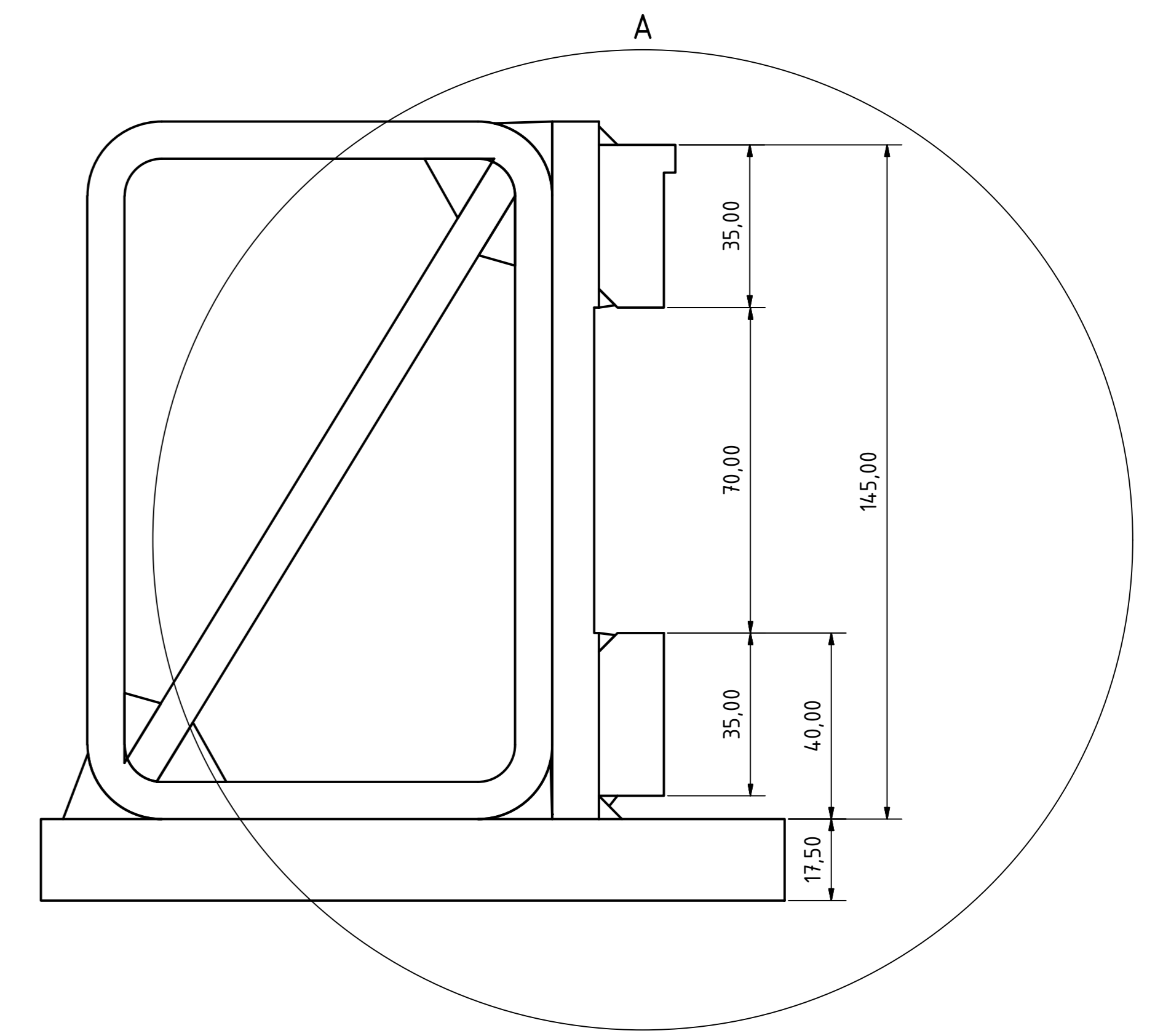
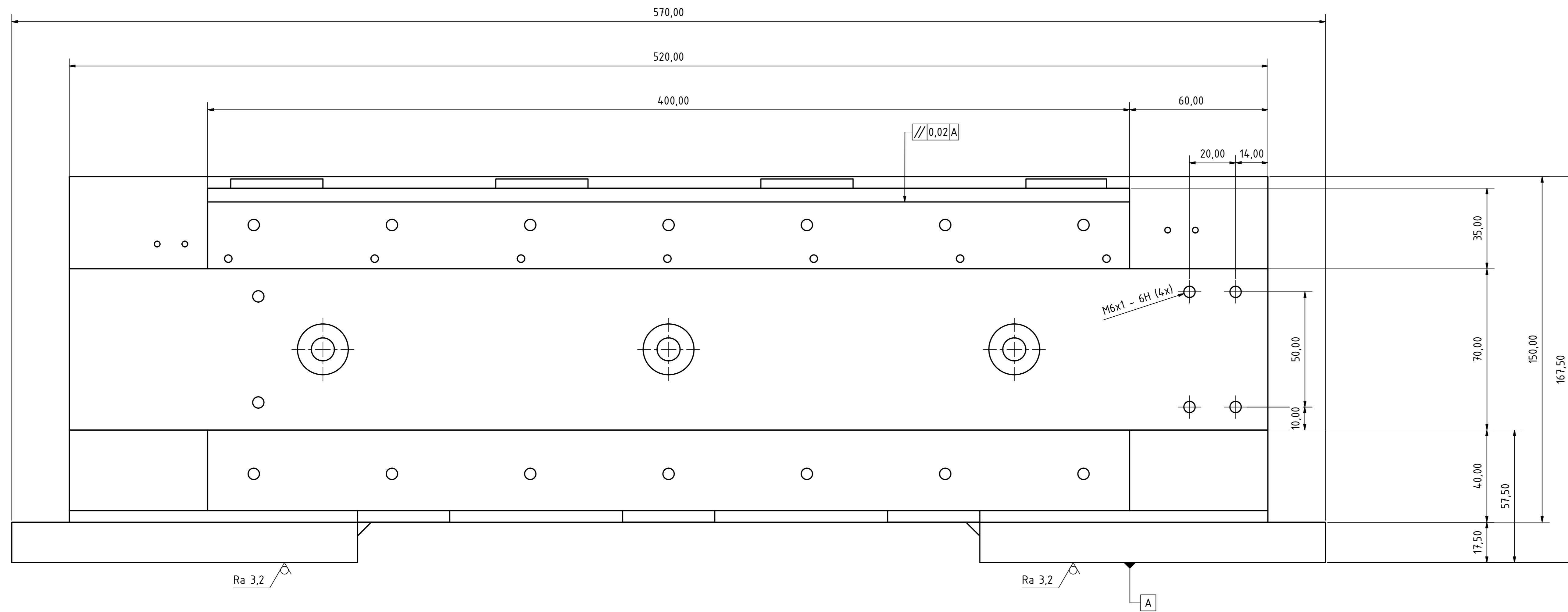


B ( 2 : 1 )

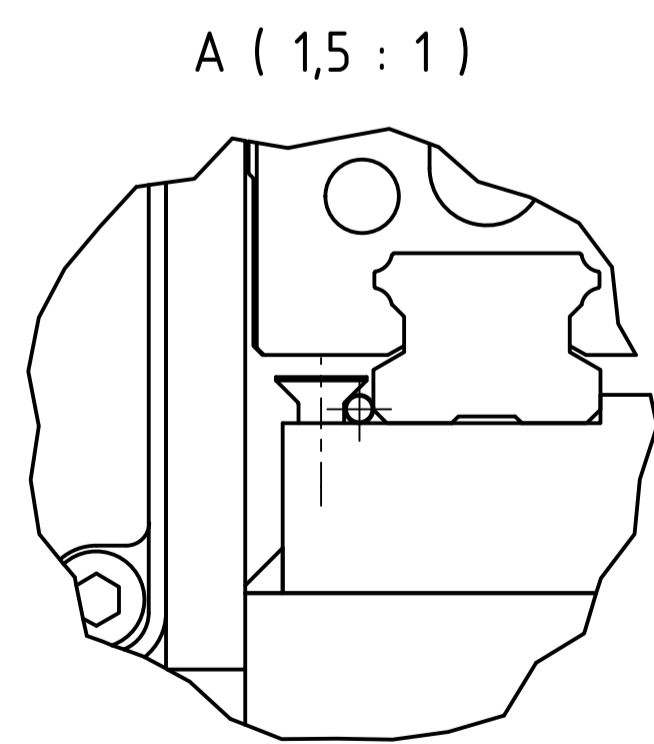
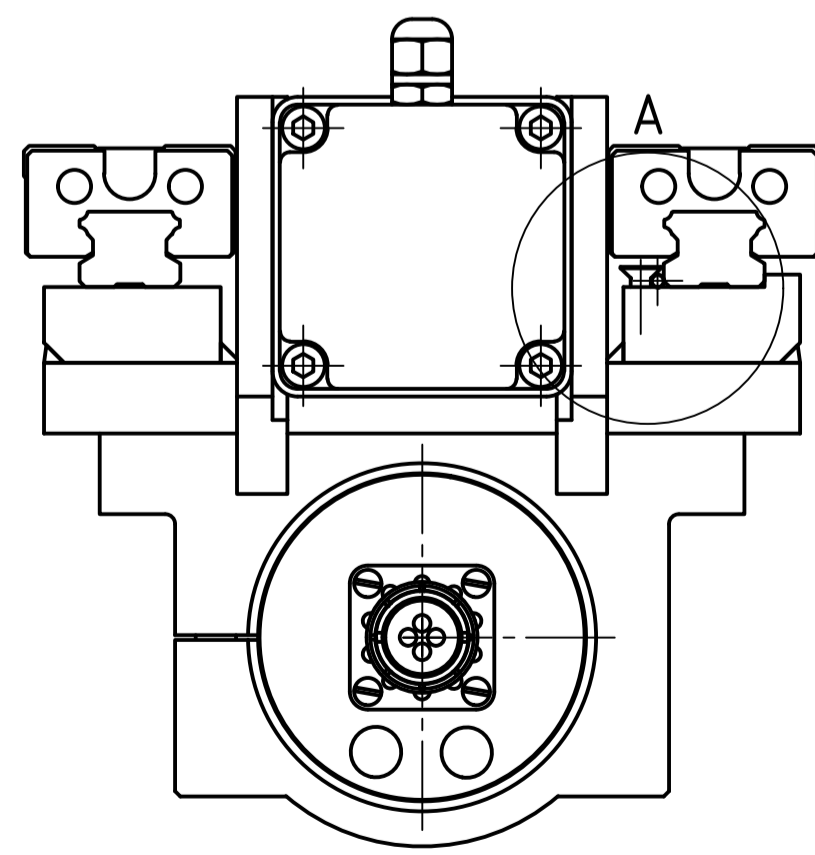
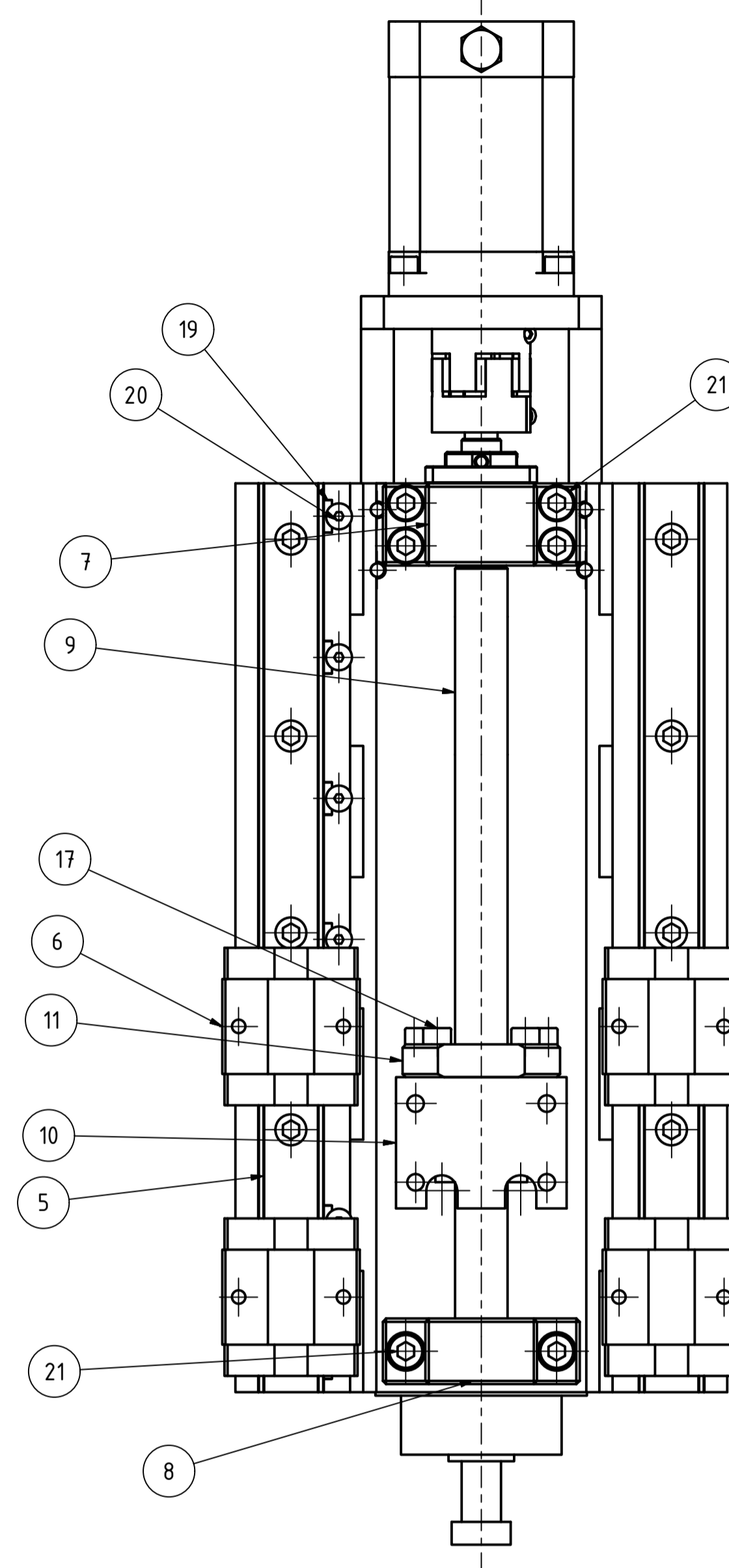
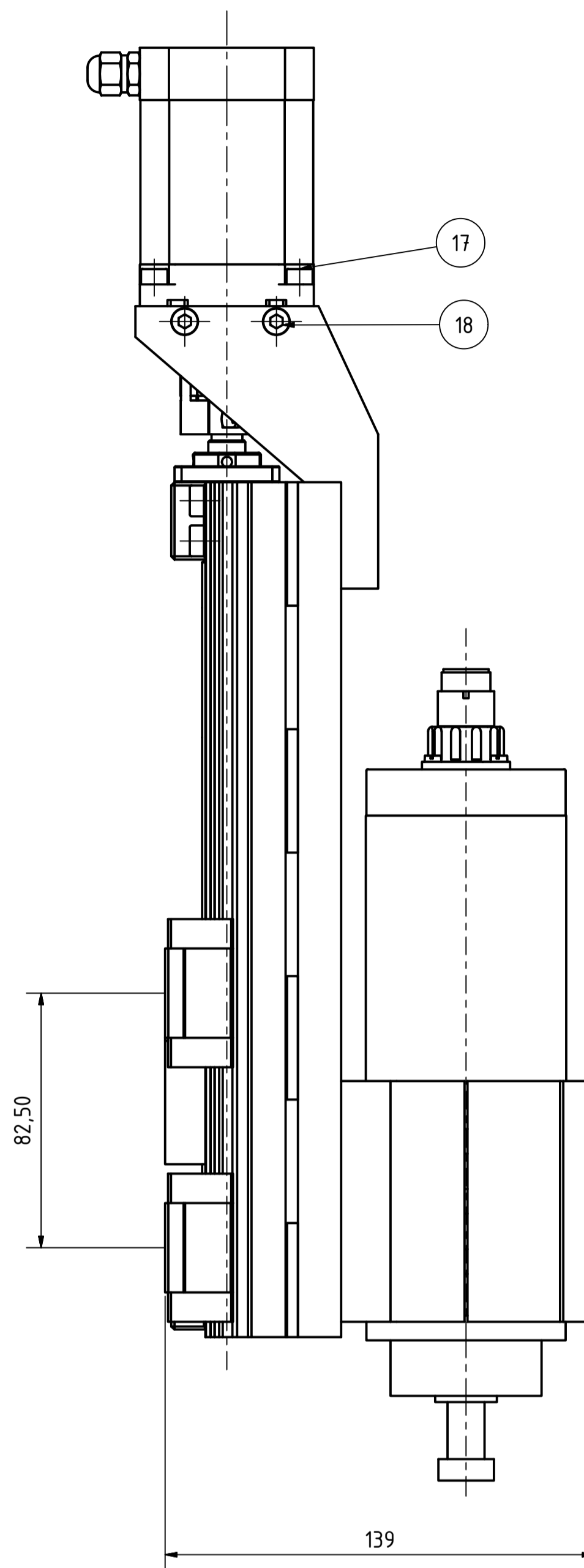
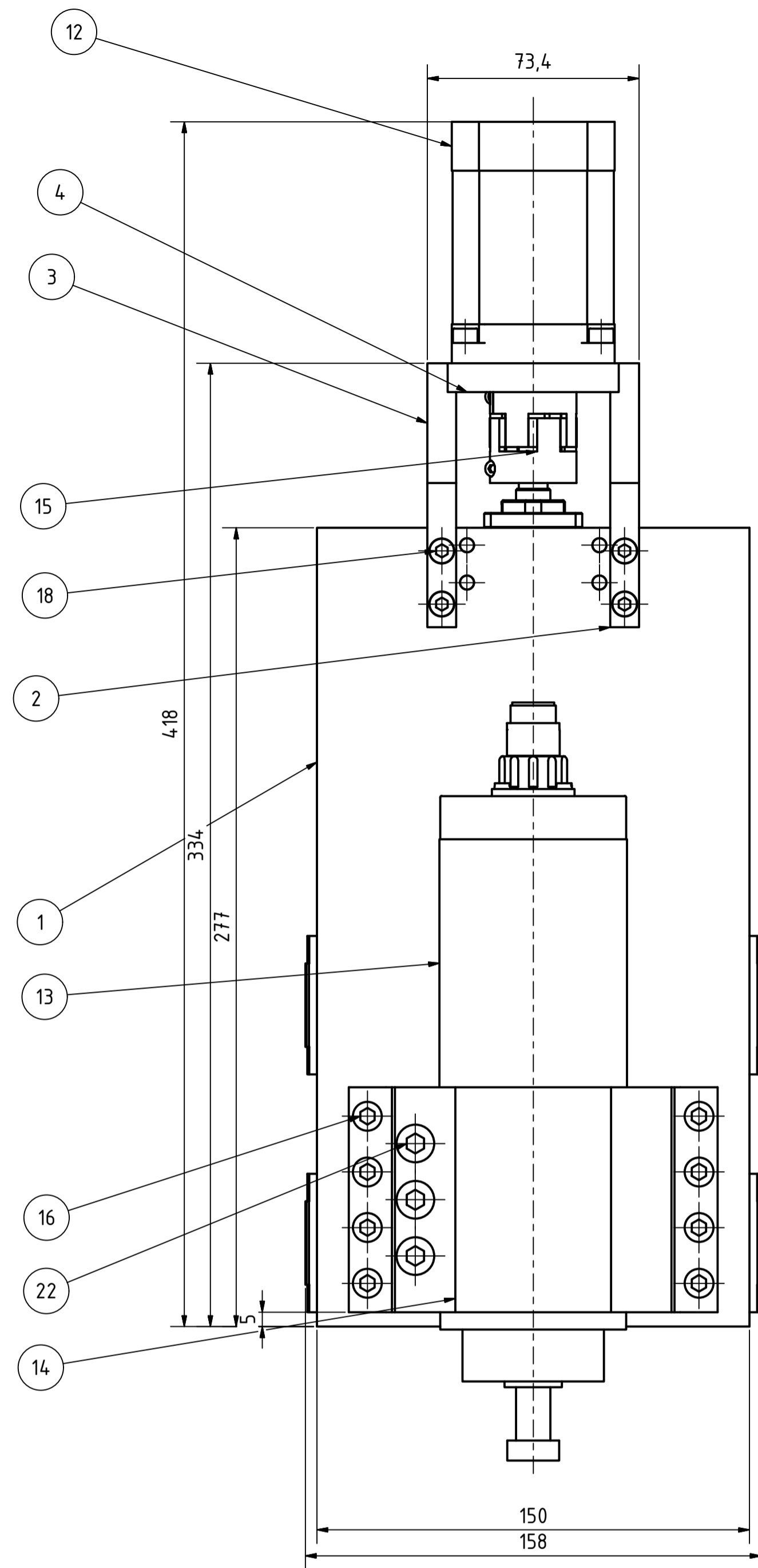


| POZICE | KS | ČÍSLO SOUČÁSTI              | POPIS  | HMOTNOST     |
|--------|----|-----------------------------|--|--------------|
| 1      | 1  | Svařenec portálu            | Ocelový svařenec                                   | 35,664 kg    |
| 2      | 1  | Deska Z osy - PMI vozíky    | Ocelový obrobek                                    | 2,752 kg     |
| 3      | 2  | Kolejnice osy Y PMI         | Kolejnice lineárního vedení                        | 0,767 kg     |
| 4      | 4  | Vozík PMI 20                | Vozíky lineárního vedení                           | 0,253 kg     |
| 5      | 1  | MBA12-C                     | Držák krokového motoru                             | 0,708 kg     |
| 6      | 1  | FK12A                       | Uložení kuličkového šroubu                         | 0,000 kg     |
| 7      | 1  | BF12                        | Uložení kuličkového šroubu                         | 0,267 kg     |
| 8      | 1  | Hřídel                      | Kuličkový šroub                                    | 0,610 kg     |
| 9      | 1  | Domek Matky kul. šroubu     | Hliníkový polotovár                                | 0,128 kg     |
| 10     | 1  | Matice kul. šroubu          | Předepnutá matice kuličkového šroubu               | 0,206 kg     |
| 11     | 2  | Držák micro spínače - osa X | Plechová součást                                   | 0,001 kg     |
| 12     | 1  | Krokový motor - Nema 23     | Krokový motor - 573S15                             | 4,191 lbmass |
| 13     | 18 | ISO 4762 - M5 x 16          | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem     | 0,004 kg     |
| 14     | 14 | ISO 4762 - M6 x 16          | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem     | 0,007 kg     |
| 15     | 7  | DIN 7991 - M4x10            | Šrouby se zapuštěnou hlavou s vnitřním šestihranem | 0,001 kg     |
| 16     | 7  | Jehla průměr 2 mm           | Ocelová jehla - kalená                             | 0,000 kg     |
| 17     | 6  | ISO 4762 - M6 x 40          | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem     | 0,012 kg     |
| 18     | 4  | ISO 4762 - M5 x 20          | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem     | 0,005 kg     |
| 19     | 4  | ISO 4762 - M3 x 12          | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem     | 0,001 kg     |
| 20     | 4  | ISO 4762 - M3 x 5           | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem     | 0,001 kg     |
| 21     | 2  | Micro spínač                | Pákový micro - spínač rozpínací                    | 0,007 lbmass |
| 22     | 1  | Pružná spojka               | LK20-C25-8/10                                      | 0,104 lbmass |

|        |                             |                |                |          |  |                 |    |
|--------|-----------------------------|----------------|----------------|----------|--|-----------------|----|
| Průběh | 1:2                         | Hmotnost (kg)  | 46             | Průběh   |  | Formát          | A1 |
|        | Kreslil                     | FERENCJ JAN    |                | Název    |  | SESTAVA - OSY Y |    |
|        | Datum                       | 4.5. 2019      |                | Schválil |  |                 |    |
|        | Schválil                    |                |                | Datum    |  | Číslo dokumentu |    |
| KKS    | KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ | Druh dokumentu | VÝKRES SESTAVY | Název    |  | SESTAVA - 02A   |    |



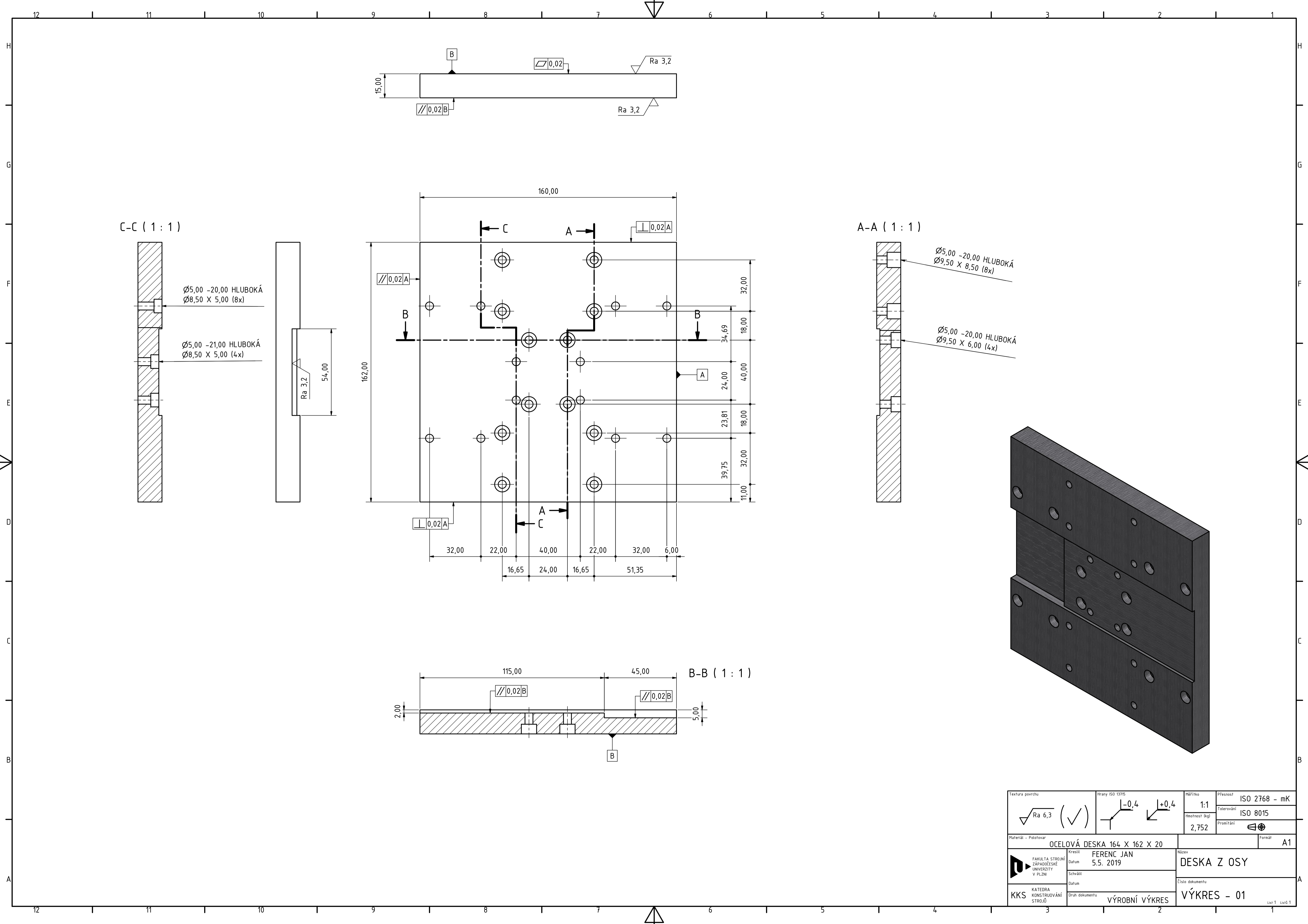
|                                |  |                               |                         |                      |  |
|--------------------------------|--|-------------------------------|-------------------------|----------------------|--|
|                                |  |                               |                         |                      |  |
| Materiál - Material: SVÁŘENEC  |  | Průřez: 1:1                   | Přesnost: ISO 2768 - mK | Formát: A0           |  |
| Kreslil: FERENC JAN            |  | Datum:                        | Tolerování: ISO 8015    | Název: PORTÁL FRÉZKY |  |
| Stáhl:                         |  | Datum:                        | Přesnost:               | Číslo dokumentu: 01  |  |
| KKS KATEDRA KONSTRUKČNÍ STROJŮ |  | Typ dokumentu: VÝROBNÍ VÝKRES | List 1 z 1              |                      |  |



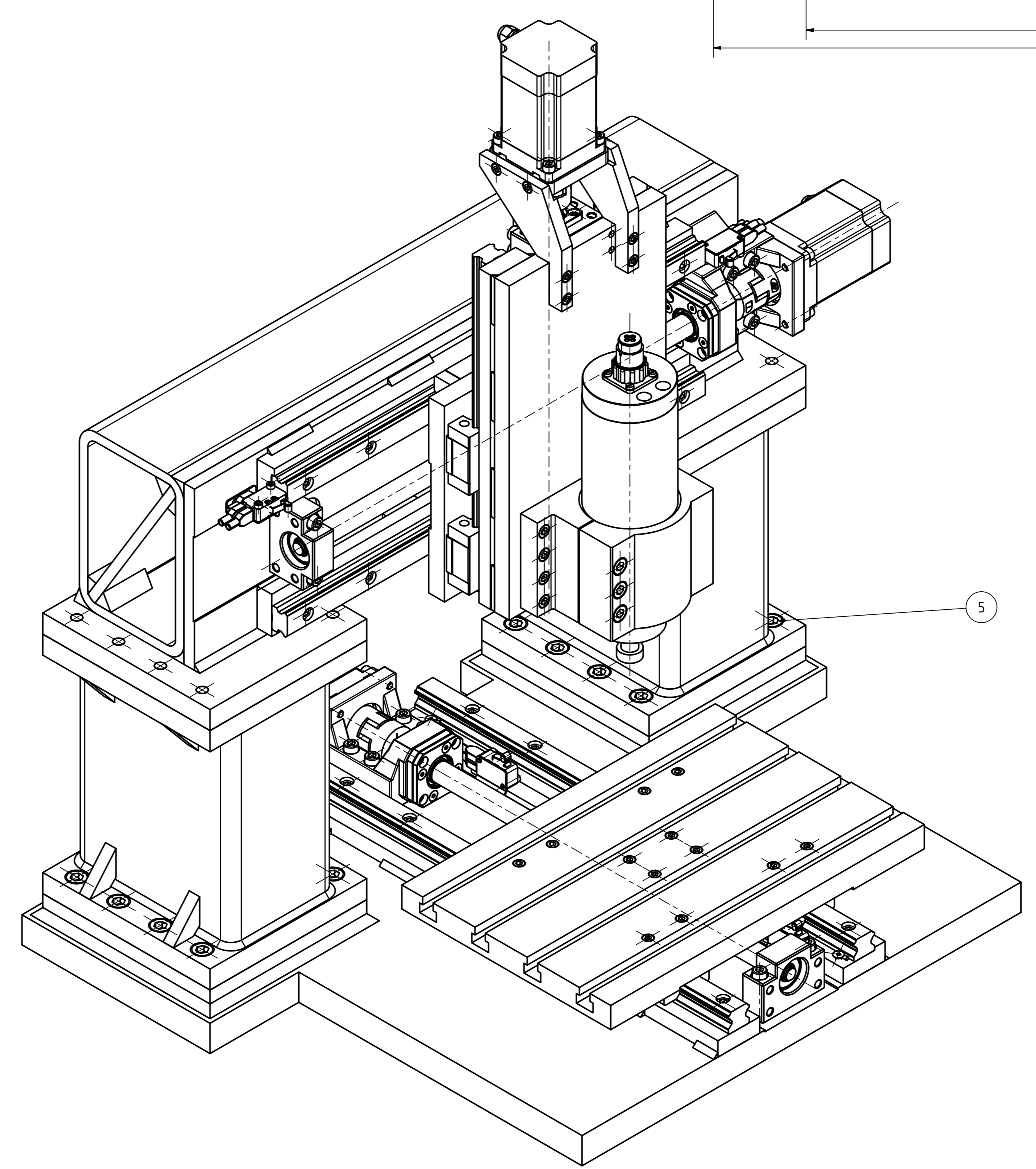
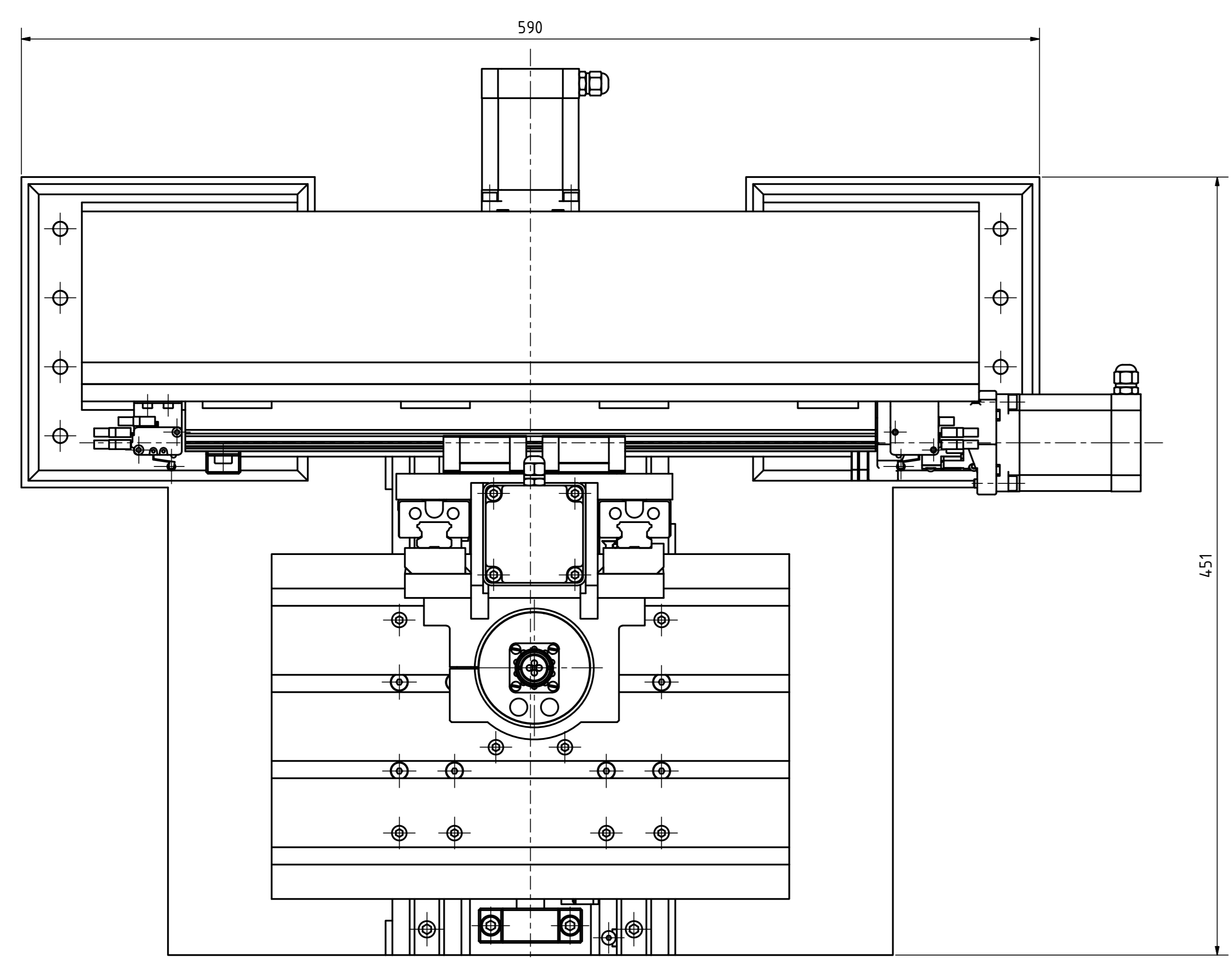
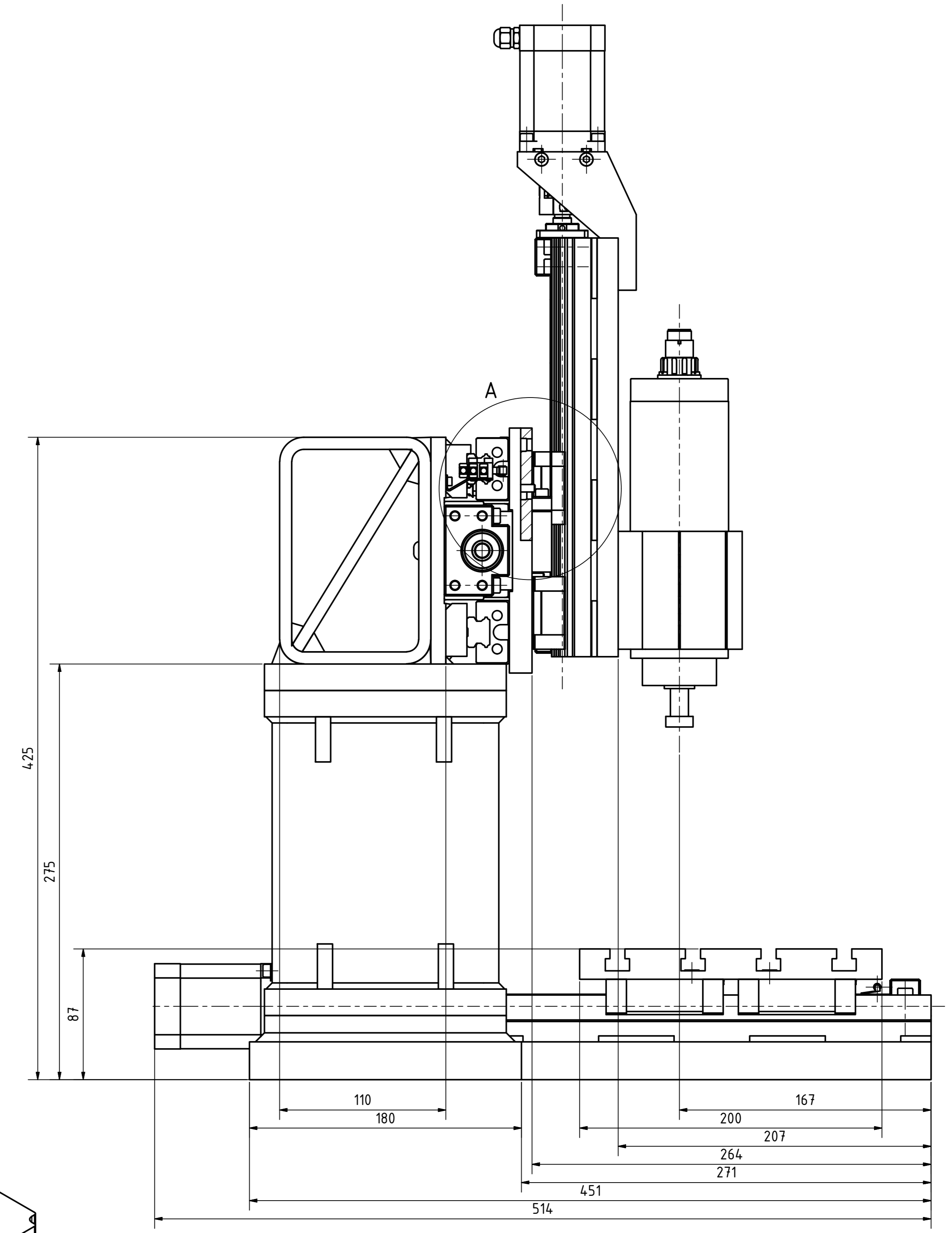
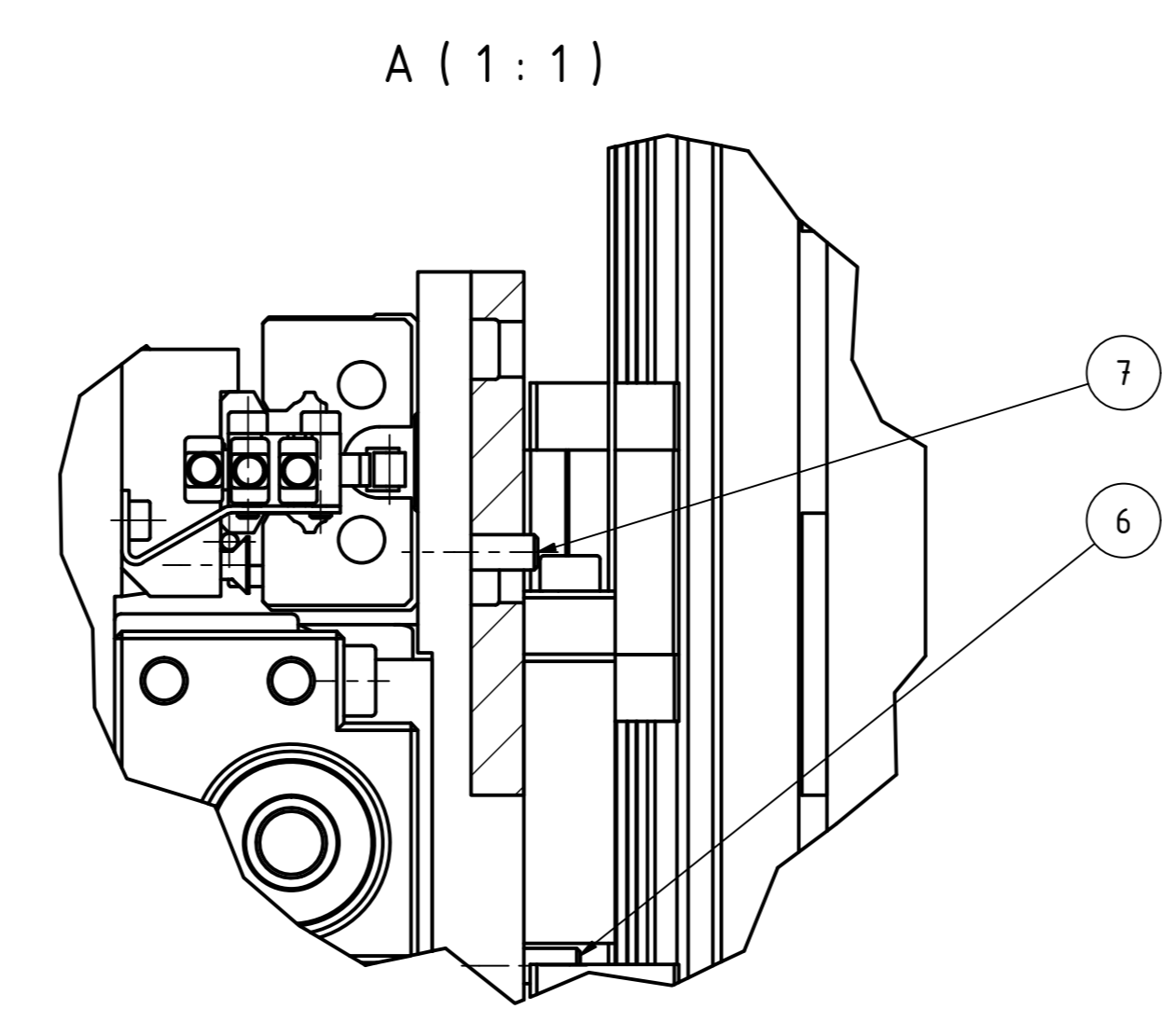
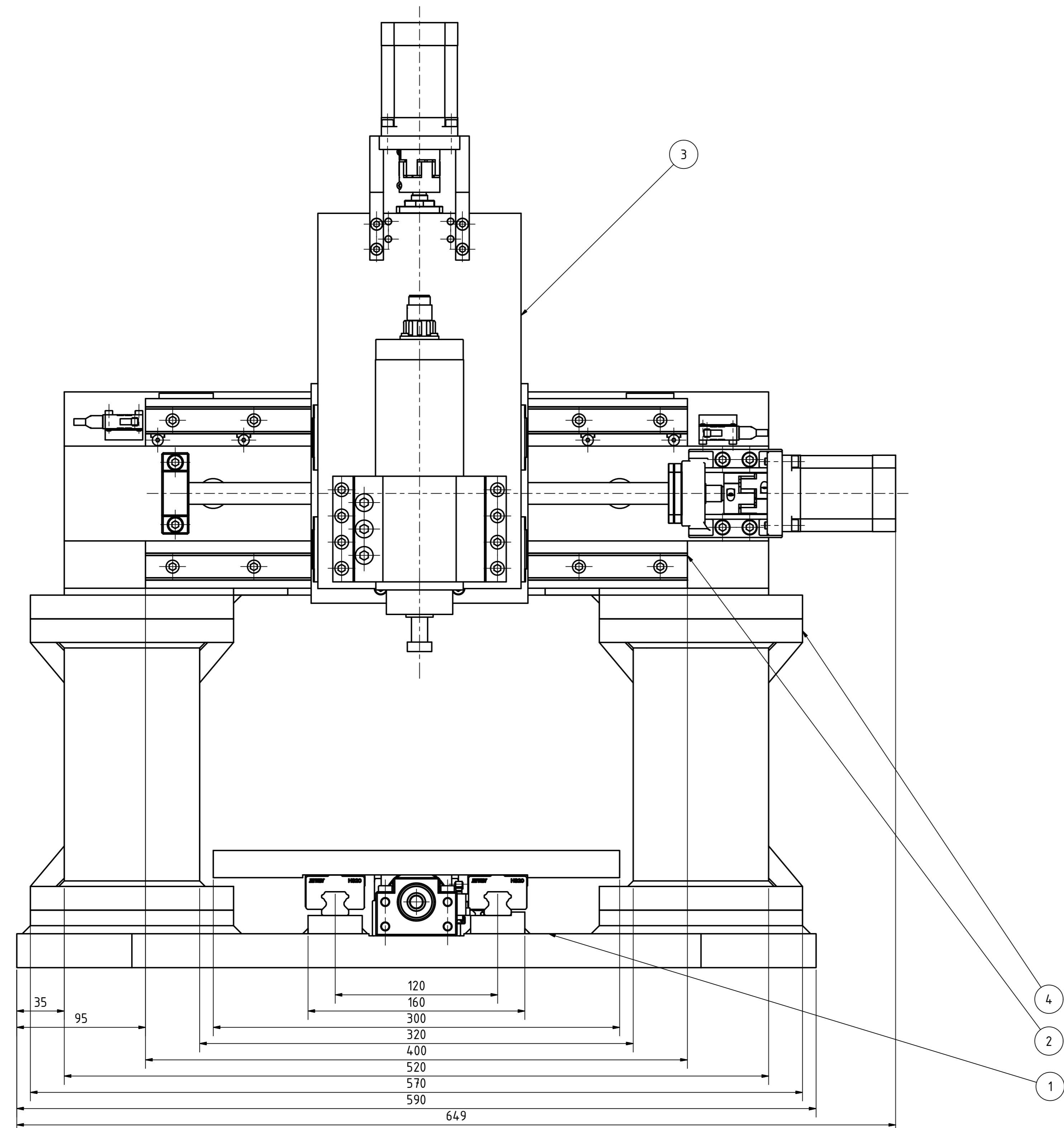
| POZICE | KS | ČÍSLO SOUČÁSTI                                   | POPIS  | KUSOVNÍK | HMOTNOST     |
|--------|----|--|--|----------|--------------|
| 1      | 1  | Sestava desky vřetene                            | Ocelový svařenec                                   |          | 6,551 kg     |
| 2      | 1  | Bočnice držáku motoru osa Z - PMI vozíky         | Hliníkový obrobek                                  |          | 0,078 kg     |
| 3      | 1  | Bočnice držáku motoru osa Z - Pravá - PMI vozíky | Hliníkový obrobek                                  |          | 0,078 kg     |
| 4      | 1  | Deska držáku motoru osy Z                        | Hliníkový obrobek                                  |          | 0,060 kg     |
| 5      | 2  | Kolejnice osy Z PMI                              | Kolejnice lineárního vedení                        |          | 0,530 kg     |
| 6      | 4  | Vozík PMI 20                                     | Vozíky lineárního vedení                           |          | 0,253 kg     |
| 7      | 1  | BK12   | Uložení kuličkového šroubu                         |          | 0,379 kg     |
| 8      | 1  | BF12   | Uložení kuličkového šroubu                         |          | 0,267 kg     |
| 9      | 1  | Hřídel   | Kuličkový šroub                                    |          | 0,415 kg     |
| 10     | 1  | Domek Matky kul. šroubu - vybrání pro šrouby     | Hliníkový polotovár                                |          | 0,117 kg     |
| 11     | 1  | Matice kul. šroubu                               | Předepnutá matice kuličkového šroubu               |          | 0,206 kg     |
| 12     | 1  | Krokový motor - Nema 23                          | Krokový motor - 573S15                             |          | 4,191 lbmass |
| 13     | 1  | Sestava vřetena                                  | Vodou chlazené elektrovřeteno                      |          | 5,151 kg     |
| 14     | 1  | Držák vřetena - 65 mm                            | Hliníkový polotovár                                |          | 0,915 kg     |
| 15     | 1  | Pružná spojka                                    | LK20-C25-8/10                                      |          | 0,104 lbmass |
| 16     | 18 | ISO 4762 - M6 x 20                               | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem     |          | 0,007 kg     |
| 17     | 10 | ISO 4762 - M5 x 16                               | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem     |          | 0,004 kg     |
| 18     | 8  | ISO 4762 - M5 x 20                               | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem     |          | 0,005 kg     |
| 19     | 7  | Jehla průměr 2 mm                                | Ocelová jehla - kalená                             |          | 0,000 kg     |
| 20     | 7  | DIN 7991 - M4x10                                 | Šrouby se zapuštěnou hlavou s vnitřním šestihranem |          | 0,001 kg     |
| 21     | 6  | ISO 4762 - M6 x 40                               | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem     |          | 0,012 kg     |
| 22     | 3  | ISO 4762 - M8 x 45                               | Šroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem     |          | 0,025 kg     |

|         |                             |                |                 |                 |               |        |    |
|---------|-----------------------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|--------|----|
| Měřítko | 1:2                         | Hmotnost (kg)  | 18,600          | Průřez          |               | Formát | A1 |
| Kreslil | FERENC JAN                  | Název          | SESTAVA - OSY Z |                 |               |        |    |
| Datum   | 5.5. 2019                   | Schválil       |                 |                 |               |        |    |
| KKS     | KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ | Druh dokumentu | VÝKRES SESTAVY  | Číslo dokumentu | SESTAVA - 03A |        |    |





|  |  |                       |                           |
|--|--|-----------------------|---------------------------|
| Textura povrchu<br>$\sqrt{Ra\ 6,3}$ (✓)              | Hevny ISO 13715<br>-0,4<br>+0,4                                  | Měřítko<br>1:1        | Přesnost<br>ISO 2768 - mK |
|  |  | Hevnost (kg)<br>2,752 | Tolerování<br>ISO 8015    |
| Materiál - Polotovár<br>OCELOVÁ DESKA 164 X 162 X 20 |  | Formát<br>A1          |                           |
| KRESLIL<br>FERENC JAN<br>DATUM<br>5.5.2019           | NÁZEV<br>DESKA Z OSY   |                       |                           |
|  | KATEDRA KONSTRUKOVÁNÍ STROJŮ<br>DRUH DOKUMENTU<br>VÝROBNÍ VÝKRES |                       |                           |
| ČÍSLO DOKUMENTU<br>VÝKRES - 01                       |  | Líst 1. z 10.1        |                           |



| POZICE | KS | ČÍSLO SOUČÁSTI            | POPIS  | HMOTNOST  |
|--------|----|---------------------------|--|-----------|
| 1      | 1  | Sestava - osy X           |  | 62,119 kg |
| 2      | 1  | Sestava - osy Y           |  | 45,117 kg |
| 3      | 1  | Sestava - osy Z           |  | 18,608 kg |
| 4      | 2  | Sloup portálu se vzpěramy |  | 9,796 kg  |
| 5      | 32 | ISO 4762 - M10 x 25       | Sroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem | 0,028 kg  |
| 6      | 4  | ISO 4762 - M5 x 16        | Sroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem | 0,004 kg  |
| 7      | 8  | ISO 4762 - M5 x 12        | Sroub s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem | 0,004 kg  |

|                     |                                |                           |
|---------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Stupeň: 1:2         | Skupina: 14.7                  | Formát: A0                |
| Kreslil: FERENC JAN | Datum: 4.5.2019                | Kresla: VÝKRES SESTAVY    |
| Stavěl: KKS         | Druh dokumentu: VÝKRES SESTAVY | Titulek: PORTÁLOVÁ FRÉZKA |
| KKS                 | KATEDRA KONSTRUKČNÍ STROJŮ     | SESTAVA - 00              |