

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Akademický rok 2016/2017

Stanislav STRNAD

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukce CNC frézky

Autor: **Stanislav STRNAD**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**

Akademický rok 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Stanislav STRNAD**
Osobní číslo: **S13B0094K**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu: **Konstrukce CNC frézky**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Zpracovat problematiku malých CNC frézovacích zařízení s ohledem na požadované vlastnosti.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše vyráběných typů
2. Specifikace požadavků
3. Navržení a výběr vhodné varianty
4. Konstrukční návrh zvolené varianty
5. Ekonomické zhodnocení výsledné varianty

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

LAŠOVÁ, V. Základy stavby obráběcích strojů. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2012

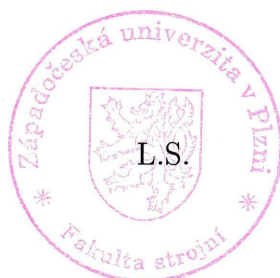
MAREK, J. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Praha: MM publishing, 2010


Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Petr Bernardin**
Regionální technologický institut

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2016**
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2017**


Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2016

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Strnad	Jméno Stanislav	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Lašová, Ph.D.	Jméno Václava	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Konstrukce CNC frézky		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2017
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	64	TEXTOVÁ ČÁST	52	GRAFICKÁ ČÁST	12
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce obsahuje konstrukční návrh CNC frézky. S ohledem na předikované požadavky jsou navržena možná konstrukční provedení stroje. Následně je provedena volba vhodného vedení, volba posuvového mechanismu a jeho pohonu. V závěru se práce zabývá ekonomickým zhodnocením výsledné varianty.
KLÍČOVÁ SLOVA	CNC, frézka, portál, lineární vedení, krokový motor, řemen

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Strnad	Name Stanislav		
FIELD OF STUDY	B2301 „ Design of Manufacturing Machines and Equipment“			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Lašová, Ph.D.	Name Václava		
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	DESIGN OF CNC MILLING MACHINE			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2017
----------------	---------------------------	-------------------	-------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	64	TEXT PART	52	GRAPHICAL PART	12
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The Bachelor thesis contains a design of the CNC milling machine. Regarding to predicted requirements, there are designed possible machine designs. Then the appropriate choice of linear guides, feed mechanisms and drive is made. The final part of the thesis includes an economic evaluation of the selected option.
KEY WORDS	CNC, milling, router, linear guides, stepper motor, belts

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Doc. Ing. Václavě Lašové, Ph.D., vedoucí bakalářské práce, která mi byla po celou dobu vypracovávání bakalářské práce nápomocna, za její ochotu, trpělivost, užitečné rady a připomínky.

Obsah

1	ÚVOD.....	6
2	PRŮZKUM STAVU TECHNIKY	7
2.1	KONKURENČNÍ CNC FRÉZKY	7
2.1.1	CNC frézky firmy TRIOM s.r.o.	7
	Typ 1 - CNC frézka v portálovém uspořádání horní gantry	7
	Hodnocení konstrukčního řešení typu 1.....	8
	Typ 2 - CNC frézka v portálovém uspořádání spodní gantry	8
	Hodnocení konstrukčního řešení typu 2.....	9
2.1.2	CNC frézky firmy 4ISP s.r.o.	9
	Typ 3 - CNC frézka ve stolovém uspořádání s otevřeným rámem	10
	Hodnocení konstrukčního řešení typu 3.....	10
	Typ 4 - CNC frézka v konzolovém uspořádání	11
2.2	ZÁKLADNÍ STAVEBNÍ ČÁSTI STOLNÍCH CNC FRÉZEK	11
2.2.1	Rám stroje.....	11
	Požadavky na rám stroje	11
	Provedení rámu	12
	Materiály rámu.....	12
2.2.2	Pohyblivá spojení stroje	13
	Rovinné vedení.....	13
	Rotační uložení.....	16
2.2.3	Mechanismy pro převod rotačního pohybu v pohyb lineární	16
	Pohybový šroub.....	17
	Ozubený řemen a pastorek	19
2.2.4	Vedlejší pohony.....	20
	Krokové motory.....	20
	Servomotory.....	21
2.2.5	Vřetena	21
2.2.6	Řízení a elektronika stolních CNC frézek	22
	Řídicí elektronika	22
	Řídicí software.....	23
	Napájecí zdroje.....	23
2.2.7	Ostatní části stolních CNC frézek	23
3	SPECIFIKACE POŽADAVKŮ.....	24
4	NAVRŽENÍ A VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ.....	27
4.1	HLEDISKA KONSTRUKČNÍHO USPOŘÁDÁNÍ RÁMU STROJE.....	27
4.1.1	Stanovení váhy jednotlivých kritérií	27
4.1.2	Výběr optimální varianty konstrukčního uspořádání rámu stroje dle stanovených kritérií	27
4.1.3	Zhodnocení výběru varianty konstrukčního uspořádání rámu stroje	28
4.2	VOLBA POSUVOVÉHO MECHANISMU	28
4.2.1	Stanovení váhy jednotlivých kritérií	28
4.2.2	Výběr optimální varianty posuvového mechanismu dle stanovených kritérií.....	29
4.2.3	Zhodnocení výběru varianty posuvového mechanismu	29
4.3	VOLBA PŘÍMOČARÉHO LINEÁRNÍHO VEDENÍ	29
4.4	VOLBA ELEKTROVŘETENE	30
5	KONSTRUKČNÍ A TECHNOLOGICKÝ NÁVRH	31
5.1	SPODNÍ ČÁST RÁMU STROJE.....	31
5.1.1	Charakteristika součástí	31
5.1.2	Polotovary a materiály spodní části rámu	31
5.1.3	Technologický postup výroby.....	32

KKS - Stavba výrobních strojů a zařízení

Stanislav Strnad

5.1.4	<i>Pevnostní analýza pracovního stolu</i>	32
5.2	PORTÁL, SUPORT A POLOHOVACÍ MECHANISMUS ELEKTROVŘETENE	34
5.2.1	<i>Charakteristika součástí</i>	34
5.2.2	<i>Polotovary a materiály portálu</i>	35
5.2.3	<i>Technologický postup výroby</i>	35
5.3	POSUVOVÝ MECHANISMUS A JEHO POHON	36
5.3.1	<i>Výběr vhodného krokového motoru pro osu x a osu y</i>	36
5.3.2	<i>Posuvový mechanismus osy x</i>	37
5.3.3	<i>Výpočtový návrh posuvového mechanismu osy x</i>	37
5.3.4	<i>Posuvový mechanismus osy y</i>	43
5.3.5	<i>Posuvový mechanismus osy z</i>	44
5.3.6	<i>Výpočtový návrh pohybového šroubu osy z</i>	45
6	ZHODNOCENÍ DOSAŽENÉHO KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ	47
6.1	SWOT PREDIKOVANÝCH VLASTNOSTÍ PRO SPECIFIKOVANÉ POŽADAVKY	47
6.2	NAVRŽENÍ KONSTRUKČNÍCH ÚPRAV	48
6.3	SOUPIS NÁKLADŮ	49
6.4	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ	50
7	ZÁVĚR	50

Seznam obrázků

OBR. 2-1:	FRÉZOVÁNÍ DPS [8]	7
OBR. 2-2:	GRAVÍROVÁNÍ [8]	7
OBR. 2-3:	CNC STOLNÍ FRÉZKA FA TRIOM S.R.O. V PROVEDENÍ HORNÍ GANTRY [9]	8
OBR. 2-4:	CNC STOLNÍ FRÉZKA FA TRIOM S.R.O. V PROVEDENÍ SPODNÍ GANTRY [9]	9
OBR. 2-5:	CNC STOLNÍ FRÉZKA FA 4ISP S.R.O. [7]	10
OBR. 2-6:	PROVEDENÍ RÁMŮ - ZLEVA UZAVŘENÝ RÁM A VPRAVO OTEVŘENÝ RÁM [8]	12
OBR. 2-7:	PROFILY ZE SLITIN HLINÍKU [11]	13
OBR. 2-8:	BROUŠENÁ TYČ S UZAVŘENÝM KULIČKOVÝM LINEÁRNÍM LOŽISKEM [7]	15
OBR. 2-9:	BROUŠENÁ PODEPŘENÁ TYČ S OTEVŘENÝM KULIČKOVÝM LINEÁRNÍM LOŽISKEM [7]	15
OBR. 2-10:	PRIZMATICKÉ VEDENÍ FIRMY THK [7]	16
OBR. 2-11:	TRAPÉZOVÝ ŠROUB S MATICÍ [12]	17
OBR. 2-12:	PŘEDEPNUTÍ VLOŽENOU PODLOŽKOU [4]	17
OBR. 2-13:	PŘEDEPNUTÍ VLOŽENOU TALÍŘOVOU PRUŽINOU [4]	17
OBR. 2-14:	PŘEDEPNUTÍ VÝBĚREM KULIČEK [4]	18
OBR. 2-15:	PŘEDEPNUTÍ PROVEDENÉ RŮZNÝM STOUPÁNÍM KULIČKOVÉ DRÁHY [4]	18
OBR. 2-16:	ZPŮSOBY PŘEVÁDĚNÍ KULIČEK [4]	18
OBR. 2-17:	TŘÍDA PŘESNOSTI KULIČKOVÝCH ŠROUBŮ FIRMY KŠM [2]	19
OBR. 2-18:	POSUVOVÝ MECHANISMUS - OZUBENÝ ŘEMEN A PASTOREK [6]	19
OBR. 2-19:	KROKOVÝ MOTOR [7]	21
OBR. 2-20:	SERVOPOHON [14]	21
OBR. 2-21:	ASYNCHRONNÍ ELEKTROVŘETENO [7]	22
OBR. 2-22:	DRIVER PRO 3 KROKOVÉ MOTORY [7]	22
OBR. 2-23:	PROGRAM MACH 3 [15]	23
OBR. 2-24:	SPÍNANÝ ZDROJ [15]	23
OBR. 2-25:	KABELOVÝ ŘETĚZ [7]	24
OBR. 4-1:	ELEKTROVŘETENO PROXXON IB/E [16]	30
OBR. 4-2:	ELEKTROVŘETENO KRESS FME 530 [17]	30
OBR. 5-1:	CAD MODEL SPODNÍ ČÁSTÍ RÁMU	31
OBR. 5-2:	DEFINOVÁNÍ UCHYCENÍ A ZATÍŽENÍ U PRACOVNÍ DESKY FRÉZKY	32
OBR. 5-3:	VARIANTA A – POSUNUTÍ	33

KKS - Stavba výrobních strojů a zařízení

Stanislav Strnad

OBR. 5-4: VARIANTA A – NAPĚTÍ VON MISES	33
OBR. 5-5: VARIANTA B – POSUNUTÍ	34
OBR. 5-6: VARIANTA C – POSUNUTÍ	34
OBR. 5-7: PORTÁL S POLOHOVACÍM MECHANISMEM ELEKTROVŘETENE.....	35
OBR. 5-8: MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA MOTORU SX17-0808 [21].....	36
OBR. 5-9: VRATNÁ ŘEMENICE OSY X	37
OBR. 5-10: POHON POSUVU OSY X.....	37
OBR. 5-11: ZÁKLADNÍ ROZMĚRY ŘEMENIC 1F [19].....	42
OBR. 5-12: ZÁKLADNÍ ROZMĚRY ŘEMENIC 6F [19].....	42
OBR. 5-13: POSUVOVÝ MECHANISMUS OSY Y	44
OBR. 5-14: KINEMATIKA POHYBOVÉHO ŠROUBU OSY Z [23].....	44
OBR. 5-15: TRAPÉZOVÝ ŠROUB S DRŽÁKEM MATICE.....	44
OBR. 6-1: GRAF SWOT PREDIKOVANÝCH VLASTNOSTÍ PRO SPECIFIKOVANÉ POŽADAVKY	48

Seznam tabulek

TAB. 2-1: TECHNICKÉ ÚDAJE FRÉZKY TYPU 1 V PORTÁLOVÉM USPOŘÁDÁNÍ HORNÍ GANTRY [9]	8
TAB. 2-2: TECHNICKÉ ÚDAJE FRÉZKY TYPU 2 V PORTÁLOVÉM USPOŘÁDÁNÍ SPODNÍ GANTRY [9]	9
TAB. 2-3: TECHNICKÉ ÚDAJE FRÉZKY TYPU 3 [7]	11
TAB. 2-4: DRUHY VEDENÍ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ [2]	14
TAB. 2-5: DĚLENÍ VALIVÝCH VEDENÍ [2].....	14
TAB. 2-6: POSUVOVÉ MECHANISMY.....	16
TAB. 4-1: PÁROVÉ POROVNÁNÍ – KRITÉRIA Z HLEDISKA KONSTRUKČNÍHO USPOŘÁDÁNÍ	27
TAB. 4-2: VÝBĚR VARIANTY KONSTRUKČNÍHO USPOŘÁDÁNÍ RÁMU STROJE	28
TAB. 4-3: PÁROVÉ POROVNÁNÍ – KRITÉRIA POSUVOVÉHO MECHANISMU	29
TAB. 4-4: VÝBĚR VARIANTY POSUVOVÉHO MECHANISMU	29
TAB. 5-1: FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI OCELI S235JR	31
TAB. 5-2: TECHNICKÉ PARAMETRY KROKOVÝCH MOTORŮ [21].....	36
TAB. 6-1: SWOT ANALÝZA PREDIKOVANÝCH VLASTNOSTÍ PRO SPECIFIKOVANÉ POŽADAVKY	47
TAB. 6-2: SOUPIS NÁKLADŮ	49

Použité symboly a zkratky

n	Provozní otáčky krokového motoru	ot/min
M_t	Točivý moment	Nm
M_2	Točivý moment na sekundární ose	Nm
n_2	Otáčky sekundární osy	ot/min
z_1, z_2, z_3, z_4	Počet zubů ozubené řemenice	-
i	Převodový poměr	-
P	Výkon	W, kW
P_r	Přepočtený výkon	W, kW
ω	Úhlová rychlost	rad/s
c_1	Faktor počtu činných zubů	-
c_2	Faktor zatížení	-
c_3	Faktor zrychlení	-
c_4	Faktor únavy	-
c_5	Faktor délky řemene	-
c_0	Celkový provozní faktor	-
p	Rozteč ozubeného řemenu	mm
L_{wp}	Teoretická délka řemenu	mm
a	Předpokládaná osová vzdálenost řemenic	mm
a_{skut}	Skutečná osová vzdálenost	mm
β	Úhel opásání řemenice	°
z_e	Počet činných zubů řemenice	-
F_v	Obvodová síla v řemenu	N
F_u	Dovolená síla v řemenu	N
S_F	Koeficient bezpečnosti namáhání řemene	-
F_{stat}	Síla předeprnutí řemene	-
D_e	Malý průměr řemenice	mm
D_p	Střední průměr řemenice	mm
D_m	Velký průměr řemenice	mm
L	Celková délka řemenice	mm
F	Šířka ozubení řemenice	mm
l_{km}	Úhel natočení rotoru při 1 kroku krokového motoru	°
K_{km}	Počet kroků na 1 otáčku krokového motoru	-
K_2	Počet kroků hnané řemenice	-
s_p	Vzdálenost posunutí na 1 otáčku hnací řemenice	mm
P_{pol}	Teoretická přesnost polohování	mm
K_{mkm}	Počet mikrokroků krokového motoru	-
P_{mpol}	Teoretická přesnost mikropolohování	-
s_{odch}	Tolerance kroku hnané řemenice	mm
v_p	Rychlost posuvu	mm/min, m/min
d	Velký průměr trapézového šroubu	mm
d_2	Střední průměr trapézového šroubu	mm
d_3	Malý průměr trapézového šroubu	mm
p_H	Stoupání trapézového šroubu	mm
H_1	Nosná výška závitu	mm
R_m	Mez pevnosti materiálu	MPa

α	Úhel stoupání trapézového šroubu	°
φ	Třecí úhel	°
μ	Účinnost	-
f	Součinitel tření	-
F_{ax}	Axiální síla	N
σ_{dov}	Dovolené napětí v tahu, v tlaku	MPa
σ_t	Napětí v tahu	MPa
s_m	Bezpečnost proti mezi pevnosti	-
S_j	Jmenovitý průřez	mm ²
τ_k	Smykové napětí	MPa
W_k	Modul průřezu	mm ³
σ_{red}	Redukované napětí	MPa
p_z	Tlak v závitu	MPa
p_d	Dovolený tlak v závitu	MPa
M_z	Zbytkový moment krokového motoru	Nm

Použité zkratky

CAD	Počítačem podpořený návrh
CNC	Číslicové řízení pomocí počítače
ČSN	Česká technická norma
DPS	Deska plošných spojů
EN	Evropská norma
HRC	Zkouška tvrdosti podle Rockwella
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
LPT	Line Printer Termina (port určený primárně pro tiskárny)
MKP	Metoda konečných prvků
PC	Osobní počítač
RC	Rádiem řízený (model)
TIG	Metoda svařování netavící se wolframovou elektrodou
USB	Univerzální sériová sběrnice

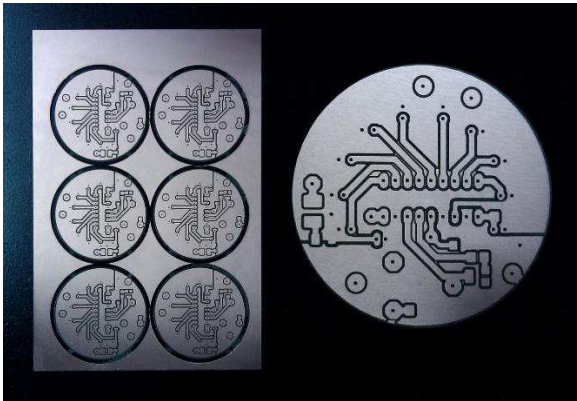
1 Úvod

Náplní této bakalářské práce bude konstrukční návrh frézovacího zařízení. Zařízení, odebírající třísku frézováním, se nazývají frézky. Jedná se o rozšířené obráběcí stroje, kterými lze obrábět polotovary z různých materiálů, různých velikostí a tvarů. Při frézování koná vždy hlavní řezný pohyb vícebřitý nástroj – fréza. Tento pohyb je rotační. Vedlejší řezný pohyb neboli posuv koná obrobek upnutý k pracovnímu stolu. Není však výjimkou, že tento vedlejší řezný pohyb může také vykonávat nástroj, případně i kombinace nástroj – obrobek. Tento vedlejší řezný pohyb může být přímočarý nebo rotační. Dalším pohybem je přísuv, který je obvykle kolmý na posuvový pohyb. Jedná-li se o víceosé CNC frézky, posuvový pohyb je spojitě měnitelný ve směru všech os. Frézováním lze dosáhnout rozličného tvaru obrobené plochy s vysokým stupněm přesnosti a jakosti povrchu. Dosahovaná přesnost je závislá na celé řadě faktorů – například metoda frézování, druh nástroje, řezné podmínky, materiál obrobku, vlastnosti obráběcího stroje atd.. Způsob frézování určuje samotná poloha osy nástroje. Podle polohy osy nástroje dělíme frézování na frézování čelní nebo obvodové. Zároveň je možné způsob frézování dělit na sousledné a nesousledné. Tento způsob frézování je určen vzájemným směrem hlavního řezného pohybu a pohybu vedlejšího. Dle konstrukčního provedení dělíme frézky na frézky konzolové, stolové, rovinné, portálové, nástrojářské a speciální. Toto dělení je bráno velmi obecně. Na základě vývoje CNC řízených strojů může být konstrukční řešení velmi různorodé. Příkladem jsou například obráběcí centra, na kterých lze provádět kromě frézování řadu dalších odlišných operací.

Náplní bakalářské práce bude konstrukční návrh CNC frézky, který bude orientovaný na malé frézovací zařízení, na kterém budou výhradně obráběny měkké a slabé materiály deskového tvaru, jakými jsou například balsa, překližka a tenké plechy ze slitin hliníku. Stolní frézku využijí především modeláři v hobby dílnách k frézování různých žeber a přepážek potřebných při stavbě funkčních RC modelů letadel. Mimo tohoto lze uvedenou stolní frézku použít pro gravírování a také při vyhotovení desky plošných spojů.

2 Průzkum stavu techniky

V současné době existuje na trhu řada výrobců, kteří nabízejí malá automatizovaná frézovací zařízení. Tyto frézky se často nazývají jako malé stolní CNC frézky, gravírovací frézky, modelářské CNC frézky nebo CNC frézky na DPS. Obecně je možné tyto malé frézovací stroje nazvat jako malé stolní CNC frézky. Na některých frézkách výrobce dokonce umožňují demontovat elektrovřeteno a nahradit ho tzv. extruderem, čímž vznikne příbuzné zařízení a to jednoduchá 3D tiskárna.



Obr. 2-1: Frézování DPS [8]



Obr. 2-2: Gravírování [8]

Všechny tyto frézky charakterizují především následující vlastnosti: jednoduchost provedení, levná a nenáročná výroba, malé požadavky na servis a údržbu, stavebnicové provedení a řízení pomocí běžného domácího PC. Předpokladem je občasné používání na nenáročné aplikace a také menší přesnost stroje. Z tohoto vyplývá i konečná cena takového zařízení, která je díky uvedenému charakteru příznivá, a proto se tyto obráběcí stroje stávají finančně dostupné řadě uživatelů.

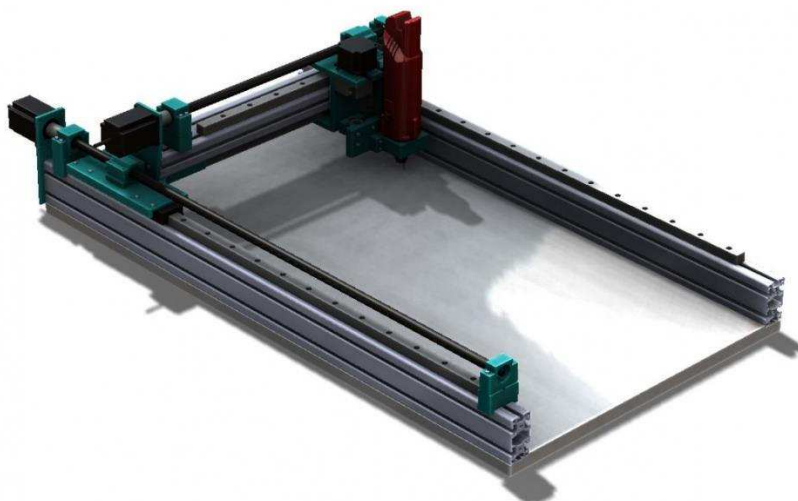
2.1 Konkurenční CNC frézky

2.1.1 CNC frézky firmy TRIOM s.r.o.

TRIOM s.r.o. je česká firma zabývající se strojírenskou výrobou. V její nabídce mimo jiné najdeme hned několik malých stolních CNC frézek a to v různém provedení.

Typ 1 - CNC frézka v portálovém uspořádání horní gantry

Toto provedení je tvořeno základovou deskou, která slouží i jako pracovní stůl. Na podélných stranách základní desky jsou umístěny boční lože s přímočarým valivým vedením. Po tomto vedení se ve směru osy x pohybuje příčník. Posuvový mechanismus osy x je v tomto případě umístěn pouze na jedné straně. Příčník nese další přímočaré valivé vedení, po kterém se ve směru osy y pohybuje polohovací mechanismus vřetene. Polohovací mechanismus vřetene má možnost pohybu ve směru osy z . Jedná se tedy o tříosou frézku, kde je posuv ve směru všech tří os realizován trapézovým šroubem. Pohon posuvů zajišťují malé dvoufázové krokové motorky. Na rám stroje byly použity hliníkové profily. Použité elektrovřeteno je vysokootáčkové s kleštinou ER 16. U elektrovřetene je možná regulace otáček.



Obr. 2-3: CNC stolní frézka fa Triom s.r.o. v provedení horní gantry [9]

Hodnocení konstrukčního řešení typu 1

Kladem tohoto konstrukčního řešení je jednoduchá a levná konstrukce rámu z hliníkových profilů. Takové řešení zajistí uspokojivou přesnost a tuhost stroje. Zároveň tato frézka disponuje velkým pracovním prostorem.

Záporem je použitý typ posuvových mechanismů. Pro větší a více namáhané stroje je nutnost použít posuvový mechanismus na obou stranách. Tímto se uvedené konstrukční řešení prodraží. Nesymetrické umístění posuvového mechanismu je možné u menších strojů, ovšem i zde vyžaduje zajištění dostatečné tuhosti rámu a vedení tak, aby nedocházelo ke křížení příčnicku.

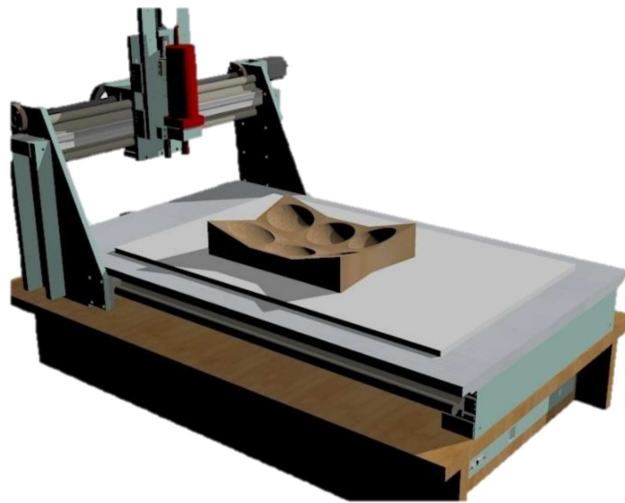
Frézka fa Triom s.r.o. – portálové uspořádání horní gantry		
Základní technické údaje		
Počet os	3	
Rozměry	1 000x500x300	mm
Rozměry pracovní plochy	700x300x50	mm
Otáčky vřetene	10 000-25 000	ot./min
Rychloposuv	3 000	mm/min
Opakovatelná přesnost	0,05	mm
Hmotnost	40	kg
Cena	přibližně 40 000	Kč

Tab. 2-1: Technické údaje frézky typu 1 v portálovém uspořádání horní gantry [9]

Typ 2 - CNC frézka v portálovém uspořádání spodní gantry

Tato frézka od stejného výrobce je v provedení spodní gantry. Na loži pod pracovním stolem je umístěné vedení osy x a to na obou podélných stranách. Vedení této osy je realizováno přímočarým valivým vedením s kruhovou podepřenou tyčí. Posuv je realizován centrálním trapézovým šroubem umístěným pod pracovním stolem. Po vedení ve směru osy x se pohybují na každé straně stojany, které jsou vzájemně spojeny příčnickem nesoucí polohovací mechanismus osy z pohybující se opět po podepřených tyčích kruhového průřezu. Posuvový mechanismus osy y a osy z také tvoří trapézový šroub. V případě osy z je vedení valivé,

ovšem s tvarovým profilem. Na rám stroje jsou použity profily z konstrukční slitiny hliníku. Boční stojany a polohovací mechanismus včetně je zhotoven z plechu z hliníkové slitiny.



Obr. 2-4: CNC stolní frézka fa Triom s.r.o. v provedení spodní gantry [9]

Hodnocení konstrukčního řešení typu 2

Kladem tohoto provedení je lepší přístup k pracovní ploše oproti provedení horní gantry. Toto řešení také disponuje větším pracovním prostorem ve směru *osy z* ve srovnání s výše uvedenou frézku.

Záporem je mírně náročnější výroba vyžadující přesné a tuhé provedení hliníkových dílů. Oproti provedení horní gantry je nevýhodou umístění vedení a posuvového mechanismu *osy x*, do kterého snadno pronikají nečistoty vznikající v řezném procesu. Opatřením proti vnikání nečistot je krytování posuvových a vodících částí stroje.

Frézka fa Triom s.r.o. portálové uspořádání spodní gantry Základní technické údaje		
Počet os	3	
Rozměry	1 200x730x850	mm
Rozměry pracovní plochy	800x500x140	mm
Otáčky vřetene	5 000-28 000	ot./min
Rychloposuv	3 000	mm/min
Opakovatelná přesnost	0,05	mm
Hmotnost	40	kg
Cena	přibližně 60 000	Kč

Tab. 2-2: Technické údaje frézky typu 2 v portálovém uspořádání spodní gantry [9]

2.1.2 CNC frézky firmy 4ISP s.r.o.

Firma 4ISP s.r.o. je také česká firma, která se řadu let specializuje na výrobu a prodej CNC frézek a CO2 laserů. Tento výrobce vyrábí taktéž frézky v portálovém uspořádání, tak jako předchozí firma. Kromě těchto CNC frézek firma nabízí frézku s otevřeným rámem.

Typ 3 - CNC frézka ve stolovém uspořádání s otevřeným rámem

Frézka je charakteristická otevřeným rámem ve tvaru C. Elektrovřetenem je uloženo pohyblivě a umožňuje pohyb ve směru osy z . Pohyblivý stůl se pohybuje ve směru osy x a osy y . Kromě základního stolu je tato frézka dovybavena naklápěcím modulem umožňující naklápění ve směru dvou os, čímž vzniká možnost obrábět ve směru pěti řízených os. Tímto se frézka podobá větším CNC obráběcím centrům. Rám stroje je sestaven ze silnějších plechů ze slitin hliníku. Na vedení osy x a osy y jsou použita přímočará valivá vedení s podepřenými tyčemi kruhového průřezu. Na osu z je použito přímočaré valivé vedení s broušenými nepodepřenými tyčemi. Osy přídatného modulu jsou rotační a jsou uloženy v ložiscích. Posuvný pohyb všech os frézky zajišťují kuličkové šrouby s předepnutými maticemi. U otočného modulu je pohon rotačních os proveden ozubeným řemenem. Frézka je vybavena elektrovřetenem o výkonu 800W. Elektrovřetenem je nutné chladit. Chlazení elektrovřetenem je vodní.



Obr. 2-5: CNC stolní frézka fa 4ISP s.r.o. [7]

Hodnocení konstrukčního řešení typu 3

U malých stolních CNC frézek se jedná o méně časté konstrukční řešení. Tyto frézky mají při celkové velikosti a hmotnosti oproti portálovému uspořádání menší pracovní stůl a to minimálně ve směru jedné osy. Uvedené omezení způsobuje jednostranné umístění stojanu. Nehodí se proto příliš pro frézování deskových materiálů, ale využívají se spíše pro 3D frézování menších dílů. Často je možné tyto frézky dovybavit modulem, který umožňuje obrábět ve směru dalších dvou rotačních os. Otevřený rám této frézky nabízí obecně nižší tuhost než stroje s uzavřeným rámem. Pro větší pracovní plochu musí být stojan dostatečně dimenzován, čímž roste i spotřeba materiálu a vlivem větších rozměrů roste i náročnost na přesnost výroby. Takové řešení je více využíváno u větších a frézek.

Frézka fa 4ISP s.r.o.		
Základní technické údaje		
Počet os	5	
Rozměry	400x300x150	mm
Rozměry pracovní plochy	800x500x140	mm
Otáčky vřetene	3 000 - 24 000	ot./min
Rychloposuv	Neznámý	mm/min
Opakovatelná přesnost	Neznámá	mm
Hmotnost	Neznámá	kg
Cena	102 729	Kč

Tab. 2-3: Technické údaje frézky typu 3 [7]

Typ 4 - CNC frézka v konzolovém uspořádání

Konzolové uspořádání se liší od stolového uspořádání tím, že vřeteník, případně elektrovřeteno, je nepohyblivé a pohyb ve směru tří os vykonává pohyblivá konzole. Rám konzolové frézky je obecně méně tuhý než stolová frézka. Toto provedení je využíváno zejména u větších CNC frézek. U malých stolních CNC frézek se s takovým uspořádáním prakticky nese- tkáme.

2.2 Základní stavební části stolních CNC frézek

2.2.1 Rám stroje

Rám stroje se obecně skládá z následujících základních částí: lože, stojany, sloupy, příčník a konzoly. Na tyto části jsou kladeny určité požadavky tak, aby obráběcí stroj splňoval jistou pracovní přesnost.

Požadavky na rám stroje

Prvním požadavkem na rám stroje je požadavek na statickou tuhost. Statická tuhost představuje míru deformace (posunutí) vlivem působících sil. Snahou je docílit zachování tvaru a vzájemné polohy všech částí rámu, které by v případě deformace způsobovaly výrobní nepřesnosti. Působící síly na rám stroje jsou: řezné síly, tíhové síly, pasivní odpory, moment hnacího členu, setrvačné síly a rozběhové a doběhové momenty pohonu. Požadavek na statickou tuhost nebývá v případě malých stolních strojů obtížně dosažitelný. Uvedené síly působící na rám nedosahují vysokých hodnot. Je to dáno samotným určením použití stroje na měkké a snadno obrobitelné materiály. S tím souvisí nižší výkony hlavních pohonů a pohonů posuvových mechanismů a tedy i menší řezné síly, dále menší robustnost a tíha pohyblivých částí stroje.

Druhým důležitým požadavkem je dynamická stabilita. Dynamická stabilita představuje odolnost proti kmitání vyvolaným řezným procesem. V případě frézování se jedná o velmi zásadní a důležitý požadavek. Je to z toho důvodu, že při frézování jednotlivé břity nástroje do řezu vstupují a vystupují postupně, čímž vznikají cyklicky proměnné rázy od záběru řezných břitů. Kromě ovlivnění výrobní přesnosti dochází také k namáhání jednotlivých částí obráběcího stroje, které může vést až poškození některých jeho částí. S malou dynamickou stabilitou také roste hlučnost obtěžující okolí. Požadavek na dynamickou stabilitu u stolních frézek nebývá obtížně dosažitelný stejně, jako je tomu v případě požadavku na statickou tuhost.

Třetím požadavkem je teplotní stabilita. Teplotní stabilita ovlivňuje výrobní přesnost tím, že vlivem teplotní roztažnosti materiálu dochází ke změně rozměru částí stroje působením tepla. Tento jev se dá eliminovat několika způsoby. První možností je potlačit teplotní rušivé vlivy. Mezi tyto vlivy patří jakékoliv zdroje tepla, které oteplují části obráběcího stroje – například špatně odváděné horké třísky, pohony, topná tělesa v okolí, slunce, konvekce vzduchu a další. Tento požadavek je důležitý zejména u vysokovýkonných obráběcích strojů, kde vzniká velké množství horkých třísek a kde pohony stroje dosahují velkých výkonů a tudíž je i velké vznikající odpadní teplo. Další možností, jak příznivě ovlivnit teplotní stabilitu, je vhodným výběrem materiálu. Materiál by měl mít nízký součinitel teplotní roztažnosti, velkou tepelnou kapacitu a velkou tepelnou vodivost. V neposlední řadě je možné teplotní stabilitu zajistit samotným konstrukčním uspořádáním.

Mezi další požadované vlastnosti lze zařadit dobrou přístupnost k pracovnímu prostoru stroje, jednoduchou a efektivní výrobu, nízkou hmotnost rámu stroje a také design rámu stroje. Pro návrh a výrobu malých CNC stolních frézek je cílem dosažení především jednoduchého, levného a snadno vyrobitelného provedení, nízké hmotnosti a roli zde hraje i samotný design.

Provedení rámu

Provedení rámu malých CNC stolních frézek se dělí na dva základní druhy tak, jako je to v případě velkých obráběcích strojů. První variantou je rám otevřený. Tento rám má tvar písmene C a je charakteristický pro konzolové nebo stolové uspořádání frézky. Druhou možností je rám uzavřený. Tento rám má tvar písmene O a je charakteristický pro portálové uspořádání.



Obr. 2-6: Provedení rámu - zleva uzavřený rám a vpravo otevřený rám [8]

Materiály rámu

Volbou materiálu lze ovlivnit mnoho důležitých požadavků kladených na rámy obráběcích strojů. Používané materiály se dělí do těchto základních skupin: materiály kovové (litina, ocel), nekovové (kompozity) a přírodní (žula).

Důležitými materiálovými vlastnostmi jsou: pevnost (tah, tlak, ohyb), měrná hmotnost, teplotní roztažnost, měrná tepelná kapacita, modul pružnosti a

Poissonova konstanta. Tyto vlastnosti jsou pro jednotlivé materiály vzájemně charakteristické a při konstrukci rámu je nutné tyto vlastnosti porovnávat a posuzovat z hlediska možného konstrukčního řešení.

Na výrobu částí rámu malých stolních CNC frézek je možné z důvodu nenáročných požadavků na rám stroje použít materiály ze slitin hliníku. Mezi používané slitiny hliníku patří materiály určené pro tváření. Dle příslušné normy ČSN EN 573-1-2-3 jsou tyto materiály značeny písmeny AW a příslušná skupina značí chemické složení a je značena čtyřmístným označením 1000 až 8000. Pro hliníkové slitiny obecně platí problematická obrobitelnost. Chemickým složením lze obrobitelnost mírně upravit. Proto se na konstrukci rámu malých stolních CNC frézek používají především slitiny s označením EN AW 6060, EN AW 6082, EN AW 6061, EN AW 2017, EN AW 2007, EN AW 7075 a EN AW 2011. Z těchto materiálů nabízí řada výrobců stavebnicové konstrukční systémy, ze kterých lze navrhnout jednoduché a levné konstrukční řešení. Z hlediska nevysoké přesnosti provedení profilů je vhodné tyto profily využít pro konstrukci menších stolních frézek.



Obr. 2-7: Profily ze slitin hliníku [11]

Výhodou použití materiálů ze slitin hliníku je zachování nízké hmotnosti a to především u pohyblivých částí stroje. S ohledem na nízké výkony pohonů posuvových mechanismů je nízká hmotnost pohyblivých částí stroje velmi důležitá.

Důležité je zmínit, že materiály z hliníkových slitin nejsou vhodné na rámy větších a výkonnějších strojů. Je to dáno tím, že tyto materiály nemají dostatečnou tuhost a často ani požadovanou pevnost. Mají horší obrobitelnost a nevýhodou je i z hlediska teplotní stability vysoký součinitel teplotní roztažnosti.

2.2.2 Pohyblivá spojení stroje

Pohyblivé spojení stroje má zajistit vzájemnou vazbu s požadovaným počtem stupňů volnosti mezi určitými částmi stroje. Pohyblivá spojení je možné dělit na rovinné vedení a rotační uložení.

Rovinné vedení

Rovinné vedení zajišťuje pohyb po přímých a geometricky přesných drahách. Z hlediska funkce jsou na vodící plochy kladeny následující požadavky.

Základní funkcí je umožnění vzájemného pohybu mezi částí nepohyblivou a pohyblivou. Vedení má vykazovat vysokou tuhost tak, aby nedocházelo vlivem deformace vedení k výrobním nepřesnostem. Výrobní přesnost může být ovlivněna i samotnou přesností provedení

vodících ploch. Kromě toho musí vodící plochy vykazovat dlouhou životnost při zachování přesnosti vedení a pro případ mírného opotřebení je nutné umožnit vymezení vzniklé vůle. Dle tvaru drah je rovinné vedení děleno na přímočaré a kruhové. V případě stolních CNC frézek najde uplatnění vedení přímočaré.

Přímocháre vedení je možné dále dělit dle typu tření do následujících skupin.

KLUZNÉ	VALIVÉ	KOMBINOVANÉ	JINÉ
hydrodynamická	uzavřené	kombinace druhů	aerostatické
hydrostatická	otevřené		

Tab. 2-4: Druhy vedení obráběcích strojů [2]

Kluzné vedení hydrodynamické nebo hydrostatické je vhodné pro velké obráběcí stroje. Tato vedení jsou schopna přenášet velká zatížení. U hydrodynamického vedení je výhodou velmi nízký součinitel tření díky částečnému kapalinnému tření, které vzniká při pohybu na základě vzlaku maziva. U tohoto vedení dochází ke vzniku trhavého pohybu vlivem rozdílného součinitele tření za pohybu a součinitele adheze za klidu. Tuto vlastnost lze mírně ovlivnit použitím materiálu s dobrými kluznými vlastnostmi. Kromě toho je možné vhodným výběrem materiálu ovlivnit i trvanlivost vodících ploch. V případě hydrostatického vedení je součinitel tření velmi nízký. Vodící plochy nejsou ve vzájemném kontaktu, a tudíž nedochází k opotřebení ploch. Ovšem toto vedení je velmi drahé a vyžaduje tlakový přívod oleje pomocí čerpadla. U malých frézovacích zařízení by nebylo možné plně využít výhody těchto vedení, a proto se tyto typy u těchto strojů v zásadě nepoužívají.

Vhodným typem vedení u malých stolních frézek je vedení valivé. U CNC obráběcích strojů je důležitým aspektem plynulost pohybu. Tento požadavek je o to významnější, čím je menší rychlost pohybu a výkon pohonu posuvových mechanismů. V případě valivého vedení nedochází ke vzniku trhavých pohybů a tím je možné dosáhnout velmi přesného polohování i při přerušovaných pohybech.

Valivá vedení lze dělit dle provedení takto:

Délka zdvihu	omezený zdvih neomezený zdvih	
Provedení ložiska	otevřené uzavřené	předepnuté nepředepnuté
Valivý segment	kulička váleček jehla	

Tab. 2-5: Dělení valivých vedení [2]

Výhodou valivých vedení je vysoká životnost, možnost vymezení vůle a předepnutí. Předepnutí umožňuje zvýšit tuhost valivého vedení. Nevýhodou valivého vedení je menší schopnost útlumu chvění. Pro zvýšení schopnosti útlumu chvění je možné použít řízené tlumící prvky. V případě malých obráběcích strojů se tlumení nevyužívá.

Tento typ vedení je možné zakoupit od specializovaných výrobců. Mezi přední výrobce patří například firmy THK, INA, SKF a ACCUMAX.

Mezi nejlevnější dostupné valivé vedení vhodné pro stolní CNC frézky patří vedení, tvořené nepodepřenými tyčemi kruhového průřezu. Jedná o broušené tyče, které jsou povrchově indukčně kalené přibližně na 62HRC a dodávají se od průměru 6 mm do 50 mm v toleranci průměru h6. K těmto tyčím jsou dodávány uzavřená lineární kuličková ložiska, a to buď jednotlivě, nebo jako tzv. linearset dvou kusů. Toto vedení je výhodné z hlediska nejnižší ceny. Nevýhodou je nízká tuhost a zároveň nutnost vedení zdvojit kvůli dvěma volným stupňům volnosti. Oblast použití tohoto provedení je u nejmenších strojů anebo tam, kde nejsou vyžadovány vysoké požadavky na přesnost a tuhost vedení.



Obr. 2-8: Broušená tyč s uzavřeným kuličkovým lineárním ložiskem [7]

Druhým dostupným typem valivého vedení je vedení pomocí podepřených tyčí s otevřenými kuličkovými lineárními ložisky. Toto vedení je kompromisem mezi méně přesným a méně tuhým vedením tvořeným nepodepřenými tyčemi a drahým přesným prizmatickým vedením. Toto vedení zaručuje dobrou přesnost a vysokou nosnost. Tyče mají opět kruhový průřez a jsou povrchově kaleny. Dodávají se v průměru tyče od 10 mm do 30 mm. Nevýhodou tohoto uspořádání je, že vedení může zachytávat pouze jednosměrné zatížení. I zde je nutné vedení zdvojit za účelem odebrání stupně volnosti.



Obr. 2-9: Broušená podepřená tyč s otevřeným kuličkovým lineárním ložiskem [7]

Nejdražším řešením, ale zároveň i nejpřesnějším řešením, je prizmatické valivé vedení. Výhodou tohoto vedení je možná vysoká zátěž při jinak malých rozměrech vedení. Další výhodou je snadnější instalace a předností je i případná kompenzace nepřesností rámu. Dodávají se v různých šířkách kolejničky a to od 15 mm do 28 mm. Největším dodavatelem tohoto typu vedení je firma THK.



Obr. 2-10: Prizmatické vedení firmy THK [7]

Rotační uložení

Jedná se o spojení, které zajišťuje rotační pohyb mezi pohyblivou a nepohyblivou částí stroje. Z podstaty pohybu je zřejmé, že se tento typ spojení užívá pro uložení hřídelí nebo vřetene obráběcího stroje. Dle typu tření je možné rotační uložení dělit jako uložení kluzné, valivé a hydrostatické. U malých stolních frézek je nejpoužívanější valivé rotační uložení, které představují radiální, axiální nebo radiálně axiální valivá ložiska s různými typy valivých segmentů. Valivá ložiska se užívají například k uložení pohybových šroubů nebo vřetene. I u rotačního uložení je důležitým požadavkem dostatečná tuhost a přesnost uložení.

2.2.3 Mechanismy pro převod rotačního pohybu v pohyb lineární

Je-li náhon pohybových os tvořen elektromotorem, je nutné rotační pohyb elektromotoru převést na pohyb přímočarý. Tento převod lze realizovat vícero mechanismy. Kromě převedení pohybu je u přesných strojů nutno zajistit odměřování polohy, které tvoří jakousi zpětnou vazbu a umožňuje případnou korekci polohování. Odměřování polohy může být dvojího charakteru a to buď jako odměřování přímé nebo nepřímé. U stolních frézek je k pohonu pohybových mechanismů nejčastěji použit krokový motor. Krokový motor je řízen impulsy, ze kterých je možné polohu dopočítat. Z tohoto důvodu nejsou tyto malé stroje vybaveny dalším odměřováním polohy. Řídící elektronika krokových elektromotorů polohu pouze softwarově dopočítává za účelem nepřekročení předem nastaveného rozsahu posuvu.

Typy mechanismů užívané pro převod rotačního pohybu na pohyb přímočarý jsou tyto:

POHYBOVÝ ŠROUB	HŘEBEN A PASTOREK	HŘEBEN A ŠNEK	OZUBENÝ ŘEMEN A PASTOREK
s trapézovým závitem s pilovým závitem kuličkový šroub			

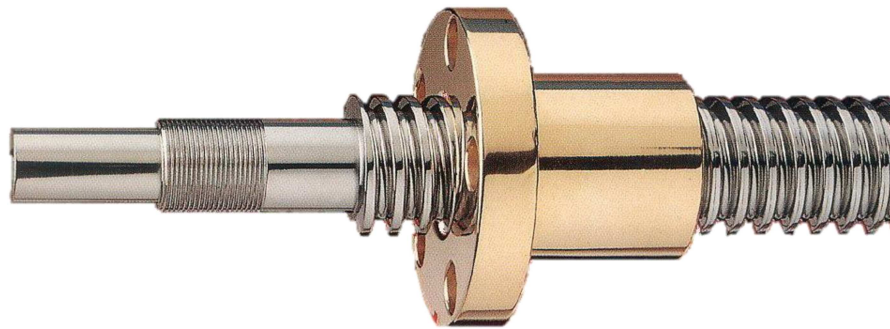
Tab. 2-6: Posuvové mechanismy

Sestava hřebenu s pastorkem nebo případně se šnekem není pro malá frézovací zařízení příliš vhodná. Tyto mechanismy jsou vhodné u posuvů s delšími zdvihy. U malých stolních CNC frézek se využívají obvykle dva druhy posuvových mechanismů. Nejpoužívanějším mechanismem je pohybový šroub a druhým používaným mechanismem je ozubený hřeben a pastorek. Tyto komponenty se dají s výhodou zakoupit od specializovaných výrobců a to v požadovaných parametrech pro konkrétní konstrukční řešení.

Pohybový šroub

Pohybové šrouby se skládají ze dvou základních částí. První částí je samotný šroub a druhou částí je matice. Kinematické uspořádání je nejčastěji dvojího charakteru. První možností je, že se otáčí šroub a matice je zajištěna proti otočení a pouze se posouvá. Druhou možností je otáčet a posouvat maticí, a to za předpokladu pevného uchycení šroubu. Podle profilu a funkčního principu šroubu můžeme dělit šrouby na trapézové, pilové a kuličkový šroub.

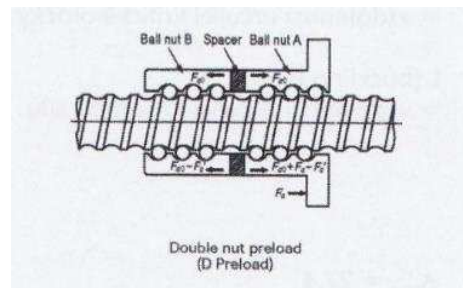
U trapézového a pilového šroubu dochází při pohybu ke kluznému tření. Nevýhodou tohoto provedení je vysoký součinitel tření a s tím související nižší účinnost. Také dochází k většímu opotřebení a vzniku nežádoucí vůle, ovlivňující výrobní přesnost stroje. Vymezení vůle v závitě matice a šroubu je možné například dělenou maticí. Trapézové šrouby jsou vyrobeny z ocele a jsou povrchově kaleny. Matice se vyrábí například ze slitin mědi (bronz) nebo z plastových materiálů s dobrou odolností proti oděru. Tento typ pohybového šroubu nedisponuje vysokou přesností a životností. Také není tento typ vhodný tam, kde je vyžadována vysoká přesnost polohování a využívají se vyšší posuvové rychlosti.



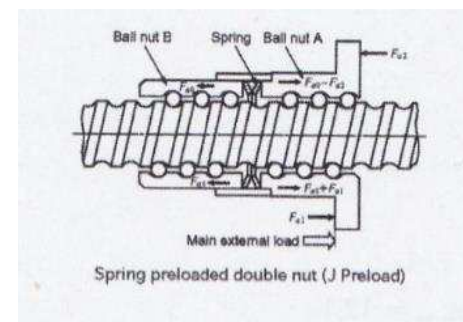
Obr. 2-11: Trapézový šroub s maticí [12]

Kuličkové šrouby mají oproti trapézovým šroubům řadu předností. S tímto je však spojena i jejich vyšší cena daná náročnější a dražší výrobou. Výhodou je velmi přesný chod, který umožňuje nepřímé odměřování polohy. Další výhodou je i velmi vysoká účinnost díky valivému tření a s tím související nízké oteplování a snížená axiální tepelná roztažnost.

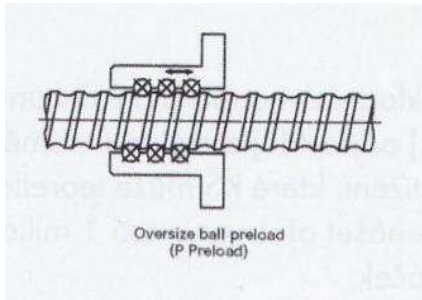
Obecně se tyto šrouby vyrábějí s různými typy matic. Matice mohou být jednodílné nebo dvoudílné, s vůlí nebo předepnuté, s vnitřním nebo vnějším převodem kuliček a s přírubou nebo bez příruby. Chod kuličkového šroubu bez vůle je možné zajistit přepnutím matice. Existuje pět nejčastějších možných realizací přepnutí matice. První možností je vložení broušené podložky mezi dvě matice (obr. 2-12). Druhou možností je vložení talířové pružiny mezi dvě matice (obr. 2-13). Třetí možností je vybroušení rozdílného stoupaní v matici (obr. 2-15).



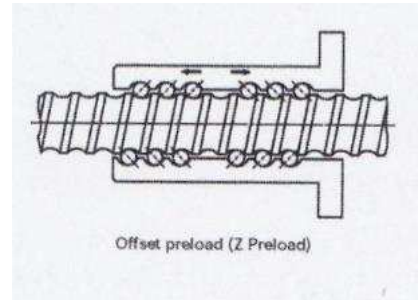
Obr. 2-12: Předepnutí vloženou podložkou [4]



Obr. 2-13: Předepnutí vloženou talířovou pružinou [4]



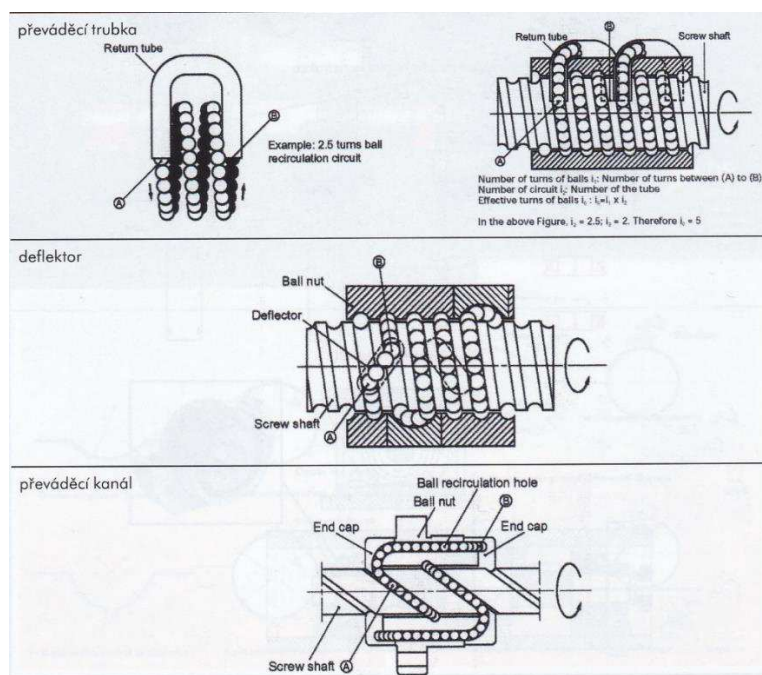
Obr. 2-14: Předepnutí výběrem kuliček [4]



Obr. 2-15: Předepnutí provedené různým stoupáním kuličkové dráhy [4]

Čtvrtou metodou je výběr různě velikých kuliček (obr. 2-14). Toto řešení nedisponuje vysokou tuhostí a je vhodné pro kratší a méně zatěžované matice. Poslední možností předepnutí je dělená matice. I zde není dosaženo vysoké tuhosti, a proto, toto řešení najde uplatnění v případě kratších a méně zatížených matic.

Kromě různých řešení předepnutí se provedení matic liší způsobem obíhání kuliček. V zásadě se používají tři typy oběhů. Pro těžké zatížení se volí oběh pomocí převáděcích trubek umístěných vně matice. Pro střední zatížení a velká stoupání je možné řešení oběhu kuliček pomocí několika převáděcích kanálů. Pro nejnižší zatížení a malé stoupání se převod kuliček realizuje pomocí tzv. deflektoru.



Obr. 2-16: Způsoby převádění kuliček [4]

Provedení kuličkových šroubů se z funkčního hlediska především liší profilem pro odvalování kuliček. Vyskytují se dva druhy profilů. Prvním profilem je profil gotický, který má velmi vysokou účinnost a přesnost. Druhým profilem je profil kruhový, který je méně přesný. Výroba kuličkových šroubů je prováděna u nejpřesnějších šroubů okružovacím frézováním s následným broušením do vysoké jakosti a přesnosti kuličkové dráhy. Další možností je provedení profilu válcováním. Tento způsob výroby je levnější, ovšem není dosaženo tak vysoké přesnosti, jako u frézovaných a následně broušených profilů.

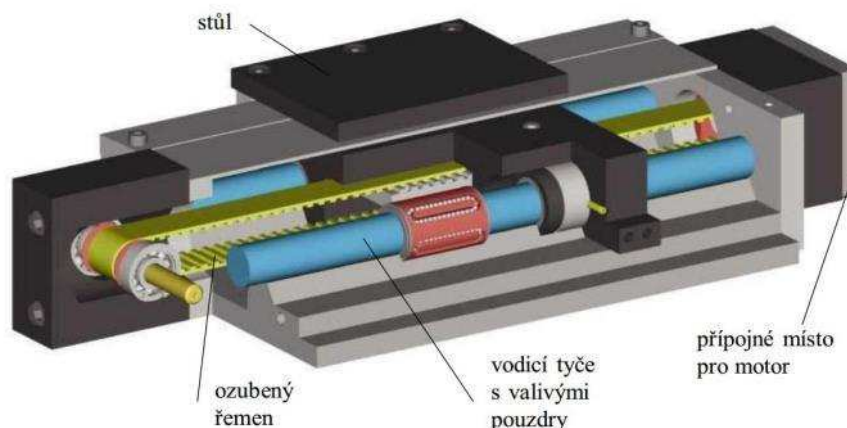
S ohledem na požadavky a přesnost celkového konstrukčního řešení stolní frézky je vhodné zvolit případný kuličkový šroub přiměřené přesnosti. Kuličkové šrouby vyrobené ve vyšších třídách přesnosti jsou finančně nákladnější a kombinovat tyto kuličkové šrouby například na stroje s méně tuhým a s méně přesným vedením zbytečně navyšuje cenu výsledného konstrukčního řešení.

		BROUŠENÝ ZÁVIT			VÁLCOVANÝ ZÁVIT							
		IT 1	IT 3	IT 5	IT 5	IT 7						
ODCHYLKA STOUPÁNÍ NA DÉLCE ZÁVITU 300 mm [mm]		0,006	0,012	0,023	0,023	0,052						
TRÍDA PŘESNOSTI		JMENOVITÝ PRŮMĚR ŠROUBU [mm]										
		12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
BROUŠENÝ ZÁVIT	IT 1	200	250	250	350	700	1 200	1 500	2 000	2 500	3 000	3 000
	IT 3	250	300	320	500	1 100	1 800	2 500	3 000	3 500	4 000	4 000
	IT 5	300	350	500	800	1 500	2 500	3 500	4 000	4 500	5 000	4 000
VÁLCOVANÝ ZÁVIT	IT 5	4 000 5 000 6 000 6 000 6 000 6 000										
	IT 7	4 000 5 000 6 000 6 000 6 000 6 000										

Obr. 2-17: Třída přesnosti kuličkových šroubů firmy KŠM [2]

Ozubený řemen a pastorek

Dalším posuvovým mechanismem u malých stolních frézek je posuv pomocí řemenu a pastorku. Je-li například funkční uspořádání stejné jako na obrázku 2-18, je možné převést rotační pohyb hřídele elektromotoru na pohyb přímočarý některé části obráběcího stroje.



Obr. 2-18: Posuvový mechanismus - ozubený řemen a pastorek [6]

Používané řemeny jsou v zásadě vždy ozubené a to proto, aby byl zaručen převod. Řemeny jsou vyráběné z materiálů s dobrými třecími vlastnostmi. Používaný materiál je nejčastěji polychloropren a pro dosažení vyšší tuhosti a pevnosti jsou řemeny vyztuženy skelnými, aramidovými nebo ocelovými vlákny. Nejmenší řemeny jsou vyrobeny z polyurethanu. Řemenice se vyrábějí z oceli, hliníkových slitin nebo plastu v požadované šíři a s požadovaným počtem zubů. Výhodou tohoto typu posuvového mechanismu je, že lze dosáhnout velmi vysokých posuvových rychlostí při jinak nízkých otáčkách elektromotoru. Je to dáno velkým převodovým poměrem mechanismu, který je nutno v mnoha případech redukovat převodovkou. Další výhodou jsou nízké požadavky výrobní přesnosti kladené na rám stroje. V neposlední řadě hraje velkou roli i nízká cena. Nevýhodou je naopak nižší přesnost polohování,

kteřou nejvíce ovlivňuje nízká tuhost řemenu, náchylnost na nečistoty, nutnost zajistit možnost napnutí řemenu a s tím související pravidelné kontroly a dopínání řemenu.

Pastorek s ozubeným řemenem je proto vhodný pro stolní CNC frézky, určené pro obrábění měkkých materiálů, a za toho předpokladu, že nejsou vysoké požadavky výrobní přesnost.

2.2.4 Vedlejší pohony

Vedlejší pohony zajišťují vedlejší řezný pohyb, který je v případě CNC stolních frézek pohyb posuvný. Vedlejší pohony jsou zásadní součástí posuvové soustavy. Na tyto pohony jsou z hlediska funkce obecně kladeny určité požadavky. Vedlejší pohon by měl disponovat dostatečným výkonem tak, aby byly překonány řezné, setrvačné a třecí síly. Posuvový pohyb by měl být plynulý a při různých rychlostech posuvu by měla být zachována konstantní posuvová síla. Kromě uvedených požadavků je důležité zajistit přesnost polohování. V neposlední řadě by pohony měly být spolehlivé, s vysokou tuhostí, životností, dynamickou a tepelnou stálostí.

Pro vedlejší pohony se využívají různé druhy elektromotorů. Vyskytující se druhy elektromotorů jsou stejnosměrné motory kartáčové, bezkartáčové motory elektronicky komutované, střídavé asynchronní nebo synchronní motory. Kromě elektromotorů může být posuv realizován lineárním motorem a ve výjimečných aplikacích hydromotorem. Pro případ malých stolních frézek, kde není požadavek na velký točivý moment a otáčky, jsou s výhodou používány krokové motory.

Krokové motory

Krokový motor je obdoba motoru synchronního. Skládá se ze statoru, který je tvořen obvykle 4 dvojicemi cívek a rotoru s vyniklými póly z permanentních magnetů. Z principu synchronního motoru plyne, že otáčky rotoru odpovídají otáčkám statoru. Točivé magnetické pole ovšem nevzniká na základě střídavého proudu, ale principem vzniku točivého magnetického pole je postupné napájení cívek statoru umístěných v kruhu kolem rotoru. Motor je řízen pomocí impulsů stejnosměrného proudu. Z toho vyplývá, že otáčení rotoru je nespojitě, čímž je možné regulovat úhlové natočení rotoru v jistých krocích. Motory se standardně používají pro přímý náhon posuvového šroubu nebo pastorku. Výhodou je jednoduchý návrh, nízká cena krokových motorů a nízká cena příslušné řídicí elektroniky. Nevýhodou je nízký moment a nízké otáčky krokových motorů. Další velkou nevýhodou je tzv. ztráta kroku. Ke ztrátě kroku může dojít dvojnásobným způsobem. První příčina ztráty kroku je způsobena překročením otáček, kde vlivem rychlého přepínání cívek statoru dojde k diferencii otáček statoru s otáčkami rotoru. Druhá příčina ztráty kroku je způsobena vlivem přetížení krokového motoru. Výsledkem ztráty kroku je rozdíl v poloze požadované a skutečné. Především ztrátě kroku již lze při konstrukčním návrhu tak, že je navržen krokový motor s dostatečným točivým momentem.



Obr. 2-19: Krokový motor [7]

Servomotory

Servomotory jsou v dnešní době často používané pohony pohybových os obráběcích strojů. Tyto pohony jsou většinou tvořeny třífázovým synchronním motorem. Regulace je obvykle realizována výkonovou elektronikou. Za účelem přesné regulace jsou servopohony vybaveny odměřováním polohy výstupní hřídele. Výhodou těchto pohonů je konstantní točivý moment v širokém spektru otáček.



Obr. 2-20: Servopohon [14]

2.2.5 Vřetena

Vřeteno obráběcího stroje je důležitou součástí, ovlivňující z velké části vlastnosti obráběcího stroje. U frézovacích strojů je funkcí vřetene nést nástroj a zajistit jeho přesný rotační pohyb. Z tohoto hlediska jsou na vřeteno kladeny určité požadavky. Základním požadavkem je vysoká přesnost chodu, kde se primárně posuzuje velikost radiálního a axiálního házení. Dále by vřeteno mělo disponovat dostatečnou tuhostí, aby vlivem působících sil byly deformace vřetene v požadované toleranci. V neposlední řadě musí vřetena disponovat vysokou životností a spolehlivostí.

Provedení vřeten je velmi různorodé. Vřetena mohou být vestavěna ve vřeteníku obráběcího stroje nebo mohou být vestavěna v samostatném tubusu. Uložení vřetene bývá nejčastěji provedeno valivými ložisky, u větších strojů se vyskytuje uložení hydrostatické. Různá provedení se liší samotným náhonem vřetene. Existují tři možná řešení náhonu vřetene. První možností je náhon pomocí vloženého převodu (řemen, ozubené kola, převodovka). Druhou možností je přímý náhon. Třetí možností je provedení, kde je vřeteno součástí motoru a pracuje jako rotor. Toto provedení je označováno jako elektrovřeteno. Výhodou elektrovřetene

jsou menší zástavbové rozměry, vysoká tuhost a přesný chod. U malých stolních CNC frézek se ve většině případů aplikuje právě elektrovřeteno. Upínání nástroje je nejčastěji realizováno kleštinou.

Výhodou použití elektrovřetene je, že se dá zakoupit jako komponenta s požadovanými vlastnostmi a v určité cenové relaci. K dostání jsou v různých provedeních, lišící se převážně druhem elektromotoru. Nejlevnějším provedením jsou stejnosměrná elektrovřetena. Nedisponují velkým výkonem a jsou proto vhodná pro nenáročné aplikace. Dalším provedením jsou elektrovřetena s třífázovým asynchronním pohonem. Asynchronní elektrovřetena disponují vysokými otáčkami a vysokými výkony. Napájení těchto elektrovřeten lze pomocí příslušného invertoru a v případě vyšších výkonů je nutné zajistit i jejich chlazení vzduchem nebo kapalinou.



Obr. 2-21: Asynchronní elektrovřeteno [7]

2.2.6 Řízení a elektronika stolních CNC frézek

Řídicí elektronika

Provedení řídicí elektroniky je závislé na typu vedlejšího pohonu. U malých stolních CNC frézek jsou pro pohon posuvů použity převážně krokové motory. Za tohoto předpokladu je řídicí elektronika tvořena tzv. drivery pro příslušný počet krokových motorů. Driver krokového motoru může být součástí driverové desky, ovládající více krokových motorů, nebo může být samostatný pro jeden motor. Standartní drivery komunikují s běžným PC vybaveným příslušným softwarem a komunikačním rozhraním USB nebo LPT. Tyto řídicí drivery mohou být také vybaveny případnými vstupy pro koncové spínače os. Základní parametry driveru krokového motoru jsou napájecí napětí, výstupní špičkový proud, maximální frekvence kroku, minimální šířka impulzu, typ a počet řízených krokových motorů.



Obr. 2-22: Driver pro 3 krokové motory [7]

Řídicí software

Jedná se o software, pomocí kterého komunikuje běžný osobní počítač s driverem krokového motoru. Konkrétní software je většinou doporučený samotným výrobcem driveru krokového motoru. Nejrozšířenějším softwarem v operačním prostředí Microsoft Windows je program MACH3, který je možné stáhnout bezplatně jako demoverzi, která je omezena počtem řádků programu. Momentálně je na trhu i novější verze tohoto programu jako verze MACH4. V případě operačního systému LINUX je používán program LINUX CNC. Komunikace mezi PC a driverem probíhá pomocí tzv. STEP/DIR instrukcí. V jednoduchosti se tyto instrukce skládají z kroku (STEP) a instrukce směru (DIR). Driver krokového motoru pak na základě těchto instrukcí generuje výstupní signál pro krokový motor.



Obr. 2-23: Program MACH 3 [15]

Napájecí zdroje

Pro napájení driverových desek lze použít spínané zdroje s požadovaným výstupním napětím a s dostatečným výkonem. Kromě spínaných zdrojů je možné použít i patřičný transformátor. Výhodou spínaných zdrojů je jejich malá hmotnost, malé rozměry a vysoká účinnost. Nevýhodou spínaných zdrojů oproti transformátorům je jejich vyšší cena.

Pro napájení profesionálních třífázových synchronních elektrovřeten se používají tzv. invertory. Pomocí invertorů je možné regulovat otáčky elektrovřetene nebo lze například definovat rozjezd a dojezd otáček elektrovřetene. Funkce invertorů je, že mění například síťové jednofázové vstupní napětí na třífázové napětí s určitou frekvencí dle typu elektrovřetene.



Obr. 2-24: Spínaný zdroj [15]

2.2.7 Ostatní části stolních CNC frézek

Ostatní části stolních frézek jsou závislé na konkrétním konstrukčním řešení. Mezi tyto části patří například různé ochranné kryty funkčních částí obráběcího stroje, které brání vniknutí

nečistot, vzniklých v řezném procesu. Kromě různého krytování mohou být frézky dovyba-
veny odsáváním, které velmi zvyšuje hygieničnost procesu a zároveň omezuje vnikání ne-
čistot do některých funkčních částí stroje.

Pro vedení různých kabelových svazků jsou u CNC strojů použity kabelové řetězy. Tyto
kabelové řetězy chrání kabelové svazky před poškozením nebo před jejich případným na-
motáním na rotační části obráběcího stroje. Kromě těchto funkcí omezují kabelové řetězy
maximální ohyb kabelů a tím brání jejich zlomení.



Obr. 2-25: Kabelový řetěz [7]

3 Specifikace požadavků

Specifikace požadavků na reflektované vlastnosti TS – jen k PROVOZNÍ ETAPĚ ŽIVOTNÍHO CYKLU TS			
1. Požadavky k transformačním funkcím / účinkům – k operátoru TS, operandu a procesu			
Třída/podtřída vlastností / • Vlastnost / - indikátor vlastnosti	Hodnota indikátoru	Váha v TS (0 - 4)	
Technický systém: Elektrovřetenno			
• Zajištění odebrání třísky		4	
- Minimální výkon elektrovřetene	500 W		
- Otáčky elektrovřetene	5 000 - 25 000 ot. /min		
- Upínacího průměr z hlediska nástroje	1 – 5 mm		
• Umožnit regulaci otáček			
- Řízená regulace	Ne		
- Manuální regulace	Ano		
Technický systém: Stolní CNC frézka			
• Rozměry pracovního stolu			
- Délka	620 mm		
- Šířka	420 mm		
- Výška	50 mm		
• Zajistit uchycení polotovaru			
- Uchycení polotovaru	ano		
Pracovní proces: frézování			
• Základní charakteristika			
- Opakovatelná přesnost	± 0,1 mm (0 - 200 mm) ± 0,25 mm (200 - 620 mm)		
• Automatizace procesu			
- Počet řízených os	3 osy		
- Rychloposuv	3000 mm / min		
• Druh polotovaru			
- Druh polotovaru	Deskové materiály		
- Materiál	dřevo, plast, materiály ze slitin hliníku		

Specifikace požadavků na reflektované vlastnosti TS – jen k PROVOZNÍ ETAPĚ ŽIVOTNÍHO CYKLU TS		
2. Požadavky k provozuschopnosti - k místu provozování, časovému rozmezí a servisu		
Třída/podtřída vlastností / • Vlastnost / - indikátor vlastnosti	Hodnota indikátoru	Váha v TS (0 - 4)
• Prostředí		3
- Souhrnná charakteristika	Domácí dílna	
• Spolehlivost		
- Souhrnná charakteristika	Vysoká	
• Životnost		
- Doba provozu	10 - 15 let	
• Údržba		
- Souhrnná charakteristika	Minimální	
• Náklady pro provoz		
- Souhrnná charakteristika	Minimální	

Specifikace požadavků na reflektované vlastnosti TS – ke VŠEM PROVOZNÍM ETAPÁM ŽIVOTNÍHO CYKLU TS		
3. Požadavky k člověku a ostatním živým bytostem – bezpečnost, zdraví, příjemnost		
Třída/podtřída vlastností / • Vlastnost / - indikátor vlastnosti	Hodnota indikátoru	Váha v TS (0 - 4)
3.1 Bezpečnost ve všech životních etapách, ergonomie		3
- Stabilita proti převrácení a proti nežádoucímu pohybu	Nutná	
- Krytí rotačních částí	Podmíněné	
- Nouzový vypínač	Ano	
3.2 Příjemnost pro člověka		
- Tvarový design	Podmíněný konstrukčním uspořádáním	

Specifikace požadavků na reflektované vlastnosti TS – ke VŠEM PROVOZNÍM ETAPÁM ŽIVOTNÍHO CYKLU TS		
4. Požadavky k ostatním TS a Tg v životním cyklu TS – k dostupným i vyvolaným		
Třída/podtřída vlastností / • Vlastnost / - indikátor vlastnosti	Hodnota indikátoru	Váha v TS (0 - 4)
4.1 Požadavky k předvýrobním procesům a výrobě		4
- Vhodnost pro konstruování, Tg. a organizace přípravy výroby	Vysoká	
- Náročnost na výrobení a montáž	Velmi nízká	
- Využití normalizovaných polotovarů	Ano	
- Druh výroby	Kusová	
4.2 Požadavky k distribuci	Neuvažuje se	-
4.3 Požadavky k likvidaci	Neuvažuje se	

Specifikace požadavků na reflektované vlastnosti TS – ke VŠEM PROVOZNÍM ETAPÁM ŽIVOTNÍHO CYKLU TS		
5. Požadavky k aktivnímu a reaktivnímu prostředí - k materiálům a energiím působícím na vstupu a výstupu		
Třída/podtřída vlastností / • Vlastnost / - indikátor vlastnosti	Hodnota indikátoru	Váha v TS (0 - 4)
• Ekologičnost materiálů		1
- Souhrnná charakteristika	Nízká	
• Energetická náročnost		
- Souhrnná charakteristika	Nízká	

Specifikace požadavků na reflektované vlastnosti TS – ke VŠEM PROVOZNÍM ETAPÁM ŽIVOTNÍHO CYKLU TS		
6. Požadavky k odborným informacím - dostupným i vyvolaným		
Třída/podtřída vlastností / • Vlastnost / - indikátor vlastnosti	Hodnota indikátoru	Váha v TS (0 - 4)
• Patentová a licenční práva		2
- Souhrnná charakteristika	Neuvažuje se	
• Předpisy a normy		
- Bezpečnost výrobku	Dodržet	
- Bezpečnost práce	Dodržet	
- Předpisy pro výrobu, manipulaci, distribuci, provoz a likvidaci	Neuvažuje se	
• Výrobní a montážní dokumentace		
- Výrobní dokumentace	Ano – dle norem	
- Montážní dokumentace	Ne	
• Návod k obsluze	Ne	
• Návod na údržbu a opravy	Ne	

Specifikace požadavků na reflektované vlastnosti TS – ke VŠEM PROVOZNÍM ETAPÁM ŽIVOTNÍHO CYKLU TS		
7. Požadavky k manažerským informacím - k produktu, termínům, nákladům a legislativě		
Třída/podtřída vlastností / • Vlastnost / - indikátor vlastnosti	Hodnota indikátoru	Váha v TS (0 - 4)
• Náklady		4
- Cena konkurenčního produktu	40 000 – 60 000 Kč	
- Maximální náklady na výrobu	30 000 Kč	
• Čas		
- Na návrh a výrobu	3 měsíce	

Specifikace požadavků na deskriptivní vlastnosti TS – nezávisle na ETAPÁCH ŽIVOTNÍHO CYKLU TS		
8. Požadavky na behaviorální (obecné) konstrukční vlastnosti		
Třída/podtřída vlastností / • Vlastnost / - indikátor vlastnosti	Hodnota indikátoru	Váha v TS (0 - 4)
• Odolnost proti korozi a jiné oxidaci		2
- Charakteristika	Nízká	
- Povrchová úprava	U slitin hliníku bez povrchové úpravy Ocelové konstrukční prvky ošetřeny nástříkem	

Specifikace požadavků na deskriptivní vlastnosti TS – nezávisle na ETAPÁCH ŽIVOTNÍHO CYKLU TS		
9. Požadavky na definiční (elementární) konstrukční vlastnosti		
Třída/podtřída vlastností / • Vlastnost / - indikátor vlastnosti	Hodnota indikátoru	Váha v TS (0 - 4)
• Ovládací prvky		3
- Způsob ovládání	Elektronicky pomocí PC s příslušným rozhraním	
• Spojovací prvky		
- Charakteristika	Šroubové spoje a spoje svary	

Specifikace požadavků na deskriptivní vlastnosti TS – nezávisle na ETAPÁCH ŽIVOTNÍHO CYKLU TS		
10. Požadavky na znakové konstrukční vlastnosti/charakteristiky		
Třída/podtřída vlastností / • Vlastnost / - indikátor vlastnosti	Hodnota indikátoru	Váha v TS (0 - 4)
• Pohon		4
- Posuv ve směru řízených os	Řízený elektrický točivý stroj	
- Pohon vřetena	Elektrovřeteno	
• Funkční princip		
- Charakteristika	CNC	

4 Navržení a výběr vhodné varianty konstrukčního řešení

4.1 Hlediska konstrukčního uspořádání rámu stroje

4.1.1 Stanovení váhy jednotlivých kritérií

Kritérium	K1: Nároky na výrobní technologie	K2: Náklady na materiál	K3: Náklady na nakupované díly	K4: Náročnost z hlediska konstrukčního procesu	K5: Náročnost výrobního procesu	K6: Náročnost montáže	K7: Přístupnost k pracovní ploše	K8: Velikost pracovní plochy k celk. rozměrům	K9: Pronikání nečistot do funkčních částí stroje	K10: Využití normalizovaných polotovarů	K11: Tvarový design	Počet preferencí	Váha kritéria
K1: Nároky na výrobní technologie		K1	K1	K4	K5	K1	K1	K8	K1	K1	K1	7	9
K2: Náklady na materiál			K2	K4	K2	K3	K7	K8	K9	K10	K2	3	5
K3: Náklady na nakupované díly				K4	K5	K6	K7	K8	K3	K10	K3	3	5
K4: Náročnost z hlediska konstrukčního procesu					K4	K4	K7	K8	K9	K10	K11	5	7
K5: Náročnost výrobního procesu						K5	K7	K8	K5	K5	K5	6	8
K6: Náročnost montáže							K7	K8	K9	K10	K6	2	4
K7: Přístupnost k pracovní ploše								K8	K7	K7	K7	8	10
K8: Velikost pracovní plochy ve vztahu k celkovým rozměrům									K8	K8	K8	10	11
K9: Pronikání nečistot do funkčních částí stroje (nutnost krytování)										K10	K9	4	6
K10: Využití normalizovaných polotovarů											K10	6	8
K11: Tvarový design												1	4

Tab. 4-1: Párové porovnání – kritéria z hlediska konstrukčního uspořádání

4.1.2 Výběr optimální varianty konstrukčního uspořádání rámu stroje dle stanovených kritérií

Kritérium	Váha	Spodní gantry		Horní gantry		Konzolové uspořádání		Stolové uspořádání	
Nároky na výrobní technologie	9	2	18b	3	27b	1	9b	2	18b
Náklady na materiál	5	3	15b	4	20b	2	10b	3	15b
Náklady na nakupované díly	5	3	15b	3	15b	2	10b	3	15b
Náročnost z hlediska konstrukčního procesu	7	3	21b	3	21b	1	7b	3	21b

Náročnost výrobního procesu	8	2	16b	3	24b	1	8b	2	16b
Náročnost montáže	4	3	12b	4	16b	1	4b	3	12b
Přístupnost k pracovní ploše	10	4	40b	2	20b	4	40b	2	20b
Velikost pracovní plochy ve vztahu k celkovým rozměrům	11	4	44b	3	33b	1	11b	2	22b
Pronikání nečistot do funkčních částí stroje (nutnost krytování)	6	2	12b	4	24b	2	12b	1	6b
Využití normalizovaných polotovarů	8	3	24b	3	24b	2	16b	3	24b
Tvarový design	4	4	16b	2	8b	3	12b	1	4b
Celkem	77		297b		232b		139b		173b

Tab. 4-2: Výběr varianty konstrukčního uspořádání rámu stroje

Pozn.: Hodnocení jednotlivých kritérií pro příslušnou variantu dle VDI 2225:

Vyhovuje velmi dobře (ideálně) 4 b, Vyhovuje dobře 3 b, Vyhovuje uspokojivě 2 b, Vyhovuje postačujícím způsobem 1 b, Vyhovuje nepostačujícím způsobem 0 b

4.1.3 Zhodnocení výběru varianty konstrukčního uspořádání rámu stroje

Nejprve byla stanovena váha kritérií pomocí párového porovnání. Poté bylo přistoupeno k hodnocení jednotlivých kritérií pro příslušnou variantu, které vychází z vlastního odhadu a požadavků kladenými z hlediska oblasti užití stroje. Vlastní odhad je ovlivněn prvotním průzkumem trhu a dalšími vlivy. Je uvažována například skutečná dostupnost a cena materiálů, dostupné technologie či vybavení dílny.

Jako nejvhodnější varianta konstrukčního uspořádání vychází varianta v uspořádání spodní gantry. Tato varianta je proto dále uvažována jako výchozí pro celkové konstrukční řešení.

4.2 Volba posuvového mechanismu

4.2.1 Stanovení váhy jednotlivých kritérií

Kritérium	K1 Přesnost polohování	K2: Tuhost	K3: Životnost	K4: Převodový poměr	K5: Pořizovací náklady	K6: Náročnost z hlediska konstrukčního procesu	K7: Náročnost na výrobní proces rámu stroje	K8: Náročnost montáže	K9: Požadavky na výrobní technologii	Počet preferencí	Váha kritéria
K1 Přesnost polohování		K1	K1	K4	K5	K6	K7	K8	K9	2	4
K2: Tuhost			K2	K4	K5	K6	K7	K8	K9	1	3
K3: Životnost				K3	K5	K6	K7	K8	K9	1	3
K4: Převodový poměr					K5	K6	K7	K8	K9	2	4
K5: Pořizovací náklady						K5	K5	K5	K5	8	9
K6: Náročnost z hlediska konstrukčního procesu							K6	K6	K9	6	7
K7: Náročnost na výrobní proces rámu stroje								K7	K9	5	6

K8: Náročnost montáže									K9	4	5
K9: Požadavky na výrobní technologie										7	8

Tab. 4-3: Párové porovnání – kritéria posuvového mechanismu

4.2.2 Výběr optimální varianty posuvového mechanismu dle stanovených kritérií

Kritérium	Váha	Trapézový šroub		Kuličkový šroub		Řemen a pastorek	
Přesnost polohování	4	3	12b	4	16b	2	8b
Tuhost	3	4	12b	4	12b	3	9b
Životnost	3	2	6b	4	12b	3	9b
Převodový poměr	4	2	8b	2	8b	4	16b
Pořizovací náklady	9	3	27b	1	9b	4	36b
Náročnost z hlediska konstrukčního procesu	7	2	14b	3	21b	1	7b
Náročnost na výrobní proces rámu stroje	6	3	18b	2	12b	4	24b
Náročnost montáže	5	3	15b	3	15b	2	10b
Požadavky na výrobní technologie	8	2	16b	2	16b	4	32b
Celkem	49		128b		121b		151b

Tab. 4-4: Výběr varianty posuvového mechanismu

Pozn.: Hodnocení jednotlivých kritérií pro příslušnou variantu dle VDI 2225:

Vyhovuje velmi dobře (ideálně) 4 b, Vyhovuje dobře 3 b, Vyhovuje uspokojivě 2 b, Vyhovuje postačujícím způsobem 1 b, Vyhovuje nepostačujícím způsobem 0 b

4.2.3 Zhodnocení výběru varianty posuvového mechanismu

Po zhodnocení jednotlivých kritérií pro příslušnou variantu a s ohledem na požadavky stroje a charakteristiku jednotlivých variant posuvových mechanismů, nejlépe vyšla varianta tvořená řemenem a pastorkem. Druhou možností je použití trapézového šroubu. Nejméně vhodnou variantou je užití kuličkového šroubu. Varianta s kuličkovým šroubem je méně vhodná především z důvodu vysoké pořizovací ceny a složitější konstrukce s vyššími požadavky na přesnost provedení uložení kuličkového šroubu. Z hlediska uspořádání dolní gantry je zřejmé, že použití řemenu a pastorku bude vhodné pouze pro *osu x* a omezeně pro *osu y*. Na *ose z* bude použitý trapézový šroub. Použití trapézového šroubu je dáno charakteristikou užití stolní CNC frézky, na které se budou obrábět deskové materiály a *osa z* bude sloužit převážně pro najetí do požadované hloubky. Proto nejsou kladeny vysoké požadavky na *osu z* z hlediska přesnosti a životnosti posuvového mechanismu. Trapézový šroub tyto požadavky vhodně splňuje a to i při současném zachování nízkých nákladů.

Pohon posuvového mechanismu bude zajišťovat krokový motor. Pro tento typ stolní CNC frézky se jedná o nejvhodnější pohon jak z hlediska požadavků, tak z hlediska ceny.

4.3 Volba přímočarého lineárního vedení

Vhodné přímočaré lineární vedení pro uvažovanou CNC stolní frézku v uspořádání spodní gantry je takové vedení, které bude disponovat dostatečnou tuhostí a přiměřenou přesností při zachování nízké ceny. Proto bude použito na *osu x* vedení tvořené podepřenými tyčemi

a na *osu y* a *osu z* budou použity volné kruhové nepodepřené tyče patřičného průměru. Prizmatické lineární vedení není uvažováno především z důvodu vyšší ceny.

4.4 Volba elektrovřetene

Při výběru vhodného elektrovřetene byla rozhodující především cena a technické parametry. Po přezkoumání nabídky elektrovřeten na trhu, bylo vybráno ekonomicky méně náročné řešení.

Vybráno bylo elektrovřeteno se DC motorem IB/E od výrobce Proxxon s výkonem 100 W. Uvažované řešení je vhodné pouze pro méně náročné aplikace. Frézovat lze především měkké materiály - například dřevo nebo různé druhy plastů.



Obr. 4-1: Elektrovřeteno Proxxon IB/E [16]

V případě požadavku na větší výkon elektrovřetene, je možné jednoduchou úpravou CNC frézky elektrovřeteno zaměnit za výkonnější. V tomto případě je také nutné posoudit vlastnosti CNC frézky z hlediska samotné konstrukce (tuhost, pevnost, výkon posuvového mechanismu).

V tomto případě by bylo možné nahradit stávající brusku Proxxon za výkonnější elektrovřeteno od výrobce Kress s výkonem 530 W. Cena výkonnějšího elektrovřetene je však více než dvojnásobná a jak již bylo zmíněno, pro méně náročné aplikace se jedná o zbytečně drahé řešení.



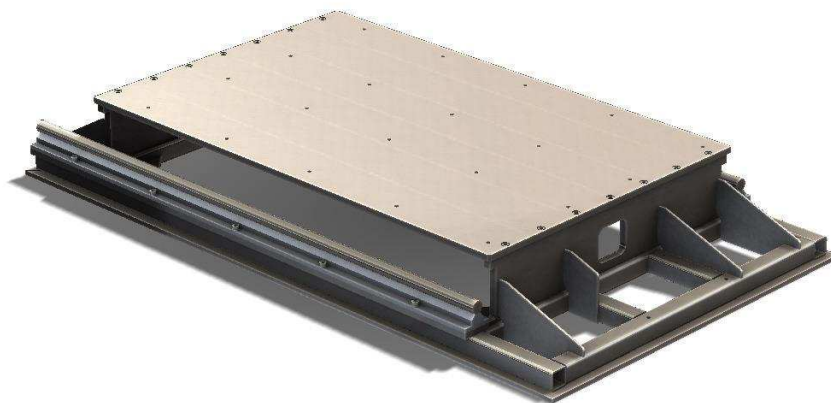
Obr. 4-2: Elektrovřeteno Kress FME 530 [17]

5 Konstrukční a technologický návrh

5.1 Spodní část rámu stroje

5.1.1 Charakteristika součásti

Spodní část rámu stroje je nepohyblivá a skládá se z lože a pracovního stolu. V uspořádání spodní gantry je na loži umístěno vedení a posuvový mechanismus ve směru osy x , po kterém se pohybují boční stojany spojené příčnicí. Pracovní stůl stroje podepírají na protilehlých stranách bočnice.



Obr. 5-1: CAD model spodní částí rámu

5.1.2 Polotovary a materiály spodní části rámu

Spodní část rámu je koncipována jako svařenec, ke kterému je šroubovými spoji připevněna pracovní deska frézky. Toto provedení rámu bylo zvoleno z důvodu jednoduchého a vhodného způsobu výroby z hlediska dostupných technologií, náročností výroby, ale také z důvodu toho, že se jedná o kusovou výrobu. Na výrobu jsou použity běžně dostupné a normalizované polotovary.

Výchozím materiálem pro výrobu spodní části byla zvolena nelegovaná konstrukční ocel. Značení oceli dle ČSN 42 0002 je 11 373 a v případě normy EN 10027-1 je označení S235JR. Ocel S235JR je dobře svařitelná a je vhodná pro jednoduché a mírně namáhané konstrukce. Použití oceli místo materiálu ze slitin hliníku zapříčiní více než 2x větší hmotnost stroje, která ovšem nečiní problém, jelikož zajistí větší stabilitu stroje. Výhodou je i to, že tento materiál je levnější. Fyzikální vlastnosti použité oceli jsou uvedeny níže.

Fyzikální vlastnosti oceli S235JR	
Objemová hmotnost	7850 Kg/m ³
Modul pružnosti v tahu	210 000 N/mm ²
Modul pružnosti ve smyku	81 000 N/mm ²
Poissonova konstanta	0,3
Součinitel délkové tepelné roztažnosti	12 · 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Pevnost v tahu	min 370 MPa
Mez kluzu	min 235 MPa

Tab. 5-1: Fyzikální vlastnosti oceli S235JR

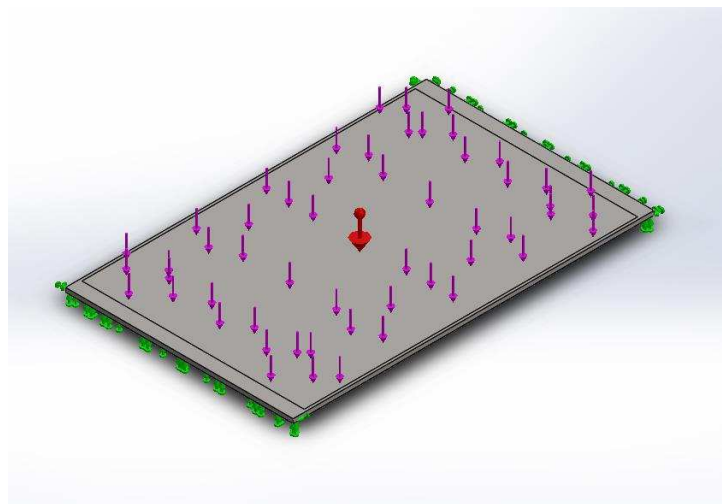
5.1.3 Technologický postup výroby

Postup výroby spodní části rámu je proveden v následujících operacích. Nejprve je tyčový materiál nařezán na požadovaný rozměr na dělicí pile. Plechové díly jsou vypáleny na CNC plazmě a díly s požadavkem na vyšší přesnost na CNC laseru. Svaření dílů probíhá ručně na přesném stole za využití metody TIG. U hotového svařence je nutné před obrobením nejprve odstranit vnitřní pnutí vnesené svařováním pomocí tepelného zpracování – žhání na odstranění vnitřního pnutí. Po tepelném zpracování je nutné svařenec očistit od vzniklých okují. Očištění je provedeno otryskáním. U takto připraveného svařence je již možné obrobit požadované plochy. Po obrobení je rám povrchově ošetřen nástřikem a to dvousložkovou polyuretanovou barvou.

5.1.4 Pevnostní analýza pracovního stolu

Metodou konečných prvků provedeme ilustrační analýzu za účelem zjištění velikosti posunutí pracovního stolu vlivem zatížení. Toto posunutí by nepříznivě ovlivnilo výrobní přesnost stroje. Cílem bude stanovit potřebnou minimální tloušťku materiálu pracovního stolu. Jelikož je ve skutečnosti pracovní stůl také pevnou součástí rámu, bude pro dosažení celkové tuhosti spodního rámu vhodné pracovní desku mírně naddimenzovat.

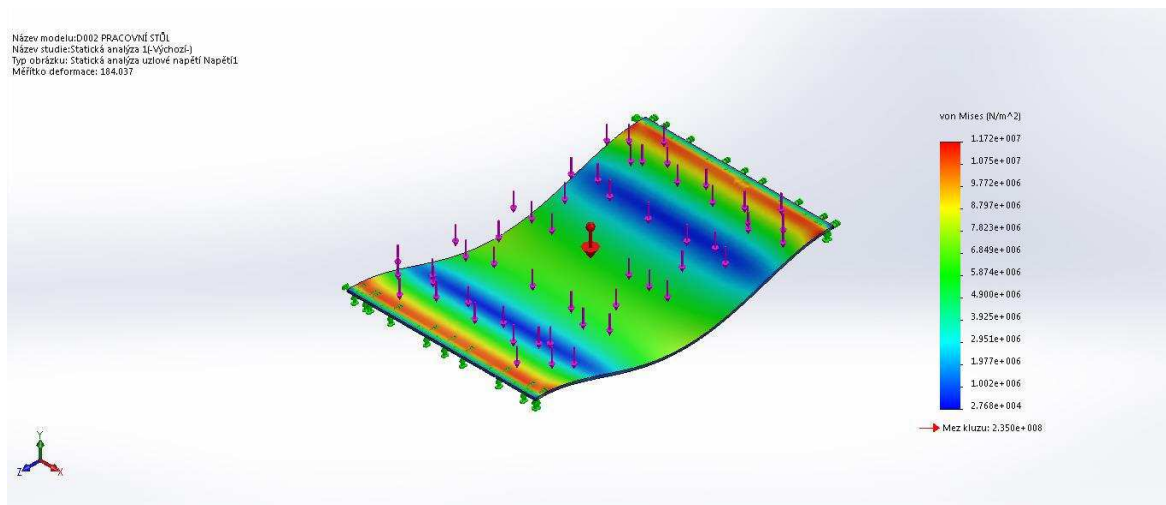
Pracovní stůl frézky je podepřen na obou koncích bočnicemi. Tato dvě místa budou uvažována jako pevné uchycení (na obr. 5-2 znázorněno zeleně). Jako zatížení je definována jednak vlastní tíha (na obr. 5-2 znázorněna červeně) a teoretický příklad maximálního možného zatížení, které představuje plech ze slitiny hliníku o maximálních rozměrech pracovního prostoru stroje (na obr. 5-2 znázorněna fialově). Hmotnost tohoto plechu činí přibližně 34,5 kg. Jedná se pouze o teoretické zatížení, které je umístěno na střed pracovního stolu. V praxi však může být obrobek upnut nesymetricky a to do různého místa pracovního stolu. Jelikož je frézka určena pro obrábění deskovitých materiálů ze dřeva nebo plastu, bude zatížení pracovního stolu dosahovat podstatně menších hodnot.



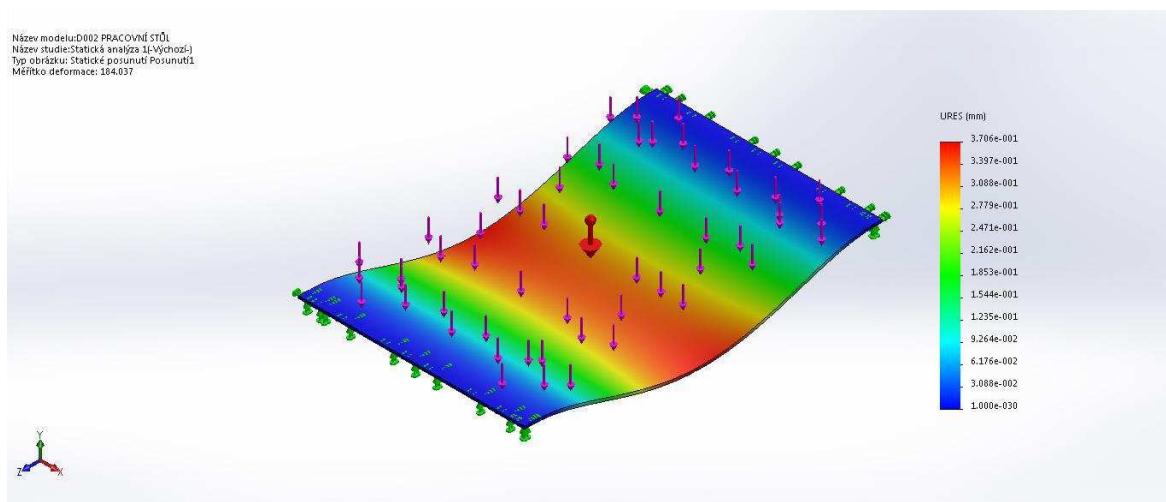
Obr. 5-2: Definování uchycení a zatížení u pracovní desky frézky

Varianta A

Ve variantě A je pracovní stůl z plechu tloušťky 5 mm.



Obr. 5-4: Varianta A – napětí von Mises



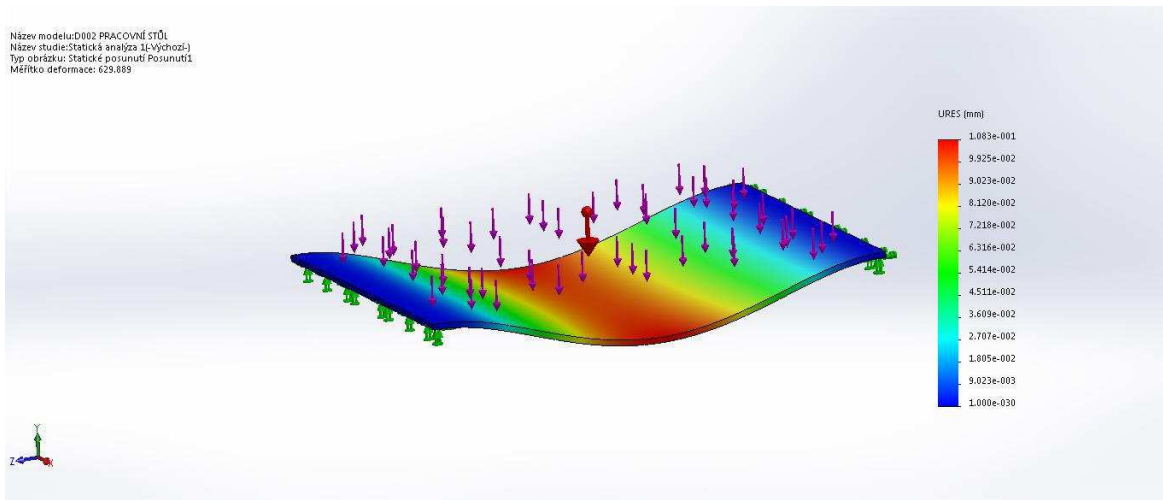
Obr. 5-3: Varianta A – posunutí

V této variantě je maximální hodnota posunutí 0,37 mm. Za těchto podmínek by nebyla splněna požadovaná přesnost stroje. Co se týče maximální hodnoty napětí, pohybujeme se v oblasti pružné deformace. Není překročena mez kluzu, a proto nedojde k trvalé deformaci. Cílem dalších variant bude zajistit větší tuhost pracovního stolu.

Varianta B

Ve variantě B je pracovní stůl z plechu tloušťky 8 mm. Zde činí maximální hodnota posunutí 0,1 mm. Za těchto podmínek se pohybujeme na hranici požadované přesnosti stroje. I zde samozřejmě není překročena mez kluzu.

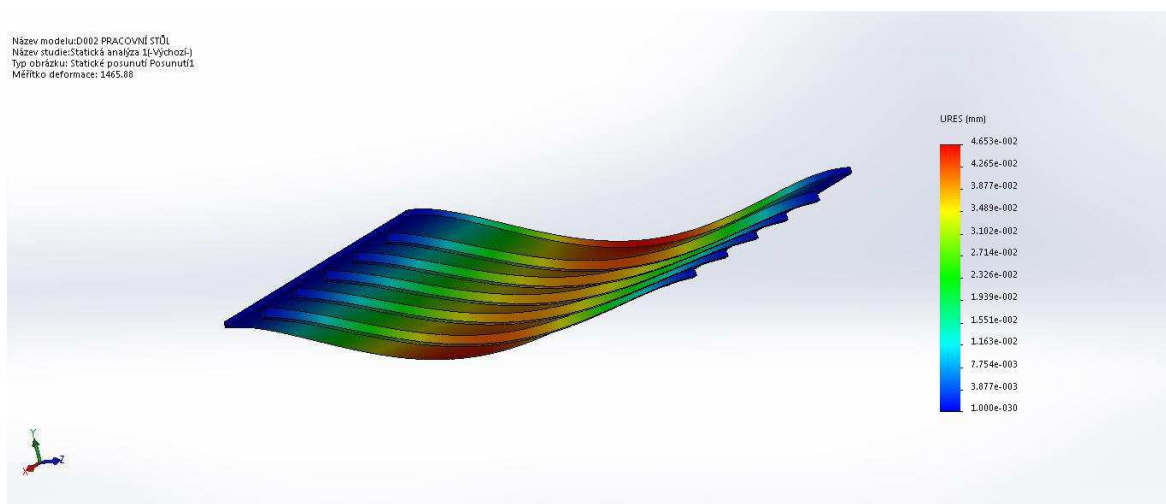
Další zvětšování tloušťky materiálu pracovní desky značně zvyšuje celkovou hmotnost, spotřebu materiálu ale i cenu. Větší tuhost je proto nutné zajistit efektivnějším způsobem.



Obr. 5-5: Varianta B – posunutí

Varianta C

Varianta C uvažuje stejně jako varianta B materiál tloušťky 8 mm. Navíc jsou zde ze spodní části desky přidána žebra o rozměru 12x8.



Obr. 5-6: Varianta C – posunutí

Tímto řešením je dosaženo o více než 2x menší posunutí oproti variantě B. Pokud bychom chtěli docílit stejné tuhosti jen při zvětšování tloušťky plechu, musela by být deska vyrobena z 12 mm silného plechu a její hmotnost by byla 27,5 kg. Hmotnost desky ve variantě C vychází na 20,8 kg, tedy téměř o 25% méně, než v případě 12 mm plechu.

Jako výchozí polotovár pracovního stolu bude plech tl. 10 mm. Je to z toho důvodu, že vrchní plocha bude po svaření následně obrobena a 2 mm navíc představují přídavek na obrobení.

5.2 Portál, suport a polohovací mechanismus elektrovřetene

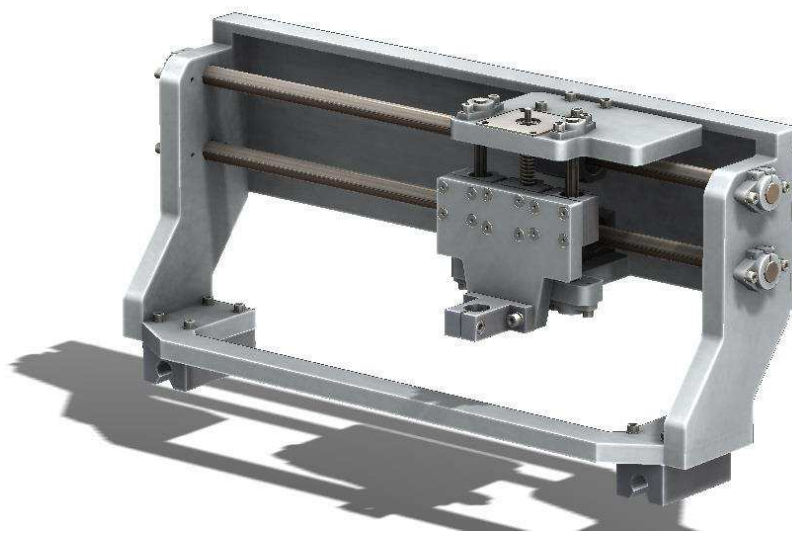
5.2.1 Charakteristika součástí

Další částí rámu stroje je portál. Portál je tvořen dvěma napříč spojenými stojany. Stojany mají záměrně vytvořené zaklonění, a to proto, aby středisko hmotnosti portálu bylo co nejvíce nad středem otevřeného kuličkového lineárního ložiska *osy x* a nevznikal tak moment

dvojice sil. Tento moment by nevhodně zatěžoval otevřené kuličkové lineární ložisko. Důležitou částí portálu jsou kruhové nepodepřené tyče o průměru 16 mm, které slouží jednak jako vedení suportu ve směru *osy y* a také jako konstrukční prvek zvyšující tuhost portálu.

Suport je tvořen horní a spodní deskou, na kterých jsou umístěna uzavřená kuličková ložiska. Horní a spodní deska je vzájemně spojena kruhovými tyčemi. Zde tyče slouží také jako konstrukční člen, ale také plní funkci lineárního vedení ve směru *osy z*.

Poslední prvkem rámu je polohovací mechanismus elektrovřetene pohybujícího se ve směru *osy z*. Pro umožnění pohybu jsou na zadní straně umístěna uzavřená kuličková lineární ložiska spolu s držákem matice trapézového šroubu. Tato část také zajišťuje upnutí elektrovřetene pomocí příslušného držáku.



Obr. 5-7: Portál s polohovacím mechanismem elektrovřetene

5.2.2 Polotovary a materiály portálu

Polotovarem dílů portálu je plech ze slitiny hliníku. Použitá tloušťka plechů je 8, 15 a 20 mm. Značení materiálu dle normy ČSN je 42 4413 a v případě normy ČSN EN 573-3 je materiál značen jako EN AW-5754 (AlMg3). Jedná se o hliníkovou slitinu určenou pro tváření. Tato slitina je středně pevná, chemická odolnost a odolnost proti oxidaci dobrá, dobře svařitelná s uspokojivou obrobiteľností. Je vhodná na středně namáhané konstrukce.

5.2.3 Technologický postup výroby

Portál frézky je složen z plechových dílů, které jsou vzájemně spojeny šroubovými spoji. Plechové díly budou vypáleny na CNC laseru. Plochy a otvory s vyšší požadovanou přesností budou dle výkresové dokumentace obroběny do požadovaného tvaru a rozměru. Následně bude portál sestaven a šroubové spoje budou proti povolení zajištěny lepidlem.

5.3 Posuvový mechanismus a jeho pohon

Vhodným typem posuvového mechanismu pro *osu x* a *osu y* je, jak již bylo uvedeno, provedení s ozubeným řemenem a řemenicemi. Výběr typu posuvového mechanismu je uveden v kapitole 4. Posuvový mechanismus *osy z* bude tvořen maticí a trapézovým šroubem. Všechny tři osy budou poháněny krokovými motory.

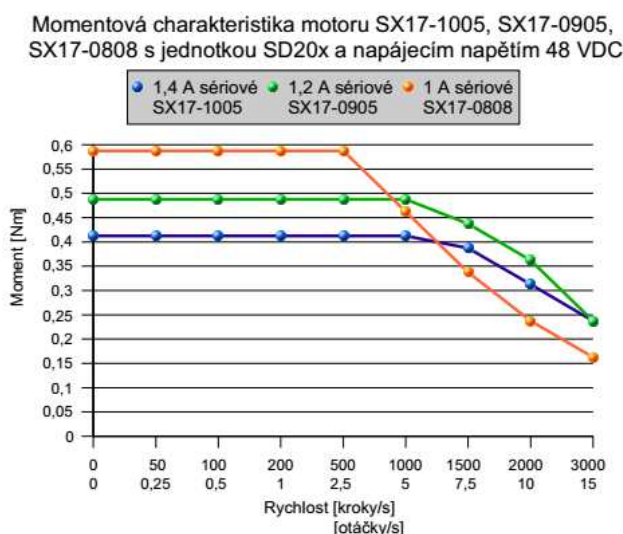
5.3.1 Výběr vhodného krokového motoru pro osu x a osu y

Při výběru krokového motoru rozhodovaly nejen technické parametry, ale také i cena. Vybráno bylo z nabídky české firmy Microcon s.r.o.. V nabídce firmy Microcon s.r.o. je velké množství různých typů krokových motorů a různého programovatelného řízení krokových motorů. Dále tato firma nabízí například pružné spojky, lineární vedení, šnekové převodovky a mnoho dalšího.

Na základě výpočtů základních parametrů uvedených v následující části bakalářské práce, byly vybrány krokové motory SX17-0808D pro pohon posuvu ve směru *osy x* a *osy y* a SX17-0503D pro pohon posuvu ve směru *osy z*. Krokový motor SX17 se řadí mezi menší krokové motory. Tento typ motoru bude použit na všech třech osách frézky.

Technické parametry krokových motorů Microcon			
Typ	SX17-0808D	SX17-0503D	
Statický moment	0,8	0,3	Nm
Jmenovitý proud: sériové / paralelní zapojení	0,8 / 1,6	0,5 / 1	A
Indukčnost: sériové / paralelní zapojení	30 / 7,5	24,4 / 6,1	mH
Odpor: sériové / paralelní zapojení	12 / 3	16,4 / 4,1	Ω
Zbytkový moment	0,0028	0,016	Nm
Moment setrvačnosti rotoru	102	34	gcm^2
Hmotnost	0,5	0,24	kg
Délka kroku	1,8	1,8	$^\circ$
Tolerance kroku	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$^\circ$

Tab. 5-2: Technické parametry krokových motorů [21]

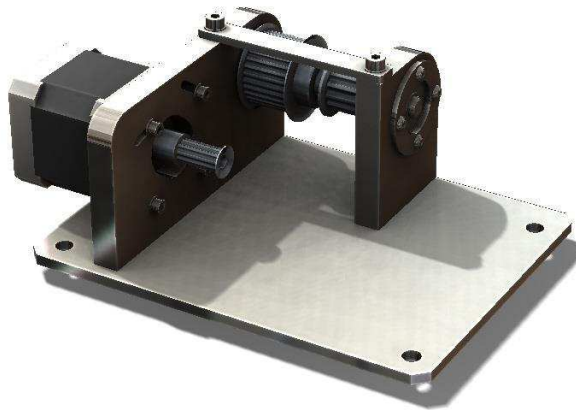


Obr. 5-8: Momentová charakteristika motoru SX17-0808 [21]

Pro přímý náhon bude motor SX17 použit pouze pro pohon trapézového šroubu *osy z*. V případě *osy x* a *osy y* je nutné vřadit pro dosažení požadovaných parametrů převod.

5.3.2 Posuvový mechanismus osy x

Posuvový mechanismus *osy x* se skládá ze dvou částí. První část zajišťuje pohon posuvu. Skládá se z motoru SX17, primárního řemenového převodu, osy, dvou ložisek a z řemenice posuvového řemene. Druhá část tvoří pouze vratnou řemenici.



Obr. 5-10: Pohon posuvu osy x



Obr. 5-9: Vratná řemenice osy x

5.3.3 Výpočtový návrh posuvového mechanismu osy x

1. Základní parametry posuvového mechanismu osy x

Moment a otáčky motoru lze vyčíst z momentové charakteristiky na obrázku 5-8.

Uvažované maximální provozní otáčky:	$n = 250 \text{ min}^{-1}$
Točivý moment krokového motoru:	$M_t = 0,57 \text{ Nm}$
Hnací řemenice:	$z_1 = 10 \text{ zubů}$
Hnaná řemenice:	$z_2 = 30 \text{ zubů}$

Hnací řemenice posuvu: $z_3 = 12$ zubů

Hnaná řemenice posuvu: $z_4 = 12$ zubů

- Převodový poměr: (1.1)

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{30}{10} = 3$$

- Moment: (1.2)

$$M_2 = i \cdot M_t = 3 \cdot 0,57 = 1,71 Nm$$

- Otáčky: (1.3)

$$i = \frac{n}{n_2}$$

$$n_2 = \frac{n}{i} = \frac{250}{3} = 83,3 \text{ min}^{-1}$$

- Výkon motoru: (1.4)

$$P = \omega \cdot M_t = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot M_t = \frac{\pi \cdot 250}{30} \cdot 0,57 = 14,9 \text{ W} = 0,015 \text{ kW}$$

2. Návrh ozubeného řemenu a řemenic

Při návrhu ozubeného řemene a řemenic je vycházeno z katalogu výrobce CONTITECH [18].

Dle katalogu jsou zvoleny následující faktory.

Faktor zatížení: c_2 1,1

Faktor zrychlení: c_3 0,3

Faktor únavy: c_4 - 0,2

- Celkový provozní faktor: (2.1)

$$c_0 = c_2 + c_3 + c_4 = 1,2 + 0,3 + (-0,2) = 1,2$$

- Stanovení rozměrů ozubeného řemene z přepočteného výkonu: (2.2)

$$P \cdot c_0 = 0,015 \cdot 1,2 = 0,018 \text{ kW}$$

Dle katalogu výrobce je zvolen řemen s roztečí $p = 3$ mm.

a) Primární převod ozubeným řemenem

Předpokládaná osová vzdálenost primárního převodu: $a = 57$ mm

- Délka řemene primárního převodu: (2.3)

$$L_{wp} = 2 \cdot a + \frac{p}{2} \cdot (z_2 + z_1) + \frac{\left[\frac{p}{\pi} \cdot (z_2 - z_1)\right]^2}{4 \cdot a}$$

$$= 2 \cdot 57 + \frac{3}{2} \cdot (30 + 10) + \frac{\left[\frac{3}{\pi} \cdot (30 - 10)\right]^2}{4 \cdot 57} = 175,6 \text{ mm}$$

Dle dostupných délek řemenů volím nejbližší větší délku řemenu s délkou 177 mm s počtem zubů 59.

- Osová vzdálenost pro zvolenou délku řemenu: (2.4)

$$177 = 2 \cdot a_{skut} + \frac{3}{2} \cdot (30 + 10) + \frac{\left[\frac{3}{\pi} \cdot (30 - 10)\right]^2}{4 \cdot a_{skut}}$$

$$a_{skut} = 57,71 \text{ mm}$$

- Úhel opásání hnací řemenice: (2.5)

$$\beta = 2 \cdot \arccos \left[\frac{p \cdot (z_2 - z_1)}{2 \cdot \pi \cdot a_{skut}} \right] = 2 \cdot \arccos \left[\frac{3 \cdot (30 - 10)}{2 \cdot \pi \cdot 57,71} \right] = 160,95^\circ$$

- Počet činných zubů hnací řemenice: (2.6)

$$z_e = z_1 \cdot \frac{\beta}{360} = 10 \cdot \frac{160,95}{360} = 4,47$$

- Volba šířky řemene

Dle katalogu výrobce jsou zvoleny tyto faktory:

Faktor počtu činných zubů: c_1 0,7

Faktor délky: c_5 0,8

- Teoretický výkon dle tabulek: $P_r = 0,032 \text{ kW}$
Tento teoretický výkon platí pro ozubený řemen šířky 15 mm.

Tuto šířku řemenu lze uvažovat pouze tehdy, platí-li: (2.7)

$$P \cdot c_0 \leq P_r \cdot c_1 \cdot c_5$$

$$0,018 \leq 0,018$$

VYHOVUJE

Ozubený řemen primárního převodu: CONTI SYNCHROBELL HTD 03M-177-15

- Obvodová síla v řemenu: (2.8)

$$F_v = \frac{60 \cdot 10^6 \cdot P \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{p \cdot z_1 \cdot n_1} = \frac{60 \cdot 10^6 \cdot 0,015 \cdot \sin \frac{160,95}{2}}{3 \cdot 10 \cdot 250} = 118,35 \text{ N}$$

Maximální dovolená síla v řemenu pro uvažovaný řemen dle tabulek: $F_u = 145 \text{ N}$

- Koeficient bezpečnosti: (2.9)

$$s_F = \frac{F_u}{F_v} = \frac{145}{118,35} = 1,23 \geq 1$$

VYHOVUJE

- Síla potřebná k předepnutí řemene: (2.10)

$$F_{stat} = \frac{F_V}{2 \cdot \sin \frac{\beta}{2}} = \frac{118,35}{2 \cdot \sin \frac{160,95}{2}} = 60 \text{ N}$$

- Obvodová rychlost: (2.11)

$$v_0 = \frac{p \cdot z_1 \cdot 250}{60 \cdot 10^3} = \frac{3 \cdot 10 \cdot 250}{60 \cdot 10^3} = 0,125 \text{ m/s}$$

- b) Posuv ozubeným řemenem

Při předběžném výpočtu stejného řemene HTD 3M s roztečí zubů 3 mm nebyla splněna podmínka z hlediska maximální dovolené síly v řemenu. Bylo nutné zvětšit průřez řemene. Řemen s roztečí 3M se nedodává s větší šířkou než 15 mm. Proto byl zvolen řemen HTD 5M s roztečí zubů 5 mm a šířkou řemene 15 mm.

Předpokládaná osová vzdálenost: $a = 728,5 \text{ mm}$

Rozteč zubů řemene: $p = 5 \text{ mm}$

- Délka řemene: (3.1)

$$\begin{aligned} L_{wp} &= 2 \cdot a + \frac{p}{2} \cdot (z_4 + z_3) + \frac{\left[\frac{p}{\pi} \cdot (z_4 - z_3) \right]^2}{4 \cdot a} \\ &= 2 \cdot 728,5 + \frac{3}{2} \cdot (12 + 12) + \frac{\left[\frac{5}{\pi} \cdot (12 - 12) \right]^2}{4 \cdot 57} = 1493 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dle dostupných délek řemenů volím nejbližší delší délku řemenu s délkou 1500 mm s počtem zubů 300.

- Osová vzdálenost pro zvolenou délku řemenu: (3.2)

$$177 = 2 \cdot a_{skut} + \frac{3}{2} \cdot (12 + 12) + \frac{\left[\frac{3}{\pi} \cdot (12 - 12) \right]^2}{4 \cdot a_{skut}}$$

$$a_{skut} = 732 \text{ mm}$$

- Úhel opásání hnací řemenice: (3.3)

$$\beta = 2 \cdot \arccos \left[\frac{p \cdot (z_4 - z_1)}{2 \cdot \pi \cdot a_{skut}} \right] = 2 \cdot \arccos \left[\frac{3 \cdot (12 - 12)}{2 \cdot \pi \cdot 57,71} \right] = 180^\circ$$

- Počet činných zubů hnací řemenice: (3.4)

$$z_e = z_1 \cdot \frac{\beta}{360} = 15 \cdot \frac{180}{360} = 7,5$$

- Volba šířky řemene

Faktor počtu činných zubů: c_1 -

Faktor délky: c_5 1,2

- Teoretický výkon dle tabulek: $P_r = 0,096$ kW
Tento teoretický výkon platí pro řemen šířky 15 mm.

Tuto šířku řemenu lze uvažovat tehdy, platí-li: (3.5)

$$P \cdot c_0 \leq P_r \cdot c_1 \cdot c_5$$

$$0,018 \leq 0,1152$$

VYHOVUJE

Ozubený řemen posuvu osy x: CONTI SYNCHROBELL HTD 05M-1500-15

- Obvodová síla v řemenu: (3.6)

$$F_v = \frac{60 \cdot 10^6 \cdot P \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{p \cdot z_3 \cdot n_3} = \frac{60 \cdot 10^6 \cdot 0,015 \cdot \sin \frac{180}{2}}{5 \cdot 12 \cdot 83} = 180 \text{ N}$$

Maximální dovolená síla v řemenu pro uvažovaný řemen dle tabulek: $F_u = 230$ N

- Koeficient bezpečnosti: (3.7)

$$s_F = \frac{F_u}{F_v} = \frac{230}{180} = 1,28 \geq 1$$

VYHOVUJE

- Síla potřebná k předeptnutí řemene: (3.8)

$$F_{stat} = \frac{F_v}{2 \cdot \sin \frac{\beta}{2}} = \frac{180}{2 \cdot \sin \frac{180}{2}} = 90 \text{ N}$$

- Obvodová rychlost: (3.9)

$$v_0 = \frac{p \cdot z_3 \cdot 83}{60 \cdot 10^3} = \frac{5 \cdot 12 \cdot 83}{60 \cdot 10^3} = 0,083 \text{ m/s}$$

Tato rychlost odpovídá rychlosti posuvu ve směru osy x.

3. Volba řemenic

Hnací řemenice A: typ HTD 3M 1F [19]

Rozteč $p = 3$ mm

$D_e = 8,79$ mm

$D_p = 9,55$ mm

$D_m = 13$ mm

$L = 26$ mm

$$F = 17 \text{ mm}$$

$$z_1 = 10 \text{ zubů}$$

Hnaná řemenice B: typ HTD 3M 6F [19]

$$\text{Rozteč } p = 3 \text{ mm}$$

$$D_e = 27,89 \text{ mm}$$

$$D_p = 28,65 \text{ mm}$$

$$D_m = 19 \text{ mm}$$

$$L = 26 \text{ mm}$$

$$F = 19,5 \text{ mm}$$

$$z_2 = 30 \text{ zubů}$$

Hnací/hnaná řemenice C: typ HTD 5M 6F [19]

$$\text{Rozteč } p = 5 \text{ mm}$$

$$D_e = 17,96 \text{ mm}$$

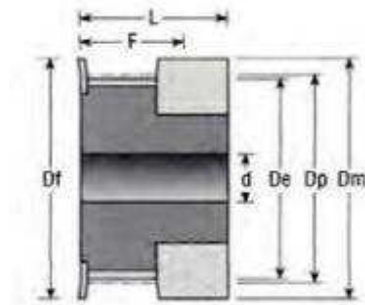
$$D_p = 19,10 \text{ mm}$$

$$D_m = 13,00 \text{ mm}$$

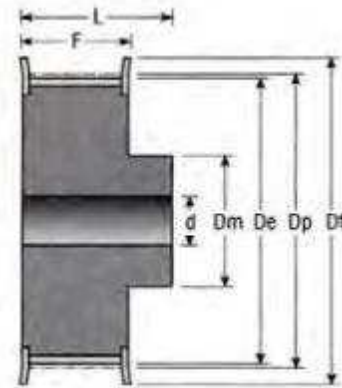
$$L = 26 \text{ mm}$$

$$F = 20,5 \text{ mm}$$

$$z_{3,4} = 12 \text{ zubů}$$



Obr. 5-11: Základní rozměry řemenic 1F [19]



Obr. 5-12: Základní rozměry řemenic 6F [19]

4. Přesnost polohování a rychlost posuvu

Krokový motor SX17

Délka kroku: $l_{km} = 1,8^\circ$

Tolerance kroku: $\pm 0,1^\circ$

- Počet kroků na 1 otáčku: (4.1)

$$K_{km} = \frac{360^\circ}{l_{km}} = \frac{360^\circ}{1,8^\circ} = 200 \text{ kroků}$$

- Počet kroků hnané řemenice na 1 otáčku hnací řemenice: (4.2)

$$K_2 = i \cdot K_{km} = 3 \cdot 200 = 600 \text{ kroků}$$

- Vzdálenost posunutí na 1 otáčku hnací řemenice posuvu: (4.3)

$$s_p = z_3 \cdot p = 12 \cdot 5 = 60 \text{ mm}$$

- Teoretická přesnost polohování: (4.4)

$$P_{pol} = \frac{s_p}{K_2} = \frac{60}{600} = 0,1 \frac{mm}{krok}$$

Běžné řídicí jednotky krokových motorů navíc umožňují pro lepší plynulost pohybu každý krok ještě tzv. mikrokrokovat. Jeden celokrok je možné rozdělit na dalších 4,8,16 nebo 32 mikrokroků.

Poté by teoreticky platilo:

- Maximální počet mikrokroků: (4.5)

$$K_{mkm} = K_{km} \cdot 32 = 200 \cdot 32 = 6400 \text{ mikrokroků}$$

- Teoretická přesnost mikropolohování: (4.6)

$$P_{mpol} = \frac{s_p}{K_{mkm}} = \frac{60}{6400} = 0,009 \frac{mm}{mikrokrok}$$

- Možná odchylka v poloze vlivem tolerance kroku: (4.7)

Tolerance kroku motoru: $\pm 0,1^\circ$

Tolerance kroku hnané řemenice: $\pm 0,1^\circ / 3 = \pm 0,033^\circ$

$$s_{odch} = \frac{0,033^\circ}{360^\circ} \cdot s_p = \pm 0,004 \text{ mm}$$

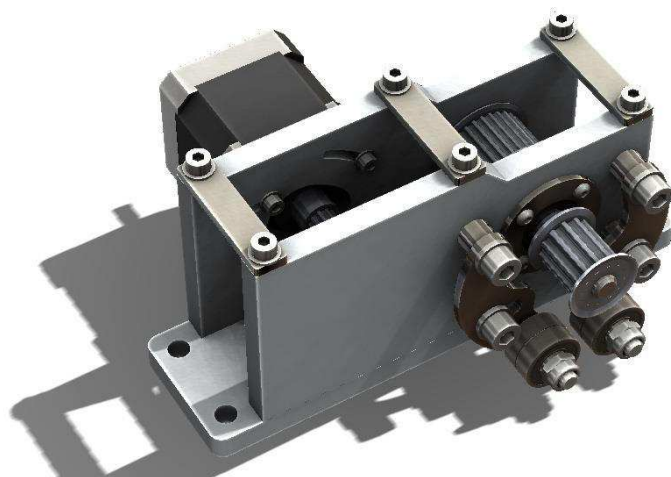
- Maximální rychlost posuvu: (4.8)

$$v_p = n_2 \cdot s_p = 83 \cdot 60 = 4980 \frac{mm}{min} = 4,98 \frac{m}{min}$$

Odpovídá vztahu obvodové rychlosti řemene uvedené ve vztahu (2.20).

5.3.4 Posuvový mechanismus osy y

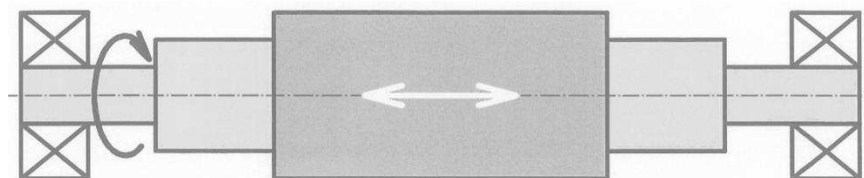
Posuvový mechanismus osy y je řešen obdobným způsobem jako v případě osy x. Shodný je krokový motor, řemenice, řemeny a ložiska. Odlišné je pouze uspořádání. V tomto případě je řemen nepohyblivý, pohyb koná krokový motor s polohovacím mechanismem elektrovřetene. Mírná odlišnost bude v zatížení ložisek a osy. Výpočtový návrh proto nebude pro případ osy y popisován.



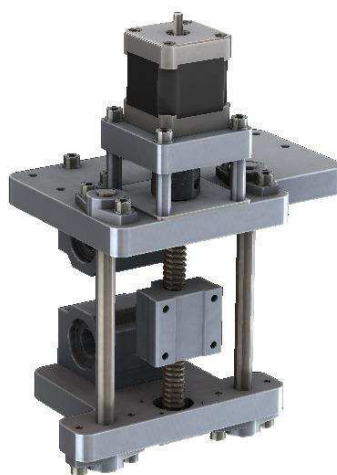
Obr. 5-13: Posuvový mechanismus osy y

5.3.5 Posuvový mechanismus osy z

Posuvový mechanismus *osy z* je realizován trapézovým šroubem a maticí v uspořádání, kde se pohybový šroub otáčí a matice koná pouze pohyb posuvný. Pohybový šroub bude na každé straně uložen v ložisku. Jelikož je šroub namáhán především axiální silou, měla by být ložiska radiálně-axiální nebo čistě axiální. Pohon šroubu zajišťuje krokový motor SX17-0503D s technickými parametry dle tabulky 5-2. Spojení motoru s pohybovým šroubem je provedeno pomocí pružné spojky.



Obr. 5-14: Kinematika pohybového šroubu osy z [23]



Obr. 5-15: Trapézový šroub s držákem matice

5.3.6 Výpočtový návrh pohybového šroubu osy z

Předběžně zvolen trapézový šroub TR12x3 [24]: $d = 12 \text{ mm}$

$$d_2 = 8,5 \text{ mm}$$

$$d_3 = 10,5 \text{ mm}$$

$$p_H = 3 \text{ mm}$$

$$H_1 = 1,75 \text{ mm}$$

Materiál šroubu 12 023: $R_m = 735 \text{ MPa}$

Materiál matice 11 109: $R_m = 380 \text{ MPa}$

Bezpečnost proti mezi pevnosti: 3

Dovolený tlak v závitu: $p_{dov} = 7 \text{ MPa}$

1. Pevnostní kontrola trapézového šroubu a matice

- Úhel stoupání: (5.1)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{p_H}{\pi \cdot d_2}$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{p_H}{\pi \cdot d_2} = \operatorname{arctg} \frac{3}{\pi \cdot d_2} = \operatorname{arctg} \frac{3}{\pi \cdot 8,5} = 6,4^\circ$$

- Účinnost převodu: (5.2)

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi)} = \frac{\operatorname{tg} 6,4}{\operatorname{tg}(6,4 + 1,15)} = 0,85$$

Kde: $f = \operatorname{tg} \varphi$

$$\varphi = \operatorname{arctg} f = \operatorname{arctg} 0,2 = 1,15$$

Součinitel tření u lichoběžníkových závitů: $f = (0,1 \div 0,2)$

- Axiální síla: (5.3)

$$M_t = F_{ax} \cdot \frac{p_H}{2 \cdot \pi \cdot n}$$

$$F_{ax} = \frac{M_t \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{p_H} = \frac{0,3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,85}{3 \cdot 10^{-3}} = 534 \text{ N}$$

- Dovolené namáhání: (5.4)

$$\sigma_{dov} = \frac{R_{mš}}{S_m} = \frac{735}{3} = 245 \text{ MPa}$$

- Pevnostní kontrola – tah: (5.5)

$$\sigma_t = \frac{F_{ax}}{S_j} = \frac{F_{ax}}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{534}{\frac{\pi \cdot 10,5^2}{4}} = 6,17 \text{ MPa}$$

- Pevnostní kontrola – krut: (5.6)

$$\tau_k = \frac{M_t}{W_k} = \frac{M_t}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{0,3}{\frac{\pi \cdot 10,5^3}{16}} = 1,32 \cdot 10^{-3} \text{ MPa}$$

- Redukované napětí: (5.7)

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{6,17^2 + 3 \cdot (1,32 \cdot 10^{-3})^2} = 6,17 \text{ MPa} < \sigma_{dov}$$

VYHOVUJE

- Délka matice: (5.8)

$$p_z = \frac{F_{ax}}{0,75 \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot \frac{l_m}{p_H}} \leq p_{dov}$$

$$l_m = \frac{p_H \cdot F_{ax}}{0,75 \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot p_d} = \frac{3 \cdot 547}{0,75 \cdot \pi \cdot 8,5 \cdot 1,75 \cdot 7} = 6,69 \text{ mm} \Rightarrow 18 \text{ mm}$$

Při návrhu trapézového šroubu je uvažován maximální moment motoru při provozních otáčkách. Ve skutečnosti však bude trapézový šroub namáhán podstatně menší axiální silou. Hlavní složkou axiální síly bude především vlastní tíha polohovacího mechanismu, tíha elektrovřetene a menší setrvačné síly.

2. Doplnující parametry posuvového mechanismu osy z

Zbytkový moment krokového motoru: $M_z = 0,016 \text{ Nm}$

Tíha polohovacího mechanismu a elektrovřetene: 15 N

- Účinnost převodu za předpokladu zatížení axiální silou: (5.9)

$$\eta = \frac{\text{tg}(\alpha - \varphi)}{\text{tg} \alpha} = \frac{\text{tg}(6,4 - 1,15)}{\text{tg} 6,4} = 0,81$$

- Točivý moment: (5.10)

$$M_t = F_{ax} \cdot \frac{p_H}{2 \cdot \pi \cdot n} = 15 \cdot \frac{3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi \cdot 0,81} = 8,84 \cdot 10^{-3} \text{ Nm} < M_z$$

VYHOVUJE

- Rychlost posuvu: (5.11)

$$v_p = n \cdot p_H = 250 \cdot 3 = 750 \text{ mm/min} = 0,75 \text{ m/min}$$

- Teoretická přesnost polohování: (5.12)

Počet kroků na 1 otáčku – vztah (4.1): $K_{km} = 200 \text{ kroků}$

$$P_{pol} = \frac{p_H}{K_{km}} = \frac{3}{200} = 0,015 \frac{\text{mm}}{\text{krok}}$$

6 Zhodnocení dosaženého konstrukčního řešení

6.1 SWOT predikovaných vlastností pro specifikované požadavky

V kapitole 4 byly v deseti třídách specifikovány požadavky na TS. U každé třídy byla vyjádřena váha s hodnocením 0-4. Nyní se provede zhodnocení dosažení specifikovaných požadavků a vypočte se maximální vážené hodnocení a vážené hodnocení pro každou třídu.

Maximální vážené hodnocení se určí jako:

$$\frac{\text{Váha v TS}}{4}$$

Vážené hodnocení poté jako:

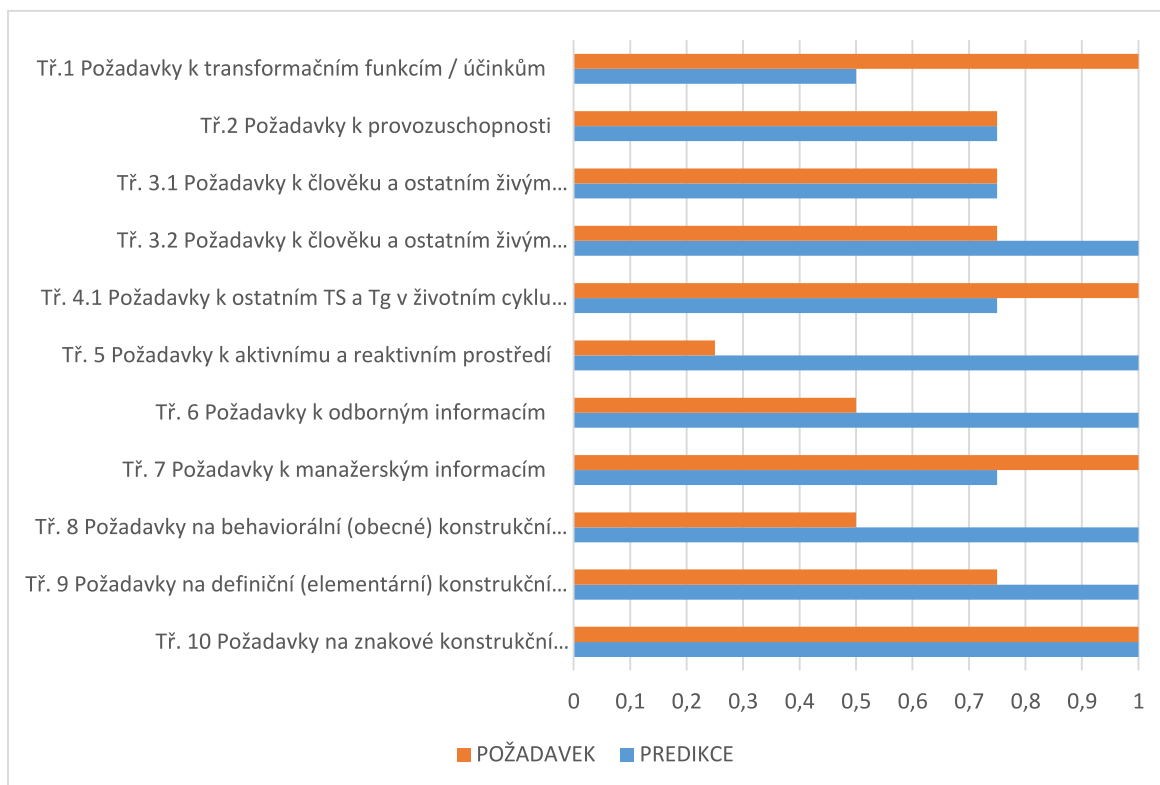
$$\frac{\text{Maximální vážené hodnocení} \cdot \text{hodnota splnění}}{4}$$

Výsledné hodnocení dosažení požadavků:

$$\frac{\text{Vážené hodnocení}}{\text{Maximální vážené hodnocení}}$$

Třída požadavků	Hodnota splnění {0-****}	Maximální vážené hodnocení {0-1}	Vážené hodnocení {0-1}	Výsledné hodnocení {0-1}
Tř. 1 Požadavky k transformačním funkcím / účinkům	**	1	0,5	0,5
Tř. 2 Požadavky k provozuschopnosti	****	0,75	0,56	0,75
Tř. 3.1 Požadavky k člověku a ostatním živým bytostem - Bezpečnost ve všech životních etapách, ergonomie	***	0,75	0,56	0,75
Tř. 3.2 Požadavky k člověku a ostatním živým bytostem - Příjemnost pro člověka	****	0,75	0,75	1
Tř. 4.1 Požadavky k ostatním TS a Tg v životním cyklu TS - Požadavky k předvýrobním procesům a výrobě	***	0,75	0,56	0,75
Tř. 5 Požadavky k aktivnímu a reaktivnímu prostředí	****	0,25	0,25	1
Tř. 6 Požadavky k odborným informacím	****	1	1	1
Tř. 7 Požadavky k manažerským informacím	***	0,75	0,56	0,75
Tř. 8 Požadavky na behaviorální (obecné) konstrukční vlastnosti	****	1	1	1
Tř. 9 Požadavky na definiční (elementární) konstrukční vlastnosti	****	1	1	1
Tř. 10 Požadavky na znakové konstrukční vlastnosti/charakteristiky	****	1	1	1

Tab. 6-1: SWOT analýza predikovaných vlastností pro specifikované požadavky



Obr. 6-1: Graf SWOT predikovaných vlastností pro specifikované požadavky

6.2 Navržení konstrukčních úprav

Navržení konstrukčních změn by mělo být provedeno s ohledem na oblasti s nižším predikovaným hodnocením, než je samotný požadavek. Nižší predikované hodnocení je u první třídy. Slabým místem je zde navržené elektrovřeteno. Nedosahuje požadovaného výkonu a není možné upnout nástroj s větším průměrem než 3,2 mm. Volbou výkonnějšího elektrovřetene by však vzrostla výsledná cena konstrukčního řešení. Při použití výkonnějšího elektrovřetene by bylo vhodné uvažovat o změně posuvového mechanismu. V tomto případě by byl vhodný kuličkový šroub s maticí. V rámci třídy 4.1 je možné docílit vyššího hodnocení tak, že by výroba CNC frézky kladla nižší nároky na výrobní technologie. Toto zlepšení by nejspíš nepříznivě ovlivnilo vlastní přesnost stroje. V případě třídy 7 by bylo možné dosáhnout vyššího hodnocení dalším snížením nákladů.

6.3 Soupis nákladů

Položka	Jednotková cena	Množství	Celková cena [Kč s DPH]
JAKL 25 x 25 x 2	38 Kč/m	3,9 m	148,20
PLO 40 x 10	75 Kč/m	4,4 m	330
HR 12 x 8	28 Kč/m	3,3 m	92,40
HR 14 x 14	37 Kč/m	8,4 m	310,80
Plech S235JR tl. 3 mm	25 Kč/kg	1,5 kg	37,50
Plech S235JR tl. 5 mm	25 Kč/kg	1,8 kg	45
Plech S235JR tl. 10 mm	25 Kč/kg	23,1 kg	577,50
Plech S235JR tl. 12 mm	28 Kč/kg	9,6 kg	268,80
Plech AW-5754 tl. 8 mm	160 Kč/kg	2,4 kg	385,9
Plech AW-5754 tl. 15 mm	160 Kč/kg	2,8 kg	448
Plech AW-5754 tl. 20 mm	160 Kč/kg	1,9 kg	304
Podepřená tyč SBR-16	925 Kč/m	1830 mm	1693
Nepodepřená tyč S-16	740 Kč/m	1180 mm	555
Nepodepřená tyč S-10	280 Kč/m	304 mm	86
Nepodepřená tyč S-8	260 Kč/m	260 mm	65
Lineární kuličkové ložisko SME-16L	524 Kč/ks	2 ks	1048
Lineární kuličkové ložisko SMA-16	154 Kč/ks	2 ks	308
Lineární kuličkové ložisko SMA-10	133 Kč/ks	2 ks	266
Trapézový šroub TR 12x3	220 Kč/m	170 mm	38
Matice 12x3	195 Kč/ks	1 ks	195
Držák matice TNH-12	215 Kč/ks	1 ks	215
Pružná spojka LK 20-C25 5/5	335 Kč/ks	1 ks	335
Držáky nepodepřených tyčí SHF-16	82 Kč/ks	4 ks	328
Držáky nepodepřených tyčí SHF-10	80 Kč/ks	4 ks	320
Držáky elektrovřetene SK-20	82 Kč/ks	1 ks	82
Řemenice 12-05M-15 6F	39 Kč/ks	3 ks	117
Řemenice 30-03M-15 6F	79 Kč/ks	2 ks	158
Řemenice 10-03M-15 1F	47 Kč/ks	2 ks	94
Ozubený řemen 03M-0177-15	188 Kč/ks	2 ks	376
Ozubený řemen 05M-1500-15	636 Kč/ks	1 ks	636
Ozubený řemen 05M-0710-15	435 Kč/ks	1 ks	435
Upevňovací deska 05M-15	117 Kč/ks	3 ks	351
Ložiska ZKL 608	15,25 Kč/ks	8 ks	122
Ložiska ZKL 626	25,48 Kč/ks	4 ks	102
Krokový motor SX17-0503D	362 Kč/ks	1 ks	362
Krokový motor SX17-0808D	362 Kč/ks	2 ks	724
Proxxon Micromot IBS/E	2357 Kč/ks	1 ks	2357
Driver krokového motoru SD20TR	604 Kč/ks	3 ks	1812
Napájecí zdroj 48V 350W	1330 Kč/ks	1 ks	1330
Spojovací materiál	-	-	250
CELKEM			17 708 Kč

Tab. 6-2: Soupis nákladů

6.4 Ekonomické zhodnocení konstrukčního řešení

Celková cena materiálu a nakupovaných dílů činí 17 708 Kč včetně DPH. Do celkových nákladů je nutné započítat i náklady na pálení dílů, obrábění, proces svařování, tepelné zpracování, lakování a montáž se seřízením stroje. I přesto je současný odhad celkových nákladů nižší, než jsou požadované maximální náklady uvedené ve specifikaci požadavků v kapitole 3.

7 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout konstrukční řešení malého CNC frézovacího zařízení. V úvodu byl proveden průzkum trhu a stav současné techniky na poli komerčně vyráběných CNC frézek. V další části byly specifikovány konkrétní požadavky na technický systém. Po stanovení požadavků v jednotlivých třídách byly navrženy možné varianty v příslušných oblastech a rozhodovací metodou byla vybrána optimální varianta řešení.

V praktické části bylo přistoupeno ke konkrétnímu konstrukčnímu návrhu, kde byly navrženy klíčové stavební prvky CNC frézky. Základem konstrukčního procesu bylo využití CAD softwaru, ve kterém byla také kompletně frézka vymodelována. Tento konstrukční návrh slouží i jako podklad pro skutečnou realizaci CNC frézky. Je důležité zmínit, že problematika CNC frézovacích zařízení je dalekosáhlejší a tudíž nebylo možné se v rámci této bakalářské věnovat úplné problematice CNC frézek. Další samostatnou kapitolou, kterou je nutné se při realizaci CNC frézky zabývat, je například softwarové nastavení, kalibrace, vlastní řízení CNC frézky a programování.

V závěru práce je provedeno zhodnocení dosaženého konstrukčního řešení. Jsou zde definovány možné oblasti zlepšení a je zde také provedeno ekonomické zhodnocení konstrukčního návrhu.

Při vypracování této bakalářské práce jsem se snažil plně využít poznatků, které jsem získal v rámci tříletého bakalářského studia na Fakultě strojní ZČU v Plzni.

Použité zdroje

- [1] LAŠOVÁ, Václava. *Základy stavby obráběcích strojů*. Plzeň: ZČU, 2012.
- [2] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [3] LAŠOVÁ, Václava. *Metoda konečných prvků ve výpočtech obráběcích strojů*. V Plzni: Západočeská univerzita, 2011. ISBN 978-80-261-0008-9.
- [4] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [5] KRÁL, Mojmír a Vlastimil BARTOŠ. *Základy CNC obráběcích strojů*. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998. Učebnice pro odborné školy (Fragment). ISBN 80-7200-295-3.
- [6] KELLER, Petr. *Programování a řízení CNC strojů*. Liberec, 2005. TUL.
- [7] 4isp. *Specialisté na lasery a frézky* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <https://cnc.inshop.cz/>
- [8] *Kvalitní CNC frézky* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://cnc-frezky.webnode.cz/>
- [9] Triom s.r.o. *Technologie / automatizace - Manipulační technika - Strojírenská výroba* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.triom.cz/>
- [10] ALFUN s.r.o. *METAL SERVICE CENTER* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/o-hliniku>
- [11] PK Servis s.r.o. *Technické součástky* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.pkservis.com/cz/montazni-technika-rexroth-bosch>
- [12] Ebeco CZ s.r.o. *MEMBER OF EUROPEAN BEARINGS COMMERCE GROUP* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.ebeco.cz/index.php>
- [13] *KSK Precise Motion, a.s.* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.ksk-pm.cz/>
- [14] *OMRON - průmyslová automatizace* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <https://industrial.omron.cz/cs/home>
- [15] *NEFWANGLED SOLUTIONS* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.machsupport.com/>
- [16] *PROXXON, The fine tool company* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.proxxon.com/en/>
- [17] *KRESS, Elektrowerkzeuge* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: http://www.kress-elektrik.de/Home.31.0.html?&no_cache=1&L=1
- [18] *Katalog ContiTech, CONTI SYNCHROBELT* [online]. [cit. 2017-02-16]. Dostupné z: https://www.tyma.cz/files/katalogy/contitech_htd_e.pdf
- [19] *TYMA CZ, s.r.o., Řemeny, převody, dopravní pásy* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <https://www.tyma.cz/>
- [20] *MICROCON, s.r.o.* [online]. [cit. 2017-02-16]. Dostupné z: <http://www.microcon.cz/>
- [21] *Katalog MICROCON, s.r.o.* [online]. [cit. 2017-02-16]. Dostupné z: http://www.microcon.cz/pdf2015/katalog_092015.pdf
- [22] *ZKL Group* [online]. [cit. 2017-02-16]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/>
- [23] KRÁTKÝ, Jaroslav a Eva KUBEC KRÓNEROVÁ. *Přednášky CMS 2*. Plzeň, 2015. ZČU.

- [24] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3., dopl. vyd., dot. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-718-3164-6.

Seznam příloh

Příloha č. 1 (vevázaná) – CAD model navržené stolní CNC frézky

Příloha č. 2 (volná) – Celková sestava CNC frézky: KKS-BP-S000

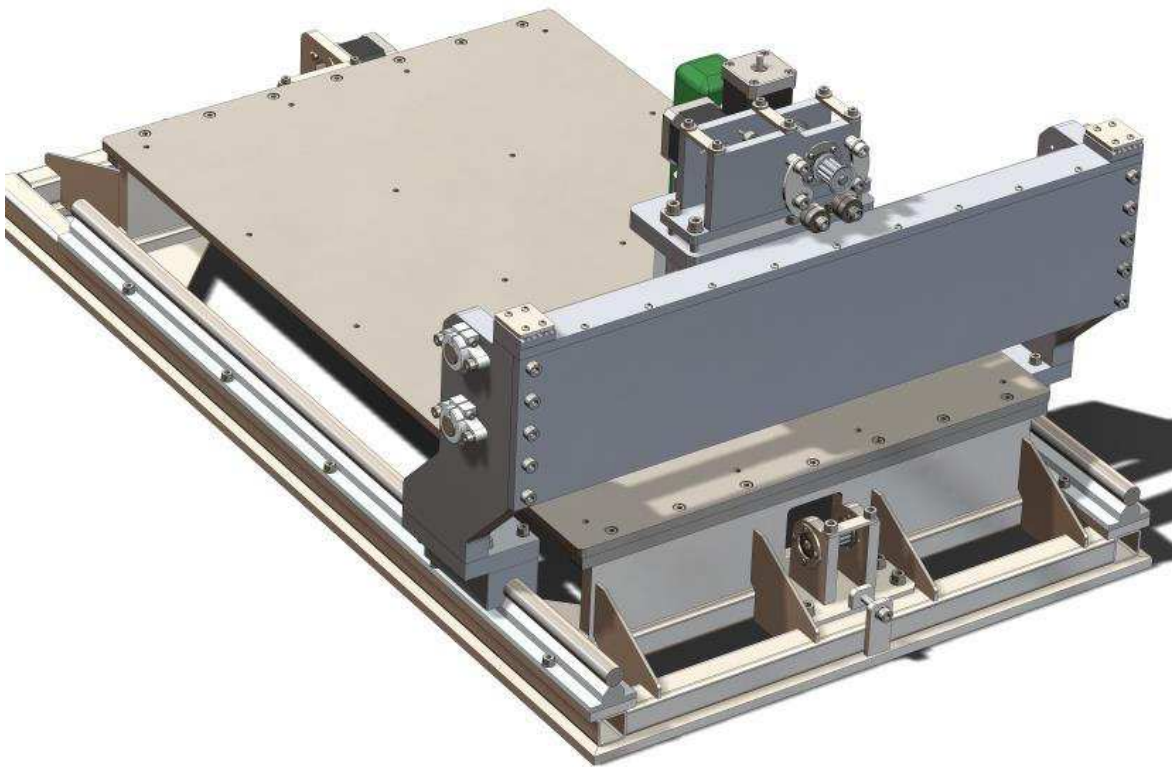
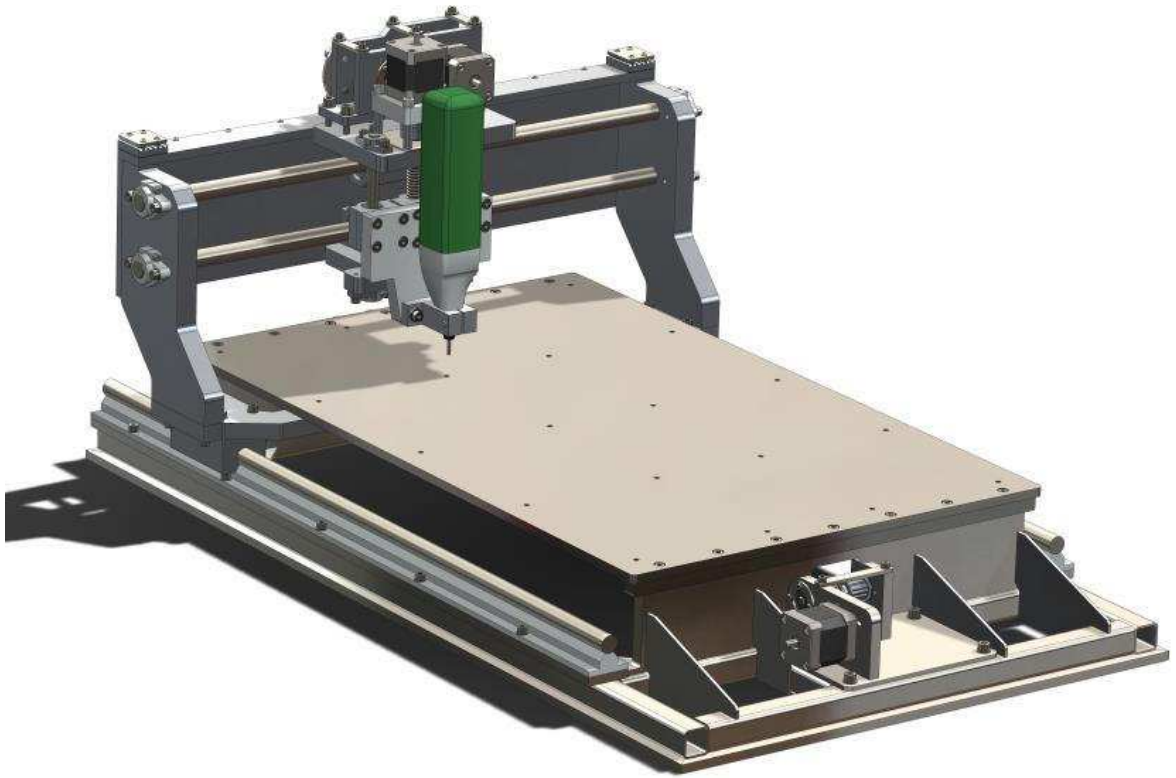
Příloha č. 3 (volná) – Sestava spodní části rámu: KKS-BP-S001

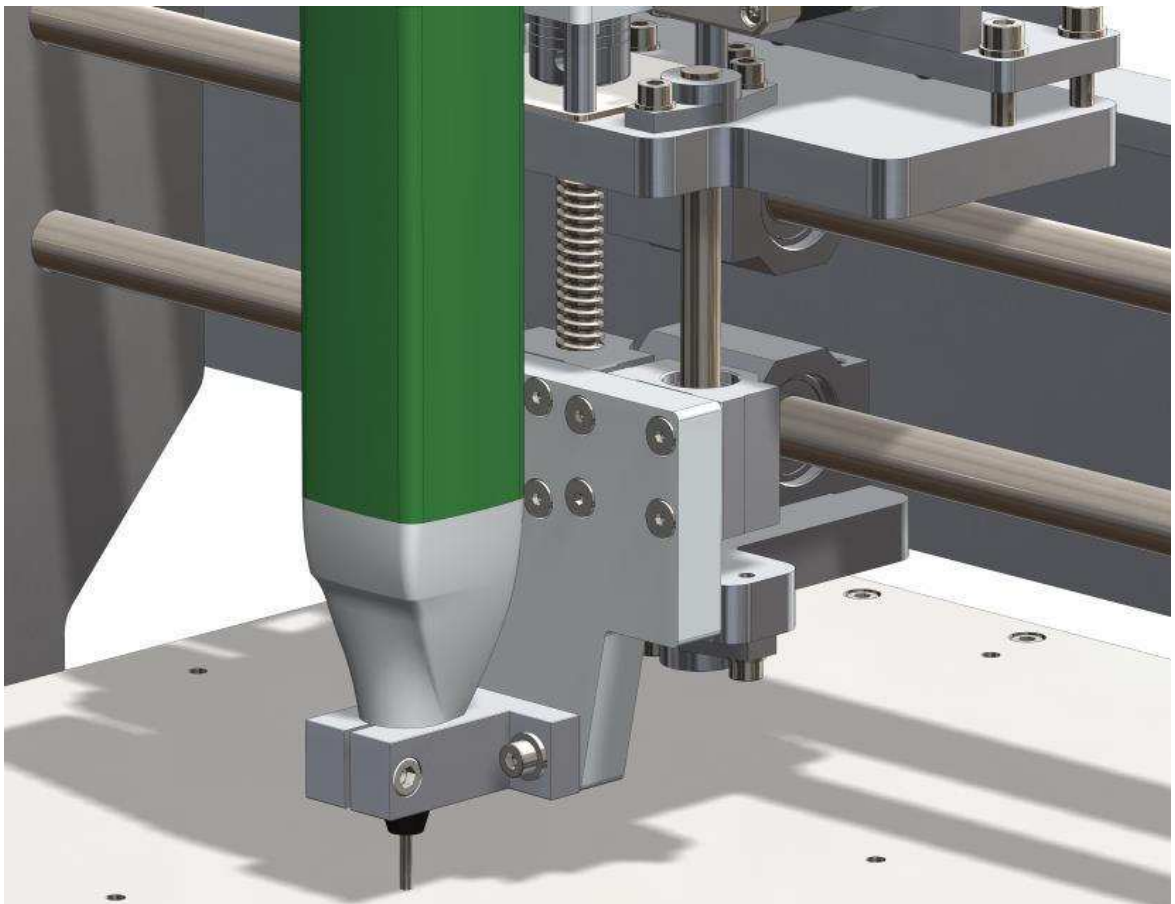
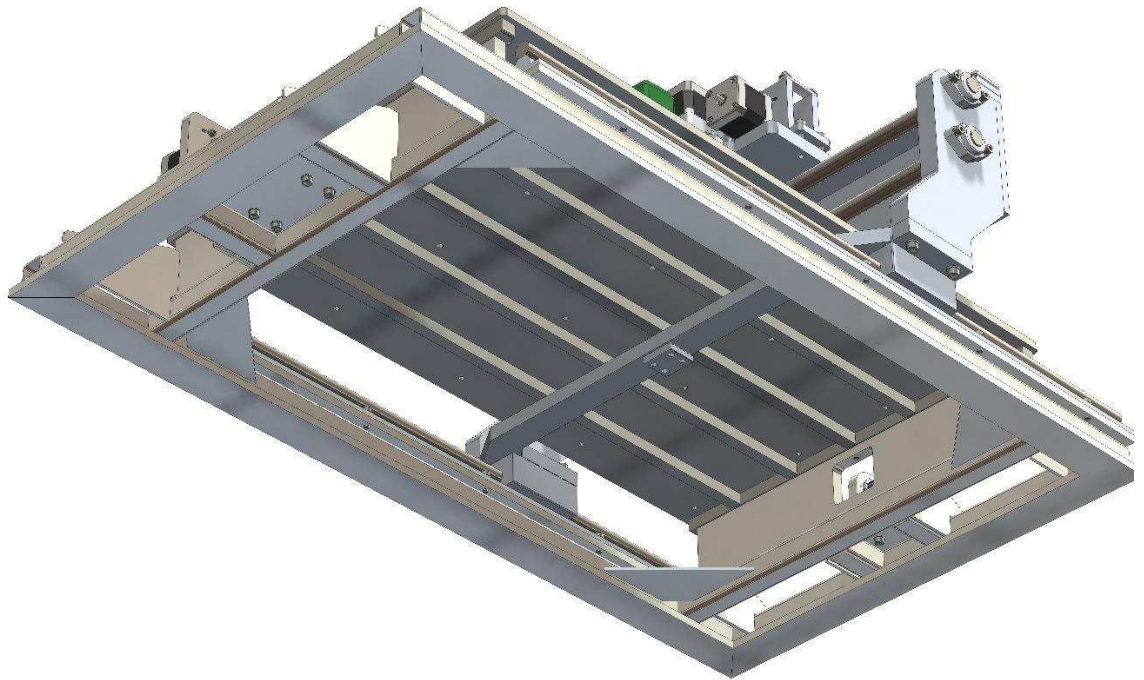
Příloha č. 4 (volná) – Výrobní výkres základního rámu: KKS-BP-D001

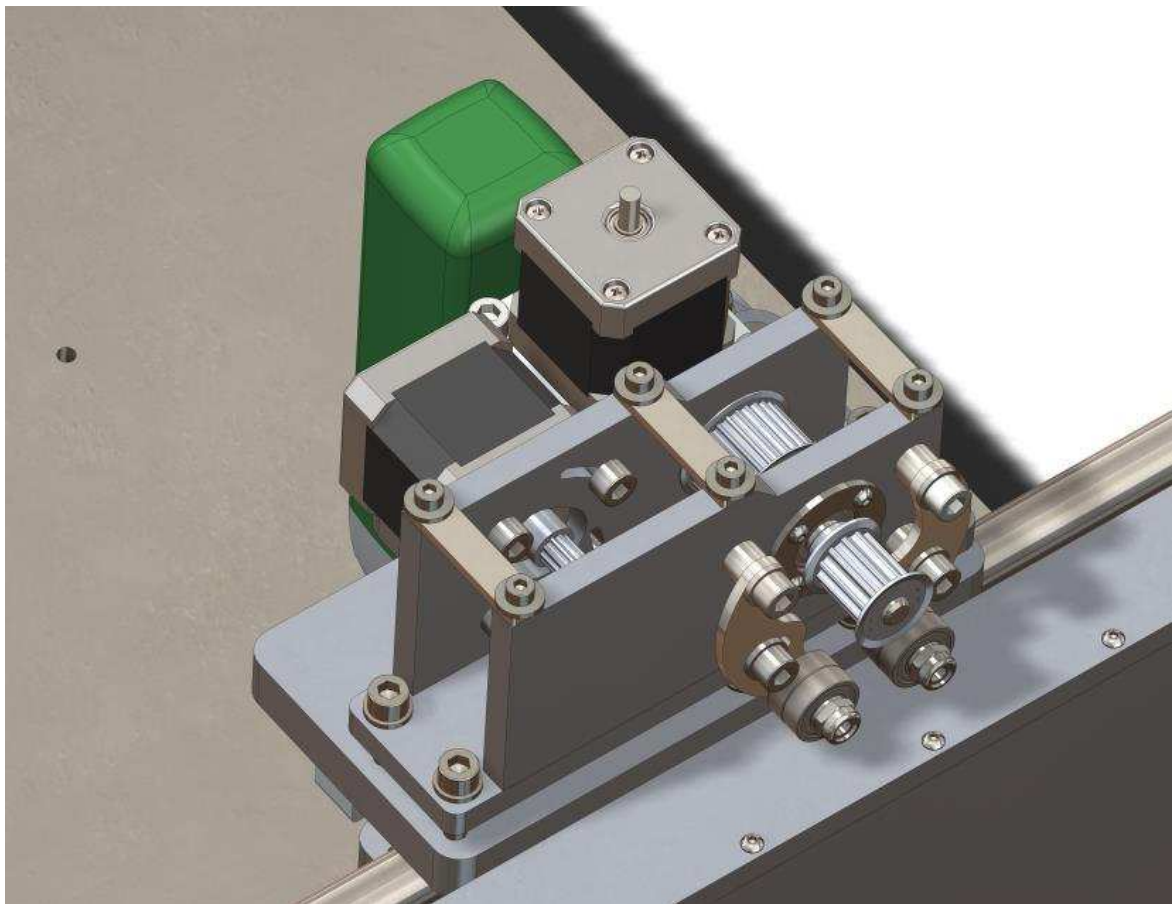
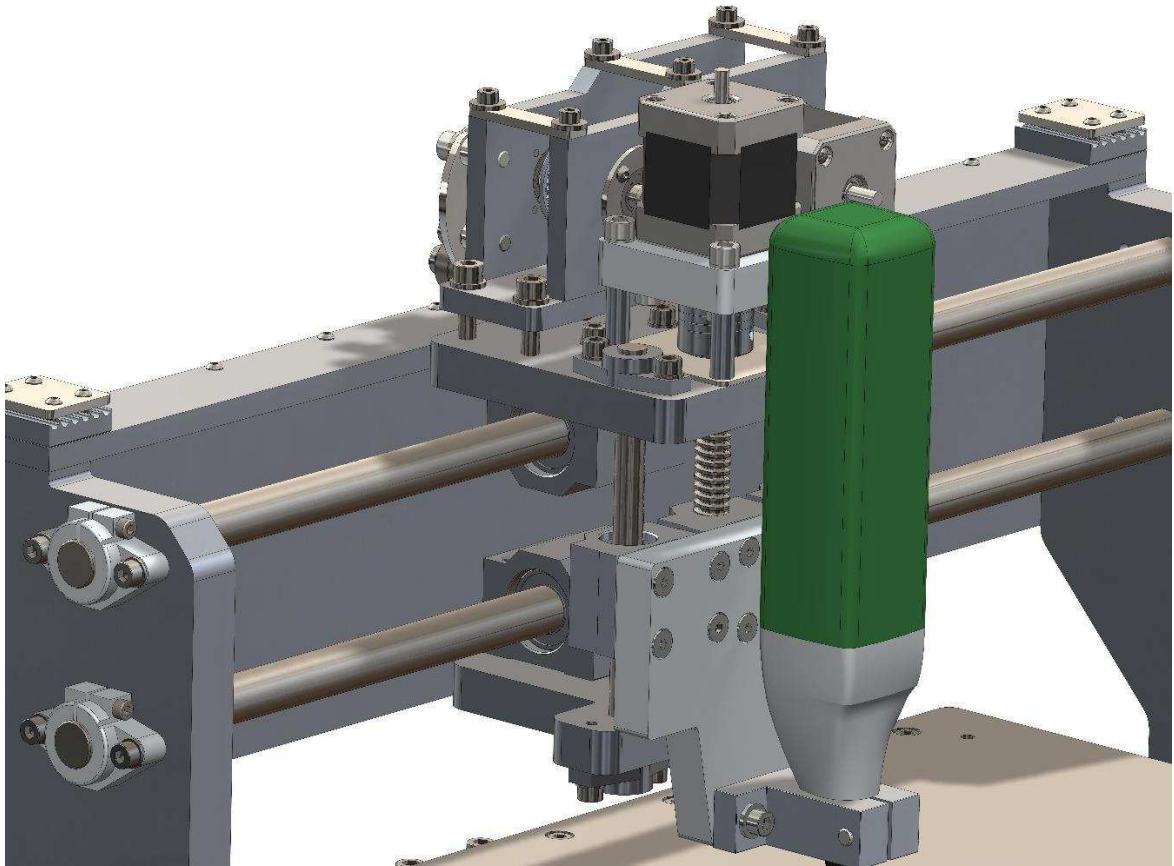
Příloha č. 5 (volná) – Výrobní výkres pracovní desky: KKS-BP-D002

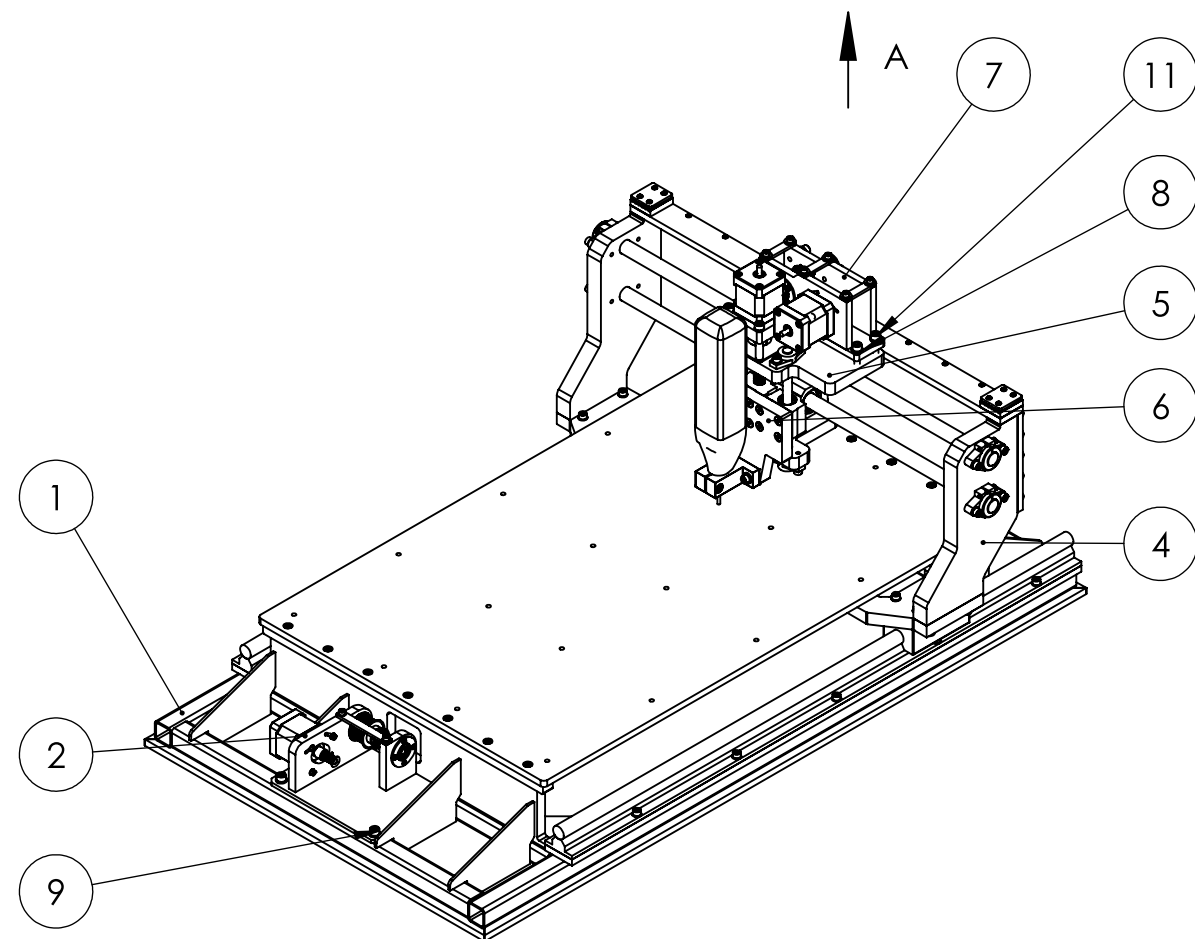
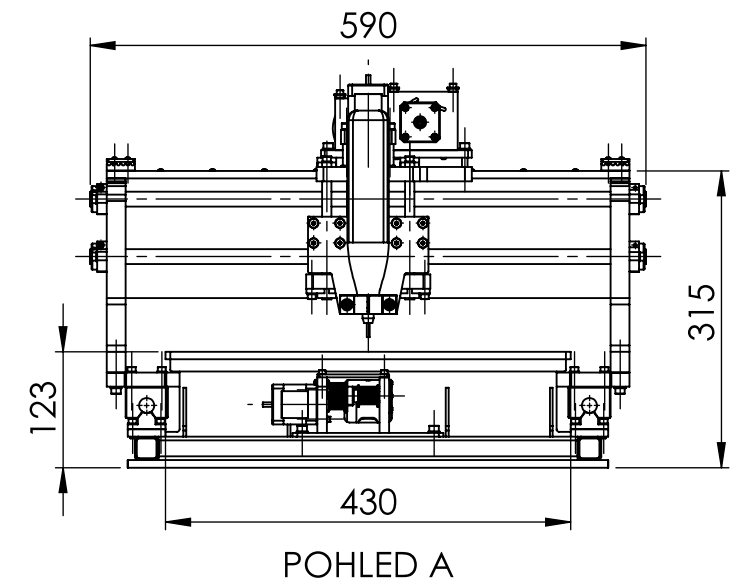
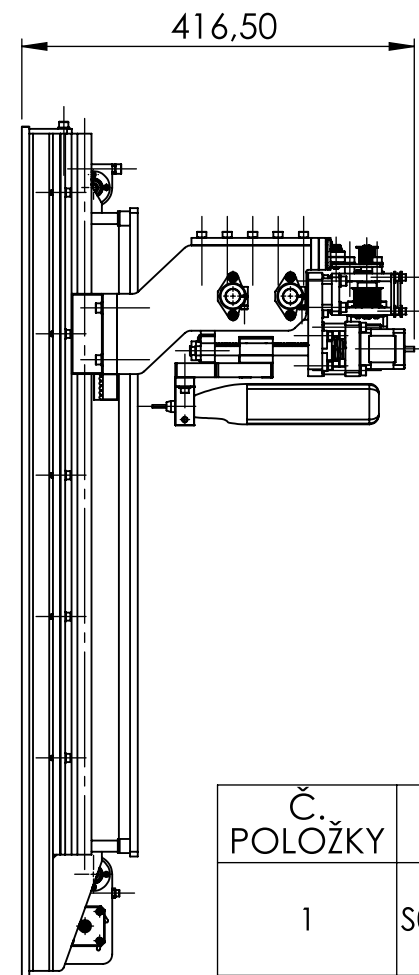
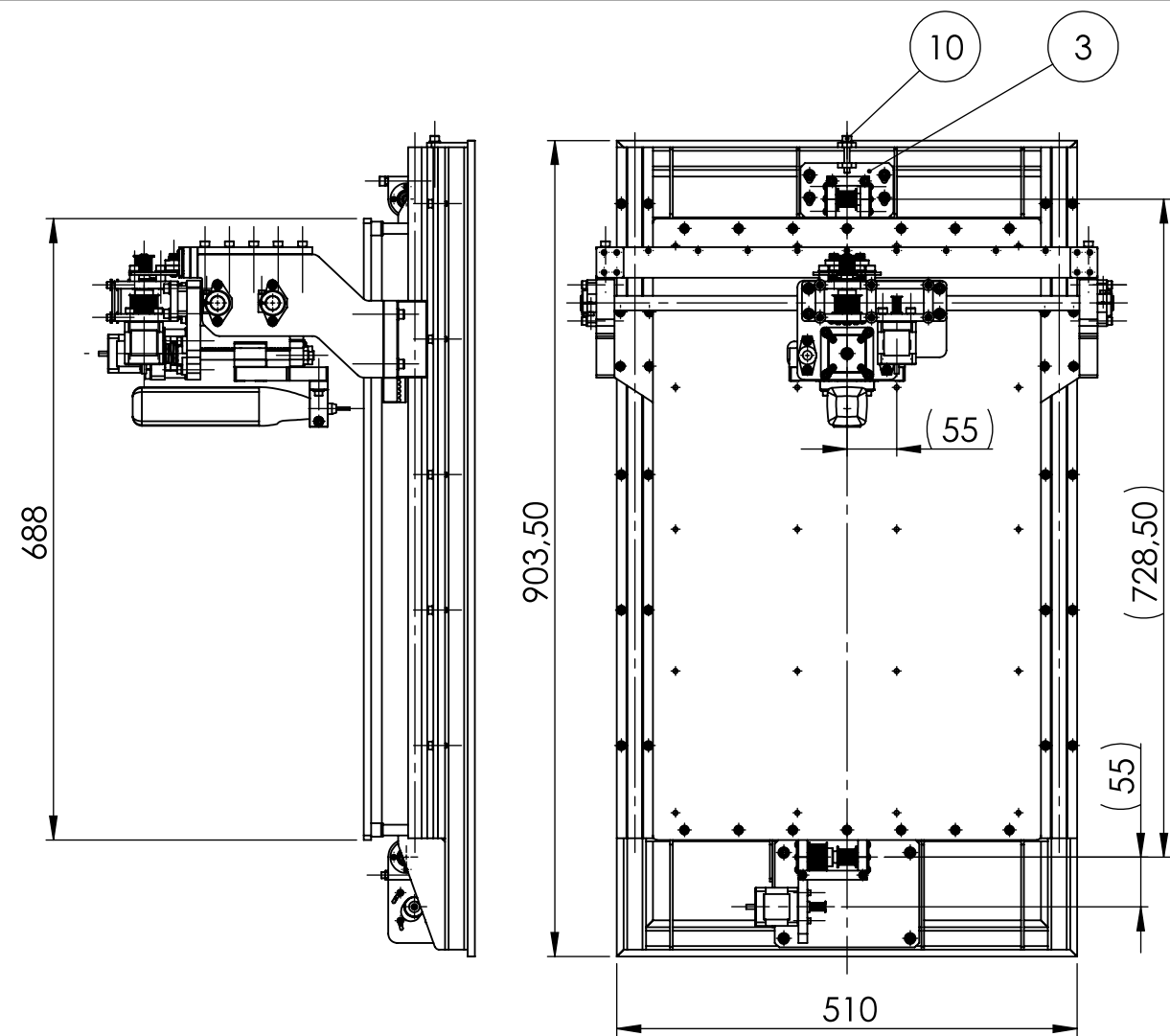
PŘÍLOHA č. 1

CAD model navržené CNC stolní frézky





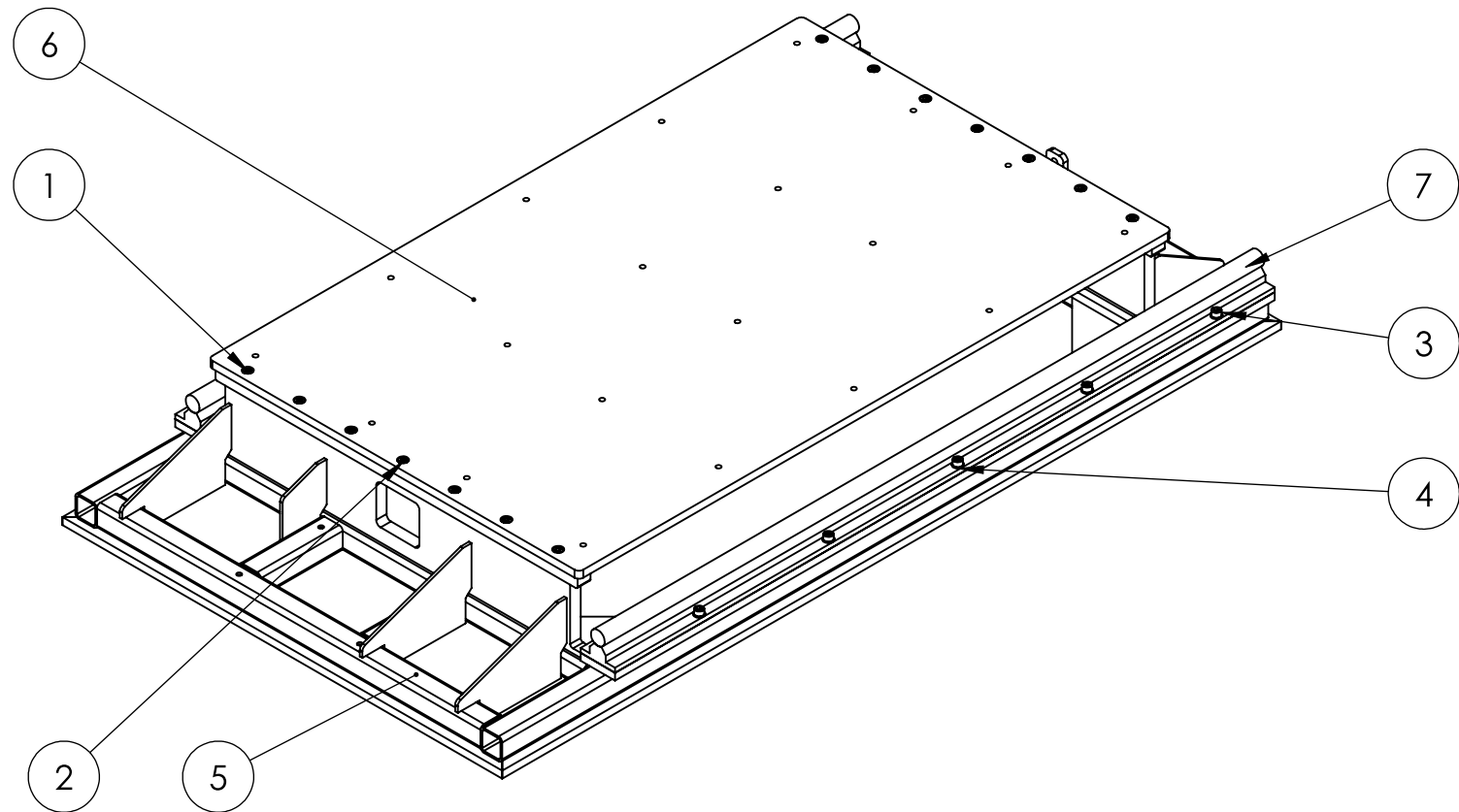
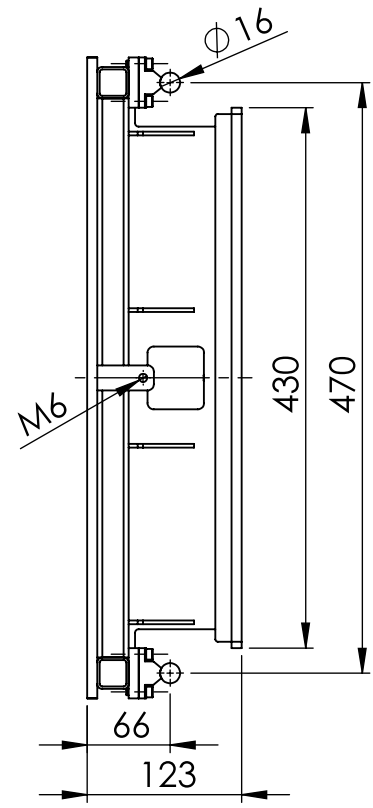
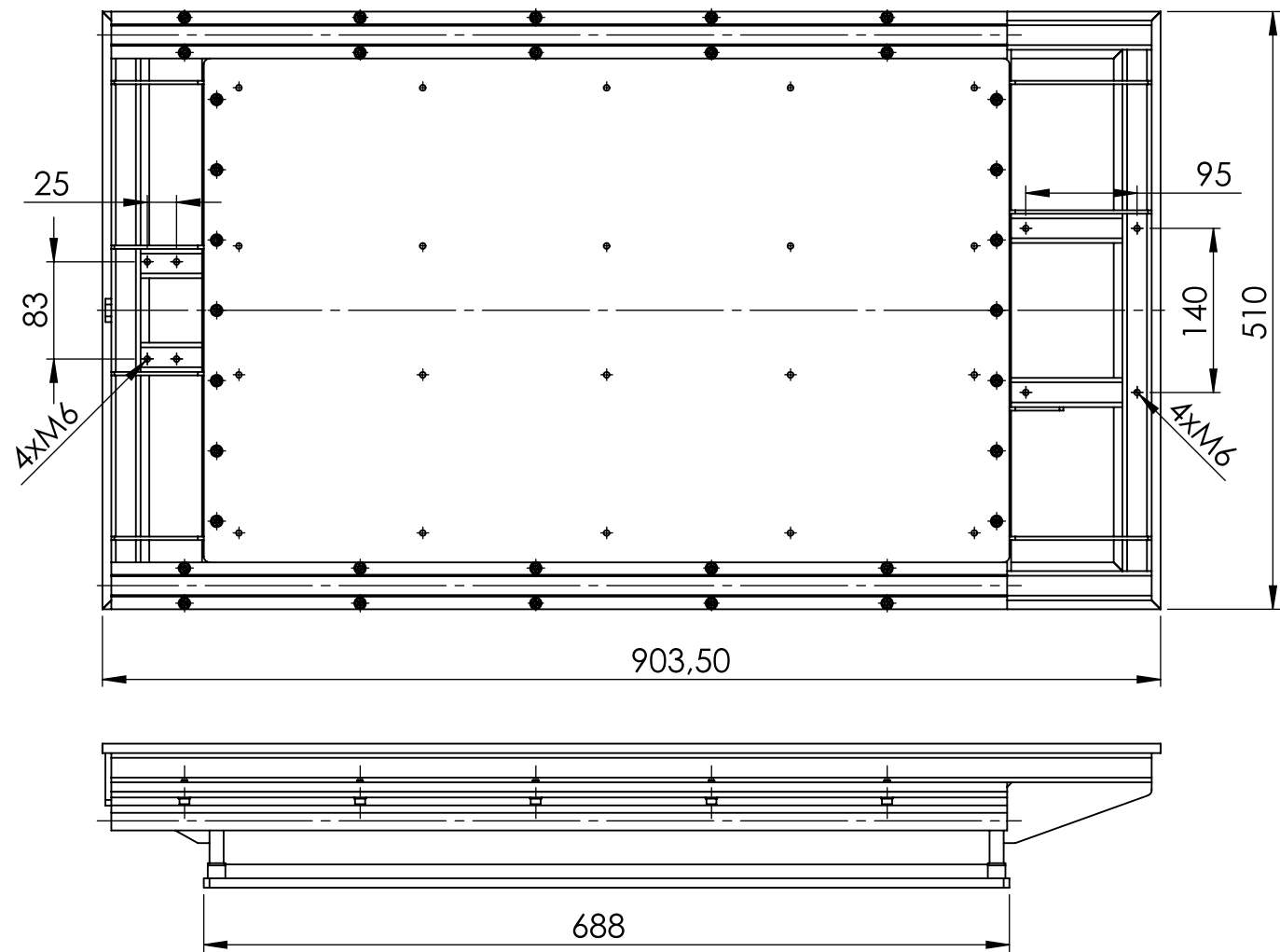




Č. POLOŽKY	Č. DÍLU	POPIS	Množství
1	S001 SPODNÍ ČÁST	sestava č. KKS-BP-S001	1
2	S002 POHON POSUVU OSA X	sestava č. KKS-BP-S002	1
3	S003 ZPĚTNÁ KLADKA POSUVU OSA X	sestava č. KKS-BP-S003	1
4	S004 PORTÁL	sestava č. KKS-BP-S004	1
5	S006 VOZÍK OSY Y	sestava č. KKS-BP-S006	1
6	S007 VOZÍK OSY Z	sestava č. KKS-BP-S007	1
7	S005 POHON POSUVU OSA Y	sestava č. KKS-BP-S005	1
8	Washer ISO 7089 - 6	nakupovaný díl	13
9	ISO 4762 M6 x 10 - 10N	nakupovaný díl	8
10	ISO 4762 M6 x 35 - 24N	nakupovaný díl	1
11	ISO 4762 M6 x 30 - 30N	nakupovaný díl	4

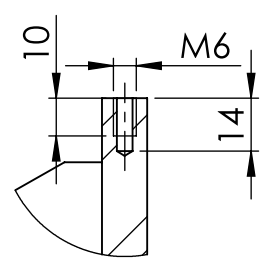
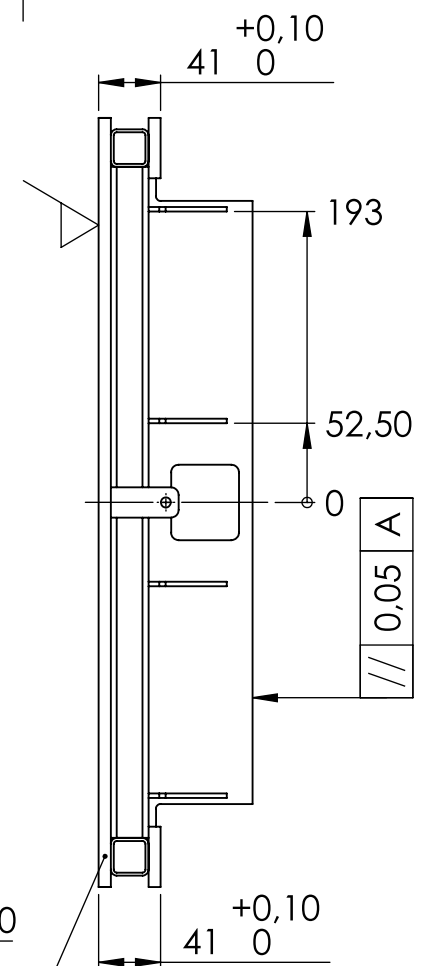
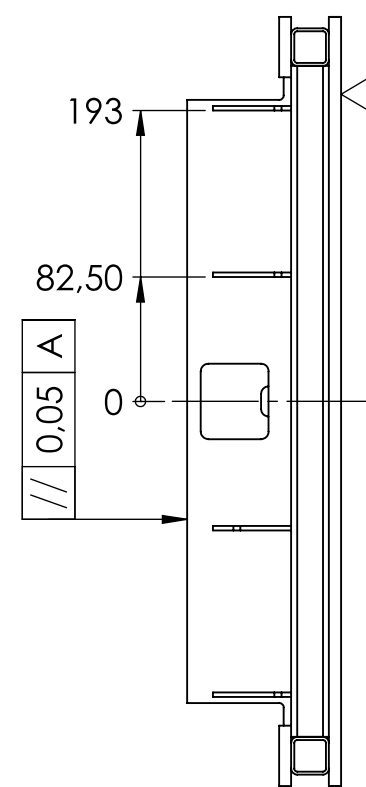
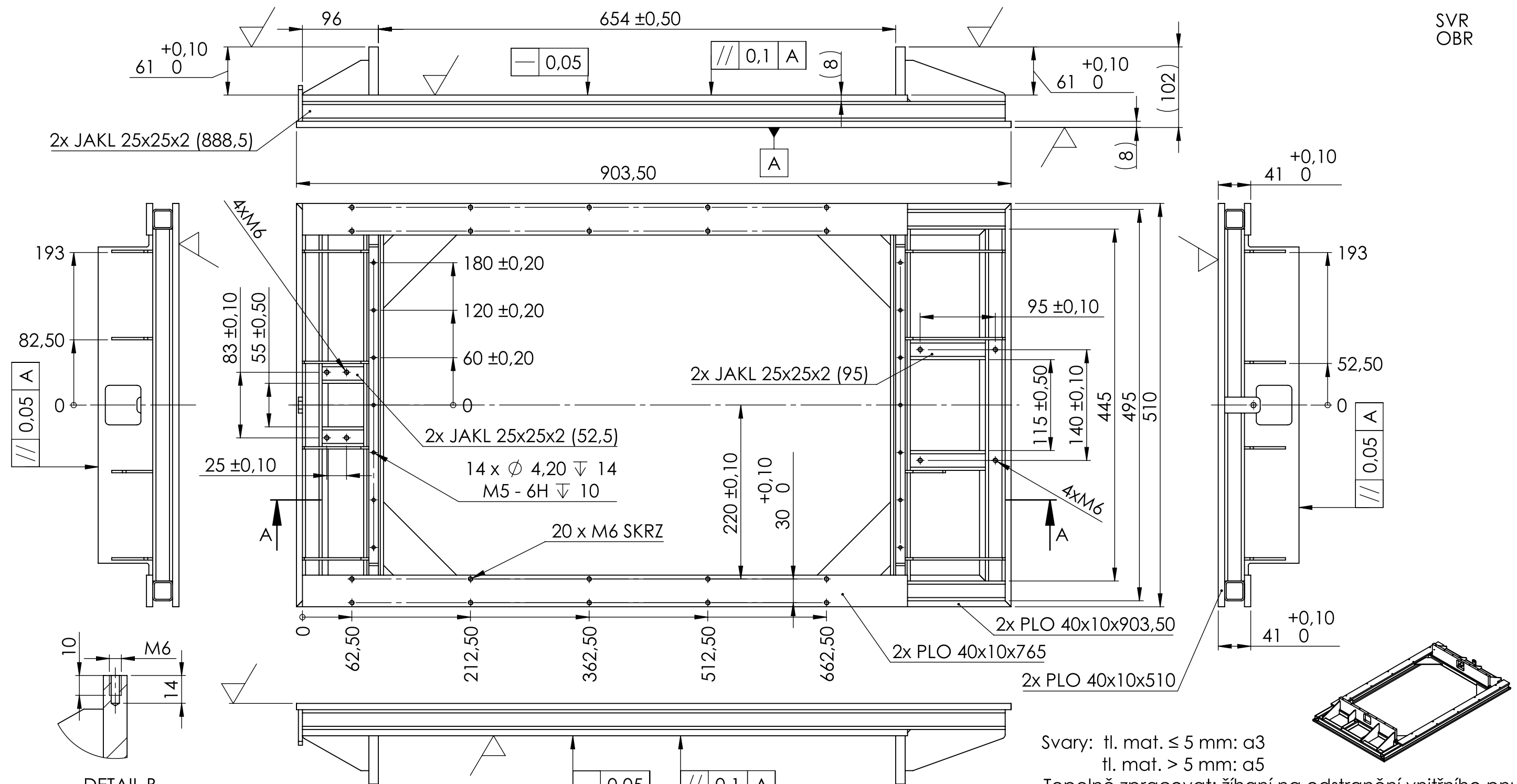
Měřítko	1:8	Hmotnost (kg)	67,261	Promítání		Formát	A3
---------	-----	---------------	--------	-----------	--	--------	----

	Kreslil	Stanislav Strnad	Název	Sestava CNC frézky
	Datum	20.03.2017	Číslo dokumentu	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil			
	Datum			
Druh dokumentu			VÝKRES SESTAVY	

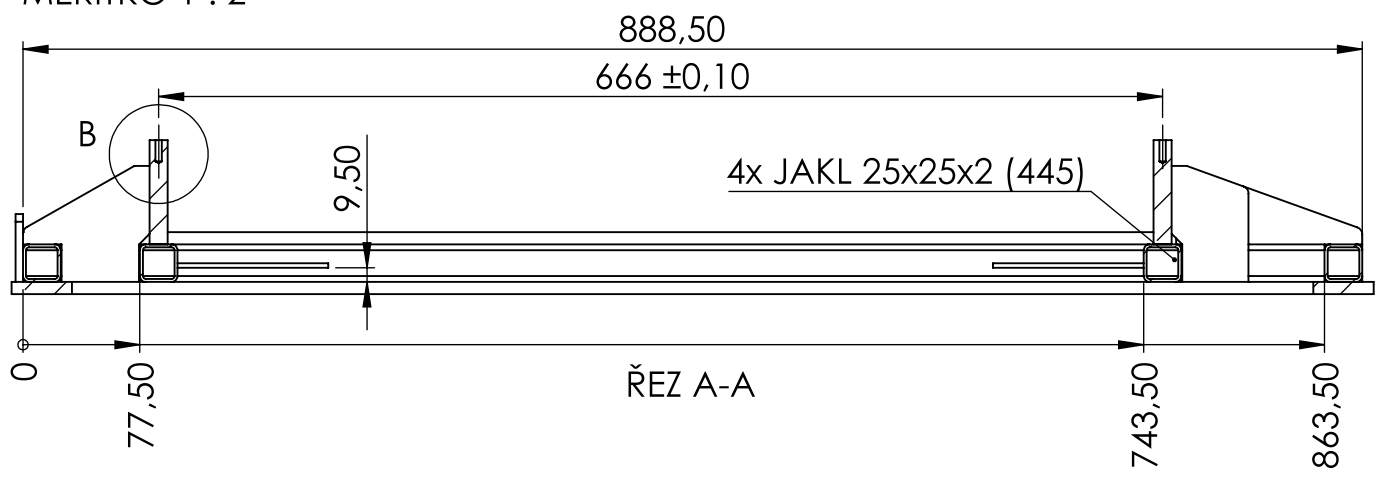


Č. POLOŽKY	Č. DÍLU	POPIS	Množství
1	ISO 4762 M5 x 30 - 22N	nakupovaný díl	12
2	ISO 4762 M5 x 25 - 25N	nakupovaný díl	2
3	ISO 4762 M5 x 16 - 16N	nakupovaný díl	20
4	Washer ISO 7089 - 5	nakupovaný díl	20
5	D001 SVAŘENEC RÁMU	výkres č. KKS-BP-D001	1
6	D002 PRACOVNÍ STŮL	výkres č. KKS-BP-D002	1
7	SBR-16 PODEPŘENÁ TYČ	nakupovaný díl	2

Měřítko	1:5	Hmotnost (kg)	52,313	Promítání		Formát	A3
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	Stanislav Strnad		Název			
	Datum	20.03.2017		Spodní část rámu			
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil			Číslo dokumentu			
	Datum			KKS-BP-S001			
Druh dokumentu				VÝKRES SESTAVY			



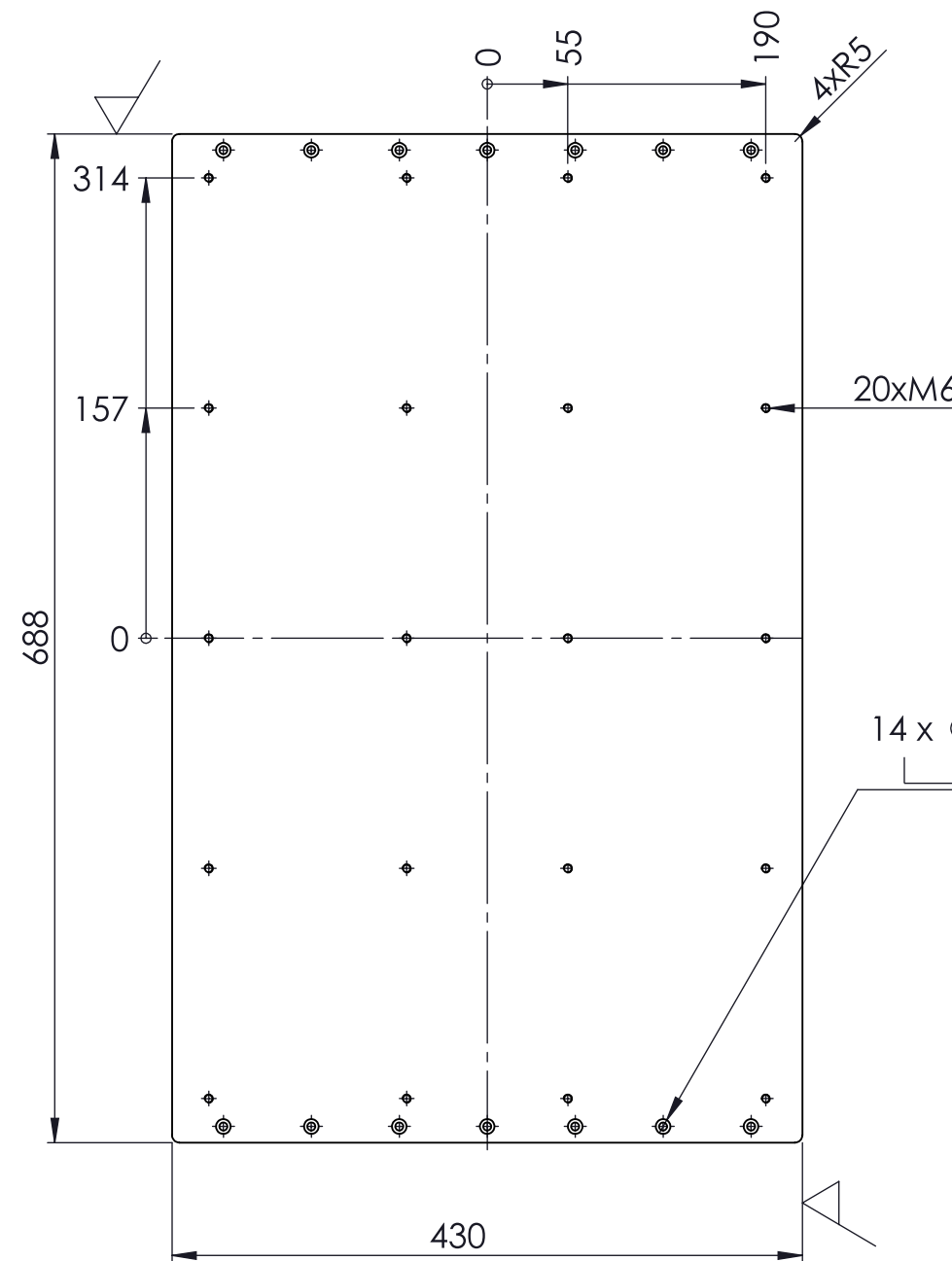
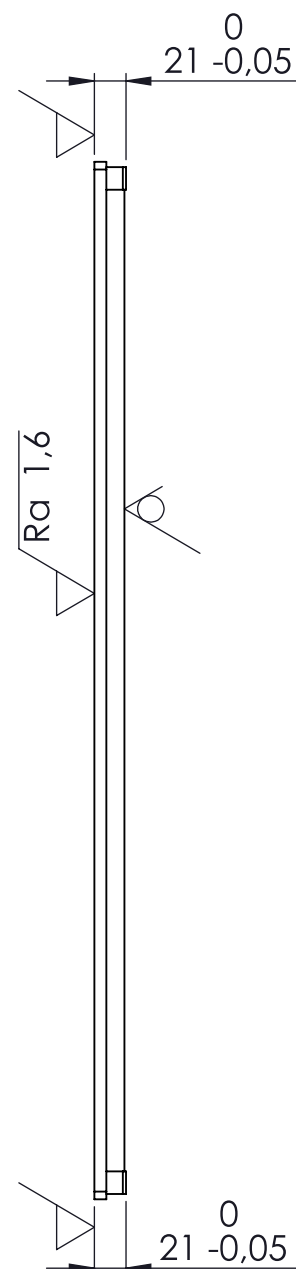
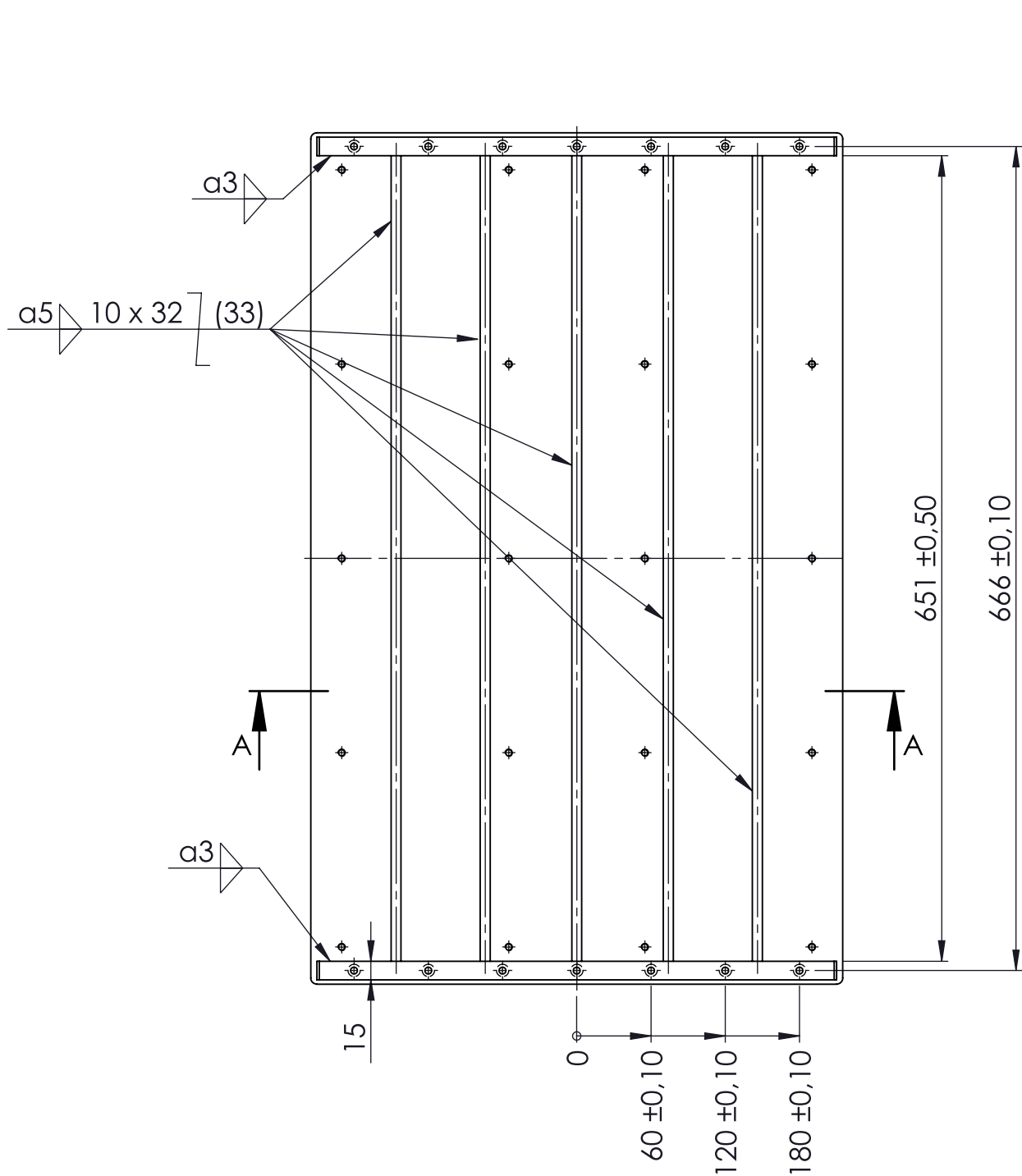
DETAIL B
MÉRITKO 1 : 2



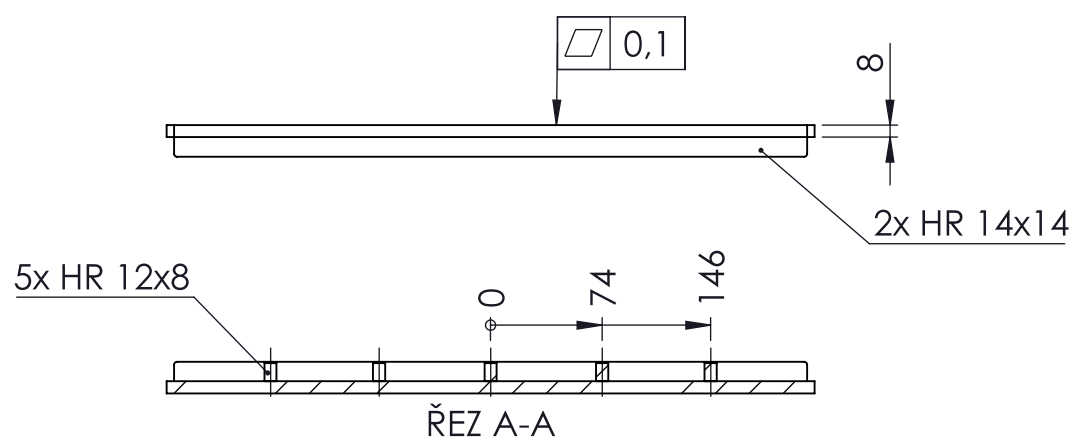
ŘEZ A-A

Svary: tl. mat. ≤ 5 mm: a3
tl. mat. > 5 mm: a5
Tepelně zpracovat: žíhání na odstranění vnitřního prnutí

Textura povrchu $\sqrt{Ra\ 3,2}$	Hrany ISO 13715 -0,5 / +0,5	Měřitko 1:5	Přesnost ISO 2768 - mK
Materiál - Polotovár 1.0037 (S235JR)	Svařenec	Hmotnost (kg) 21,823	Tolerování ISO 8015
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil: Stanislav Strnad Datum: 22.02.2017	Formát A3	Promítání
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil Datum	Název Spodní část rámu	Číslo dokumentu KKS-BP-D001
	Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES		



14 x ϕ 5,50 SKRZ VŠE
 \square ϕ 10 ∇ 5,40



Tepleně zpracovat: žihání na odstranění vnitřního prnutí

Textura povrchu ∇ Ra 3,2 (✓)	Hrany ISO 13715 -0,5 -0,5	Měřítko 1:5	Přesnost ISO 2768 - mK
Materiál - Polotovár 1.0037 (S235JR)		Hmotnost (kg) 23,281	Tolerování ISO 8015
			Promítání \square \oplus

Formát A3	
---------------------	--

FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil: Stanislav Strnad	Název Pracovní stůl
	Datum: 20.02.2017	Číslo dokumentu KKS-BP-D002
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil	
	Datum	
	Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	