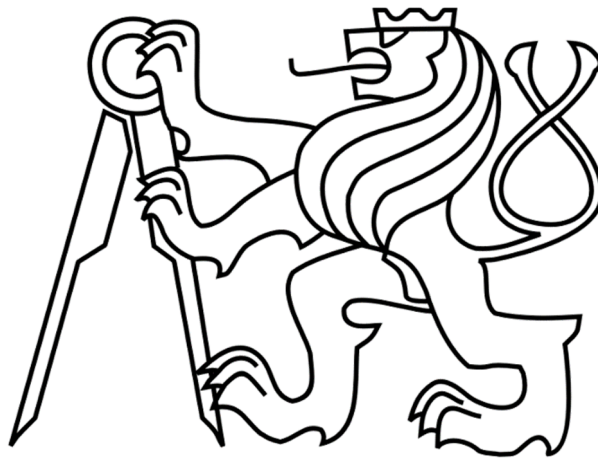


FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Diplomová práce

Výukový CNC obráběcí stroj



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 15.6.2015

.....

podpis

## Anotace

<b>Autor:</b>	Václav Zábanský
<b>Název DP:</b>	Výukový CNC obráběcí stroj
<b>Rozsah práce:</b>	97 str., 87 obr., 36 tab., 1 příloha
<b>Školní rok vyhotovení:</b>	2015
<b>Škola:</b>	ČVUT, Fakulta strojní
<b>Ústav:</b>	Ú 12135 Ústav výrobních strojů a zařízení
<b>Vedoucí DP:</b>	Ing. Petr Vavruška, Ph.D.
<b>Konzultant:</b>	Ing. Ivan Diviš
<b>Zadavatel:</b>	Univerzita v Českých Budějovicích
<b>Využití:</b>	Konstrukce levných CNC obráběcích strojů
<b>Klíčová slova:</b>	CNC, konstrukce, obrábění, řízení
<b>Anotace:</b>	Tato práce mapuje zastoupení levných obráběcích strojů na Evropském trhu. Zabývá se rozbohem použití vhodné koncepce a konstrukce stroje pro využití jako výukového prostředku NC programování. Rozpracovává jednu variantu do konkrétního konstrukčního návrhu včetně výrobní dokumentace a montážního postupu. Zkoumá vhodnost použití zvolených konstrukčních prvků s ohledem na jejich tuhost a cenu. Výsledný návrh je včetně elektrického zapojení a kalkulace ceny stroje.



## Annotation

<b>Author:</b>	Václav Zábanský
<b>Title of Diploma Thesis:</b>	An Education CNC Machine tool
<b>Extent:</b>	97 p., 87 fig., 36 tab., 1 ad.,
<b>Academic Year:</b>	2015
<b>University:</b>	ČVUT, Faculty of Mechanical Engineering
<b>Department:</b>	Ú 12135 Department of Production Machines and Equipment
<b>Supervisor:</b>	Ing. Petr Vavruška, Ph.D.
<b>Consultant:</b>	Ing. Ivan Diviš
<b>Submitter of the Theme:</b>	University of South Bohemia
<b>Application:</b>	Design of inexpensive CNC machine tools.
<b>Key Words:</b>	CNC, design, machining, control
<b>Annotation:</b>	<p>This diploma thesis contains overview of cheap machine tools at the European market. It focus on analyzing a suitable conception and construction of machines for use as an educational instrument for NC programming. Develops one variant in a specific construction design including manufacturing documentation and assembly process. This work investigates the suitability of selected structural elements with regard to their rigidity and cost. The resulting concept includes wiring and price calculation.</p>

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat všem, kteří mi poskytli informace vedoucí k napsání diplomové práce ať formou konzultací nebo poskytnutím podkladů důležitých pro napsání jednotlivých kapitol. Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Vavruškovi, Ph.D.



## Obsah

Seznam použitých zkratk.....	10
Seznam použitých veličin .....	10
Úvod .....	13
1. Metodika řešení .....	14
2. Stav řešené problematiky.....	15
2.1. MERKUR.....	15
2.2. Čínský výrobce.....	16
2.3. Numco.....	21
2.4. Proxxon .....	24
2.5. CNC Technik Heiz.....	25
2.6. Gravos.....	26
2.7. Srovnání nejvhodnějších modelů strojů.....	28
2.8. Nároky na bezpečnost.....	29
2.9. Používané řídicí systémy.....	30
2.10. Poznatky z rešerše.....	32
3. Návrh řešení stroje a výběr variant.....	34
3.1. Návrh N1 .....	34
3.2. Návrh N2 .....	35
3.3. Návrh N3 .....	36
3.4. Výběr varianty .....	36
3.5. Popis vybrané varianty .....	38
4. Návrhové výpočty .....	39
4.1. Volba vřetene .....	39
4.2. Návrh pohonu kuličkového šroubu .....	44
5. Kontrolní výpočty .....	52
5.1. Nepodepřené tyče .....	52
5.2. Portál stroje .....	54
5.3. Pracovní stůl.....	64
5.4. Lineární vedení.....	66
6. Nesení os a ergonomie.....	71

6.1. Umístění vedení .....	71
6.2. Ergonomie .....	75
7. Řízení .....	77
7.1. Řízení vřetena .....	78
7.2. Volba zdrojů: .....	78
7.3. Motory .....	79
7.4. Bezpečnostní prvky .....	81
8. Náklady na realizaci a montáž .....	83
Závěr .....	87
Seznam použité literatury .....	88
Seznam obrázků .....	91
Seznam tabulek .....	94
Seznam příloh .....	95

## Seznam použitých zkratk

CNC	Computer numeric control
NC	Numeric control
PC	Personal computer
DC	Direct current
PLC	Programmable logic control
HW	Hardware
PWM	Pulse wide modulation

## Seznam použitých veličin

$a$	zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
$a_e$	pracovní záběr	[mm]
$a_p$	hloubka záběru	[mm]
$b, h$	rozměr	[mm]
$C$	dynamická únosnost	[N]
$C_o$	statická únosnost	[N]
$d, D$	průměr nástroje	[mm]
$d_0$	průměr kuličkového šroubu	[mm]
$d_{max}$	maximální průměr nástroje	[mm]
$d_{p1}, d_{p2}, d_{pi}$	průměr	[mm]
$E, E_i$	modul pružnosti	[MPa]
$E_{kred(c)}, E_{kred(1)}$	kinetická energie	[J]
$f$	deformace	[mm]
$F_{(a)max}$	maximální osová síla	[N]
$F_{(a)p}$	osová síla	[N]
$F, F_c, F_i, F_g, F_{s1}, F_{s2}, F_{v1}, F_{v2}, F_{p1}, F_{p2}, F_{z5}$	síla	[N]
$f_h, f_t, f_c, f_w$	faktory ovlivňující životnost ložiska	[-]
$f_{min}, V_f$	minutový posuv	[mm/min]
$f_r$	frekvence	[Hz]
$f_{rmax}$	maximální frekvence	[Hz]
$f_{stat}$	faktor statické bezpečnosti	[-]
$f_v, f_n$	konstanty uložení kuličkového šroubu	[-]
$f_z$	posuv na zub	[mm]
$F_z$	řezná síla	[N]
$g$	gravitační zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
$h_m$	průměrná tloušťka třísky	[mm]
$h_{max}$	maximální tloušťka třísky	[mm]
$I$	proud	[A]
$I_i, I$	moment setrvačnosti	[cm <sup>4</sup> ]
$I_{red(1)}$	redukovaný moment setrvačnosti	[kg/mm <sup>2</sup> ]

$I_x$	moment setrvačnosti k ose X	$[\text{cm}^4]$
$I_y$	moment setrvačnosti k ose Y	$[\text{cm}^4]$
J	moment setrvačnosti	$[\text{mm}^4]$
$J_{p1}, J_{p2}, J_{pi}$	polární kvadratický moment	$[\text{mm}^4]$
$J_{\dot{s}1}, J_{sp}, J_{ev}, J_m$	moment setrvačnosti	$[\text{kg} \cdot \text{mm}^2]$
$J_x$	moment setrvačnosti k ose X	$[\text{mm}^4]$
$K_c$	měrná řezná síla	$[\text{N}/\text{mm}^2]$
$K_c, K_{c1}$	měrný řezný odpor	$[\text{N}/\text{mm}^2]$
$L, L_8$	délka	$[\text{mm}]$
$l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l$	vzdálenost	$[\text{mm}]$
$L_i$	délka	$[\text{mm}]$
$l_{kd}$	vzdálenost	$[\text{mm}]$
$L_{lož}$	životnost ložiska	$[\text{m}]$
$L_{rok}$	životnost ložiska	$[\text{Rok}]$
$m, m_1, m_s, m_{sv}, m_0, m_2, m_3$	hmotnost	$[\text{kg}]$
$m_c$	exponent nárůstu měrné řezné síly	$[-]$
$M_k, M_{ks}, M_{m(a)}$	krouťící moment	$[\text{Nm}]$
$m_m$	měrná hmotnost	$[\text{kg}/\text{m}]$
$M_{o(x)}, M_{oi(x)}$	průběh ohybového momentu	$[-]$
$m_{o(x)}, m_{oi(x)}$	průběh ohybového momentu	$[-]$
$m_p$	hmotnost portálu	$[\text{kg}]$
$m_z$	hmotnost osy Z	$[\text{kg}]$
$n$	otáčky vřetene	$[\text{min}^{-1}]$
$n_{driver}, n_{imp}$	počet pulsů na otáčku	$[\text{ot}^{-1}]$
$n_{kr}$	kritické otáčky kuličkového šroubu	$[\text{ot}/\text{min}]$
$n_{max}$	maximální otáčky	$[\text{min}^{-1}]$
$n_{ot}$	počet otočení o $360^\circ$	$[-]$
$n_{\dot{s}}, n_{\dot{s}(p)}$	otáčky kuličkového šroubu	$[\text{ot}/\text{min}]$
$P$	výkon	$[\text{kW}]$
$P_l$	zatížení ložiska	$[\text{N}]$
$P_M, P_V, P_{ost}, P$	příkon	$[\text{W}]$
$\rho_s$	polohovací přesnost	$[\text{mm}]$
$\rho_{smax}$	maximální polohovací přesnost	$[\text{mm}]$
$q$	převod šroubu	$[\text{rad}/\text{m}]$
$Q_{kv}$	kritická osová síla	$[\text{N}]$
$R, S$	reakce	$[\text{N}]$
$r, s$	reakce	$[\text{N}]$
$R_m$	pevnost v tahu	$[\text{MPa}]$
$s$	stoupání kuličkového šroubu	$[\text{mm}/\text{ot}]$
$S_t$	průřez třísky	$[\text{mm}^2]$
$S_y$	maximální rozjezd v Y	$[\text{mm}]$
$t, t_{vmax}$	čas	$[\text{s}]$

$T_{\text{prac}}$	pracovní doba	[h/týden]
$U$	napětí	[V]
$v, b, h_1, h_2$	nepřesnosti hliníkových profilů	[mm]
$V_1, V_2$	posun	[mm]
$V_c$	řezná rychlost	[m/min]
$V_f, V_{fg}, V_{fz}, V_{fi}, V_{fz5}$	průhyb	[mm]
$V_{\text{max}}$	maximální rychlost portálu	[mm/min]
$V_{\text{prům}}$	průměrná rychlost	[mm/min]
$V_s, V_v, V_p, V_{\text{celk}}$	posun	[mm]
$V_{\dot{s}}$	rychlost	[mm/min]
$W$	vůle	[mm]
$W_{\text{max}}$	maximální vůle	[mm]
$z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6$	vzdálenost	[mm]
$Z_{\text{ef}}$	efektivní počet zubů	[-]
$\alpha$	úhlové zrychlení	[rad/s <sup>2</sup> ]
$\Delta$	deformace	[mm]
$\rho$	hustota	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\omega_{\dot{s}}, \omega_M$	úhlová rychlost	[rad/s]



## Úvod

Číslicovým řízením stroje se rozumí činnost číslicového počítače pro řízení pohybu nástroje nebo obrobku po dané trajektorii v prostoru nebo v rovině definovanou rychlostí. Podle autora Jiřího Marka lze definovat CNC obráběcí stroj takto: „*CNC obráběcí stroj je obráběcí stroj, který je numericky řízen a konstrukčně uzpůsoben tak, aby pracoval v automatickém cyklu,*“ viz lit. [42]. V dnešní době se lze setkat s různými typy CNC obráběcích strojů. Jejich konstrukce se liší podle účelu a převládajících technologických operací.

Když pomíneme rozdělení podle konstrukčního uspořádání, jako je horizontálně nebo vertikálně umístěné vřeteno nebo jestli se jedná o soustruh nebo o frézku a zaměříme se na rozdělení podle druhu výroby, můžeme stroje rozdělit na produkční a hobby stroje. Produkční stroje jsou vhodné pro sériovou výrobu a jsou konstruovány s ohledem na vysokou tuhost a přesnost. Podle velikosti mohou být stroje tzv. těžké a lehké. Autor Ing. Lubomír Novotný, Ph.D. v publikaci profesora Jiřího Marka definoval těžké CNC stroje takto: „*Těžké CNC obráběcí stroje jsou velké stroje pro obrábění rozměrných a hmotných dílů, přičemž rozměry a hmotnosti samotných strojů jsou velké, ale nejsou striktně vymezené,*“ viz lit.[47]. Obrobky jsou nejčastěji kovové a hůře obrobitelné materiály. Obdobně by bylo možné definovat lehké stroje, tedy stroje pro obrábění malých dílů, přičemž rozměry a hmotnosti samotných dílů stroje jsou malé, ale nejsou striktně vymezené. Obrobky jsou nejčastěji lehké kovy.

Kategorie hobby strojů nebo také modelářské obráběcí stroje nejsou na rozdíl od produkčních strojů určeny pro sériovou výrobu, ale pro výrobu prototypů z materiálů jako je umělé dřevo, plast nebo hliník. U těchto hobby strojů je primární nízká cena a dostupnost na úkor tuhosti a přesnosti. Je ale žádoucí, aby stroj byl univerzální a dokázal obrobit nejrůznější tvary podle představ majitele. Nejčastěji se proto jedná o frézky s třemi řízenými osami, které mají více výrobních možností než soustruhy a lze je snadno rozšířit nejčastěji na čtyř-osé přidáním rotačního stolu. Pracovní prostor produkčního a hobby stroje se nemusí lišit, celková velikost hobby stroje je však podstatně menší vzhledem k nižším požadovaným výkonům pohonů, vřetene a celkové tuhosti.

Účelem této práce je návrh CNC obráběcího stroje, který by byl vhodný pro výuku NC programování. Jedná se tedy o stroj patřící do kategorie hobby strojů, který by poskytoval co nejširší výrobní možnosti. Návrh zároveň musí zohledňovat bezpečnost provozu takového zařízení a měl by vycházet z principu konstrukce produkčních CNC strojů i vzhledem k jeho demonstrativní funkci. Stroj by měl mít minimálně tři souvisle řízené strojní osy a v konstrukci by mělo být použito co nejvíce standardizovaných prvků. Předpokladem je použití cenově dostupného řídicího systému. Výstupem práce bude návrh zařízení v podobě výrobní dokumentace, nákladů na realizaci a schéma zapojení vzhledem k použitému řídicímu systému.

---

## 1. Metodika řešení

Nejprve bude provedena rešerše CNC frézovacích strojů do 250 tisíc Kč, které lze běžně koupit. Rešerše bude zaměřena na technické parametry, jako je polohovací přesnost, pracovní rozsah nebo možnosti rozšiřování. Zároveň se bude posuzovat konstrukční stavba, způsob provedení a používané komponenty. Účelem rešerše bude posoudit možnost použití kupovaných strojů s ohledem na možnost jejich rozšiřování. Zároveň by měla vyplynout vhodná konstrukční uspořádání a řešení konstrukčních uzlů vzhledem k velikosti stroje a jeho nízké ceně. Rešerše bude částečně zaměřena i na používané řídicí systémy malých frézovacích strojů a jejich možnosti. V závěru rešerše bude vybrán vhodný řídicí systém pro použití u výukového CNC obráběcího stroje.

Následně budou provedeny návrhy konstrukčního uspořádání stroje, které by vyhovovaly zadání. Návrhy budou řešeny s ohledem na co nejmenší pracnost výroby takového zařízení a využitím co největšího počtu kupovaných dílců. Pomocí více kritériálního rozhodování bude vybrána nejvhodnější varianta řešení. Hlavní kritéria pro rozhodování budou složitost konstrukce, složitost montáže, počet vyráběných dílců a jejich pracnost, složitost krytování a předpokládaná cena.

Poté bude následovat rozpracování vybrané varianty a detailní řešení konstrukčních uzlů a kontrolní výpočty posuzující statickou tuhost a deformace od působících sil. Zároveň bude nutné posuzovat vhodnost použití zvolených konstrukčních prvků. Vše bude posuzováno i z hlediska složitosti následné výroby a montáže. Výběr komponent bude muset být zároveň posuzován i z hlediska jakých funkcí je u stroje žádáno a jaké bezpečnostní prvky by měl mít (elektrické i mechanické). Vše by mělo být spojeno i s možnostmi řídicího systému a celkové ergonomie stroje.

Ke stroji bude vytvořena výrobní dokumentace a montážní postup nejsložitějších částí.

## 2. Stav řešené problematiky

Jako cenový limit za CNC obráběcí stroj byla zvolena částka 250 tis Kč. Dostupné stroje v této kategorii jsou převážně určeny pro obrábění neželezných materiálů. Jedná se o výukové stroje, modelářské frézky, popřípadě stroje pro kusovou výrobu malých dílů ze snadno obrobitelných materiálů. Často se s nimi obrábí i slitiny hliníku, které jsou používanými konstrukčními materiály s výhodami nízké hmotnosti (hustota  $\rho = 2800 \text{ kg/m}^3$ ) - Dural, při poměrně vysoké pevnosti v tahu  $R_m = 460 - 540 \text{ MPa}$ . Při obrábění má tento materiál měrný řezný odpor  $k_c$  až  $900 \text{ N/mm}^2$ , viz např. lit. [13]. Z tohoto údaje a z parametrů obrábění lze určit přibližný výkon vřetena frézky (viz kap 4.1).

Následuje přehledový výčet strojů splňujících zvolené parametry.

### 2.1. MERKUR

Na Obr. 1 můžeme vidět frézku od společnosti Merkur toys s.r.o. Tato firma nabízí obráběcí stroje ve stavebnicovém provedení, vhodné pro školní výuku při obrábění nekovových materiálů i pro modeláře pro výrobu vlastních výrobků. Pro výuku s obráběním kovu je stroj nevhodný, jelikož neobsahuje ochranné krytování.



Obr. 1: MC30F2T (převzato z [1])

Z parametrů v Tab. 1 plyne, že tato frézka je vhodná pro obrábění dílů z hliníku, plastů, dřeva a podobných materiálů. Při udávaném měrném řezném odporu slitin hliníku  $k_c$  až  $900 \text{ N/mm}^2$  (viz kapitola 2.) a s použitím největšího nástroje  $\varnothing 6 \text{ mm}$  se třemi břity, si můžeme teoreticky dovolit obrábět při podmínkách  $f_{min} = 300 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ ,  $a_e = 6 \text{ mm}$  do hloubky třísky  $a_p = 9 \text{ mm}$ . Pokud by to tuhost konstrukce dovolovala. Osy Y a Z jsou uloženy na předepnutém lineárním vedení s kuličkovými vozíky, to je zde výhodou. Nevýhodami jsou malé rozměry stroje, nízký zdvih osy Z a rozsahy posuvu. Dalšími nevýhodami jsou kluzné vedení osy X a předpokládaná nízká tuhost stroje díky sešroubovaným stavebnicovým dílům. Přenos pohybu z pohonů na osy stroje probíhá pomocí trapézových šroubů. Stroj má možnost rozšíření o další příslušenství jako rotační osu pro plně čtyř-osé obrábění.

Tab. 1: Parametry frézky Merkur

Parametr	Hodnota
Rozměry	410x470x500 mm
hmotnost	23 kg
Max. upínací průměr nástroje	6 mm
Pracovní prostor	330x300x110 mm
Průchod pod osou Z	110 mm
Rozsah posuvu - osa X	180 mm
Rozsah posuvu - osa Y	210 mm
Rozsah posuvu - osa Z	90 mm
Přesnost najetí	0,05 mm
Pohon	Krokové motory
Max. rychlost posuvu	5 mm/s
Výkon vřetene	250 W
Otáčky vřetene	900 - 6000 ot/min
Ovládací software	Armote 1.14
Komunikace s PC	RS232
Napájení	24V / 5A DC
Cena s DPH	40200 Kč

## 2.2. Čínský výrobce

Svoji cenovou dostupností jsou známé frézky čínského výrobce. Lze se s nimi setkat ve většině internetových obchodů, zabývajících se prodejem CNC komponent pro modeláře.

### 2.2.1. čtyř-osá modelářská CNC frézka pro gravírování a rytí



Obr. 2: CNC frézka 280x390x55 (převzato z [2])

Na Obr. 2 je modelářská frézka se čtvrtou osou čínské výroby. Z Tab. 2 jsou patrné parametry této frézky, ze kterých vyplývá, že zdvih v ose Z je zde ještě menší, než u frézky Merkur. Výhodou jsou vhodnější valivá vedení na broušených tyčích použitá u všech os a pohon pomocí kuličkových šroubů. Maximální průměr materiálu pro upnutí do rotační osy je 50 mm. Výhodou je i možnost řízení otáček vřetene manuálně. Stroj má integrovaný senzor délky nástroje. Konstrukce je vyrobena z kombinace duralových desek a profilů, které spolu s nízkým portálem budou mít pravděpodobně větší tuhost, než u frézky Merkur. Další výhodou je použití krokových

motorů o rozměru příruby Nema23, které jsou běžné a s kuličkovými šrouby jsou napojeny standardně pomocí pružných spojek. Vřeteno nabízí přírubu typu ER-11, kterou lze osadit kleštinami v rozmezí 1-7 mm.

Upínání materiálu pro opracování je řešeno pomocí T-stolu, toto upínání je u většiny strojů stejné. Čtvrtá osa stroje je řešena rotačním adaptérem s pohonem pomocí krokového motoru s řemenovým převodem 1:3. Řídící jednotka je ovládána z paralelního portu programem Mach3, který je poměrně běžný. Je možné připojit i USB jednotku, spolupracující s programem USB CNC (CNC-USBC-1). Jednotka je postavena na driverech řady THB se špičkovým proudem 3.5 A a trvalým možným zatížením do 3 A.

Tab. 2: Parametry CNC frézky 280x390x55

Parametr	Hodnota
Pracovní plocha X/Y	280x390 mm
Zdvih osy Z	55 mm
Rotační osa	Není v ceně
Vřeteno	300W / 11000 RPM
Skříčidlo ER-11 (1-7 mm)	ER-11 (1-7 mm)
Vedení X/Y/Z	Nepodepřené tyče/ lineární ložiska/ kuličkové šrouby
Řídící software	Mach3
Cena s DPH	55 43 Kč

### 2.2.2. Stolní CNC frézka 400x300x65 mm

Na Obr. 3 je vidět levnější verze předchozího stroje s parametry v Tab. 3.



Obr. 3: CNC frézka 400x300x65 (převzato z [3])



Obr. 4: Deskový profil 8 (převzato z [28])

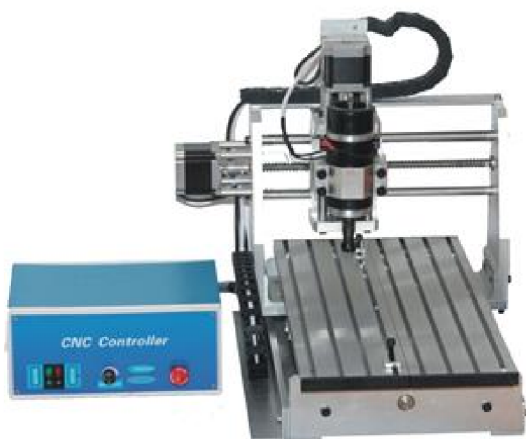
Na Obr. 4 je vidět použití deskových hliníkových profilů na pracovní stůl stroje. Tyto profily nabízí například firma Haberkorn [28]. Výhodou je jejich modularita a možnost snadného zvětšování upínací plochy. Nevýhodou je horší rovinnost takto vytvořeného pracovního stolu.

Tab. 3: Parametry CNC frézky 400x300x65

Parametr	Hodnota
Pracovní plocha X/Y	300x400 mm
Zdvih osy Z	65 mm
Vřeteno	DC 300 W - manuálně řízené
Skříčidlo ER-11 (1-7 mm)	ER-11 (1-7 mm)
Vedení X/Y/Z	Nepodepřené tyče/ trapézové šrouby
Řídící software	Mach3
Cena s DPH	44 58 Kč

### 2.2.3. Malá stolní CNC frézka 300x200x48 mm

Na Obr. 5 je vidět nejlevnější verze z malých frézovacích strojů od čínského výrobce s parametry uvedenými v Tab. 4.



Obr. 5: CNC frézka 300x200x48 mm (převzato z [4])



Obr. 6: Vodící tyče (převzato z [19])



Obr. 7: Valivé hnízdo SMA12 (převzato z [19])

Tab. 4: Parametry CNC frézky 300x200x48 mm

Parametr	Hodnota
Pracovní plocha X/Y	200x300 mm
Zdvih osy Z	48 mm
Rotační osa	Neobsažena
Vřeteno	DC 300 W - manuálně řízené
Skříčidlo ER-11 (1-7 mm)	ER-11 (1-7 mm)
Vedení X/Y/Z	Nepodepřené tyče/ lineární ložiska/ trapézové šrouby
Řídící software	Mach3
Cena s DPH	36 288 Kč

Na Obr. 5 si můžeme všimnout prvků lineárního vedení, které výrobce používá. Těmito prvky jsou vodící tyče (Obr. 6) a valivá hnízda (Obr. 7). Tyto vodící tyče jsou standardně broušené s tolerancí h6 viz [19]. Oběh kuliček ve valivých pouzdrech je řešen v několika oválných drahách. Z Tab. 5 a Tab. 6 plyne, že jsou tyto prvky výhodné svojí nižší cenou oproti vedení, které se používá u produkčních strojů (viz [19]), mají ale při podobných rozměrech až čtyřikrát nižší statickou a dynamickou únosnost a výrazně nižší tuhost.

Tab. 5: Srovnání vozíků vedení

Typ vozíku	Statická únosnost	Dynamická únosnost	Cena s DPH
SMA12	784 N	510 N	240 Kč/ks
MGN12	2900 N	4000 N	790 Kč/ks

Tab. 6: Srovnání cen lineárního vedení

Vedení	Cena s DPH
Vodící tyč W2	330 Kč/m
Kolejnice MGNR12	4600 Kč/m

#### 2.2.4. CNC frézka 400x300 mm

Na Obr. 8 je další stroj čínského původu. Z Tab. 7 je patrné, že se jedná o výkonnější stroj, než předchozí od tohoto výrobce. Zdvih osy Z je zde opět pouze 65 mm a pracovní prostor je srovnatelný. Výhodou je však osazení všech os kuličkovými šrouby a valivým vedením, které umožňují větší rychlosti posuvu. Osa X je realizována pomocí podepřených tyčí, osy Y a Z pak na broušených kalených tyčích S-20 a S-16. Stroj je možné vybavit čtvrtou, rotační osou A. Výhodné je použití vysokootáčkového vřetene o výkonu 800 W s lihovým chlazením, které nabízí pracovní rozsah otáček 3000-24000 za minutu.



Obr. 8: CNC frézka 400x300 mm (převzato z [5])

Pracovní plocha stroje je 400x300x80 mm. Díky použitým kuličkovým šroubům je dosahovaná přesnost polohování hlavy lepší než 0.05 mm v celém rozsahu pohybu.

Tab. 7: Parametry CNC frézky 400x300 mm

Parametr	Hodnota
Pracovní plocha X/Y	400x300 mm
Zdvih osy Z	65 mm
Rotační osa	Ano
Vřeteno	800 W, 3000 - 24000 ot/min
Skříčidlo ER-11 (1-7 mm)	ER-11 (1-7 mm)
Vedení X/Y	Podepřené tyče/ lineární ložiska/ kuličkové šrouby
Vedení Z	Nepodepřené tyče/ kuličkový šroub
Řídicí software	Mach3
Cena s DPH	77 19 Kč



### 2.2.4.čtyř-osá CNC frézka 600x400 mm s vysokým portálem, 1.500 W

Na Obr. 9 je nejlepší model ze série malých frézek tohoto výrobce.



Obr. 10: Vřeteno 1500W 24000 ot/min, frekvenční měnič, příruba, ER11 (převzato z [23])

Obr. 9: CNC frézka 600x400 mm (převzato z [6])

Z Tab. 8 vyplývá, že stroj nabízí veškeré výhody jako předchozí modely a přidává větší pracovní prostor a větší zdvih osy Z. Od tohoto výrobce už bohužel větší zdvih nedostaneme. Čtvrtá osa umožňuje uchycení rotačních objektů o průměru až 80 mm. Velkou výhodou je robustnější řešení a výkonnější krokové motory, které nabízejí maximální doporučenou rychlost až 2000 mm/min. Chlazení vřetena je zajišťováno uzavřeným vodním okruhem, což je zde spolu s výkonným vřetenem 1500 W velkým plusem. Chlazení nástroje a materiálu je zde provedeno pomocí koncepce rozprašování lihu.

Tab. 8: Parametry CNC frézky 600x400 mm

Parametr	Hodnota
Pracovní plocha X/Y/Z	600x400x130 mm
Zdvih osy Z	100 mm
Rotační osa	Není v ceně
Vřeteno	1500W, 0 - 24000 ot/min
Skříčidlo ER-11 (1-7 mm)	ER-11 (1-7 mm)
Vedení X/Y	Podopřené tyče/ lineární ložiska/ kuličkové šrouby
Vedení Z	Podopřené tyče/ kuličkový šroub
Řídící software	Mach3
Cena s DPH	145 079 Kč

U tohoto výrobce si můžeme všimnout řešení upnutí vřetena pomocí příruby. Ovládat otáčky a reverzaci můžeme externě přes frekvenční měnič nebo programově např. v Mach3. Vřeteno s příslušenstvím můžeme vidět na Obr. 10.



## 2.3. Numco

Česká firma První hanácká BOW, která dodává na trh stroje značky Optimum, má divizi malých CNC strojů Numco.

### 2.3.1. Numco KX1

Na Obr. 11 je frézka určená pro výrobu součástí menších rozměrů z železných i neželezných kovů v modelářských dílnách, školních zařízeních a menších firmách.

Největší výhody spatřuji v použití odlitků pro hlavní díly stroje, které zaručují vyšší tuhost. Všechny osy jsou poháněny pomocí válcovaných kuličkových šroubů. Z Tab. 9 plyne velká výhoda v téměř dvakrát větším zdvihu osy Z, než u předchozích modelů. Tento fakt je způsoben "C" rámem stroje, který to umožňuje. Nevýhodou může být menší rozsah posuvu v X a Y a výkon vřetena pouze 500 W při poměrně tuhé konstrukci. Všechny pracovní části strojů jsou pečlivě zakrytovány a připraveny pro práci s řeznou kapalinou. Frézka je řízena systémem Armote. Je možné také vybavit stroj čtvrtou řízenou osou, ručním kolečkem, senzorem pro měření výšky nástroje a pneumatickým upínání nástrojů ISO20 nebo ISO30.



Obr. 11: Numco KX1 (převzato z [7])

Firma poskytuje detailnější specifikaci parametrů těchto strojů.

Tab. 9: Parametry frézky Numco KX1

Parametr	Hodnota
Rozměry pracovního stolu	400x145 mm
Max. průměr vrtáku	10 mm
Kužel vřetene	MK2
Rozsah posuvu - osa X	250 mm
Rozsah posuvu - osa Y	110 mm
Rozsah posuvu - osa Z	190 mm
Pracovní posuv	500 mm/min
Rychloposuv	1000 mm/min
Otáčky vřetene	100 - 7000 ot/min
Výkon vřetene	500 W
Opakovatelná přesnost	0,02 mm
Max. krouticí moment motoru	1,8 Nm
Max. krouticí moment motoru - osa X,Y	1,35 Nm
Max. krouticí moment motoru - osa Z	2,2 Nm
Elektrické připojení	230 V
Rozměry	570x660x650 mm
Hmotnost	70 kg
Cena s DPH	187 537 Kč

### 2.3.2. Numco iKX1

Jak lze vidět na Obr. 12 firma dále nabízí i rozšířenou verzi modelu KX1 s automatickou výměnou až 4 nástrojů.



Obr. 13: Způsob krytování stroje  
(převzato z [28])

Tato výměna nástroje je realizována umístěním zásobníku nástrojů v rozsahu posuvu stroje. Zásobník má kapacitu 4 pozic a je umístěn na pracovním stole. Softwarově je pak nastavena pozice zásobníku. Velkou výhodou je krytování stroje pomocí hliníkových profilů a plexiskel (Obr. 13). Frézka je zde kompletně zakryta a splňuje tak požadavky na použití jako školní výukový stroj. Na Obr. 12 je vidět, že krytování je pevné, pouze zpředu stroje je pohyblivé – vysouvací. Parametry stroje uvedené v Tab. 10 jsou téměř shodné s parametry stroje KX1 (Tab. 9).



Obr. 12: Numco iKX1 (převzato z [8])

Tab. 10: Parametry frézky Numco iKX1

Parametr	Hodnota
Rozměry pracovního stolu	400x145 mm
Kapacita zásobníku nástrojů	4
Rozsah posuvu - osa X	260 mm
Rozsah posuvu - osa Y	150 mm
Rozsah posuvu - osa Z	180 mm
Rychloposuv	1000 mm/min
Otáčky vřetena	100 - 7000 ot/min
Opakovatelná přesnost	0,01 mm
Elektrické připojení	230 V
Rozměry	1040x940x860 mm
Hmotnost	178 kg
Cena s DPH	254 088 Kč

Dále v kategorii CNC router můžeme naleznout následující vhodné frézovací stroje.

### 2.3.3. CNC router SHG 0609

Na Obr. 14 je CNC router firmy Numco. Z Tab. 11 plynou některé výhody tohoto stroje, jako třeba velký pracovní prostor - tři až čtyři krát větší, než u předchozích modelů strojů. Nevýhodou může být menší zdvih osy Z. Konstrukce je řešena odlitky zaručujícími vyšší tuhost. Výhodné je i výkonné vřeteno 1500 W s možností upínacího průměru nástroje až 16 mm. V základním provedení je stroj vybaven řídicím systémem DSP, krokovými motory, kuličkovými šrouby, kluznými tyčemi a lineárním vedením THK, vysokootáčkovým vřetenem HSD s upínáním nástrojů do kleštiny a indukčními snímači Omron.



Obr. 14: SHG-0609 (převzato z [9])

#### Volitelné vybavení:

Řídicí systém DSP, MACH nebo SYNTEC

Krokové motory nebo servomotory

Senzor pro měření délky nástroje

Různé typy vřeten

Duální hlava

Chlazení a odsávání

Připojení 400 V

Tab. 11: Parametry routru Numco SHG-0609

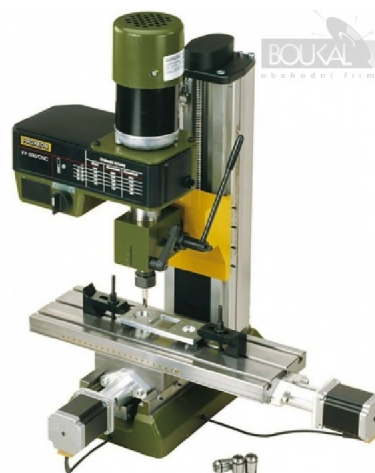
Parametr	Hodnota
Řídicí systém	Armote
Rozměry pracovního stolu	780x1300 mm
Plocha pracovního stolu	T-drážky
Konstrukce stroje	Hliníkový odlitek
Koncepce - osa X,Z	Kluzné tyče a kuličkové šrouby
Koncepce - osa Y	Lineární vedení a kuličkový šroub
Rozsah posuvu - osa X	600 mm
Rozsah posuvu - osa Y	900 mm
Rozsah posuvu - osa Z	100 mm
Otáčky	0 - 24000 ot/min
Kleština	ER16
Pracovní posuv	4000 mm/min
Rychloposuv	6000 mm/min
Opakovatelná přesnost	0,02 mm
Příkon	1500 W
Elektrické připojení	230V
Rozměry	1710x1250x1585 mm
Hmotnost	165 kg
Cena s DPH	242 000 Kč

## 2.4. Proxxon

Firma Proxxon má ve své nabídce také jeden stroj kategorie malých CNC řízených strojů.



Obr. 15: Systém naklápění vřetena (převzato z [22])



Obr. 16: Proxxon FF500/CNC (převzato z [10])

Na Obr. 16 je obráběcí centrum pro frézování, vrtání a zahlubování. Z Tab. 12 plyne, že stroj nabízí výhodu poměrně velkého zdvihu v ose Z. To umožňuje výhodně použít masivní sloup z hliníkového odlitku s rybinovým vedením. Rybinové vedení nedovoluje stejně rychlý posuv os jako valivé, je tedy nevýhodou oproti konkurenci. Výhodou je však předpokládaná vyšší tuhost díky základně z ocelové litiny a masivního stolu s T-drážkami. Křížový stůl je poháněn pomocí krokových motorů. Regulace otáček vřetene je řešena přesouváním klínového řemene, což považuji za nevhodné pro použití u CNC výukového stroje. Proxxon dodává i vlastní CAD/CAM software. Upínací kleština je maximálně 12 mm. Výhodou je natáčecí frézovací hlava, kterou konkurence nenabízí. Na Obr. 15 je vidět naklopení vřetene, které je umístěné na vozíku (žlutý díl), pohybujícím se na ose Z. Naklápění se provádí ručně povolením aretačního šroubu, nastavením vřetene na zvolený úhel naklápění a následným dotažením šroubu.

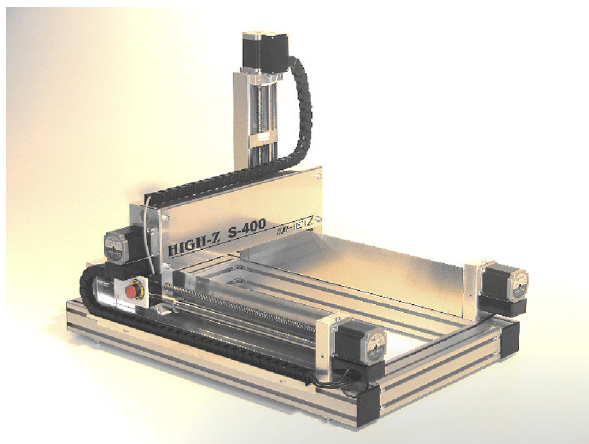
Tab. 12: Parametry frézky Proxxon FF500/CNC

Parametr	Hodnota
Napájecí napětí	230 V
Výkon	400 W
Otáčky	180,350,550,800,1300,2500 ot/min
Výška sloupu	430 mm
Křížový stůl	400x125 mm
Nastavení osy X - příčně	290 mm
Nastavení osy Y - do hloubky	100 mm
Nastavení osy Z - vertikálně	200 mm
Celková výška	780 mm
Hmotnost	50 kg
Cena s DPH	123 746 Kč

## 2.5. CNC Technik Heiz

Ze zahraničního trhu nabízí německá firma CNC Technik Heiz CNC frézky, které se vyznačují svojí modulární stavbou a možností aplikace pro různě vysoké obrobky.

### 2.5.1. High-Z S-400



Obr. 18: High-Z S-400 (převzato z [11])



Obr. 17: Systém hliníkových profilů (převzato z [27])

Na Obr.18 je zachycen stroj High-Z S-400 vyznačující se svojí modularitou díky použitým hliníkovým profilům, které jsou vidět na Obr. 17. Stroj lze ustavit na další konstrukci obsahující stůl v různé výšce, což umožňuje zde použitá koncepte "dolní gantry". Z parametrů v Tab. 13 plynou podobné vlastnosti, jako mají stroje od čínských výrobců (Tab. 7). Stroj má ale vhodněji řešenou konstrukci vzhledem k rozšiřování možností stroje.

Tab. 13: Parametry frézky High-Z S-400

Parametr	Hodnota
Pohon	4 krokové motory
Pohyb	Trapézový šroub TR12x3
Vedení X,Y	Vodící tyče 22 mm
Vedení Z	Vodící tyče 16 mm
Upínací prostor	730x400 mm
Rozsah posuvu - osa X	400 mm
Rozsah posuvu - osa Y	300 mm
Rozsah posuvu - osa Z	110 mm
Maximální posuv	3000 mm/min
Řídící software	WIN PCN Light
Vřeteno	Není součástí
Konstrukce	Hliníkové profily
Váha	51 kg
Cena s DPH	60 400 Kč

Firma nabízí více modelů lišících se velikostí pracovního prostoru stroje a použitými komponenty. U dražších verzí je nahrazován trapézový šroub kuličkovým a vedení osy Y je pro delší rozjezd podpořeno lineárním vedením.



## 2.6. Gravos

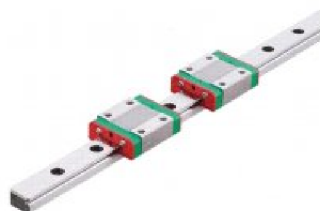
Firma Ing. Miroslav Vostárek - GRAVOS vznikla v roce 1992. Zabývá se výrobou a prodejem tří-osých CNC frézek včetně řízení, programového vybavení a příslušenství.

### 2.6.1. Frézka GV 21 2A

Výhodou této frézky je vyšší tuhost díky nepohyblivému portálu. Je zde také použito klasické předepruté lineární vedení s kuličkovými vozíky (Obr. 20). Další výhodou je umístění řídicí elektroniky kompaktně do boxu na boku stroje, jak je vidět na Obr. 19. Z Tab. 14 plyne, že parametry stroje jsou srovnatelné se stroji Numco s rozdílem menšího zdvihu díky portálu. Na Obr. 19 je také vidět časté řešení upnutí vřetene. Jedná se o objímku na Obr. 21, kterou je možné koupit spolu s vřetenem a následně připevnit na osu Z. Výrobce neuvádí přesný typ ale na Obr. 19 je vidět, že se jedná o podobný typ, jako jsou vřetena od firmy Kress na Obr. 22. Tato vřetena mají výkon až 1050 W a výhodu regulace otáček přímo na vřeteni.



Obr. 19: Frézka GV 21 2A (převzato z [18])



Obr. 20 :Lineární vedení MGN12 (převzato z [19])



Obr. 21: Držák vřetene  $\varnothing 43$  mm (převzato z [26])



Obr. 22: Vřeteno Kress FME 1050 W (převzato z [25])

Tab. 14: Parametry frézky GV 21 2A

Parametr	Hodnota
Rozměry	390x390x310 mm
Hmotnost (bez příslušenství)	17 kg
Pracovní prostor	215x165x65 mm
Průchod pod osou Z	100 mm
Upínací stůl	290x250 mm
Elektronické rozlišení	0,001 m
Max. rychlost posuvu	20(66) mm/s
Výkon vřetene	175W
Otáčky vřetene	5000-35000 ot/min
Řídicí systém	GVE66/Armote
Komunikace s PC	RS232 (USB)
Napájení	230 V / 50 Hz
Cena bez DPH	69000 Kč

## 2.6.2. Frézka IK 500

Dalším nabízeným modelem stroje touto firmou je frézka na Obr. 23.



Obr. 23: Frézka IK 500 (převzato z [18])

Z Tab. 15 plyne, že stroj na Obr. 23 nabízí poměrně velký pracovní prostor. Výhodou je použití kvalitního předepínaného lineárního valivého vedení a kuličkových šroubů, což umožňuje posuv až 100 mm/s. Díky masivnímu portálu předpokládám vyšší tuhost stroje. Frézka je osazena krokovými motory 1,6 Nm. Výhodné je i vybavení elmag. brzdy proti sjíždění osy Z ve vypnutém stavu a možnost dokoupení příslušenství jako je vakuový upínací stůl. Na tomto stroji je možné vidět výhodné používání standardních hliníkových profilů na osu Z a rám stroje. Profily by umožňovaly případné zakrytování, které zde chybí.





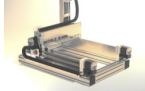
Tab. 15: Parametry frézky IK 500

Parametr	Hodnota
Rozměry	1040x1100x940 mm
Hmotnost (bez příslušenství)	90 kg
Pracovní prostor	500x530x160 mm
Průchod pod osou Z	170 mm
Upínací stůl	850x750 mm
Mechanické rozlišení	0,01 mm
Max. rychlost posuvu	100 mm/s
Výkon vřetene	0,75 kW HF
Otáčky vřetene	1000-24000 ot/min
Řídicí systém	GVE66/Armote
Komunikace s PC	RS232 (USB)
Napájení	230 V / 50 Hz
Ovládání	Remote
Cena bez DPH	179000 Kč

## 2.7. Srovnání nejvhodnějších modelů strojů

V následující tabulce (Tab. 16) jsou uvedeny hlavní parametry vybraných modelů strojů. Srovnávám zde ty nejdražší a svými vlastnostmi nejzajímavější modely strojů uvedených výše.

Tab. 16: Srovnání parametrů strojů

Stroj					
<b>Pracovní plocha [mm]</b>	850x750x170	400x145x180	780x1300x100	400x125x430	600x400
<b>Pracovní rozsah [mm]</b>	500x530x160	260x150x180	600x900x100	290x100x200	400x300x110
<b>Přesnost [mm]</b>	0,01	0,01	0,02	0,05	0,03
<b>Výkon včetně [W]</b>	750	500	1500	400	Bez
<b>Max ot [ot/min]</b>	24000	7000	24000	2500	Bez
<b>Max rychlost posuvu [mm/min]</b>	6000	2000	6000	-	3000
<b>Vedení</b>	Lineární	Rybinové	Kluzné tyče	Rybinové	Vodící tyče
			Lineární		
			Kluzné tyče		
<b>Převod pohybu</b>	Kuličkové šrouby	Kuličkové šrouby	Kuličkové šrouby	Trapéz	Trapéz
<b>Max ø nástroje [mm]</b>	12	8	16	12	-
<b>Konstrukce</b>	Pohyblivý portál	"C" rám, hliníkové odlitky	Pohyblivý portál, hliníkové odlitky	"C" rám, ocelové odlitky, hliníkové odlitky	Pohyblivý portál, hliníkové profily
<b>Software</b>	Remote	Armote	Armote, DSP, MACH3, SYNTEC,	Proxon	WIN PCN Light
<b>Zvláštnost</b>	Elmag. brzda, příslušenství	Automatická výměna nástroje	Chlazení, odsávání	CAM software, vysoká tuhost	Modulárnost, bez stolu

Ze všech uvedených strojů nabízí největší pracovní prostor stroj SHG0609 od firmy Numco a to 600x900x100 mm. Příčinou je portálová konstrukce. Největší zdvih v ose Z nabízí díky masivnímu sloupu a "C" rámu firma Proxon, zdvih je 200 mm. Nejvyšší kvalitu zakrytí stroje má model iKX1 Numco. Z hlediska přesnosti



a rychlosti obrábění je nejlepší router SHG0609 s 1500 W vřetenem s až 24000 ot/min, odlitými hliníkovými prvky konstrukce a pracovním posuvem až 6000 mm/min. Pro možnost upravování a přidávání výrobních možností stroje je nejlepší varianta stroje High-Z, kterou díky použitým hliníkovým profilům a absencí pracovního stolu můžeme značně upravovat.

Pro další řešení práce z tohoto průzkumu také vyplývá, že nízké ceny stroje se dosahuje například nahrazováním prizmatického vedení vodícími tyčemi. Polohovací přesnost a rychlost stroje je vyšší u použití kuličkových šroubů místo trapézových. Větší zdvihy osy Z nabízí stroje s „C“ rámem. Největší pracovní prostor nabízí portálové konstrukce.

## 2.8. Nároky na bezpečnost

Vzhledem k použití stroje jako výukového prostředku je nutné, aby k němu bylo možné bezpečně přistupovat při obrábění a jeho pohyblivé části neohrožily obsluhu a přihlízející studenty. Norma ČSN EN ISO 12100, která se zabývá bezpečností strojních zařízení, dále uvádí: „*konstrukce stroje má být taková, aby z hlavního místa ovládání byla obsluha schopna zajistit, že se v nebezpečných prostorech nenacházejí ohrožené osoby*“ [48]. Stroj musí mít Start/Stop tlačítko mimo pracovní prostor. Dle míry rizika se určuje, jaká ochranná zařízení mají být použita. U CNC výukové frézky budou nebezpečné pohyblivé části. Tyto části mohou způsobit pouze lehká zranění přihlízejícím. Řezný nástroj by mohl způsobit zranění větší, např. poranění očí od odletujících třísek. Pracovní prostor by proto bylo vhodné zakrytovat. Norma říká, že kryty a ochranná zařízení musí být používána k ochraně, pokud zabudovaným konstrukčním bezpečnostním opatřením nebylo možné odstranit ani dostatečně snížit rizika poranění.

Z normy také vyplývá, že ochrana by měla být zdvojená, např. pokud kryt není vrácen na své místo, řídicí systém stroje to pozná. Záleží ovšem na míře rizika, která u tohoto stroje není vysoká, proto by toto zdvojení nemusel mít.

Z této normy také plynou požadavky na krytování. Norma říká: „*Krytování musí mít pevnou konstrukci. Nesmí vytvářet žádné další nebezpečí. Nesmí být snadné je vyřadit z ochranné funkce. Musí minimálně omezovat sledování výrobního procesu. Musí umožňovat nutné práce při údržbě*“ [48].

Vzhledem k předpokladu, že krytování stroje bude obsahovat i kryty pohyblivé, jako například dveře do pracovního prostoru, tato norma specifikuje i požadavky na pohyblivé krytování a uvádí:

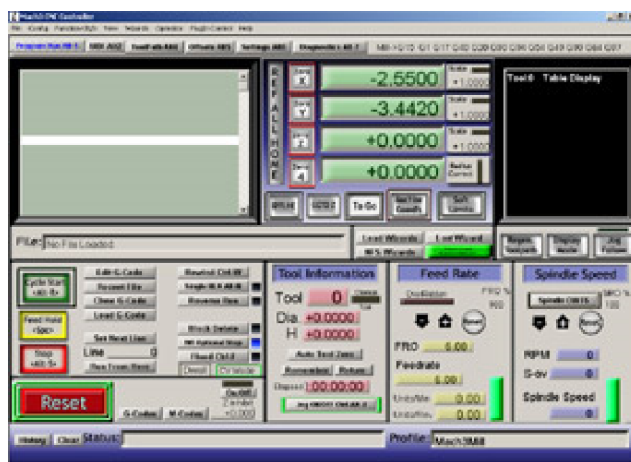
„*Pokud jsou kryty pohyblivé, musí pokud možno zůstat, jsou-li otevřené, připevněné ke strojnímu zařízení*“ [48].

## 2.9. Používané řídicí systémy

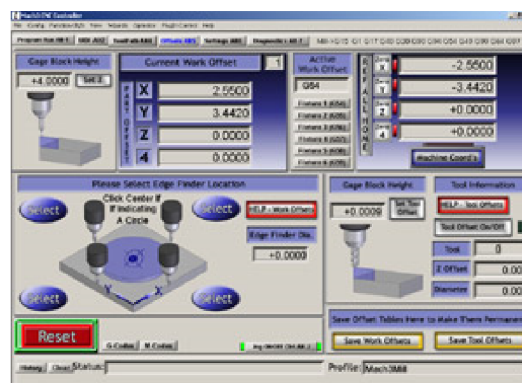
Malé frézovací stroje ve většině případů nejsou vybaveny sofistikovanými řídicími systémy typu Heidenhain nebo Siemens. Vzhledem k nízké ceně jsou používány jednodušší systémy, viz níže.

### 2.9.1. Mach3 CNC Controller

Jedná se o známý software pro řízení CNC od firmy ArtSoft USA (Obr. 24). Lze jím řídit až šesti osy stroj. Výhodou je vizuální zobrazení drah z G-kódu, možnost úpravy M-funkcí a otevřené prostředí k uživatelským úpravám. Dále je možné využít Cam software - LazyCam, který umožňuje převod z DXF, BMP, JPG a HPGL formátů na dráhy nástroje.



Obr. 24: Program Mach3 úvodní obrazovka (převzato z [14])

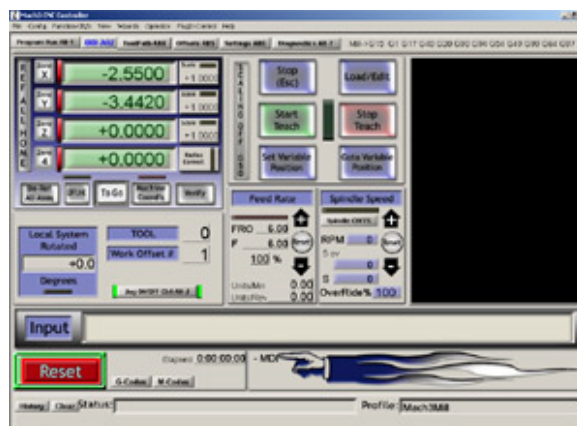


Obr. 25: Program Mach3 offsety (převzato z [14])

Program nabízí kontrolu otáček vřetena. Lze jím ovládat relé a nabízí možnost manuálního generování pulsů a tedy ručního polohování (Obr. 26). V řídicím systému lze zobrazit stroj, pokud připojíme externí kameru. Systém také podporuje dotykový displej.

Komunikace probíhá buď přes paralelní port, ke kterému je třeba mít stolní počítač s 32-bitovou verzí Windows nebo probíhá přes externí pohybové zařízení, které je nutné dokoupit a můžeme tak použít Laptop.

Výrobce poskytuje zdarma demoverzi. Tato verze má však omezený počet řádků G-kódu, které může systém odbavit. Dalším omezením je hodnota 25000 Hz u impulsního generátoru.



Obr. 26: Program Mach3 MDI režim (převzato z [14])

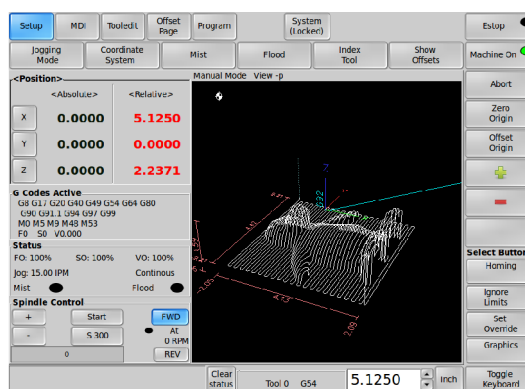
Výhodou tohoto softwaru je poměrně profesionální vzhled (Obr. 25) a jeho uživatelská přístupnost. Program funguje na systému Windows, který je běžný a nevyžaduje programátorské znalosti. Na internetu lze navíc sehnat neoficiální české prostředí pro Mach3, které přidává na přehlednosti.

### 2.9.2. LinuxCNC

LinuxCNC (Obr. 27) je volně dostupný software s otevřeným zdrojovým kódem. Výhoda oproti Mach3 je možnost programování PLC pomocí ladder diagramů. Program může řídit až devět os zároveň a může pracovat jak se servomotory, tak i s krokovými motory.

Výhodou může být otevřenost softwaru, který pracuje na systému Linux. Ten je nutno ještě rozšířit na realtime verzi.

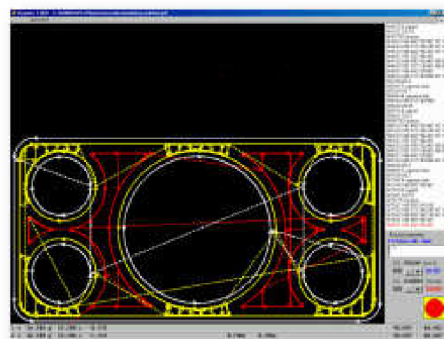
Nevýhodou je méně uživatelsky přívětivé prostředí. Vzhledem k otevřenosti systému je však možné na Linux fórech sehnat různě přizpůsobené pracovní obrazovky.



Obr. 27: Prostedí LinuxCNC (převzato z [16])

### 2.9.3. Armote

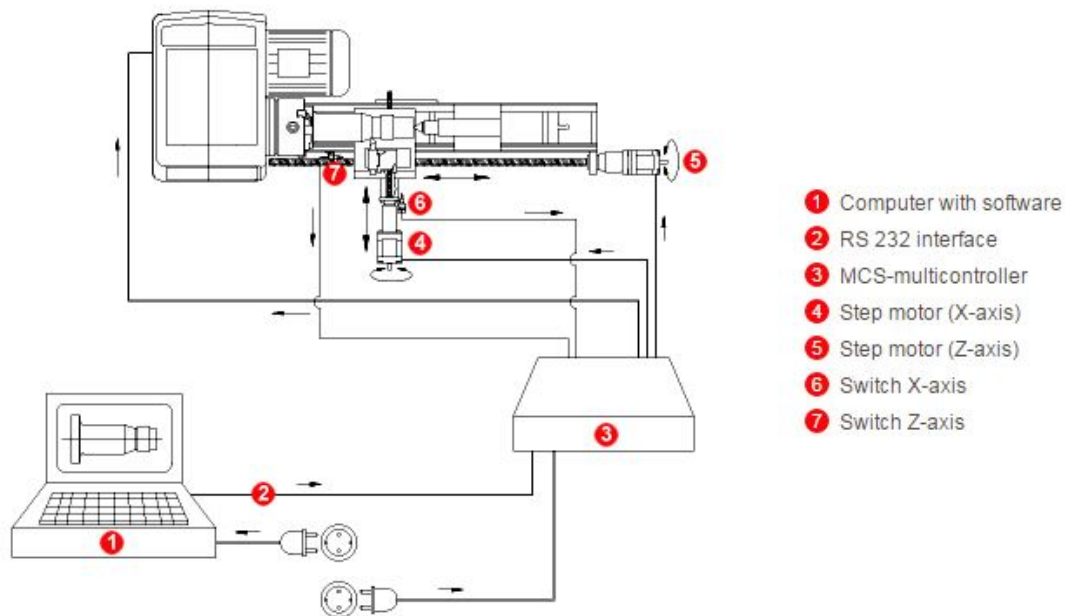
Stroje Numco a Gravos používají software Armote (Obr. 28), který je samostatně neprodejný. Lze ho pořídit spolu se strojem nebo s HW interpolační jednotkou GVE64, GVE66 nebo PLC-CPU. Systém je česky a nabízí možnost řízení tří os. Výhodou je značná jednoduchost programu, nízké nároky na počítač, není nutná instalace a komunikace probíhá po sériovém portu. Další verze programu se jmenuje Remote a je určena pro kontroléry GVC.



Obr. 28: Prostedí Armote  
(převzato z [16])

### 2.9.4. Proxxon

Proxxon nabízí ovládací software pro ovládání krokových motorů stroje. Software pracuje na systému Windows a komunikace probíhá přes paralelní port. Je dodáván ke strojům Proxxon. Na Obr. 29 je jednoduché schéma pro představu realizace komunikace stroje s PC.



Obr. 29: Schéma komunikace počítače se strojem (převzato z [17])

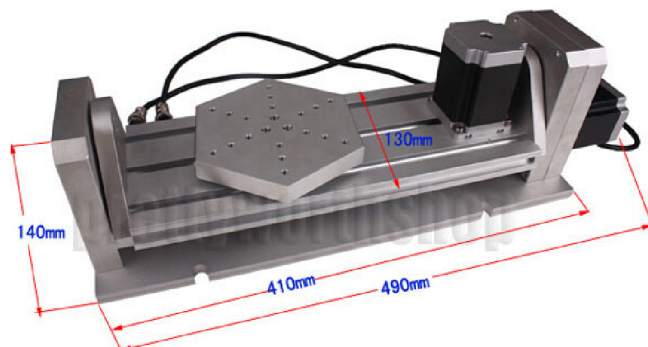
Paralelní port (bod 2) není ve většině případů součástí notebooku, ale spíše stolního počítače (bod 1). MCS – multicontroller (bod 3) obsahuje elektroniku, která přijímá a rozesílá řídicí pulsy motorům a napájí je. Zároveň přijímá signály od referenčních nebo koncových spínačů (bod 6 a bod 7).

## 2.10. Poznatky z rešerše

Z posuzovaných strojů mají všechny určité výhody a nevýhody. Obsahem práce má být tříosý výukový frézovací stroj, jehož konstrukce by dovozovala rozšiřování výrobních možností až na pětiosé frézování. Takové rozšíření vyžaduje přidání čtvrté rotační osy. Pokud je žádoucí na stůl stroje přidat tuto osu, je zde limit ve velikosti pracovní plochy a v průchodu pod osou Z. Někteří výrobci ke svým strojům dodávají rotační osu, která je uzpůsobená velikosti jejich stroje (Mercur kap 2.1, čínský výrobce kap 2.2.). Další možností je nákup univerzálnější čtvrté osy. Takovou osu (Obr. 30) lze koupit například na <http://cnc.inshop.cz/>.



Obr. 30: Rotační - sklíčidlo 80 mm (převzato z [20])



Obr. 31: Rotačně-naklápěcí stůl 140 (převzato z [34])

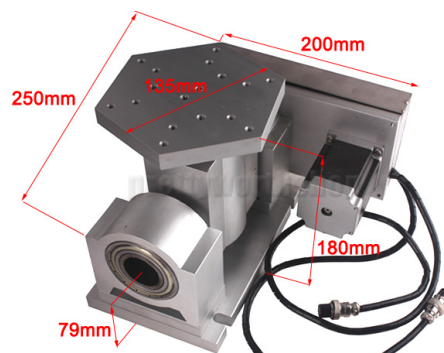
Tato rotační osa vyžaduje průchod pod osou Z alespoň 110 mm. Z toho plyne, že například se strojem SHG0609 (Obr. 14) by nešlo použít. Další možností rozšíření je použití celého naklápěcího stolu. Tento stůl je nutné buď vyrobit přidáním kolébky s vhodným uložením nebo koupit některé existující řešení. Na Obr. 31 a Obr. 32 je použitelný funkční celek dostupný v internetovém obchodě [www.ebay.com](http://www.ebay.com).

Pro použití těchto popsaných rozšíření je nutný upínací prostor alespoň 490x140 mm a průchod pod osou Z minimálně 180 mm.

Z dostupných strojů by takovému rozšíření vyhovoval pouze stroj High-Z na Obr. 18, který by musel být umístěn na vhodnou konstrukci se stolem.

Z dostupných řešení by tedy byla nejvhodnější koncepce "spodní gantry" podobná frézce High-Z S-400 na Obr. 18, která by byla obohacena o uchycení vřetene umožňující natočení, jako nabízí Proxxon (Obr. 16) a masivnějším portálem, který by umožňoval větší zdvih v ose Z jako má Gravos IK500 (Obr. 23). Krytování stroje by mohlo být řešeno podobně jako u stroje iKX1 (Obr. 12).

Z hlediska dostupných řídicích systémů je nejvýhodnější použít systém LinuxCNC, který je volně šiřitelný a dovoluje nejvíce přídatných funkcí (viz kap.2.9.2.) vzhledem k menšímu počtu informací o tomto systému se bude pracovat i se systémem Mach3, který je častěji používaný a váže se k němu více uživatelských zkušeností.



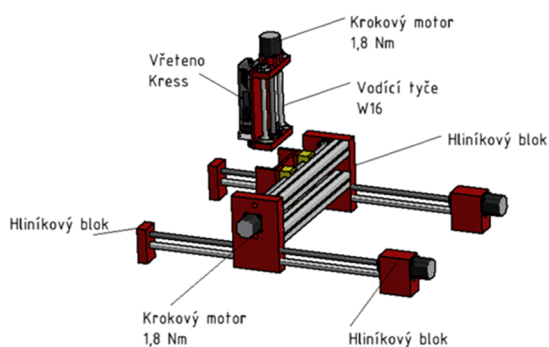
Obr. 32: Rotačně-naklápěcí stůl 135  
(převzato z [35])



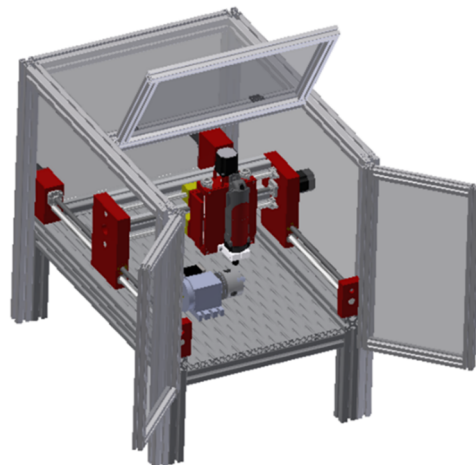
### 3. Návrh řešení stroje a výběr variant

Nejprve je třeba provést koncepční návrh vhodného stroje, který by splňoval požadovanou funkci. Pokud je žádoucí mít stroj vytvořen z co největšího počtu normalizovaných dílců a komponent, které lze běžně koupit, jsme značně omezeni vzájemnou kompatibilitou těchto součástí. Častými prvky pro stavbu takových konstrukcí jsou vytlačované hliníkové profily, do kterých lze vsadit upínací kameny a omezit tak jinak nutné opracování. Na českém trhu působí několik firem nabízejících tyto profily. Mezi přední výrobce patří firma Haberkorn [28] a Aluteckk [52] nebo případně prodejce Misumi [37]. Různé komponenty pro stavbu CNC frézek nabízí prodejce cncshop.cz, případně cnc.inshop.cz. Na základě typu používaných komponent u malých frézovacích strojů a komponent dostupných od těchto prodejců jsou navrženy následující varianty uspořádání.

#### 3.1. Návrh N1



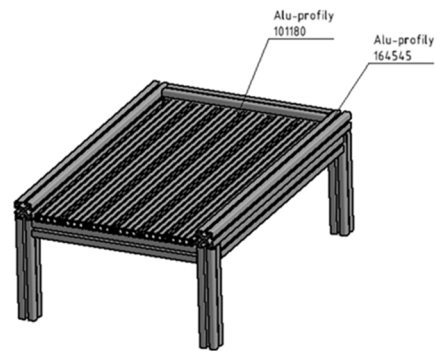
Obr. 34: Mechanika N1



Obr. 33: Návrh N1

Návrh N1 (Obr. 33) je inspirovaný strojem High-Z S400 (Obr. 18). Konceptem stroje je spodní gantry, umožňující zvyšování průchodu pod osou Z. Konstrukce je tvořena mechanikou stroje (Obr. 34), umístěnou na konstrukci z hliníkových profilů (Obr. 35). Tato konstrukce stolu by umožňovala posun pracovní desky stolu po hliníkových profilech a tím zvyšování průchodu pod osou Z v případě potřeby. Celá konstrukce je zakrytovaná pomocí samostatné konstrukce z hliníkových profilů. Pro pohon všech os jsou použity stejné krokové motory jako u stroje High-Z S400 s krouticím momentem 1,8 Nm. Motory jsou bez převodu spojeny s kuličkovými šrouby průměru 16 mm pomocí pružných spojek. Stroj má vedení v podobě nepodepřených tyčí, které zároveň nesou pohyblivé hmoty. Motory na ose Y jsou připevněny na hliníkových blocích, ve kterých je

místo pro pružnou spojku a ložiskový domek pevné strany kuličkového šroubu. Zároveň je v těchto blocích uchycena vodící tyč o průměru 20 mm. Podobné bloky jsou na druhé straně kuličkového šroubu stejně jako u stroje High-Z S400. Portál frézky je tvořen hliníkovými bloky, kterými prochází vedení a kuličkový šroub. V těchto blocích portálu jsou valivá pouzdra a kuličkové matice typu RSB od společnosti Hiwin [56]. Bloky portálu jsou spojeny hliníkovými profily rozměru 45x45 mm, které určují rozteč portálu. Osa Z je tvořena křížovým vozíkem, na kterém jsou valivé domky vedení a kuličková matice, a smykadlem nesoucí držák vřetena Kress. Velikost rozjezdu stroje je 300x490x120 mm.

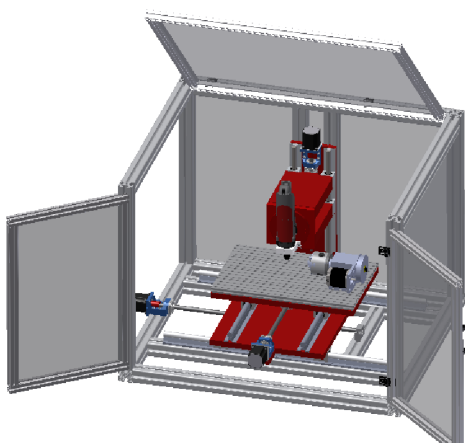


Obr. 35: Konstrukce stolu N1

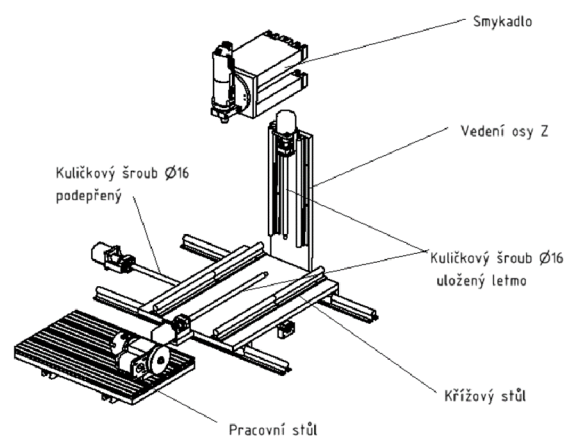
Z konstrukčního návrhu jsou známy přibližné hmotnosti pohyblivých dílů a lze proto provést kontrolu statické tuhosti této varianty. Podle přibližných rozměrů a hmotností na Obr. 54 je počítána velikost průhybu nepodepřených tyčí, nesoucích portál o hmotnosti  $m_p$  a osu Z o hmotnosti  $m_z$ .

### 3.2. Návrh N2

Návrh N2 (Obr. 36) je inspirován koncepcí stroje iKX od firmy Numco (Obr. 12). Hliníkové odlitky tvořící „C“ rám u stroje iKX jsou nahrazeny rámem z hliníkových profilů. Na těchto profilech je přímo umístěno vedení pro křížový stůl a uložení kuličkového šroubu. To nese zvýšené nároky na přesnost rámu. Vedení osy Z je na hliníkové desce, která je uchycena k rámu. Geometrie stroje se proto značně odvíjí od přesnosti samotných profilů a přesnosti montáže.



Obr. 36: Návrh N2



Obr. 37: Mechanika N2

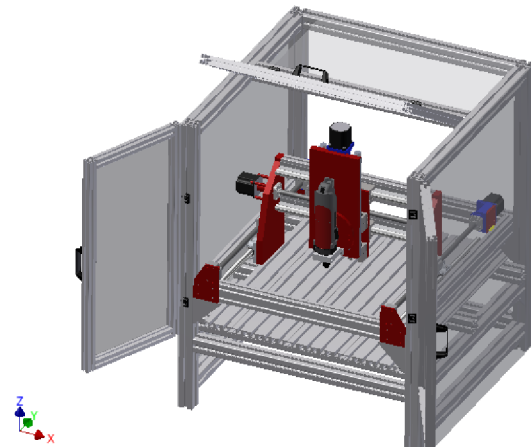
Vedení všech os je řešeno podepřenými tyčemi o průměru 20 mm. Pro uchycení krokových motorů jsou použity držáky MBA12-C, které lze koupit a nahradit tak vyráběné díly. Křížový stůl je tvořen hliníkovými deskami. Tento koncept umožňuje

větší zdvihy osy Z a tím i dostatečný průchod pod osou v případě dalšího rozšiřování. Pro pracovní prostor srovnatelný s návrhem N1 je potřeba patřičně vyložit nástroj, což je docíleno smykadlem z hliníkových bloků.

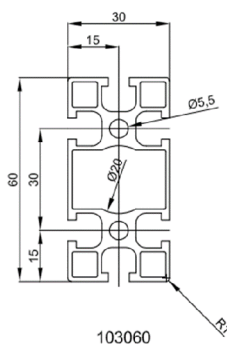
### 3.3. Návrh N3

Návrh N3 na Obr. 38 je opět koncepce spodní gantry s tím, že mechanika stroje (Obr. 40) je samostatně funkční celek. Je umístěna v rámečku s vyšším požadavkem na přesnost a celá je pak vsazena do méně přesného rámu. Vedení je v podobě valivých domků na podepřených tyčích, které jsou pro stroj těchto rozjezdů vhodnější. Vedení v ose Y umísťuji z boku rámečku z důvodu snadnějšího krytování a uchycení v rámu.

Pracovní stůl je na konstrukci z hliníkových profilů a je možné s ním po profilech rámu posouvat. Tento návrh umožňuje zvýšení průchodu pod osou Z a tím splnění podmínky rozšiřovatelnosti.

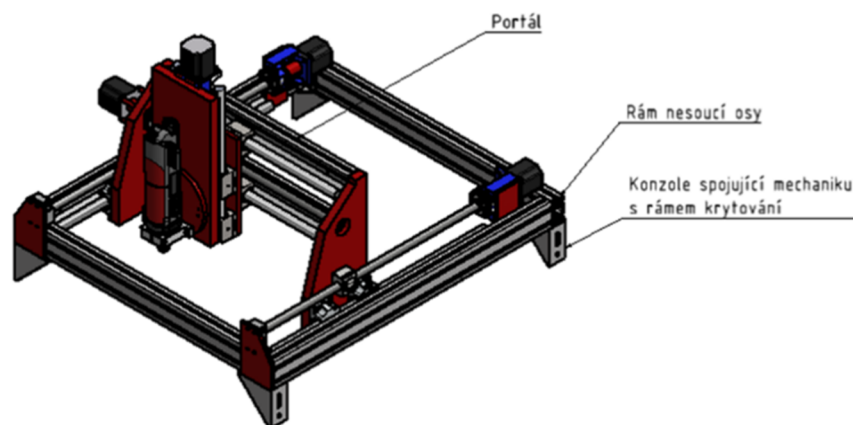


Obr. 38: Návrh N3



Obr. 39: Profil 103060  
Aluteckk

(převzato z [52])



Obr. 40: Mechanika N3

Portál je tvořen bočnicemi ze slitiny hliníku, které jsou spojeny hliníkovými profily (Obr. 39) se stejnou roztečí drážek jako je rozteč upínacích děr podepřených tyčí. Právě s použitím profilů o rozteči 30 mm se lze často setkat v různých aplikacích spolu s kruhovým vedením. Snižuje se tím pracnost výroby konstrukce.

### 3.4. Výběr varianty

Pro výběr vhodné varianty jsou důležitá následující kritéria, znázorněná v Tab. 17. Všechny tři návrhy byly sestaveny z co nejvíce dostupných používaných komponent.



Předběžná kalkulace ceny pro jednotlivé varianty je v programové příloze *Predbezne\_ceny.xls*. Do ceny není zahrnuta cena vyráběných dílců.

Varianty jsou u jednotlivých kritérií oznámkovány stupnicí 1 až 3. Jednička znamená nejpříznivější stav a trojka nejnepříznivější. Buňka v tabulce je rozdělena na dvě části. V jedné jsou hlavní rozhodovací důvody takového hodnocení a v druhé je samotné hodnocení. Výsledkem tabulky je hodnota průměrného hodnocení každé varianty.

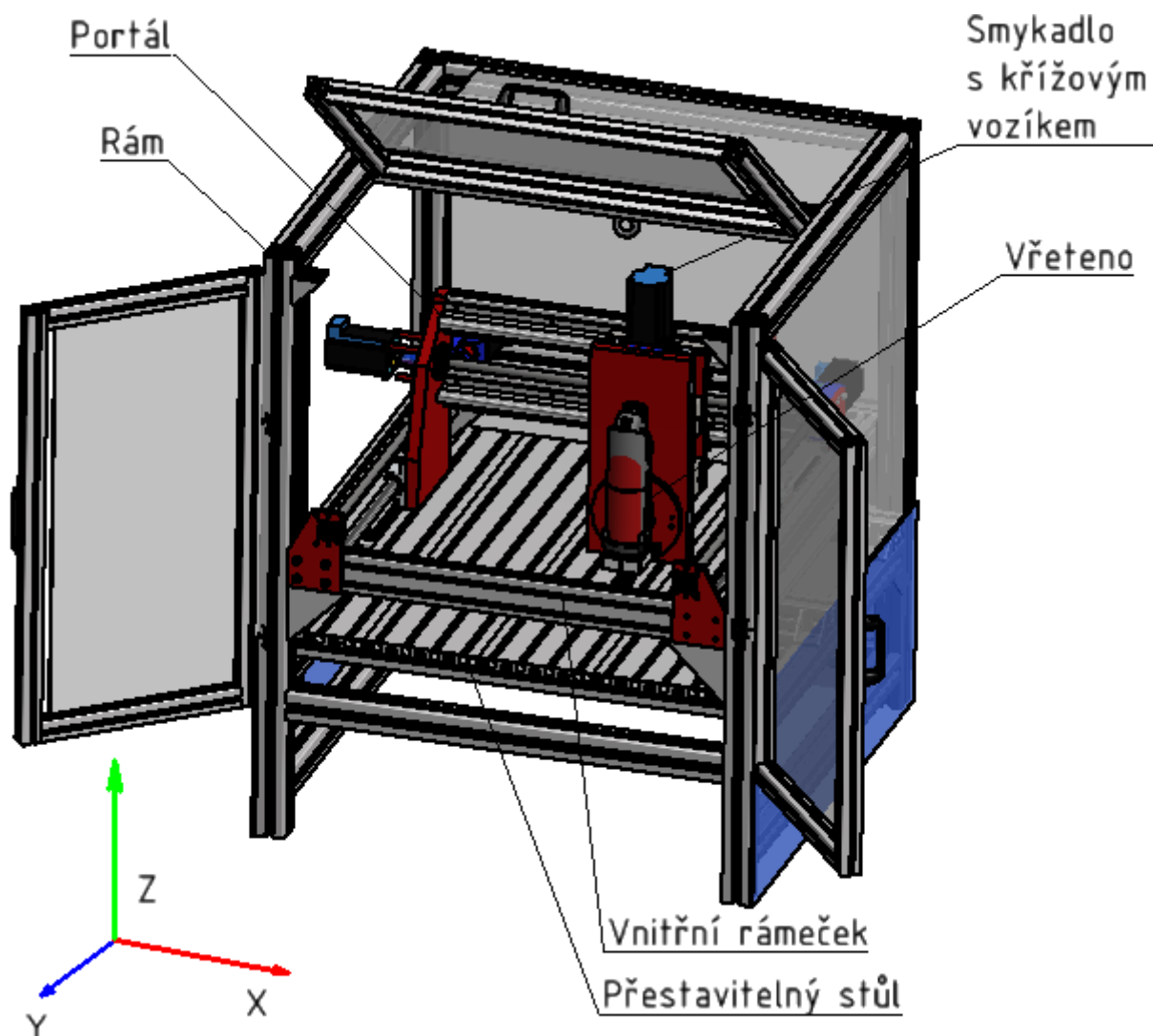
Tab. 17: Srovnávací tabulka variant N1,N2,N3

Kritérium	Návrh/ Hodnocení	N1		N2		N3	
Složitost konstrukce	Osa Z složena z více dílců, uchycení nepodepřených vodící tyčí	3	Smykadlo z více větších vyráběných dílců	2	Jednoduchá osa Z	1	
Složitost montáže	Hliníkové bloky určují rozteče a jsou kompaktní	1	Těžko dosažitelná přesnost usazení profilů rámu	3	Nasazení portálu na profily. Vsazení mechaniky do rámu.	2	
Obtížnost krytování	Osy na profilech shora – vyčnívající motory	3	Vyčnívající motor osy X	2	Vše v rámu	1	
Výroba dílců	Vyvrátávání, frézování Al-bloků držící osy	3	Velké desky křížového stolu a bloky smykadla.	2	Desky bez nutnosti velkého frézování	1	
Cena dostupných komponent	65742 Kč	2	61997 Kč	1	80127 Kč	3	
Předpokládaná celková cena		1		3		2	
<b>Průměrné hodnocení</b>		<b>2,17</b>		<b>2,17</b>		<b>1,67</b>	

Podle srovnávací tabulky (Tab. 17) vybírám variantu N3, která je dle zadaných kritérií nejvýhodnější. Z navržených variant má nejméně složitou konstrukci, kterou lze navíc snadno kompletně zakrytovat. Z hlediska vyráběných dílců obsahuje tato varianta hliníkové desky bez velkého opracování.

### 3.5. Popis vybrané varianty

Na Obr. 41 jsou znázorněny jednotlivé části vybrané varianty návrhu.



Obr. 41: Popis vybrané varianty

Vnitřní rámeček návrhu N3 na Obr. 41 lze posouvat. V návrhu bude mít však pevnou pozici co nejvýše v rámu stroje tak, aby bylo možné využívat maximální zdvih v ose Z a nekolidoval motor s horním krytováním. Portál umožňuje pohyb v ose X a maximální zdvih bude omezen vnitřním rámečkem tak, aby se smykadlo s vřetenem mohlo pohybovat uvnitř vnitřního rámečku. Pracovní stůl bude umožňovat přestavení a zvýšení průchodu pod osou Z. Maximální přestavení stolu bude omezeno celkovou velikostí rámu a umístěním vnitřního rámečku.

## 4. Návrhové výpočty

V této kapitole je provedena volba vřetena a pohonů vzhledem k požadavkům technologie.

### 4.1. Volba vřetene

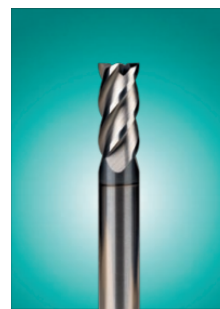
Stroj by měl být vhodný pro obrábění umělého dřeva, plastu respektive i duralu. Základními informacemi pro návrh vřetene budou požadované technologické podmínky plynoucí z doporučených parametrů pro obrábění.

#### 4.1.1. Předpoklady technologie

Stroj by měl být schopen obrábět i dural, který má z vzhledem k ostatním požadovaným materiálům obrobků největší řezný odpor.

Měrný řezný odpor je pro slitinu hliníku 7075  $K_{c1} = 410 \text{ MPa}$  (obsah Si  $\leq 0,4\%$ ), čerpáno z lit. [29].

Průměr nástroje je omezen velikostí největší možné kleštiny. Používané upínací kleštiny ER11 jsou pro upínací průměry nástrojů 1-8 mm. Podmínky budou stanoveny pro největší nástroj, tedy s průměrem 8 mm.



Obr. 42: Stopková fréza E4S N suma (převzato z [30])

Z katalogu nástrojů od firmy Pramet [30] plynou doporučené řezné parametry pro frézy pro obrábění slitin hliníku s obsahem Si  $\leq 0,4 \%$ . Frézy s označením ES4 N SUMA (Obr. 42) mají doporučenou řeznou rychlost  $v_c = 250 \text{ m/min}$  pro frézování plným průměrem viz Obr. 44. Pro nástroj s průměrem 8 mm je maximální doporučená hloubka třísky  $a_p = 4 \text{ mm}$  a šířka třísky  $a_e = 8 \text{ mm}$ . Doporučený posuv na zub  $f_z = 0,06 \text{ mm}$ .

Z těchto požadavků technologie lze určit požadované parametry vřetena. Podle Obr. 43 a Obr. 44, znázorňujících zvolenou technologii, jsou použity veličiny charakterizující podmínky při obrábění. Tyto veličiny vstupují do rovnic (1), (2) a (3) dle lit. [31].

#### Potřebný výkon vřetena

$$P = \frac{a_p \cdot a_e \cdot f_{min} \cdot k_c}{60 \cdot 10^6} \text{ [kW]}, \text{ kde:} \quad (1)$$

$a_p$  = hloubka záběru třísky [mm]

$a_e$  = pracovní záběr [mm]

$k_c$  = měrný řezný odpor [N/mm<sup>2</sup>]

$f_{min}$  = posuv za minutu [mm/min]

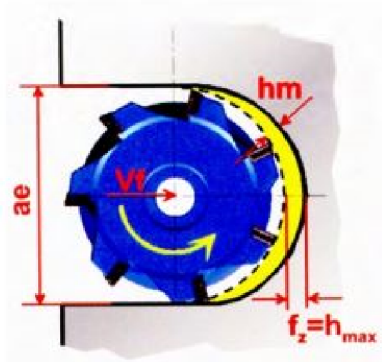
### Pracovní posuv frézky

$$f_{min} = v_f = f_z \cdot z_{ef} \cdot n \left[ \frac{mm}{min} \right], \text{ kde:} \quad (2)$$

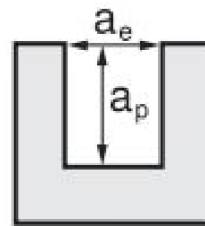
$f_z$  = posuv na zub [mm]

$z_{ef}$  = efektivní počet zubů [-]

$n$  = otáčky vřetena [ $min^{-1}$ ]



Obr. 43: Parametry obrábění (převzato z[31])



Obr. 44: Řezné podmínky (převzato z [30])

### Požadované otáčky vřetena

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} [ot/min], \text{ kde:} \quad (3)$$

$v_c$  = řezná rychlost

$d$  = průměr nástroje

Po dosazení hodnot z kapitoly 4.1.1. do (3) získáme:

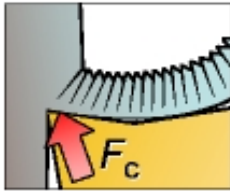
$$n = \frac{250 \cdot 1000}{\pi \cdot 8} = 9549,3 \text{ ot/min} \quad (4)$$

### Pracovní posuv frézky

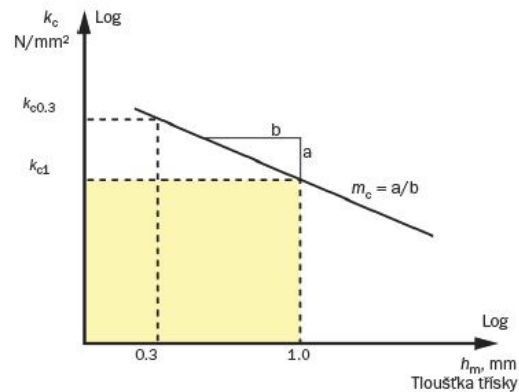
Dosazením do rovnice (2) hodnot z kapitoly 4.1.1. a rovnice (4) získáme:

$$f_{min} = v_f = f_z \cdot z \cdot n = 0,06 \cdot 4 \cdot 9548,3 = 2291,8 \text{ mm/min} \quad (5)$$

## Měrná řezná síla



Obr. 46: Měrná řezná síla [převzato z [32]]



Obr. 45 Nárůst měrné řezné síly [převzato z [32]]

Měrná řezná síla je definována jako síla potřebná pro oddělení třísky průřezu  $1 \text{ mm}^2$ . Z lit. [32] plyne vztah pro přepočtení měrné řezné síly  $K_c$  pro požadovanou střední tloušťku třísky  $h_m$ .

$$K_c = K_{c1} \cdot h_m^{-mc} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) \left[\frac{N}{\text{mm}^2}\right], \text{ kde:} \quad (6)$$

$K_{c1}$  = měrný řezný odpor pro oddělení třísky  $1 \text{ mm}^2$  [N/mm<sup>2</sup>]

$h_m$  = střední tloušťka třísky [mm]

$mc$  = exponent nárůstu měrné řezné síly [-]

$\gamma_0$  = korekce dle úhlu čela nástroje [-]

Ze literatury [31] plyne hodnota měrného řezného odporu pro slitinu hliníku s obsahem Si <1% a exponent nárůstu měrné síly  $mc$ .

$$K_{c1} = 410 \text{ N/mm}^2$$

$$mc = 0,25 \text{ [-]}$$

Pro přepočtení měrné řezné síly je nutné znát střední hodnotu třísky  $h_m$  (Obr. 43). Z literatury [13] pro tento parametr platí vztah:

$$h_m = f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} \text{ [mm]}, \text{ kde:} \quad (7)$$

$a_e$  = pracovní záběr Obr. 43 [mm]

$D$  = průměr nástroje [mm]

$f_z$  = posuv na zub [mm]

dosazením hodnot z kapitoly 4.1.1. do rovnice (7) získáme:

$$h_m = 0,06 \cdot \sqrt{\frac{8}{8}} = 0,06 \text{ mm} \quad (8)$$

Pokud předešlé konstanty dosadíme do rovnice (6), vyjde velikost řezného odporu pro dané technologické podmínky:

$$K_c = 410 \cdot 0,06^{-0,25} \cdot \left(1 - \frac{0}{100}\right) = 828 \text{ MPa} \quad (9)$$

### Řezná síla

Řezná síla působí na každý zub, který je právě v záběru. Velikost této síly je rovna součinu průřezu odebírané třísky  $s_t$  a měrného řezného odporu  $K_c$ . Platí tedy vztah pro průřez třísky:

$$s_t = a_p \cdot h_m \text{ [mm]} \quad (10)$$

Pro řeznou sílu pak platí rovnice:

$$F_z = K_c \cdot s_t = K_c \cdot a_p \cdot h_m \text{ [N]} \quad (11)$$

Po dosazení hodnot z rovnice (9), (8) a kapitoly 4.1.1. do rovnice (11) získáme velikost řezné síly působící na jeden zub:

$$F_z = 828 \cdot 4 \cdot 0,06 = 199 \text{ N} \quad (12)$$

### Požadovaný krouticí moment vřetene

Požadovaný krouticí moment vřetene musí být větší než moment, který vyvozují řezné síly na jednotlivých zubech frézy v záběru. Platí tedy:

$$M_k = \frac{d_{max}}{2} \cdot F_z \cdot z_{ef} \text{ [Nm]}, \text{ kde:} \quad (13)$$

$d_{max}$  = maximální průměr nástroje [mm]

$z_{ef}$  = efektivní počet zubů [-]

Dosažením hodnot z kapitoly 4.1.1. a (12) do rovnice (13) získáme:

$$M_k = \frac{8}{2 \cdot 1000} \cdot 199 \cdot 2 = 1,6 \text{ Nm} \quad (14)$$

### Požadovaný výkon vřetene

Dosažením hodnot z kapitoly 4.1.1. a z rovnice (5) a (9) do rovnice (1) získáme:

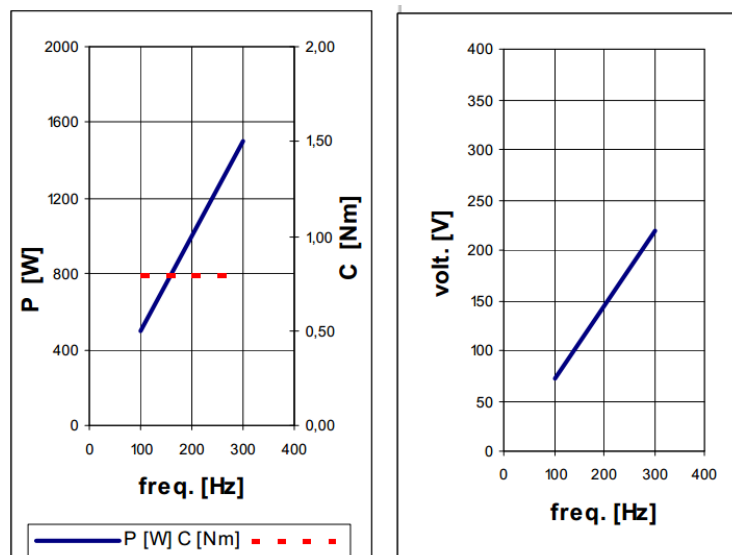
$$P = \frac{a_p \cdot a_e \cdot f_{min} \cdot k_c}{60 \cdot 10^6} = \frac{4 \cdot 8 \cdot 2291,8 \cdot 828}{60 \cdot 10^6} = 1,01 \text{ kW} \quad (15)$$

### Volba vřetene

Dle výše vypočtených hodnot pro předpokládané technologické podmínky lze zvolit vhodné vřeteno stroje.



Obr. 48: Vřeteno 1,5 kW (převzato z [54])



Obr. 47: Momentová a výkonnostní charakteristika vřetena HM73C 1,5 kW

Z dostupných používaných vřeten u malých frézovacích strojů vybírám vřeteno s větším výkonem než 1,01 kW, který byl spočten v rovnici (15) jako dostatečný. Dále dle požadovaných optimálních otáček 9549 ot/min z rovnice (4). Těmto požadavkům vyhovuje vzduchem chlazené vřeteno na Obr. 48, které disponuje výkonem 1,5 kW s otáčkami 3000 – 24000 ot/min.

Výrobce neuvádí momentovou charakteristiku tohoto vřetena. Jedná se o 3 fázový, 2 pólový motor s kotvou na krátko. Bude mít proto podobnou charakteristiku jako vřeteno od firmy Fimec [53] se stejným výkonem na Obr. 47. Z této charakteristiky je

patrné, že moment motoru je přibližně 0,8 Nm. Požadovaný krouticí moment je 1,6 Nm. To znamená, že navržené podmínky by vřeteno nezvládalo a zastavilo by se. Stejným nástrojem by vřeteno mohlo obrábět při velikosti  $a_p = 2$  mm nebo při použití dvoubřité frézy místo čtyř-břité při polovičním pracovním posuvu.

## 4.2. Návrh pohonu kuličkového šroubu

Největší zátěž bude kladena na pohon portálu, který veze smykadlo a křížovou desku. Hmotnost pohybových hmot je největší. O posuv se starají dva kuličkové šrouby s motory bez převodu, které za předpokladu tuhé konstrukce portálu budou rovnoměrně zatěžovány. Pohony budou předběžně uvažovány stejné na všech osách.

Maximální rychlost portálu je možno zvolit největší dosahovanou ve stejné kategorii strojů (Tab. 16):

$$v_{max} = 6000 \text{ mm/min} \quad (16)$$

### Volba kuličkového šroubu

- Z konstrukčních důvodů je volen kuličkový šroub o průměru 16 mm se stoupáním  $s = 5$  mm, který je běžně dostupný v internetových obchodech [cncshop.cz](http://cncshop.cz) a [cnc.inshop.cz](http://cnc.inshop.cz) a zároveň svojí cenou nejpříznivější.

Otáčky šroubu pro zvolený rychloposuv a pracovní posuv jsou závislé na stoupání šroubu.

Otáčky kuličkového šroubu při rychloposuvu

$$n_{\xi} = \frac{v_{\xi}}{s} = \frac{6000}{5} = 1200 \text{ ot/min} \quad (17)$$

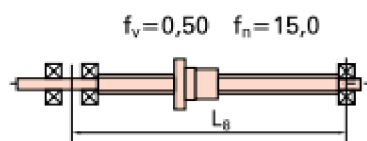
Otáčky kuličkového šroubu při pracovním posuvu

$$n_{\xi(p)} = \frac{f_{min}}{s} = \frac{2291}{5} = 458 \text{ ot/min} \quad (18)$$

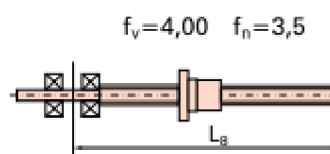
Vzhledem k síle působící v ose šroubu a dosahovým otáčkám je nutné provést kontrolu kuličkového šroubu. Výpočet je převzat z lit. [40].

Uložení kuličkových šroubů návrhu jsou vidět na Obr. 49 a Obr. 50





Obr. 49: Uložení kuličkového šroubu osy Y a X (převzato z [40])



Obr. 50: Uložení kuličkového šroubu osy Z (převzato z [40])

#### 4.2.1. Kontrola kuličkového šroubu osy Y

Vzhledem k rychlosti otáčení kuličkového šroubu je nutné provést kontrolu kritických otáček. Pro výpočet je použit vztah z lit. [40]:

$$n_{kr} = \frac{1 \cdot 10^7 \cdot f_n \cdot d_0}{L^2} \text{ [ot/min]}, \text{ kde:} \quad (19)$$

$L$ ... je délka kuličkového šroubu dle Obr. 49 z konstrukčního návrhu [mm]

$d_0$ ... je průměr zvoleného kuličkového šroubu z kapitoly 4.2.1. [mm]

$f_n$ ... je konstanta dle druhu uložení dle Obr. 49 [-]

Dosazením těchto hodnot do rovnice (19) obdržíme:

$$n_{kr} = \frac{1 \cdot 10^7 \cdot 15 \cdot 16}{702,5} = 4863 \text{ ot/min} \quad (20)$$

Dle lit. [40] jsou doporučené maximální otáčky šroubu sníženy na 80 % kritických:

$$n_{max} = 0,8 \cdot n_{kr} \text{ [ot/min]} \quad (21)$$

Dosazením (20) do (21):

$$n_{max} = 0,8 \cdot 4863 = 3890 \text{ ot/min} \quad (22)$$

Šroub je namáhán osovou silou, proto je nutná kontrola na vzpěr:

Dle lit. [40] je kritická síla v ose šroubu:

$$Q_{kr} = \frac{\pi \cdot 500 \cdot d_0^4}{f_v \cdot L^2} \text{ [N]} \quad (23)$$

Hodnoty  $L$  a  $d_0$  jsou stejné jako u rovnice (19). Konstanta  $f_v$  je z Obr. 49. Dosazením těchto hodnot do (23) získáme:

$$Q_{kr} = \frac{\pi \cdot 500 \cdot 16^4}{0,5 \cdot 702,5^2} = 4118 \text{ N} \quad (24)$$

Maximální síla v ose šroubu by podle lit. [40] neměla přesahovat 33 % kritické hodnoty:

$$F_{(a)max} = 0,33 \cdot Q_{kr} [N] \quad (25)$$

Dosazením (24) do (25) získáme:

$$F_{(a)max} = 0,33 \cdot 4118 = 1359 N \quad (26)$$

Maximální osová síla šroubu spodního gantry při obrábění je vzhledem k předpokladu rovnoměrného rozkladu řezné síly na dva kuličkové šrouby. Platí tedy:

$$F_{(a)p} = F_z/2 [N] \quad (27)$$

Výsledkem dosazením (12) do (27) je síla působící v ose jednoho kuličkového šroubu:

$$F_{(a)p} = \frac{199}{2} = 99,5N \quad (28)$$

Požadované otáčky šroubu  $n_s$  jsou menší než maximální možné  $n_{max}$ . Maximální dovolená osová síla  $F_{(a)max}$  je větší než osová síla  $F_{(a)p}$ . Z toho plyne, že kuličkový šroub osy Y vyhovuje a je předimenzovaný. Zároveň není nutné kontrolovat kuličkový šroub osy X vzhledem k podobnému zatížení a jeho menší délce.

#### 4.2.2. Kontrola kuličkového šroubu osy Z

Stejným způsobem jako v kapitole 4.2.2. lze kontrolovat i šroub osy Z. Délka kuličkového šroubu  $L$  vstupující do vzorců (19) a (23) je z konstrukčního návrhu 230 mm. Konstanty  $f_v$  a  $f_n$  jsou vzaty z Obr. 50.

Kritické otáčky:

$$n_{kr} = \frac{1 \cdot 10^7 \cdot 3,5 \cdot 16}{230} = 10586 \text{ ot/min} \quad (29)$$

Maximální otáčky:

$$n_{max} = 0,8 \cdot 10586 = 8469 \text{ ot/min} \quad (30)$$

Kritická síla v ose šroubu:

$$Q_{kr} = \frac{\pi \cdot 500 \cdot 16^4}{4 \cdot 230^2} = 4802 N \quad (31)$$

Maximální síla v ose šroubu:

$$F_{(a)max} = 0,33 \cdot 4802 = 1584 \text{ N} \quad (32)$$

Maximální osová sílu kuličkového šroubu  $Z$  je závislá na technologické operaci. Při navrženém obrábění frézou (Obr. 42) nebude větší než řezná síla v ose  $X$  nebo  $Y$  a při vrtání může dosahovat podobné velikosti jako  $F_z$ . Lze tedy říci, že kuličkový šroub bude vyhovovat.

#### 4.2.3. Úhlová rychlost

Dle přepočtu otáček na úhlovou rychlost platí vztah pro úhlovou rychlost kuličkového šroubu:

$$\omega_{\xi} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n_{\xi}}{60} [\text{rad/s}] \quad (33)$$

Dosazením maximálních otáček kuličkového šroubu z rovnice (17) do (33) dostaneme úhlovou rychlost při maximálních otáčkách:

$$\omega_{\xi} = \pi \cdot \frac{1200}{30} = 125,7 \text{ rad/s} \quad (34)$$

Vzhledem k připojení motoru ke kuličkovému šroubu bez převodu je úhlová rychlost motoru stejná jako úhlová rychlost kuličkového šroubu. Platí tedy:

$$\omega_M = \omega_{\xi} [\text{rad/s}] \quad (35)$$

Dosazením (34) do (35) získáme:

$$\omega_M = 125,7 \text{ rad/s} \quad (36)$$

#### Převod šroubu

Při posunutí portálu o 1 m se musí motor otočit o  $q$  radiánů. Platí tedy vztah:

$$q = \frac{1 \cdot 1000 \cdot 2 \cdot \pi}{s} [\text{rad/m}] \quad (37)$$

Dosazením stoupání šroubu, který byl zvolen v kapitole 4.2.1. do rovnice (37):

$$q = \frac{1 \cdot 1000 \cdot 2 \cdot \pi}{5} = 1256,6 \frac{\text{rad}}{\text{m}} \quad (38)$$

#### 4.2.4. Trvalý moment motoru bez uvažování ztrát

Řezná síla  $F_z$  je zde uvažována pro jeden motor. V ose Y se o pohyb starají dva motory, které se o tuto sílu podělí ale v ose X a Z, je pro pohyb motor jeden. Dle lit. [49] platí vztah:

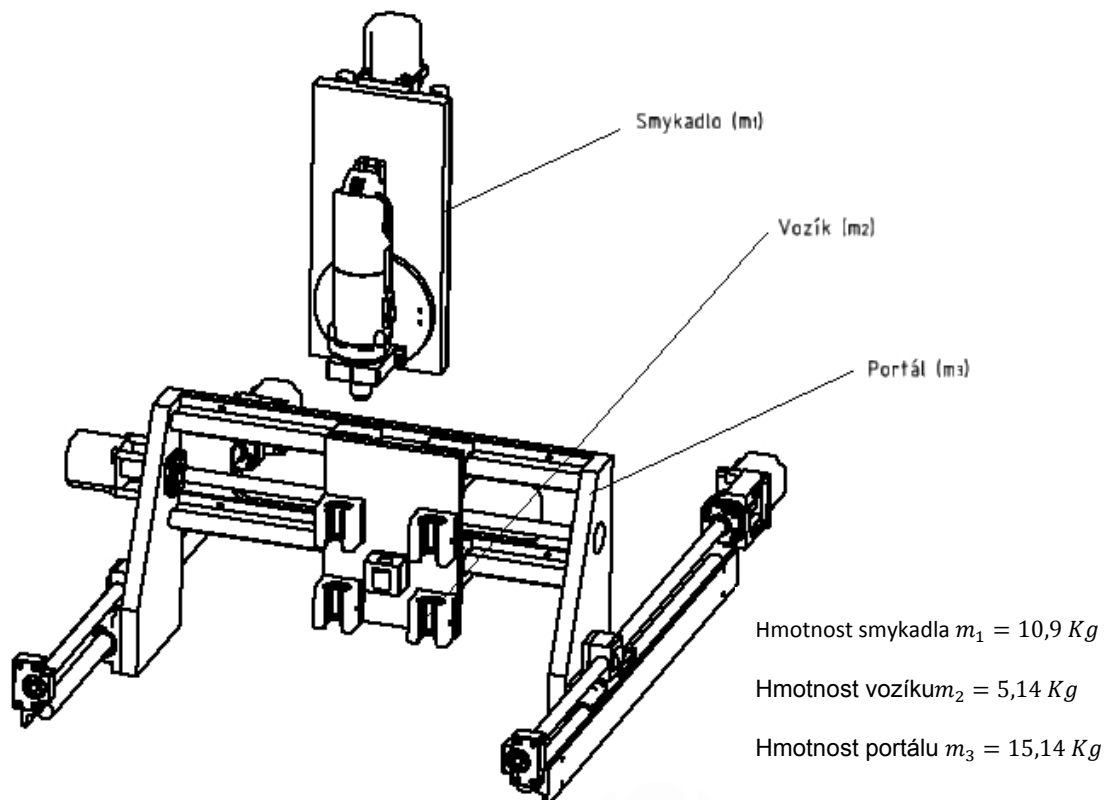
$$M_{ks} = \frac{F}{q} [Nm] \quad (39)$$

Síla  $F$  je zde rovna řezné síle  $F_z$  z rovnice (12). Dosazením (12) a (38) do rovnice (39):

$$M_{ks} = \frac{199}{1256,6} = 0,16 Nm \quad (40)$$

#### 4.2.5. Redukovaný moment setrvačnosti na osu šroubu

Z konstrukčního návrhu jsou známy hmoty, které chceme urychlovat (Obr. 51).



Obr. 51: Pohyblivé hmoty

Pro výpočet redukovaného momentu setrvačnosti na osu šroubu je nutné znát moment setrvačnosti všech částí, které se motorem urychlují (Tab. 18):

Tab. 18: Momenty setrvačnosti

Součást	označení	hodnota	jednotka
Kuličkový šroub spodního gantry	$J_{\xi 1}$	37,208	$kg \cdot mm^2$
Spojka	$J_{sp}$	2,664	$kg \cdot mm^2$
Ložisko volné	$J_{lv}$	0,8	$kg \cdot mm^2$
Ložisko pevné	$J_{lp}$	1,2	$kg \cdot mm^2$
Motor	$J_m$	48	$kg \cdot mm^2$

O pohyb portálu se starají dva motory, proto jsou hmoty portálu rozděleny mezi ně.

Vztah pro celkovou energii na jeden motor dle lit. [49] je proto upraven:

$$E_{kred(c)} = \frac{1}{4} \cdot (m_1 + m_2 + m_3) \cdot v_{max}^2 + \frac{1}{2} \cdot (J_{\xi} + J_{sp} + J_{lp} + J_{lv} + J_m) \cdot \omega_{\xi}^2 [J] \quad (41)$$

Dosazením hodnot z (16), (36) a hodnot z Obr. 51 a Tab. 18 do rovnice (41) získáme:

$$E_{kred(c)} = \frac{1}{4} \cdot (10,9 + 5,14 + 15,14) \cdot \left(\frac{6000}{60 \cdot 10^3}\right)^2 + \frac{1}{2} \cdot (37,208 + 2,664 + 0,8 + 1,2 + 48) \cdot 125,7^2 = 709601 J \quad (42)$$

Pro výpočet celkové energie přes redukovaný moment setrvačnosti platí vztah dle lit. [49]:

$$E_{kred(1)} = \frac{1}{2} \cdot I_{red(1)} \cdot \omega_M^2 [J] \quad (43)$$

Vyjádřením  $I_{red(1)}$  z (43) a dosazením hodnot z (42) a (36) dostaneme hodnotu redukovaného momentu setrvačnosti na osu kuličkového šroubu:

$$I_{red(1)} = \frac{E_{kred(1)} \cdot 2}{125,7^2} = 89,9 \text{ kg/mm}^2 \quad (44)$$

#### 4.2.6. Úhlové zrychlení motoru gantry

Pro výpočet úhlového zrychlení motoru je nutné znát zrychlení pohyblivých hmot. Tuto hodnotu volím podle dosahovaných zrychlení běžných strojů dle lit. [49]:

$$a = 5 \text{ m/s}^2 \quad (45)$$

Velikost úhlového zrychlení je dle lit. [49] podle vztahu:

$$\alpha = a \cdot q \text{ [rad/s}^2\text{]} \quad (46)$$

Dosazením (45) a (38) do (46) obdržíme:

$$\alpha = 5 \cdot 1256,6 = 6283 \text{ rad/s}^2 \quad (47)$$

#### 4.2.7. Dynamický moment na motoru

Požadovaný krouticí moment motoru spodního gantry pro dané úhlové zrychlení je dle lit. [49]:

$$M_{m(a)} = \alpha \cdot I_{red(1)} \text{ [Nm]} \quad (48)$$

Dosazením (47) a (44) do (48) získáme:

$$M_{m(a)} = 6283 \cdot \frac{89,9}{10^6} = 0,6 \text{ Nm} \quad (49)$$

#### 4.2.8. Požadavky na pohon a volba motoru

Požadovaný krouticí moment je součtem trvalého krouticího momentu a momentu z dynamických sil, tedy:

$$M_k = M_{ks} + M_m \text{ [Nm]} \quad (50)$$

Dosazením (40) a (49) do (50) získáme:

$$M_k = 0,16 + 0,6 = 0,76 \text{ Nm} \quad (51)$$

Výsledkem předchozích výpočtů jsou požadavky na pohon souhrnně uvedené v Tab. 19:

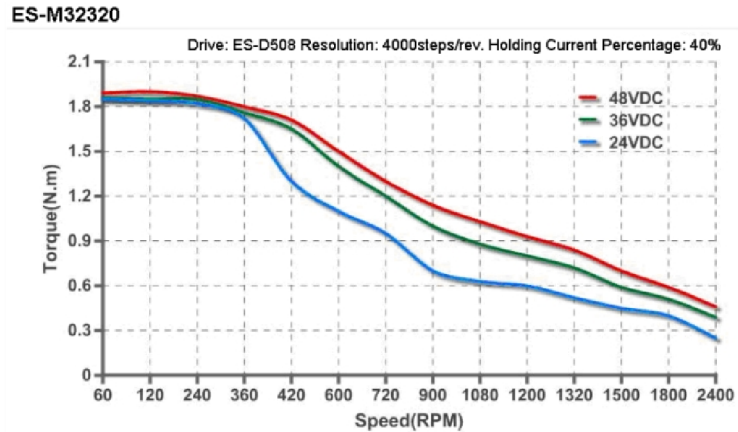
Tab. 19: Požadavky na pohon

	$v_{max}$	$n_{max}$	$M_k$
Maximální posuv	6000 mm/min	1200 ot/min	0,76 Nm
Pracovní optimální posuv	2291 mm/min	498 ot/min	0,76 Nm

Z Cncshop.cz vybírám vhodný motor z kategorie Easy servomotorů. Tedy krokových motorů se zpětnou vazbou. Porovnávám požadované otáčky a moment při těchto otáčkách z Tab. 19 s udávanými momentovými charakteristikami motorů.



Obr. 52: Motor ES-M32320  
(převzato z [55])



Obr. 53: Momentová charakteristika motoru (převzato z [55])

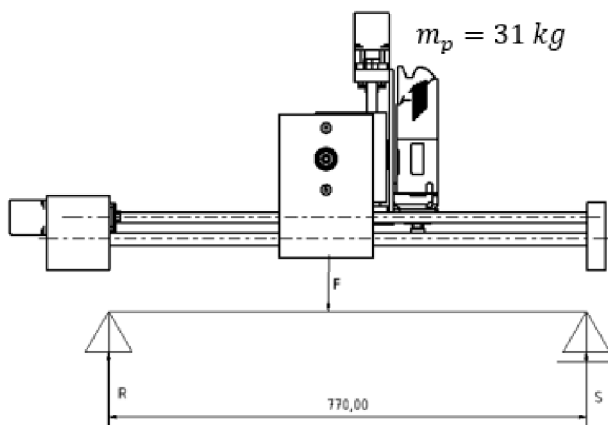
Z momentové charakteristiky tohoto motoru je vidět, že při otáčkách 1200 ot/min dokáže vyvodit až 0,9 Nm. Požadovaný moment je 0,76 Nm, to znamená, že má motor ještě rezervu 0,14 Nm na překonání tření a ztrátových sil. Motor je možné napájet 24 až 48 V. Podle různého vstupního napětí se liší i momentová charakteristika motoru a na Obr. 53 je vidět, že pokud bychom motor napájeli 24 V, už by byl krouticí moment 0,6 Nm. Je proto žádoucí použít zdroj 48 V.

## 5. Kontrolní výpočty

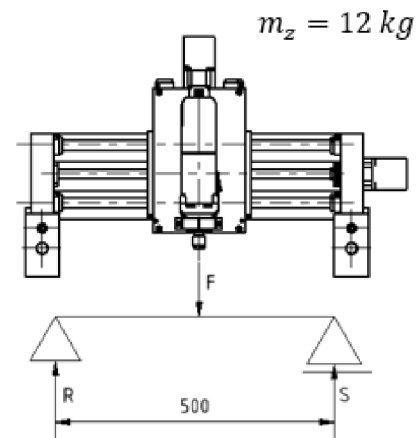
V této kapitole je proveden výpočet průhybu nepodepřených tyčí při použití jako vedení stroje. Je zde provedena kontrola a zhodnocení prvků tvořících portál stroje. Je provedena analýza tuhostí nosných dílců a zhodnocení použití pracovního stolu a lineárního vedení stroje.

### 5.1. Nepodepřené tyče

Používané vodící tyče, které jsou levnějším řešením vedení, než klasické prizmatické vedení na produkčních CNC obráběcích strojích jsou dvojího druhu. Nepodepřené, které ve svých levnějších konstrukcích využívá například čínský výrobce (kapitola 2.2.) a valivá pouzdra jsou uzavřená (Obr. 7) nebo jsou vodící tyče podepřené a zvyšují tak tuhost vedení. Valivá hnízda jsou pak otevřená. Předpokladem použití nepodepřených tyčí je dostatečně lehká konstrukce a lehké pohyblivé se hmoty. V návrhu N1 (Obr. 33) byly tyto tyče použity. Z tohoto koncepčního návrhu jsou známy přibližné hmotnosti mechaniky takového návrhu (Obr.54). Jednoduchým výpočtem lze získat představu o průhybech tyčí vedení, které nesou tyto pohyblivé hmoty.



Obr. 54: Průhyb od hmotnosti na ose Y



Obr. 55: Průhyb od hmotnosti na ose X

Konstrukce je modelována jednoduchým staticky určitým nosníkem o dvou podporách, zatíženým jednou silou uprostřed. Nosník je tyč o průměru  $d_{p1} = 20 \text{ mm}$  pro osu Y a  $d_{p2} = 16 \text{ mm}$  pro osu X s polárním kvadratickým momentem  $J_{p1}$  a  $J_{p2}$ :

$$J_{pi} = \frac{\pi \cdot d_{pi}^4}{64} [\text{mm}^4] \quad (52)$$



Dosažením do rovnice (52) získáme:

Tab. 20: Výsledky (52)

	$d_{pi}$ [mm]	$J_{pi}$ [mm <sup>4</sup> ]
Osa Y	20	<b>7854</b>
Osa X	16	<b>3217</b>

Portál nesou dvě vodící tyče, stejně tak osu Z, proto lze zavést zjednodušení a počítat se zatížením jedné tyče s poloviční zátěží. Průhyb v místě působení síly  $F_{Fi}$  je počítán Mohrovým integrálem (lit. [50]):

$$V_{Fi} = \frac{1}{E \cdot 2 \cdot J_{pi}} \cdot \int_L M_{oi}(x) \cdot m_{oi}(x) dx [mm] \quad (53)$$

Po vyjádření průběhu ohybových momentů lze získat vztah (lit. [50]):

$$V_{Fi} = \frac{1}{E \cdot 2 \cdot J_{pi}} \cdot \left( \frac{F_i \cdot L_i^3}{48} \right) [mm] \quad (54)$$

V Tab. 21 jsou vstupující hodnoty do rovnice (54) vycházející z Tab. 20 a Obr. 54, zároveň je zde uveden i výsledek  $V_{fi}$ .

Tab. 21: Průhyby vedení N1

	E [N/mm <sup>2</sup> ]	$J_{pi}$ [mm <sup>4</sup> ]	$F_i$ [N]	$L_i$ [mm]	$V_{fi}$ [mm]
<b>Osa Y</b>	210000	7854	304	770	<b>0,85</b>
<b>Osa X</b>	210000	3217	118	500	<b>0,225</b>

Z Tab. 21 je vidět, že pro daný rozjezd vychází průhyb vedení téměř 1 mm. Zavedený matematický model je hodně zjednodušující a dá se říci, že by bylo vhodnější počítat vedení jako vetklé. V takovém případě je vztah pro průhyb vyjádřen vztahem (lit. [50]):

$$V_{Fi} = \frac{1}{E \cdot 2 \cdot J_{pi}} \cdot \left( \frac{F_i \cdot L_i^3}{192} \right) [mm] \quad (55)$$

Průhyb je tedy čtyřikrát menší, než u jednoduše podepřeného nosníku a snahou výrobců, kteří nepodepřené tyče pro vedení svých strojů používají, bude jistě toto vetknutí realizovat. V Tab. 22 jsou uvedeny výsledky průhybů při stejných vstupních hodnotách z Tab. 21 do rovnice (55). Je vidět, že průhyby takového vedení jsou stále v desetinách mm.

Tab. 22: Průhyby vedení N1 v případě vetknutí

	<b>V<sub>fi</sub> [mm]</b>
<b>Osa Y</b>	0,213
<b>Osa X</b>	0,056

## 5.2. Portál stroje

Portál stroje může být tvořen hliníkovými deskami, které mezi sebou drží hliníkový profil nebo hliníkový plech (Tab. 23). Hlavní silový účinek působící na portál je síla od hmotnosti smykadla  $F_g$  a řezná síla  $F_z$ .

$$F_g = (m_1 + m_2) \cdot g \text{ [N]} \quad (56)$$

Dosazením hmotností z Obr. 51 do (56) je zatěžující síla od hmotnosti portálu:

$$F_g = (10,9 + 5,14) \cdot 9,81 = 157 \text{ N} \quad (57)$$

Srovnání těchto návrhů označených jako portál A) a portál B) je uvedeno v Tab. 23. Průhyby portálu jsou počítány jako nosník o dvou podporách zatížený uprostřed osamělou silou pomocí vztahu (lit. [36]):

$$v_i = \frac{F_i \cdot L^3}{48 \cdot E_i \cdot I_i \cdot 10^4} \text{ [mm]}, \text{ kde:} \quad (58)$$

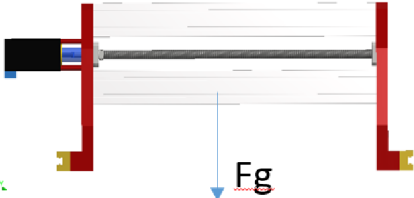
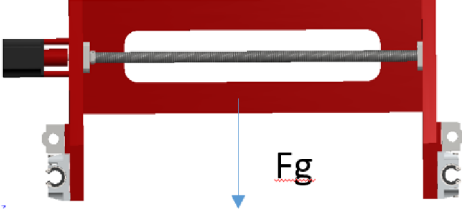
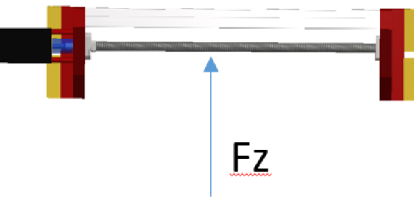
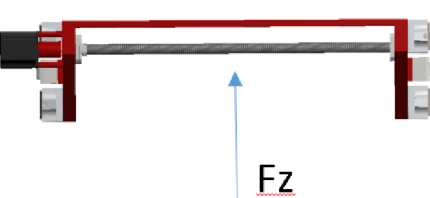
$I_i$  = moment setrvačnosti [cm<sup>4</sup>]

$E_i$  = modul pružnosti – pro slitiny hliníku ~ 71 000 [N/mm<sup>2</sup>]

$F_i$  = zatěžující síla [N]

$L$  = délka portálu [mm]

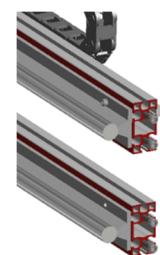
Tab. 23: Srovnání portálu

Portál A)	Portál B)
Použitá vzpěra portálu	
2 x profil 103060 L490 mm	2 x hliníkový plech 490x45x10 mm
	
zatížení hmotností smykadla	zatížení hmotností smykadla
	
zatížení řeznou silou	zatížení řeznou silou
Momenty setrvačnosti	
Profil 103060 $I_x = 5,59 \text{ cm}^4$ $I_y = 21,19 \text{ cm}^4$	Plech 10 mm $I_x = 0,38 \text{ cm}^4$ $I_y = 7,6 \text{ cm}^4$
Průhyby vzpěr portálu	
Průhyb od hmotnosti $v_{F_g} = 0,012 \text{ mm}$ Průhyb od řezné síly $v_{F_z} = 0,058 \text{ mm}$	Průhyb od hmotnosti $v_{F_g} = 0,032 \text{ mm}$ Průhyb od řezné síly $v_{F_z} = 0,871 \text{ mm}$

Z Tab. 23 plyne, že tužší konstrukci nabízí portál typu A).

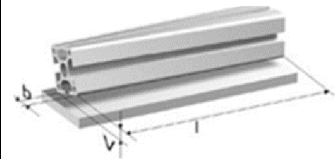
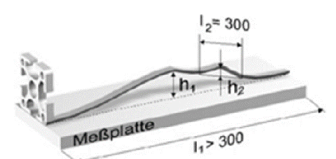
Vedení je na portálu uchyceno do drážek profilů (Obr. 56). Použité vedení v podobě podepřených tyčí má stejnou rozteč upínacích děr 30 mm, jako je rozteč drážek profilů. Přesnost těchto profilů se řídí normou DIN 17615 (lit. [36]).

V Tab. 24 je výběr hodnot rovinnosti a přímosti použitého profilu. Z této tabulky plyne, že nepřesnosti hliníkových výtlačků jsou v desetinách mm. Pokud na ně bude upevňováno přesné vedení, může se zdeformovat. Problém je také v docílení geometrické přesnosti stroje, která vychází z dorážení tolerovaných ploch na dorážecí hrany, případně poziční kolíky. Proto je nutné tyto funkční plochy vhodným způsobem opracovat.



Obr. 56: Uchycení vedení osy X na portálu


Tab. 24: Přesnost hliníkových profilů (lit. [36])

	
Rovinnost profilu	Přímot profilu
Délka profilu portálu L = 490 mm	
v = 0,49 mm	h1 = 0,34 mm
Tolerance rozměru	
Rozměr 45 – 60 mm	±0,4 mm

Vhodným opracování dosedacích ploch může být například frézování. Vzhledem ke skořepinovému charakteru hliníkových profilů je nutné zvážit, jestli je tato operace vůbec možná a přinesla by zlepšení přesnosti.

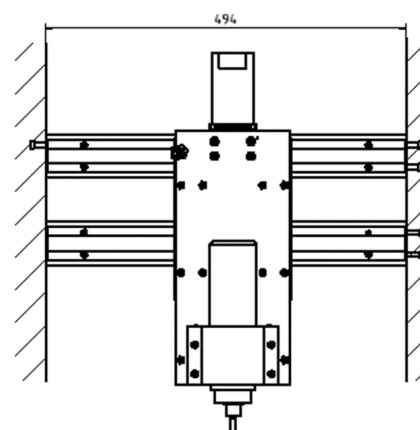
Profily s frézovaným povrchem nabízí například firma Misumi (lit. [37]). Parametry tohoto profilu jsou v Tab. 25.

Tab. 25: Profil s frézovaným povrchem Misumi (lit. [37])

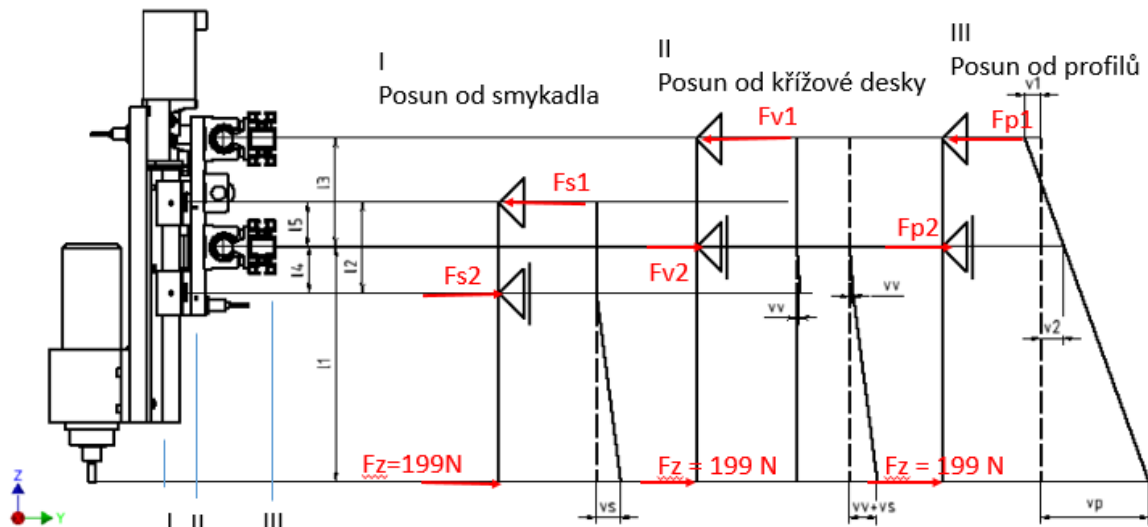
 Profil s frézovaným povrchem HSFP6 60x60	Moment setrvačnosti	$I_x = 42 \text{ cm}^4$ $I_y = 42 \text{ cm}^4$
	Tloušťka stěny	3 mm
	Rovnoběžnost povrchů	0,1/100 mm
	Tolerance rozměru	±0,05 mm

Vzhledem k většímu výběru vhodných profilů s roztečí drážek 30 mm je nutné provést posouzení celkové tuhosti. Posuzovat se budou nosné dílce, tedy deska smykadla, křížová deska Z a profily portálu. Pro zjednodušení budeme uvažovat, že jsou profily portálu vetklé v bočnicích (Obr. 57).

Řeznou sílu  $F_z$  budou přenášet valivá hnízda dle Obr. 58. Směr těchto sil je opačný směru reakcím v těchto hnízdech a jejich velikost vychází z rovnic rovnováhy. Nejdůležitějším údajem je deformace, která se projeví na nástroji. Ta přímo ovlivňuje přesnost obráběcího stroje. Posuzovat tedy budou jednotlivé příspěvky každého nosného dílce.



Obr. 57: Vetknutí portálu



Obr. 58: Analýza tuhosti

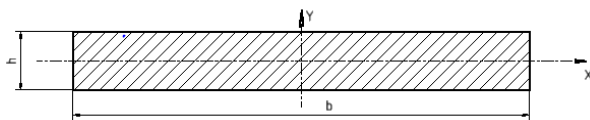
Z konstrukčního návrhu jsou známy vzdálenosti valivých hnízd v pozici smykadla dle Obr. 58. Seřazeny jsou do Tab. 26:

Tab. 26: Vzdálenosti valivých hnízd

vzdálenost	hodnota
l1	260 mm
l2	100 mm
l3	120 mm
l4	51 mm
l5	49 mm

### 5.2.1. Posun od smykadla I

Smykadlo je realizováno hliníkovou deskou o rozměrech 157x349 mm, tloušťka desky je 20 mm. Modul průřezu v ohybu k ose X je (lit. [50]):



$$J_x = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 [mm^4] \quad (59)$$

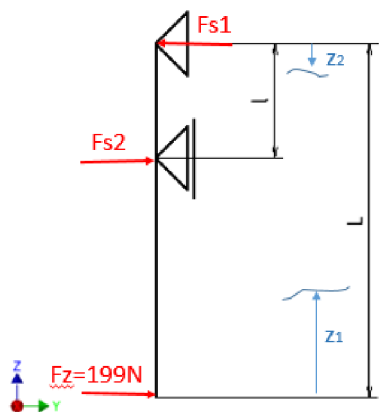
Obr. 59: Průřez desky smykadla

Dosazením do rovnice (59) získáme:

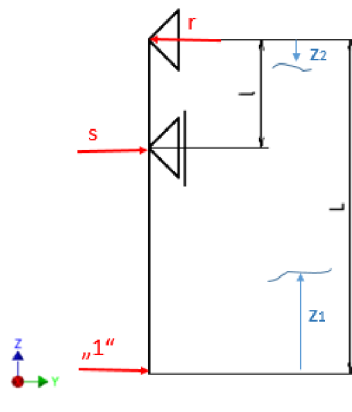
$$J_x = \frac{1}{12} \cdot 157 \cdot 20^3 = 104670 mm^4 \quad (60)$$

Pro výpočet průhybu desky od zatížení řeznou silou  $F_z$  je použit Mohrův integrál [50]:

$$v_s = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \int_0^L M_{o(x)} \cdot m_{o(x)} dx \quad [mm] \quad (61)$$



Obr. 60: Zatížení desky smykadla řeznou silou



Obr. 61: Zatížení desky smykadla jednotkovou silou

Vzdálenosti podpěr nosníku na Obr. 60, Obr. 61 dle Tab. 26 jsou:

$$l = l_2 = 100 \text{ mm} \quad (62)$$

$$L = l_1 + l_5 = 260 + 49 = 309 \text{ mm}$$

Z rovnice rovnováhy ve směru Y pro nosník na Obr. 60 a Obr. 61 vyjádříme:

$$F_z + F_{s2} - F_{s1} = 0 \quad (63)$$

$$1 + s - r = 0$$

Jednotková síla se používá pro výpočet průhybu v místě, kam sílu umístíme (lit. [50]).

Z rovnováhy momentů k bodu působivosti síly  $F_{s2}$  (Obr. 60, Obr. 61) vyjádříme:

$$F_z \cdot (L - l) + F_{s1} \cdot l = 0 \quad (64)$$

$$1 \cdot (L - l) + r \cdot l = 0$$

Dosazením z (27) a (62) do (64) získáme:

$$F_{s1} = \frac{F_z \cdot (L - l)}{-l} = \frac{199 \cdot (309 - 100)}{-100} = -416 \text{ N} \quad (65)$$

$$r = \frac{(L-l)}{-l} = \frac{(309-100)}{-100} = -2,1$$

$$F_{s2} = F_{s1} - F_z$$

$$s = r - 1$$

$$F_{s2} = -416 - 199 = -615 \text{ N}$$

$$s = -2,1 - 1 = -3,1 \text{ N}$$

Hodnoty ohybového momentu  $Mo(z)$  od řezné síly a  $mo(z)$  od jednotkové síly jsou v Tab. 27

Tab. 27: Hodnoty ohybového momentu na desce smykadla

Oblast	$Mo(z)$	$mo(z)$
$z_1 = 0$ až $(L-l)$	$-F_z \cdot z_1$	$-z_1$
$z_2 = 0$ až $l$	$F_{s1} \cdot z_2$	$r \cdot z_2$

Dosazením obecných hodnot z Tab. 27 do (61) získáme:

$$v_s = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \left( \int_0^{L-l} F_z \cdot z_1 \cdot z_1 \cdot dz_1 + \int_0^l F_{s1} \cdot z_2 \cdot r \cdot z_2 \cdot dz_2 \right) \quad (66)$$

$$v_s = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \left( F_z \cdot \frac{(L-l)^3}{3} + F_{s1} \cdot r \cdot \frac{l^3}{3} \right)$$

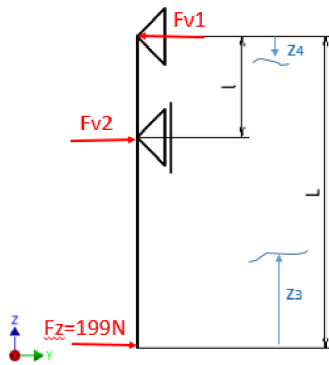
Dosazením z (60), (27), (65) do (66) získáme:

$$v_s = \frac{1}{70000 \cdot 104670} \cdot \left( 199 \cdot \frac{(309-100)^3}{3} + 416 \cdot 3,1 \cdot \frac{100^3}{3} \right) = 0,122 \text{ mm} \quad (67)$$

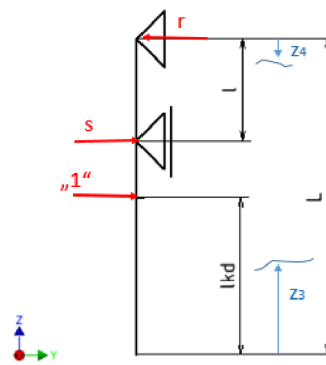
### 5.2.2. Posun křížové desky II:

Křížová deska je realizována hliníkovou deskou o rozměrech 220x160 mm. Tloušťka desky je 20 mm. Dosazením těchto hodnot do (59) získáme:

$$J_x = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 160 \cdot 20^3 = 106670 \text{ mm}^4 \quad (68)$$



Obr. 62: Zatížení křížové desky řeznou silou



Obr. 63: Zatížení křížové desky jednotkovou silou

Vzdálenosti podpěr nosníku podle Obr. 62, Obr. 63 z Tab. 26 jsou:

$$l = l_3 = 120 \text{ mm}$$

$$L = l_1 + l_3 = 260 + 120 = 380 \text{ mm} \quad (69)$$

$$l_{kd} = l_1 - l_4 = 260 - 51 = 209 \text{ mm}$$

Z rovnice rovnováhy ve směru Y pro nosník na Obr. 62 a Obr. 63 vyjádříme:

$$\begin{aligned} F_z + F_{v2} - F_{v1} &= 0 \\ 1 + s - r &= 0 \end{aligned} \quad (70)$$

Z rovnováhy momentů k bodu působivosti síly  $F_{v2}$  (Obr. 62, Obr. 63) vyjádříme:

$$\begin{aligned} F_z \cdot (L - l) + F_{v1} \cdot l &= 0 \\ 1 \cdot (L - l - l_{kd}) + r \cdot l &= 0 \end{aligned} \quad (71)$$

Dosazením z (27) a (69) do (71) obdržíme:

$$\begin{aligned} F_{v1} &= \frac{F_z \cdot (L - l)}{-l} = \frac{199 \cdot (380 - 120)}{-120} \\ &= -431 \text{ N} \\ r &= \frac{(L - l - l_{kd})}{-l} = \frac{(380 - 120 - 209)}{-120} \\ &= -0,425 \end{aligned} \quad (72)$$

$$F_{v2} = F_{v1} - F_z$$

$$s = r - 1$$

$$F_{v2} = -431 - 199 = -630 \text{ N}$$

$$s = -0,425 - 1 = -1,425 \text{ N}$$



Hodnoty ohybového momentu  $M_o(z)$  od řezné síly a  $m_o(z)$  od jednotkové síly jsou v Tab. 28:

Tab. 28: Hodnoty ohybového momentu na křížové desce

Oblast	$M_o(z)$	$m_o(z)$
$z_3 = 0$ až $l_{kd}$	$-F_Z \cdot z_3$	0
$z_3 = l_{kd}$ až $(L-l)$	$-F_Z \cdot z_3$	$-1 \cdot (z_3 - l_{kd})$
$z_4 = 0$ až $l$	$F_{v1} \cdot z_4$	$r \cdot z_4$

Dosazením obecných hodnot z Tab. 28 do (61) získáme:

$$v_v = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \left( \int_0^{l_{kd}} 0 \cdot dz_3 + \int_{l_{kd}}^{L-l} F_Z \cdot z_3 \cdot (z_3 - l_{kd}) \cdot dz_3 + \int_0^l F_{v1} \cdot z_4 \cdot r \cdot z_4 \cdot dz_4 \right) [mm] \quad (73)$$

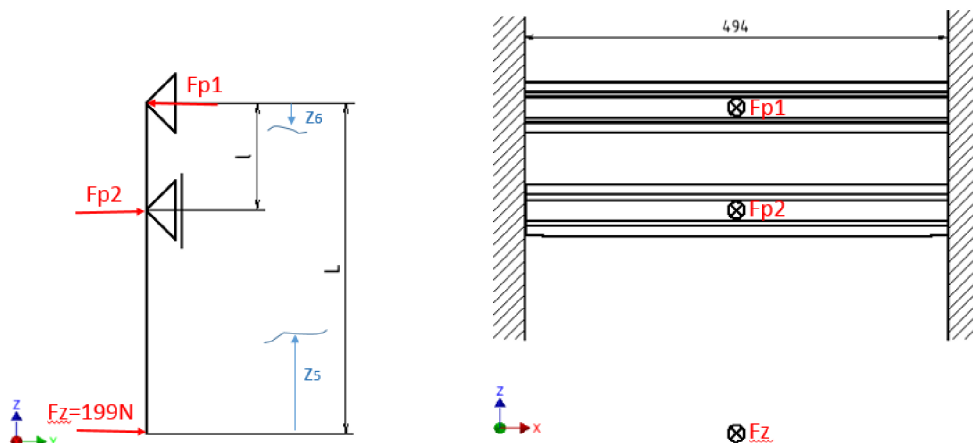
$$v_v = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \left( F_Z \cdot \left( \frac{(L-l)^3}{3} - \frac{(L-l)^2}{2} \cdot l_{kd} - \frac{l_{kd}^3}{3} + \frac{l_{kd}^3}{2} \right) + F_{v1} \cdot r \cdot \frac{l^3}{3} \right) [mm]$$

Dosazením z (72), (27), (69) do (73) získáme:

$$v_v = \frac{1}{70000 \cdot 106670} \cdot \left( 199 \cdot \left( \frac{(380-120)^3}{3} - \frac{(380-120)^2}{2} \cdot 209 - \frac{209^3}{3} + \frac{209^3}{2} \right) + 431 \cdot 0,425 \cdot \frac{120^3}{3} \right) = 0,023 \text{ mm} \quad (74)$$

### 5.2.3. Posun profilů portálu III

Portál je realizován dvěma hliníkovými profily. Pro zjednodušení budou uvažovány jako vetklé v bočnicích portálu. Posuzovat se budou jejich průhyby, které přímo ovlivňují posun na nástroji.



Obr. 64: Zatížení profilů portálu řeznou silou

Vzdálenosti podpěr nosníku podle Obr. 64, z Tab. 26 jsou:

$$\begin{aligned} l &= l_3 = 120 \text{ mm} \\ L &= l_1 + l_3 = 260 + 120 = 380 \text{ mm} \end{aligned} \quad (75)$$

Z rovnice rovnováhy ve směru Y pro nosník na Obr. 64 vyjádříme:

$$F_z + F_{p2} - F_{p1} = 0 \quad (76)$$

Z rovnováhy momentů k bodu působivosti síly  $F_{p2}$  (Obr. 64) vyjádříme:

$$F_z \cdot (L - l) + F_{p1} \cdot l = 0 \quad (77)$$

Dosazením z (27) a (75) do (77) a (76) obdržíme:

$$\begin{aligned} F_{p1} &= \frac{F_z \cdot (L - l)}{-l} = \frac{199 \cdot (380 - 120)}{-120} = -431 \text{ N} \\ F_{p2} &= F_{p1} - F_z \\ F_{p2} &= -431 - 199 = -630 \text{ N} \end{aligned} \quad (78)$$

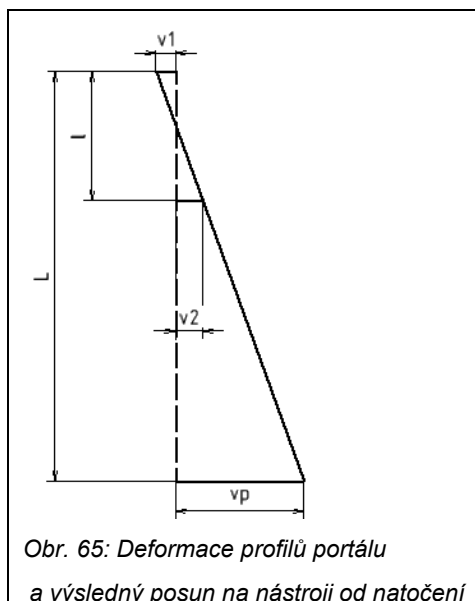
Deformace profilů portálu bude způsobovat natočení křížové desky a smykadla. Toto natočení se projeví v posunu v místě nástroje. Výpočet je zjednodušen na deformace dvou vetklých nosníků od sil, které vznikají ve valivých hnízdech. Velikost průhybu takového nosníku se pak řídí vztahem (lit. [36]):

$$v_i = \frac{F_i \cdot L^3}{192 \cdot E_i \cdot I_i \cdot 10^4} \text{ [mm]} \quad (79)$$

V konstrukčním návrhu jsou použity předběžně profily 103060 od firmy Aluteckk (viz Tab. 23).

Tab. 29: Vstupní parametry a výsledné průhyby profilů portálu

	$F_i$ [N]	L [mm]	E [N/mm <sup>2</sup> ]	I [cm <sup>4</sup> ]	$v_i$ [mm]
Horní profil	$F_{p1} = 431$	494	70000	5,59	0,069
Spodní profil	$F_{p2} = 630$	494	70000	5,59	0,1



Z rovnosti úhlů trojúhelníka na Obr. 65 vyplývá vzorec pro posun nástroje vlivem natočení  $v_p$ :

$$\frac{v_p + v_1}{L} = \frac{v_1 + v_2}{l}$$

$$v_p = \frac{v_1 + v_2}{l} \cdot L - v_1 \text{ [mm]} \quad (80)$$

Dosazením hodnot z Tab. 29 do rovnice (80) získáme:

$$v_p = \frac{0,069 + 0,101}{120} \cdot 380 - 0,069 = 0,47 \text{ mm} \quad (81)$$

Pokud se jednotlivé příspěvky deformací na posun nástroje seřadí za sebe, tak jak je vidět na Obr. 58, lze posoudit nejslabší místa konstrukce.

Tab. 30: Posouzení příspěvků nosných dílců na posun nástroje

Nosný dílec	označení	hodnota
Deska smykadla	$v_s$	0,122 mm
Křížová deska	$v_v$	0,023 mm
Profily portálu	$v_p$	0,470 mm

Z Tab. 30 plyne, že konstrukci značně degraduje použití profilů 103060 (Obr. 39), které při statickém posouzení přinášejí posun na nástroji 0,47 mm od řezné síly. Alternativou těmto profilům jsou profily o velikosti 60x60. Porovnání dalších vhodných profilů, které nabízí větší průřezové charakteristiky a tím zvýšení tuhosti jsou uvedeny v Tab. 31.

Tab. 31: Srovnání vhodných profilů pro portál

Profil	Výrobce	$I_x$ [cm <sup>4</sup> ]	$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	$m_m$ [kg/m]	Tloušťka vnější stěny [mm]	$v_p$ [mm]
106060	Aluteckk	38,08	38,08	2,5	2,5	0,069
HSFG6 6060	Misumi	54,2	54,2	4,13	3	0,048
6060 natural	Haberkorn	53,77	57,77	3,6	3	0,049
GFS6 3060	Misumi	23,78	5,95	1,71	3	0,44

Z Tab. 31 vyplývá, že nejvýhodnější je použít profil 6060 natural od firmy Haberkorn. Tento profil nabízí srovnatelnou tuhost jako nejtěžší z řady profilů o rozměru 60x60

(HSFG6), ale má nižší hmotnost a stejnou tloušťku vnější stěny. V porovnání s frézovaným profilem v Tab. 25 má také srovnatelnou stěnu a 1,3x větší průřezovou charakteristiku a je proto vhodnější pro opracování.

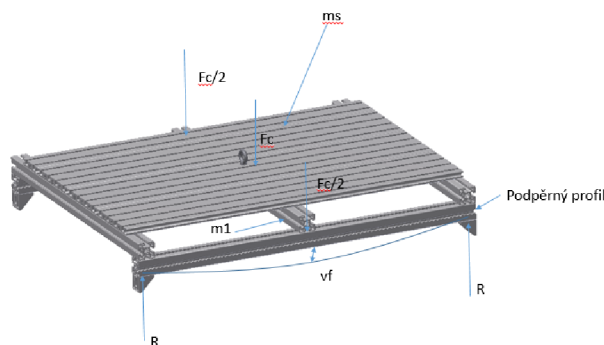
Celkový posun na nástroji tohoto návrhu by pak byl součtem příspěvků všech dílců. Tedy:

$$v_{celk} = v_s + v_v + v_p \text{ [mm]} \quad (82)$$

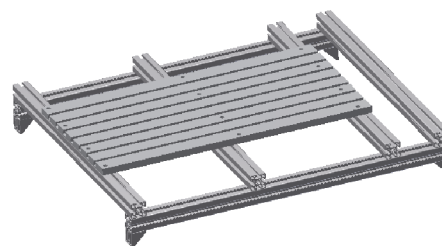
Dosazením hodnot z Tab. 30 a Tab. 31 do rovnice (82) obdržíme:

$$v_{celk} = 0,122 + 0,023 + 0,048 = 0,193 \text{ mm} \quad (83)$$

### 5.3. Pracovní stůl



Obr. 66: Varianta a)



Obr. 67: Varianta c)

Pracovní stůl je u levnějších frézovacích strojů často řešen hliníkovými profily (Obr. 4). Přináší to výhodu snadného přizpůsobení velikosti pracovní plochy a poměrně nízkou cenu. Nevýhoda takového řešení stolu jsou nepříznivé tolerance těchto profilů pro obráběcí stroj (Tab. 24). Rovinnost takového stolu bez opracování je v rámci 1 mm (lit. [36]). Pro domácí použití jako upínací deska modelářské frézky je taková varianta možná dostačující, ale pokud je žádoucí při obrábění vycházet z rovinnosti stolu a vyrábět s přesností v rámci desetin popřípadě setin milimetru v celém pracovním rozsahu stroje a to nejen ve směru X a Y, ale i ve směru osy Z, tak jsou na výběr tyto možnosti.:

- S rovinností stolu se při obrábění nebude počítat. Přesnost ve směru osy Z se bude vztahovat k tolerované ploše svěráku nebo dalšího upínacího přípravku, který bude vyrovnáván vůči nástroji. Vzhledem k tomu, že stůl je konstrukčně navržený jako posuvný, tak bude mít i vyrovnávací patky, jimiž se rovnání bude moci realizovat.
- Stůl vhodným způsobem rovnat.
- Použít jiný stůl s garantovanou rovinností.

Nejméně pracné z hlediska výroby je varianta a) a varianta b), které jsou srovnány v Tab. 32.

Varianta a) je na Obr. 66. Tento celek byl poptán jako montážní set u firmy Aluteckk a je složen z profilů 45x45 sloužících jako nesení stolu a profilů 20x180 sloužících jako upínací deska.

Varianta c) na Obr. 67 je složena ze stejných profilů pro nesení stolu, ale je na nich umístěn hliníkový litý stůl s T drážkami od dodavatele Cncshop.cz. Tento stůl má udávanou přesnost  $\pm 0,01 \text{ mm} / 200 \text{ mm}$ . Tyto stoly mají svou rozměrovou řadu a proto je nutno podle nich upravit nosící konstrukci jak je vidět na Obr. 67.

Tab. 32: Srovnání variant pracovního stolu

	Přesnost stolu	Upínací plocha [mm]	dodavatel	Cena [Kč]
Alu profily	Cca $\pm 1 \text{ mm}$	945x630	Alutec	11083
TD stůl	$\pm 0,04 \text{ mm}$	800x400	Cncshop.cz/ Alutec	14038

### 5.3.1. Průhyb nesení stolu

Na Obr. 66 je předpokládané zatížení pracovního stolu. Důležitou informací bude velikost průhybu  $v_f$  podpěrného profilu. Předpokládané zatížení od hmotnosti je:

$m_1 = 1,6 \text{ kg}$  (prostřední profil 45x45)

$m_s = 15,6 \text{ kg}$  (upínací deska 101180)

$m_{sv} = 3,8 \text{ kg}$  (svěrák 73 mm – rozevření 100 mm)

$m_o = 2,7 \text{ kg}$  (hmotnost obrobku 100x100x100 Dural) (84)

$F_z = 199 \text{ N}$  (řezná síla)

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$  (gravitační zrychlení)

Pro zatížení stolu hmotností a řeznou silou platí vztah:

$$F_c = (m_1 + m_s + m_{sv} + m_o) \cdot g + F_z [N] \quad (85)$$

Dosazením (84) do (85) získáme:

$$F_c = (1,6 + 15,6 + 3,8 + 2,7) \cdot 9,81 + 199 = 431,5 \text{ N} \quad (86)$$

Zatížení se bude přenášet na dva podpěrné profily. Matematický model lze tedy zjednodušit na úlohu průhybu nosníku o dvou podporách zatíženého uprostřed osamělou silou  $F_c/2$ .

Z konstrukčního návrhu jsou známé následující hodnoty:

$$\begin{aligned}
 L &= \text{vzdálenost podpěr} = 945 \text{ mm} \\
 I_i &= \text{moment setrvačnosti} = 17,38 \text{ cm}^4 \\
 E_i &= \text{modul pružnosti} = 70000 \text{ N/mm} \\
 F_i &= F_c = 431,5 \text{ N}
 \end{aligned}
 \tag{87}$$

Dosazením (86) a (87) do vztahu (58) obdržíme:

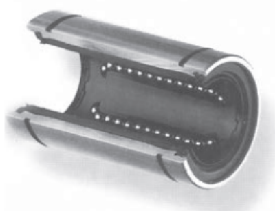
$$v_i = \frac{F_i \cdot L^3}{48 \cdot E_i \cdot I_i \cdot 10^4} = \frac{\frac{431,5}{2} \cdot 945^3}{48 \cdot 70000 \cdot 17,38 \cdot 10^4} = 0,03 \text{ mm}
 \tag{88}$$

To platí pro variantu a). Varianta c) má desku pracovního stolu o hmotnosti 21 kg. Stejným výpočtem je průhyb nosného profilu  $v_f = 0,035 \text{ mm}$ . Zatížení se v tomto případě rozkládá do další podpory. Zároveň je litá deska tužší, než deska z profilů. Lze proto tvrdit, že průhyb nebude vyšší.

#### 5.4. Lineární vedení

V návrhu N3 je využíváno pro vedení všech os podepřených tyčí o průměru 20 mm a valivých pouzder. Tato pouzdra jsou obvykle nalisovaná v domcích ze slitiny hliníku. Pouzdra tohoto vedení nejsou bezvúlová. Tolerance použité podepřené tyče je h6, tedy  $20_{-0,013} \text{ mm}$ . Tolerance průměru valivých pouzder je udávána  $20_{-0,001}^{+0,009} \text{ mm}$ . To znamená, že ve vedení je vůle w maximálně:

$$w_{\max} = 0,013 + 0,009 = 0,022 \text{ mm}.
 \tag{89}$$



Statická únosnost domku s valivým pouzdem je uváděna (lit. [57]):

$$C_o = 1400 \text{ N}
 \tag{90}$$

Obr. 68: Pouzdra typu UB-OP (převzato z [56])

Domky budou přenášet největší sílu v podobě největší vzniklé reakce ve valivém hnízdě. Největší přenášenou silou je  $F_{v2}$  z Obr. 58. Za předpokladu rovnoměrného rozložení síly tuto sílu přenášejí 2 domky.

Maximální síla působící na jedno ložisko je tedy:

$$F_{s1} = \frac{F_{v2}}{2} = \frac{630}{2} = 315N \quad (91)$$

Statický faktor bezpečnosti je dle lit. [38]:

$$f_{stat} = \frac{C_o}{F_{s1}} [-] \quad (92)$$

Dosazením (90) a (91) do (92) získáme:

$$f_{stat} = \frac{1400}{315} = 4,4 \quad (93)$$

V katalogu Hiwin (lit. [38]) je doporučený minimální statický faktor bezpečnosti pro provoz s rázy a vibracemi  $f_{stat} = 3$  až 5. Z toho plyne, že z hlediska statiky ložisko vyhovuje.

Dynamická únosnost domku C je (lit. [57]):

$$C = 880 N \quad (94)$$

Z dynamické únosnosti lze vypočítat hodnotu životnosti ložiska (lit.[38]).

$$L_{lož} = \left( \frac{f_H \cdot f_T \cdot f_c}{f_w} \cdot \frac{C}{P_l} \right)^3 \cdot 50 \cdot 1000 \quad (95)$$

$f_H$  = faktor tvrdosti kolejničky [-]

$f_T$  = faktor teploty [-]

$f_c$  = kontaktní faktor [-]

$f_w$  = faktor zatížení [-]

$P_l$  = zatížení ložiska [N]

Tvrdotost použité kolejničky je 65HRC, z toho plyne faktor tvrdosti  $f_H = 1$  (lit. [39]). Teplota, při které bude stroj provozován, je přibližně 20 °C, z toho plyne faktor teploty  $f_T = 1$  (lit. [39]). Kontaktní faktor zahrnuje vliv nerovnoměrnosti rozložení přenášené

síly, pokud je více vozíků v těsné blízkosti sebe. Vozíky v tomto návrhu nejsou v těsném kontaktu, proto volím z lit. [39]  $f_c = 1$ . Faktor zatížení zahrnuje vliv posuvové rychlosti. Maximální posuvová rychlost je 6000 mm/min, z lit. [39] plyne pro tuto rychlost faktor  $f_w = 1$ . Zatížení ložiska  $P_l$  je v tomto případě maximální síla na jeden domek  $F_{s1}$ .

Dosazením z (94) a (91) do (95) získáme:

$$L_{lož} = \left( \frac{1 \cdot 1 \cdot 1}{1} \cdot \frac{880}{315} \right)^3 \cdot 50 \cdot 1000 = 1090000 \text{ m} \quad (96)$$

Pro výpočet pracovní životnosti stroje, než dojde k poruše lineárního ložiska vedení, je třeba znát přibližný pracovní cyklus.

Stroj má sloužit k výukovým účelům. Pokud by výuka na stroji probíhala každý den v délce 2 výukových hodin (2x45 min). Znamenalo by to, že stroj bude pracovat  $T_{prac}$  týdně:

$$T_{prac} = 5 \cdot \frac{2 \cdot 45}{60} = 7,5 \text{ h/týden} \quad (97)$$

Tuto dobu se může stroj pohybovat rychloposuvem 6000 mm/min nebo pracovním posuvem 2292 mm/min. Pro odhad můžeme tvrdit, že se bude pohybovat  $\frac{1}{4}$  pracovní doby rychloposuvem a  $\frac{3}{4}$  pracovním posuvem. Průměrně se bude stroj pohybovat rychlostí  $v_{prům.}$ :

$$v_{prům} = \frac{1}{4} \cdot v_{max} + \frac{3}{4} \cdot v_{prac} \quad (98)$$

Dosazením do (98) tedy získáme:

$$v_{prům} = \frac{1}{4} \cdot 6000 + \frac{3}{4} \cdot 2292 = 3219 \text{ mm/min} \quad (99)$$

Hodinová trvanlivost lineárního kuličkového ložiska je tedy:

$$L_{hod} = \frac{L \cdot 1000}{v_{prům} \cdot 60} [\text{hod}] \quad (100)$$



Dosazením (96) a (99) do (100) obdržíme:

$$L_{hod} = \frac{1090000 \cdot 1000}{3219 \cdot 60} = 5660 \text{ hod} \quad (101)$$

Pro roční životnost stroje při zvoleném vytížení platí vztah:

$$L_{rok} = \frac{L_{hod}}{T_{prac} \cdot 52} [\text{rok}] \quad (102)$$

Dosazením (101) a (97) do (102) získáme:

$$L_{rok} = \frac{5660}{7,5 \cdot 52} \approx 14 \text{ let} \quad (103)$$

V konstrukci návrhu N3 jsou použity domky SMA20 od dodavatele [cnc.inshop.cz](http://cnc.inshop.cz). Na trhu jsou dostupné od čínského výrobce velikostně stejné domky, ale s možností vymezení vůle. Tyto domky jsou prodávány s označením SBR20UU a prodávány například na [ebay.com](http://ebay.com).

Domky čínské výroby jako jsou SMA a SBR jsou svojí cenou velmi příznivé. Nevýhodou je nejistá kvalita. Na internetových fórech věnujících se stavbou hobby strojů se lze setkat se zkušenostmi jiných zákazníků, že pouzdra neměla například hladký chod nebo měla větší vůli. Na otázku, jak bude zaručeno žádané kvality, bylo prodejcem odpovězeno, že každý vozík bude před prodejem vyzkoušen. Lze se setkat i se zkušenostmi, kdy byla zákazníkovi poslána nová valivá pouzdra. Na lineární pouzdra se vztahují stejné normy jako na jiná ložiska. To znamená, že 90 % dodaných ložisek musí splňovat parametry v katalogu.

Podobné domky nabízí i firma T.E.A. Technik ([www.teatechnik.cz](http://www.teatechnik.cz)). Liší se mírně svým rozměrem a pro jejich použití by byla nutná úprava konstrukce. Vzhledem k většímu rozměru domku by na ose Z bylo nutné použít podepřenou tyč od stejného výrobce.

Další možností je použít prizmatické vedení řady 15, které je svými rozměry vozíků podobné. Vedení by v takovém případě nebylo uchyceno do dvou drážek hliníkového profilu ale jen do jedné drážky. Problematická by byla osa Z, která má jednoduchou konstrukci právě kvůli použití podepřených tyčí. Pro použití prizmatického vedení by bylo nutné podložit buď vozíky na křížové desce, nebo vedení na smykadle abychom docílili dostatečného prostoru pro matici kuličkového šroubu. Konstrukčně jednodušší je podložení vedení, kdy vznikají dva nové frézované díly.

Srovnání možných variant vedení je v Tab. 33. Bližší informace uvádím v elektronické příloze *vedeni.xls*.

Tab. 33: Srovnání vedení varianty N3

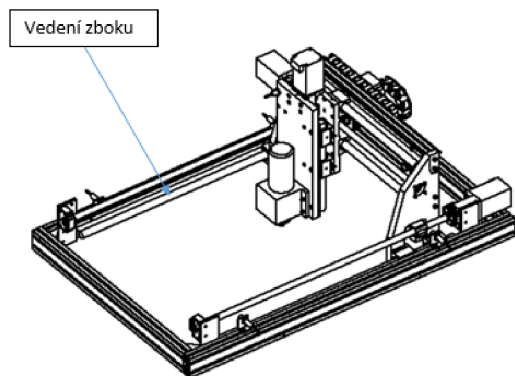
Označení	Vozíky	Vedení	Změna konstrukce [Kč]	Radiální vůle	Cena [Kč]	Dodavatel	Životnost [hod]
SMA20	12xSMA20	3,140m SBR20	0	Neudáno	6304	cnc.inshop.cz	5660
SBR20	12xSBR20	3,140m SBR20	0	Možné vymezení až mírné předpětí	5038	cnc.inshop.cz/ ebay.com	5660
T.E.A.20	12xSOUB20	0,6m T.E.A + 2,54m SBR20	0	Možné vymezení až mírné předpětí	18087	cnc.inshop.cz/ T.E.A. technik	9615
Hiwin15	12xHGH15	3,14m HGR15	6000	Předpětí	24308	cncshop.cz	12240773

Vzhledem k účelu obráběcího stroje, jako demonstrativního prostředku CNC obrábění, je dostatečné vedení typu SMA20. Vzhledem k ceně je výhodnější použít vedení SBR, které nabízí i možnost mírného předpětí a tím zlepšit obráběcí schopnosti stroje. Životnost zvolených lineárních ložisek je 5660 hodin. Ve srovnání s produkčními stroji, kde se běžně dosahuje životnosti 20000 hodin, se může zdát životnost takového vedení malá. Vzhledem k pracovní vytíženosti stroje bude zařízení sloužit srovnatelnou dobu jako produkční stroj a vzhledem k nízké ceně pouzder by se nejednalo o drahý servisní zásah. Lineární ložiska mají zároveň unifikovaný rozměr a lze je proto vyměnit i za pouzdra od jiného výrobce například od Hiwin nebo T.E.A., kde životnost stoupá až na dvojnásobek (viz Tab. 33).

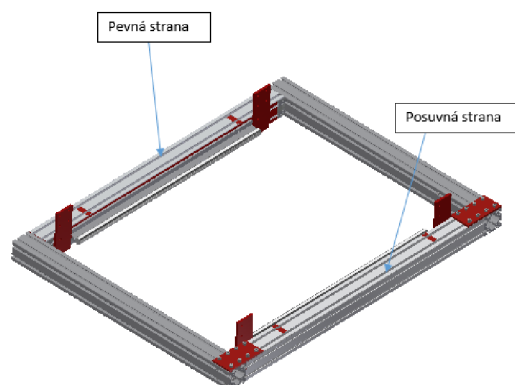
## 6. Nesení os a ergonomie

V této kapitole je hodnoceno umístění vedení osy Y stroje vzhledem ke složitosti montáže, tuhosti, dosahované garantované geometrie stroje a nárůstu ceny. Zároveň se zabývá celkovou ergonomií stroje.

### 6.1. Umístění vedení

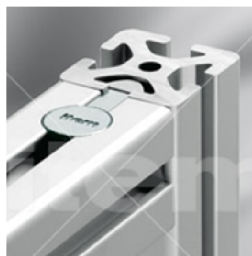


Obr. 69: Návrh N4



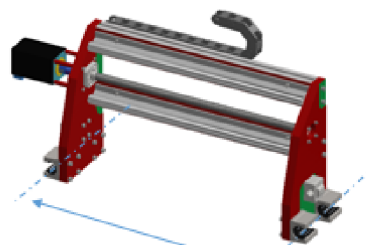
Obr. 70: Rámeček mechaniky N4

Na Obr. 69 je návrh mechaniky stroje vycházející z předběžného návrhu N3. Vzhledem k výrobě je vhodnější mít osu zahrnující vedení a kuličkový šroub kompaktní na jednom nosném prvku. Portál stroje by byl vsazen do rámečku na Obr. 70.



Obr. 71: Stahovací prvek

Haberkorn (převzato z [28])



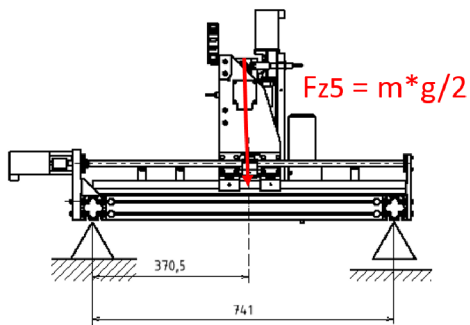
$$5x \pm 0,02\text{mm} = \pm 0,1\text{mm}$$

Obr. 72: Výrobní nepřesnost portálu N4

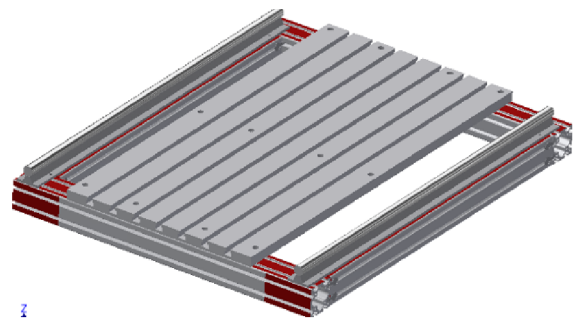
Vzhledem k výrobním tolerancím celého portálu (Obr. 72) je u tohoto návrhu nutné umožnit vyrovnání nepřesností posunem jedné strany rámečku. Tento posun klade vyšší nároky na způsob spojení profilů a zároveň velmi komplikuje dosažení geometrie stroje vzhledem ke ztížené montáži.

Způsobů jak spojit hliníkové profily je celá řada. Profil může být provrtán a stažen šroubem k čelu druhého profilu. Tím dochází ke stahování obvodu, který je svým charakterem podobný skořepině, a to není vhodné spojení pro přesné zařízení.

Častým způsobem je použití úhelníků v rozích. Úhelníkové spojení přináší problém s pravouhlostí spojených profilů. Dostupné úhelníky se řídí všeobecnou tolerancí a pro požadovanou geometrickou přesnost obráběcího stroje by bylo nutné je opracovat. Zároveň přináší problém při montáži, kdy může dojít k tomu, že při dotahování nebude úhelník dokonale v kontaktu se spojovanými profily a dojde tak k deformaci spoje. Pro odstranění těchto jevů se využívají stahovací prvky (Obr. 71), které k sobě přitahují stěny profilů.



Obr. 73: Návrh N5



Obr. 74: Rámeček návrhu N5

Problémy s volnou stranou rámečku a náročnou montáží by se vyřešily, pokud by vedení bylo umístěno shora rámečku (Obr. 74). Rámeček by bylo možné vyrovnat při montáži pomocí desky pracovního stolu nebo by mohl být jako smontovaný celek opracován. Mechanika stroje musí být samonosná, tzn. průhyb od hmotnosti nebude větší než určitý limit.

Na Obr. 73 je návrh řešení mechaniky stroje s vedením shora. Rámeček je tvořen stejnými profily jako na portále. Průhyb od hmotnosti v nejnepříznivějším místě uprostřed bude počítán jako průhyb nosníku na dvou podporách, jak je naznačeno na Obr. 73. Vzhledem k úpravě konstrukce jsou aktualizované hodnoty hmotností z Obr. 51 :

$$m_1 = 15,4 \text{ kg}$$

$$m_2 = 5,2 \text{ kg} \tag{104}$$

$$m_3 = 18 \text{ kg}$$

Velikost zatěžovací síly od hmotnosti dílců jsou:

$$F_{z5} = \frac{(m_1 + m_2 + m_3) \cdot g}{2} [N] \tag{105}$$

Dosazením hodnot z (104) do rovnice (105) získáme:

$$F_{z5} = \frac{38,6 \cdot 9,81}{2} = 189 \text{ N} \quad (106)$$

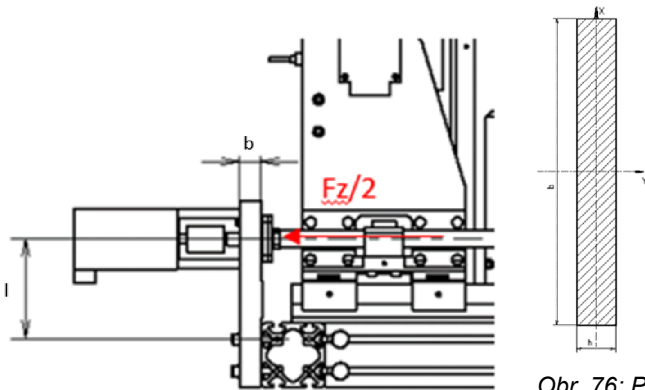
Z konstrukčního návrhu jsou známe následující hodnoty:

$$\begin{aligned} L &= 741 \text{ mm} \dots \text{ vzdálenost podpěr} \\ I_i &= 53,77 \text{ cm}^4 \dots \text{ moment setrvačnosti} \\ E_i &= 70000 \text{ N/mm} \dots \text{ modul pružnosti} \\ F_i &= F_{z5} = 189 \text{ N} \dots \text{ síla z rovnice (106)} \end{aligned} \quad (107)$$

Dosazením hodnot z (107) do rovnice (58) bude průhyb v místě působení síly  $F_{z5}$ :

$$v_{F_{z5}} = \frac{189 \cdot 741^3}{48 \cdot 70000 \cdot 53,77 \cdot 10^4} = 0,04 \text{ mm} \quad (108)$$

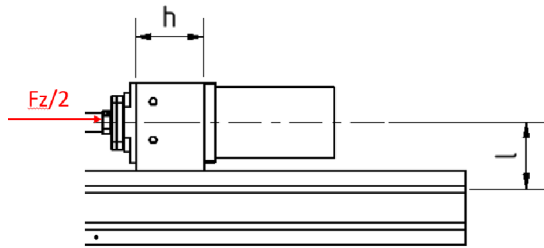
Průhyb 0,04 mm nosného prvku bez započítání vlivu vedení je dostačující. Vozíky a vedení budou sílu distribuovat na větší plochu a proto můžeme tvrdit, že jsme na straně bezpečnosti a průhyb nebude větší.



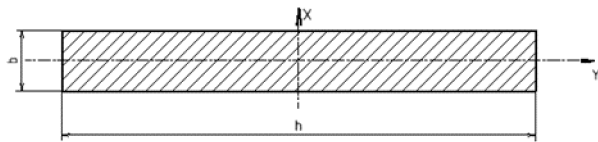
Obr. 75: Zatížení osy X návrhu N5

Obr. 76: Průřezová charakteristika desky uchycení kuličkového šroubu návrhu N5

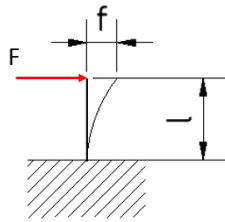
Vzhledem ke změně konstrukce v návrhu N5 se snížila tuhost ve směru osy X. Pevná strana kuličkového šroubu je zde uchycena na desce dle Obr. 75.



Obr. 77: Zatížení osy X návrhu N4.



Obr. 78: Průřezová charakteristika desky uchycení kuličkového šroubu návrhu N4



Dle vztahů pro moment setrvačnosti (lit. [50]) platí:

$$J_x = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \text{ [mm}^4\text{]} \quad (109)$$

Obr. 79: Matematický model uchycení kuličkového šroubu

Pro průhyb vetknutého nosníku dle Obr. 79 (lit. [50]) platí:

$$f = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot J} \text{ [mm]} \quad (110)$$

Rozměry  $b$ ,  $h$  a  $l$  jsou vzaty z konstrukčních návrhů. Síla  $F$  je rovna polovině řezné síly  $F_z$ . Modul pružnosti  $E$  je pro použitý materiál ocel 11523, která je pro tento díl vhodnější než hliník z hlediska možnosti následného broušení a zároveň přináší dostatečnou tuhost.

Tuhost je dle lit. [50] vyjádřena vztahem:

$$k = \frac{F}{\Delta} \text{ [N/mm]}, \text{ kde:} \quad (111)$$

$\Delta$  = deformace (v tomto případě je rovna  $f$  z Obr. 79)

Vstupující hodnoty do vzorců (109), (110) a (111) jsou spolu s výsledky uvedeny v Tab. 34.

Tab. 34: Srovnání deformací uchycení kuličkového šroubu návrhů N4 a N5

Návrh	l [mm]	F [N]	b [mm]	h [mm]	E [MPa]	Jx [mm <sup>4</sup> ]	f [mm]	k [N/mm]
<b>N5</b>	94	100	60	20	210000	1715	<b>0,003</b>	<b>30340</b>
<b>N4</b>	55	100	7	55	210000	277292	<b>0,0003</b>	<b>367500</b>

Z Tab. 34 plyne, že tuhost osy Y je přibližně 10x větší u návrhu N4.

Pro rozhodnutí mezi variantou N4 s vedením z boku a variantou N5 s vedením shora je vytvořena podobná vícekritériální srovnávací tabulka jako Tab. 17. Hlavními rozhodovacími kritérii je nyní tuhost v ose Y z Tab. 34, složitost montáže takového provedení a s tím spojená garantovaná přesnost při montáži a její dosažitelnost. Jedním kritériem je modulárnost, kterou se myslí více možností využití stroje. Zde je lepší známka udělena variantě N5, která umožňuje použití stolu dle Obr. 74 a možnost obrábění bez základního rámu stroje. Zároveň je zde kritérium nárůst ceny, podle kterého je vhodnější varianta N4 vzhledem k nižšímu počtu vyráběných dílců. Hodnocení je provedeno stejným způsobem jako v Tab. 17.

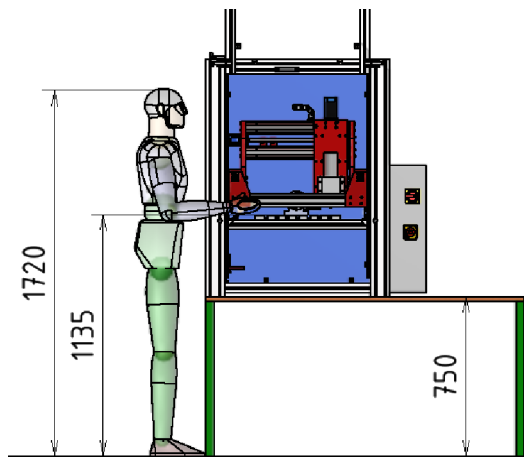
Tab. 35: Rozhodovací tabulka varianty N4 a N5

Varianta	Kritérium	Tuhost v Y	Složitost montáže	Garantovaná geometrie stroje	Modulárnost	Nárůst ceny	Výsledek
<b>N4</b>		1	2	2	2	1	<b>1,6</b>
<b>N5</b>		2	1	1	1	2	<b>1,4</b>

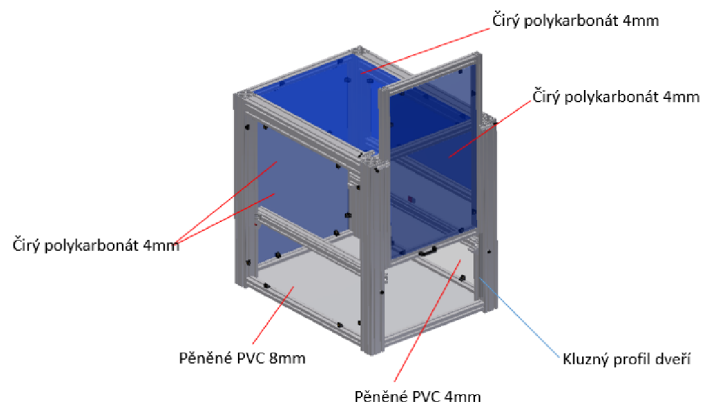
Z Tab. 35 plyne, že podle zvolených kritérií je vhodnější varianta N5 s vedením shora.

## 6.2. Ergonomie

Stroj by měl být rozměrově vhodný pro umístění do laboratoře, na pracovní stůl. Vzhledem k požadavkům na krytování a rozměrům mechaniky stroje je nutné zvážit celkovou ergonomii takového zařízení.



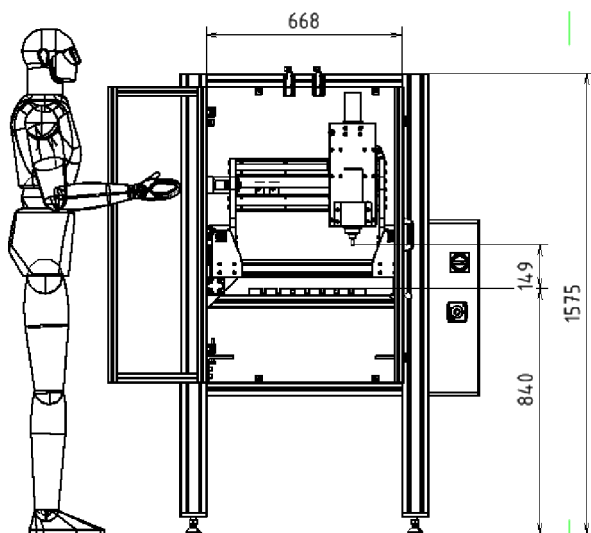
Obr. 80 Umístění na pracovní stůl



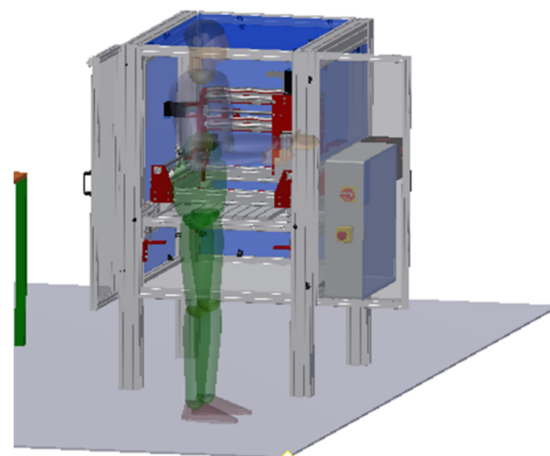
Obr. 81: Nosný a krytovací rám

Na Obr. 80 je znázorněno pracoviště, pokud by stroj byl umístěn na stůl. Rám stroje je krytován dle Obr. 81 čirým polykarbonátem o tloušťce 4 mm umístěným na příložky tak, aby bylo krytování možno sundávat. Dveře do pracovního prostoru jsou řešeny posuvně.

U této varianty je potřebná světlost místnosti, aby bylo možné plně vysunout dveře alespoň 3 m. Minimální světlost administrativních budov, kde by mohl být stroj umístěn je 2,5 m (lit. [41]). Proto je vhodnější dveře řešit jiným způsobem. Zároveň celková hmotnost zařízení nabývá hmotnosti 200 kg, což přináší i zvýšené nároky na pracovní stůl, na který by se zařízení umístilo. Řešením by byla samostojná konstrukce s otevíráním dveří dle Obr. 82 a Obr. 83.



Obr. 82: Samostojná varianta

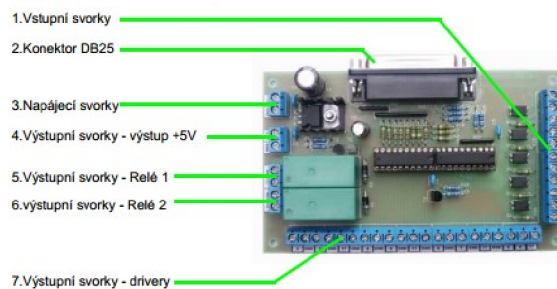
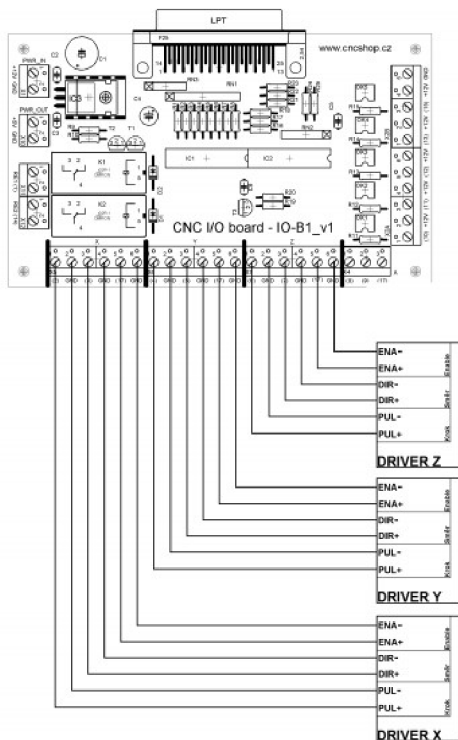


Obr. 83: Ergonomie stroje

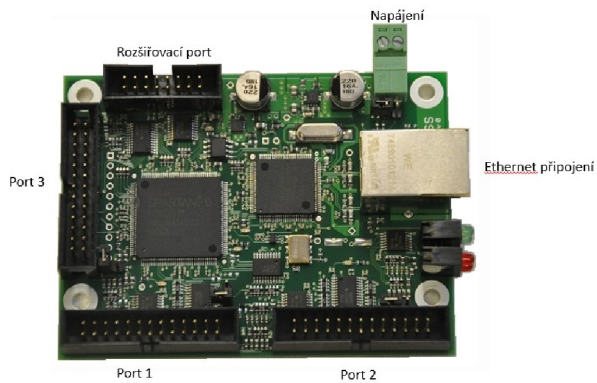


## 7. Řízení

Řízení elektrických prvků jako jsou motory pro pohon os, vřeteno, koncové snímače atd. je provedeno řídicím systémem Mach3. Tento systém má omezený rozsah možností obstarávání daných prvků. K těmto možnostem patří následující funkce:



Obr. 85: Popis prvků oddělovací desky (převzato z [59])



Obr. 84: LPT oddělovací deska (převzato z [59]) Obr. 86: HW interpolátor (převzato z [58])

- Ovládací prvky – tlačítko Emergency stop
- Snímače referenčních poloh
- Snímače koncových poloh
- Řízení vřetena
- Až šest souvisle řízených os
- Snímače ochranných prvků.
- Ovládání chlazení
- Sonda ve speciálním držáku pro digitalizaci povrchu dílu.
- Encodery pro snímání polohy jednotlivých os.

Komunikace řídicího systému Mach3 s těmito prvky probíhá přes paralelní port. Připojení všech prvků k paralelnímu portu s počítačem je řešeno pomocí oddělovací desky. S rostoucím počtem funkcí a signálů, které by měl řídicí systém obstarávat, roste i počet vstupů. Zde je omezení linek oddělovací desky. Na Obr. 84 je vidět, že použitá oddělovací deska má výstupní linky pro tři osy.

Počet vstupních linek, tedy linek pro zařízení jako jsou referenční a koncové snímače, E stop tlačítko, atd. je omezen na pět (prvek 1 na Obr. 85). Pro spínání vřetena, měniče, odsávání, chlazení a podobně jsou na desce umístěna dvě relé (prvek 5 a 6 na Obr. 85) Zatížitelnost každého relé je 10A/250VAC.

Jednou takovou deskou lze tedy řídit tři strojní osy, jedno tlačítko nouzového zastavení, čtyři snímače (koncové, referenční,..), spínání vřetena a spínání chlazení. Pokud je požadavek řídit více os, je nutné připojit více těchto oddělovacích desek. Znamená to vybavit počítač dalším paralelním portem nebo použít další prvek, kterým bychom paralelní port dále rozdělili nebo převedli na připojení pomocí Ethernet portu případně USB. Takovým prvkem je například HW interpolátor na Obr. 86. Tímto prvkem lze propojit až tři oddělovací desky (Port 1,2,3). Dále obsahuje rozšiřovací port, ke kterému lze připojit další vstupy/výstupy s menším požadavkem na rychlost odbavování, jako je například spouštění chlazení atd.

## 7.1. Řízení vřetena

Zvolené vřeteno (Obr. 48) je řízeno frekvenčním měničem, který pomocí PWM reguluje proud vstupující do motoru vřetena. Řídicí systém Mach3 umožňuje tři způsoby jak vřeteno stroje řídit.

- 1) Funkcí M3, M4 ovládat spínání relé (5. a 6.pozice na Obr. 85).
- 2) Řízení signálu Step a Dir, pokud je motor servo.
- 3) Motor je řízen PWM propojením měniče a systému.

Samotný frekvenční měnič dále nabízí pomocí řídicích signálů 5 V měnit otáčky na předem nastavené. Těchto předem nastavených otáček je až 8.

Na schématu zapojení S\_04\_00\_P v příloze je znázorněno zapojení vřetena prvním způsobem. Vzhledem k tomu, že relé na oddělovací desce spínají pouze jednu fázi, je nutné spínat vřeteno přes stykač. Tento stykač je vybrán, aby mohl být napájen 230 V ze sítě a jeho přesný popis je uveden v kusovníku elektroskříně S\_04\_00\_K. Do obvodu byly umístěny tyto stykače dva vzhledem k možnosti spínat pravé a levé otáčky (M3, M4). Tento způsob zapojení nebude umožňovat plynulou regulaci otáček vřetena řídicím systémem. Otáčky se budou nastavovat přímo na displeji frekvenčního měniče. Plynulá regulace může být předmětem dalšího rozšiřování stroje.

## 7.2. Volba zdrojů:

Podle volby motorů (Obr. 53) plyne požadavek na napájení 48V. Výrobce k těmto motorům doporučuje použít zdroj 350 W (7,3 A). Použitý motor na Obr. 52

---

má v katalogovém listu uveden proud ve vinutí 5,8 A. Volím proto jeden tento zdroj pro každý motor. Elegantnějším řešením by bylo použití jednoho silnějšího zdroje. Takové zdroje nabízí například firma Meanwell (lit. [43]). Největší z těchto spínaných jednofázových zdrojů je SDR-960 (48 V a 960 W), který stojí 7567 Kč. Cenově je proto výhodnější použít více zdrojů 350 W z cncshop.cz, které stojí 1050 Kč/ks (zdroj S350) až 2150 Kč/ks (zdroj RPS488). Drivery motorů os řídí chod motoru pomocí PWM a reálný odběr proudu je nižší. Prodejce těchto motorů (cnc.inshop.cz) podle svých zkušeností tvrdí, že k napájení dvou těchto motorů prakticky stačí jeden zdroj 350 W i při maximální zátěži. Tyto zdroje vzhledem k teplu, které produkují, umísťuji nad řídicí elektroniku a prostor kolem nich by měl být minimálně 20 mm.

Pro napájení oddělovací desky (Obr. 85) je nutné usměrněné napětí 12 V a k napájení HW interpolátoru (Obr. 86) 5 V. Proto jsou v elektroskříně (výkres S\_04\_00) umístěny dva zdroje pro toto napětí s označením DR30.

### 7.3. Motory

Bipolární krokové motory se vyznačují nízkou cenou. K jejich připojení stačí čtyři vodiče. Z praktických důvodů jsou motory obráběcích strojů řízeny drivery s možností dělení kroku na mikrokroky, aby byl zajištěn hladký chod motoru. Krokový motor představuje typ řízení s otevřenou smyčkou. To znamená, že při vysokých zatíženích může motor ztrácet kroky. Servomotory oproti tomu představují typ řízení s uzavřenou smyčkou, tzn. okamžitá poloha je vždy známá a správná, jinak driver signalizuje chybu.

Zvolený servomotor ES-M32320 (Obr. 52) má encoder, který poskytuje driveru informaci o poloze motoru. Elektronika encoderu konvertuje signál na  $n_{imp} = 1000$  obdélníkových pulsů za 1 otáčku hřídele motoru. Z technické dokumentace doporučeného driveru k tomuto motoru plyne, že je možné řídicí pulzy měnit, jedná se o tzv. elektronickou převodovku. Stoupání s kuličkového šroubu navrhovaného stroje je  $s = 5$  mm.

Z toho plyne přesnost polohování  $p_s$ . Pokud bychom driverem motoru pulzy nepřeváděli, je pak:

$$p_s = \frac{s}{n_{imp}} = \frac{5}{1000} = 0,005 \text{ mm} \quad (112)$$

Požadovaná maximální rychlost stroje je  $v_{max} = 6000 \text{ mm/min}$ . To znamená, že maximální zdvih  $s_y = 400 \text{ mm}$  překoná za:

$$t = \frac{s_y}{v_{max}} \cdot 60 = \frac{400}{6000} \cdot 60 = 4 \text{ s.} \quad (113)$$

Zároveň je nutná kontrola, zda se maximální rychlost vzhledem ke zrychlení motorů v daném čase vůbec dosáhne. Maximální rychlosti  $v_{max}$  dosáhne stroj za:

$$t_{vmax} = \frac{v_{max}}{a \cdot 1000 \cdot 60} \text{ [s]} \quad (114)$$

Dosazením hodnot z (16) a (45) do rovnice (114) získáme:

$$t_{vmax} = \frac{6000}{5 \cdot 1000 \cdot 60} = 0,02 \text{ s} \quad (115)$$

Zároveň kuličkový šroub se stoupáním  $s = 5 \text{ mm}$  vykoná při tomto přejezdu maximálního zdvihu  $s_y = 400 \text{ mm}$   $n_{ot}$  otáček:

$$n_{ot} = \frac{s_y}{s} = \frac{400}{5} = 80 \text{ otáček.} \quad (116)$$

Jelikož je připojení šroubu a motoru bez převodu, tak motor musí vykonat stejně otáček jako šroub. Pro přejetí celého zdvihu stroje to je:

$$n_{ot} \cdot n_{imp} = 80 \cdot 1000 = 80000 \text{ pulsů za 4 sekundy.} \quad (117)$$

Z řídicího systému budeme tedy potřebovat:

$$f_{\dot{r}} = \frac{n_{imp}}{t} = \frac{80000}{4} = 20000 \text{ pulsů za sekundu} \quad (118)$$

To znamená  $f_{\dot{r}} = 20 \text{ kHz}$ . Řídicí systém Mach3 na počítači s procesorem 1 GHz generuje pro šest os spolehlivě 35 kHz (lit. [51]). Znamená to, že pokud bychom chtěli využít maximální frekvenci  $f_{\dot{r}max} = 35 \text{ kHz}$ , tak bychom potřebovali driver motoru nastavit na:

$$n_{driver} = \frac{f_{\dot{r}max} \cdot \frac{s_y}{v_{max}}}{\frac{s_y}{s}} = \frac{35000 \cdot \frac{400}{6000} \cdot 60}{\frac{400}{5}} = 1750 \text{ pulsů/ot} \quad (119)$$

Dosahovaná polohovací přesnost takového systému by potom byla:

$$p_{smax} = \frac{s}{n_{driver}} = \frac{5}{1750} = 0,0029 \text{ mm} \quad (120)$$

Lze tvrdit, že polohovací přesnost 3  $\mu\text{m}$  je vzhledem k účelům stroje dostatečná. Nastavení použitého driveru je možné pomocí dodávaného softwaru připojením k počítači.

Řídicí systém podle procesoru počítače může generovat i vyšší frekvence, až 100 kHz. Polohovací přesnost lze proto dále zvyšovat.

#### 7.4. Bezpečnostní prvky

Ochrana proti nebezpečnému dotykovému napětí je tzv. rychlým odpojením od zdroje. V elektroskříně je proto umístěn jistič s proudovým chráničem. Tento prvek je dimenzován podle odběrů všech spotřebičů. Celkový odběr  $P$  se spočítá jako suma odběru všech spotřebičů v obvodu.

$P_M$  je odběr motoru [W]

$P_V$  je odběr vřetena [W]

$P_{ost}$  je odběr ostatní elektroniky [W]

$$P = 6 \cdot P_M + P_V + P_{ost} \text{ [W]} \quad (121)$$

Dosazením hodnot z elektroschématu S\_04\_00\_P v příloze do rovnice (121) získáme:

$$P = 6 \cdot (48 \cdot 5,8) + 1500 + 50 = 3220,4 \text{ W} \quad (122)$$

Vstupní napětí je 230 V a z umístění jističe (viz schéma S\_04\_00\_P) plyne pro proud v místě jističe vztah:

$$I = \frac{P}{U} \text{ [A]} \quad (123)$$

Dosazením hodnoty z rovnice (122) do rovnice (123) obdržíme:

$$I = \frac{3220,4}{230} = 14 \text{ A} \quad (124)$$

V obvodu je proto volen jistič 16 A, který je běžně dostupný.

Řídicí systém dále kontroluje stisknutí Emergency stop tlačítka. Toto tlačítko aby zabezpečovalo funkci Total stopu, tak zároveň odpojuje silovou část obvodu.

Koncové spínače stroje jsou realizovány indukčními snímači. U produkčních strojů jsou tyto spínače mechanické z důvodu spolehlivosti a také kovovým třískám, na které by mohly indukční snímače reagovat. U malých modelářských frézek se lze setkat i s tím, že zde koncové spínače nejsou vzhledem k nízkým dosahovaným rychlostem posuvů a malé síle při případné kolizi. Omezení zdvihu je nastaveno softwarovými limity. Tyto použité indukční snímače jsou zde z důvodu jednoduššího zakomponování do konstrukce stroje, vzhledem k tomu, že nepotřebují protikus s náběžnou hranou. Aby se zmenšil požadovaný počet vstupních linek do řídicího systému, jsou koncové snímače na každé ose zapojeny paralelně a přivedeny na jednu vstupní linku. Řídicí systém pak kontroluje sepnutí a případně zastaví pohyb motorů.

Dalším bezpečnostním prvkem je spínač dveří. Tento prvek kontroluje krytování. Vzhledem k menšímu riziku nebezpečí by zařízení tuto kontrolu nemuselo mít. K názornosti zařízení je zde spínač dveří umístěn ve formě petlice. Spínač od firmy Euchner [61] je mechanický a je stejného typu, jaký se běžně používá u produkčních strojů.

## 8. Náklady na realizaci a montáž

Během konstruování návrhu zařízení byly postupně poptávány použité komponenty a montážní celky. Celkový přehled o nákladech na realizaci zařízení je uveden v Tab. 36. Komponenty jsou v tabulce uvedeny podle toho, jak byly poptávány a u kterého dodavatele. Nabídku na výrobu dílců vytvořila kovodílna Ryneš Volyně ([www.rynes.cz](http://www.rynes.cz)).

Tab. 36: Seznam komponent, jejich ceny a dodavatele

Komponenta	Označení	Počet ks	Celková cena vč. DPH [kč]	Dodavatel	Celek
Rám	S_02_00	1	45889	Aluteckk.cz	Rám
Konstrukce stolu	S_03_00	1	4279	Aluteckk.cz	Stůl
Upínací deska stolu	TD 800x400	1	9760	Cncshop.cz	
Profil rámečku	60x60 natural L680	2	4748	Haberkorn.cz	Rámeček
	60x60 natural L648	2			
Spojka profilů	Universal_fastening	16			
Vedení	SBR20 L770	2	2218	Cncshop.cz	
Držák domku FK	Výroba	2	4000	<a href="http://www.rynes.cz">www.rynes.cz</a>	
	polotovary	2	582	Plehaso.cz	
Držák domku FF	Výroba	2	4000	<a href="http://www.rynes.cz">www.rynes.cz</a>	
	polotovary	2	640	Plehaso.cz	
Držák energetického řetězu	L40x30x5	1	130	Ehlinik.cz	
Energetický řetěz	15x28x800	1	500	Cncshop.cz	
Vedení	SBR20 L490	2	1411	Cncshop.cz	Portál
Vozíky	SBR20	4	560	Ebay.com	
Energetický řetěz	15x28x700	1	500	Cncshop.cz	
Bočnice portálu L	Polotovary	1	682	Plehaso.cz	
	Výroba	1	3500	<a href="http://www.rynes.cz">www.rynes.cz</a>	
Bočnice portálu P	Polotovary	1	682	Plehaso.cz	
	Výroba	1	3500	<a href="http://www.rynes.cz">www.rynes.cz</a>	
Horní profil portálu	60x60 natural L494	1	676	Haberkorn.cz	
Spodní profil portálu	60x60 natural L494	1	676		
Držák energetického řetězu	L40x30x5 L498	1	65	Ehlinik.cz	
Přechodový prvek	Polotovary	2	400	Ehlinik.cz	
	Výroba	2	13000	<a href="http://www.rynes.cz">www.rynes.cz</a>	
Vedení	SBR20 L280	2	950	Cncshop.cz	Smykadlo
Deska vřetena	Polotovary	1	795	Plehaso.cz	
	Výroba	1	4000	<a href="http://www.rynes.cz">www.rynes.cz</a>	

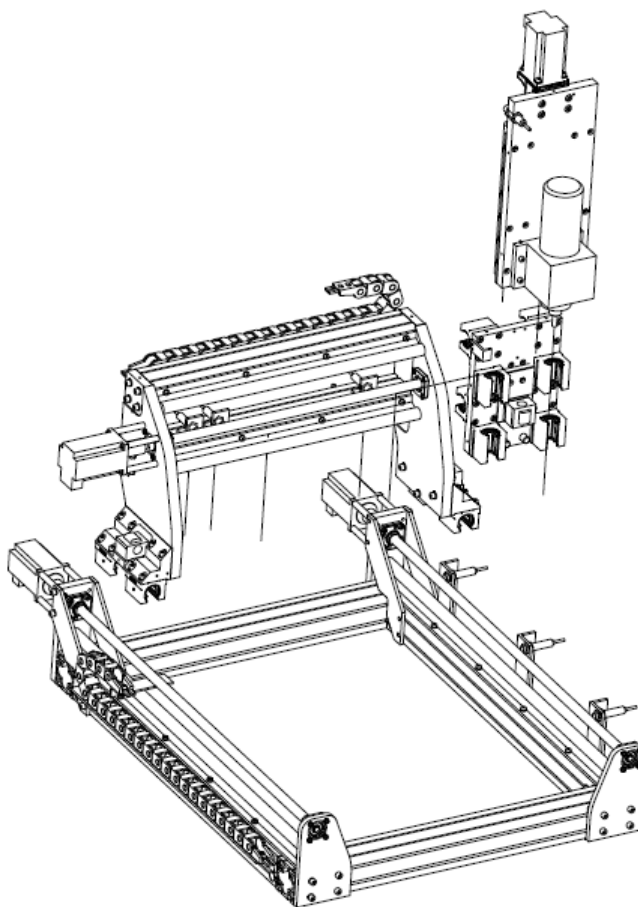
Pokračování Tab. 36					
Komponenta	Označení	Počet ks	Celková cena vč. DPH [Kč]	Dodavatel	Celek
Vřeteno s držákem	1,5 kW frek. měnič	1	21260	Cnc.Inshop.cz	Vřeteno
Vozík	SBR20	8	1120	Ebay.com	Křížová deska
Deska vozíku Z	Polotovary	1	700	Plehaso.cz	
	Výroba	1	4000	<a href="http://www.rynes.cz">www.rynes.cz</a>	
Distanční podložka	Výroba	1	600	<a href="http://www.rynes.cz">www.rynes.cz</a>	
	Polotovary	1	30	Plehaso.cz	
Kuličkový šroub R1605 SSV IT7 + opracování + matice	L876	2	32460	Hiwin.cz	Osy
Kuličkový šroub R1605 SSV IT7 + opracování+ matice	L534	1			
Kuličkový šroub R1605 SSV IT7 + matice	L305	1			
Pevný konec šroubu	FK 12 C5	4			
Volný konec šroubu	FF 12 C5	3			
Držák motoru	MBA12-C	1			
Pružná spojka 6Nm	LK20-C25-12/12	4	1280	CNCshop.cz	
Trubičky motoru	polotovary	12	180	Ehlinik.cz	
	Výroba	12	500	<a href="http://www.rynes.cz">www.rynes.cz</a>	
Servodriver	ES-D508	4	11680	CNCshop.cz	
Servomotor	ES-M32320	4	11280	CNCshop.cz	
Zdroj 48V	S350	6	6300	CNCshop.cz	
Oddělovací deska	CNC-IO-24V	3	2085	CNCshop.cz	
HW interpolátor	Smooth stepper, ethernet	1	5400	CNCshop.cz	
Kabely			2000	Cncshop.cz	
Koncové snímače	Indukční M12	6	540	Divis Hobby	
Referenční snímače	Indukční M12	3	270	Divis Hobby	
Úchyty snímačů			130	Ehlinik.cz	
	X	výroba	3	1000 <a href="http://www.rynes.cz">www.rynes.cz</a>	
	Y	výroba	3		
Ovladač nouzového zastavení		1	930	<a href="http://www.eatonelektrotechnika.cz">www.eatonelektrotechnika.cz</a>	
Elektroskříň	Mi90801	1	4637	<a href="http://www.hensel-electric.cz">www.hensel-electric.cz</a>	
Vypínač			240	CNCshop.cz	



Pokračování Tab. 36					
Komponenta	Označení	Počet ks	Celková cena vč. DPH [Kč]	Dodavatel	Celek
Jistič s proudovým chráničem	16A	1	516	Elmaterial.cz	Elektronika
Spínaný zdroj 5V	DR30 -5	1	585	CNCshop.cz	
Spínaný zdroj 12 V	DR30 - 12	1	585	CNCshop.cz	
Rozdvojka		1	100	Elmaterial.cz	
Přípojka s odrušovačem	Shurter 15A	1	500	www.soselectronic.cz/	
Větráček		1	100	CNCshop.cz	
Stykač	Moeller DIL EM -01 (230V 50HZ, 3pol)	2	540	www.tme.eu	
Spínač dveří s petlicí	Euchler	1	4414	www.euchler.cz	
Přestavovací kolíky		4	100	Jiry.cz	Nepřirazeno
Matice Haberkorn		45	600	Haberkorn	
Protikus koncového snímače		1	200	<a href="http://www.rynes.cz">www.rynes.cz</a>	
Šrouby		250	600	www.sroubysoukup.cz	
Šrouby držáku motoru	M4x90	12	1680	www.sroubysoukup.cz	
Vyrovňovací prvek	Polotovar	4	105	Kondor.cz	
	Výroba	4	1000	<a href="http://www.rynes.cz">www.rynes.cz</a>	
Držák konce energetického řetězu	S_01_00.09	1	1000	<a href="http://www.rynes.cz">www.rynes.cz</a>	
Držák konce energetického řetězu Y	S_01_00.10	1	400	<a href="http://www.rynes.cz">www.rynes.cz</a>	
Počítač	2,6 GHz, 512 RAM, 17 Monitor	1	5000	Cnc1.eu	
Řídicí systém	Mach3-CNC controller	1	4940	Cncshop.cz	

Celkové náklady na dodávané komponenty uvedené v Tab. 36 jsou **236 186 Kč**. Do této kalkulace ceny není započtena samotná montáž a výroba montážních přílohek.

Dosahovaná geometrická přesnost mechaniky stroje na Obr. 87 vychází od tolerovaných rozměrů všech komponent, převážně pak lineárního vedení a jeho správného usazení. Kolmost jednotlivých os je zaručena správnou montáží vedení na připravené dosedací hrany. Vzhledem k výrobním tolerancím všech komponent je nutné dodržovat určité zásady a způsoby montáže, které doporučují například firma Hiwin [38] nebo Sneeberger [60]. Princip vychází vždy od doražení jedné strany vedení nebo vozíku na tolerovanou hranu, která určuje geometrii a druhá strana je dotahována při přejezdění vozíky. Zároveň musí být rovnoběžná osa kuličkového šroubu s osou vedení, aby nedocházelo ke zbytečnému namáhání kuličkové matice a deformaci kuličkového šroubu. Tato rovnoběžnost je v tomto návrhu řešena dostatečnou vůlí v uložení konců kuličkového šroubu, která pak umožní vyrovnání dotažením při přejezdění vozíky po již usazeném vedení. Montáž s sebou nese i různá úskalí v tom, že oběhové kuličky kuličkové matice nemusí mít klec a matici je třeba mít nasazenou stále na šroubu. Tak je to i v případě použité kuličkové matice R16 SSV, kterou firma Hiwin navíc na přání mírně předepne. Proto pro tento celek mechaniky stroje bylo nutné vypracovat montážní postup. Tento postup je uveden v příloze 1.



Obr. 87: Mechanika návrhu

## Závěr

Zadáním diplomové práce bylo navrhnout číslicově řízený obráběcí stroj, který by byl vhodný pro výukové účely NC programování. Požadavkem byly nízké pořizovací náklady a modulární konstrukce. Postupným výběrem běžně dostupných komponent byla navržena kompletní konstrukce včetně elektrického zapojení. Z možných konstrukčních uspořádání je nejvhodnější koncepce portálové frézky „spodní gantry“, která nabízí největší modulárnost. V práci bylo nutné posuzovat vhodnost použití všech komponent a jejich vzájemnou kompatibilitu. V kap. 4. bylo zvoleno vhodné vřeteno o výkonu 1,5 kW, které vyhovuje použití pro doporučené technologické podmínky obrábění hliníku. Velikost upínacího prostoru stroje byla stanovena na 800x400 mm. Průchod pod osou Z je možné díky polohovatelnému stolu měnit v rozmezí od 173 mm do 302 mm. Tento prostor byl spolu s pracovním rozsahem 300x400x115 mm posouzen jako optimální vzhledem k možnostem rozšiřování stroje přidáním rotačně-naklápěcího stolu. Podle působících řezných sil, které mohou při obrábění vznikat, byla posuzována statická tuhost nosných dílců konstrukce a jejich příspěvky na posun na nástroji při obrábění. Spolu s tuhostí byly dílce posuzovány z hlediska ceny a složitosti montáže tak, aby vznikl návrh s co nejlepšími parametry a byl zároveň realizovatelný.

Konstrukce návrhu mechaniky se vzhledem k velikosti a výrobním možnostem podobá značně nabízenému stroji High-Z na Obr. 18. Z výpočtů v kap. 5.1. plyne, že průhyby nepodepřeného vedení od hmotnosti tohoto kupovaného stroje by se mohly blížit až k hodnotě  $0,213 \text{ mm}$  na ose Y (viz Tab. 22). Navrhované řešení v této práci garantuje průhyb od hmotnosti na ose Y menší než  $0,04 \text{ mm}$  (kap. 6.1. – rovnice (108)). Z tohoto srovnání je vidět mnohem vyšší statická tuhost.

Z dostupných komponent, uvedených v Tab. 36 a v kusovnících technické dokumentace, lze sestavit plně funkční tří-osý stroj, který splňuje zadání. Během návrhu byly postupně poptávány všechny komponenty a cena zařízení dosáhla 236 186 Kč. V řešení stroje byly voleny vhodnější motory s odměřováním oproti běžně užívaným krokovým motorům. Tyto motory zaručují přesnější polohování, které je po správném nastavení driveru motoru a řídicího systému  $0,0029 \text{ mm}$  (viz kap. 7.3.). Zároveň u nich nehrozí ztráta kroku a tím i ztráta přesnosti. Vzhledem k použitým motorům a kuličkovým šroubům je maximální dosahovaná rychlost posuvu stroje stejná jako u nejvýkonnějších strojů z této kategorie (Tab. 16), tedy  $6000 \text{ mm/s}$ .

Ke stroji bylo vytvořeno schéma zapojení a je možné ho připojit k síti 230 V. To je výhodné i vzhledem tomu, že není nutné třífázové vstupní napětí. Předpokládaný příkon zařízení je  $3,22 \text{ kW}$  a celková hmotnost zařízení je i vzhledem k plně zakrytované konstrukci  $210 \text{ kg}$ . Navrhované zařízení obsahuje bezpečnostní prvky dle normy o strojních zařízeních [48] a je vhodné pro školní užití.

## Seznam použité literatury

- [1] Merkurtoys. [online]. [cit. 2014-10-5]. Dostupné z: <http://www.merkurtoys.cz/vyrobky/3d-cnc-frezovaci-stroj-mc30f2t>
- [2] Cnc.inshop. [online]. [cit. 2014-10-5]. Dostupné z: <http://cnc.inshop.cz/stolni-frezky/4-osamodelarskacncfrezkaprogravirovaniaryti%5BCNCX-40304A%5D>
- [3] Cnc.inshop. [online]. [cit. 2014-10-5]. Dostupné z: <http://cnc.inshop.cz/stolni-frezky/stolnicncfrezka400x300x65mm%5BCNCB-4030%5D>
- [4] Cnc.inshop. [online]. [cit. 2014-10-5]. Dostupné z: <http://cnc.inshop.cz/stolni-frezky/malastolnicncfrezka300x200x48mm%5BCNCB-3020%5D?ItemIdx=0>
- [5] Cnc.inshop. [online]. [cit. 2014-10-5]. Dostupné z: <http://cnc.inshop.cz/stolni-frezky/poloprofessionalnicncfrezka400x300mm%5BCNCH-4030-800W%5D?ItemIdx=4>
- [6] Cnc.inshop. [online]. [cit. 2014-10-5]. Dostupné z: <http://cnc.inshop.cz/stolni-frezky/4-osacncfrezka600x400mmsvysokymportalem1.500w%5BCNCH-6040-Z100%5D?ItemIdx=6>
- [7] Naradi-pro. [online]. [cit. 2014-10-5]. Dostupné z: <http://www.naradi-pro.cz/cnc-freza?ref=google28013&qclid=CN3lw82olsECFUPLtAodjTgA0w>
- [8] Shop.boukal. [online]. [cit. 2014-10-5]. Dostupné z: <http://shop.boukal.cz/kovoobrabeci-stroje/cnc-frezka-numco-ikx1>
- [9] Numco. [online]. [cit. 2014-10-5]. Dostupné z: <http://www.numco.cz/produkt/7701609-cnc-router-shg-0609>
- [10] Shop.boukal. [online]. [cit. 2014-10-5]. Dostupné z: [http://shop.boukal.cz/modelarske-naradi/jemna-frezka-na-kov-proxxon-ff-500-cnc/?gclid=COa1\\_LTJI8ECFY\\_MtAodmicA2g](http://shop.boukal.cz/modelarske-naradi/jemna-frezka-na-kov-proxxon-ff-500-cnc/?gclid=COa1_LTJI8ECFY_MtAodmicA2g)
- [11] Cnc routers. [online]. [cit. 2014-10-13]. Dostupné z: [http://www.cnc-router-routers.com/html/price\\_list\\_cnc\\_milling\\_machine.HTM](http://www.cnc-router-routers.com/html/price_list_cnc_milling_machine.HTM)
- [12] Elektromodely. [online]. [cit. 2014-10-21]. Dostupné z: [http://elektromodely.com/modely/product\\_info.php?products\\_id=5906&osCsid=24b3](http://elektromodely.com/modely/product_info.php?products_id=5906&osCsid=24b3)
- [13] AB SANDVIK COROMANT. *Příručka obrábění*. ISBN 91-97 22 99-4-6., kap. Technické informace
- [14] Mach3. [online]. [cit. 2014-11-09]. Dostupné z: <http://www.machsupport.com/>
- [15] LinuxCNC. [online]. [cit. 2014-11-09]. Dostupné z: <http://www.linuxcnc.org/index.php/about>
- [16] Gravos. [online]. [cit. 2014-11-09]. Dostupné z: <http://www.gravos.cz/armo.htm>
- [17] Proxxon. [online]. [cit. 2014-11-09]. Dostupné z: <http://www.proxxon.com/en/micromot/24500.php>
- [18] Gravos. [online]. [cit. 2014-11-09]. Dostupné z: <http://www.gravos.cz/stroje.htm>
- [19] Cncshop. [online]. [cit. 2014-11-17]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz>,
- [20] Cnc.inshop. [online]. [cit. 2014-11-19]. Dostupné z: <http://cnc.inshop.cz/bezstredicihotnu/resenirotacniosy-sklicidlo80mm%5BRA-UNI-1%5D?ItemIdx=6>
- [21] Kitagawa. [online]. [cit. 2014-11-19]. Dostupné z: <http://www.kitagawaeurope.cz/uploads/resources/TRUNNION.pdf>

- [22] mini-tool. [online]. [cit.2014-11-21] Dostupné z: <http://www.mini-tool.ru/kupit-oborudovanie-proxxon>
- [23] Divishobby. [online]. [cit. 2014-11-23]. Dostupné z: <http://aukro.cz/vreteno-1-5-kw-24000ot-min-er11-menic-priruba-cnc-i4794987243.html>
- [24] Divishobby. [online]. [cit. 2014-11-23]. Dostupné z: <http://aukro.cz/linearni-kolejnice-9mm-l-400mm-1-vozik-mgn9-cnc-i4804684146.html>
- [25] Cncshop. [online]. [cit. 2014-11-23]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/kress-fme1050-vysokootackova-frezka-1050w>
- [26] Cncshop. [online]. [cit. 2014-11-23]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/drzak-frezky-43mm>
- [27] Hliníkové profily. [online]. [cit. 2014-11-23]. Dostupné z: <http://www.technikaath.cz/komponenty/stavebnicovy-system-z-hlinikovych-profilu>
- [28] Haberkorn. [online]. [cit. 2014-11-23]. Dostupné z: [http://www.haberkorn.cz/files/file/system-hlinikovych-profilu/ke-stazeni/MB7\\_CZ.pdf](http://www.haberkorn.cz/files/file/system-hlinikovych-profilu/ke-stazeni/MB7_CZ.pdf)
- [29] Slitiny hliníku. [online]. [cit. 2014-12-2]. Dostupné z: [http://www.alucad.cz/public/var/files/file\\_109.pdf](http://www.alucad.cz/public/var/files/file_109.pdf)
- [30] PRAMET. *Monolitní frézy 2012* [online]. [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/cz/produkty/frezovani/monolitni-frezy.html>
- [31] Sandvik. [www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com). [online]. 25.2.2015 [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: [http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece\\_materials/iso\\_n\\_non\\_ferrous\\_materials/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_n_non_ferrous_materials/pages/default.aspx)
- [32] Sandvik. [www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com). [online]. 25.2.2015 [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: [http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece\\_materials/the\\_specific\\_cutting\\_force/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece_materials/the_specific_cutting_force/pages/default.aspx)
- [33] Taegutec. [www.taegutec.com](http://www.taegutec.com). [online]. 25.2.2015 [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: [http://www.taegutec.cz/innotool/prirucka\\_obrabení\\_2114.pdf](http://www.taegutec.cz/innotool/prirucka_obrabení_2114.pdf)
- [34] [www.ebay.com](http://www.ebay.com). [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: [http://www.ebay.com/itm/CNC-Engraving-Machine-Rotary-Table-H-Style-A-Axis-B-Axis-4th-5th-Rotational-Axis-/261300446896?pt=LH\\_DefaultDomain\\_0&hash=item3cd6b866b0](http://www.ebay.com/itm/CNC-Engraving-Machine-Rotary-Table-H-Style-A-Axis-B-Axis-4th-5th-Rotational-Axis-/261300446896?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item3cd6b866b0)
- [35] [www.ebay.com](http://www.ebay.com). [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://www.ebay.com/itm/CNC-Rotary-Table-Engraving-Machine-Rotary-Axis-A-Axis-B-Axis-4th-5th-Axis-1-6/261824601765?trksid=p2047675.c100009.m1982&trkparms=aid%3D777000%26algo%3DABA.MBE%26ao%3D1%26asc%3D29266%26meid%3Dc5d4daecdb4842d8b6ab7dbaf2973d32%26pid%3D100009%26rk%3D1%26rkt%3D1%26sd%3D261300446896>
- [36] Norma DIN 17615. [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: [http://www.maytec.org/technische\\_daten\\_e.htm](http://www.maytec.org/technische_daten_e.htm)
- [37] Misumi. [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: [http://uk.misumi-ec.com/pdf/fa/2014/P2\\_0581-0582\\_F40\\_EN.pdf?searchFlow=results2fulltext](http://uk.misumi-ec.com/pdf/fa/2014/P2_0581-0582_F40_EN.pdf?searchFlow=results2fulltext)
- [38] Hiwin. [online]. [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: [http://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/kulickove-vedeni/rada-hg/17\\_hgh](http://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/kulickove-vedeni/rada-hg/17_hgh)
- [39] THK. [online]. [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: [https://tech.thk.com/en/products/pdf/en\\_b00\\_001.pdf#1](https://tech.thk.com/en/products/pdf/en_b00_001.pdf#1)

- [40] *Katalog kuličkových šroubů KS-Kuřim* [online]. 2012. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: [http://www.ks-kurim.cz/fileadmin/user\\_upload/Ostatni\\_pdf\\_soubory/Ke\\_stazeni/Produktovy\\_katalog\\_2012\\_CZE.pdf](http://www.ks-kurim.cz/fileadmin/user_upload/Ostatni_pdf_soubory/Ke_stazeni/Produktovy_katalog_2012_CZE.pdf)
- [41] *Minimální světlá výška administrativních budov* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.wikiarch.cz/wiki/minimalni-svetle-vysky-administrativnich-budov/>
- [42] Marek, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Speciální vydání MM Průmyslové spektrum. MM publishing, 2006. 284 s. ISBN 1212-2572
- [43] *Meanwell* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.czech-meanwell.cz>
- [44] BRENÍK, Přemysl a Josef PÍČ. *Obráběcí stroje: Konstrukce a výpočty*. 1982. Praha: SNTL, 1982. 572s ISBN 04-221-82.
- [45] SOUČEK, Pavel. *Servomechanismy ve výrobních strojích*. 2004. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. 210s. ISBN 80-01-02902-6.
- [46] KOUBEK, Jan. *Konstrukce CNC stroje na výrobu polotovarů hudebních nástrojů s ohledem na tuhost stroje*. Praha, 2008. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav výrobních strojů a zařízení
- [47] MAREK, Jiří a kolektiv. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha: MM publishing s.r.o., 2010. Druhé přepracované a rozšířené vydání. 422 s. ISBN 978-80-25-7980-3.
- [48] Norma ČSN EN ISO 12100 Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posuzování rizika a snižování rizika. ÚNMZ Praha, 2011
- [49] SOUČEK, Pavel. *Pohony výrobních zařízení (Servomechanismy)*. Praha, 1994. Skripta. ČVUT v Praze, Fakulta strojní.
- [50] ŘEZNÍČEK, Jan. *Pružnost a pevnost I, Přednášky*. ČVUT v Praze, Fakulta strojní.
- [51] Mach3 [online], Uživatelská příručka pro instalaci, konfiguraci a používání Mach3 mill. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz>
- [52] *Aluteck: Katalog* [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.aluteck.cz/katalog/>
- [53] *Fimec* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.fimec.it/index.php>
- [54] *Cnc.inshop.cz* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://cnc.inshop.cz/cncvretena/profesionalnivreteno1.5kw%5BSPN-1500A%5D?ItemIdx=6>
- [55] *Cncshop.cz* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/es-m32320-easy-servo-motor-2nm>
- [56] *Hiwin* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: [http://www.hiwin.cz/cz/produkty/kul-pouzdra-a-vodici-tyce/kulickova-pouzdra/75\\_otevrene-pouzdro-ubm-op](http://www.hiwin.cz/cz/produkty/kul-pouzdra-a-vodici-tyce/kulickova-pouzdra/75_otevrene-pouzdro-ubm-op)
- [57] *Cnc.inshop.cz* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: [http://cnc.inshop.cz/podeprenetyce/jednoduchyotevrenylinearsetprosbr-20\[SME-20\]?ItemIdx=13](http://cnc.inshop.cz/podeprenetyce/jednoduchyotevrenylinearsetprosbr-20[SME-20]?ItemIdx=13)
- [58] *Cncshop.cz* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/smoothstepper-ethernet-hw-interpolator-4-mhz-pro-mach3>

- [59] *Cncshop.cz* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z:  
<http://www.cncshop.cz/cnc-io-board-oddelovaci-deska-pro-paralelni-port>
- [60] *Sneeberger* [online]. [cit. 2015-06-04]. Dostupné z:  
<https://www.schneeberger.com/en/downloads/?cid=5>
- [61] *Euchler* [online]. [cit. 2015-06-06]. Dostupné z:  
<http://www.euchner.cz/produkty/bezpecnost/bezpecnostni-spinace/>
- [62] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *STROJNICKÉ TABULKY: Druhé doplněné vydání*. Úvaly: Albra, 2005. ISBN 80-7361-011-6.

## Seznam obrázků

Obr. 1: MC30F2T (převzato z [1]).....	15
Obr. 2: CNC frézka 280x390x55 (převzato z [2]).....	16
Obr. 3: CNC frézka 400x300x65 (převzato z [3]).....	17
Obr. 4: Deskový profil 8 (převzato z [28]) .....	17
Obr. 5: CNC frézka 300x200x48 mm (převzato z [4]).....	18
Obr. 6: Vodící tyče (převzato z [19] ) .....	18
Obr. 7: Valivé hnízdo SMA12 (převzato z [19]).....	18
Obr. 8: CNC frézka 400x300 mm (převzato z [5]).....	19
Obr. 9: CNC frézka 600x400 mm (převzato z [6]).....	20
Obr. 10: Vřeteno 1500W 24000 ot/min, frekvenční měnič, příruba, ER11 (převzato z [23]) .....	20
Obr. 11: Numco KX1 (převzato z [7]).....	21
Obr. 12: Numco iKX1 (převzato z [8]).....	22
Obr. 13: Způsob krytování stroje .....	22
Obr. 14: SHG-0609 (převzato z [9]).....	23
Obr. 15: Systém naklápění vřetena (převzato z [22]) .....	24
Obr. 16: Proxxon FF500/CNC (převzato z [10]).....	24
Obr. 17: Systém hliníkových profilů (převzato z [27]) .....	25
Obr. 18: High-Z S-400 (převzato z [11]).....	25
Obr. 19: Frézka GV 21 2A (převzato z [18]) .....	26
Obr. 20 :Lineární vedení MGN12 (převzato z [19]).....	26
Obr. 21: Držák vřetene ø43 mm (převzato z [26]) .....	26
Obr. 22: Vřeteno Kress FME 1050 W (převzato z [25]) .....	26
Obr. 23: Frézka IK 500 (převzato z [18]).....	27
Obr. 24: Program Mach3 úvodní obrazovka (převzato z [14]) .....	30

Obr. 25: Program Mach3 offsety (převzato z [14]).....	30
Obr. 26: Program Mach3 MDI režim (převzato z [14]).....	30
Obr. 27: Prostředí LinuxCNC (převzato z [16]).....	31
Obr. 28: Prostředí Armote.....	31
Obr. 29: Schéma komunikace počítače se strojem (převzato z [17]).....	32
Obr. 30: Rotační - sklíčidlo 80 mm (převzato z [20]).....	32
Obr. 31: Rotačně-naklápěcí stůl 140 (převzato z [34] ) .....	32
Obr. 32: Rotačně-naklápěcí stůl 135 (převzato z [35]) .....	33
Obr. 33: Návrh N1 .....	34
Obr. 34: Mechanika N1 .....	34
Obr. 35: Konstrukce stolu N1.....	35
Obr. 36: Návrh N2 .....	35
Obr. 37: Mechanika N2.....	35
Obr. 38: Návrh N3 .....	36
Obr. 39: Profil 103060 Aluteckk.....	36
Obr. 40: Mechanika N3.....	36
Obr. 41: Popis vybrané varianty .....	38
Obr. 42: Stopková fréza E4S N suma (převzato z [30]).....	39
Obr. 43: Parametry obrábění (převzato z [31]).....	40
Obr. 44: Řezné podmínky.....	40
Obr. 45 Nárůst měrné řezné síly [převzato z [32] ] .....	41
Obr. 46: Měrná řezná .....	41
Obr. 47: Momentová a výkonostní charakteristika vřetena HM73C 1,5 kW.....	43
Obr. 48: Vřeteno 1,5 kw (převzato z [54]).....	43
Obr. 49: Uložení kuličkového šroubu osy Y a X (převzato z [40]).....	45
Obr. 50: Uložení kuličkového šroubu osy Z (převzato z [40]) .....	45
Obr. 51: Pohyblivé hmoty .....	48
Obr. 52: Motor ES-M32320 (převzato z [55]).....	51
Obr. 53: Momentová charakteristika motoru (převzato z [55]).....	51
Obr. 54: Průhyb od hmotnosti na ose Y.....	52
Obr. 55: Průhyb od hmotnosti na ose X.....	52
Obr. 56: Uchycení vedení.....	55



Obr. 57: Vetknutí portálu.....	56
Obr. 58: Analýza tuhostí .....	57
Obr. 59: Průřez desky smykadla.....	57
Obr. 60: Zatížení desky smykadla řeznou silou .....	58
Obr. 61: Zatížení desky smykadla jednotkovou silou.....	58
Obr. 62: Zatížení křížové desky řeznou silou.....	60
Obr. 63: Zatížení křížové desky jednotkovou silou .....	60
Obr. 64: Zatížení profilů portálu řeznou silou.....	61
Obr. 65: Deformace profilů portálu .....	63
Obr. 66: Varianta a) .....	64
Obr. 67: Varianta c) .....	64
Obr. 68: Pouzdra typu UB-OP (převzato z [55]) .....	66
Obr. 69: Návrh N4 .....	71
Obr. 70: Rámeček mechaniky N4.....	71
Obr. 71: Stahovací prvek.....	71
Obr. 72: Výrobní nepřesnost portálu N4 .....	71
Obr. 73: Návrh N5 .....	72
Obr. 74: Rámeček návrhu N5.....	72
Obr. 75: Zatížení osy X návrhu N5 .....	73
Obr. 76: Průřezová charakteristika .....	73
Obr. 77: Zatížení osy X návrhu N4. ....	74
Obr. 78: Průřezová charakteristika desky uchycení kuličkového šroubu návrhu N4. 74	
Obr. 79: Matematický model.....	74
Obr. 80 Umístění na pracovní stůl .....	76
Obr. 81: Nosný a krytovací rám .....	76
Obr. 82: Samostojná varianta .....	76
Obr. 83: Egonomie stroje.....	76
Obr. 84: LPT oddělovací deska (převzato z [59]) .....	77
Obr. 85: Popis prvků oddělovací desky (převzato z [59]) .....	77
Obr. 86: HW interpolátor (převzato z [58]).....	77
Obr. 87: Mechanika návrhu .....	86

## Seznam tabulek

Tab. 1: Parametry frézky Merkur .....	16
Tab. 2: Parametry CNC frézky 280x390x55 .....	17
Tab. 3: Parametry CNC frézky 400x300x65 .....	18
Tab. 4: Parametry CNC frézky 300x200x48 mm .....	18
Tab. 5: Srovnání vozíků vedení .....	19
Tab. 6: Srovnání cen lineárního vedení .....	19
Tab. 7: Parametry CNC frézky 400x300 mm .....	19
Tab. 8: Parametry CNC frézky 600x400 mm .....	20
Tab. 9: Parametry frézky Numco KX1 .....	21
Tab. 10: Parametry frézky Numco iKX1 .....	22
Tab. 11: Parametry routru Numco SHG-0609 .....	23
Tab. 12: Parametry frézky Proxxon FF500/CNC .....	24
Tab. 13: Parametry frézky High-Z S-400 .....	25
Tab. 14: Parametry frézky GV 21 2A .....	26
Tab. 15: Parametry frézky IK 500 .....	27
Tab. 16: Srovnání parametrů strojů .....	28
Tab. 17: Srovnávací tabulka variant N1,N2,N3 .....	37
Tab. 18: Momenty setrvačnosti .....	49
Tab. 19: Požadavky na pohon .....	50
Tab. 20: Výsledky (52) .....	53
Tab. 21: Průhyby vedení N1 .....	53
Tab. 22: Průhyby vedení N1 v případě vetknutí .....	54
Tab. 23: Srovnání portálu .....	55
Tab. 24: Přesnost hliníkových profilů (lit. [36]) .....	56
Tab. 25: Profil s frézovaným povrchem Misumi (lit. [37]) .....	56
Tab. 26: Vzdálenosti valivých hnízd .....	57
Tab. 27: Hodnoty ohybového momentu na desce smykadla .....	59
Tab. 28: Hodnoty ohybového momentu na křížové desce .....	61
Tab. 29: Vstupní parametry a výsledné průhyby profilů portálu .....	62
Tab. 30: Posouzení příspěvků nosných dílců na posun nástroje .....	63

Tab. 31: Srovnání vhodných profilů pro portál .....	63
Tab. 32: Srovnání variant pracovního stolu .....	65
Tab. 33: Srovnání vedení varianty N3 .....	70
Tab. 34: Srovnání deformací uchycení kuličkového šroubu návrhů N4 a N5 .....	75
Tab. 35: Rozhodovací tabulka varianty N4 a N5 .....	75
Tab. 36: Seznam komponent, jejich ceny a dodavatele .....	83

## Seznam příloh

### Textové přílohy

Příloha 1: Montážní postup

### Výkresová dokumentace

#### Sestavy

Výkres sestavy S\_00\_00  
Výkres sestavy S\_01\_00  
Výkres sestavy S\_01\_01  
Výkres sestavy S\_01\_02  
Výkres sestavy S\_01\_02\_01  
Výkres sestavy S\_01\_02\_02  
Výkres sestavy S\_02\_00  
Výkres sestavy S\_03\_00  
Výkres sestavy S\_04\_00

#### Výrobní výkresy

Výrobní výkres S\_00\_00.01  
Výrobní výkres S\_00\_00.02  
Výrobní výkres S\_00\_00.03  
Výrobní výkres S\_01\_00.01  
Výrobní výkres S\_01\_00.03  
Výrobní výkres S\_01\_00.04

Výrobní výkres S\_01\_00.05  
Výrobní výkres S\_01\_00.06  
Výrobní výkres S\_01\_00.07  
Výrobní výkres S\_01\_00.08  
Výrobní výkres S\_01\_00.09  
Výrobní výkres S\_01\_00.10  
Výrobní výkres S\_01\_01.01  
Výrobní výkres S\_01\_01.02  
Výrobní výkres S\_01\_01.03  
Výrobní výkres S\_01\_01.04  
Výrobní výkres S\_01\_01.05  
Výrobní výkres S\_01\_01.06  
Výrobní výkres S\_01\_01.07  
Výrobní výkres S\_01\_02.01  
Výrobní výkres S\_03\_00.01  
Výrobní výkres S\_01\_03  
Výrobní výkres S\_01\_03.01  
Výrobní výkres S\_01\_02\_01.01  
Výrobní výkres S\_01\_02\_02.01  
Výrobní výkres S\_01\_02\_01.02  
Výrobní výkres S\_01\_02\_02.02

### **Kusovníky**

Kusovník S\_00\_00\_K  
Kusovník S\_01\_00\_K  
Kusovník S\_02\_00\_K  
Kusovník S\_03\_00\_K  
Kusovník S\_04\_00\_K

Kusovník S\_01\_01\_K

Kusovník S\_01\_02\_K

Kusovník S\_01\_02\_01\_K

Kusovník S\_01\_02\_02\_K

Kusovník S\_01\_03\_K

### **Další**

Výkres A1

Výkres A2

Výkres A3

Výkres A4

Výkres A5

Výkres A6

Schéma zapojení S\_04\_00\_P

Výkres vedení kabelů S\_00\_00\_P

### **Elektronické přílohy na CD**

Diplomova\_prace.pdf

Predbezne\_ceny.xls

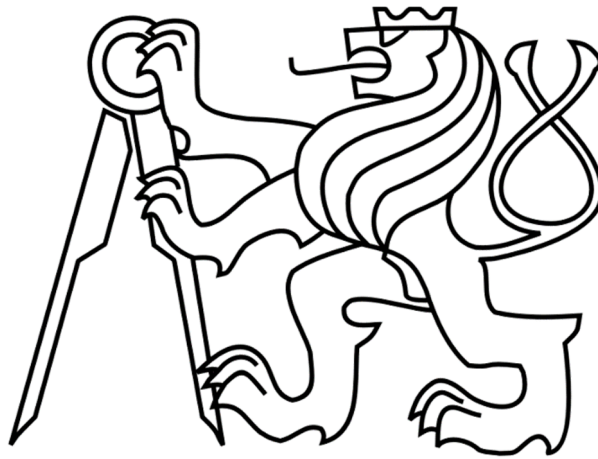
Vedeni.xls

Ram.stp

Sestava.stp

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



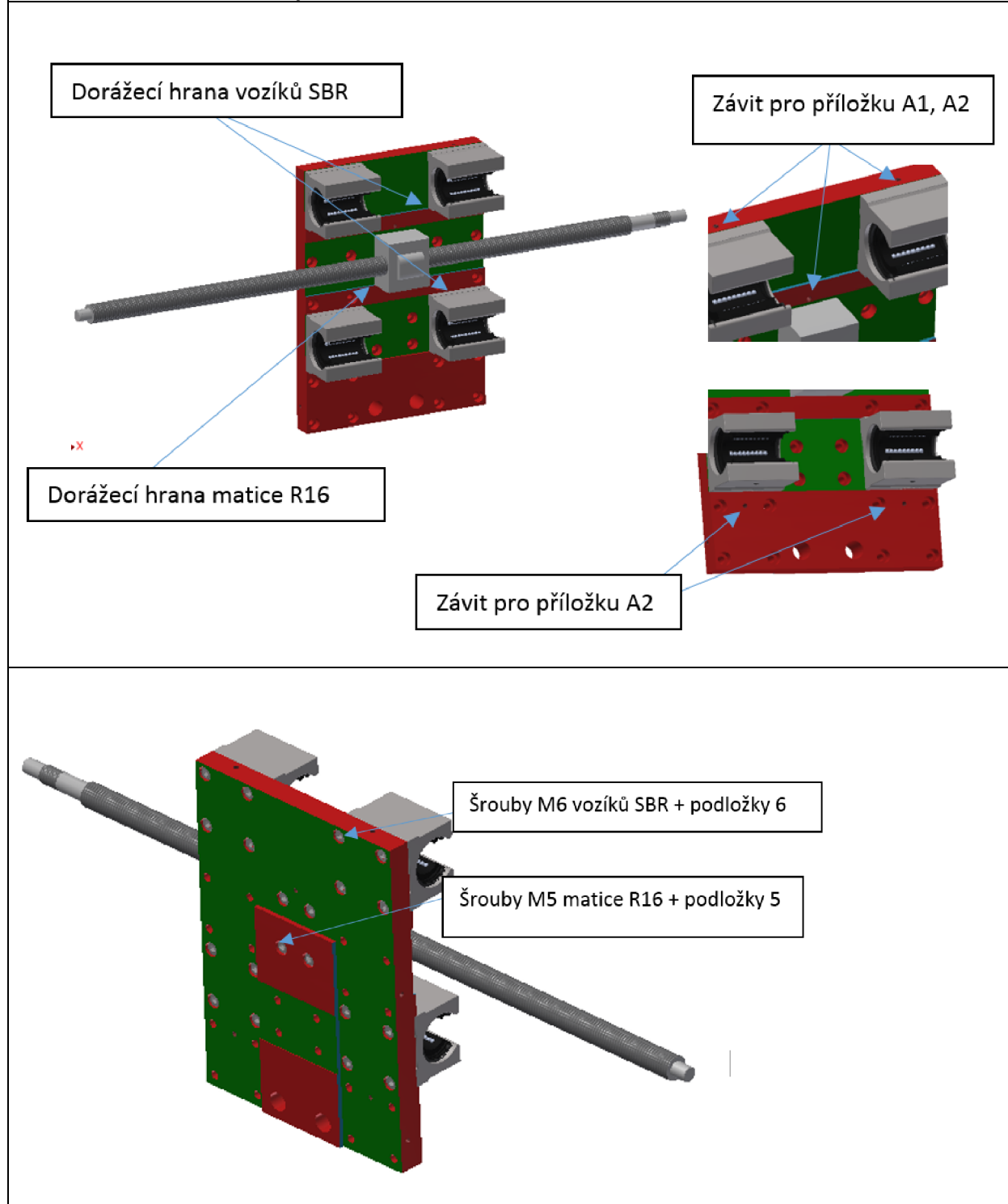
# Diplomová práce

Textové přílohy



## 1) Křížový vozík

### I) Portálová strana





**Kupované díly:**

4x vozík SBR20

Kuličkový šroub Hiwin 1606 SSV L544 + Kuličková matice R16 SSV

Šrouby s vnitřním šestihranem M5x16 DIN 7984 - 4 ks

Šrouby s vnitřním šestihranem M6x20 DIN7984 – 16 ks

Podložky 5 DIN7980 – 4 ks

Podložky 6 DIN7980 – 16 ks

**Z kooperace:**

Deska vozíku Z S\_01\_02\_02.01

**Dodělaváno:**

Montážní příložka A1 – 2 ks

Montážní příložka A2 – 1 ks

**Nástroje:**

Imbusový klíč 4

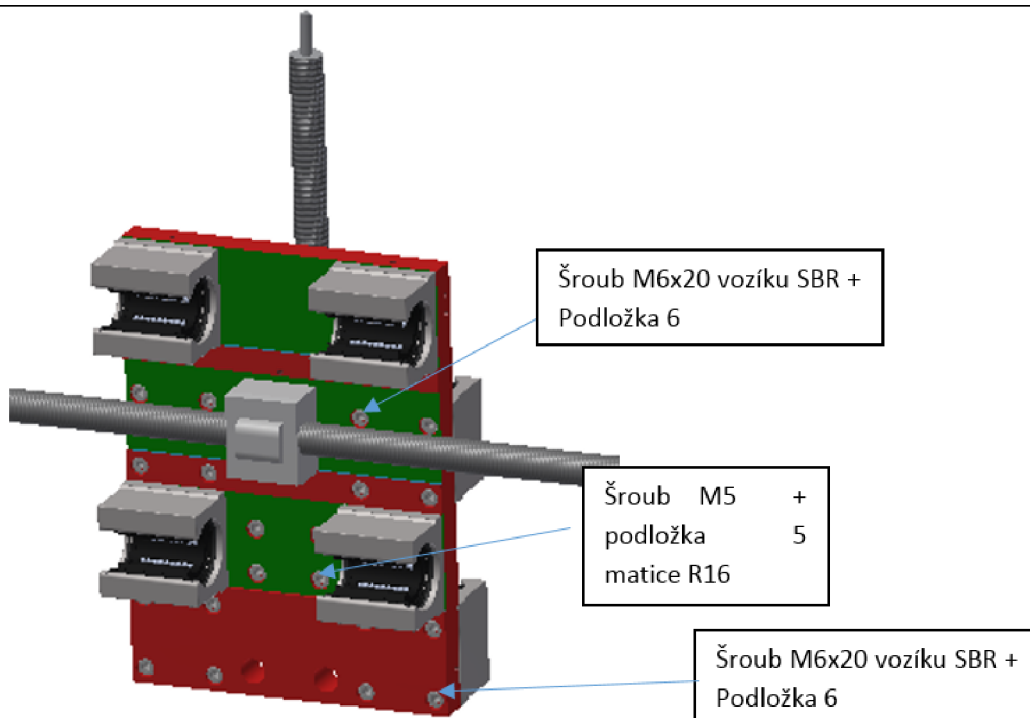
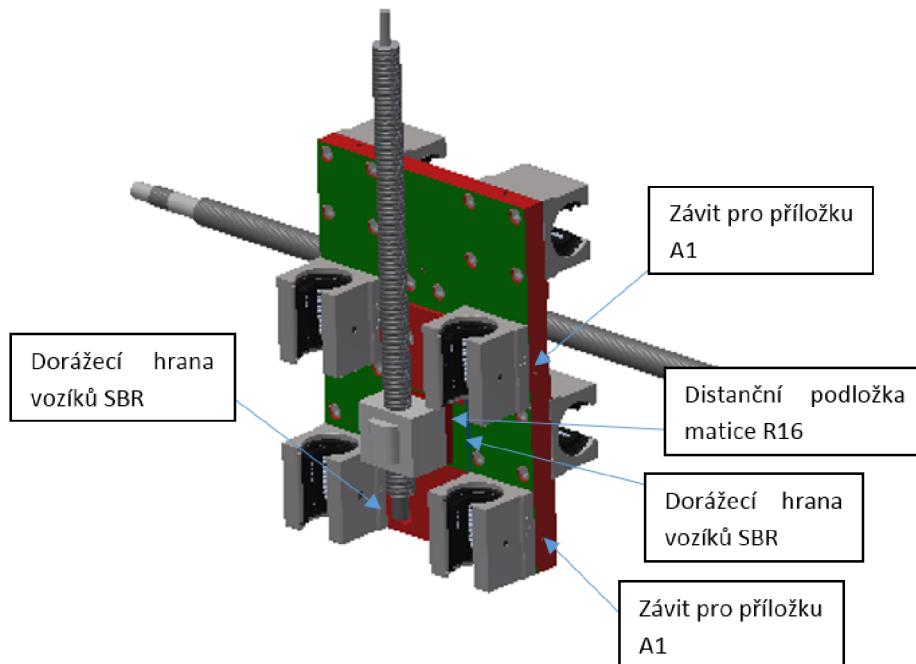
Imbusový klíč 3

**Hotový celek:**

**Postup:**

- [1] K desce přišroubujeme 4 ks vozíků SBR pomocí šroubů M6x20 a matici R16 SSV se šroubem 1605 L544 pomocí šroubů M5. Nedotahujeme. Dáváme pozor aby kuličkový šroub zůstal v matici R16. Orientace šroubu 1605 jak je na obrázku.
- [2] Pomocí montážních příložek, které šroubujeme do připravených závitů M4, dotlačíme vozíky a matici na obráběné dorážecí hrany.
- [3] Dotahneme šrouby M6 a M5.
- [4] Příložky sundáme.

## II) Strana smykadla



### Kupované díly:

4x vozík SBR20

Kuličkový šroub Hiwin 1606 SSV L304 + Kuličková matice R16 SSV

Podložky 6 DIN7980 – 16 ks

Šrouby s vnitřním šestihranem M5x25 DIN7984 – 4 ks

Podložky 5 DIN7980 – 4 ks

Šrouby s vnitřním šestihranem M6x20 DIN7984 – 8 ks

Šrouby s vnitřním šestihranem M6x20 DIN7984– 8 ks

**Z kooperace:**

Křížová deska

**Doděláváno:**

Montážní příložka A1 – 1 ks

Dobrušování podložky matice R16

**Nástroje:**

Imbusový klíč 4

Imbusový klíč 3

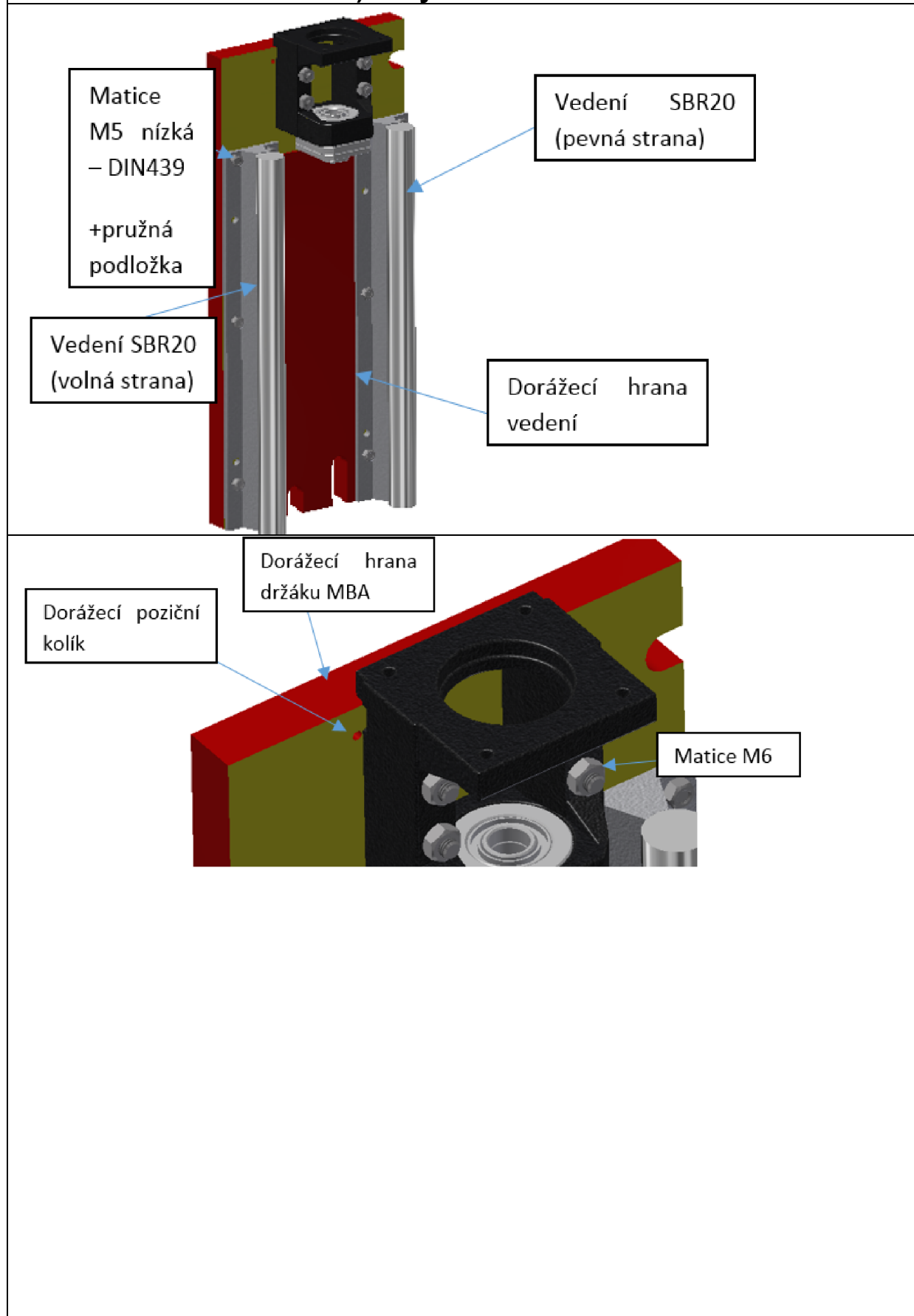
**Hotový celek:**

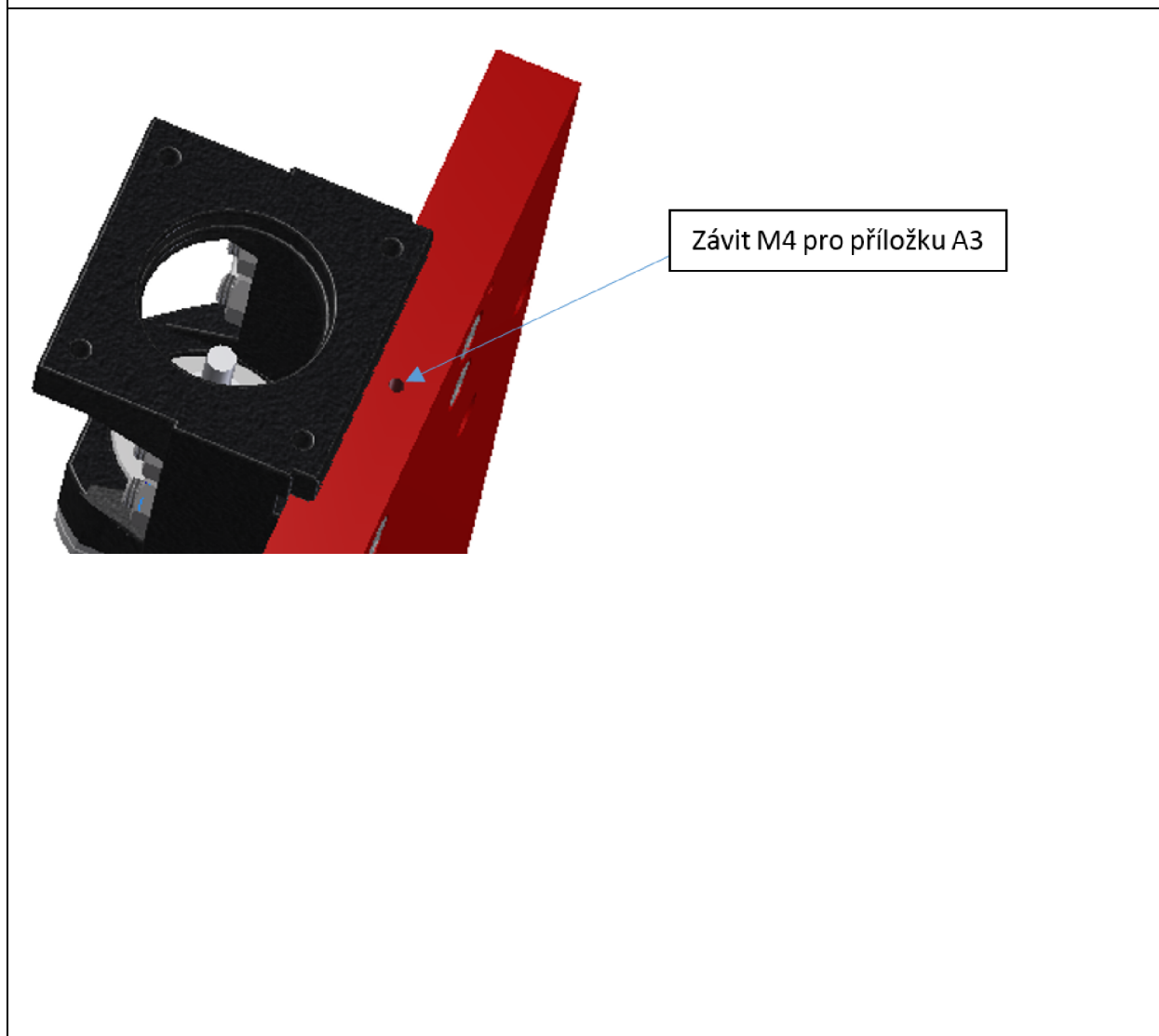
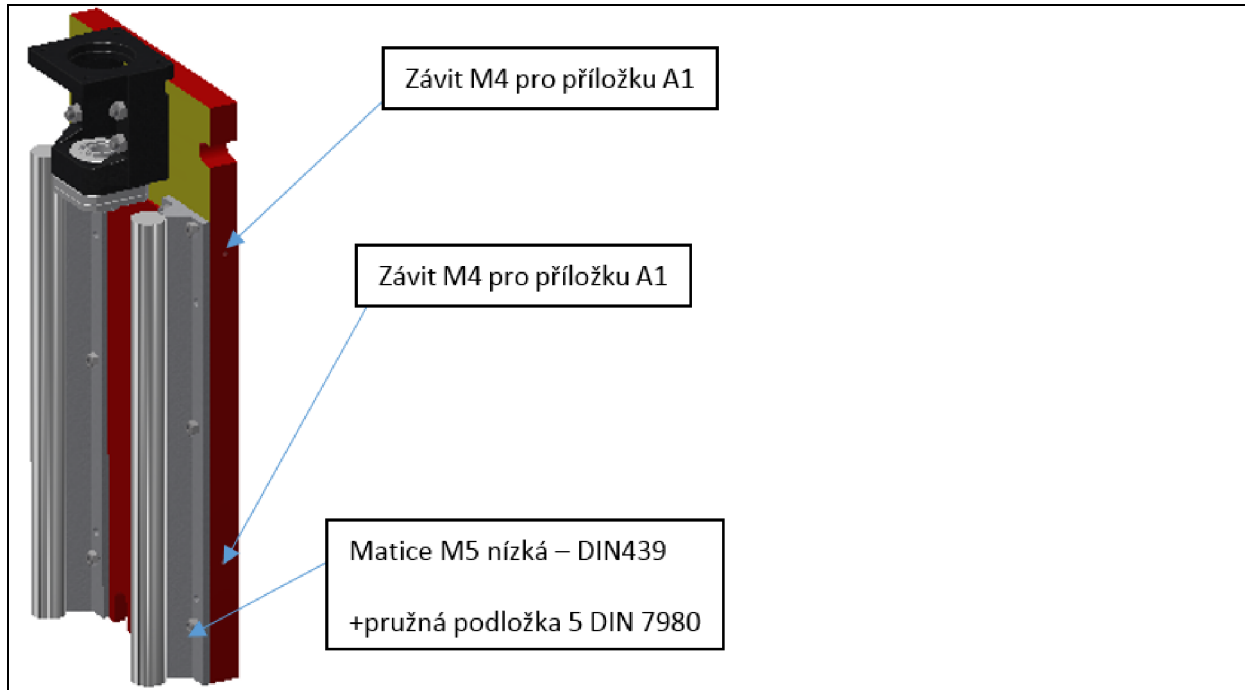
II)

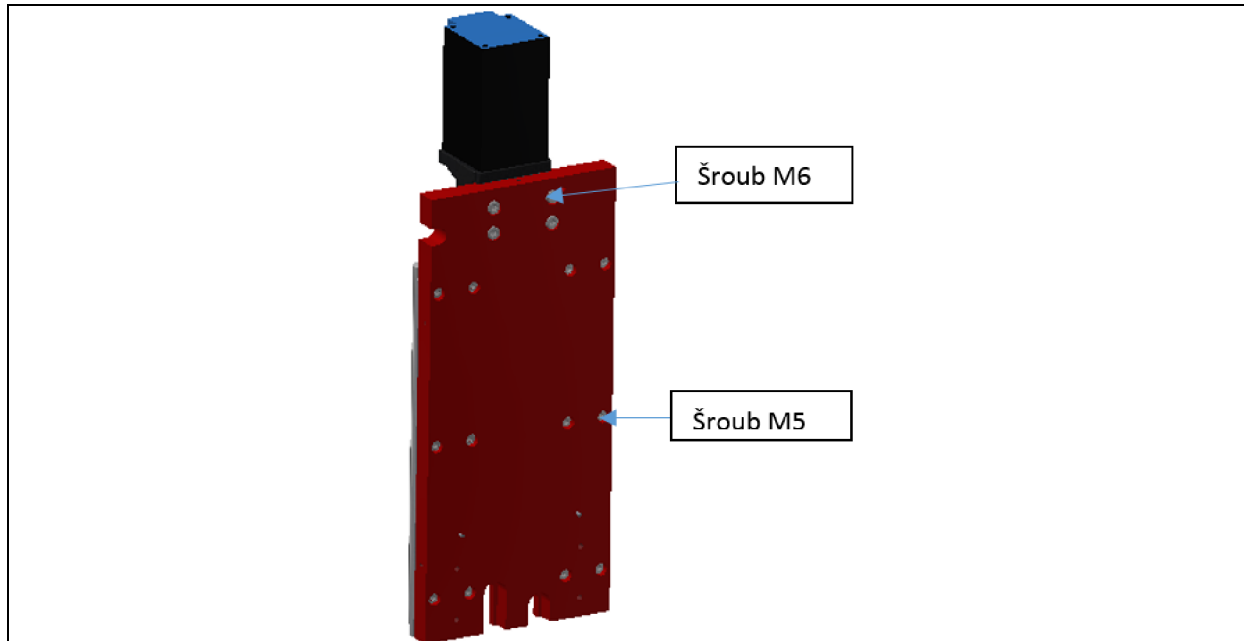
**Postup:**

- [1] Dobrušování podložky: Digitálními hodinkami změříme vzdálenost dosedací plochy vozíků od dosedací plochy podložky matice R16. Změříme tloušťku distanční podložky a dobrousíme na požadovanou hodnotu dle výkresu.
- [2] K desce přišroubujeme 4 ks vozíků SBR pomocí šroubů M6x20. Nedotahujeme.
- [3] Pod maticí R16 SSV se šroubem 1605 vložíme distanční podložku a k desce vozíku Z přišroubujeme pomocí šroubů M5x25. Nedotahujeme.
- [4] Pomocí montážních příložek, které šroubujeme do připravených závitů M4, dotlačíme vozíky na obráběné dorážecí hrany.
- [5] Dotahneme šrouby vozíků. Matici R16 necháváme zatím volně přichycenou.
- [6] Příložky sundáme.

## 2) Smykadlo







**Kupované díly:**

Matice M6 ISO 4032 – 4 ks

Šroub s vnitřním šestihranem M6x45 ISO 4762 – 4 ks

Šroub s vnitřním šestihranem M5x20 ISO 4762 – 12 ks

Podložka 5 – DIN7980 – 12 ks

Podložka 6 – DIN7980 – 4 ks

Kolík 3x8

Vedení SBR20 L280

Matice M5 DIN439 – 12 ks

**Z kooperace:**

Deska vřetena S\_01\_02\_01.01

Osa Z

**Dodělaváno:**

Příložka A3

**Nástroje:**

Imbusový klíč 4

Imbusový klíč 5

Klíč 8

Klíč 10

**Hotový celek:**

**Postup:**

[1] Dovrtávání upínacích děr do vedení SBR20: Dle výkresu S\_01\_02\_01.01 vrtáme upínací díry  $\varnothing 5,5$  mm.

[2] Umístíme poziční kolík.

[3] K desce smykadla přišroubujeme držák MBA12-C. Nedotahujeme. Nyní do závitu M4 přichytíme příložku A3 a dotlačíme osu Z k dosedací hraně desky smykadla tak, aby bylo možné s osou ještě rukou pohnout. Rukou dotlačíme

osu Z k pozičnímu kolíku 3 tak, aby se dotýkaly. Nyní dotahneme příložku A3. Dotahneme šrouby M5 držící osu Z k desce smykadla.

[4] Sundáme příložku A3.

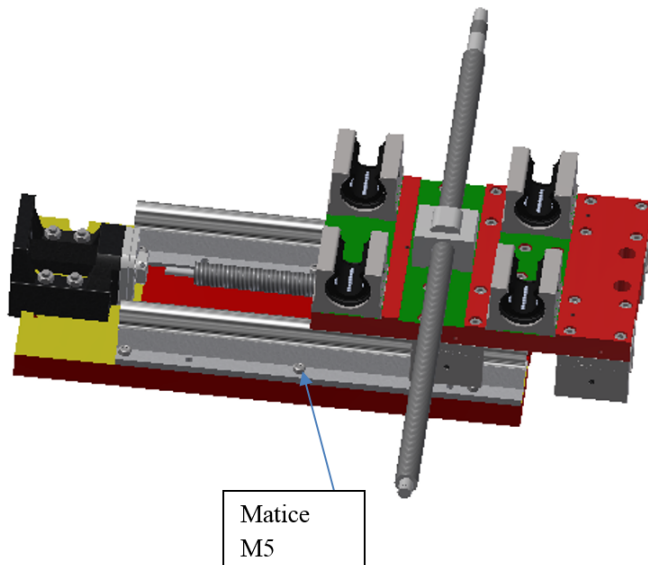
[5] K desce smykadla přišroubujeme vedení SBR20 šrouby M5, volnou i pevnou stranu. Nedotahujeme.

[6] Pomocí příložek A1 dotlačíme vedení SBR20 pevné strany k dosedací hraně desky smykadla.

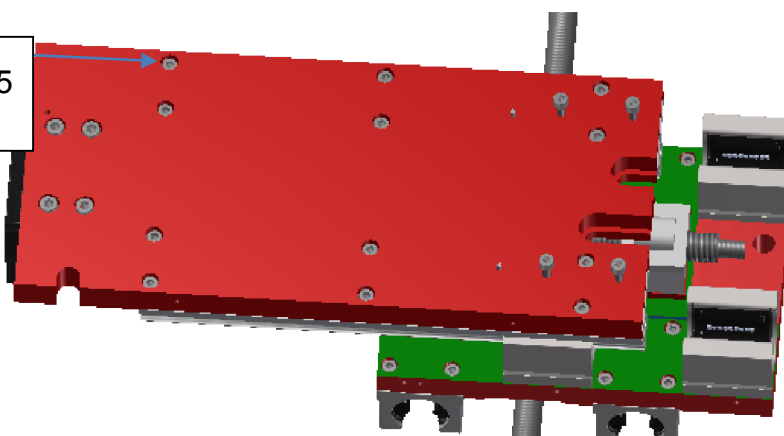
[7] Dotahneme šrouby M5 držící vedení SBR20 pevné strany.

[8] Sundáme příložky A1.

### 3) Dotážení vedení smykadla



Šrouby M5  
vedení



**Kupované díly:**

**Z kooperace:**

Smykadlo

Křížový vozík

**Dodělaváno:**

**Nástroje:**

Imbusový klíč 4

Klíč 8

**Hotový celek:**

1), 2)

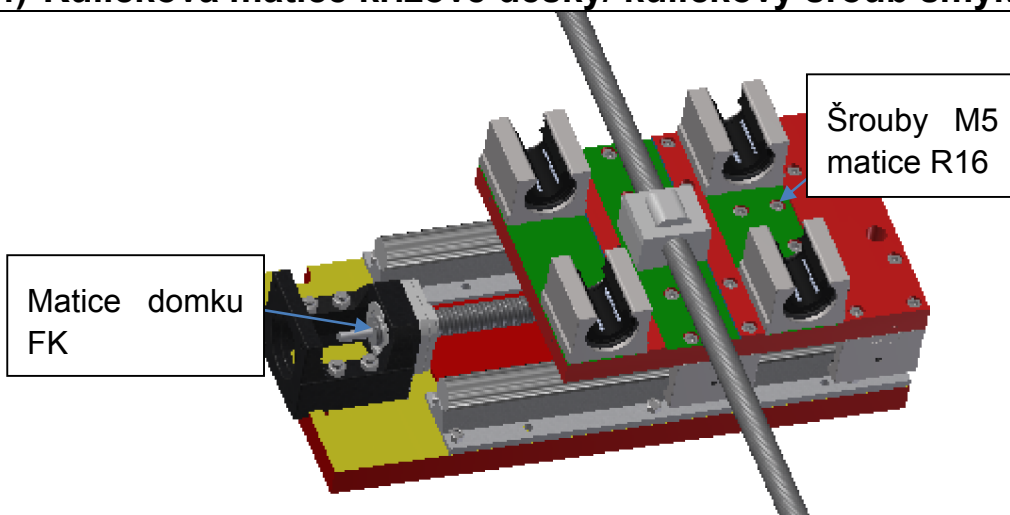
**Postup:**

Na vedení smykadla nasadíme křížový vozík.

Přejíždíme vozíkem po smykadle a dotahujeme volnou stranu vedení smykadla.

Celou dobu dáváme pozor na kuličkové šrouby.

#### 4) Kuličková matice křížové desky/ kuličkový šroub smykadla



**Kupované díly:**

**Z kooperace:**

**Dodělaváno:**

**Nástroje:**

Imbusový klíč 4

Klíč 19

**Hotový celek:**

3)

**Postup:**

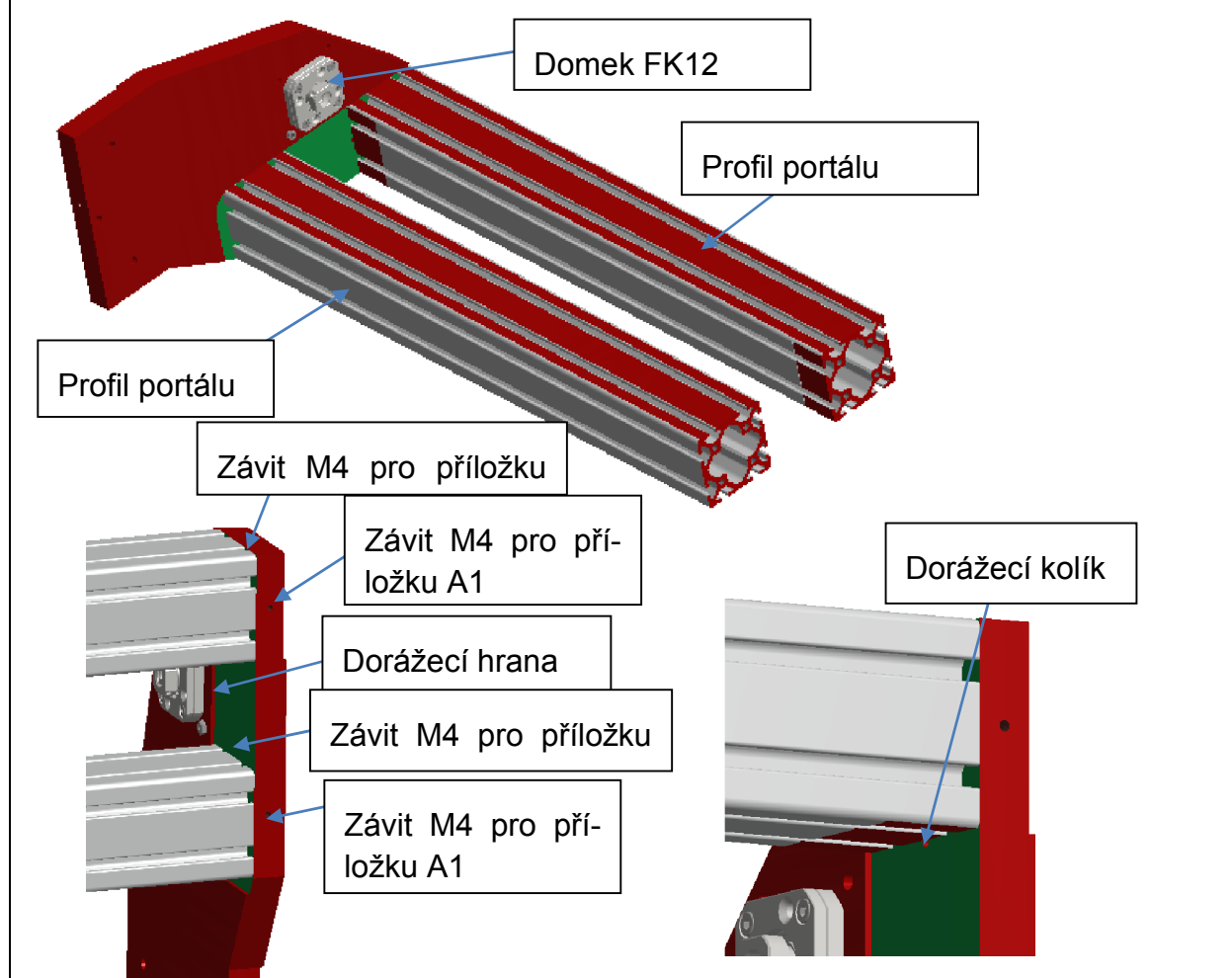
[1] Do ložiskové domku FK12 vložíme kuličkový šroub 1605.

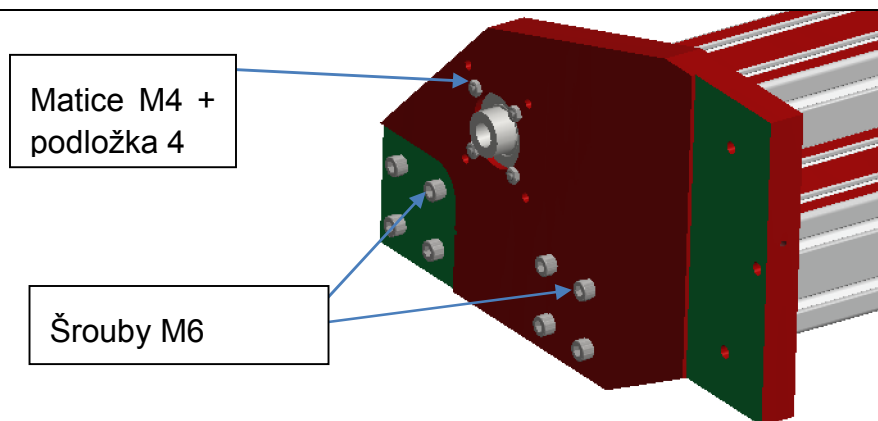
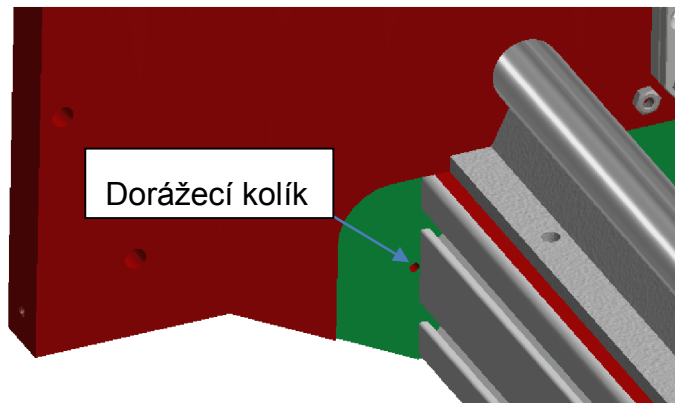
[2] Kuličkový šroub dotahneme v domku dotažením matice klíčem 19.

[3] Přejíždíme křížovým vozíkem po smykadle a dotahujeme postupně šrouby matice R16.



### 5) Portál





**Kupované díly:**

Domek FK12

Matice M4 ISO 4032 – 4 ks

Šroub s vnitřním šestihranem M6x35 ISO 4762 – 8 ks

Šroub s vnitřním šestihranem M4x30 ISO 4762 – 4 ks

Podložka 4 – DIN7980 – 4 ks

Podložka 6 – DIN7980 – 8 ks

Kolík 3x8

**Z kooperace:**

Bočnice pravá S\_01\_01.01

**Dodělaváno:**

2xProfil portálu L494 S\_01\_01.07

Příložka A1 – 3 ks

**Nástroje:**

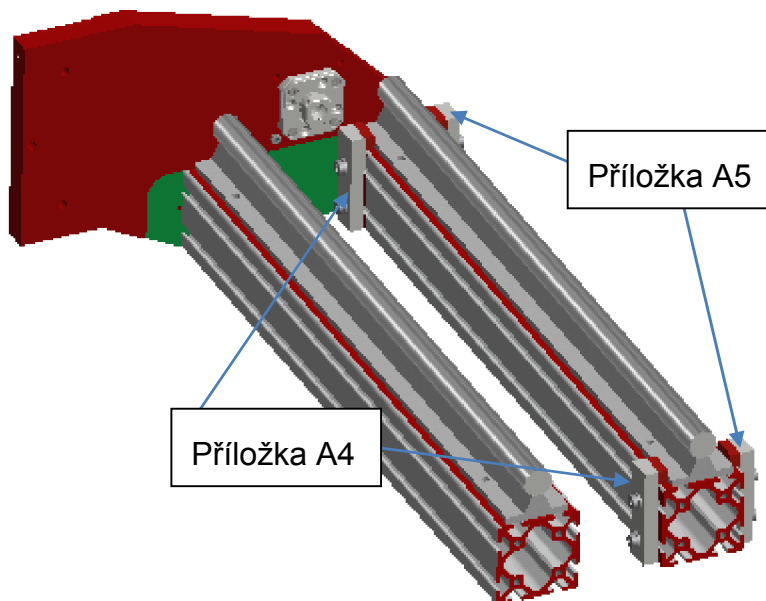
Imbusový klíč 5  
Imbusový klíč 3  
Klíč 7

**Hotový celek:**

**Postup:**

- [1] K pravé bočnici portálu přišroubuje šrouby M6 horní i spodní profil. Nedotahujeme.
- [2] Pomocí příložek A1 dotlačíme oba profily na dorážecí hranu.
- [3] Pomocí příložky A1 dotlačíme horní profil na poziční kolík.
- [4] Pomocí příložky A2 dotlačíme spodní profil na poziční kolík.
- [5] Dotahneme šrouby profilů M6.
- [6] Šrouby M4 s maticemi volně uchytneme domek FK12 dle obrázku.

**6) Vedení osy X**



**Kupované díly:**

Vedení SBR20 L490 – 2 ks  
T matice M5 Haberkorn 16 ks.  
Šroub s vnitřním šestihranem M5x12 DIN 6912 – 16 ks  
Podložka 5 DIN 127

**Z kooperace:**

**Dodělaváno:**

Příložka A4 – 2 ks  
Příložka A5 – 2 ks

**Nástroje:**

Imbusový klíč 4

### Imbusový klíč 3

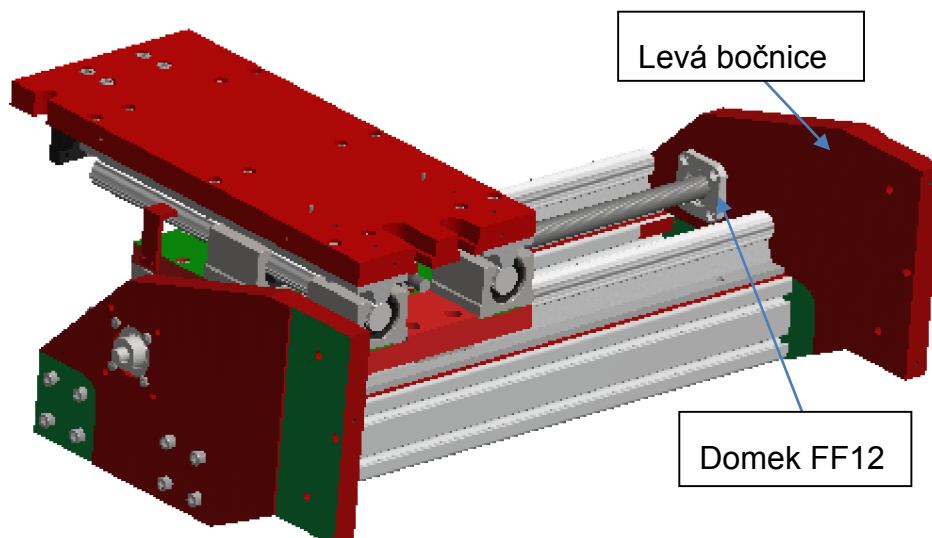
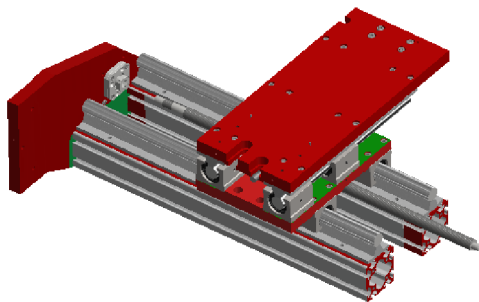
#### Hotový celek:

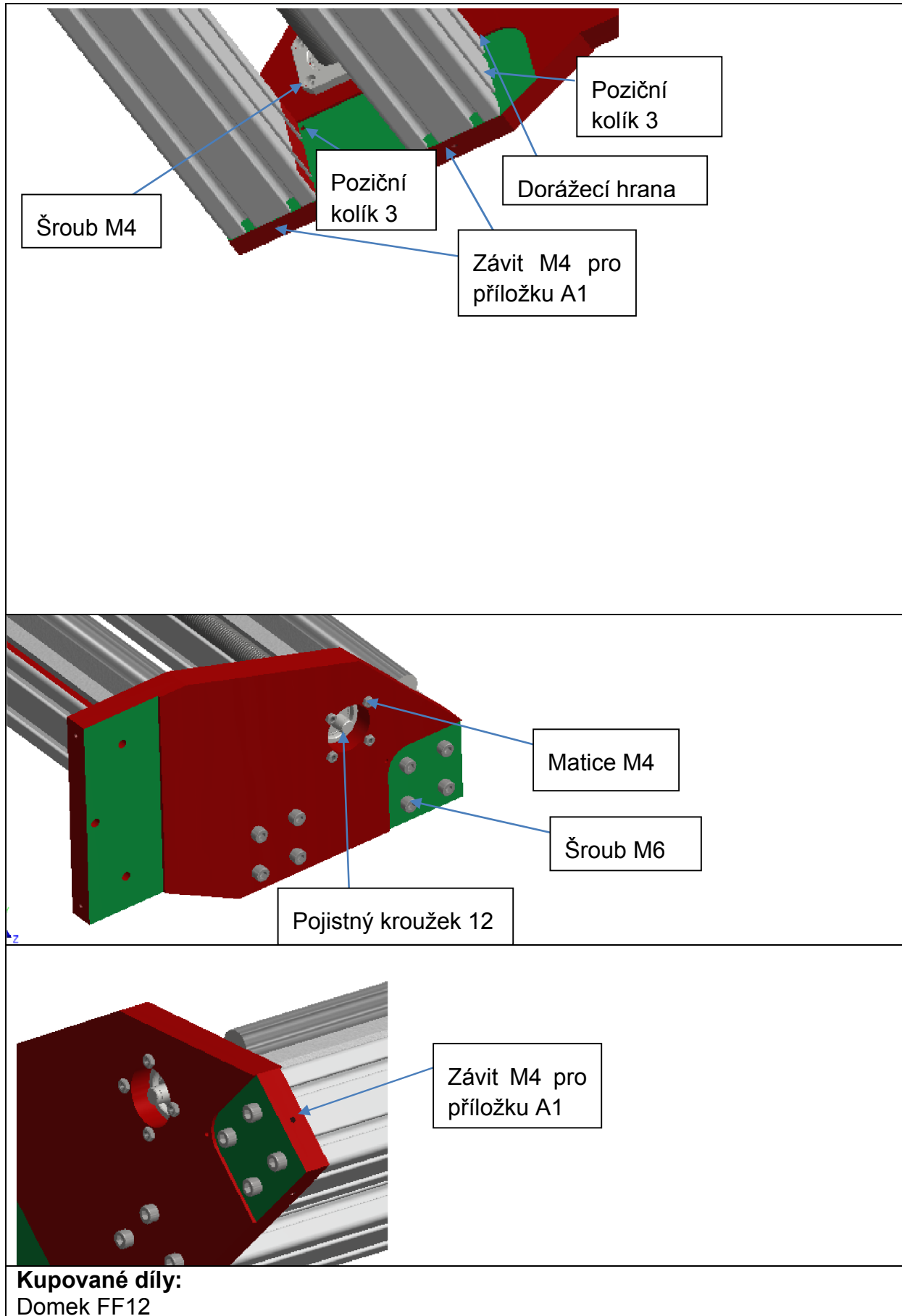
5)

#### Postup:

- [1] Do drážek profilů si připravíme T matice M5 v pozicích, kde se nachází upínací díry vedení.
- [2] Přišroubujeme vedení k profilům šrouby M5x12, zatím jen volně.
- [3] Do boční drážky na opracované plochy přišroubujeme příložku A4.
- [4] Pomocí příložek A5, které šroubujeme do horní boční drážky horního profilu dotlačíme vedení na příložky A4.
- [5] Dotahneme šrouby horního vedení.
- [6] Sundáme příložky.

### 7) Levá bočnice portálu





Kolík 3x8 – 2 ks

Šroub s vnitřním šestihranem M4x30 ISO 4762 – 8 ks

Matice M4 ISO 4032 – 4 ks

Pojistný kroužek 12

**Z kooperace:**

Bočnice levá S\_01\_01.02

**Dodělaváno:**

Příložka A1 – 3 ks

Příložka A2 – 1 ks

**Nástroje:**

Kleště pro pojistný kroužek 12

Klíč 7

Imbus klíč 5

Imbus klíč 3

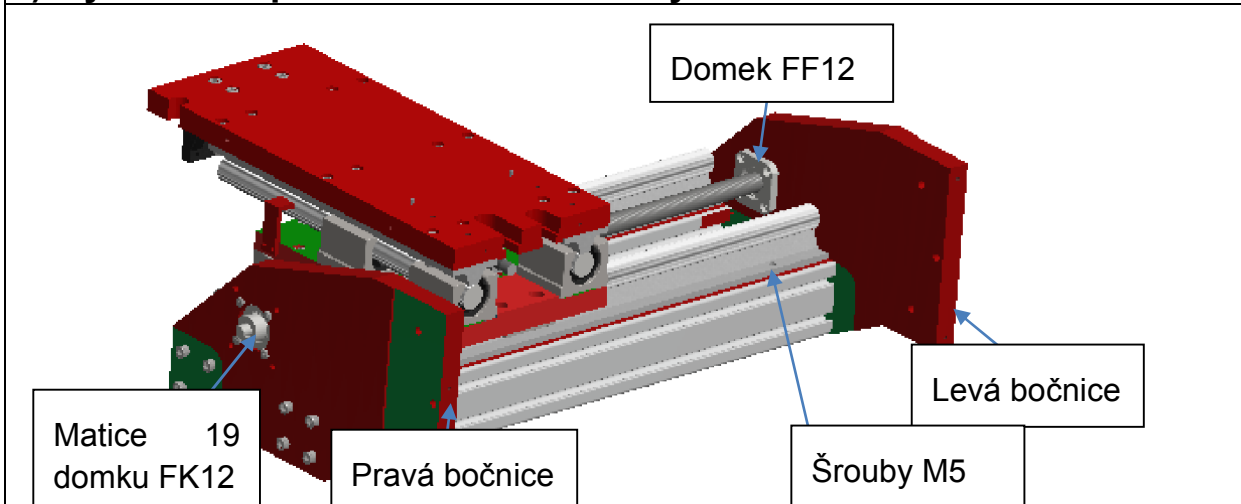
**Hotový celek:**

6), 4)

**Postup:**

- [1] Nasadíme křížovou desku na vedení na portálu.
- [2] K levé bočnici portálu přišroubujeme šrouby M4x30 domek FF12. Nedotahujeme.
- [3] Do levé bočnice umístíme poziční kolíky 3.
- [4] Do horní drážky spodního profilu vložíme 3 ks T matice M5 – pro budoucí uchycení snímačů.
- [5] Nasadíme levou bočnici portálu tak, aby byl volný konec kuličkového šroubu osy X v domku FF12 a přichytíme šrouby M6 k profilům portálu. Nedotahujeme.
- [6] Příložkami A1 dotlačíme profily portálu na dorážecí hranu bočnice.
- [7] Příložkou A1 dotlačíme horní profil portálu na poziční kolík 3.
- [8] Příložkou A2 dotlačíme spodní profil portálu na poziční kolík 3.
- [9] Dotahneme šrouby M6 spojující levou bočnici s profily portálu.

**8) Vyrovnání spodního vedení X/ uchycení kuličkového šroubu**



**Kupované díly:**

**Z kooperace:**

**Dodělaváno:**

**Nástroje:**

Kleště pro pojistný kroužek 12

Klíč 7

Klíč 19

Imbus klíč 4

Imbus klíč 3

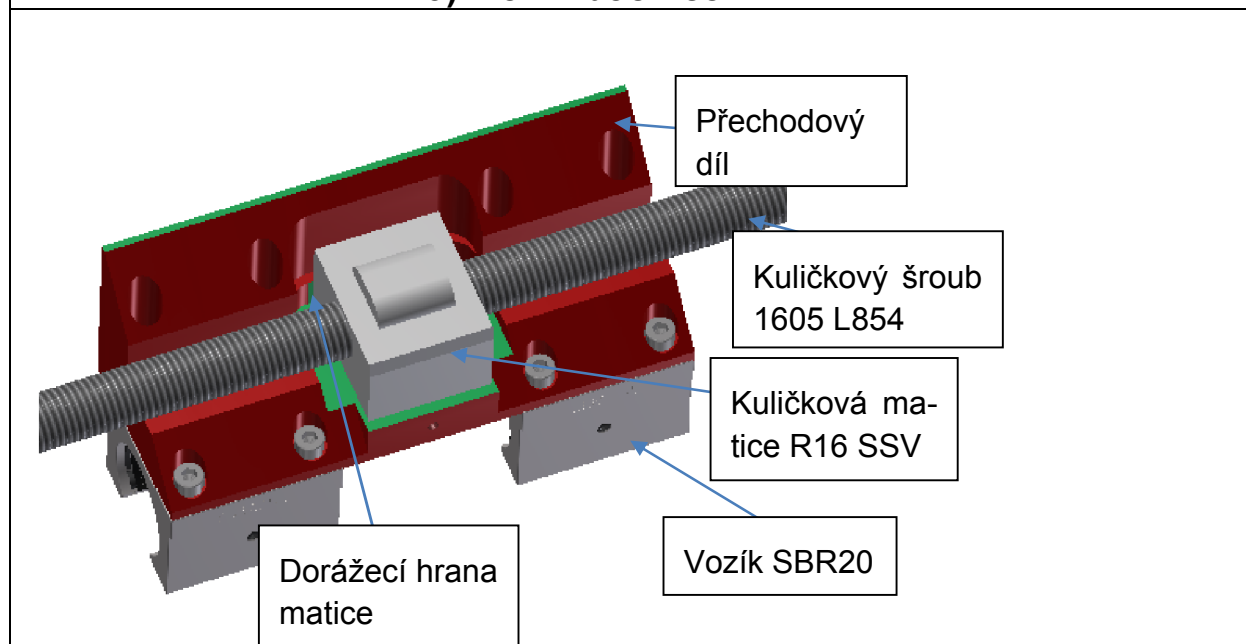
**Hotový celek:**

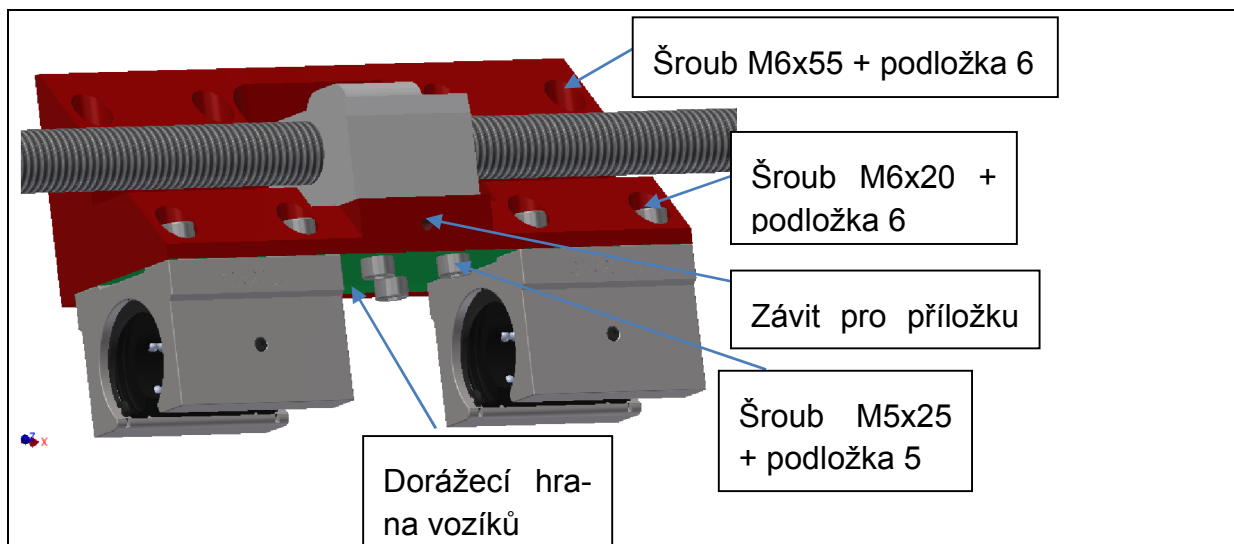
6), 4)

**Postup:**

- [1] Přejíždíme křížovou deskou po vedení osy X a postupně dotahujeme šrouby M5 spodního vedení.
- [2] Přejedeme křížovou deskou co nejbliže domku FK12 a dotahneme matici 19.
- [3] Přejedeme smykadlem co nejbliže k levé bočnici a dotahneme šrouby M4 držící domek FF12.
- [4] Přejedeme křížovou deskou co nejbliže domku FK12 a dotahneme šrouby M4 držící tento domek.
- [5] Nasadíme pojistný kroužek 12 na kuličkový šroub.

**9) Vozík bočnice**





#### Kupované díly:

Vozík SBR20 – 4 ks

Kuličkový šroub 1605 L854, kuličková matice R16 SSV – 2 ks

Šroub s vnitřním šestihranem M5x25 ISO 4762 – 8 ks

Podložka 5 DIN7980 – 8 ks

Šroub s vnitřním šestihranem M6x20 ISO 4762 – 4 ks

Šroub s vnitřním šestihranem M6x55 ISO 4762 – 4 ks

Podložka 6 DIN7980 – 16 ks

#### Z kooperace:

Přechodový díl – 2 ks

#### Dodělaváno:

Příložka A6 – 1 ks

#### Nástroje:

Imbus klíč 4

Imbus klíč 3

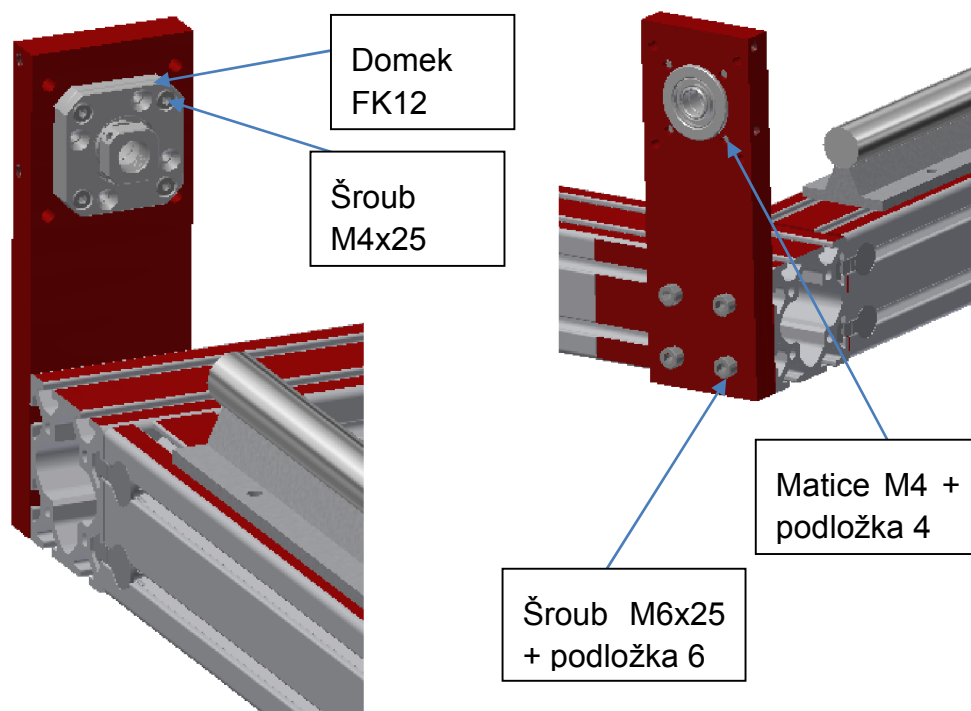
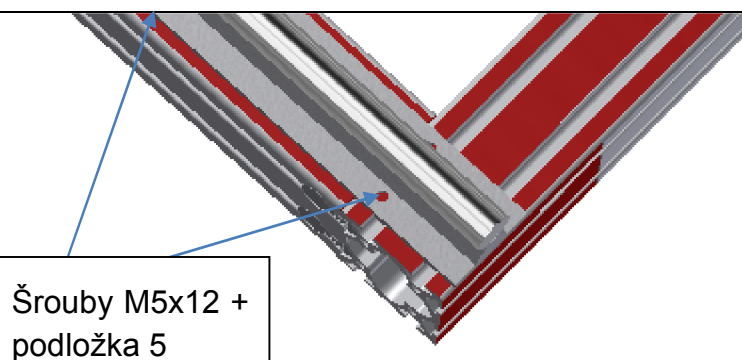
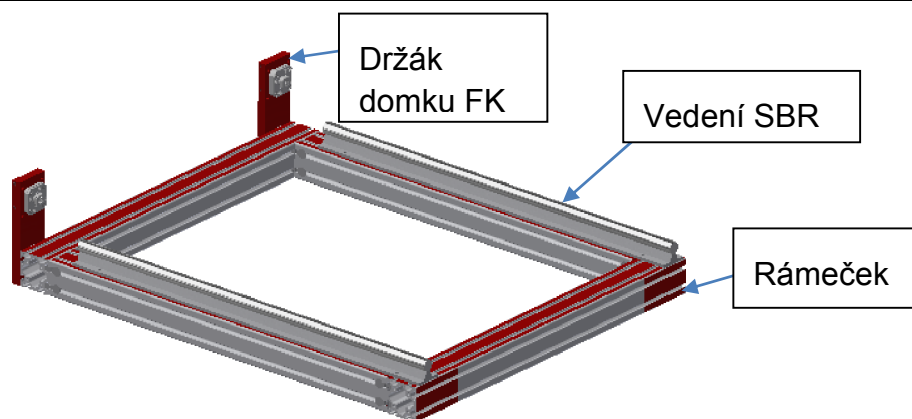
#### Hotový celek:

#### Postup:

- [1] K přechodovému dílu přišroubujeme matici R16. Nedotahujeme.
- [2] Příložkou A6 dotlačíme matici R16 na dorážecí hranu matice.
- [3] Dotáhneme šrouby M5 matice R16.
- [4] K přechodovému dílu přišroubujeme vozíky SBR. Nedotahujeme.
- [5] Příložkou A6 dotlačíme vozíky na dorážecí hranu vozíků.
- [6] Dotáhneme šrouby M6 vozíků.
- [7] Stejným postupem montujeme i druhý vozík bočnice.



### 10) Příprava rámečku



**Kupované díly:**

Vedení SBR20 L798 – 2 ks

Domek FK12 – 2 ks

Šroub M4x25 ISO4762– 8 ks

Šroub M6x25 ISO4762– 8 ks  
Podložka 6 DIN7980 – 8 ks  
Podložka 4 DIN7980 – 8 ks  
Šroub M5x12 DIN6919 – 24 ks  
Podložka 5 DIN7980 – 24 ks

**Z kooperace:**

2xDržák domku FK S\_01\_00.01

**Dodělaváno:**

Rámeček S\_01\_03

**Nástroje:**

Imbus klíč 5

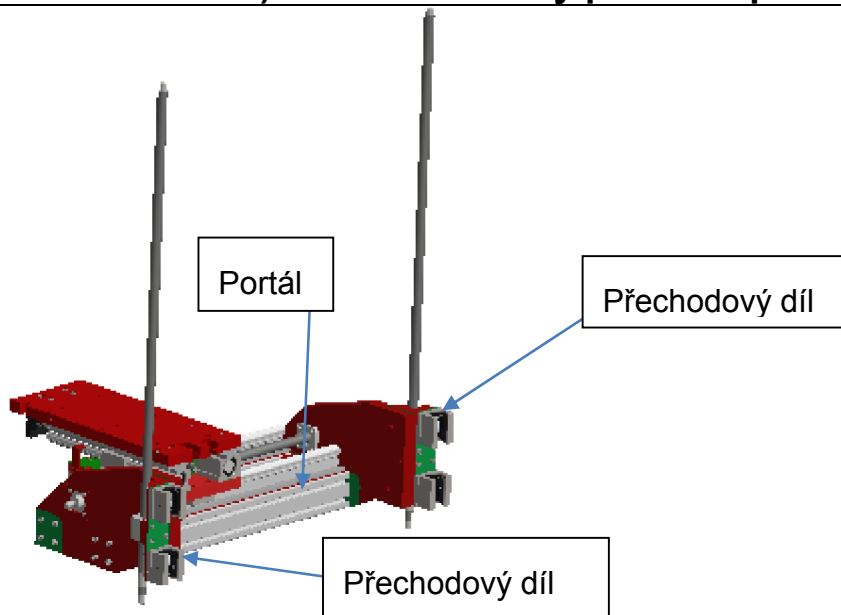
Imbus klíč 3

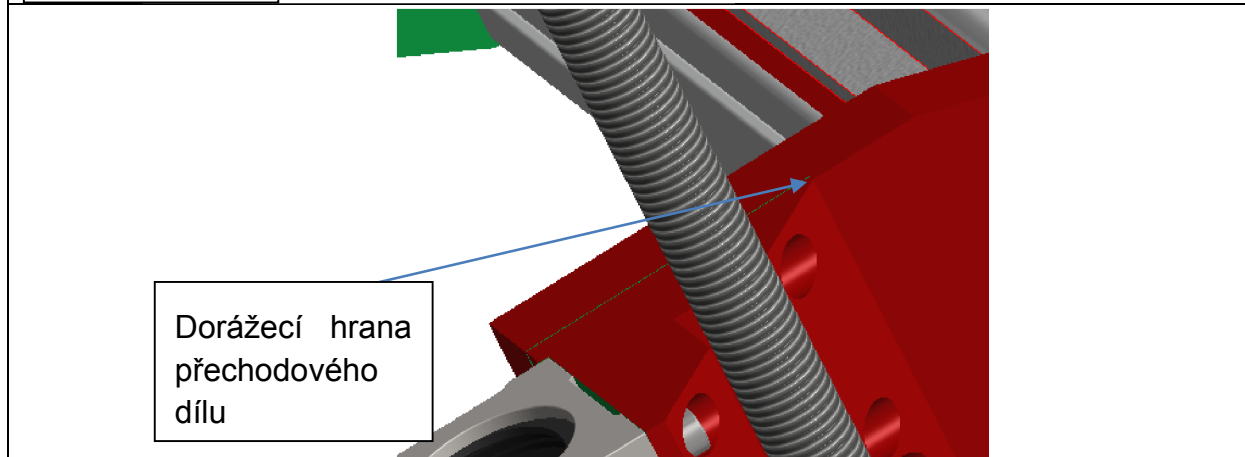
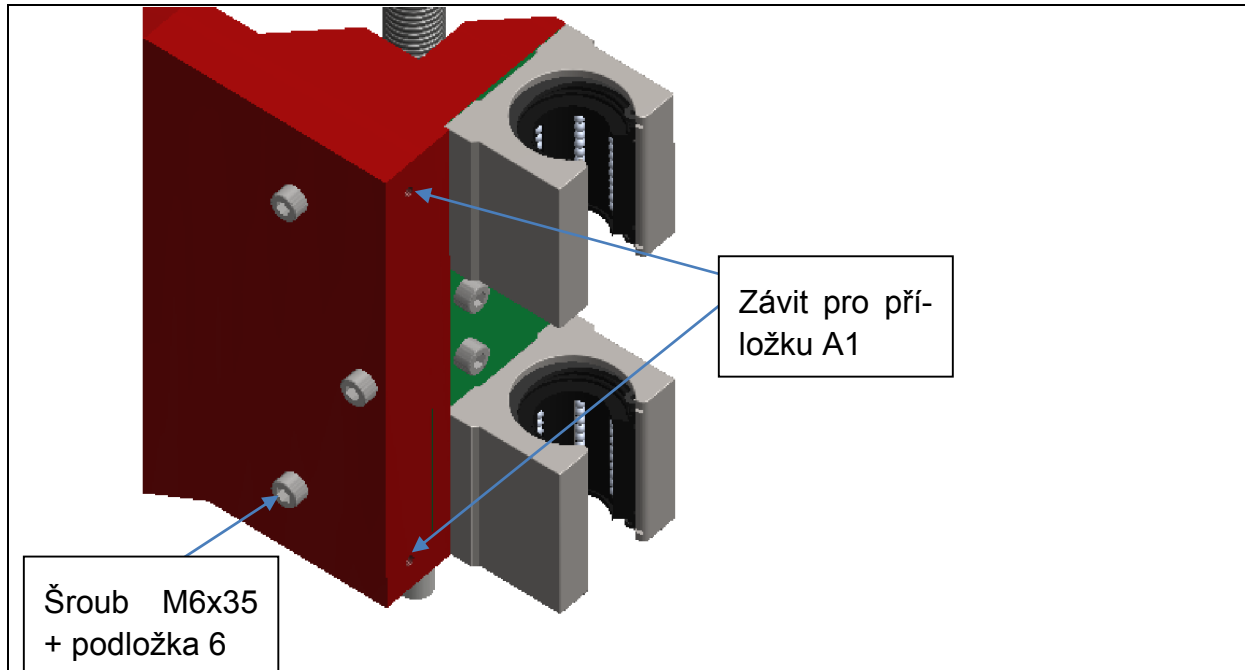
**Hotový celek:**

**Postup:**

- [1] Na připravený rámeček umístíme podepřené tyče SBR vedení. V drážkách rámečku jsou již připravené T matice pro uchycení vedení. Do nich vedení našroubujeme do pozice přibližně jako na obrázku. Dotahneme šrouby pouze u vedení na jedné straně, druhé necháme nedotažené.
- [2] Na konce rámečku na opracovanou plochu umístíme držáky motoru. Přichytíme šrouby M6x25 do T matic v T drážce profilu. Nedotahujeme.
- [3] K držáku motoru přišroubujeme pomocí šroubů M4x25 a matic domky FK12. Dotahneme.

11) Přechodový prvek na portál





**Kupované díly:**

Šroub M6x35 ISO4762 – 6 ks

Podložka 6 DIN7980 – 6 ks

**Z kooperace:**

**Dodělaváno:**

Příložka A1 – 2 ks

**Nástroje:**

Imbus klíč 5

Imbus klíč 3

**Hotový celek:**

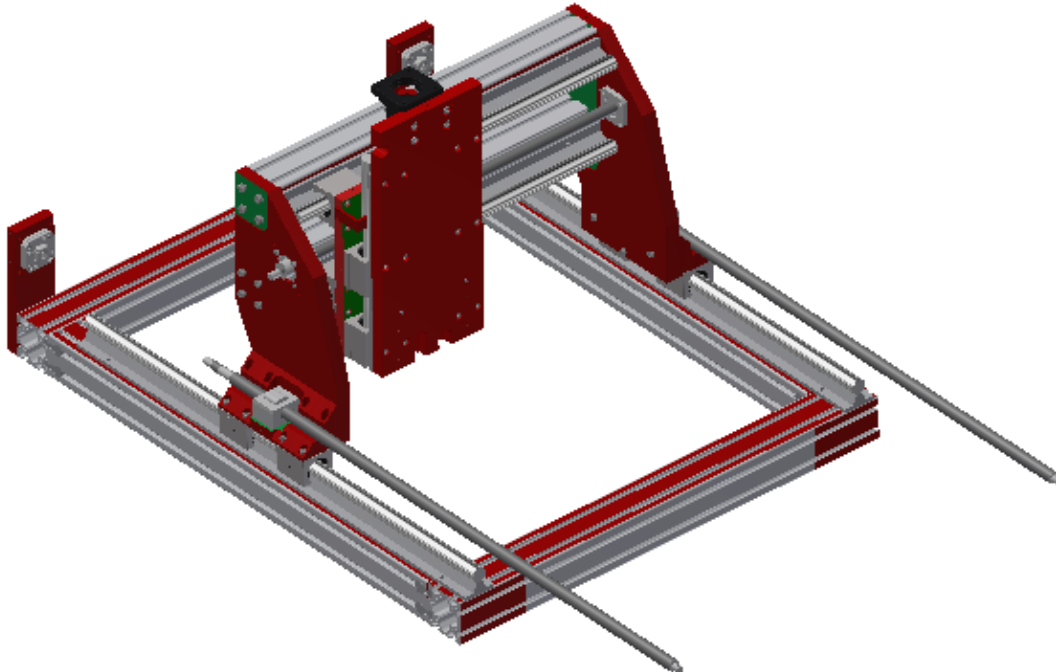
9), 8)

**Postup:**

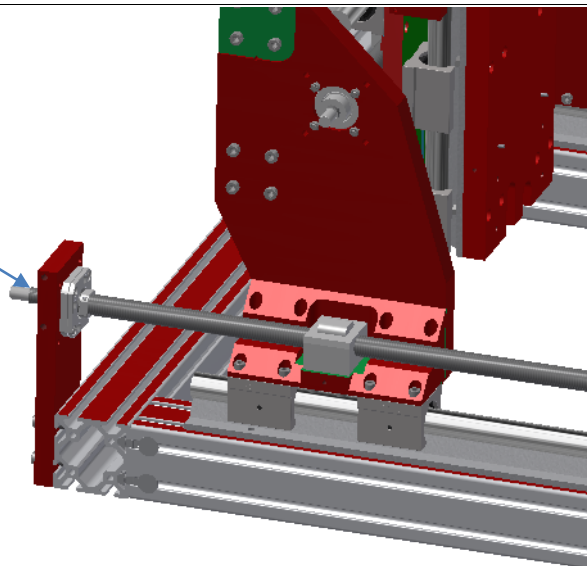
[1] Přechodový díl přišroubujeme šrouby M5x30 k bočnici portálu. Na obou stranách stejně. Nedotahujeme.

- [2] Příložkou A1 dotlačíme přechodový díl na dorážecí hranu přechodového dílu.  
[3] Dotahneme šrouby M5.

## 12) Nasazení portálu/ vyrovnání vedení Y



Matice dom-  
ku FK12



**Kupované díly:**

**Z kooperace:**

**Dodělaváno:**

**Nástroje:**

Imbus klíč 4

Klíč 19

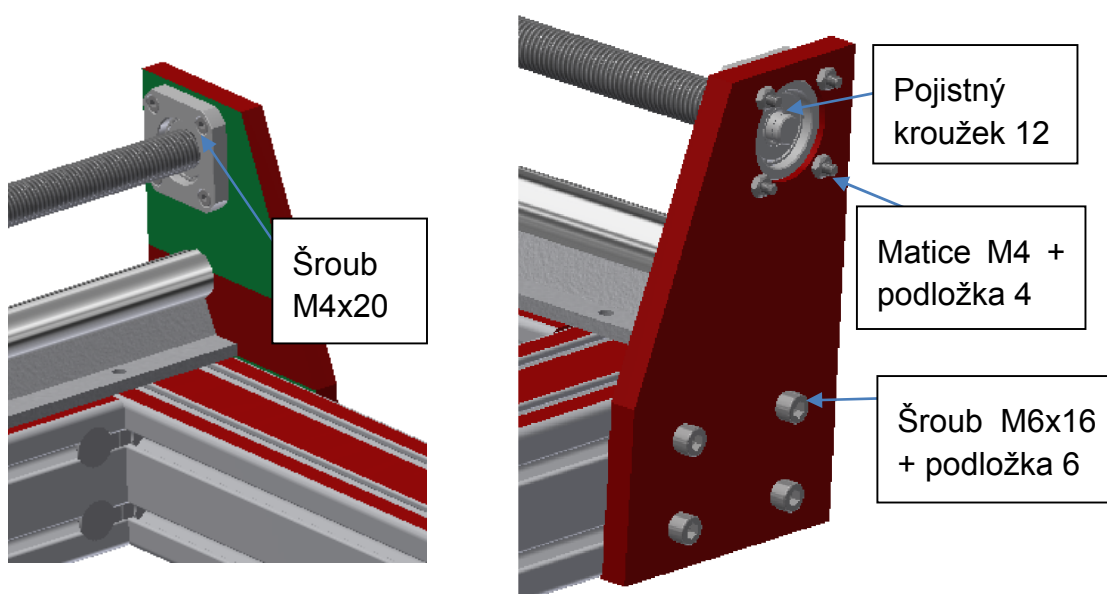
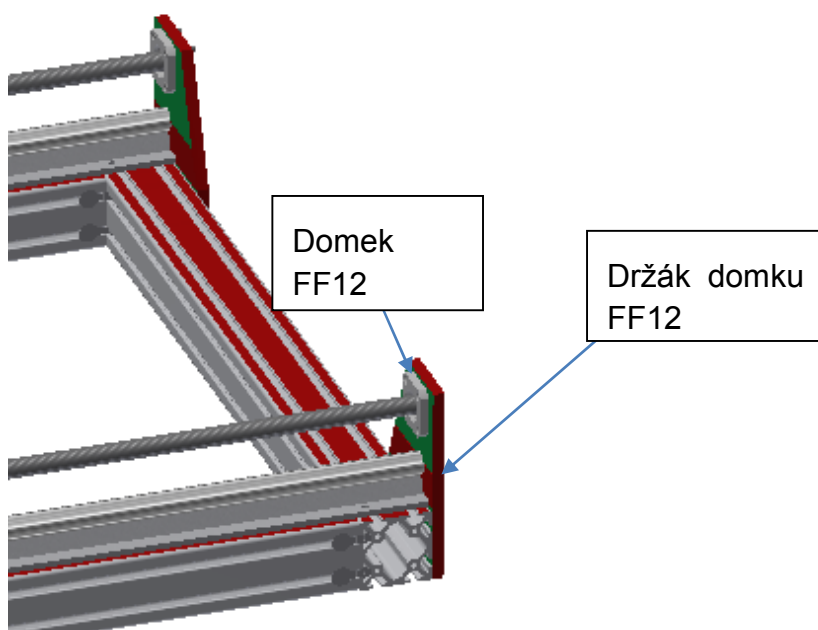
**Hotový celek:**

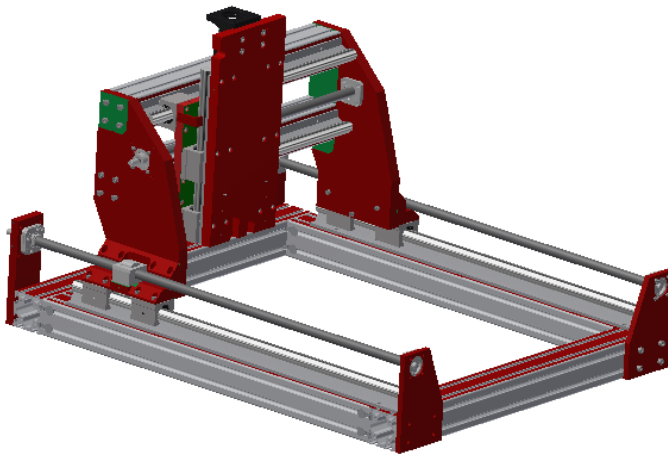
11), 10)

**Postup:**

- [1] Na připravený rámeček s vedením nasadíme portál.
- [2] Přejíždíme portálem po vedení a postupně dotahujeme šrouby nedotaženého vedení.
- [3] Konec kuličkového šroubu se závitem vložíme do domku FK12 dle obrázku.
- [4] Portálem dojedeme co nejbližší domku FK12 a dotahneme matici domku FK klíčem 19.

**13) Uchycení/ vyrovnání kuličkového šroubu Y.**





**Kupované díly:**

Domek FF12 – 2 ks  
Pojistný kroužek 12 – 2 ks  
Šroub M4x20 ISO4762 – 8 ks  
Matice M4 ISO4032 – 8 ks  
Šroub M6x16 ISO4762 – 8 ks  
Podložka 6 DIN7980 – 8 ks  
Podložka 4 DIN7980 – 8 ks

**Z kooperace:**

Držák domku FF12 levý S\_01\_00.02  
Držák domku FF12 pravý S\_01\_00.03

**Dodělaváno:**

**Nástroje:**

Imbus klíč 4  
Imbus klíč 3  
Kleště na pojistný kroužek 12

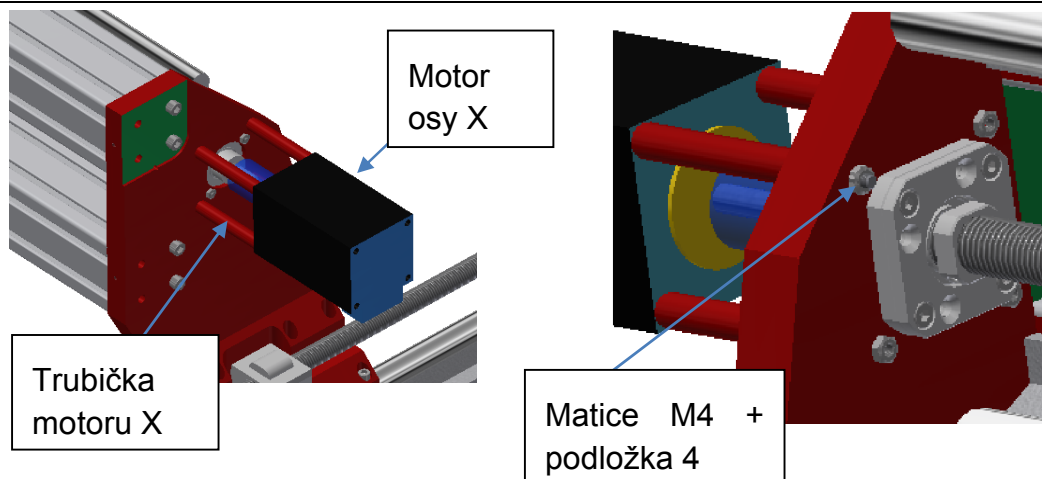
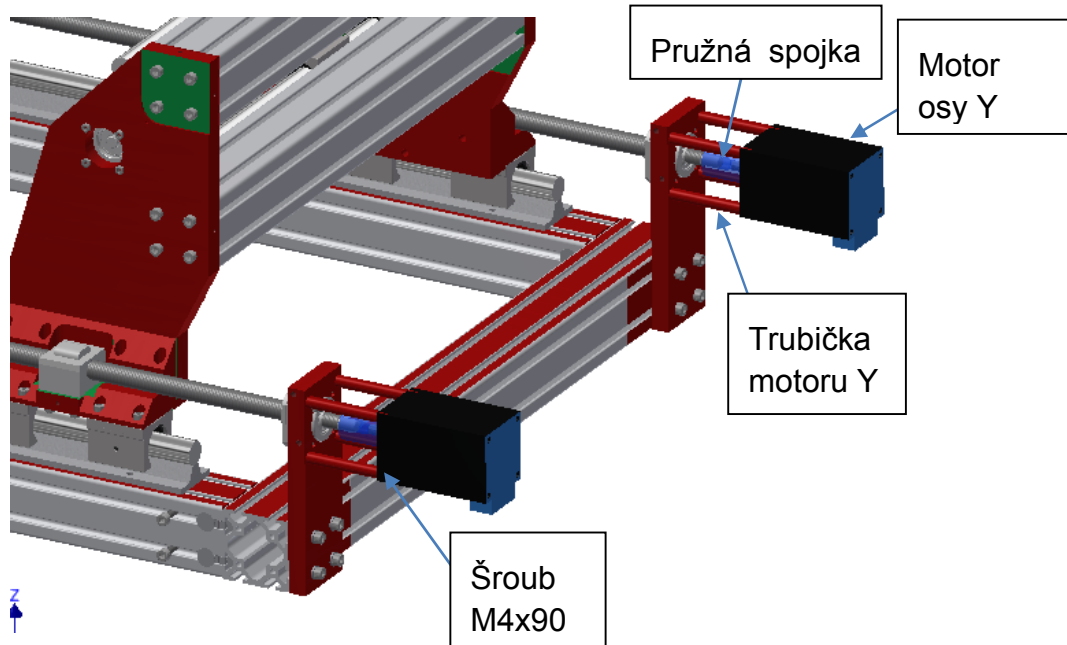
**Hotový celek:**

12)

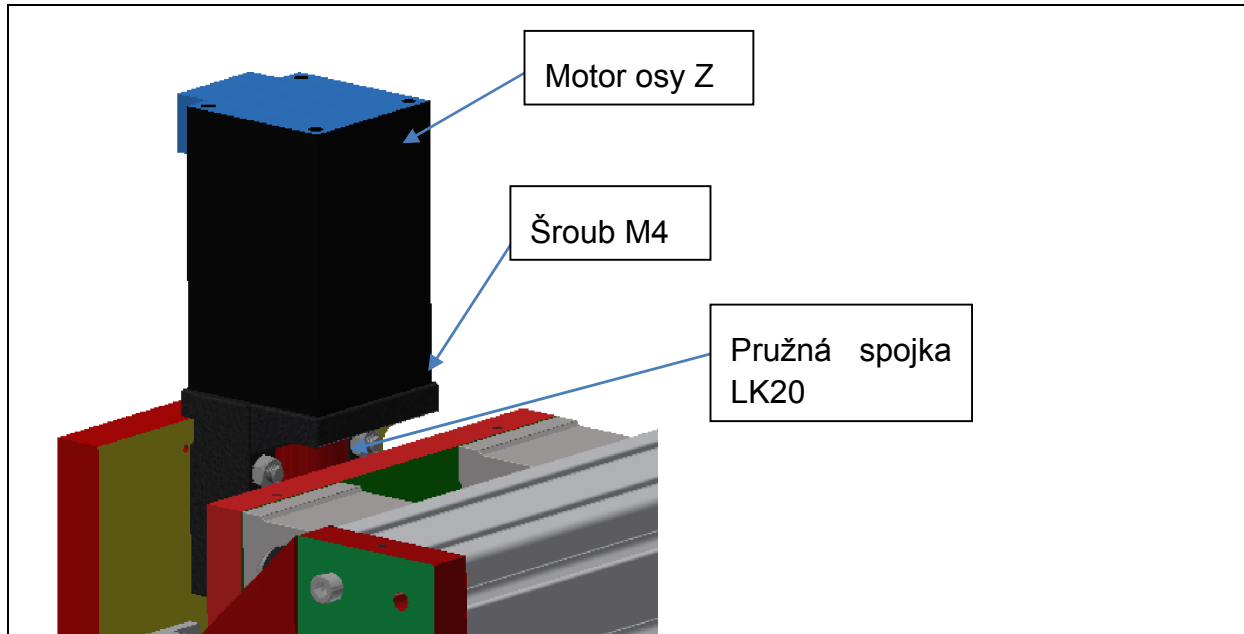
**Postup:**

- [1] K držáku FF12 přišroubujeme domek FF12 pomocí šroubů a matic M4 dle obrázku.
- [2] Držák nasadíme na kuličkový šroub a přichytíme k profilu rámečku šrouby M6x16 do připravených T matic v drážce profilu. Nedotahujeme.
- [3] Přijedeme portálem co nejbližší k držáku motoru a dotahneme šrouby M6 spojující tento držák s rámečkem.
- [4] Přijedeme portálem k držáku FF12 a dotahneme šrouby M6 spojující tento držák s rámečkem.

### 14) Montáž motorů







**Kupované díly:**

Pružná spojka LK20 – 4 ks  
Servomotor ES-M32320 – 4 ks  
Šroub M4x90 DIN912 – 12 ks  
Podložka 4 DIN7980 – 12 ks

**Z kooperace:**

4xTrubička motoru X – S\_01\_01.05  
8xTrubička motoru Y – S\_01\_00.07

**Dodělaváno:**

**Nástroje:**

Imbus klíč 4  
Imbus klíč 3  
Kleště na pojistný kroužek 12

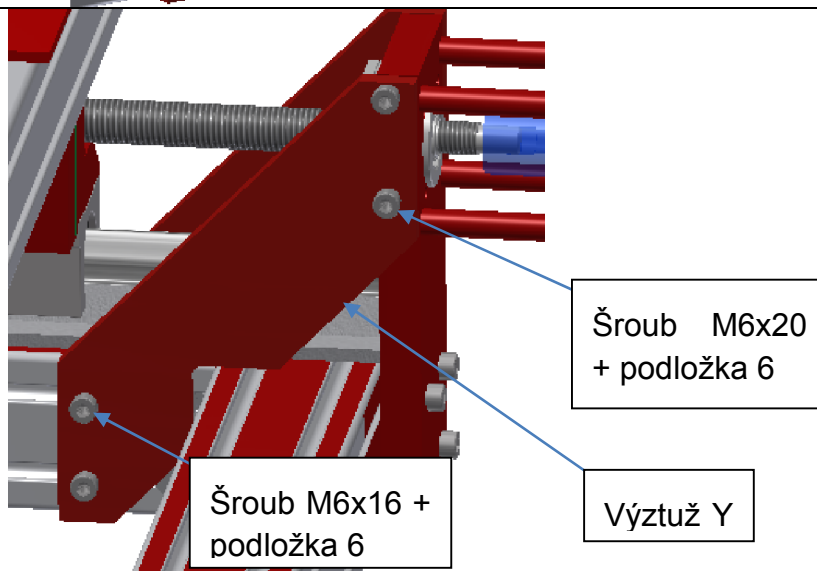
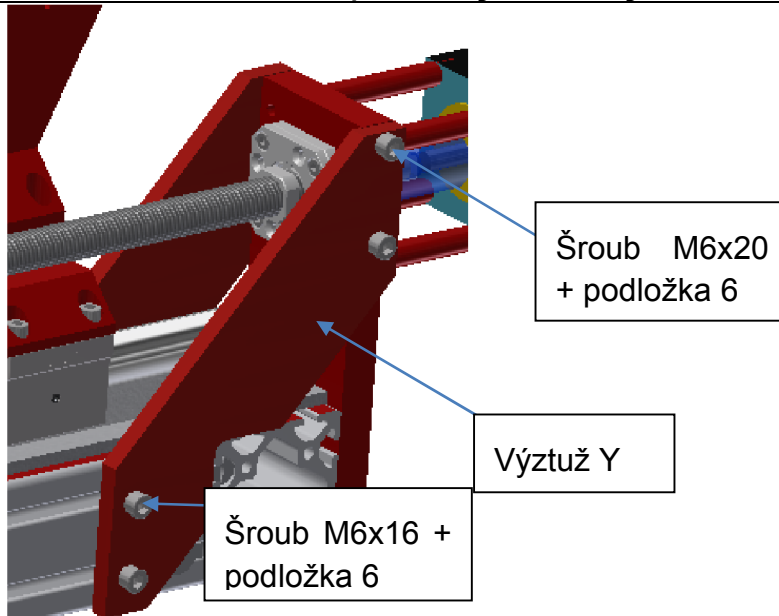
**Hotový celek:**

13)

**Postup:**

- [1] Na kuličkové šrouby nasadíme pružné spojky a dotahneme je.
- [2] Nasadíme motor dle obrázků a dotahneme.
- [3] Dotahneme spojení motoru s pružnou spojkou.

### 15) Výztuž osy Y



**Kupované díly:**

Šroub M6x16 ISO4762 – 8 ks

Šroub M6x20 ISO4762 – 8 ks

Podložka 6 DIN7980 – 16 ks

**Z kooperace:**

4xVýztuž Y – S01\_00.04

**Dodělaváno:**

**Nástroje:**

Imbus klíč 5

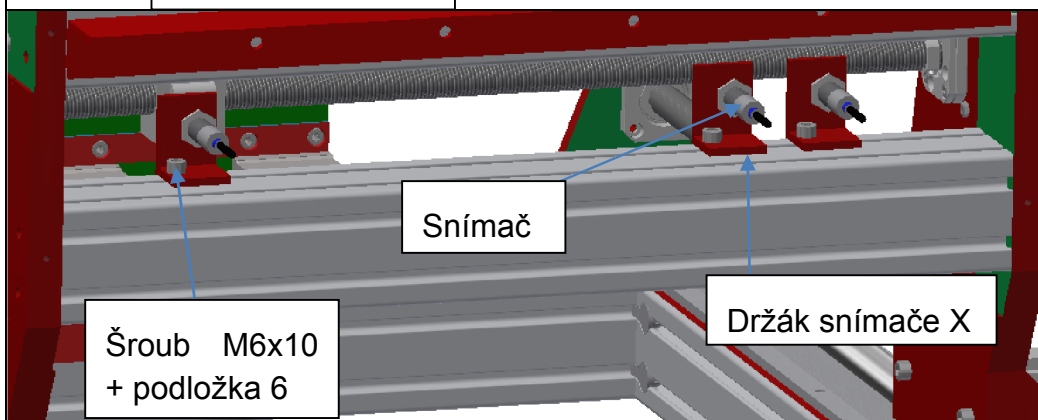
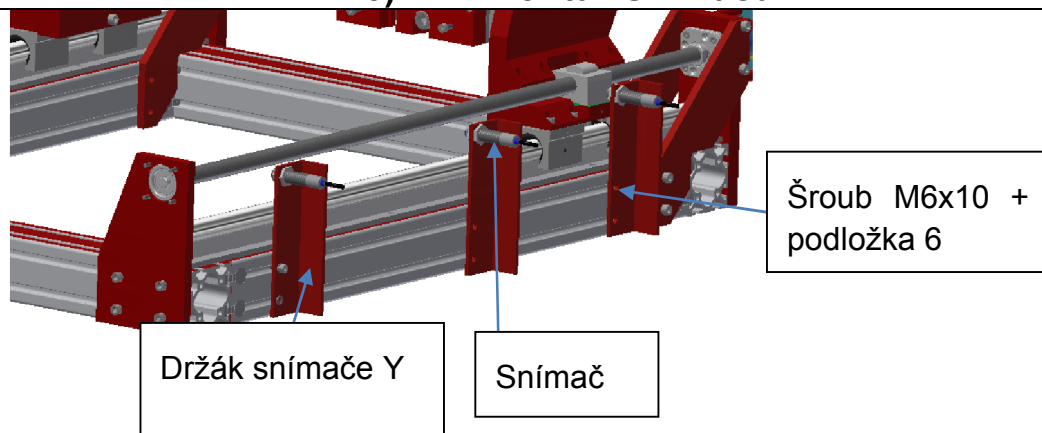
**Hotový celek:**

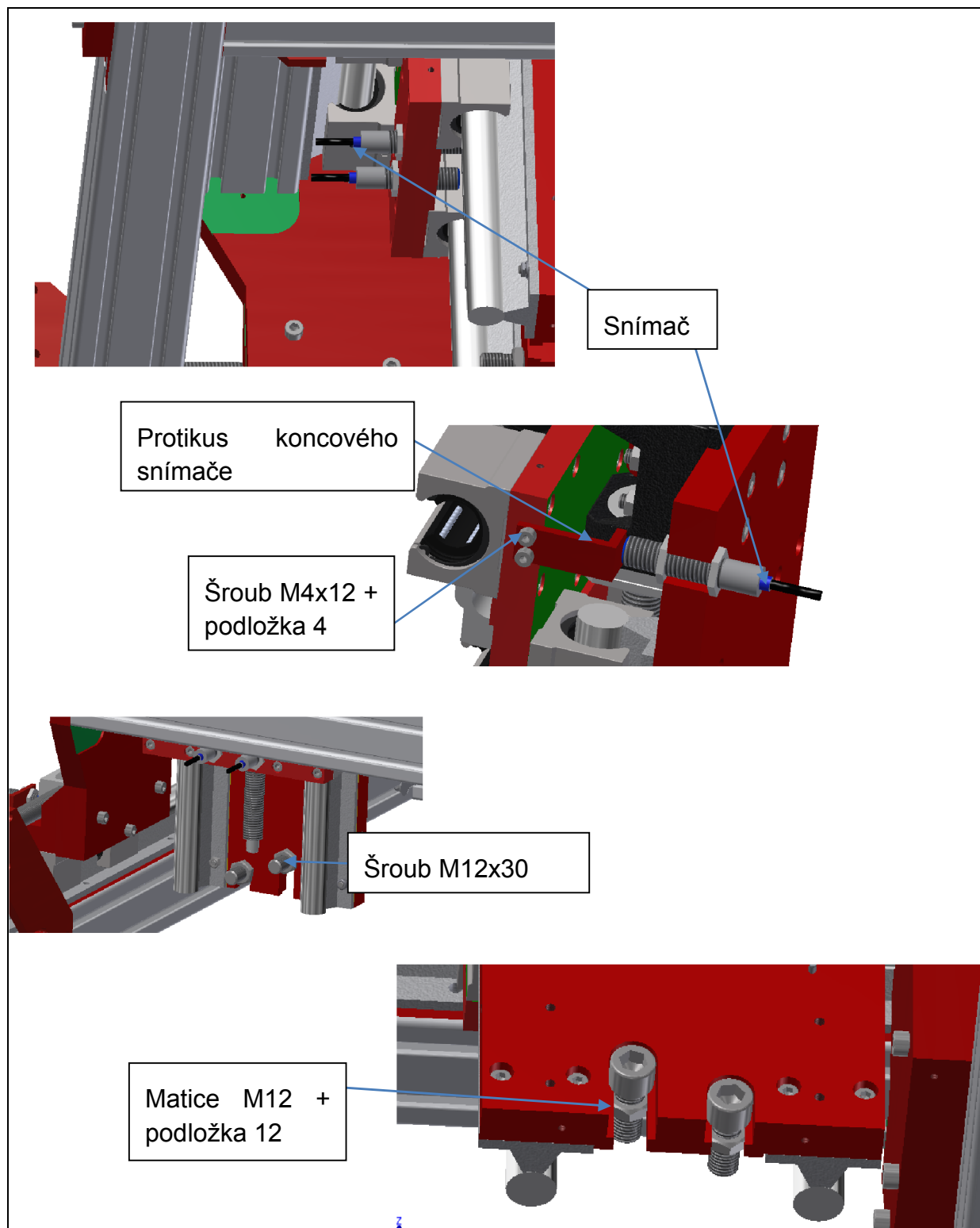
14)

**Postup:**

[1] Dle obrázku přišroubujeme výztuže osy Y a dotahneme je.

**16) Montáž snímačů**





**Kupované díly:**

Šroub M6x10 ISO4762– 9 ks

Podložka 6 DIN7980 – 9 ks

Indukční snímač M12 – 9 ks

Šroub M12x30 ISO 4762 – 2 ks

Podložka 12 – 2 ks

**Z kooperace:**

Úchyt snímače X – S\_01\_00.08  
 Úchyt snímače Y – S\_01\_00.06  
 Protikus koncového snímače – S\_01\_02.01

**Dodělaváno:**

**Nástroje:**

Imbus klíč 5  
 Imbus klíč 10  
 Klíč 18 – 2 ks

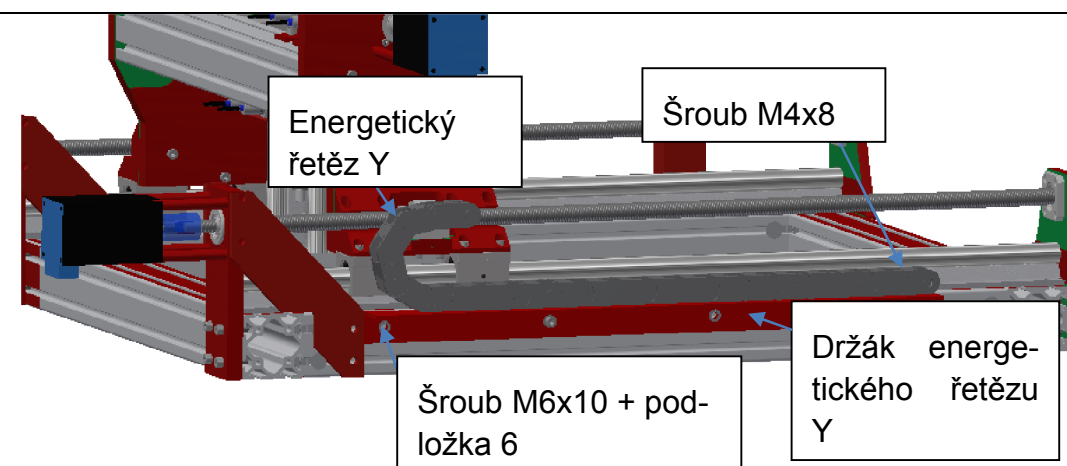
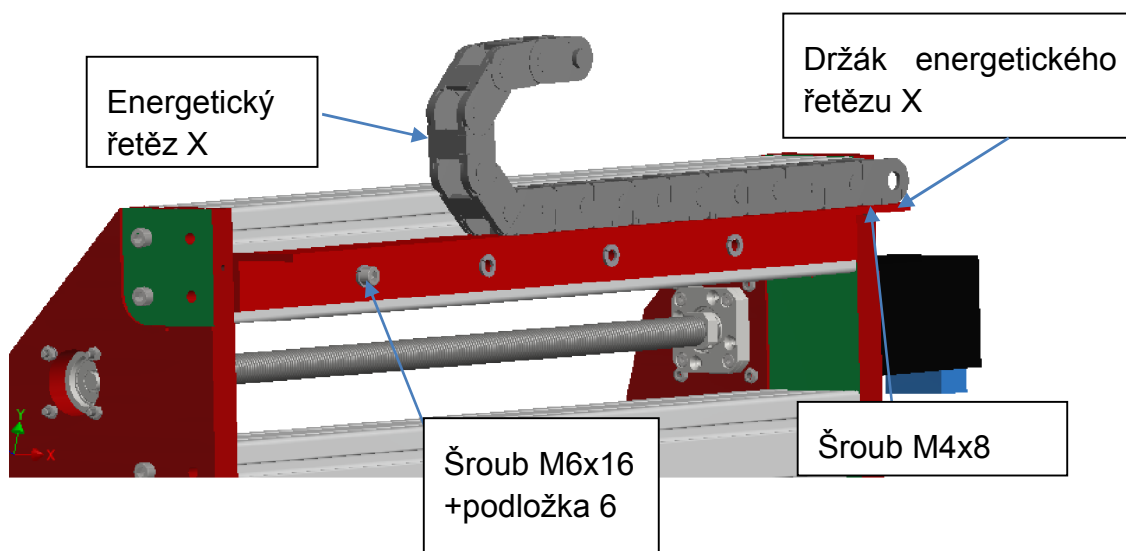
**Hotový celek:**

14)

**Postup:**

- [1] Do připravených T matic v drážkách profilů uchytneme držáky se snímači dle obrázku.
- [2] Umístíme snímače na ose Z dle obrázku.
- [3] Přišroubujeme protikus snímače na ose Z.

## 17) Energetické řetězy



**Kupované díly:**

Šroub M6x16 ISO4762 – 10 ks

Podložka 6 DIN127 – 10 ks

Šroub M4x8 DIN2009 – 4 ks

Energetický řetěz B18 x 640

Energetický řetěz B18 x 457

**Z kooperace:**

Držák energetického řetězu X – S\_01\_01.06

Držák energetického řetězu Y – S\_01\_00.05

**Dodělaváno:**

Vrtat díry pro uchycení energetického řetězu s držákem.

**Nástroje:**

Imbus klíč 5

Vrták Ø4

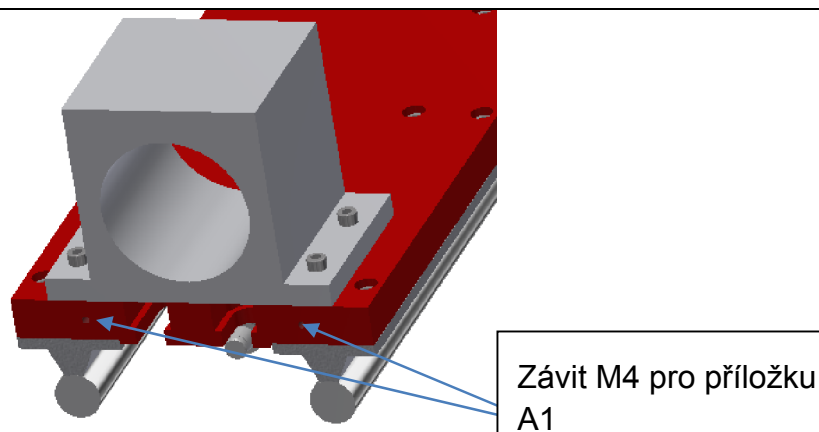
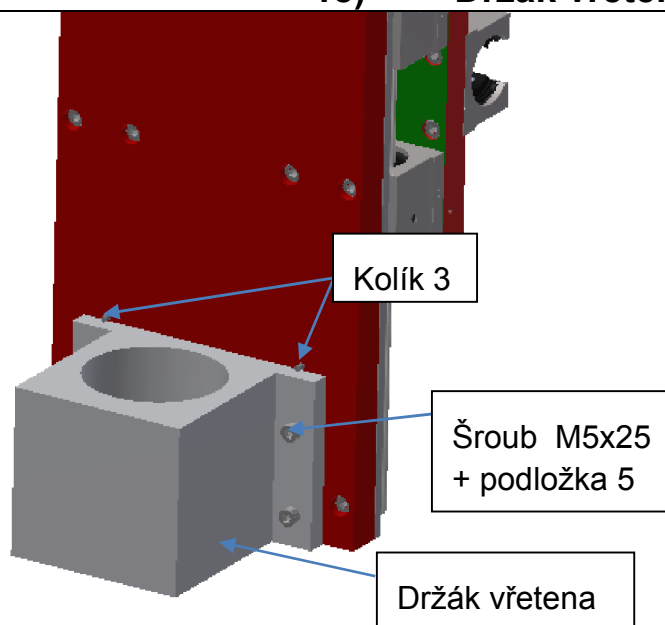
**Hotový celek:**

14)

**Postup:**

- [1] Do připravených T matic v drážkách profilů uchytneme držáky energetických řetězů pomocí šroubů M6 dle obrázku.
- [2] K držáku energetického řetězu přišroubujeme energetický řetěz.

18) Držák vřetena



**Kupované díly:**

Šroub M5x25 ISO4762 – 4 ks

Podložka 5 DIN7980 – 4 ks

Kolík 3x8

**Z kooperace:**

**Doděláváno:**

Vrtat díry do držáku vřetena. S\_01\_02\_01.02

Příložka A1 – 2 ks

**Nástroje:**

Imbus klíč 4

Vrták Ø5,5

Imbus klíč 3

**Hotový celek:**

16)

**Postup:**

[1] Do desky smykadla umístíme poziční kolíky 3.

- [2] Přichytíme šrouby M5 držák vřetena k desce smykadla. Nedotahujeme.
- [3] Pomocí příložek A1 dotlačíme držák vřetena na poziční kolíky.
- [4] Dotahneme šrouby M5.
- [5] Sundáme příložky A1.