

Univerzita Hradec Králové  
Pedagogická fakulta  
Katedra technických předmětů

**Využití 3D tisku pro rozvoj technické tvořivosti  
v oblasti elektrotechniky a elektroniky**

Diplomová práce

Autor:	Jan Jehlička
Studijní program:	N7504 Učitelství pro střední školy
Studijní obor:	Učitelství pro střední školy - základy techniky Učitelství pro střední školy - informatika
Vedoucí práce:	doc. PaedDr. René Drtina, Ph.D.

UNIVERZITA HRADEC KRÁLOVÉ  
Pedagogická fakulta  
Akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan Jehlička**  
Osobní číslo: **P15P0957**  
Studijní program: **N7504 Učitelství pro střední školy**  
Studijní obory: **Učitelství pro střední školy - informatika**  
**Učitelství pro střední školy - základy techniky**  
Název tématu: **Využití 3D tisku pro rozvoj technické tvořivosti v oblasti elektrotechniky a elektroniky**  
Zadávací katedra: **Katedra technických předmětů**

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

Cílem diplomové práce je ukázat na konkrétních příkladech možnosti využití 3D tisku ve výuce tématického celku Člověk a svět práce na ZŠ, v technicky orientovaných předmětech na SOŠ/SOU v oborech elektrotechnika a elektronika a v zájmových útvarech. Součástí DP budou praktické ukázky, včetně kompletní dokumentace. Předpokládá se ověření v rámci souvislé pedagogické praxe.

Předpokládaná struktura práce

Úvod - význam technického vzdělávání na ZŠ a SŠ - technická tvořivost v RVP a ŠVP

3D tisk - technologie 3D tisku a možnosti jejího využití pro modelování a tvorbu prototypů  
- technologie 3D tiskáren - porovnání jejich možností (u vybraných typů) - materiály pro 3D tisk - příprava podkladů pro 3D tisk - grafické programy, přenos dat, přesnost tisku - omezení 3D tiskových technologií

3D tisk a technická tvořivost - příklady využití 3D tisku ve výuce podle RVP a ŠVP - příklady využití 3D tisku v zájmových kroužcích - praktické ukázky tvorby a výstupů 3D tisku v oblasti elektrotechniky a elektroniky

Závěr - zhodnocení přínosu 3D tisku pro rozvoj technické tvořivosti + zkušenosti z praxe

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

**ŠEVČÍK, L. Základy efektivního 3D konstruování. Liberec. TUL. 2006. ISBN 80-7372-010-8. PRŮŠA, J. - PRŮŠA, M. Základy 3D tisku. 3D Printing: What You Need to Know. PCMag.com. 3D Printer Technology - Animation of layering. Create It Real. JACOBS, P. F. Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography. Society of Manufacturing Engineers. ISBN 978-0872-634-25-1. The World's Smallest 3D Printer. TU Wien. CAMPBELL, T. et al. Could 3D Printing Change the World? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing. Washington. Atlantic Council of the United States.**

Vedoucí diplomové práce: **doc. PaedDr. René Drtina, Ph.D.**  
Katedra technických předmětů

Datum zadání diplomové práce: **12. prosince 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **21. dubna 2017**

doc. PhDr. Pavel Vacek, Ph.D.  
děkan

L.S.

prof. Ing. Rozmarína Dubovská, DrSc.  
vedoucí katedry

V Hradci Králové dne 12. prosince 2014

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité prameny a literaturu.

V Hradci Králové dne

## **Anotace**

JEHLIČKA, Jan. *Využití 3D tisku pro rozvoj technické tvořivosti v oblasti elektrotechniky a elektroniky*. Hradec Králové: Pedagogická fakulta Univerzity Hradec Králové, 2017. 128 s. Diplomová práce.

Diplomová práce popisuje konstrukci prototypu 3D tiskárny s dvěma tiskovými hlavami. Práce přináší praktickou konstrukci funkční 3D tiskárny s dvěma na sobě nezávislými tiskovými hlavami, obsahuje názorný návod na sestavení a zapojení tiskárny a uvádí příklady možného využití ve školní praxi.

Klíčová slova: 3D tiskárna, RepRap, 3D modelování, 3D tisk.

## **Annotation**

JEHLIČKA, Jan. *The use of 3D printing for the development of technical creativity in the field of electrical engineering and electronics*. Hradec Králové: Faculty of Education, University of Hradec Králové, 2017. 128 pp. Diploma Degree Thesis.

The thesis describes the design of a prototype 3D printer with two print heads. This work brings practical design of functional 3D printers with two independent printheads contains graphic instructions for assembly and connection of a printer and examples of possible use in school practice.

Keywords: 3D printer, RepRap, 3D modeling, 3D print.

<b>OBSAH</b>	
<b>ÚVOD</b>	<b>13</b>
<b>1 TECHNOLOGIE 3D TISKU</b>	<b>15</b>
1.1 FFF - Fused Filament Fabrication	15
1.2 SLA - Stereolitografie	15
1.3 SLS - Selective laser sintering	16
1.4 DLMS - Direct metal laser sintering	17
<b>2 MATERIÁLY PRO FFF/FDM TISKÁRNY</b>	<b>18</b>
2.1 Základní materiály pro FFF tiskárny	18
2.1.1 ABS	19
2.1.2 PLA	19
<b>3 VYUŽITÍ 3D TISKÁRNY VE ŠKOLE</b>	<b>20</b>
<b>4 MONTÁŽ 3D TISKÁRNY</b>	<b>21</b>
4.1 Osa Y	21
4.1.1 Rám osy Y	21
4.1.2 Nožky rámu	24
4.1.3 Napínák řemene a motor Y	26
4.1.4 Tyče pojezdu Y	29
4.1.5 Řemen osy Y	32
4.1.6 Stolek osy Y	33
4.2 Extrudery	36
4.2.1 Extruder osy X1	36
4.2.2 Extruder osy X2	42
4.3 Osa X	42
4.3.1 Sestavení osy X - část s napínáky řemene	43
4.3.2 Napínáky řemenů osy X	46
4.3.3 Sestavení osy X - část s krokovými motory	49
4.3.4 Dokončení osy X - vodící tyče	53
4.4 Osa Z	56
4.4.1 Rám osy Z - stojiny rámu, vodící tyče	56
4.4.2 Osa Z - dokončení rámu tiskárny	60
4.4.3 Zvedací šrouby osy Z	64
4.4.4 Krokové motory osy Z	66
4.5 Instalace krokových motorů a řemenů os X	67
4.6 Montáž extruderů na tiskárnu	69
4.7 Koncové spínače	70
4.7.1 Koncový spínač osy Y	70
4.7.2 Koncový spínač osy Z	71
4.7.3 Koncové spínače os X	73
4.8 Vyhřívaná podložka	74
4.9 Řídící elektronika	76
4.10 Kabelové řetězy	77
4.11 Svorkovnice na extruderech	79
4.12 Umístění vodičů na tiskárně	80
<b>5 ZAPOJENÍ TISKÁRNY, FIRMWARE A OŽIVENÍ</b>	<b>81</b>
5.1 Zapojení základní desky RAMPS 1.4	81
5.2 Firmware	83
5.3 Oživení tiskárny, základní nastavení pro komunikaci s počítačem	83
<b>ZÁVĚR</b>	<b>87</b>
<b>POUŽITÉ ZDROJE</b>	<b>89</b>
<b>PŘÍLOHY</b>	<b>90</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Princip funkce FFF (podle [2])	15
Obr. 2 Princip funkce SLA (podle [2])	16
Obr. 3 Princip funkce SLS (podle [2])	17
Obr. 4 Komponenty pro sestavení rámu osy Y	21
Obr. 5 Sestavení rámu Y krok 1	22
Obr. 6 Sestavení rámu Y krok 2	22
Obr. 7 Sestavení rámu Y krok 3	23
Obr. 8 Vyrovnání rámu Y	23
Obr. 9 Komponenty pro sestavení nožek rámu	24
Obr. 10 Noha - namáčknutí matic M3	24
Obr. 11 Montáž gumových nožek	25
Obr. 12 Rozmístění nožek rámu	25
Obr. 13 Komponenty Napínáku Y	26
Obr. 14 Sestavený napínák řemene Y	26
Obr. 15 Komponenty motoru Y	27
Obr. 16 Sestava motoru Y	27
Obr. 17 Umístění motoru a napínáku na rámu Y	28
Obr. 18 Vzdálenost od rámu Y	28
Obr. 19 Komponenty tyčí Y	29
Obr. 20 Spodní díl držáku vodících tyčí Y	29
Obr. 21 Umístění vodících tyčí Y na rám Y	30
Obr. 22 Sestavení držáku tyčí osy Y	30
Obr. 23 Vyrovnání vodících tyčí osy Y	31
Obr. 24 Komponenty pro sestavení řemenu osy Y	32
Obr. 25 Namáčknutí matic M3 do dílu Ybeltbase	32
Obr. 26 Sestavení řemene osy Y	33
Obr. 27 Komponenty pro sestavení stolku osy Y	33
Obr. 28 Stolek osy Y s držáky lineárních ložisek	34
Obr. 29 Detail uchycení držáku lineárního ložiska	34
Obr. 30 Umístění stolku Y na rámu Y	35
Obr. 31 Stolek Y připevněný na rámu tiskárny	35
Obr. 32 Extruder osy X1	36
Obr. 33 Komponenty extruderu osy X1	36
Obr. 34 Vložení matic uchycení extruderu	37
Obr. 35 Vložení matic uchycení hotendu	37
Obr. 36 Vložení matic uchycení držáku svorkovnice	38
Obr. 37 Krokový motor extruderu 1	38
Obr. 38 Přítlačná páka s ložiskem 623 2Z	39
Obr. 39 Držák přítlačné pružiny	39
Obr. 40 Sestava přítlačné pružiny	39
Obr. 41 Držák přítlačné pružiny přimontovaný na extruderu	40
Obr. 42 Přítlačná páka osazená na extruderu	40
Obr. 43 Nastavení podávacího kolečka	41
Obr. 44 Zavedený filament v extruderu	41
Obr. 45 Hotend namontovaný na extruderu	42
Obr. 46 Komponenty pro sestavení extruderu osy X2	42
Obr. 47 Sestavená osa X	43
Obr. 48 Komponenty pro sestavení osy X - část s napínáky řemene	43
Obr. 49 Matice M4 namáčknuté v díle	44
Obr. 50 Matice namáčknuté v díle	44
Obr. 51 Osazení dílu Xbodytensioner lineárními ložisky	45
Obr. 52 Umístění bronzové matice	45
Obr. 53 Dorazové šrouby tyčí X	46
Obr. 54 Komponenty pro sestavení napínáku řemenů osy X	46
Obr. 55 Namáčknutí šroubů M5 do dílů XPulleyholder	47
Obr. 56 Napínák řemene X	47
Obr. 57 Montáž řemenice napínáku řemene osy X	48
Obr. 58 Zajištění řemenice napínáku řemene osy X	48
Obr. 59 Matice umožňující nastavení napnutí řemene osy X	49



Obr. 60 Výsledek montáže napínáků řemenů os X	49
Obr. 61 Komponenty pro sestavení osy X - část s krokovými motory	50
Obr. 62 Namáčknutí matic do šestihranů v plastovém díle Xbodymotor	50
Obr. 63 Namáčknutí matic do šestihranů v plastovém díle Xbodymotor	51
Obr. 64 Osazení lineárních ložisek LM12UU do dílu Xbodymotor	51
Obr. 65 Umístění bronzové matice na díle Xbodymotor	52
Obr. 66 Osazení dorazových šroubů tyčí X na díle Xbodymotor	52
Obr. 67 Matice M3 pro doraz koncového spínače	53
Obr. 68 Komponenty pro dokončení sestavení osy X	53
Obr. 69 Montáž vodících tyčí X	54
Obr. 70 Délky volný tyčí X po montáži	54
Obr. 71 Sestavení osy X	55
Obr. 72 Délka dráhy osy X	55
Obr. 73 Připevnění vozíků extruderů	55
Obr. 74 Komponenty pro rám osy Z	56
Obr. 75 Nalisování ložisek 626 2RS	56
Obr. 76 Montáž úhelníků vnitřní strana	57
Obr. 77 Montáž úhelníků vnější strana	57
Obr. 78 Montáž profilů osy Z	58
Obr. 79 Umístění profilů Z na rámu Y	58
Obr. 80 Kontrola kolmosti profilů osy Z	59
Obr. 81 Vložení tyčí Z do držáku tyčí	59
Obr. 82 Komponenty pro dokončení stavby rámu tiskárny	60
Obr. 83 Namáčknutí matic M4 do dílu	60
Obr. 84 Montáž osy X na tiskárnu	61
Obr. 85 Montáž zakončení vodících tyčí Z	61
Obr. 86 Umístění profilu horní část osy Z	62
Obr. 87 Montáž spojovacích rohů osy Z	62
Obr. 88 Kontrola sestavení rámu osy Z	63
Obr. 89 Montáž zajišťovacích šroubů tyčí Z	63
Obr. 90 Nastavení rovnoběžnosti tyčí osy Z	64
Obr. 91 Komponenty pro sestavení zvedacích šroubů osy Z	64
Obr. 92 Nalisování ložiska do domku	65
Obr. 93 Osazení zvedacích šroubů osy Z	65
Obr. 94 Zajištění domku zvedacího šroubu	66
Obr. 95 Komponenty pro sestavení krokových motorů osy Z	66
Obr. 96 Přemontovaný krokový motor	67
Obr. 97 Krokový motor osy Z na tiskárně	67
Obr. 98 Komponenty pro sestavení krokových motorů os X	68
Obr. 99 Krokové motory os X na tiskárně	68
Obr. 100 Nainstalované řemeny os X	69
Obr. 101 Komponenty pro montáž extruderů na tiskárnu	69
Obr. 102 Extrudery přimontované na tiskárně	70
Obr. 103 Komponenty pro sestavení koncového spínače osy Y	70
Obr. 104 Mikrospínač Y	71
Obr. 105 Umístění koncového spínače Y	71
Obr. 106 Komponenty pro sestavení koncového spínače osy Z	71
Obr. 107 Dorazový šroub s pružinou	72
Obr. 108 Koncový spínač Z osazený na tiskárně	72
Obr. 109 Komponenty pro sestavení koncových spínačů os X	73
Obr. 110 Koncový spínač osy X2	73
Obr. 111 Umístění Koncových spínačů os X	74
Obr. 112 Komponenty pro sestavení vyhřívané podložky	74
Obr. 113 Detail distančního sloupku a uchycení vedení	75
Obr. 114 Sestava vyhřívané podložky	75
Obr. 115 Provláčení vodičů vyhřívaného stolku	75
Obr. 116 Krabíčka na základní desku RAMPS 1.4	76
Obr. 117 Umístění krabíčky s deskou RAMPS	76
Obr. 118 Komponenty pro sestavení zakončení řetězu osy Y	77
Obr. 119 Komponenty pro sestavení zakončení řetězů os X	77

Obr. 120 Články řetězu	77
Obr. 121 Energetické řetězy os Z a Y	78
Obr. 122 Energetický řetěz osy Z	78
Obr. 123 Komponenty pro sestavení držáků svorkovnic	79
Obr. 124 Montáž držáku svorkovnice	79
Obr. 125 Osazení step sticků na desce	81
Obr. 126 Zapojení napájení, výstupů, koncových spínačů a termistorů	82
Obr. 127 Zapojení krokových motorů a přídatné desky se step stickem	82
Obr. 128 Nastavení připojení tiskárny	83
Obr. 129 Nastavení tiskárny	84
Obr. 130 Nastavení počtu extruderů	84
Obr. 131 Nastavení geometrie tiskárny	85
Obr. 132 Ovládací panel tiskárny	86
Obr. 133 Soupis materiálu rámu osy Y	91
Obr. 134 Soupis materiálu nohy	92
Obr. 135 Soupis materiálu napínák řemene osy Y	93
Obr. 136 Soupis materiálu krokový motor osy Y	94
Obr. 137 Soupis materiálu vodící tyče Y	95
Obr. 138 Soupis materiálu řemen osy Y	96
Obr. 139 Soupis materiálu stolek osy Y	97
Obr. 140 Soupis materiálu extruder 1	98
Obr. 141 Soupis materiálu extruder 2	99
Obr. 142 Soupis materiálu Osa X část s napínáky	100
Obr. 143 Soupis materiálu napínáky řemenů X	101
Obr. 144 Soupis materiálu Osa X část s motory	102
Obr. 145 Soupis materiálu vodících tyčí osy X	103
Obr. 146 Soupis materiálu osy Z - stojiny rámu, vodící tyče	104
Obr. 147 Soupis materiálu komponenty pro dokončení stavby rámu tiskárny	105
Obr. 148 Soupis materiálu zvedací šrouby osy Z	106
Obr. 149 Soupis materiálu krokové motory osy Z	107
Obr. 150 Soupis materiálu krokové motory os X	108
Obr. 151 Soupis materiálu montáž extruderů na tiskárnu	109
Obr. 152 Soupiska materiálu koncový spínač osy Y	110
Obr. 153 Soupiska materiálu koncový spínač osy Z	111
Obr. 154 Soupiska materiálu koncové spínače os X	112
Obr. 155 Soupis materiálu vyhřívání stolek	113
Obr. 156 Soupis materiálu zakončení řetězu Y	114
Obr. 157 Soupis materiálu zakončení řetězů Z	115
Obr. 158 Soupis materiálu články řetězu	116
Obr. 159 Soupis materiálu držáky svorkovnic	117
Obr. 160 Rozmístění profilových matic	118
Obr. 161 Rozmístění profilových matic 2	119
Obr. 162 Vedení vodičů od vyhřívání podložky	120
Obr. 163 Detail zakončení kabelových řetězů osy Y a Z	120
Obr. 164 Vedení svazku vodičů extruderu 2 na ose X2	121
Obr. 165 Detail připevnění svazku extruderu 2	121
Obr. 166 Vedení svazku od extruderu 2 do řetězu	121
Obr. 167 Svazek extruderu 2 protažen řetězem	122
Obr. 168 Detail vedení svazku od extruderu 2 a vodičů vyhřívání podložky	122
Obr. 169 Vedení svazku od extruderu 2 a vyhřívání podložky do krabičky	123
Obr. 170 Vedení svazku od extruderu 2 a vyhřívání podložky do krabičky 2	123
Obr. 171 Detail vedení svazku extruderu 2 a vyhřívání podložky do krabičky	123
Obr. 172 Vedení svazku extruderu 1	124
Obr. 173 Detail přichycení svazku na extruderu	124
Obr. 174 Poloha vodičů extruderu 1 a krokových motorů os x	124
Obr. 175 Energetický řetěz osy Z	125
Obr. 176 Zajištění svazku na konci řetězu	125
Obr. 177 Tiskárna verze 1 s řemeny na ose Z	126
Obr. 178 Klonování	126
Obr. 179 Tisk náhradního dílu z flexibilního filamentu	127

Obr. 180 Dvoubarevný tisk	127
Obr. 181 Tisk modelu vodárenské věže	128
Obr. 182 Model vodárenské věže vytištěný na tiskárně	128

## **SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

ABS	Akrylonitril butadien styren
DLP	Digital light processing
DMLS	Direct metal laser sintering
FDM	Fused Deposition Modeling
FFF	Fused Filament Fabrication
PET	Polyethylentereftalát
PLA	Kyselina polyléčná
SLA	Stereolitografie
SLS	Selective laser sintering

## ÚVOD

Technologie 3D tisku se stává stále dostupnější. Je jednou z moderních technologií, které mohou výrazným způsobem přispět k rozvoji zájmu o techniku a technické vzdělávání již na základních školách v rámci témat RVP 5.9 - Člověk a svět práce v oblastech Práce s technickými materiály, Design a konstruování a Využití digitálních technologií.

Práce se zabývá konstrukcí dvoutryskové 3D tiskárny s velikostí tiskového prostoru  $200 \times 300$  mm. Inovací mezi četnými konstrukcemi takových tiskáren bude řešení dvou na sobě nezávislých extruderů kdy každý extruder bude mít vlastní krokový motor a bude umístěn na vlastní ose. Práce stručně uvádí přehled jednotlivých technologií 3D tisku, materiály pro FFF tiskárny a možnosti použití 3D tiskárny ve škole.

Cílem diplomové práce mělo být i porovnání vlastností a tiskových možností domácí 3D tiskárny s 3D tiskárnou DeeGreen be3D, která je k dispozici na katedře technických předmětů. Vzhledem k tomu, že v průběhu přípravy diplomové práce došlo k havárii katedrální tiskárny, byl po dohodě s vedoucím práce její cíl upraven a formulovány doplňující požadavky.

1. Navrhnete funkční prototyp 3D tiskárny na principu fused filament fabrication s dvěma tiskovými hlavami.
2. Návrh tiskárny bude vypracován v některém z 3D cad programů.
3. Popište sestavení a zapojení 3D tiskárny.
4. Uveďte možné využití praktického využití 3D tiskárny na střední nebo základní škole.

Inovativní řešení popisované 3D tiskárny v sobě skrývá několik výhod oproti klasickým dvoutryskovým tiskárnám na jedné ose. První výhodou je omezení kontaminace výtisku při tisku 2 materiálů najednou. Zatímco jedna tryska tiskne jeden materiál je druhá tryska vyjetá mimo tiskový prostor a nedochází tedy k vytékání plastu z neaktivní trysky do výtisku. U konvenční dvoutryskové tiskárny se tento problém řeší například ochlazením neaktivní trysky. Neustálé ochlazování a nahřívání neaktivní trysky však způsobuje poměrně značné navýšení celkové doby tisku. U navrženého řešení druhá tryska může zůstat nahřátá celou dobu tisku nebo se může během neaktivity ochlazovat méně než normálně, protože bude vyjeta mimo tiskový prostor a v tomto případě nám vůbec nevadí, že z neaktivní trysky ukápnou nechtěná kapka nataveného plastu.

Druhou výhodou je možnost osazení dvou odlišných průměrů trysek. V reálném provozu je neobvyklejším průměrem tryska o průměru 0,4 mm. Tento průměr je asi nejlepším poměrem mezi dostatečnou kvalitou výtisku, tedy výškou vrstvy a celkovou dobou tisku. Ovšem když potřebujeme vytisknout nějaký opravdu malý objekt, začíná být tento průměr trysky moc velký a je potřeba vyměnit za trysku menší např. průměr 0,3 nebo 0,2 mm. V případě, že netiskneme velmi často dvoubarevně nebo dvoumateriálově, umožňuje toto řešení osazení trysky 0,4 mm na jeden extruder a trysky menší nebo větší na druhý extruder. Ušetříme tak poměrně zdlouhavé výměny trysek v tiskárně.

Třetí výhodou je možnost tisku dvou stejných objektů najednou, tzv. klonování. V tomto případě musí být oba extrudery osazeny stejnými tryskami a oba extrudery tisknou najednou stejný objekt až do velikosti jednoho objektu  $150 \times 200$  mm. V tomto případě je výhodou až dvojnásobná úspora času oproti jednotryskové tiskárně.

Při volbě tématu jsem počítal s velkou časovou i finanční náročností, včetně možných slepých uliček ve vývoji, které budou prodražovat a neúměrně protahovat celou práci. Dalším možným rizikem je možný neúspěch nebo nefunkčnost celého řešení.

Hlavní motivací při volbě tématu bylo rozhodnutí vymyslet a vyrobit v rámci diplomové práce funkční prototyp tiskárny, na který bych mohl navázat v profesním životě ať už ve školství nebo v soukromém sektoru.

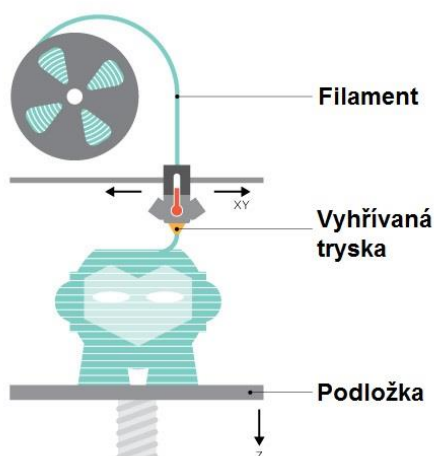
Tiskárna, v případě úspěchu a dokončení práce, bude zveřejněna jako projekt RepRap. Obsahem práce budou tedy stl soubory veškerých tisknutelných dílů. Díly, které nelze vytisknout na tiskárně, ale je nutné je vyrobit některou z konvenčních metod, budou v práci zahrnuty také ve formátu stl mimo modelů tzv. hotendů. Obsahem práce nebudou výrobní výkresy dílů v rámci zachování autorských práv autora na některé z dílů.

## 1 TECHNOLOGIE 3D TISKU

Abychom se mohli věnovat 3D je důležité uvést přehled základních technologií 3D tisku a popsat jejich princip. Hned na začátku kapitoly musíme uvést rozdíl mezi technologií FFF a FDM. Mezi zmíněnými technologiemi není v principu fungování žádný zásadní rozdíl. FDM je pouze patentovaný název americké společnosti Stratasys. Nadále v práci budeme pro přehlednost používat pouze zkratku FFF. Jednotlivé technologie se liší jak způsobem operace, tak druhem vstupního materiálu. Během přípravy práce jsem měl možnost vidět všechny zmíněné technologie tiskáren v provozu.

### 1.1 FFF - Fused Filament Fabrication

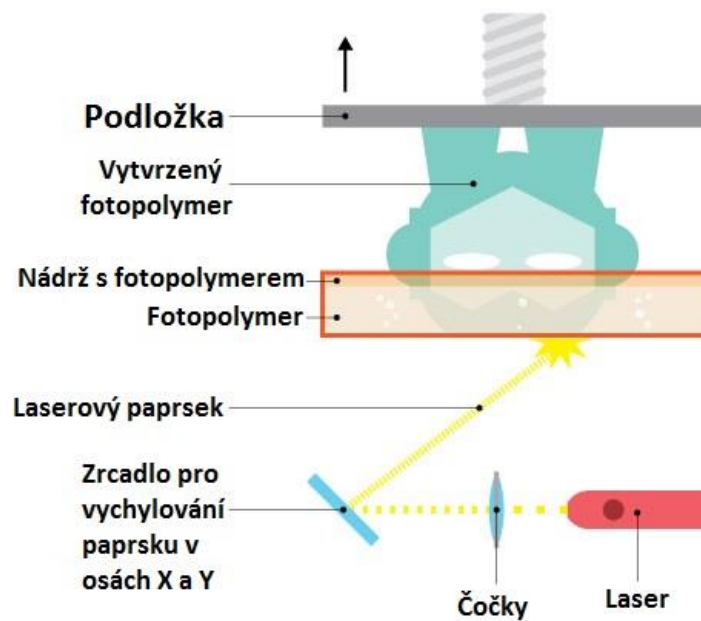
Fused Filament Fabrication je momentálně nejrozšířenější technologie. Rozšíření vychází z jednoduchého principu činnosti a poměrně levného a dostupného vstupního materiálu. Tiskárny fungují na principu nahřívání filamentu z termoplastu, který je extruderem protlačován přes vyhřívanou trysku. Tryska se pohybuje obvykle v ose X a Y a nanáší tenkou vrstvu plastu na stavební podložku. Podložka se obvykle pohybuje jedním směrem v ose Z. Po dokončení jedné vrstvy naneseného plastu se podložka posune směrem dolů o vzdálenost jedné vrstvy a celý proces začíná znovu. Tiskárna tedy nanáší tenké vrstvy plastu vrstvu po vrstvě. Princip funkce zobrazuje obrázek 1 [1].



Obr. 1 Princip funkce FFF (podle [2])

### 1.2 SLA - Stereolitografie

Stereolitografie je metoda méně často rozšířená. Tiskárna funguje na principu vytvrzování speciálního tekutého fotopolymeru. Tento polymer při vystavení paprskům UV záření mění své skupenství na pevné. Tiskárna obvykle obsahuje také podložku, která se obvykle pohybuje v ose Z jako u předchozí technologie. Při začátku tisku je podložka ponořena v nádrži s fotopolymerem, paprsek laseru osvětí plochy, které mají být vytvrzené - tedy výsledný tištěný objekt. Podložka po 1. vrstvě vyjede směrem ven z nádrže o tloušťku jedné vrstvy a celý proces se stále opakuje. Tiskárna tedy také tiskne po vrstvách, s tím rozdílem, že paprsek speciálního laseru vždy vytvrdí každou vrstvu právě tištěného objektu. Princip tiskárny je zobrazen na obrázku 2 [3].



**Obr. 2 Princip funkce SLA** (podle [2])

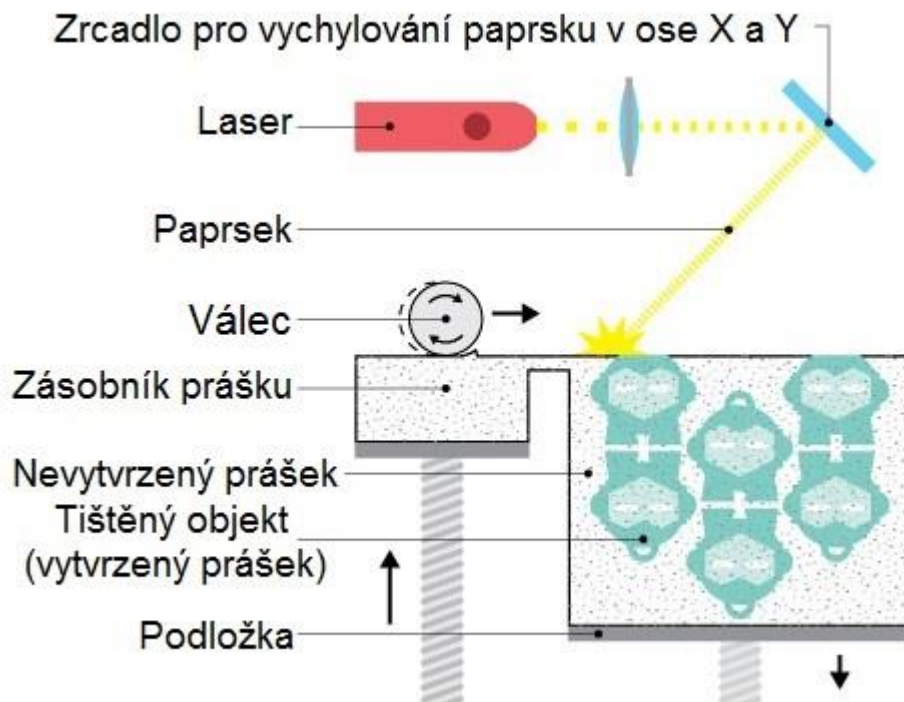
Velice podobnou technologií je technologie DLP. Funguje principiálně stejně jako technologie SLA, hlavním rozdílem je zdroj světla, tedy UV záření. U technologie DLP se jedná nejčastěji o zdroj světla na bázi projektoru [4].

Na trhu existují další principy jako je technologie PolyJet. Zde se používá podobně jako u technologie FDM tisková hlava, která se obvykle pohybuje v ose X a Y. Zde však nedochází k natavování plastu, ale hlava je osazena tryskami podobně jako u inkoustových tiskáren, které vytlačují drobné kapky fotopolymeru. Kapky jsou okamžitě během průjezdu hlavy vytvrzovány UV lampou, která je součástí tiskové hlavy [5].

### 1.3 SLS - Selective laser sintering

Tiskárna funguje na principu spékání nejčastěji plastového prášku pomocí laserového paprsku. Tiskárna podobně jako předchozí technologie tiskne po vrstvách. Při první vrstvě je na podložku válcem ze zásobníku nanese tenká vrstva prášku po celé ploše. Laserový paprsek prášek na určených místech roztaví a celý cyklus se opakuje. Podložka sjede dolů ve směru osy Z o vzdálenost jedné vrstvy. Válec nanese novou vrstvu prášku po celé ploše podložky a laserový paprsek opět roztaví prášek na požadovaných místech. Celá stavební komora je po dokončení zaplněná, kromě tištěných objektů i nezataveným práškem z kterého se musí vytisknuté objekty vyjmout a očistit od zbytků prášku. Neroztavený prášek se dá použít při další výrobě. Celý proces je zobrazen na obrázku 3 [2] [6].





Obr. 3 Princip funkce SLS (podle [2])

#### 1.4 DLMS - Direct metal laser sintering

Další z technologií je založená na stejném principu jako technologie SLS. Hlavním rozdílem je materiál prášku, princip zůstává naprosto totožný s technologií SLS. Jako materiál je použit práškový kov, tiskárna tedy tiskne kovové objekty. Technicky je tiskárna velice podobná tiskárně SLS. Hlavním rozdílem je mnohem výkonnější zdroj laserového záření typicky kolem 400 W a hermeticky uzavřená tisková komora vyplněná během tisku inertním plynem. Nejčastěji používaným plynem je argon nebo dusík. Inertní atmosféra brání oxidaci kovu během spékání [2] [7] [8].

## 2 MATERIÁLY PRO FFF/FDM TISKÁRNY

V druhé kapitole uvedeme přehled materiálů používaných v FFF tiskárnách. Cílem kapitoly je zmínit základní vlastnosti, jak se materiál chová při 3D tisku a jeho základní fyzické vlastnosti. Nutno zmínit, že výčet materiálů zde uvedených není kompletní a ani to není cílem kapitoly. Za poslední 3 roky je možné pozorovat obrovský rozmach a vývoj v tomto odvětví, kdy se výrobci filamentů snaží na trh uvádět stále nové materiály.

Jak bylo zmíněno v první kapitole, tiskárna používá jako stavební materiál filament z termoplastického plastu. Filamenty se vyrábějí nejčastěji ve dvou průměrech, nejčastěji 1,75 mm, ale také existují filamenty o průměru 3 mm. Někteří výrobci vyrábí filamenty i o průměru 2,85 mm. Většinou je filament o tomto průměru plně kompatibilní s tiskárnou určenou na 3 mm filamenty. Nutno zmínit, že v dnešní době převažuje nabídka filamentů o průměru 1,75 mm a filamenty o větším průměru jsou spíše na ústupu. Menší průměr filamentu má několik praktických výhod. Filament neklade takový odpor při protlačování poměrně malou tryskou. Tím pádem jsou menší požadavky na krouticí moment motoru extruderu. Tím odpadá nutnost převodů do síly, popřípadě se mohou použít krokové motory s menším kroutícím momentem. Můžeme tedy pozorovat nejen snížení nákladů na konstrukci extruderu, ale také obvykle menší rozměry a hmotnost extruderu. Nepopíratelnou výhodou je i zpřesnění dávkování filamentu zvláště při použití malých trysek o průměru 0,3 nebo 0,2 mm.

Filamenty jsou obvykle dodávány namotané na cívkách rozličných tvarů, každý výrobce většinou používá vlastní druh cívky. Nejčastěji se filamenty prodávají na hmotnost. Nejčastějším a cenově nejvýhodnějším jsou kilogramové náviny. Někteří výrobci nabízí i menší balení, je možné se setkat s 0,7 kg nebo 0,5 kg návínem. Menší náviny jsou častější u dražších materiálů, kdy cena kilogramového návínu je poměrně vysoká investice a může se hodit menší balení s nižší cenou pro ověření vhodnosti zvoleného materiálu pro danou aplikaci.

Kvalita samotného návínu se podle zkušeností projevila jako klíčová. Někteří výrobci příliš nedbají na souměrné kladení závitů jeden vedle druhého a závity jsou povolené. V případě takového návínu nastane další problém v procesu tisku. Během tisku, jak tiskárna odebírá materiál z cívky, se stane, že se závity návínu překříží a velice často dojde k tomu, že se závity mezi sebou tak utáhnou, že není možné plynulé odvíjení materiálu. Následně dojde k tomu, že tiskárna začne tisknout naprázdno a není nic horšího, když tato situace nastane 2 hodiny před koncem 30hodinového tisku.

Filamenty se mimo samotného materiálu liší barvou. Dostupné jsou rozličné barvy materiálů, vybere si většinou každý, kdo řeší výslednou barvu výtisku. U základních plastů jako je ABS, PLA a PET je nabídka barev rozsáhlá, u ostatních spíše technicky zaměřených a dražších plastů je většinou na výběr mezi černou, šedou, bílou a přírodní barvou plastu, ale není to pravidlem. Barva filamentu je subjektivní záležitostí, v případě zvláštního požadavku jde plastový díl opatřit vrstvou barevného laku podle požadavků. Pracovní postup je stejný jako při běžném nanášení nátěrových hmot na plasty.

### 2.1 Základní materiály pro FFF tiskárny

Uvedeme přehled základních materiálů ABS a PLA. Tyto materiály jsou nejvíce zastoupené pro běžné použití a vykazují nejstabilnější vlastnosti napříč výrobci. Ostatní materiály jsou poměrně odlišné v kvalitě napříč výrobci. Při začátcích s novým materiálem je obvykle nejlepší začít s teplotami které doporučuje výrobce. Obvykle se

jako nejvhodnější postup jevil začít nejvyššími teplotami které výrobce materiálu doporučuje a teploty v případě potřeby snižovat.

U těchto 2 druhů materiálů obvykle platí, že čím větší rychlost tisku, tím vyšší teplota, čím větší objekt, tím vyšší teplota a čím větší objekt, tím větší teplota vyhřívané podložky a naopak. K výsledné konfiguraci teplot se stejně dostaneme odhadem a díky získaným zkušenostem, jak se právě tištěný materiál chová. Doporučení výrobce materiálu tak lze brát pouze jako jakési krajní hodnoty teplot při kterých jsme materiál schopni zpracovat.

U všech typů plastů platí, že existuje mnoho druhů granulátu jakožto výchozího materiálu pro výrobu filamentu. Bohužel přesné složení výsledného mixu granulátu, ze kterého je filament vyroben není nikdy u žádného výrobce přesně známo a je součástí výrobního tajemství.

### **2.1.1 ABS**

Akrylonitril butadien styren je jeden z nejčastěji používaných materiálů pro výrobu filamentů. Materiál je velmi odolný a lehce flexibilní. Materiál je rozpustný v acetonu, lze tedy u výsledného objektu dosáhnout opravdu velmi hladký povrch, kdy se výsledný povrch výtisku nechá naleptat parami acetonu nebo se do acetonové lázně ponoří celý. Materiál vyžaduje vyhřívanou podložku nejčastěji o teplotě 100 °C. Obvyklá teplota pro tisk tohoto materiálu je v rozmezí 210 - 250 °C. Materiál je vhodný pro tisk menších objektů. Při tisku velkých objektů velice často nastává popraskání objektu díky poměrně velkému smršťování materiálu během chladnutí. Velice nepříjemnou vlastností materiálu je poměrně pronikavý zápach, který po dlouhé expozici dráždí oči a sliznice, je tedy důležité zajistit dobré odvětrávání [9].

### **2.1.2 PLA**

Kyselina polymlečná je další z velice rozšířených materiálů. Materiál je kompostovatelný a je vyrobený z obnovitelných zdrojů. Materiál je tvrdý a neflexibilní. Velkou výhodou je nízké smršťování během chladnutí materiálu. Materiál přímo nevyžaduje vyhřívanou podložku a díky malému smršťování je vhodný pro tisk velkých objektů. Oproti ABS má ale nevýhodu v nízké teplotě skelného přechodu, materiál obvykle začíná měknout již při 60 °C. Není tedy příliš vhodný pro tisk součástek, které se budou po tisku jakýmkoli způsobem upravovat například broušením, vrtáním atd. V praxi je velice obtížné do díry vyříznout například závit, materiál po několika málo otáčkách závitníku měkne a výsledný závit je pak nepoužitelný. Obvyklá teplota pro tisk tohoto materiálu je v rozmezí 180 - 230 °C [10].

### 3 VYUŽITÍ 3D TISKÁRNY VE ŠKOLE

3D tisk je poměrně nová technologie, i když to není tak úplně pravda. V posledních letech se tato technologie pouze zpřístupnila masám za dostupné finanční prostředky.

Stále více firem již nyní hledá nebo bude hledat možnosti uplatnění 3D tisku ve výrobě, nebo při velmi snadné a relativně levné výrobě prototypů. 3D tiskárna umožňuje vytvořit prototyp dílu nebo výsledný díl v poměrně krátkém čase při několikanásobně nižších nákladech než umožňují konvenční technologie. Dá se tedy očekávat, že poptávka po odborně vzdělaných zaměstnancích se znalostmi právě 3D tisku bude v nejbližší době stoupat a školství má nejvyšší čas, aby začalo pružně reagovat na vznikající odvětví, které má obrovský potenciál do budoucna.

Právě RepRap 3D tiskárny se zdají pro použití ve školství a ve výuce principů 3D tisku jako nejideálnější. Princip technologie FFF je stále stejný, ať už jde o RepRap tiskárnu za několik tisíc korun, nebo profesionální průmyslovou closed source tiskárnu za několik desítek až stovek tisíc korun.

Použití RepRap tiskáren ve školství má několik možná ne tolik zjevných výhod než použití některé levnější closed source tiskárny. Žáci obvykle musí tiskárnu ve škole nejdříve sestavit, ať už z některého z prodávaných kitů 3D tiskárny, nebo z individuálně nakoupených součástí. Samotná stavba tiskárny nepopíratelně podporuje představitost, ověří a podpoří manuální zručnost a dovednosti žáků. V neposlední řadě žáci musí do stavby tiskárny dát i nějaké zkušenosti, popřípadě při stavbě tiskárny mnoho praktických zkušeností získají. Během stavby také každý daleko snadněji a názorněji pochopí princip funkce 3D tiskárny.

Už během stavby 3D tiskárny se nabízí obrovská možnost pro učitele k propojení teorie s praxí. Tiskárna obvykle obsahuje poměrně velké množství řešení z oborů mechanika, elektrotechnika, materiály a technologie, v případě konfigurace firmwaru tiskárny i programování, při konfiguraci a používání tiskárny se dají demonstrovat i určité problémy z automatizace. Zkrátka stavba a následný provoz 3D tiskárny zasahuje do velkého množství technických předmětů a dá se říci, že se 3D tiskárna dá využít jako reálný a praktický příklad v drtivém množství technických předmětů vyučovaných na střední škole technického směru.

To jsme zatím u pouhé stavby 3D tiskárny. Další kapitolou je provoz 3D tiskárny. I zde se nabízí velké množství příležitostí při uplatnění ve výuce. 3D tiskárna vyžaduje pro svůj provoz data, která se vygenerují některým z dostupných slicerů. Dále je obrovskou příležitostí podpora výuky 3D modelování a tím související podporou rozvíjení prostorové představivosti. Pro žáky je obrovskou motivací, že co o hodině vymodelují mohou další hodinu vytisknout a popřípadě si odnést domů. Další možností je použití 3D tiskárny i v oborech výtvarných, kdy tiskárna umožňuje vytisknutí studentských prací nebo návrhů za poměrně příznivou cenu a přenést tak vytvořené dílo z obrazovky monitoru do reálného světa.

V neposlední řadě se nabízí i možnost tvorby didaktických a názorných pomůcek, tím i snížení nákladů školy na tyto pomůcky. Jedinou překážkou při tvorbě takových pomůcek je učitelova představitost, inspirace a dovednosti s některým z modelovacího softwaru. Když se nad obrovskými možnostmi zamyslíme, je s podivem, že nejsou 3D tiskárny zatím až tak masově rozšířeny a používány ve výuce.

## 4 MONTÁŽ 3D TISKÁRNY

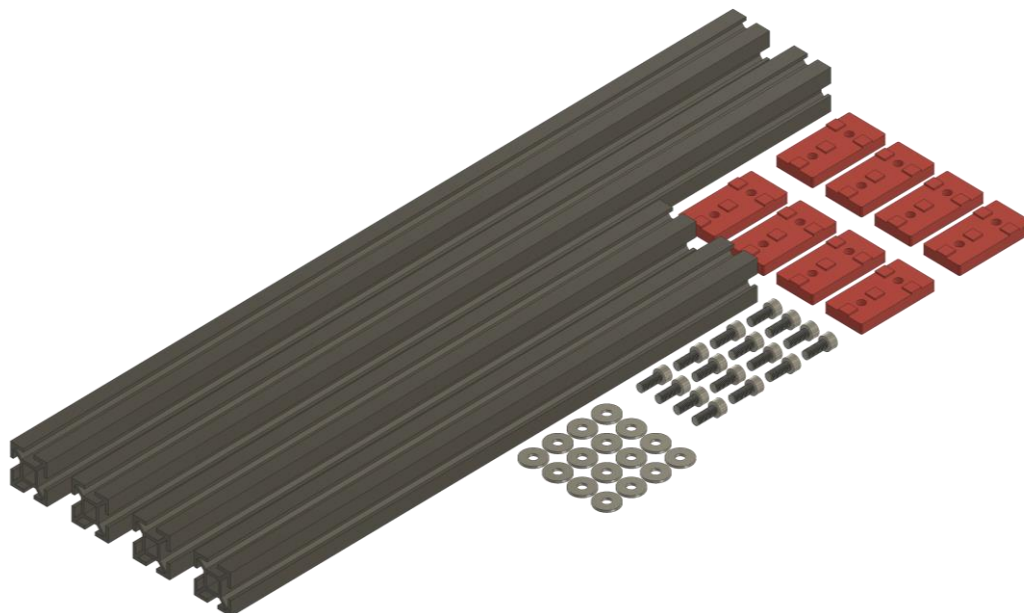
Ve čtvrté kapitole se budeme zabývat sestavením 3D tiskárny. Kapitola obsahuje jednotlivé kroky sestavení tiskárny. Můžeme postupovat i v jiném pořadí, ale při stavbě prvního kusu tiskárny nebo úplně první tiskárny je podrobnější návod velkým pomocníkem. Oproti logickému postupu je záměrně vynechána montáž vyhřívané podložky, krabičky pro montáž řídicí elektroniky a koncových prvků energetických řetězů a některých dalších komponentů. U těchto komponentů by hrozilo poškození nebo by při montáži mohly překážet vodiče, které z těchto komponentů vedou. Komponenty budou namontovány až nakonec.

### 4.1 Osa Y

Rám osy Y obsahuje vyhřívanou podložku, krokový motor, napínák řemene Y, koncový spínač osy Y a celkem 3 koncové prvky pro energetické řetězy os Y, X a Z.

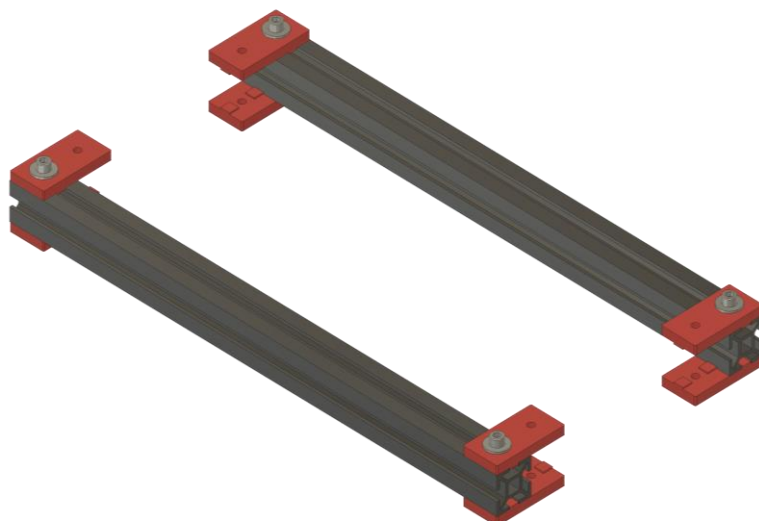
Obrázkový průvodce popisuje sestavení celého rámu osy Y včetně rozměrů, které je nutné dodržet. Zvláště důležité je přesné sestavení hliníkových profilů pod pravým úhlem a dodržení přesných vzdáleností vodících tyčí osy Y. Při nepřesném sestavení v lepším případě nebude tiskárna schopna tisknout pravé úhly, v horším případě budou lineární ložiska osy Y klást zvýšený odpor při pohybu. To může vést ke zvýšenému namáhání lineárních ložisek a tím k rychlému opotřebení. V neposlední řadě také ke snížené kvalitě výsledného tisku. Před zahájením montáže je vhodné nejdříve do profilů navléci profilové matice v počtech uvedených na obrázcích 160 a 161 a během celé další montáže hlídat jejich počty na stranách profilů.

#### 4.1.1 Rám osy Y



**Obr. 4 Komponenty pro sestavení rámu osy Y**

Jednotlivé komponenty z obrázku 4 sestavíme podle obrázků 5, 6 a 7. Soupis materiálu je na obrázku 133. Všechny šrouby M6×16 zatím dotáhneme jen lehce, aby bylo možné rám vyrovnat. Přesné vyrovnání rámu do pravého úhlu je zásadní, s tímto úkonem si dáme čas a rám pečlivě vyrovnáme.



**Obr. 5 Sestavení rámu Y krok 1**

Na kratší profily (Obr. 133, Pos. 2) našroubujeme spojky rohů **Yframeconnect** (Obr. 133, Pos. 1) přesně jako na obrázku 5. Celkem tedy 8 kusů těchto dílů. Dbáme na to, aby spojky byly přesně na okrajích profilů.



**Obr. 6 Sestavení rámu Y krok 2**

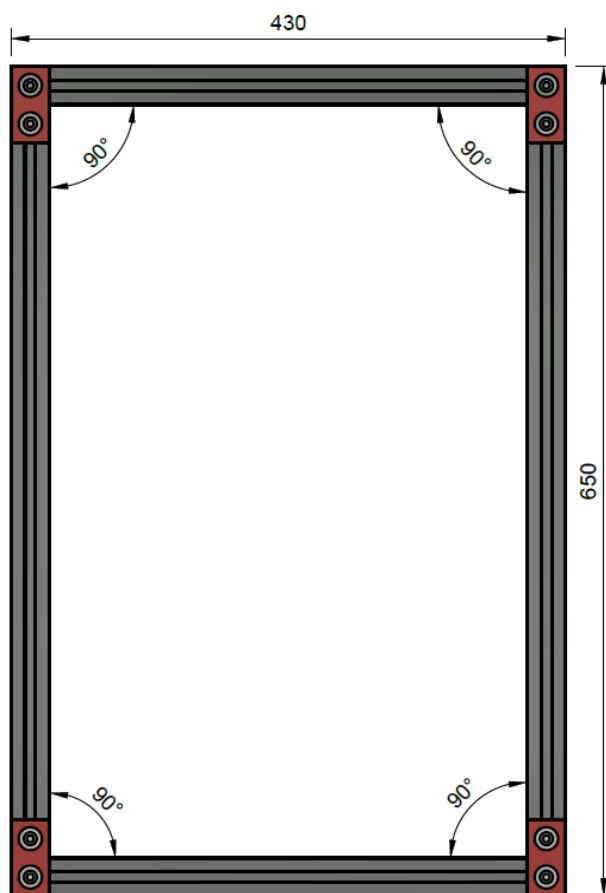
Na jednu ze sestavených částí z obrázku 5 přišroubujeme 2 kusy nejdelších profilů (Obr. 133, Pos. 2), dbáme, aby nejdelší profily co nejtěsněji doléhali na kratší profil a mezi spoji nebyly žádné mezery. Šrouby na nejdelších profilech lehce dotáhneme.

Posledním krokem pro sestavení rámu je montáž zbývajících kratšího profilu z obrázku 5. Rám si postavíme na stůl, aby volné konce nejdelších profilů směřovaly směrem nahoru a zbývajících krátký profil nasuneme, výsledná sestava se nachází na obrázku 06. Opět dbáme, aby ve spoji nebyly mezery a lehce dotáhneme šrouby držící delší profily.



**Obr. 7 Sestavení rámu Y krok 3**

Na závěr rám přesně vyrovnáme do pravého úhlu viz obrázek 08 a pohlídáme také, aby rám nebyl zkroucený tzv. do vrtule. Použijeme úhelnici nebo vhodný úhloměr, pomocnou informací může být i vzdálenost mezi okraji profilů. V tomto případě profily musí být rovnoběžné s přesnými vzdálenostmi podle obrázku 8. Po vyrovnaní rámu šrouby s citem utáhneme a ještě jednou překontrolujeme pravoúhlost rámu.



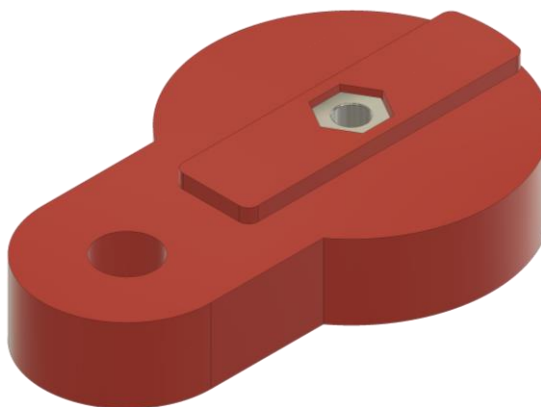
**Obr. 8 Vyrovnání rámu Y**

#### 4.1.2 Nožky rámu



*Obr. 9 Komponenty pro sestavení nožek rámu*

Nožky sestavíme z komponentů z obrázku 9 soupis materiálu je na obrázku 134. Do dílu **leg** (Obr. 134, Pos. 2) namáčkneme matice M3 podle obrázku 10. Matice by měly jít namáchnout lehce.



*Obr. 10 Noha - namáčknutí matic M3*

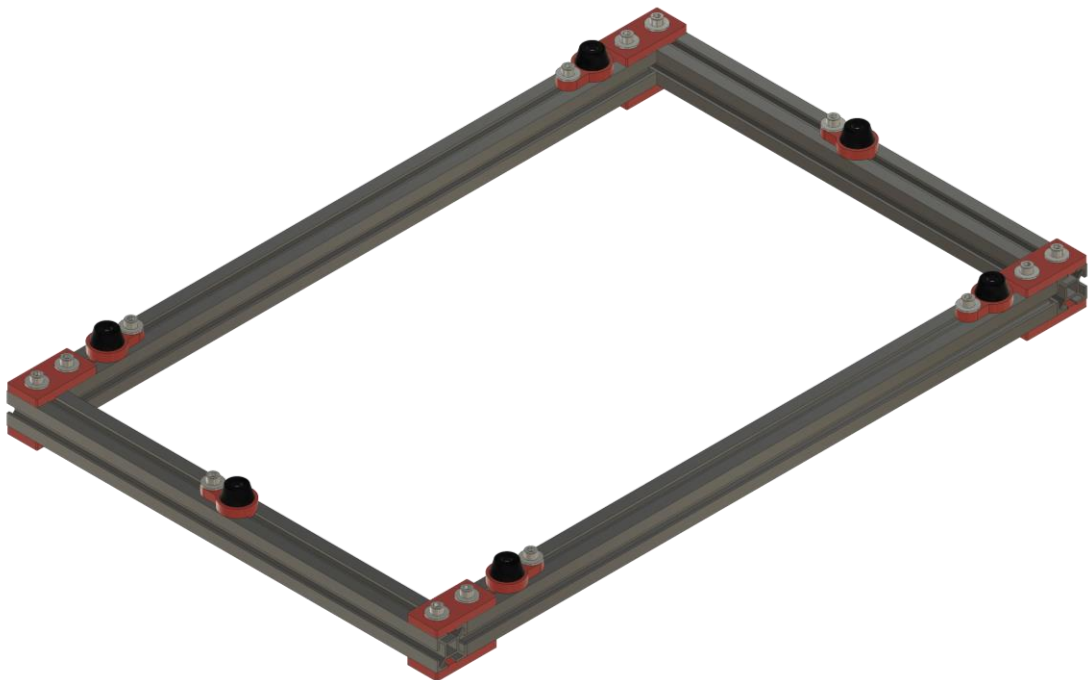
Následně přišroubujeme gumové zarážky (Obr. 134, Pos. 1) na díl **leg** podle obrázku 11. Pod šroubem M3×16 je podložka! Šrouby nedotahujeme velkou silou, aby nedošlo k deformaci gumového dílu.





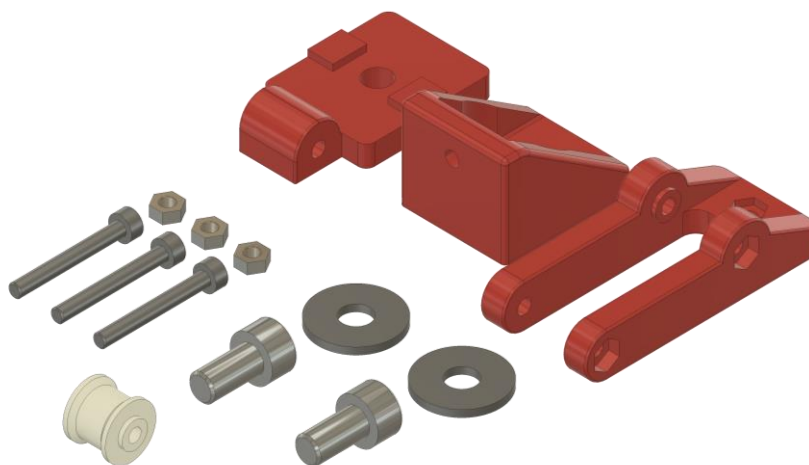
**Obr. 11 Montáž gumových nožek**

V posledním kroku přišroubujeme nožky na spodek rámu osy Y za pomoci šroubů M6×16. Přibližné rozložení je na obrázku 12, nožky na kratších profilech jsou přibližně v polovině kratších profilů. Nožky na delších profilech dotáhneme, na kratších profilech zatím šrouby M6 nedotahujeme, je možné, že s nimi později budeme lehce pohybovat.



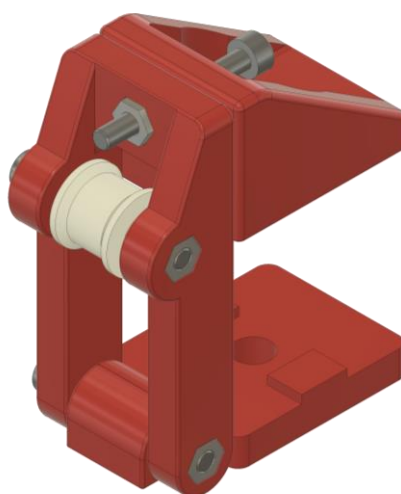
**Obr. 12 Rozmístění nožek rámu**

### 4.1.3 Napínák řemene a motor Y



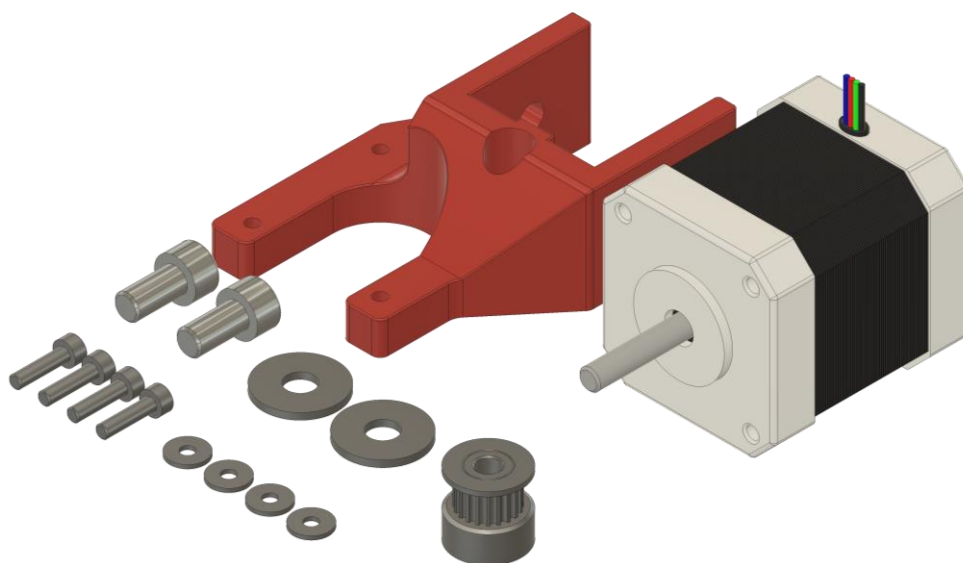
**Obr. 13** Komponenty Napínáku Y

Napínák sestavíme z komponentů na obrázku 13, soupis materiálu je na obrázku 135. Napínák společně s motorem Y přijde přimontovat na rám Y.



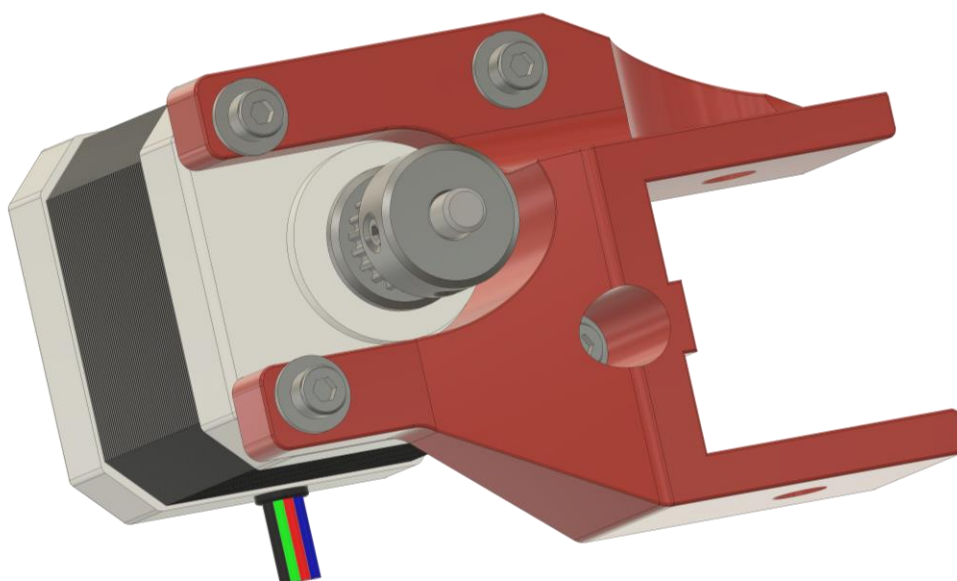
**Obr. 14** Sestavený napínák řemene Y

Po dílu **Ybeltlever** (Obr. 135, Pos. 3) namáčkneme matice M3 a spojíme s dílem **Ybeltensionerbottom** (Obr. 135, Pos. 1) šroubem M3×25. Spoj musí umožňovat pohyb, utáhneme s citem. Dalším krokem je montáž řemenice **Zedexpulley** (Obr. 135, Pos. 8) pomocí šroubu M3×25. Řemenice se musí volně otáčet, utahujeme s citem. V případě nepřesnosti dílu **Ybeltlever** upravíme pilníkem výstupky na dílu. Posledním krokem je montáž dílu **Ybeltensionertop** (Obr. 135, Pos. 2). Použijeme šroub M3×25 a spojíme s dílem **Ybeltlever**. Šroub zašroubujeme do matice přibližně do vzdálenosti 5 mm. Postup montáže zachycuje obrázek 14. Šrouby M6×12 a podložky 6,4 si přichystáme pro montáž na rám Y.



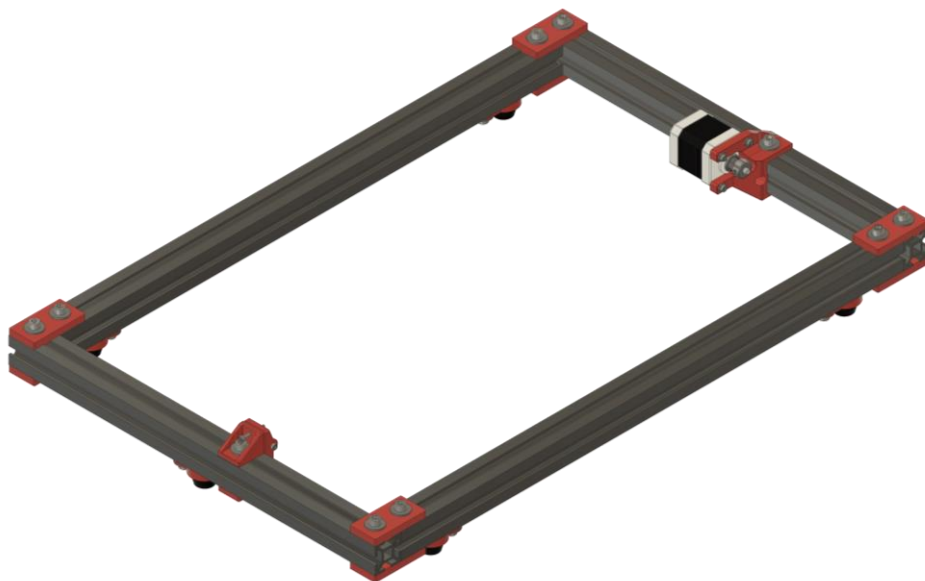
**Obr. 15** Komponenty motor Y

Motor Y sestavíme z komponentů na obrázku 15, soupis materiálu je na obrázku 136.



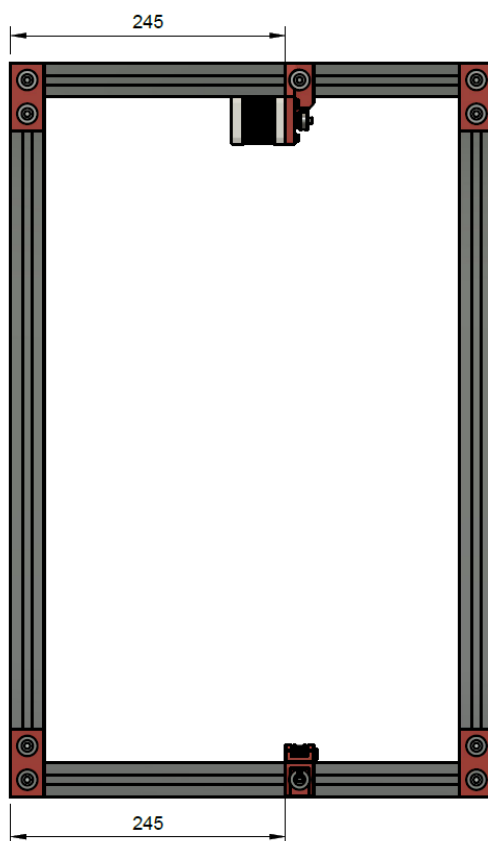
**Obr. 16** Sestava motoru Y

Motor Y sestavíme podle obrázku 16. Pod šrouby M3×12 jsou podložky 3,2. Vývody krokového motoru vedou dolů. Řemenici **GT2 20z** (Obr. 136, Pos. 8) nastrčíme na hřídel motoru a lehce dotáhneme tak, aby byl červ na řemenici proti plošce na hřídeli motoru. Poloha řemenice na hřídeli se bude nastavovat později podle polohy řemene.



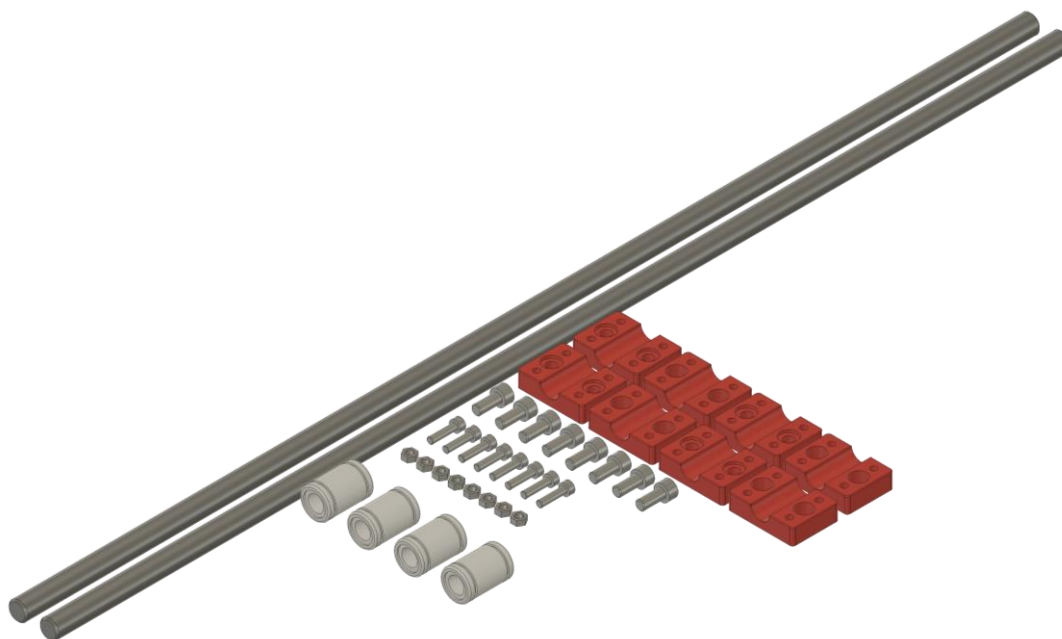
**Obr. 17 Umístění motoru a napínaku na rámu Y**

Motor Y a napínák řemene přišroubujeme šrouby M6×12 pod kterými jsou podložky na rám Y dle obrázku 17. Upravíme vzdálenost obou dílů podle obrázku 18. Nožky rámu nejsou z předchozích kroků dotažené, lze jimi pohybovat v případě kolize s díly. Dotáhneme nožky a veškeré šrouby M6 na právě přimontovaných dílech.



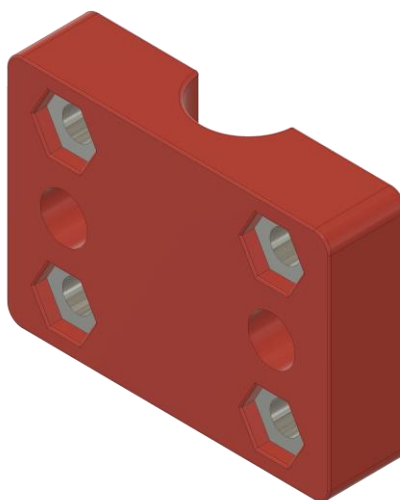
**Obr. 18 Vzdálenost od rámu Y**

#### 4.1.4 Tyče pojezdu Y



**Obr. 19** Komponenty tyčí Y

Vodící tyče pojezdu Y sestavíme z komponentů na obrázku 19. Soupis materiálu je na obrázku 137. Vodící tyče přijdou namontovat na rám Y.



**Obr. 20** Spodní díl držáku vodících tyčí Y

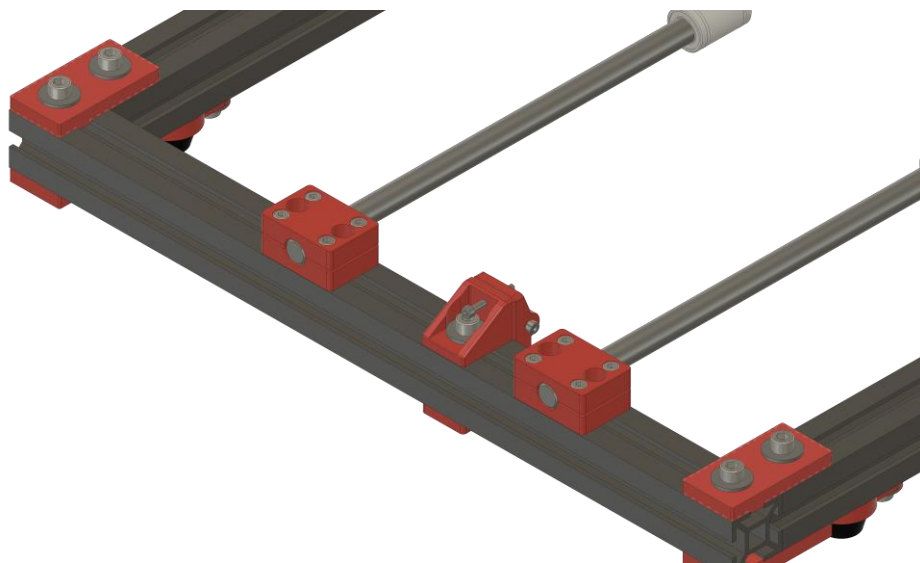
Připravíme si celkem 4 kusy dílu **Yrodholderbottom** (Obr. 137, Pos. 1). Do šestihranů přijdou namáčknout matice M4 dle obrázku 20. Šestihrany jsou poměrně těsné, matice mohou jít vložit celkem těžko. V tomto případě matice lehce nahřejeme a zamáčkneme.

V dalším kroku si připravíme vodící tyče Y (Obr. 137, Pos. 6). Na tyče nasuneme lineární ložiska LM12UU (Obr. 137, Pos. 8), na každou tyč 2 kusy ložisek. Při nasouvání ložisek postupujeme velice opatrně, ložiska musí jít na tyč nasunout velmi lehce a ideálně s ložiskem neotáčíme během nasouvání na tyč. V případě, že se ložisko budeme pokoušet nasunout na hřídel velkou silou nebo ložisko nebude v ose tyče, může dojít k vytlačení miniaturních kuliček z oběžných drah ložiska.



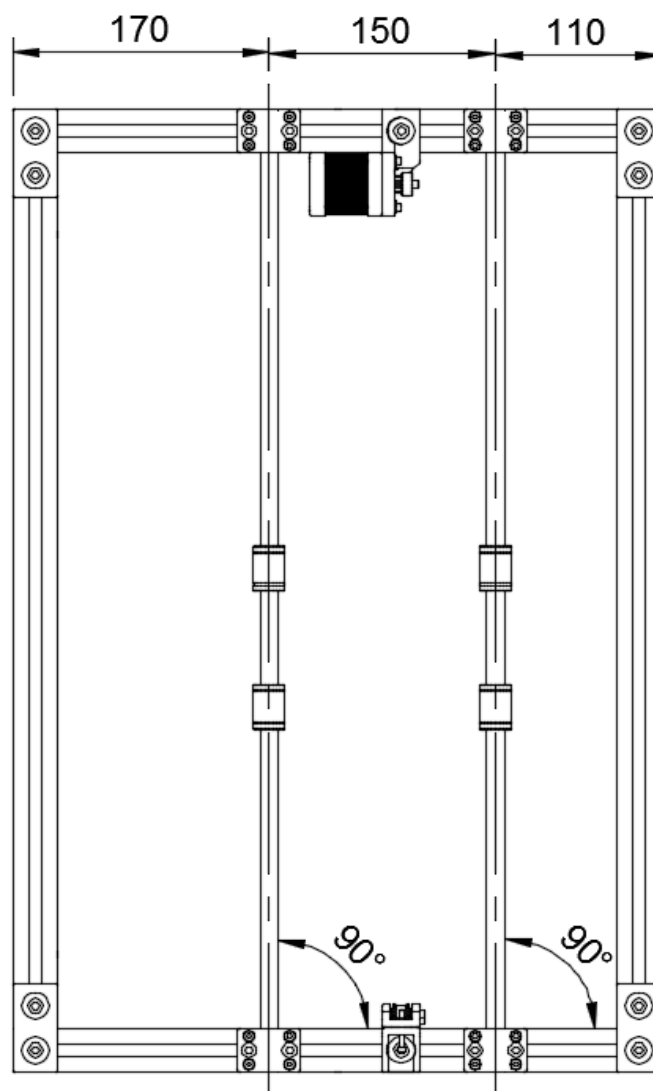
**Obr. 21 Umístění vodících tyčí Y na rám Y**

Dále postupujeme podle obrázku 21. Přišroubujeme předmontované díly **Yrodholderbottom** šrouby M6×14 na rám Y přibližně jako na obrázku 21. Šrouby M6×14 zatím nedotahujeme, budeme s vodícími tyčemi ještě pohybovat. Jako další krok přišroubujeme na obou stranách horní části držáků tyčí Y. Jedná se o díly **Yrodholdertop** (Obr. 137, Pos. 2) za použití šroubů M4x16 dle detailu na obrázku 22 a šrouby s citem dotáhneme.



**Obr. 22 Sestavení držáků tyčí osy Y**

Posledním nejdůležitějším krokem je přesné seřízení vodících tyčí. Tyče musí být seřizeny co nejpřesněji, na tomto kroku velmi závisí plynulost celého pojezdu Y. Tyče vyrovnáme podle obrázku 23.

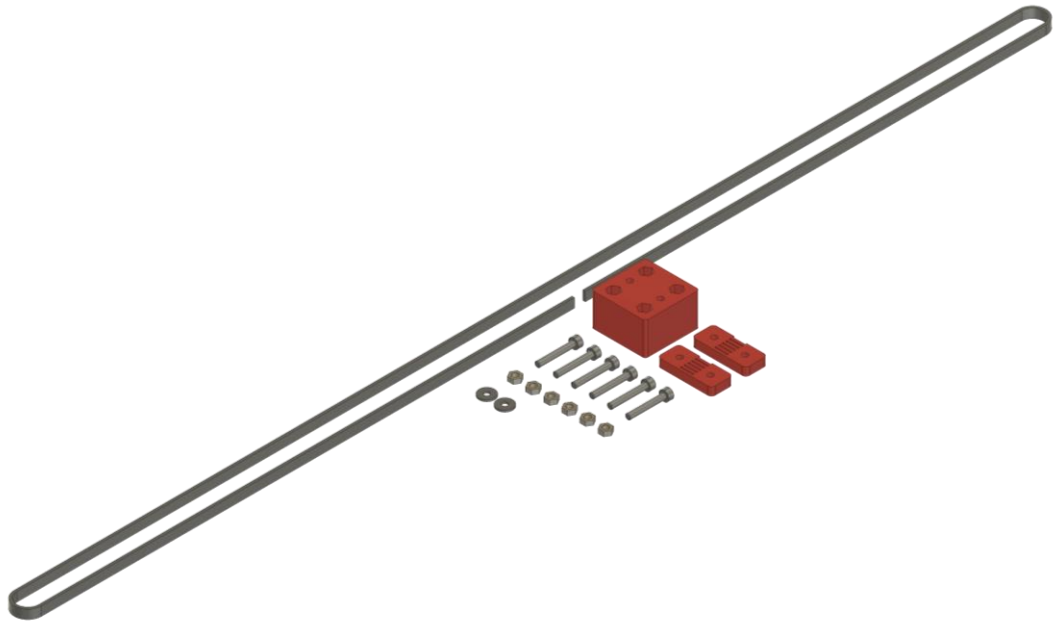


**Obr. 23** Vyrovnání vodících tyčí osy Y

Tyče musí být vzájemně rovnoběžné a zároveň rovnoběžné s rámem dle rozměrů na obrázku 23. Můžeme si pomoci dopočítáním rozměrů. Mezi tyčemi z vnitřní strany měříme 138 mm, z vnější strany 162 mm. Obdobně můžeme pro zjednodušení práce dopočítat vzdálenosti mezi tyčí a rámem. Po srovnání tyčí s citem dotáhneme šrouby M6 na držácích vodících tyčí a znovu překontrolujeme dodržení rozměrů. V případě rozhození rozměrů během utahení lehce povolíme šrouby M6 a tyče srovnáme. Při jemném doladování rozměrů si můžeme pomoci gumovou paličkou, velice lehké údery míříme na kraje vodících tyčí nebo držáky tyčí, **nikdy** doprostřed tyčí.

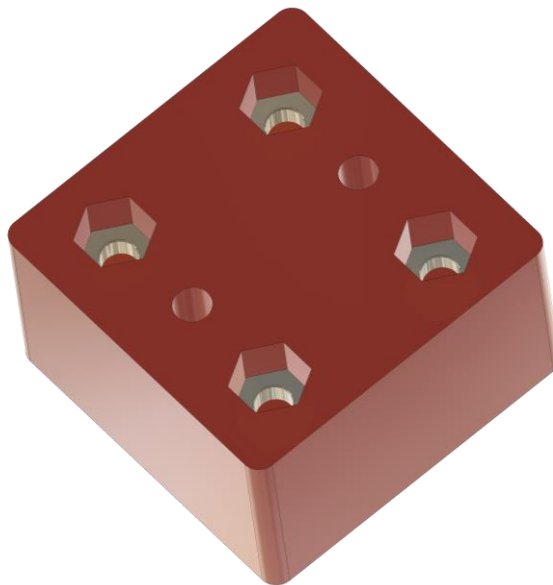
#### 4.1.5 Řemen osy Y

Řemen osy Y sestavíme z komponentů na obrázku 24. Soupis materiálu je na obrázku 138.



**Obr. 24** Komponenty pro sestavení řemenu osy Y

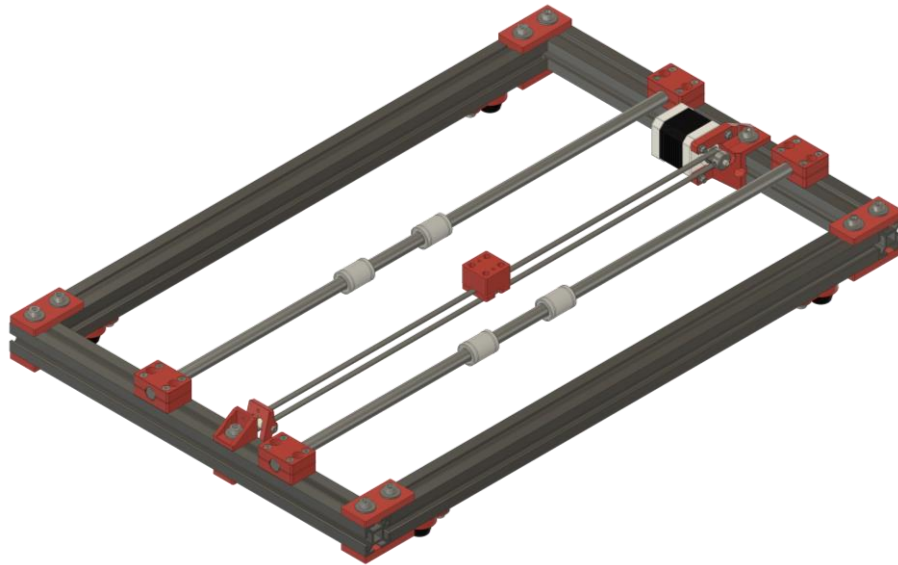
Do dílu **Ybeltbase** (Obr. 138, Pos. 2) namáčkne 4 kusy matic M3 do šestihranů viz obrázek Obr. 25. Šestihrany jsou přesné, matice půjdou namáchnout těžko. Matice můžeme lehce nahřát a nahřáté namáchnout do dílu.



**Obr. 25** Namáčknutí matic M3 do dílu Ybeltbase

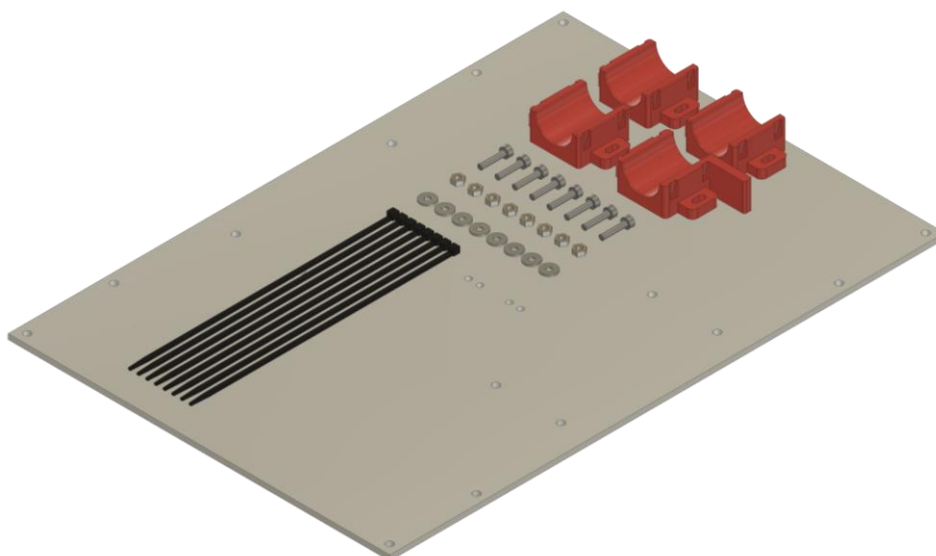


Řemen GT2 protáhneme přes řemenici napínáku řemene Y. U napínáku odstraníme napínací šroub M3×25. Na volné konce řemenu připevníme předmontovaný díl **Ybeltbase** pomocí svorek **Ybeltclamp** (Obr. 138, Pos. 3) a 4 kusy šroubů M3×20. Drážkování na svorkách přijde proti zubům řemenu. Následně řemen navlékneme na řemenici na krokovém motoru a do napínáku opět namontujeme napínací šroub M3×25. Řemenice na krokovém motoru je z předchozích kroků nezajištěná. Řemenici na krokovém motoru nastavíme tak, aby řemen byl rovnoběžně s vodícími tyčemi a utáhneme zajišťovací červ na řemenici. Dbáme, aby zajišťovací červ byl proti drážce na hřídeli krokového motoru. Zbylý spojovací materiál schováme na další kroky stavby.



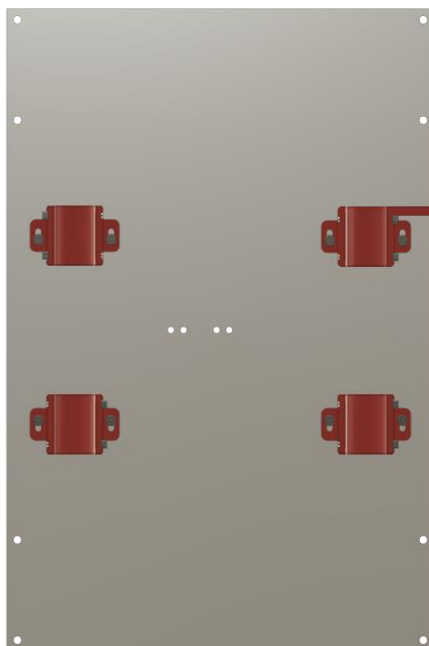
*Obr. 26 Sestavení řemene osy Y*

#### 4.1.6 Stolek osy Y



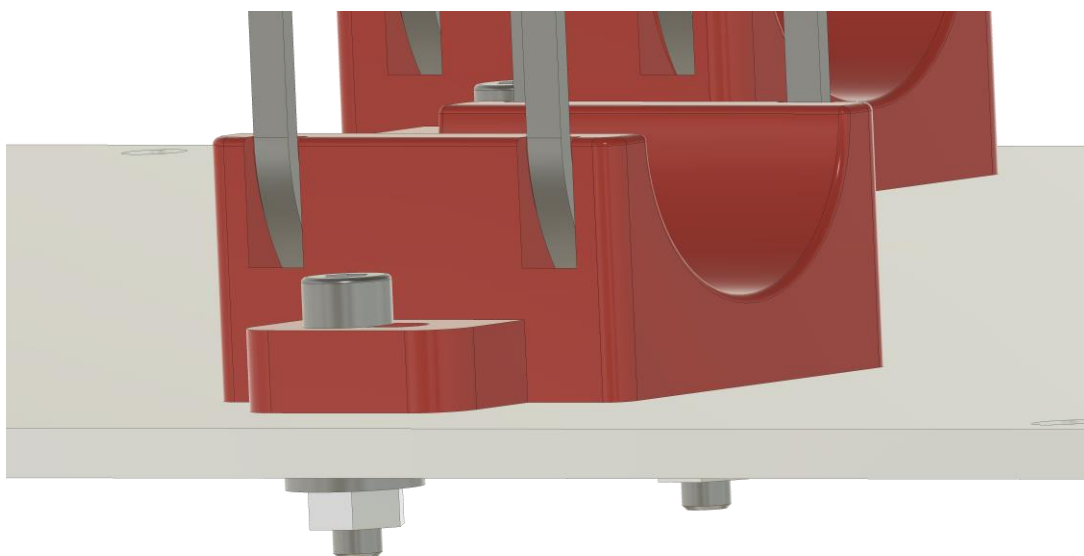
*Obr. 27 Komponenty pro sestavení stolku osy Y*

Pro sestavení stolku osy Y si připravíme komponenty na obrázku 28. Soupis materiálu je na obrázku 139.

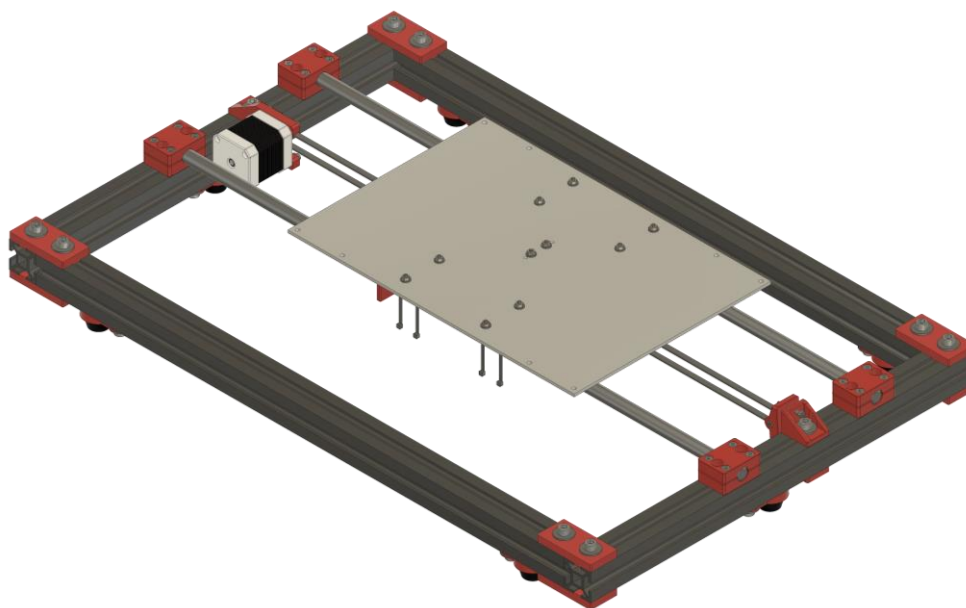


**Obr. 28** Stolek osy Y s držáky lineárních ložisek

Díly **YLM12Ucarry** (Obr. 139, Pos. 1) a **YLM12Ucarrystop** (Obr. 139, Pos. 2) přišroubujeme na hliníkovou desku **Bedbackplate** (Obr. 139, Pos. 7) pomocí celkem 8 kusů šroubů M3×16. Pod maticemi M3 jsou podložky viz detail na obrázku 29. Během montáže dbáme na pořadí dílů přesně podle obrázku 28. Šrouby M3 nedotahujeme, spojení by mělo zatím umožnit pohyb držáků v rámci rozsahu drážek v dílech. Do dílů si nakonec provlékneme celkem 8 kusů stahovacích pásek, které budou držet stolek na lineárních ložiskách.

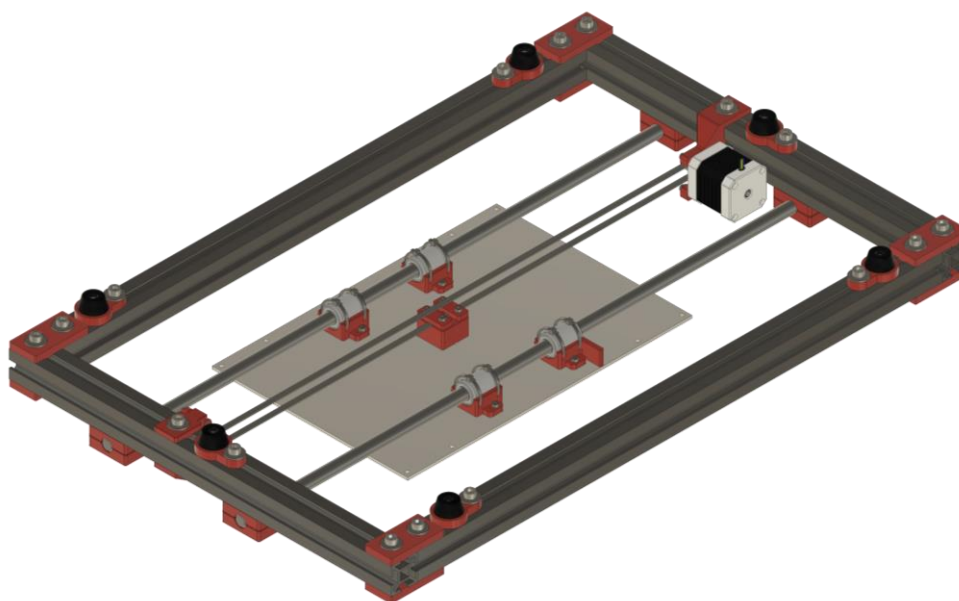


**Obr. 29** Detail uchycení držáku lineárního ložiska



**Obr. 30 Umístění stolu Y na rámu Y**

Následně položíme stolec Y na lineární ložiska na vodících tyčích podle obrázku 30. Následně začneme stahovat pásy, dbáme, aby lineární ložiska přesně seděla v držácích a nikde nepřesahovala viz obrázek 31. Stahovací pásy by měly přesně vycházet na zápichy na těle ložiska. Nakonec odstříháme všechny volné konce stahovacích pásků.



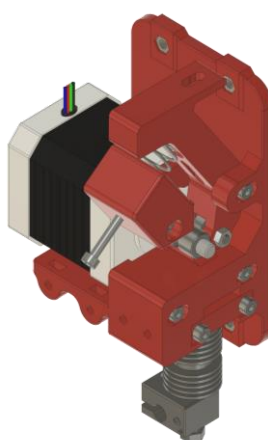
**Obr. 31 Stolec Y připevněný na rámu tiskárny**

Následně všechny držáky ložisek nastavíme na doraz tak jako na obrázku 28 a všech 8 šroubů M3 lehce utáhneme. Následně vyzkoušíme plynulost pohybu osy Y. Otestujeme, zda jde se stolcem volně pohybovat v celé délce osy Y. V případě, že stolec bude vykazovat velký odpor při pohybu, lehce povolíme šrouby M3 na držácích ložisek a nyní vyzkoušíme pohyb a několikrát se stolcem přejedeme tam a zpět po celé délce osy Y. V tomto stádiu by mělo jít stolcem volně pohybovat a v tom případě opět utáhneme

všech 8 šroubů M3. V případě, že stolkem nelze volně pohybovat, zkontrolujeme seřízení tyčí osy Y popisované v kapitole 4.1.4. Posledním krokem je připevnění dílu **Ybeltbase** na stolek pojezdu Y. Použijeme spojovací materiál, který nám zbyl z kapitoly 4.1.5. Pod matkami na šroubech M3×20 jsou podložky.

## 4.2 Extrudery

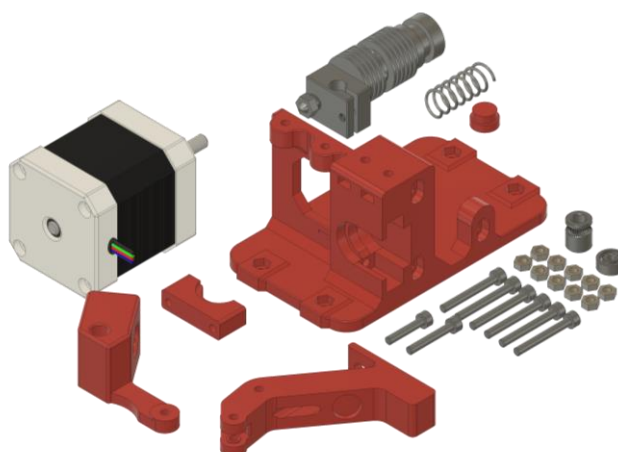
Extrudery jsou řešeny jako odnímatelné a umožňují výškové nastavení extruderů bez použití hotendů s posuvným heatbrake. Dále řešení umožňuje nahrazení extruderu například laserem nebo jiným druhem extruderu. Oba extrudery jsou identické konstrukce s přímým náhonem. Kapitola bude popisovat sestavení extruderu z osy X1. Extruder na ose X2 je zrcadlená kopie extruderu z osy X1 a sestavuje se stejně, zrcadlené jsou pouze 2 díly. Ostatní komponenty jsou identické. Nejprve pro představu uvedeme celý sestavený extruder na obrázku 32.



**Obr. 32 Extruder osy X1**

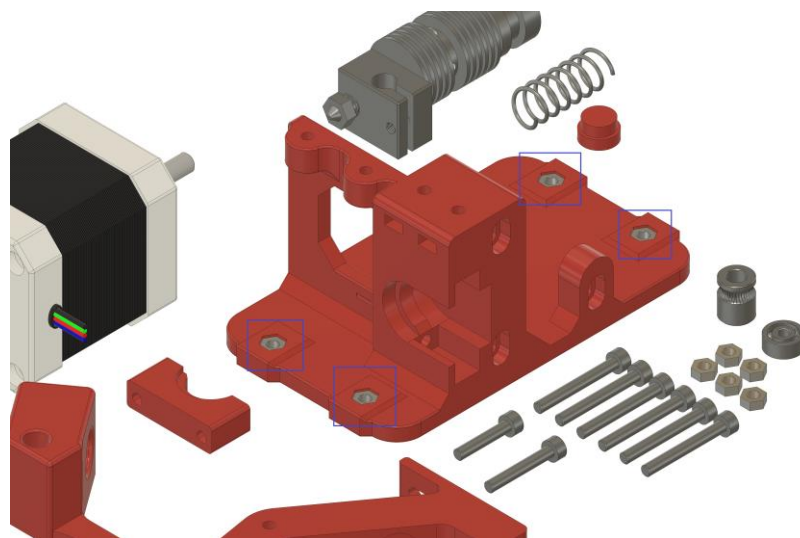
### 4.2.1 Extruder osy X1

Extruder osy X1 sestavíme z komponentů na obrázku 33. Soupis materiálu je na obrázku 140.



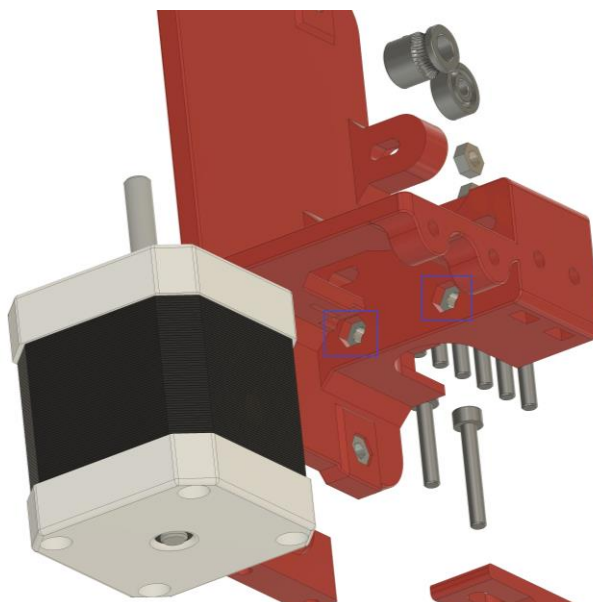
**Obr. 33 Komponenty extruderu osy X1**

Prvním krokem je osazení matic M3 podle obrázku 34. Celkem 4 kusy matic vložíme do šestihranů. Matice by měly jít vložit lehce, bez násilí.



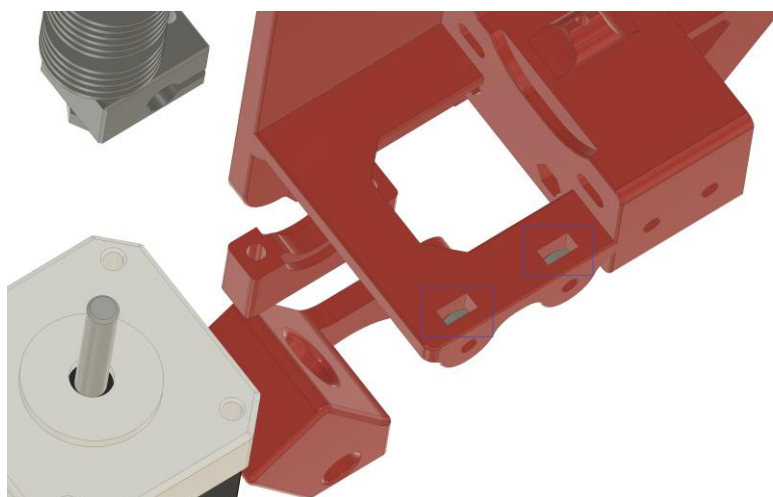
**Obr. 34 Vložení matic uchycení extruderu**

Dalším krokem je vlisování 2 kusů matic M3 do šestihranů podle obrázku 35. Tyto šestihrany jsou rozměrově těsné. Matice půjdou vložit poměrně těžce. Můžeme si pomoci dlouhým šroubem M3 nebo kusem závitové tyče M3. Matice našroubujeme na závitovou tyč nebo dlouhý šroub, lehce nahřejeme a pomocí kladiva s citem natlučeme do šestihranů. Matice musí být během natloukání orientovány stejně jako šestihran, v případě že matici pootočíme, hrozí roztržení dílu.



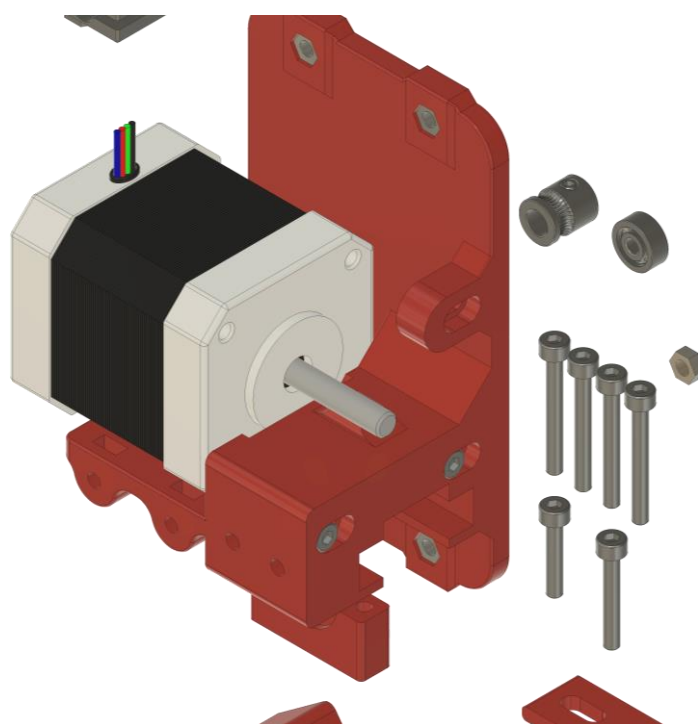
**Obr. 35 Vložení matic uchycení hotendu**

Dále 2 kusy matic vložíme do drážek, tak jako na obrázku 36. Matice by měly jít vložit lehce, můžeme si vypomoci šroubovákem.



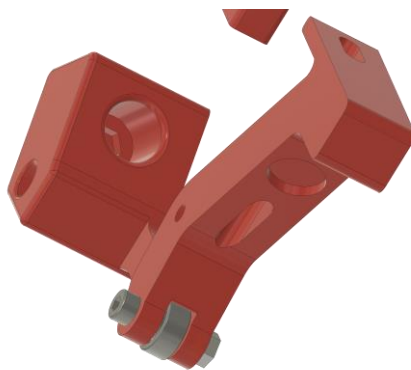
**Obr. 36 Vložení matic uchycení držáku svorkovnice**

Dále přišroubujeme krokový motor extruderu 1 šrouby M3×25. Šrouby M3×25 nedotahujeme. Překontrolujeme, zda jde s motorem pohybovat v rámci rozsahu oválných děr. Vývody motoru směřují nahoru viz obrázek 37.



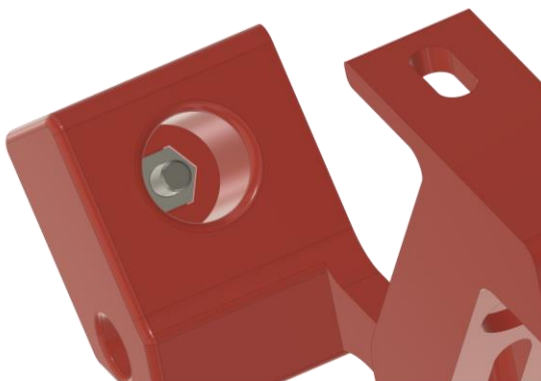
**Obr. 37 Krokový motor extruderu 1**

Připravíme si další komponenty před montáží na extruder. Jedná se o komponenty **espringknob** (Obr. 140, Pos. 12), **pressurelever** (Obr. 140, Pos. 4) a **springholder1** (Obr. 140, Pos. 3). Podle obrázku 38 vložíme ložisko 623 2Z. Ložisko by mělo být vloženo volně. V případě, že osazení jsou moc těsná, můžeme si pomoci pilníkem a oba výstupky lehce rovnoměrně obrousit, aby šlo ložisko vložít. Šroub M3×16 s citem dotáhneme a zkontrolujeme, zda se ložisko volně otáčí.



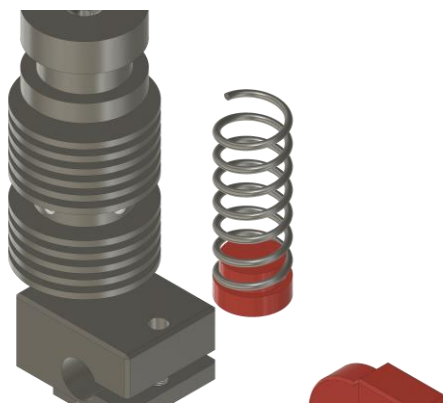
**Obr. 38 Přítlačná páka s ložiskem 623 2Z**

Do dílu **springholder** vložíme matici M3 podle obrázku 39 a do závitu našroubujeme šroub M3×25 a zašroubujeme do hloubky cca 5 mm.



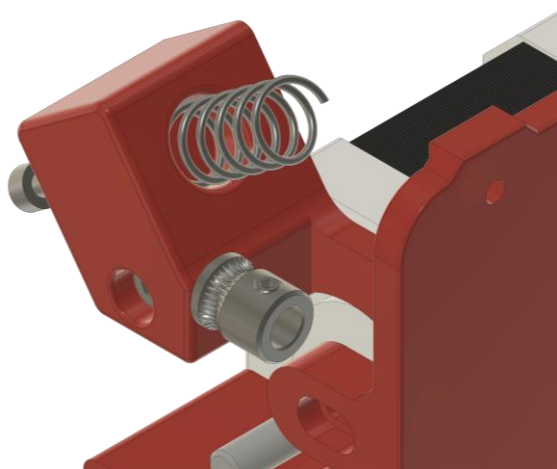
**Obr. 39 Držák přítlačné pružiny**

Dále si sestavíme přítlačnou pružinu dle obrázku 40. Na díl **springknob** našroubujeme přítlačnou pružinu. Tato operace může jít obtížně, pružina musí pevně držet na plastovém dílu.



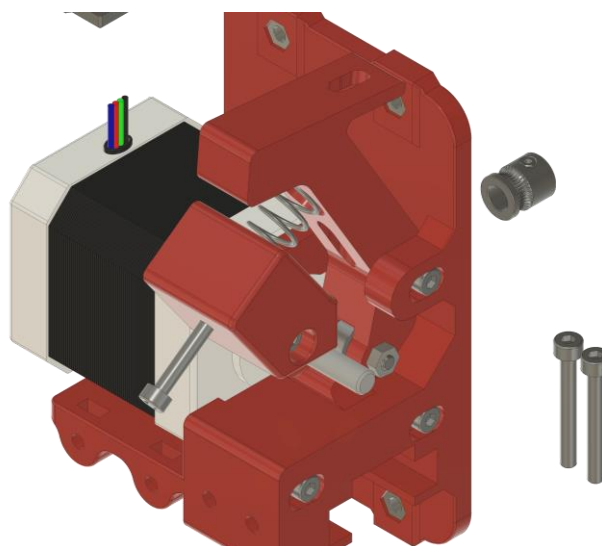
**Obr. 40 Sestava přítlačné pružiny**

Následně předmontované komponenty můžeme začít montovat na extruder. Začneme držákem pružiny. Do držáku vložíme pružinu a díl přišroubujeme šroubem M3×20 do osazení krokového motoru viz obrázek 41 a zatím neutahujeme.



**Obr. 41 Držák přítlačné pružiny přimontovaný na extruderu**

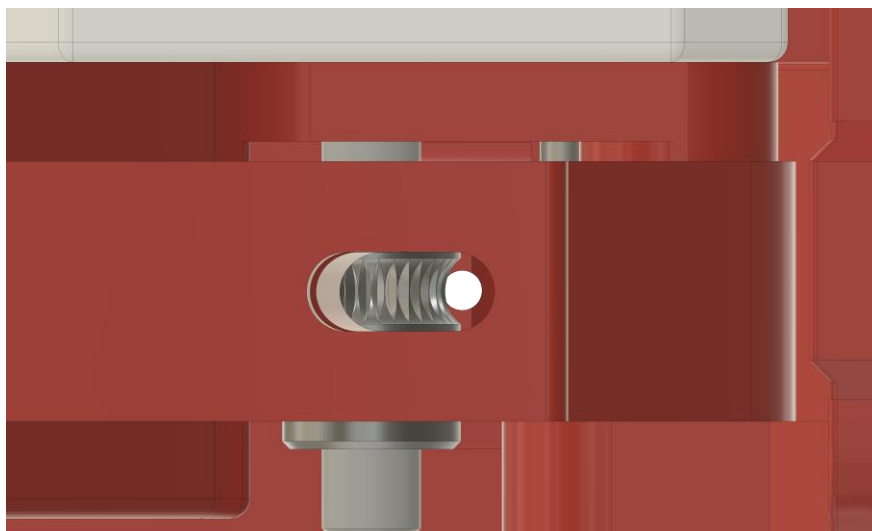
Dále si připravíme přítlačnou páku a vložíme jí přesně podle obrázku 42. Šroub M3×25 který drží přítlačnou páku, zatím neutahujeme. Při tomto kroku dbáme na to, aby přítlačná pružina seděla v držáku pružiny a také, aby seděla v osazení přítlačné páky. Nastavovací šroub pružiny zatím necháme tak jak je, přílišný tlak pružiny na páku by ztěžoval další montáž.



**Obr. 42 Přítlačná páka osazená na extruderu**

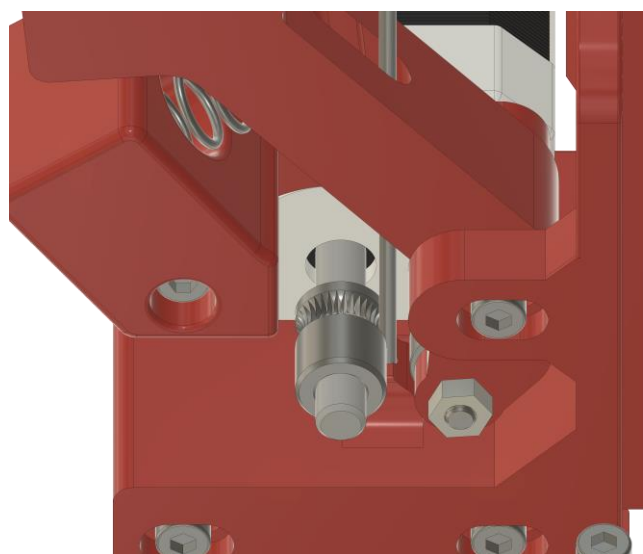
Pro další montáž si připravíme podávací kolečko MK8 (Obr. 140, Pos. 5) a kolečko nasadíme na hřídel motoru. Dáme si pozor na polohu zajišťovacího červu na kolečku, červ musí být proti drážce na hřídeli motoru. Pro usnadnění seřízení extruderu červ povolíme tak, aby se kolečko neprotáčelo volně na hřídeli motoru a červ byl proti drážce. Zároveň s kolečkem musí jít pohybovat po hřídeli. Kolečko nastavíme na hřídeli do polohy, aby drážkování bylo přibližně uprostřed díry v těle extruderu přesně jako na obrázku 43.





**Obr. 43 Nastavení podávacího kolečka**

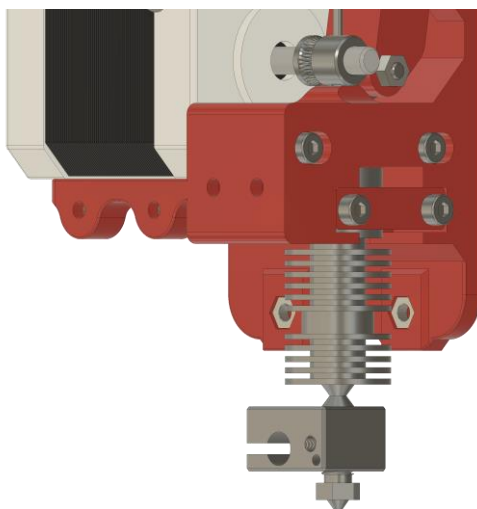
Dále si připravíme kus filamentu a zavedeme ho do těla extruderu jako na obrázku 44. V tomto kroku máme všechny šrouby, které drží krokový motor na extruderu nedotaženy, můžeme tedy krokovým motorem pohybovat v rámci rozsahu drážek. Filamentem ručně pohybujeme nahoru a dolů, tím se vystředí poloha podávacího kolečka. V tomto stádiu dotáhneme pojistný červ na podávacím kolečku. Dále nastavíme krokový motor v drážkách tak, aby filament procházel lehce bez výrazných deformací nad podávacím kolečkem. Po nastavení můžeme všechny 4 šrouby M3, které jsou našroubované v motoru dotáhnout. Šroub, který drží přítlačnou páku utáhneme s citem tak, aby se páka mohla pohybovat. Po dotažení šroubů se ujistíme, zda jde filament lehce zavést do extruderu.



**Obr. 44 Zavedený filament v extruderu**

Posledním krokem v montáži extruderu je montáž hotendu na extruder. Připravíme si zbylé 2 kusy šroubů M3×25 a díl **extruderclamp** (Obr. 140, Pos. 2). Hotend vsuneme do drážky a zajistíme ho dílem **extruderclamp**. Šrouby M3×25 s citem dotáhneme.

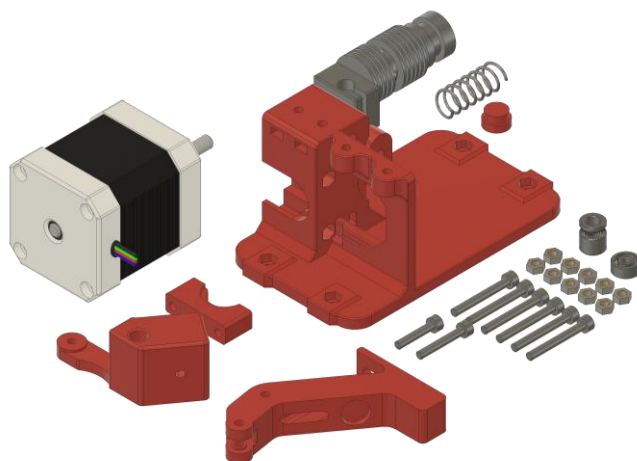
Následně znovu do extruderu zavedeme filament a ujistíme se, že jde filament volně vsunout až k trysce extruderu.



**Obr. 45 Hotend namontovaný na extruderu**

#### 4.2.2 Extruder osy X2

Extruder osy X2 sestavíme naprosto stejným způsobem jako extruder osy X1. Všechny komponenty jsou stejné, rozdílné jsou pouze díly **Extruder2body** (Obr. 141, Pos. 13) a **Springholder2** (Obr. 141, Pos. 14). Komponenty pro sestavení jsou na obrázku 46, Soupis materiálu je na obrázku 141.

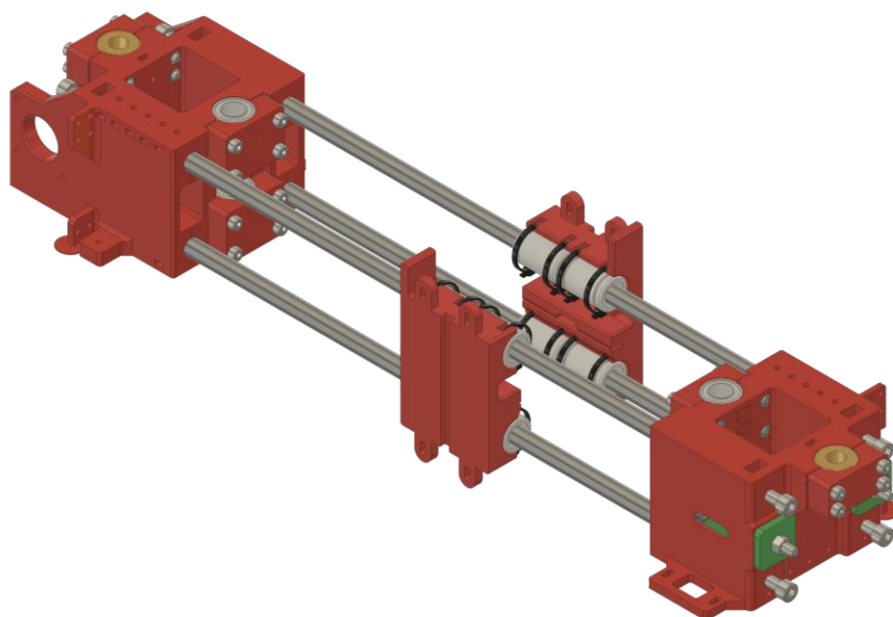


**Obr. 46 Komponenty pro sestavení extruderu osy X2**

#### 4.3 Osa X

V další kapitole přistoupíme ke stavbě osy X. Osa X nese extrudery, které byly popisovány v kapitole 4.2. Návod na sestavení osy bude rozčleněn do jednotlivých kapitol podle sledu montáže. Pro usnadnění manipulace nebudou některé součásti namontovány, hlavně kvůli usnadnění manipulace při další montáži. Zejména instalace extruderů by v tento okamžik znamenala zneprůjemnění manipulace s osou X, zejména

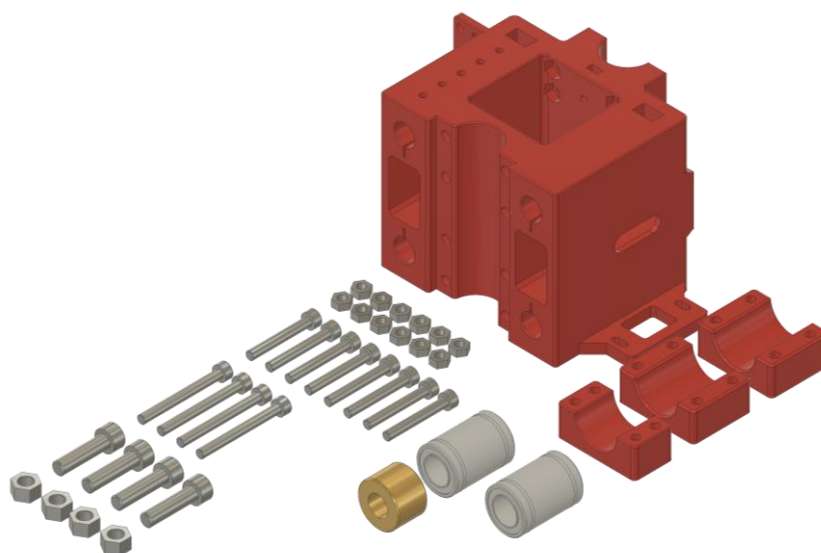
díky poměrně velkému množství vodičů. Na začátek kapitoly pro přehled uvedeme na obrázku 47 celkový výsledek montáže.



**Obr. 47 Sestavená osa X**

#### **4.3.1 Sestavení osy X - část s napínáky řemene**

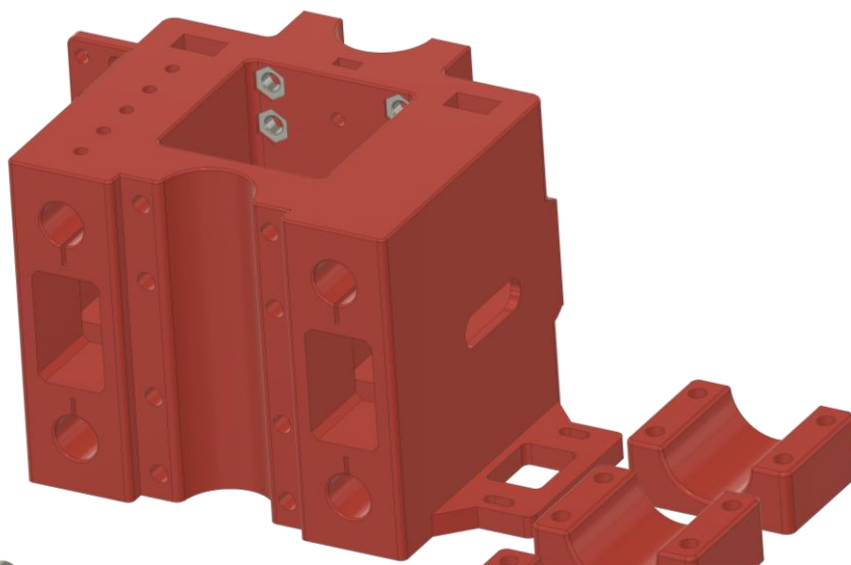
Základní část sestavíme z komponentů na obrázku 48. Soupis materiálu je na obrázku 142.



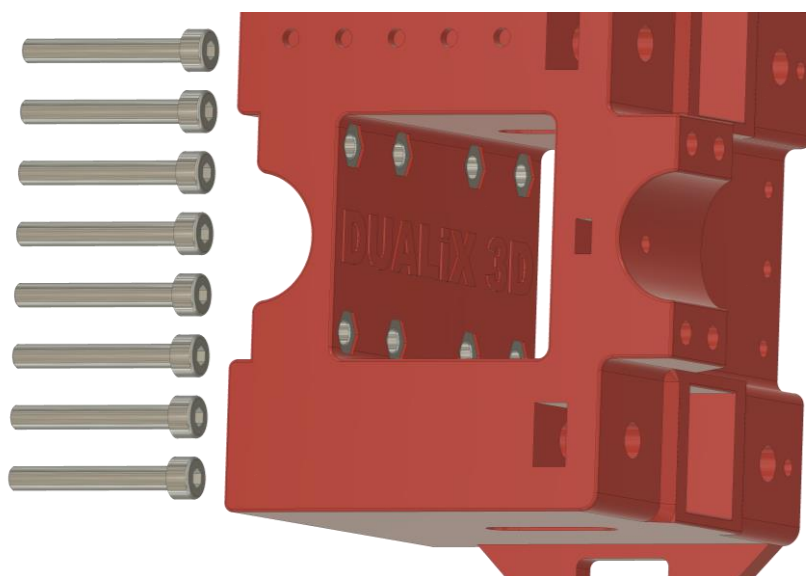
**Obr. 48 Komponenty pro sestavení osy X - část s napínáky řemene**

Nejprve zamačkáme celkem 12 kusů matic M4 do šestihranů v díle **Xbodytensioner** (Obr. 142, Pos. 2). Šestihrany jsou poměrně těsné a matky půjdou namáčkou tíž. Pomůžeme si jedním ze šroubů M4 z této operace. Postup montáže zachycují obrázky

49 a 50. Dáme pozor na směr matic při natlačování. Při nesprávném natočení matice může dojít k deformaci plastového dílu.

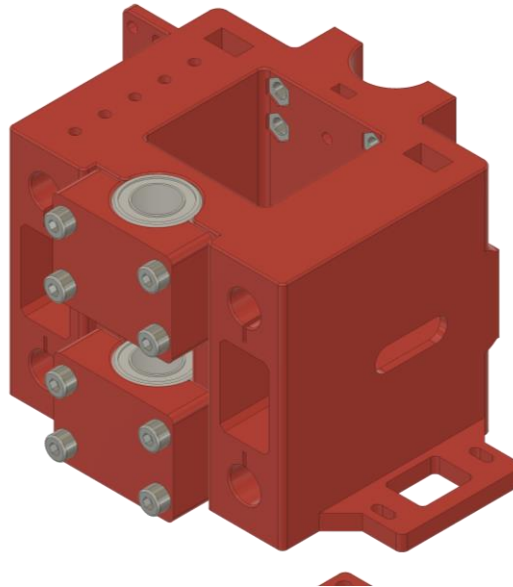


**Obr. 49 Matice M4 namáčknuté v díle**



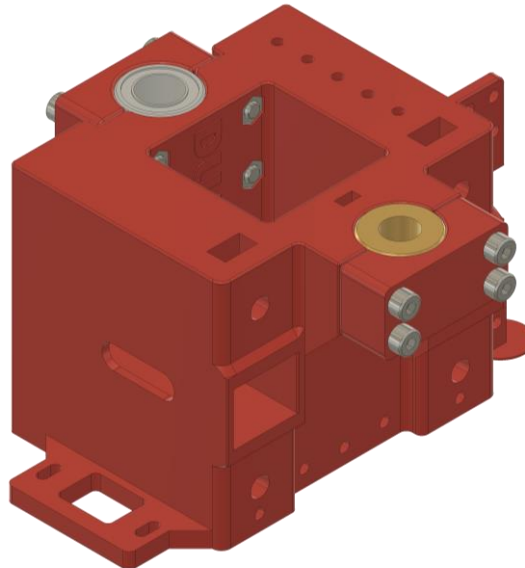
**Obr. 50 Matice namáčknuté v díle**

Dalším krokem je osazení dílu **Xbodytensioner** lineárními ložisky LM12UU. Ložiska slouží pro posun v ose Z. Ložiska vložíme do osazení a sevřeme je pomocí dílu **LM12Uzclamp** (Obr. 142, Pos. 6) celkem osmi šrouby M4×30. Šrouby nedotahujeme, pouze lehce zašroubujeme, aby lineární ložiska nevypadla z osazení. Výsledek operace je na obrázku 51.



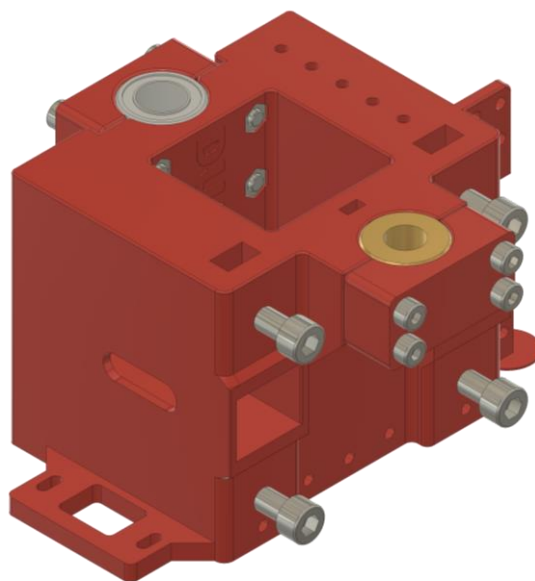
**Obr. 51 Osazení dílu Xbodytensioner lineárními ložisky**

Dále namontujeme bronzovou trapézovou matici (Obr. 142, Pos. 10) do osazení na druhé straně dílu. S pomocí 4 kusů šroubů M4×40 dílu **TR10clampdia21mm** (Obr. 142, Pos. 7) matici sevřeme. Šrouby s citem utáhneme. Umístění matice je zobrazeno na obrázku 52.



**Obr. 52 Umístění bronzové matice**

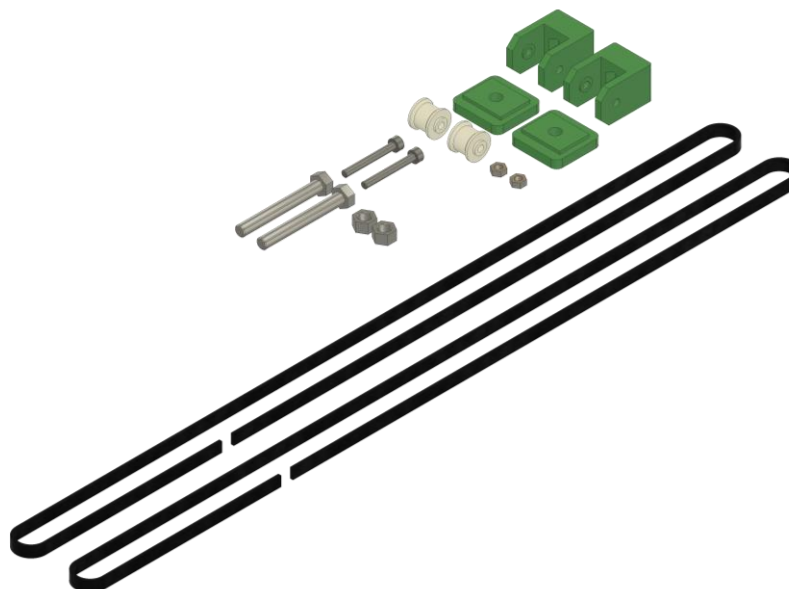
Posledním krokem je montáž dorazových šroubů pro tyče osy X. Do drážek v dílu **Xbodytensioner** nasuneme celkem 4 kusy matic M6. Matice by měly do drážky volně zapadnout a do děr našroubujeme zbylé šrouby M6×24. Šrouby nedotahujeme, pouze našroubujeme do matic viz obrázek 53.



*Obr. 53 Dorazové šrouby tyčí X*

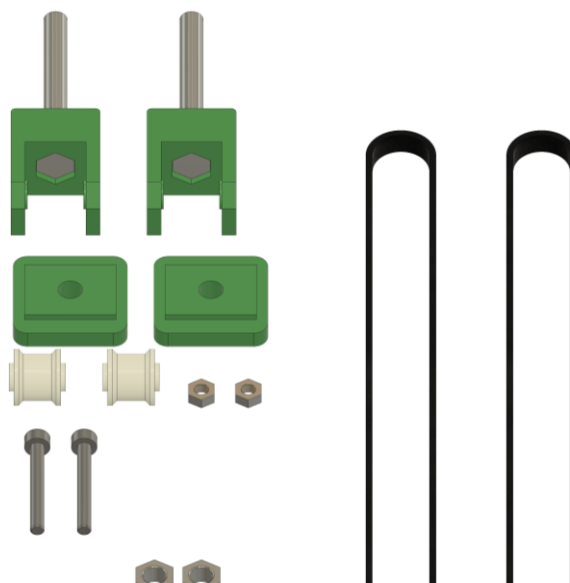
#### **4.3.2 Napínáky řemenů osy X**

Napínáky řemenů mají na starosti správné a snadné napínání řemenů. Řemeny se během jejich životnosti mohou lehce vytáhnout a právě tehdy přijde vhod možnost snadného napnutí. Pro usnadnění montáže je vhodné napínáky i s řemeny namontovat přesně v tuto chvíli. Napínáky se montují na celek z kapitoly 4.3.1, pro přehlednost jsou členěny zvlášť v podkapitole. Napínáky sestavíme z komponentů na obrázku 54, soupis materiálu je na obrázku 143.



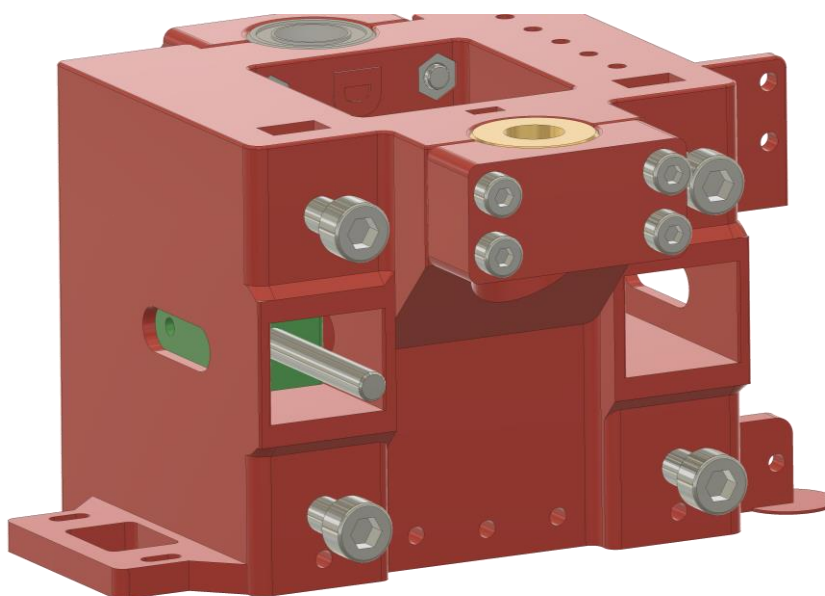
*Obr. 54 Komponenty pro sestavení napínáků řemenů osy X*

Do obou dílů **XPulleyholder** (Obr. 143, Pos. 1) natlačíme šrouby M5×40 přesně jako na obrázku 55, šestihrany jsou těsné. Hlavy šroubů můžeme lehce nahřát pro usnadnění montáže.



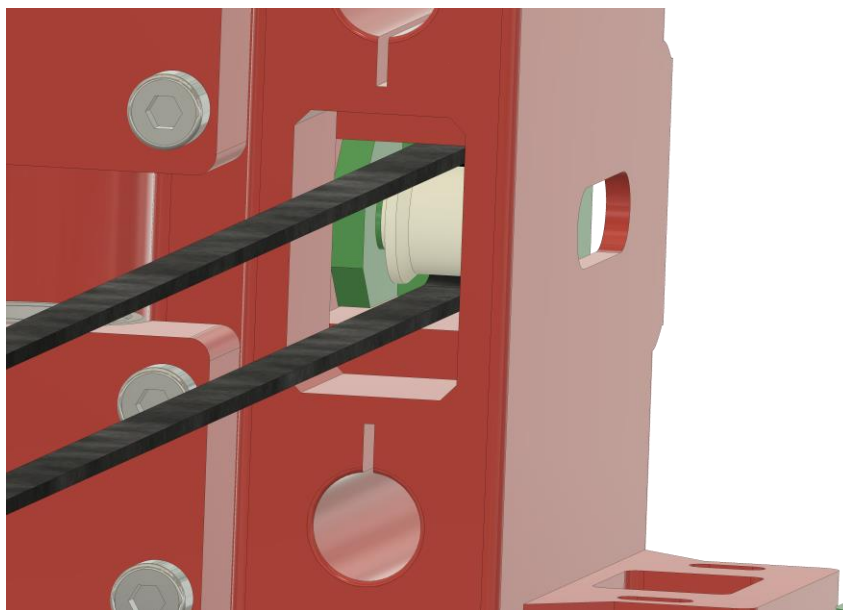
**Obr. 55 Namáčknutí šroubů M5 do dílů XPulleyholder**

Následně již probíhá montáž do již předmontovaného dílu z kapitoly 4.3.1. Do čtyřhranné díry vložíme díl **XPulleyholder** viz obrázek 56 .



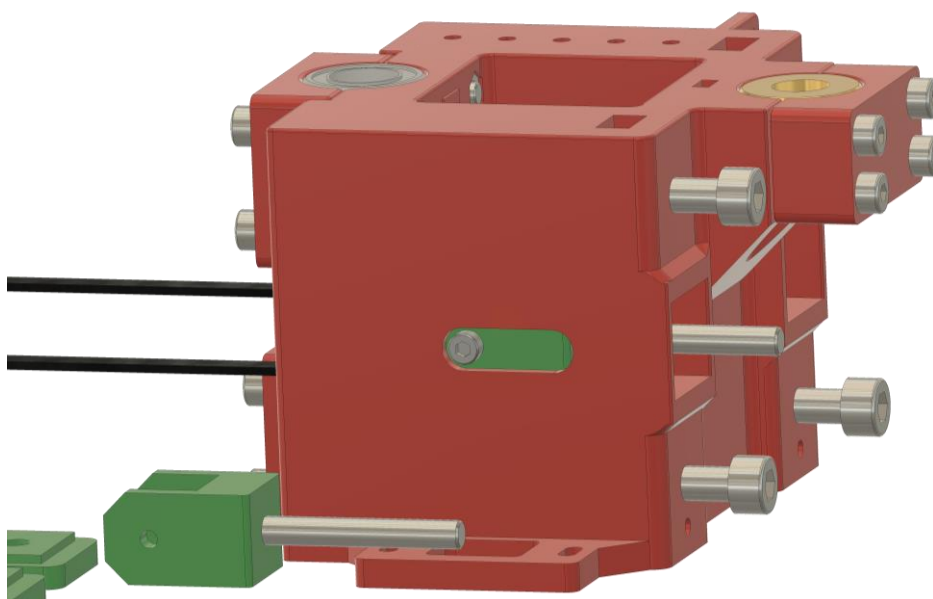
**Obr. 56 Napínák řemene X**

Dále si připravíme řemenici **Zedexpulley** (Obr. 143, Pos. 3) a řemen osy Y (Obr. 143, Pos. 8). Řemenici držíme sevřenou řemenem a takto ji vložíme do dílu **XPulleyholder** viz obrázek 57.



**Obr. 57 Montáž řemenice napínáku řemene osy X**

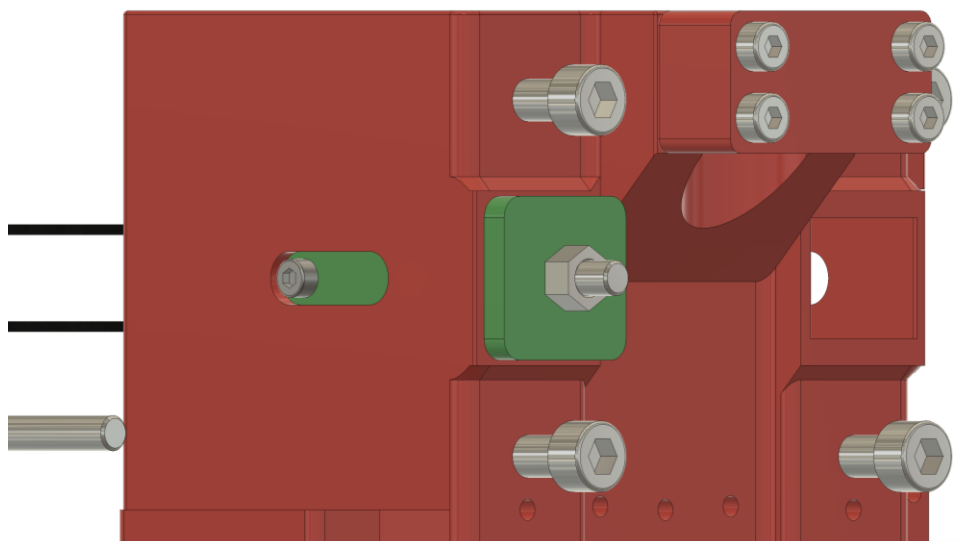
Dále řemenici zajistíme šroubem M3×25 a maticí přesně jako na obrázku 58. Šroub M3×25 s citem utáhneme a kontrolujeme, zda se řemenice volně otáčí. To můžeme provést pohybováním s řemenem.



**Obr. 58 Zajištění řemenice napínáku řemene osy X**

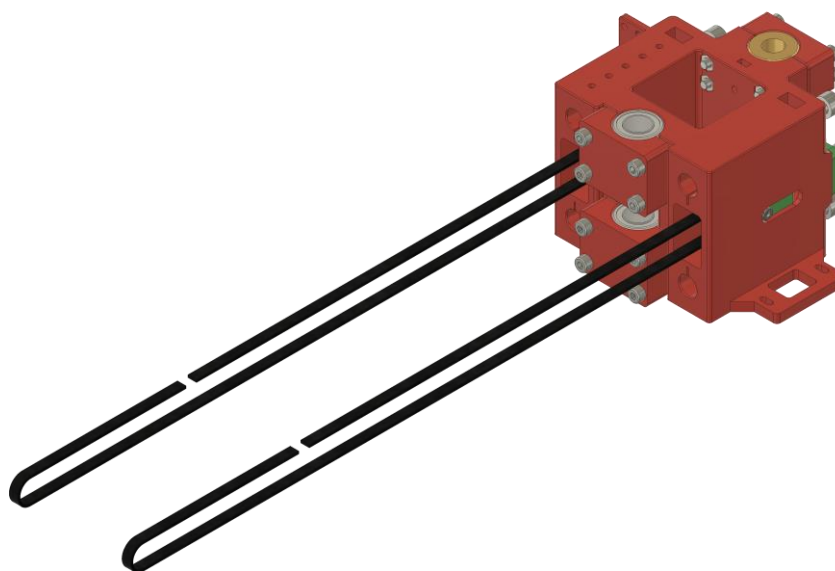
Jako poslední krok při montáži prvního napínáku přidáme díl **Tensionerholder** (Obr. 143, Pos. 2) umístění viz obrázek 59. Matici M5 našroubujeme na závit šroubu a necháme napínák nastavený na minimální možnou polohu, přibližně jako na obrázku 59.





**Obr. 59 Matice umožňující nastavení napnutí řemene osy X**

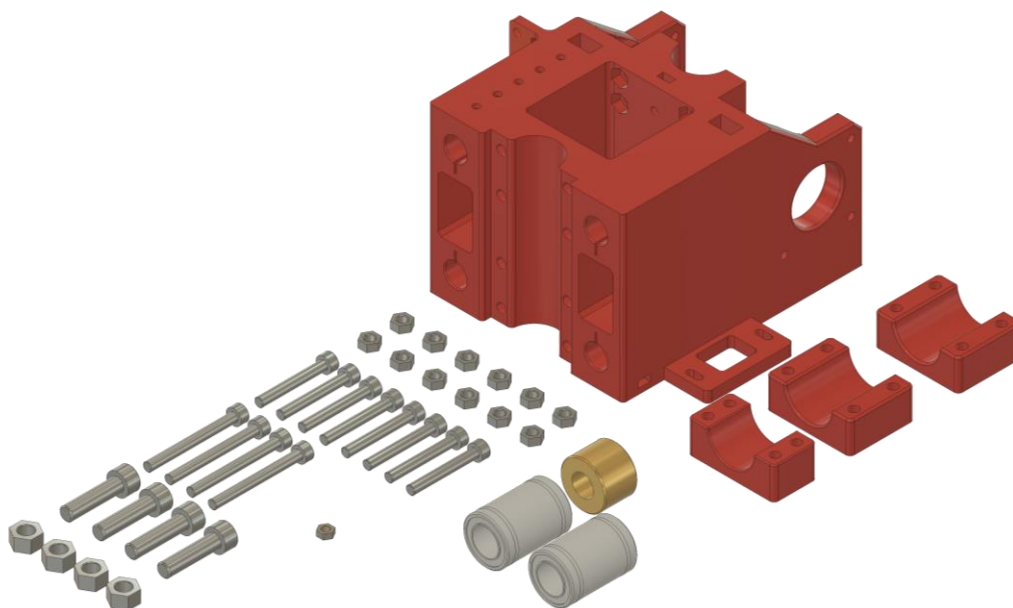
Druhý napínák namontujeme naprosto stejně jako napínák první, všechny díly jsou identické. Pro představu uvedeme výsledek montáže napínáků na obrázku 60. Řemeny vhodným způsobem zajistíme, aby při další montáži a manipulaci nevyklouzly z řemennic. Řemeny na dalších obrázcích budou pro přehlednost skryty, při další montáži je v žádném případě neodstraňujeme.



**Obr. 60 Výsledek montáže napínáků řemenů os X**

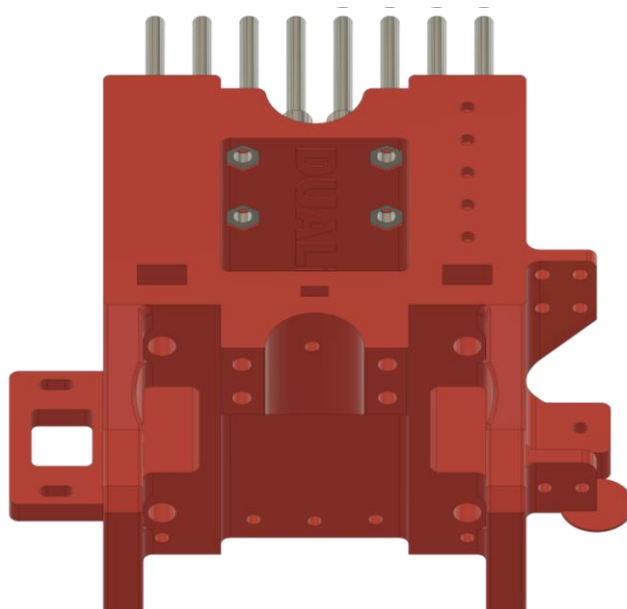
### **4.3.3 Sestavení osy X - část s krokovými motory**

Druhou základní část osy X sestavíme z komponentů na obrázku 61. Soupis materiálu je na obrázku 144.

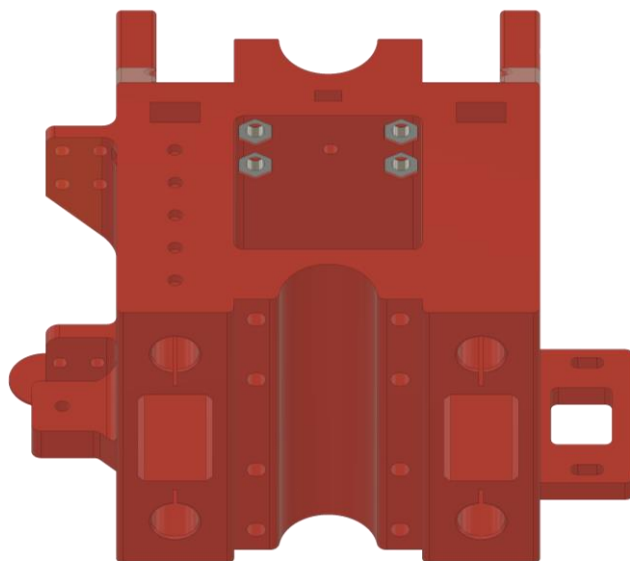


**Obr. 61 Komponenty pro sestavení osy X - část s krokovými motory**

Do šestihranů v dílu **Xbodymotor** namačkáme celkem 12 kusů matic M4. Šestihrany jsou poměrně těsné, vypomůžeme si šroubem M4. Dbáme na správnou orientaci matic během namačkování, při špatné orientaci by mohlo dojít k deformaci dílu. Postupujeme podle obrázků 62 a 63.

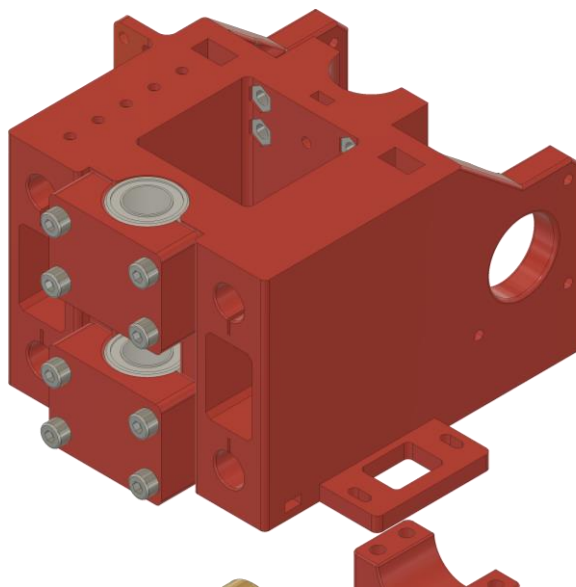


**Obr. 62 Namačknutí matic do šestihranů v plastovém díle Xbodymotor**



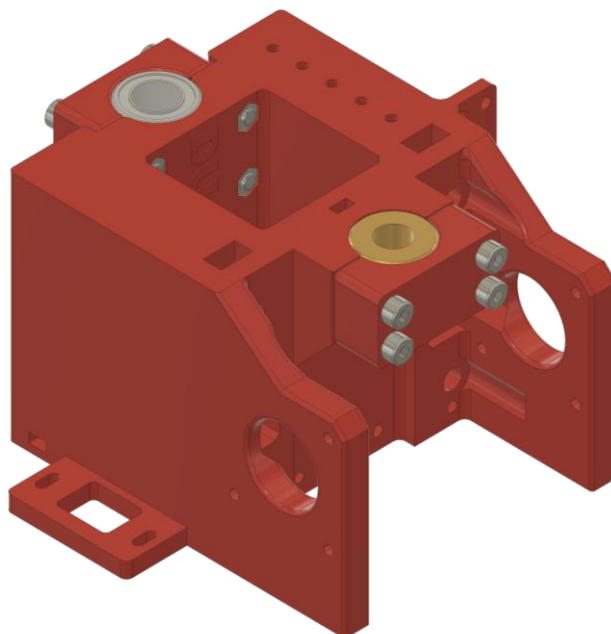
**Obr. 63 Namáčknutí matic do šestihranů v plastovém díle Xbodymotor**

Další operací je instalace lineárních ložisek LM12UU do osazení v dílu. Ložiska umístíme do osazení a sevřeme je pomocí dílů LM12UUzclamp a 8 kusů šroubů M4x30. Šrouby dotáhneme minimálně, pouze aby ložiska držela na místě a nevypadávala. Výsledek operace je na obrázku 64.



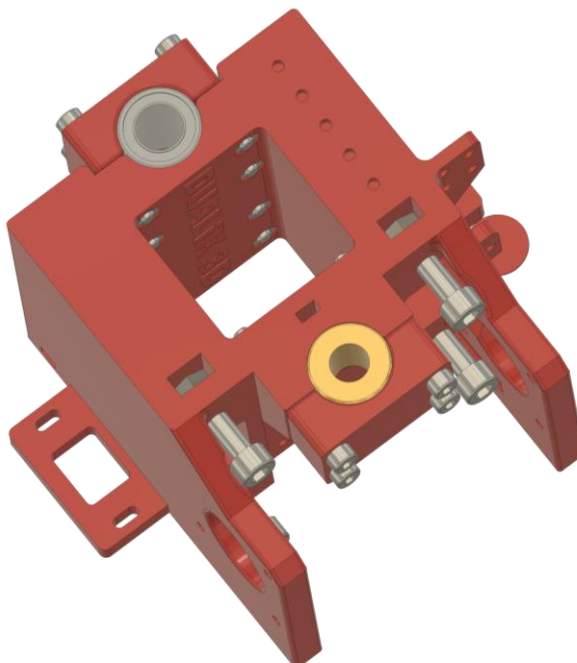
**Obr. 64 Osazení lineárních ložisek LM12UU do dílu Xbodymotor**

Jako další osadíme bronzovou trapézovou maticí do osazení viz obrázek 65. Matici sevřeme dílem **TR10clampdia21mm**, šrouby M4x40 s citem dotáhneme.



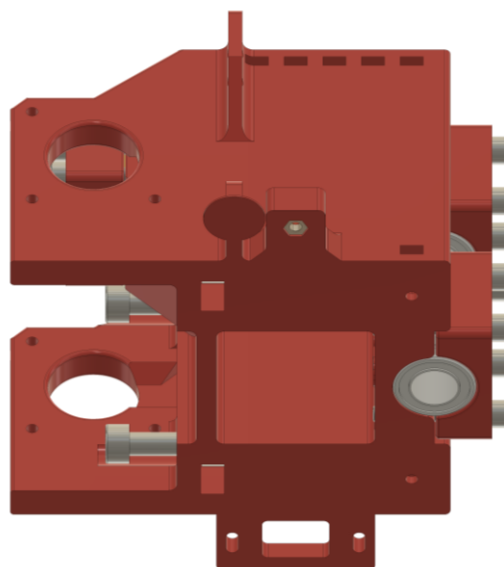
**Obr. 65 Umístění bronzové matice na díle Xbodymotor**

Dále osadíme dorazové šrouby tyčí X. Do drážek vložíme 4 kusy matic M6. Matice by měly volně zapadnout, drážky jsou volné. Do děr našroubujeme šrouby M6x24, které nedotahujeme, pouze je našroubujeme po okraj závitů matice. Osazení šroubů je na obrázku 66.



**Obr. 66 Osazení dorazových šroubů tyčí X na díle Xbodymotor**

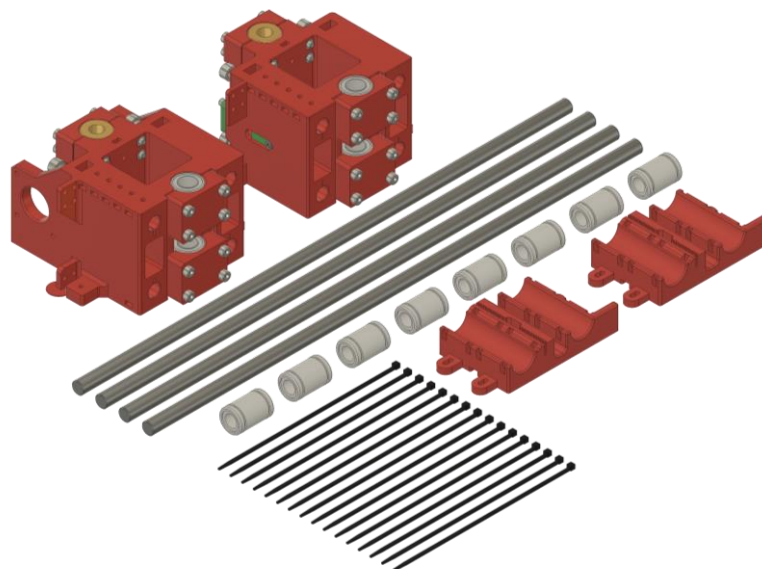
Poslední operací je namáčknutí matice M3 do šestihranu. Do matice bude později našroubován šroub s pružinou, který bude sloužit jako doraz koncového spínače osy Z. Umístění šroubu je na obrázku 67.



**Obr. 67 Matice M3 pro doraz koncového spínače**

#### **4.3.4 Dokončení osy X - vodící tyče**

V následující podkapitole dokončíme osu X. V následujícím kroku si připravíme předmontované komponenty z kapitoly 4.3.1 a 4.3.3 a další komponenty z obrázku 68, Soupis materiálu je na obrázku 145.

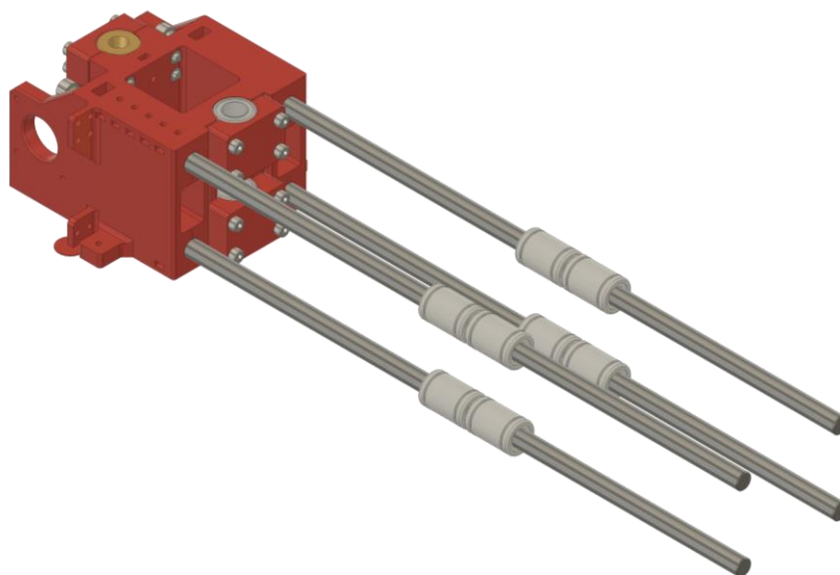


**Obr. 68 Komponenty pro dokončení sestavení osy X**

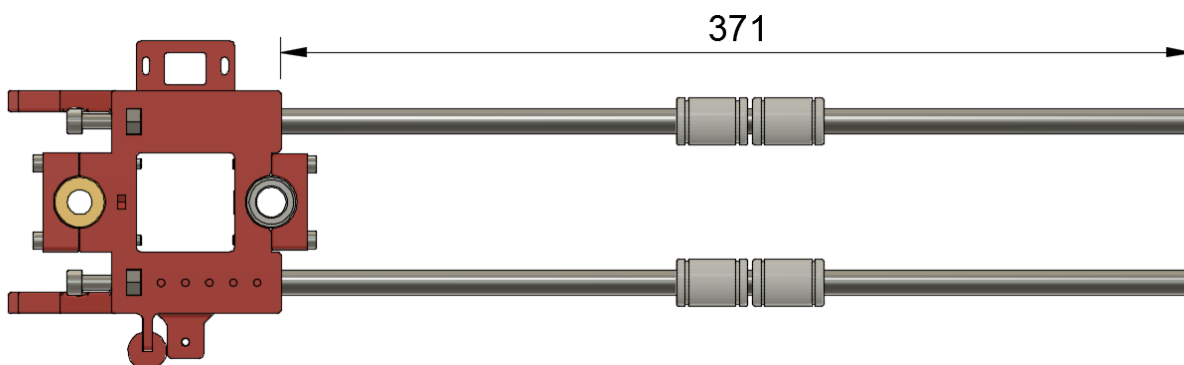
Nejprve na každou z tyčí osy X (Obr. 145, Pos. 3) nasuneme 2 kusy lineárních ložisek LM10UU (Obr. 145, Pos. 4). Opět jako v předchozím případě na ose Y dáváme velký pozor během nasouvání ložisek na tyče. Ložiska musí jít nasunout na tyče velmi lehce bez výrazného odporu. Dále si ložiska vhodným způsobem zajistíme tak, aby

samovolně nesjela z tyčí během manipulace. Můžeme použít např. stahovací pásy, které stáhneme na tyč a vytvoříme tak překážku ložisku přes kterou nesjede ven z tyče.

Nyní si připravíme předmontovanou část z kapitoly 4.3.3 a do děr nasuneme vodící tyče. Tyče musí být v díře nasunuty do hloubky 49 mm. Nejsnadnější kontrolou je změření délky tyčí vyobrazené na obrázku 70. Během nastavování si vypomůžeme dorazovými šrouby M6. Tyče tedy můžeme nasunout až nadoraz co půjdou a poté zašroubováváním šroubů M6 přesně nastavíme délku tyče tak jako na obrázku 70.

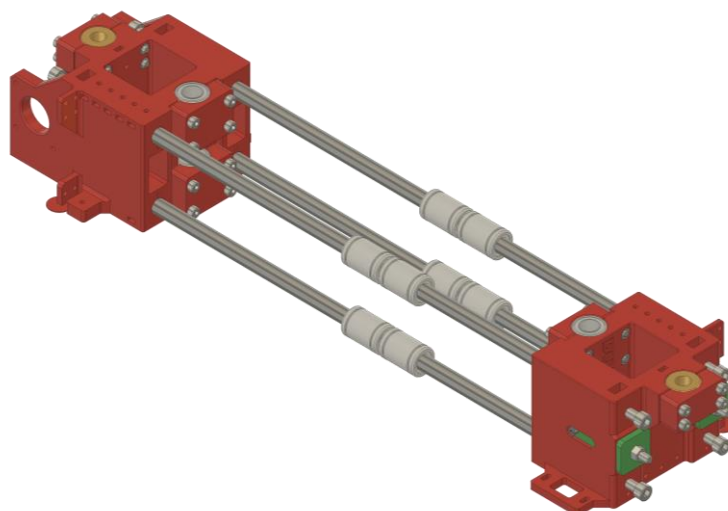


**Obr. 69 Montáž vodících tyčí X**

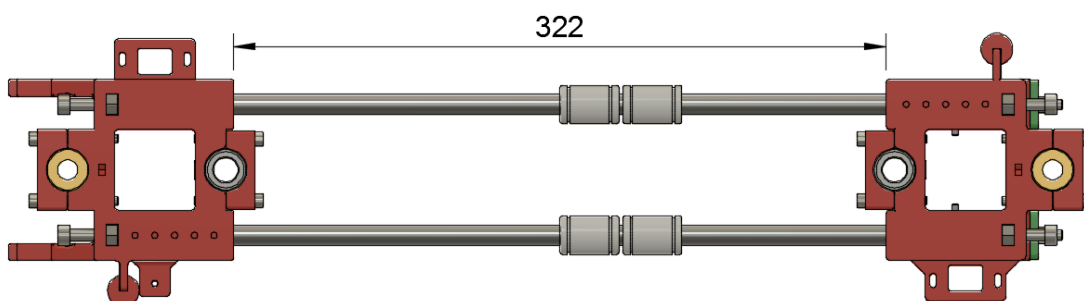


**Obr. 70 Délky volný tyčí X po montáži**

Následně si připravíme předmontovaný díl z kapitoly 4.3.1 a díl nasuneme na protější konce vodících tyčí. Tyče by měly být opět nasunuty do hloubky 49 mm. V tomto případě měříme vzdálenost mezi součástmi viz obrázek 72. Délku dráhy osy X, tedy 322 mm se snažíme dodržet co nejpřesněji bude možné. Nakonec, když vzdálenost bude sedět, tak dotáhneme dorazové šrouby tak, aby se dotýkaly tyčí.

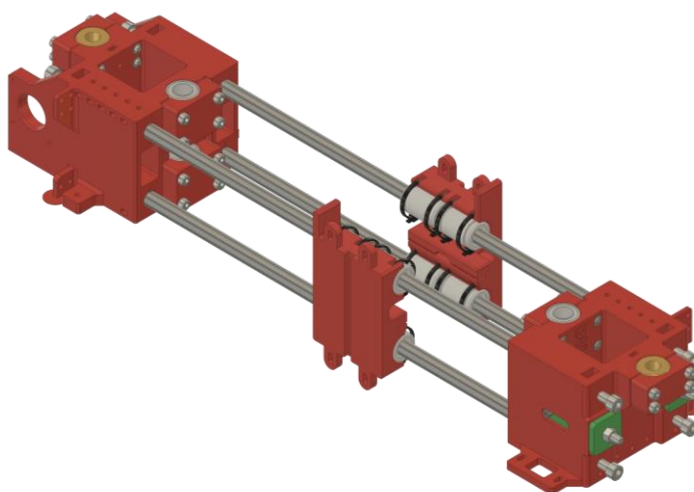


**Obr. 71 Sestavení osy X**



**Obr. 72 Délka dráhy osy X**

Poslední operací je připevnění vozíků na kterých budou později připevněny extrudery. Použijeme stahovací pásy, nejprve je provlékneme díly **GT2xcarry** (Obr. 145, Pos. 5). Poté vozíky nasadíme na lineární ložiska a stáhneme všechny stahovací pásy. Výsledek operace je na obrázku 73. Nakonec ostříháme všechny volné konce stahovacích pásků.



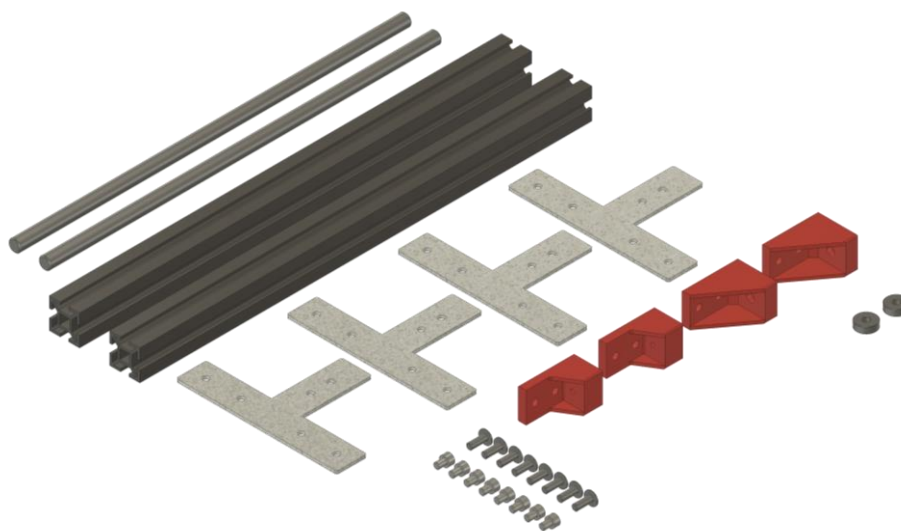
**Obr. 73 Připevnění vozíků extruderů**

## 4.4 Osa Z

Kapitola se zabývá montáží osy Z. Po této kapitole bude hrubá stavba tiskárny dokončena. I v této části montáže je nutné dbát na přesné sestavení jednotlivých částí tiskárny. Na přesnosti sestavení bude přímo záviset kvalita výsledného tisku.

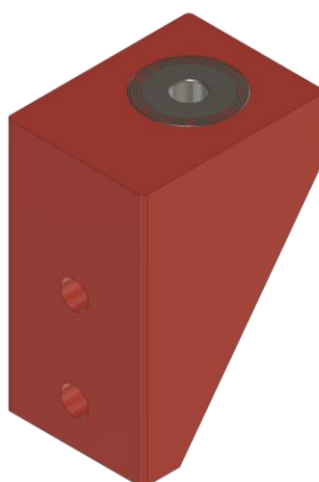
### 4.4.1 Rám osy Z - stojiny rámu, vodící tyče

Rám osy Z sestavíme z komponentů na obrázku 74. Soupis materiálu je na obrázku 146.



**Obr. 74 Komponenty pro rám osy Z**

Komponenty se montují na již předmontovaný rám Y z kapitoly 4.1. Prvním krokem je nalisování ložisek 626 2RS do dílů **Zscrewmountbot** (Obr. 146, Pos. 2). Do každého z dílů 1 kus ložiska viz obrázek 75.

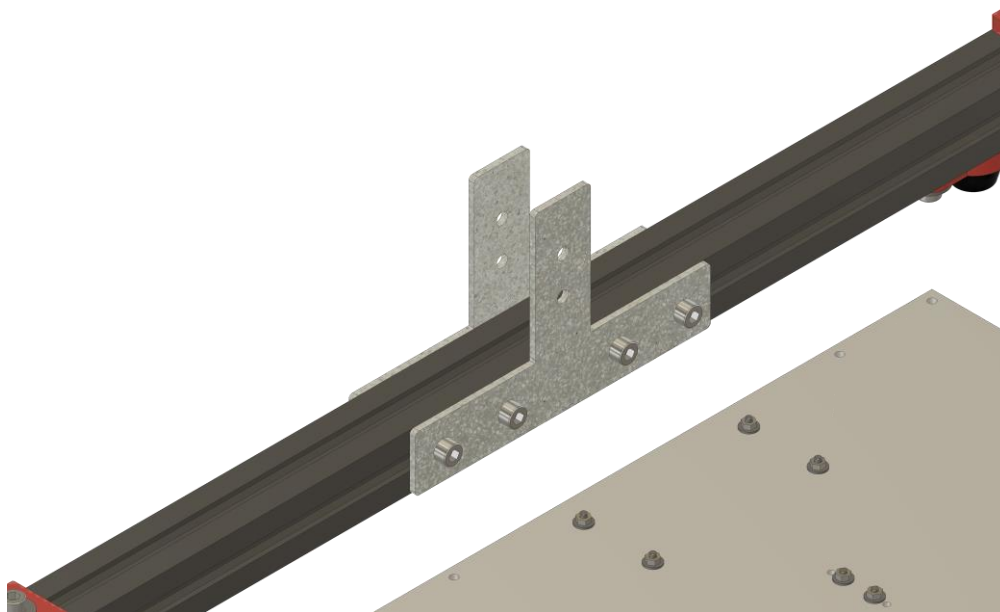


**Obr. 75 Nalisování ložisek 626 2RS**

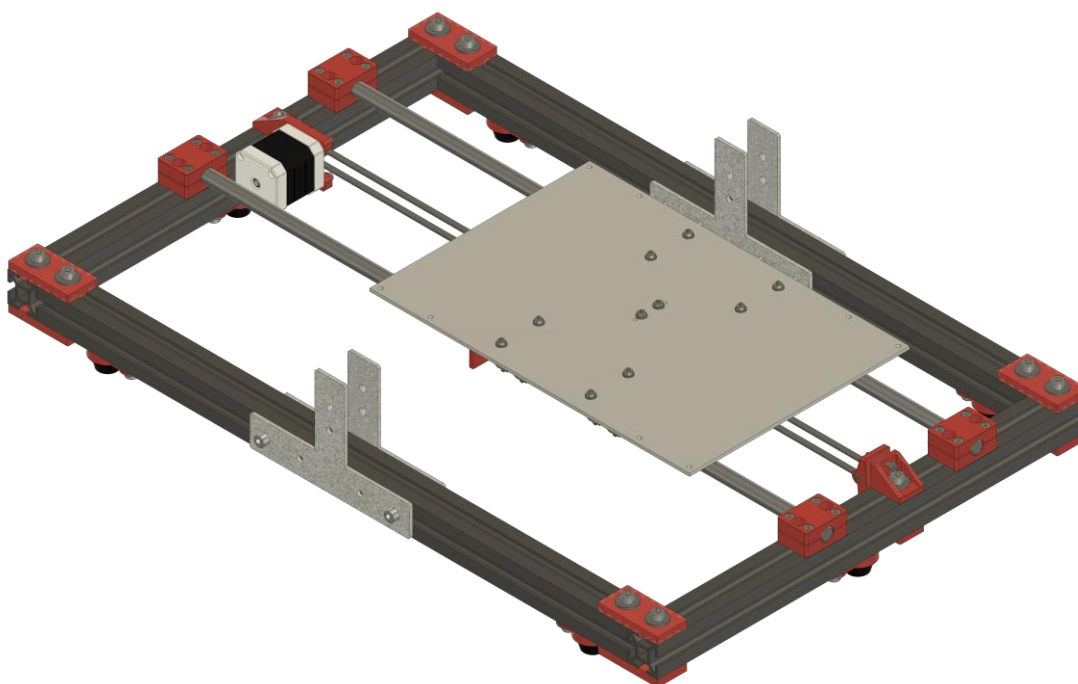
Dalším krokem je přimontování úhelníků **Zmetalconnect** (Obr. 146, Pos. 1). Použijeme šrouby M6×10. Z vnitřní strany obsadíme všechny díry, z vnější strany rámu pouze



krajní viz obrázky 76 a 77. Úhelníky jsou přesně uprostřed rámu, šrouby zatím nedotahujeme.

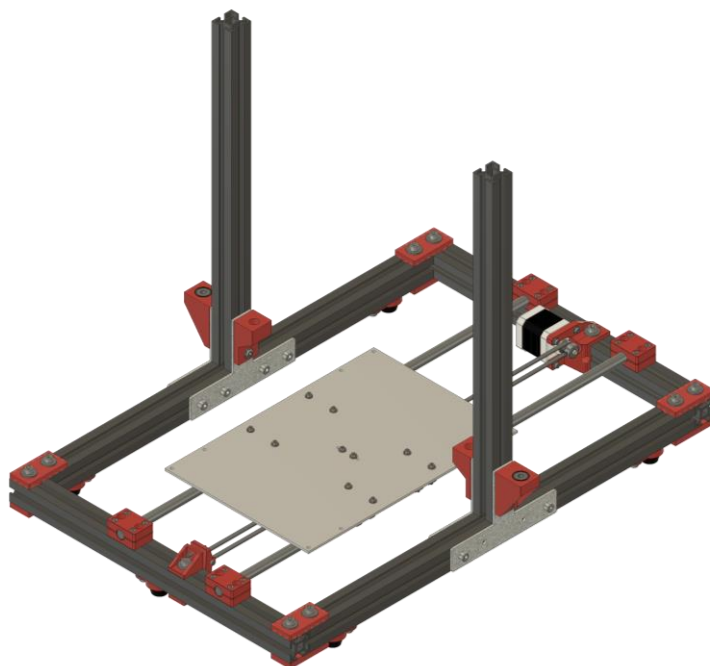


**Obr. 76 Montáž úhelníků vnitřní strana**



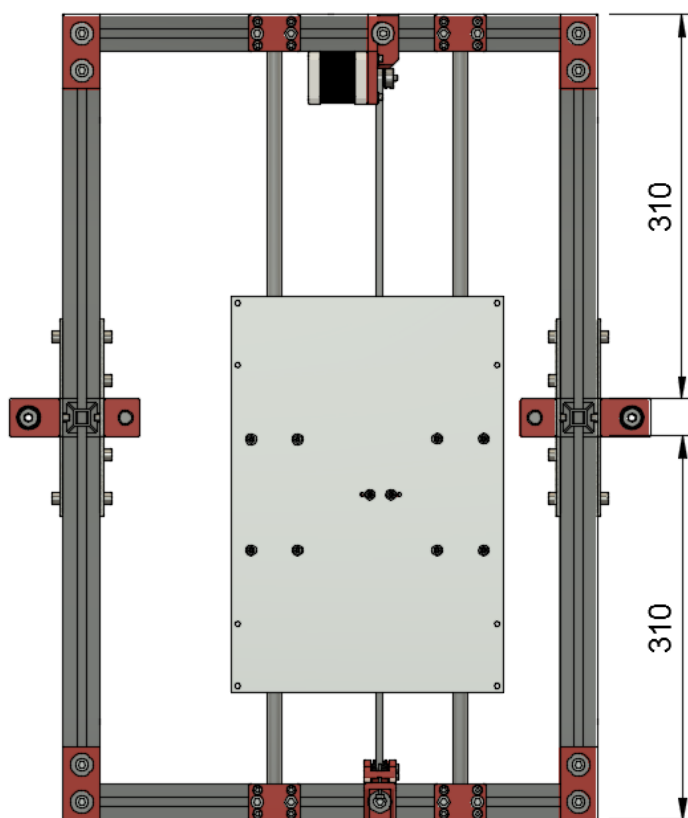
**Obr. 77 Montáž úhelníků vnější strana**

Nyní začneme montovat samotné stojiny Z osy. Použijeme šrouby M6×16 - hlava button s límcem. Z vnější strany rámu přijdou namontovat díly **Zscrewmountbot** s nalisovanými ložisky. Z vnitřní strany rámu přijdou namontovat díly **Zrodmountbot** (Obr. 146, Pos. 3). Montáž je znázorněna na obrázku 78.

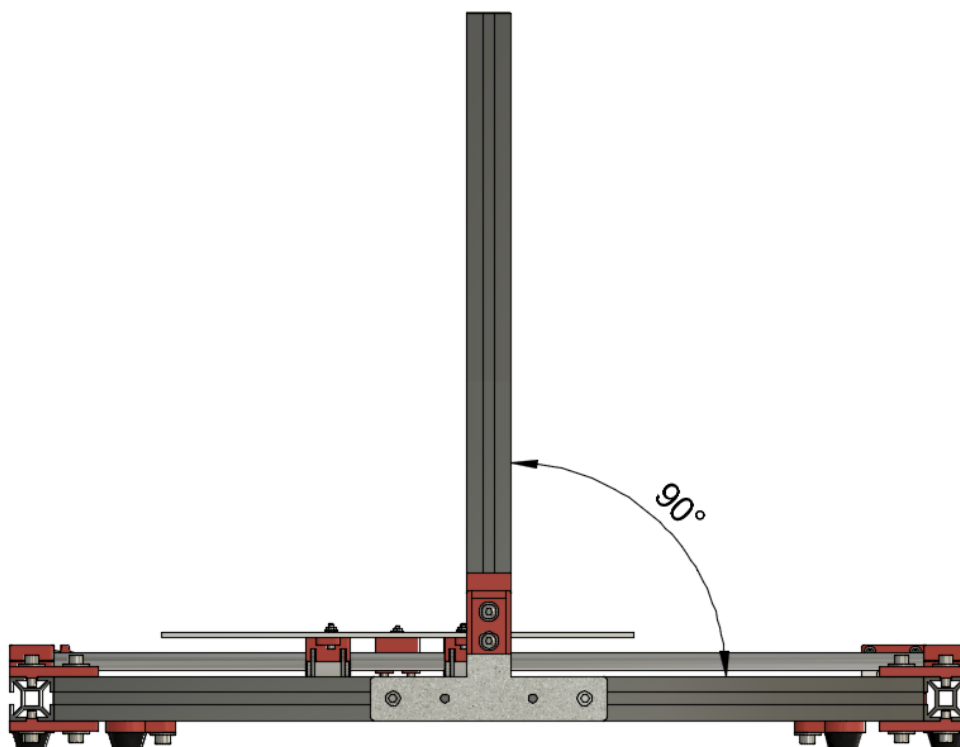


**Obr. 78 Montáž profilů osy Z**

Nyní přichází na řadu přesné vyrovnání profilů podle rozměrů na obrázku 79. Oba profily Z jsou přesně uprostřed tiskárny. Následně zkontrolujeme kolmost profilů viz obrázek 80. Po kontrole můžeme dotáhnout všechny šrouby M6×16.

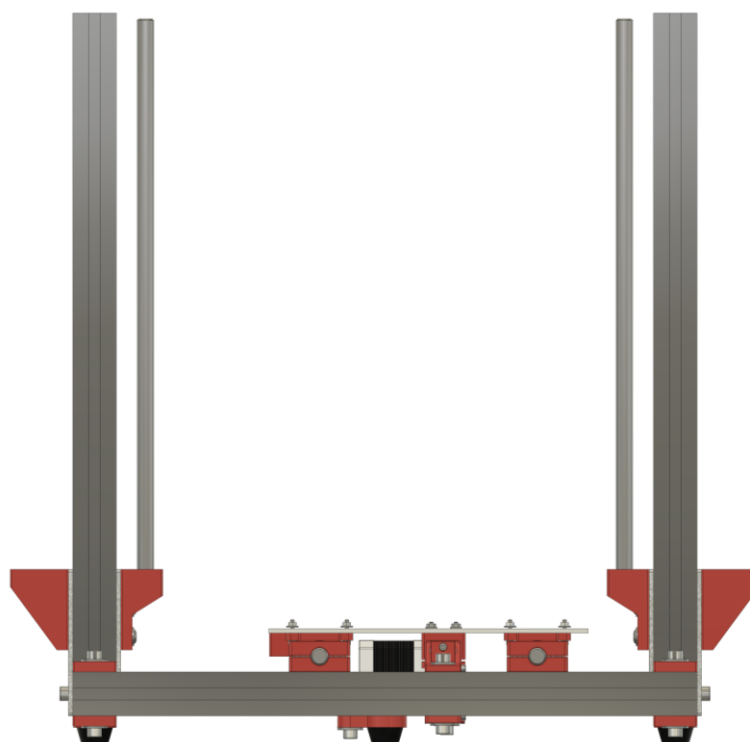


**Obr. 79 Umístění profilů Z na rámu Y**



**Obr. 80** Kontrola kolmosti profilů osy Z

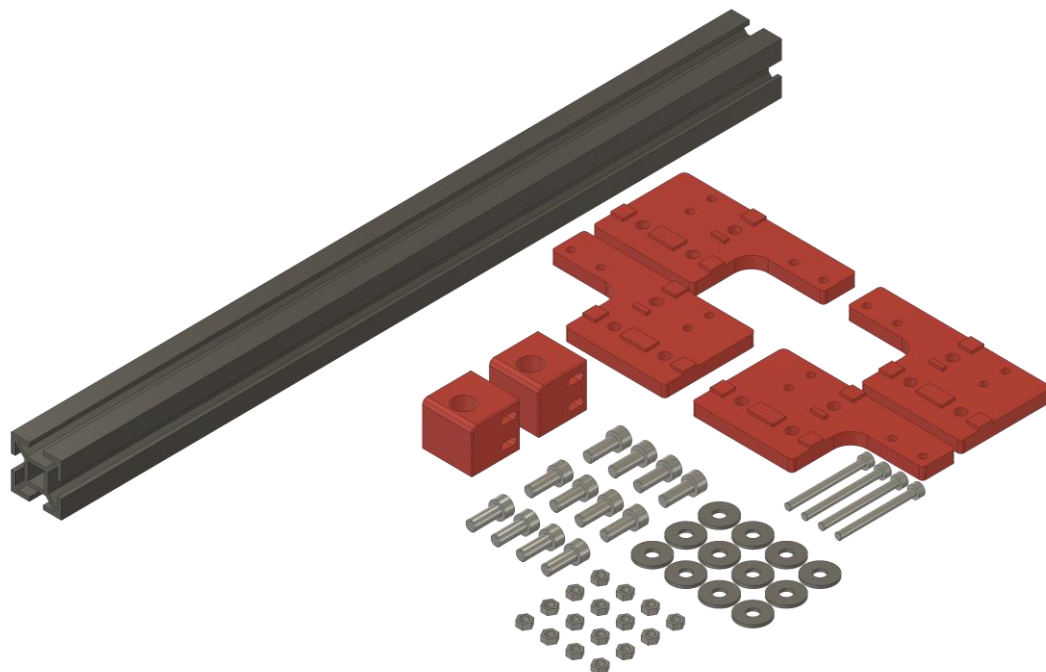
Posledním krokem je vložení vodících tyčí Z do děr v díle **Zrodmountbot**. Operace je znázorněna na obrázku 81.



**Obr. 81** Vložení tyčí Z do držáku tyčí

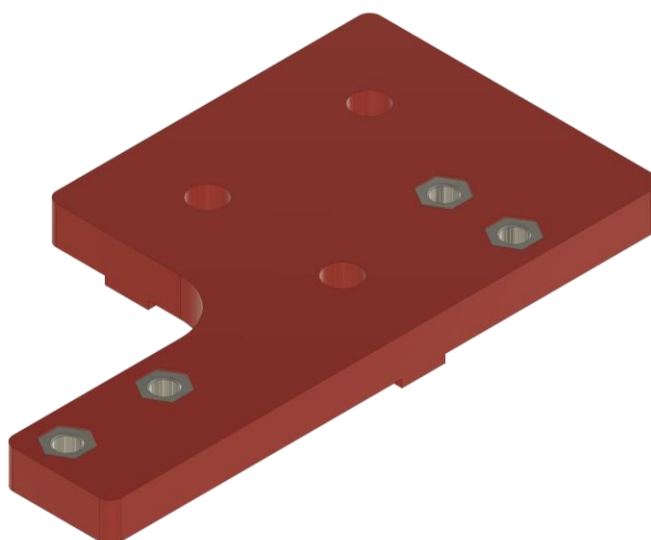
#### 4.4.2 Osa Z - dokončení rámu tiskárny

V tomto kroku dokončíme stavbu celého rámu tvořeného z hliníkových profilů. Připravíme si komponenty na obrázku 82. Soupis materiálu je na obrázku 147. Mimo to si připravíme předmontovanou osu X.



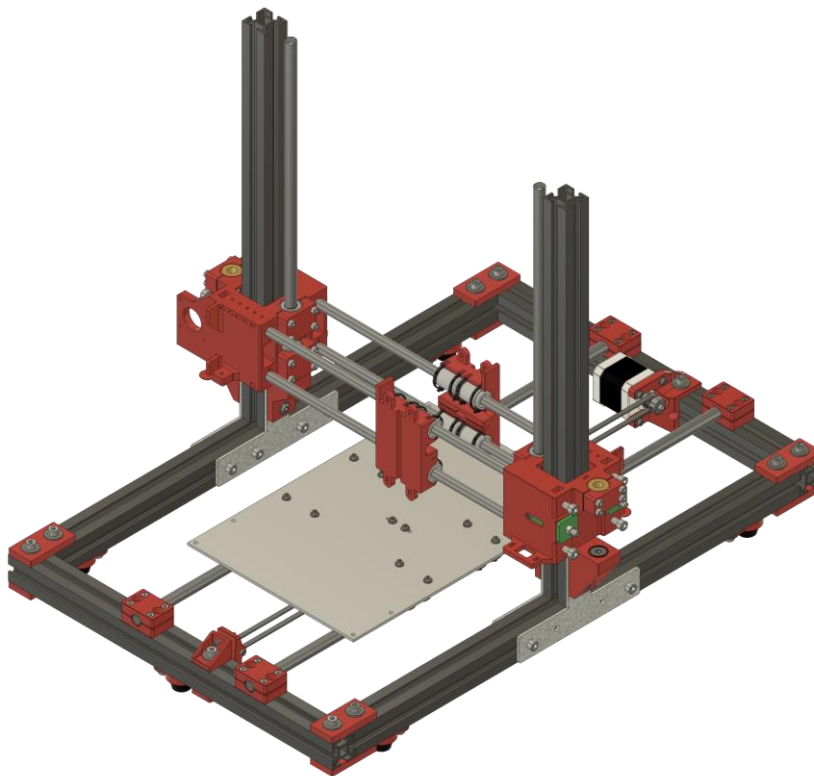
*Obr. 82 Komponenty pro dokončení stavby rámu tiskárny*

Nejprve namačkáme celkem 16 kusů matic M4 do šestihranů na dílech **Zcornerleft back**, **Zcornerleft front**, **Zcornerright back** a **Zcornerright front** (Obr. 147, Pos. 1, 2, 3, 4)



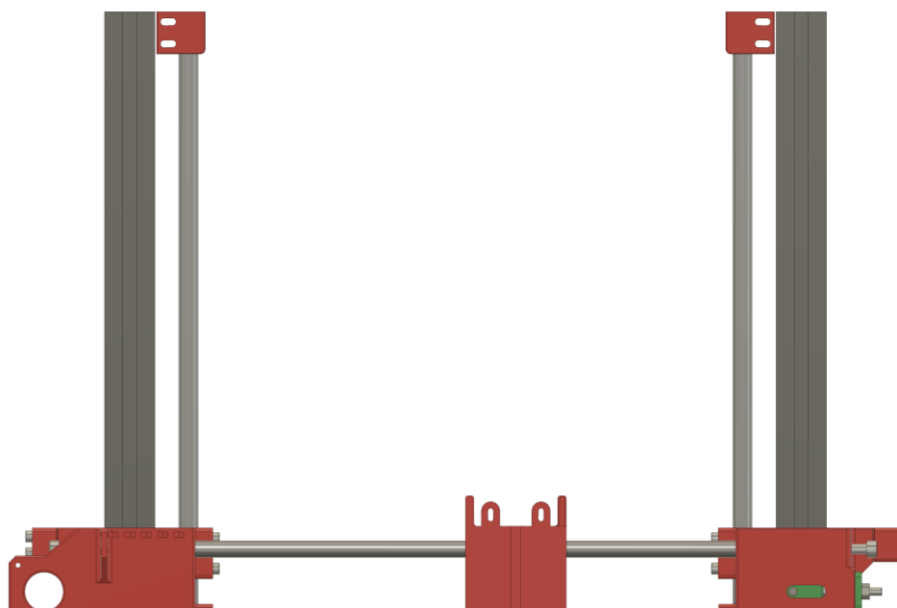
*Obr. 83 Namáčknutí matic M4 do dílu*

Nyní předmontovanou osu X nasuneme na vodící tyče Z. Opět dbáme zvýšené opatrnosti při navádění tyčí do ložisek. Operace je zobrazena na obrázku Obr. 84. V tomto okamžiku dotáhneme šrouby M4, které drží ložiska osy Z.

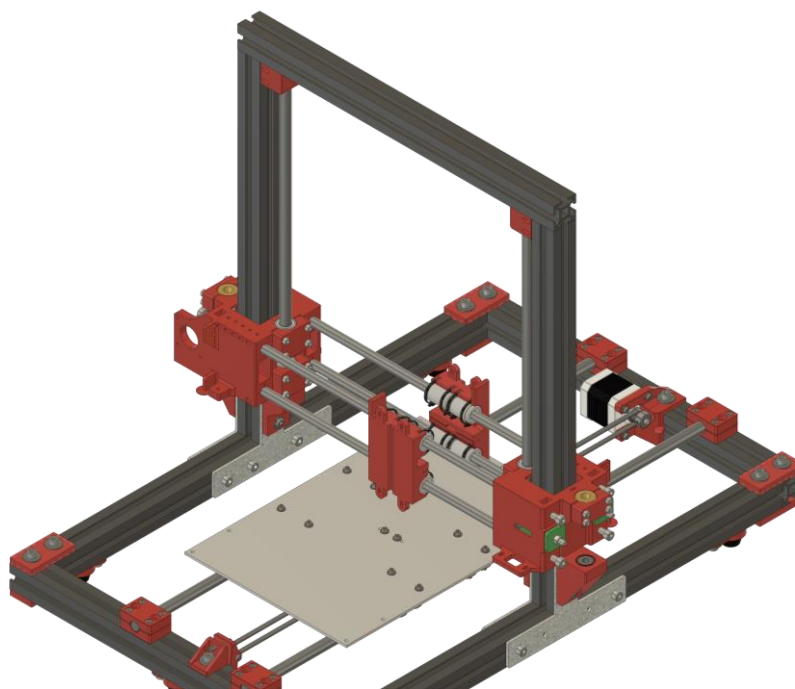


**Obr. 84 Montáž osy X na tiskárnu**

Nyní na horní konce tyčí Z nasadíme díly **ZrodTOP** (Obr. 147, Pos. 5). Přesně zobrazeno na obrázku 85.

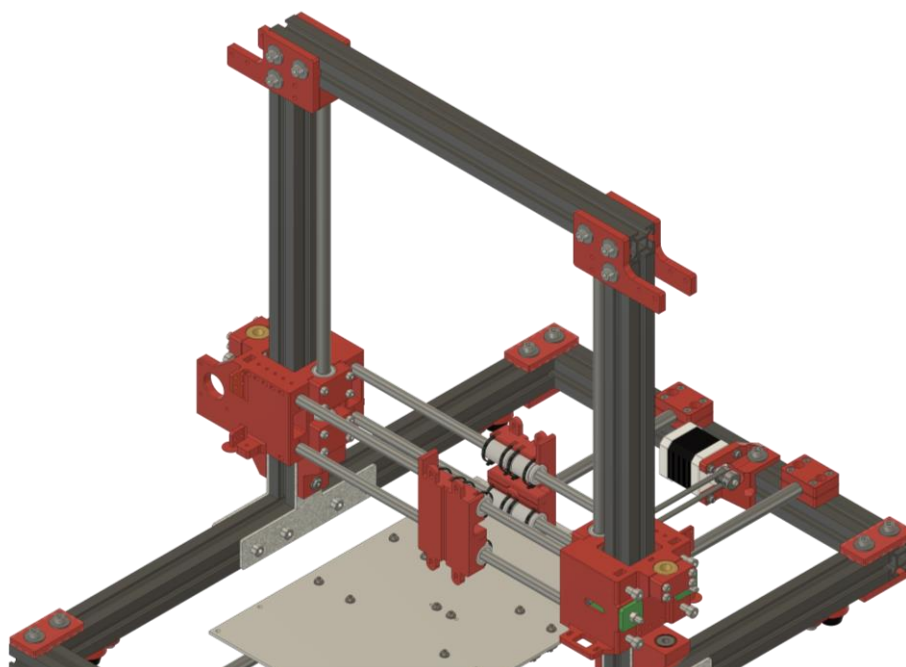


**Obr. 85 Montáž zakončení vodících tyčí Z**



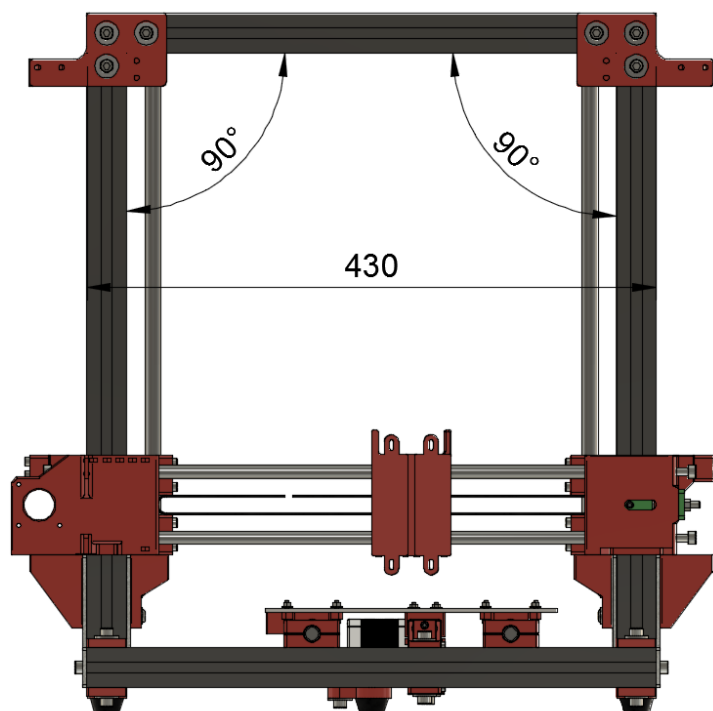
**Obr. 86 Umístění profilu horní část osy Z**

Nyní přistoupíme k montáži spojovacích rohů osy Z. Použijeme díly **Zcornerleft back**, **Zcornerleft front**, **Zcornerright back** a **Zcornerright front** s namačkanými maticemi a podle obrázku 87 díly namontujeme na tiskárnu pomocí šroubů M6×16. Pod šrouby přijdou podložky.



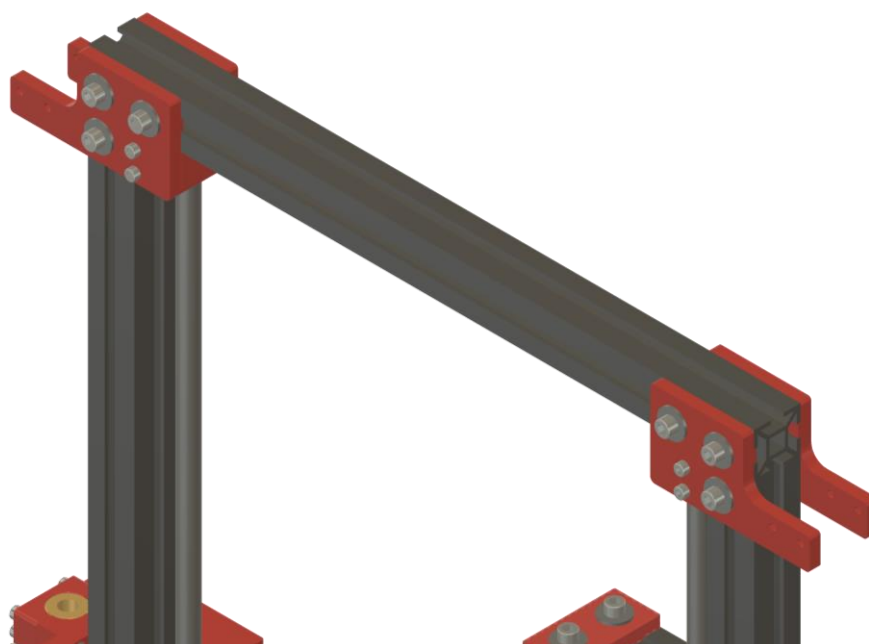
**Obr. 87 Montáž spojovacích rohů osy Z**

Před dotažením šroubů zkontrolujeme pravoúhlost rámu a také rovnoběžnost profilů podle rozměrů z obrázku 88. Nyní můžeme šrouby utáhnout.



**Obr. 88 Kontrola sestavení rámu osy Z**

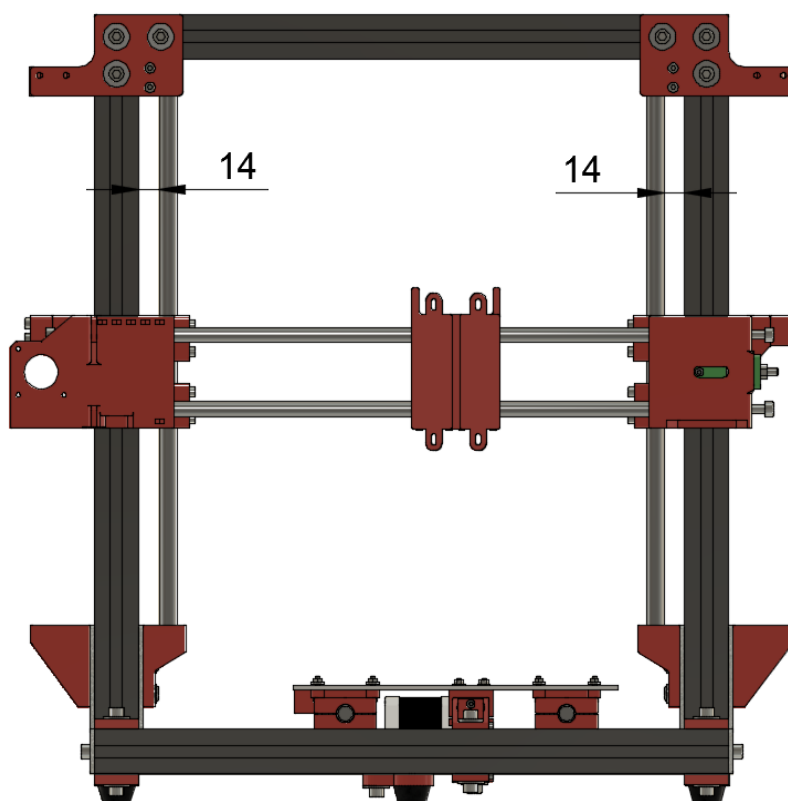
Připravíme si 4 kusy šroubů M4×45 a lehce je zašroubujeme do děr, tak jako na obrázku 89. Šrouby lehce dotáhneme.



**Obr. 89 Montáž zajišťovacích šroubů tyčí Z**

Nyní překontrolujeme rovnoběžnost tyčí osy Z. Ujistíme se, že vzdálenost mezi tyčí a profilem odpovídá vzdálenosti na obrázku 90. Nyní vyzkoušíme pohyb osy Z.

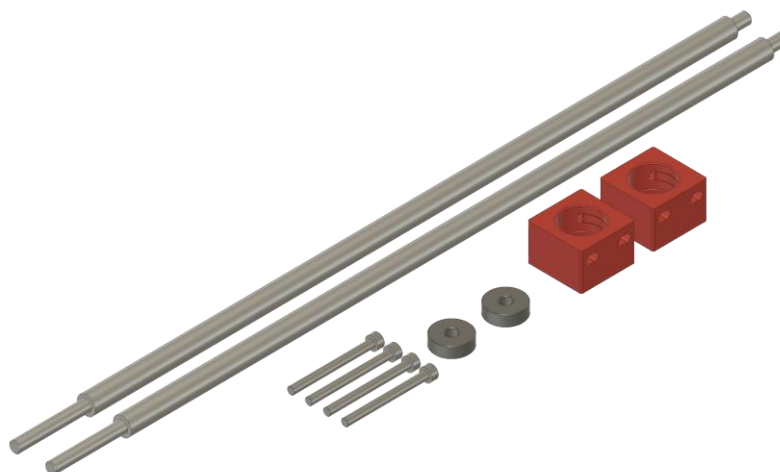
Několikrát s osou X zahýbeme nahoru a dolů po celé délce dráhy osy Z. Osa by se měla pohybovat volně po celé dráze.



*Obr. 90 Nastavení rovnoběžnosti tyčí osy Z*

#### 4.4.3 Zvedací šrouby osy Z

Pro sestavení zvedacích šroubů osy Z si připravíme díly z obrázku 91, soupis materiálu je na obrázku 148. Nejprve nalisujeme ložiska 626 2Z do dílů **Zscrewtophouse** (Obr. 148, Pos. 2).



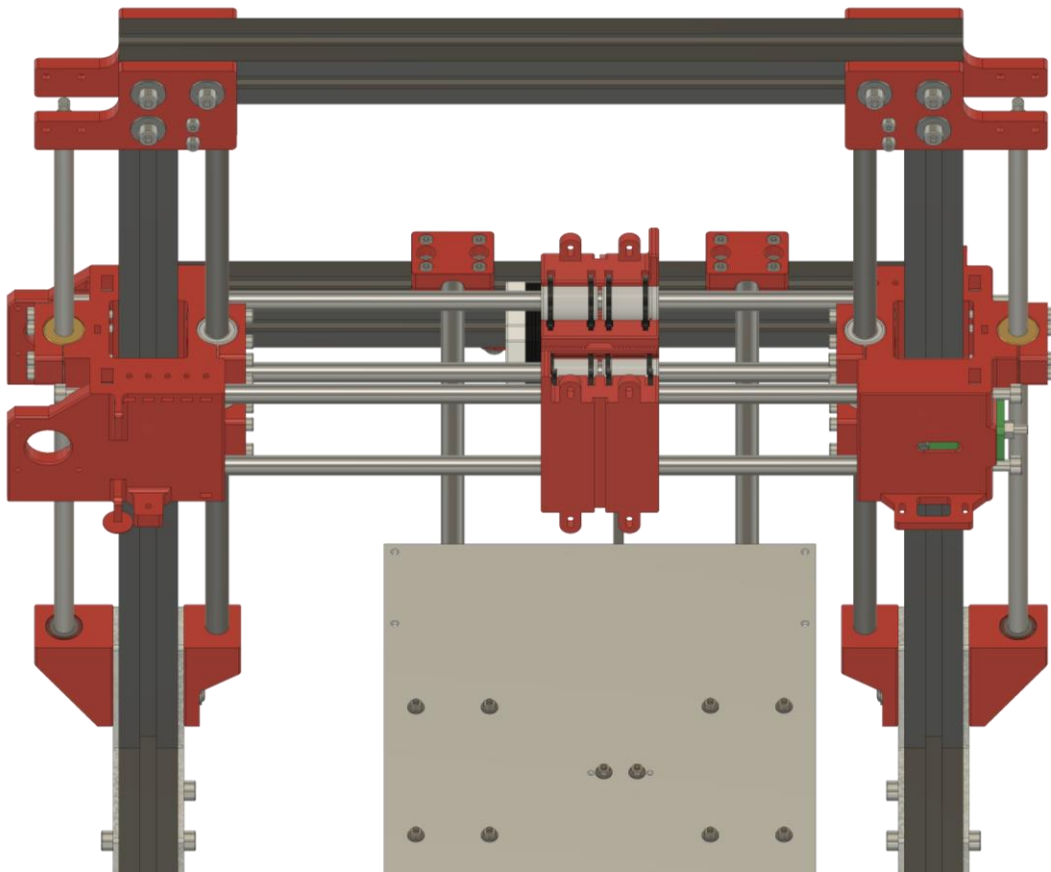
*Obr. 91 Komponenty pro sestavení zvedacích šroubů osy Z*





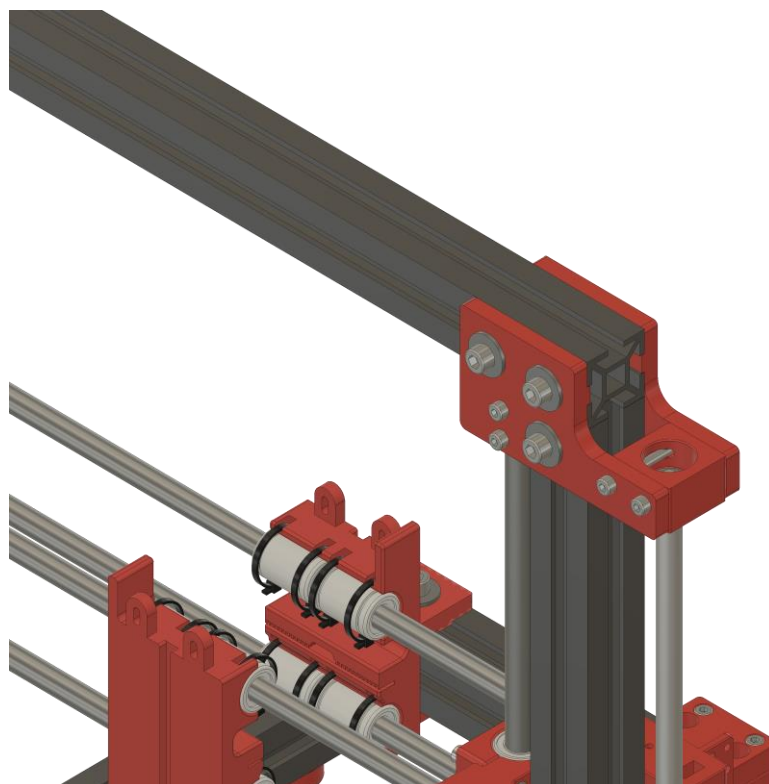
**Obr. 92 Nalisování ložiska do domku**

Nyní našroubujeme zvedací šrouby TR10×2 do matic. V dolní části oba šrouby musí zapadnout do ložisek. Výsledek montáže je na obrázku 93.



**Obr. 93 Osazení zvedacích šroubů osy Z**

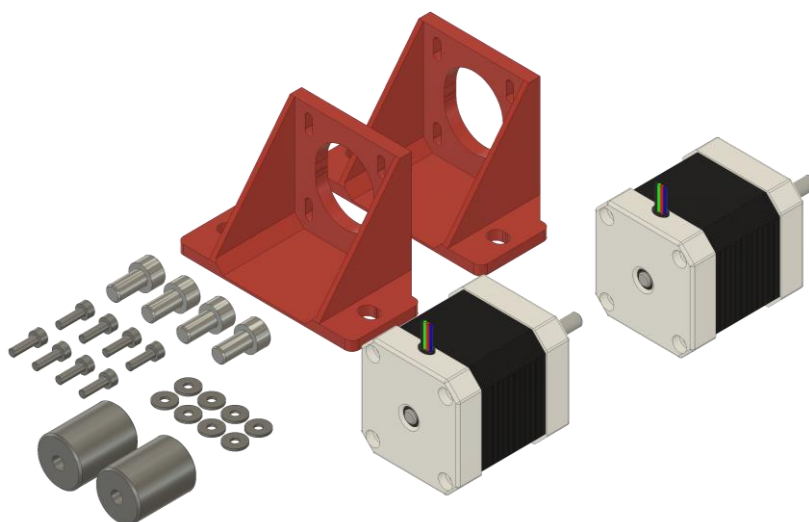
Na horní konce zvedacích šroubů přijdou nasadit domky s nalisovanými ložisky. Domky zajistíme šrouby M4×45. Montáž je zachycena na obrázku 94. Stejným způsobem postupujeme i na protější straně. Nakonec vyzkoušíme funkčnost zvedacích šroubů.



**Obr. 94 Zajištění domku zvedacího šroubu**

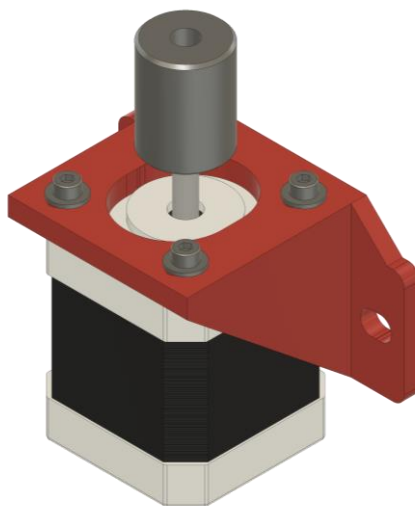
#### 4.4.4 Krokové motory osy Z

Pro sestavení sestavy krokových motorů osy Z si připravíme díly z obrázku 95, soupis materiálu je na obrázku 149.



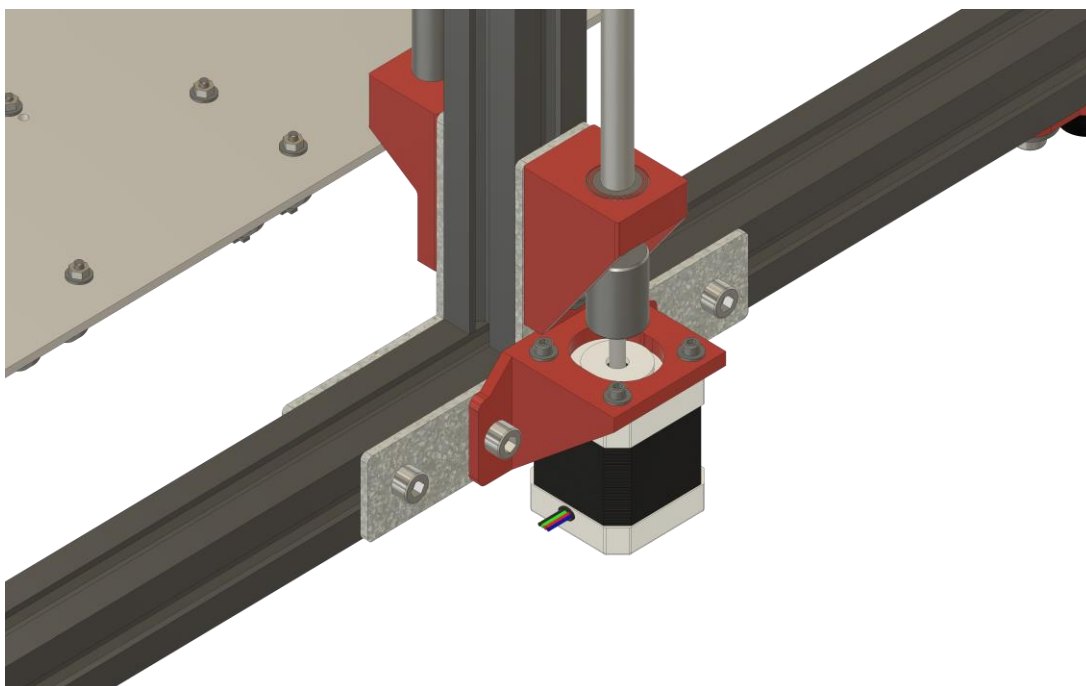
**Obr. 95 Komponenty pro sestavení krokových motorů osy Z**

Nejprve zkompletujeme držáky krokových motorů, do dílů **Zaxismotor** namontujeme krokový motor. Pod šrouby M3×10 jsou podložky. Šrouby v tomto momentu neutažujeme. Na hřídel krokového motoru nasuneme hřídelovou spojku. Výsledek montáže je na obrázku 96.



**Obr. 96 Předmontovaný krokový motor**

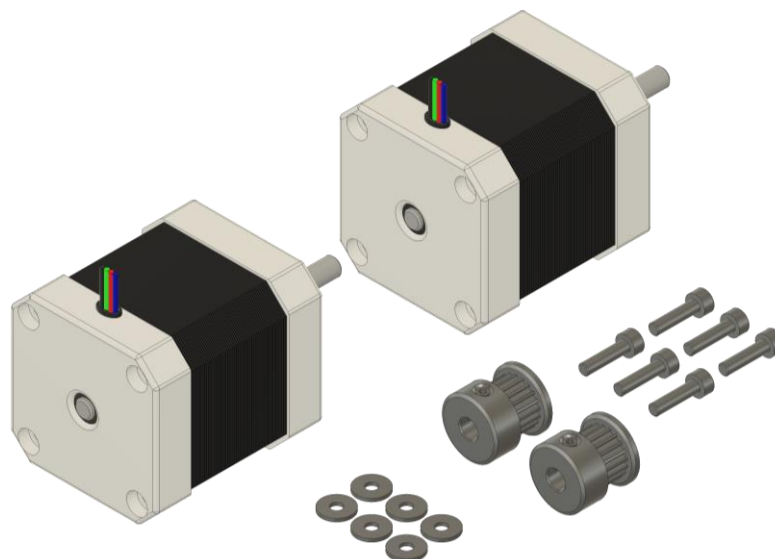
V posledním kroku přišroubujeme oba zkompletované držáky šrouby M6×12 na rám tiskárny podle obrázku 97. Vývody krokových motorů směřují do zadní části tiskárny směrem ke krokovému motoru osy Y. Motor musí být v jedné ose se zvedacím šroubem, po nastavení motoru do osy se zvedacím šroubem dotáhneme všechny šrouby M3 a M6. Dotáhneme také zajišťovací šrouby na hřídelové spojce.



**Obr. 97 Krokový motor osy Z na tiskárně**

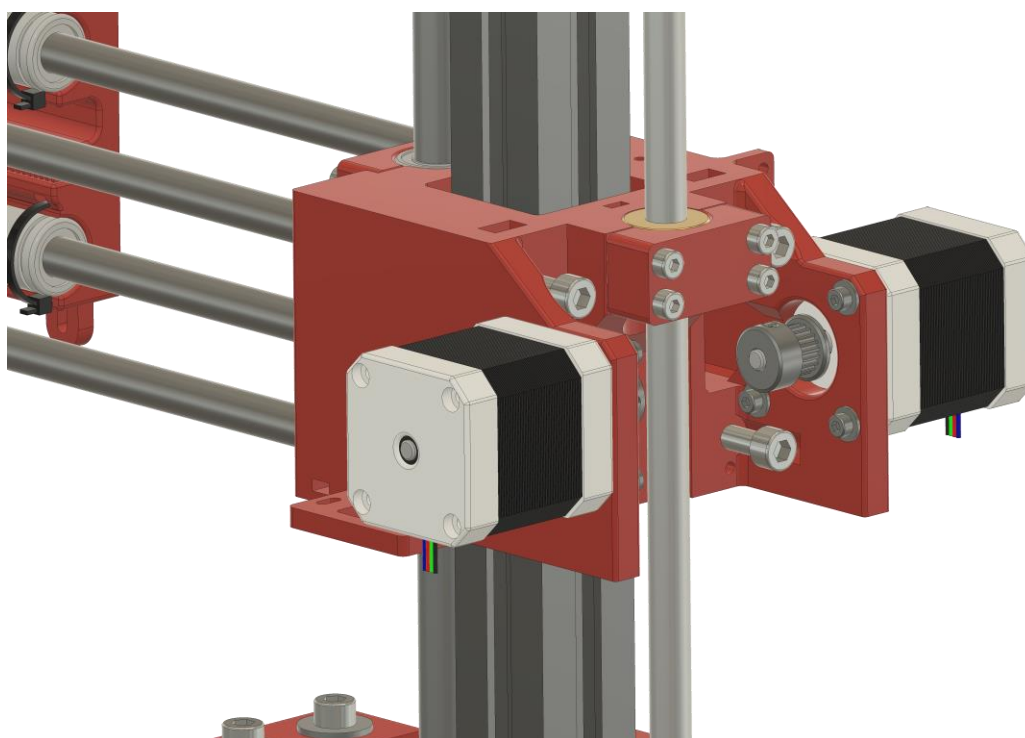
#### **4.5 Instalace krokových motorů a řemenů os X**

Krokové motory přijdou nainstalovat na příruby v ose X. Připravíme si komponenty z obrázku 98, soupis materiálu je na obrázku 150.



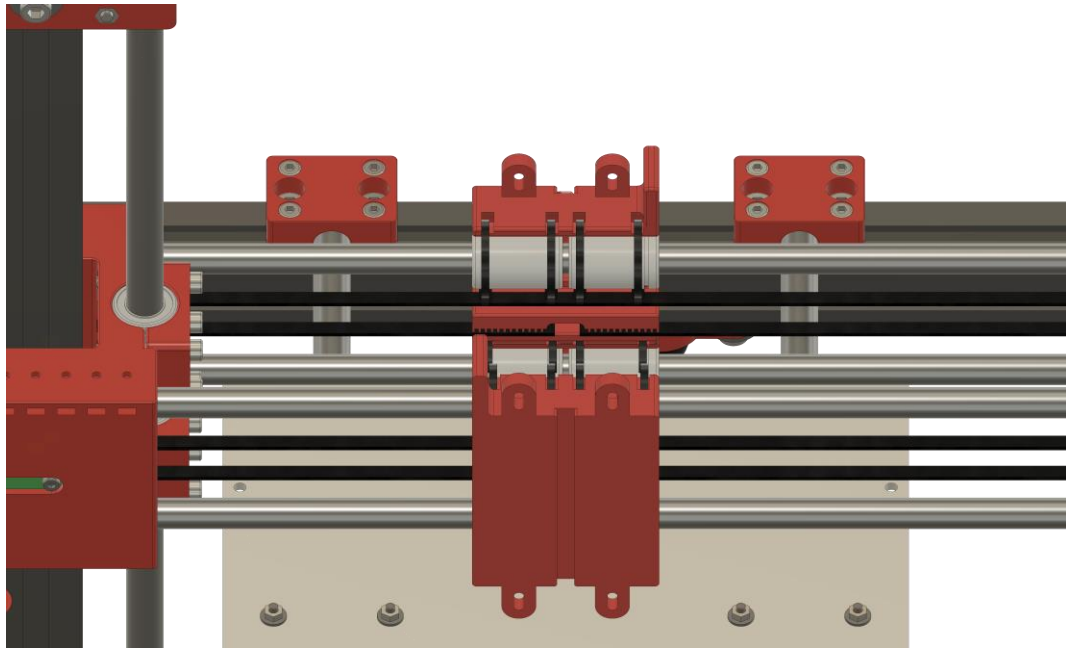
**Obr. 98 Komponenty pro sestavení krokových motorů os X**

Krokové motory přišroubujeme na příruby pomocí tří šroubů M3×12. Pod šrouby jsou podložky a vývody křemkových motorů směřují dolů. Na hřídele krokových motorů nasuneme řemenice a jeden ze zajišťovacích červů lehce přitáhneme proti drážce na hřídeli motoru.



**Obr. 99 Krokové motory os X na tiskárně**

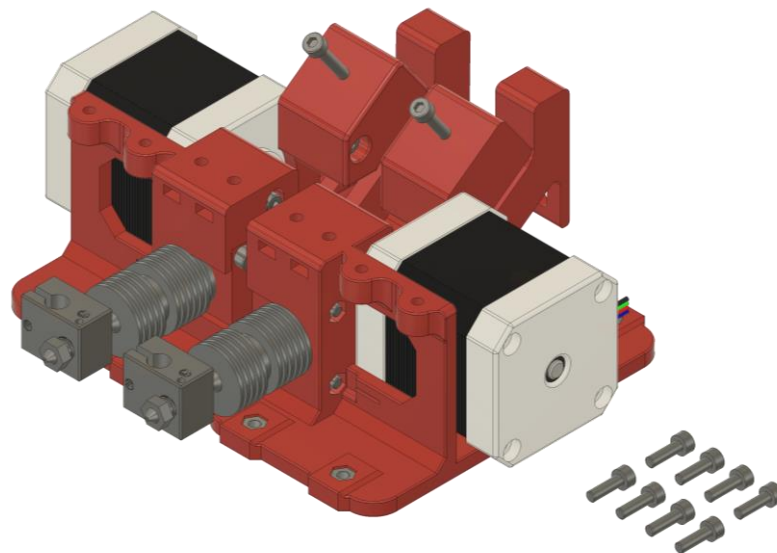
Nyní přetáhneme jeden z konců řemenů os X přes řemenici na krokovém motoru a řemeny zamáčkneme do ozubení ve vozíku extruderu. Operace je znázorněna na obrázku Obr. 100.



*Obr. 100 Nainstalované řemeny os X*

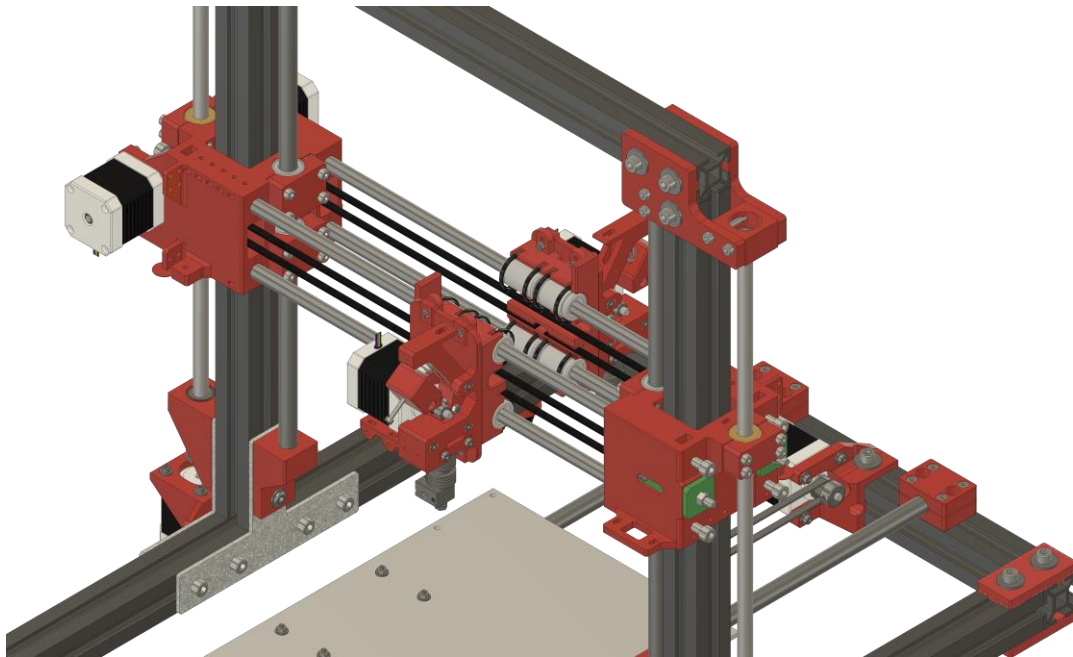
#### 4.6 Montáž extruderů na tiskárnu

V této kapitole nainstalujeme na tiskárnu extrudery, které máme připravené z předchozí montáže. Extrudery se montují na vozíky. Použijeme komponenty z obrázku 101. Soupis materiálu je na obrázku 151.



*Obr. 101 Komponenty pro montáž extruderů na tiskárnu*

Extrudery přišroubujeme na vozíky podle obrázku Obr. 102. Použijeme šrouby M3×12 které nedotahujeme. Kontrolujeme, zda jde s extrudery volně pohybovat v ose Z. Poté šrouby M3 dotáhneme s extrudery nastavenými v drážkách co nejvýše.



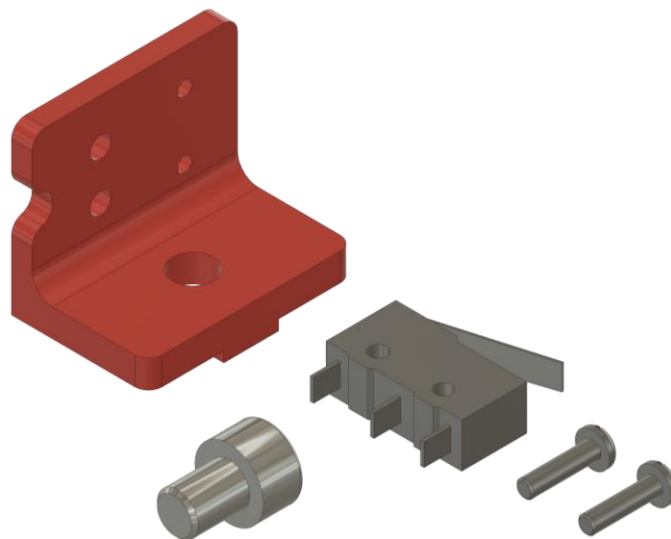
**Obr. 102 Extrudery přimontované na tiskárně**

## 4.7 Koncové spínače

Nainstalujeme všechny koncové spínače všech os. Vedení vodičů od koncových spínačů bude řešeno v další kapitole.

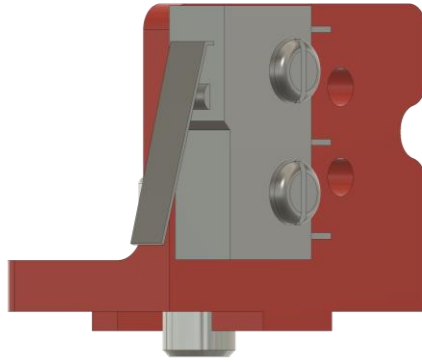
### 4.7.1 Koncový spínač osy Y

Koncový spínač osy Y sestavíme z komponentů na obrázku 103. Soupis materiálu je na obrázku 152.



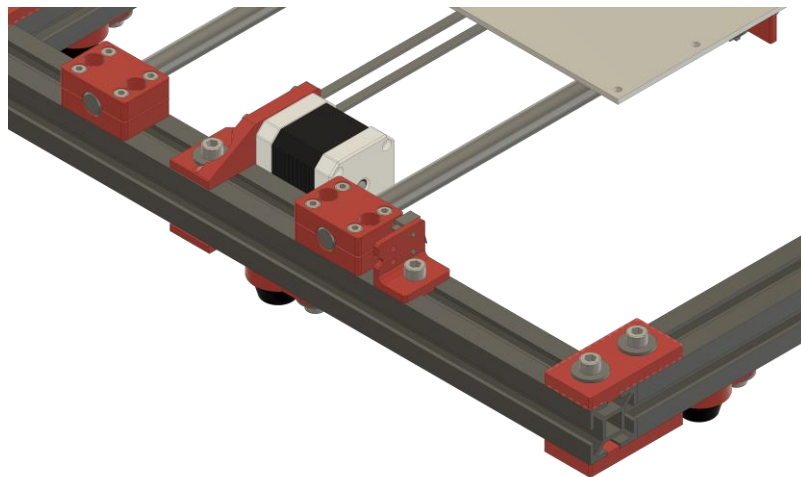
**Obr. 103 Komponenty pro sestavení koncového spínače osy Y**

Mikrospínač přišroubujeme na díl **Yendstop** (Obr. 152, Pos. 1) pomocí šroubů M2,5×10. Výsledek je na obrázku 104.



**Obr. 104 Mikrospínač Y**

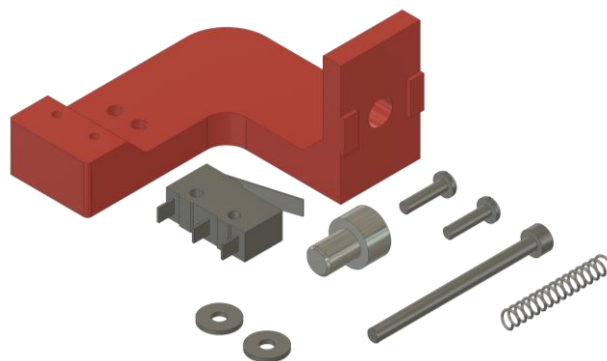
Pomocí šroubu M6×8 přišroubujeme koncový spínač Y na rám tiskárny podle obrázku 105. Ujistíme se, že koncový spínač sepne, jakmile stolek na ose Y dojde do minimální pozice, tj. ke krokovému motoru osy Y.



**Obr. 105 Umístění koncového spínače Y**

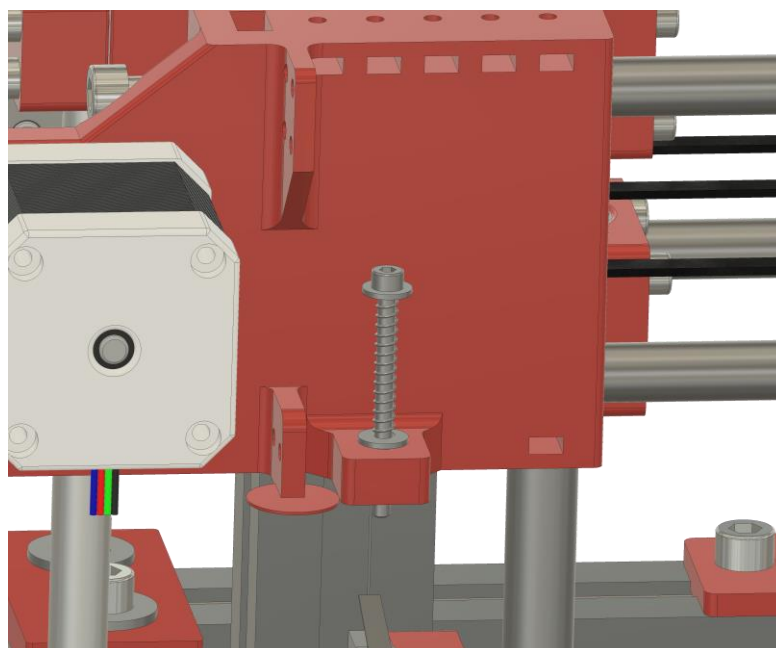
#### **4.7.2 Koncový spínač osy Z**

Koncový spínač osy Z sestavíme z komponentů na obrázku 106. Soupis materiálu je na obrázku 153.



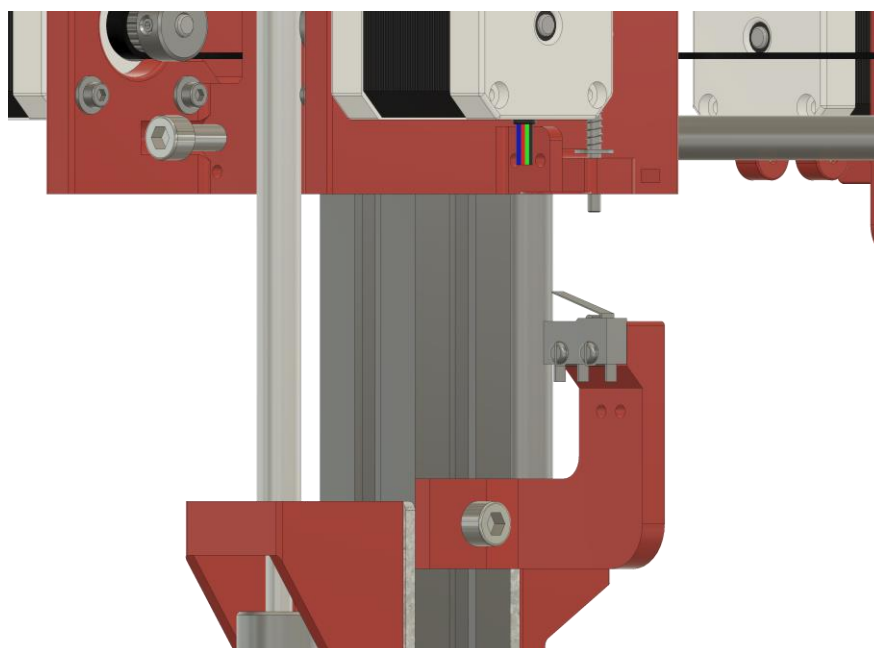
**Obr. 106 Komponenty pro sestavení koncového spínače osy Z**

Začneme dorazovým šroubem, který namontujeme na držák na ose X. Výsledek montáže je na obrázku 107. Pod hlavou šroubu M3×40 je podložka a na druhém konci pružiny je umístěna také podložka. Výsledná sestava je na obrázku 107.



**Obr. 107 Dorazový šroub s pružinou**

Následně přišroubujeme mikrospínač osy Z na díl **Zendstop** (Obr. 153, Pos. 2) šrouby M2,5×10. Následně díl přišroubujeme na stojinu osy Z. Pozice koncového spínače je zobrazena na obrázku Obr. 108.

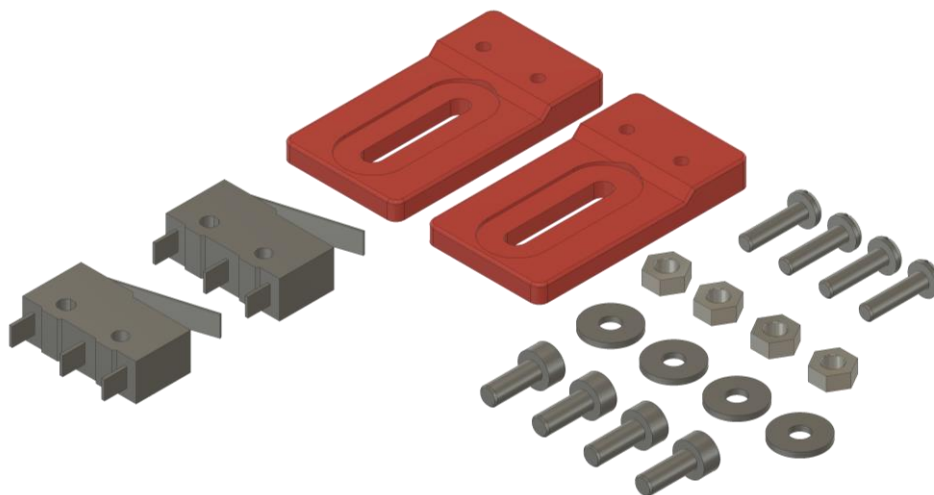


**Obr. 108 Koncový spínač Z osazený na tiskárně**



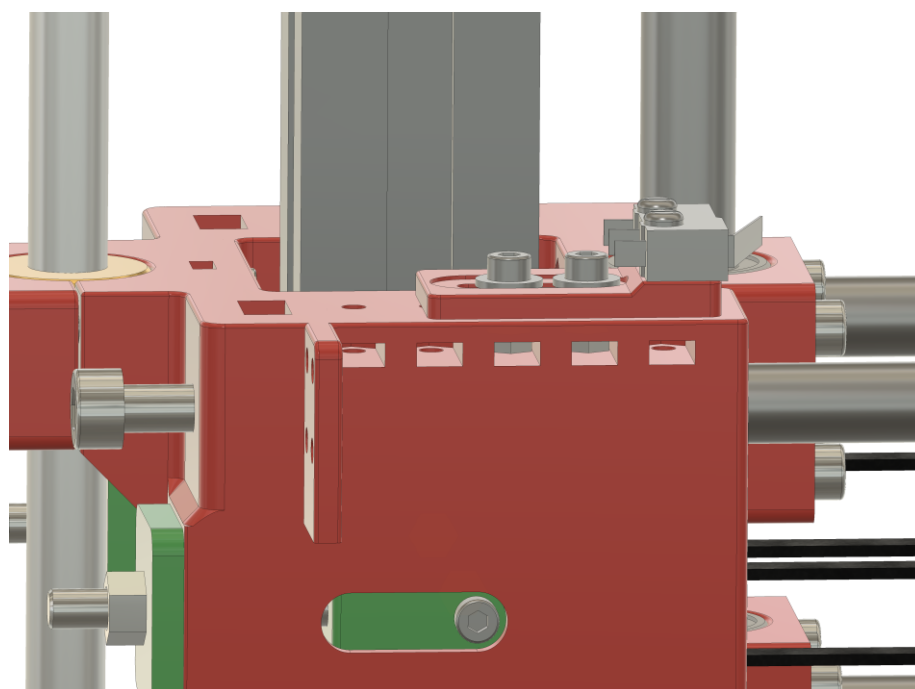
### 4.7.3 Koncové spínače os X

Koncové spínače os X sestavíme z komponentů na obrázku 109. Soupis materiálu je na obrázku 154.

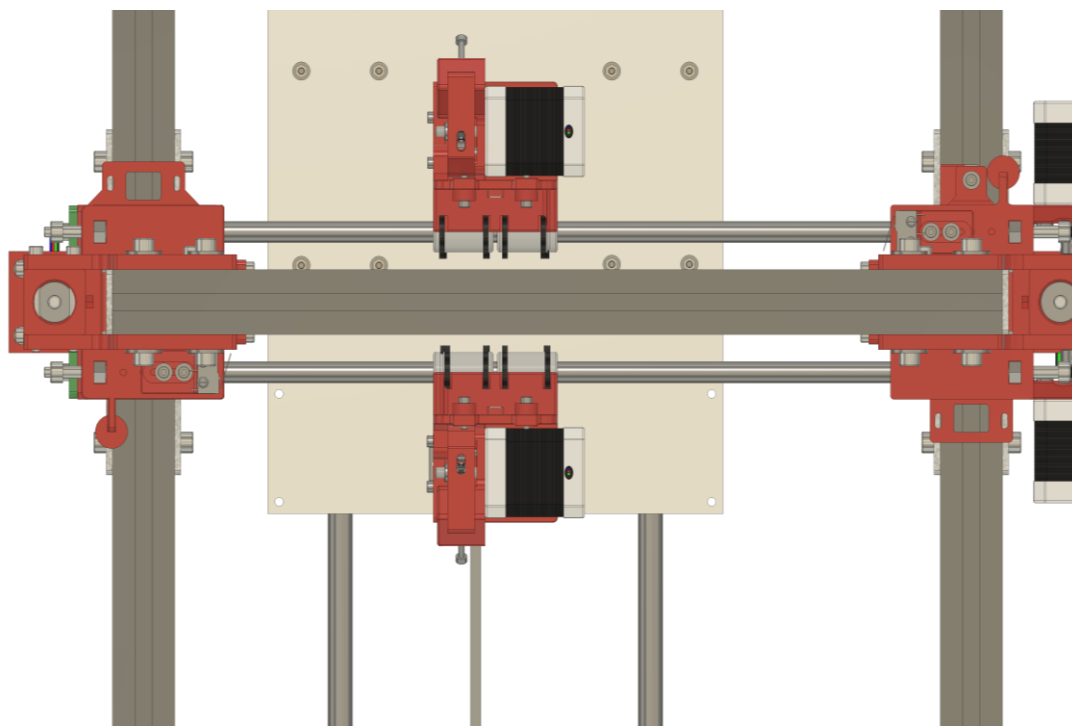


*Obr. 109 Komponenty pro sestavení koncových spínačů os X*

Do drážek na ose X vložíme matice M3. Následně přišroubujeme šrouby M3×10 díl **Xendstop** (Obr. 154, Pos. 1). Pod šrouby jsou podložky. Nakonec přišroubujeme na díl **Xendstop** příslušné mikrospínače. Postup montáže je na obrázku 110. Pozice mikrospínačů je znázorněna na obrázku 111. Mikrospínače nastavíme v drážce tak, aby vozíky extruderů bezpečně sepnuly spínače. Dbáme na přesné nastavení, mikrospínače musí spínat, ale zároveň musí být mezi vozíkem a tělem osy X minimální mezera.



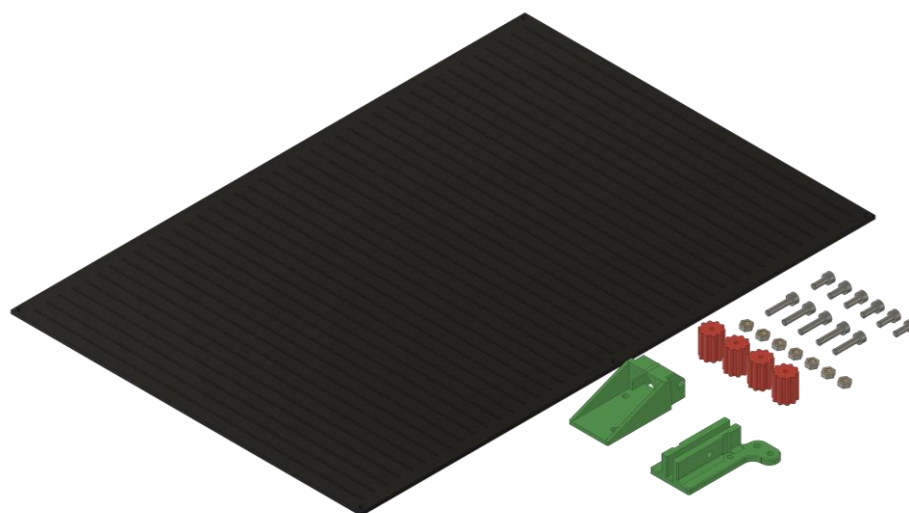
*Obr. 110 Koncový spínač osy X2*



*Obr. 111 Umístění Koncových spínačů os X*

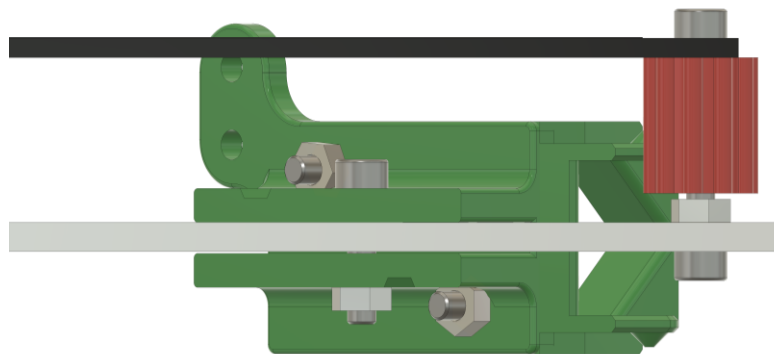
#### 4.8 Vyhřívaná podložka

Vyhřívanou podložku umístíme na stolek osy Y. Použijeme komponenty z obrázku 112. Soupis materiálu je na obrázku 155.



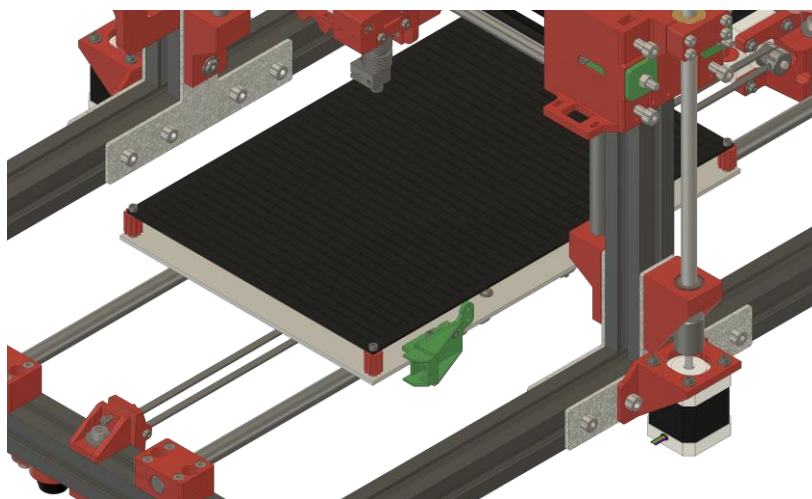
*Obr. 112 Komponenty pro sestavení vyhřívané podložky*

Podložku připevníme pomocí distančních sloupků, šrouby M3×14 přišroubujeme na stolek. Na tyto šrouby našroubujeme distanční sloupky **Spacer** (Obr. 155, Pos. 7). Nakonec přišroubujeme na distanční sloupky i samotnou podložku. Detail je na obrázku 113 a výsledná sestava je na obrázku 114.



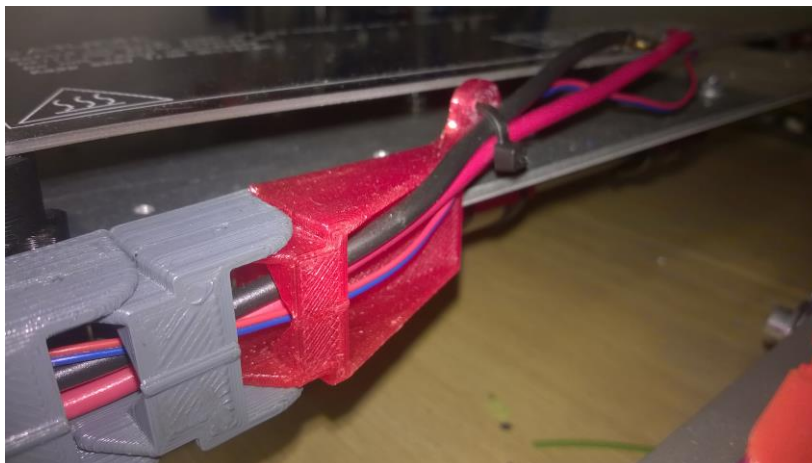
**Obr. 113 Detail distančního sloupku a uchycení vedení**

Vodiče vedoucí od vyhřívané podložky provlékneme kabelovým vedením, které je uchyceno na stolku osy Y. Sestavený konec vedení je na obrázku 113 a 114.



**Obr. 114 Sestava vyhřívané podložky**

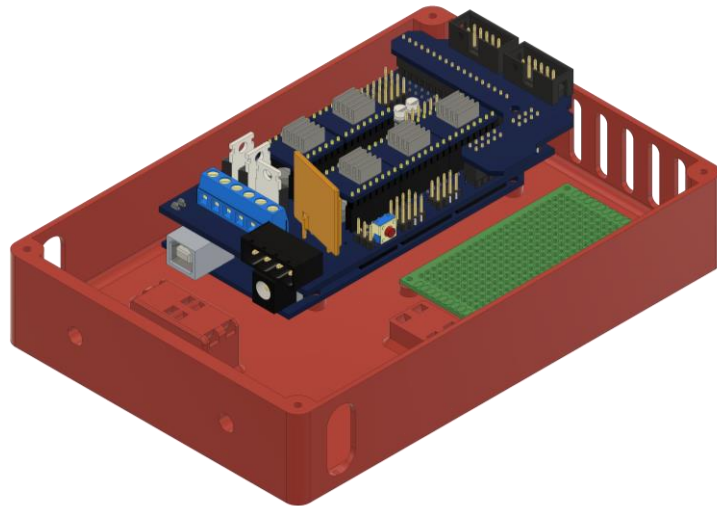
Vodiče nakonec zajistíme stahovací páskou jako na obrázku 115. Vodiče musí být zajištěny na obou koncích energetického řetězu, jinak dochází k pohybu vodičů.



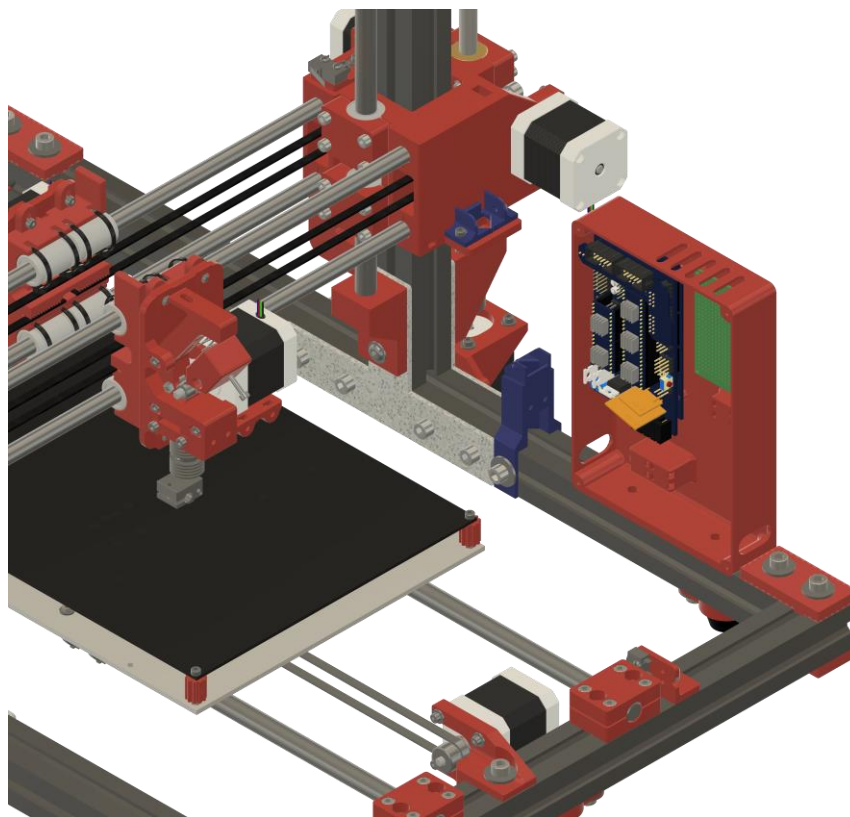
**Obr. 115 Provléčení vodičů vyhřívaného stolku**

## 4.9 Řídící elektronika

Krabička na elektroniku je v tomto stádiu pouze dočasná a víko krabičky je nekompletní a neodzkoušené, proto není v práci zahrnuto. Deska RAMPS 1.4 se neosvědčila jako spolehlivé řešení, a proto byl další vývoj krabičky pozastaven. V řešení je jiná verze krabičky na jinou základní desku. RAMPS 1.4 připojené na Arduino MEGA 2560 i s přídatným adaptérem na stepstick přišroubujeme šrouby M3×8 do krabičky. Celou krabičku přišroubujeme šrouby M6×10 na rám. Šrouby nejsou zahrnuty v soupisce. Postup montáže je na obrázku 116 a 117.

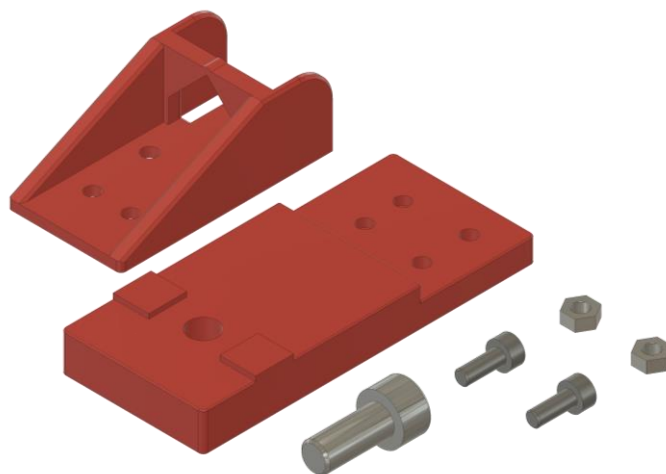


*Obr. 116 Krabička na základní desku RAMPS 1.4*

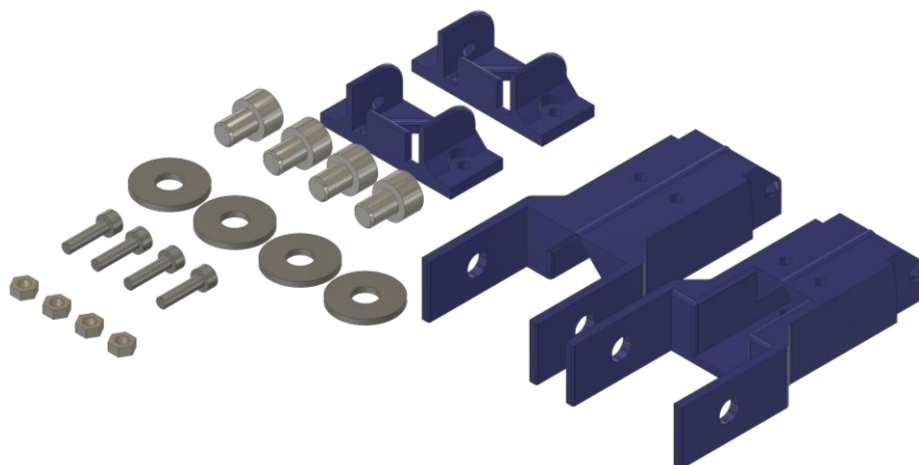


*Obr. 117 Umístění krabičky s deskou RAMPS*

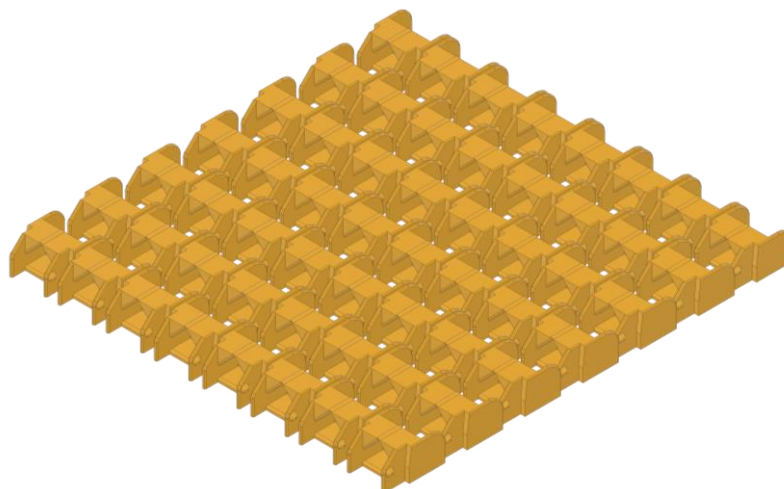
## 4.10 Kabelové řetězy



*Obr. 118 Komponenty pro sestavení zakončení řetězu osy Y*

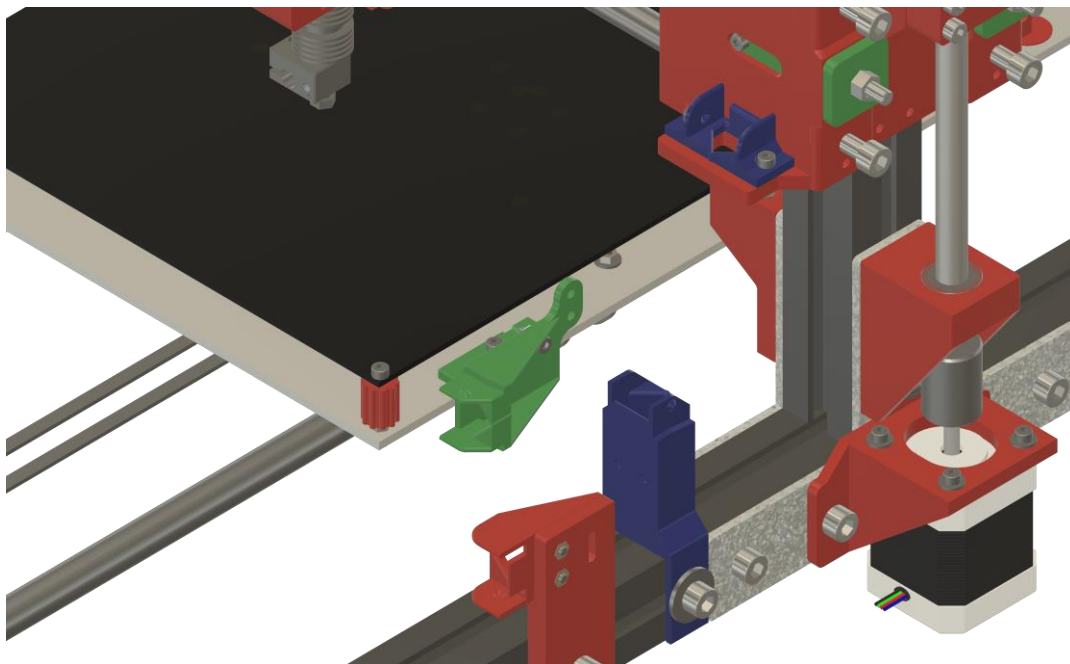


*Obr. 119 Komponenty pro sestavení zakončení řetězů os X*

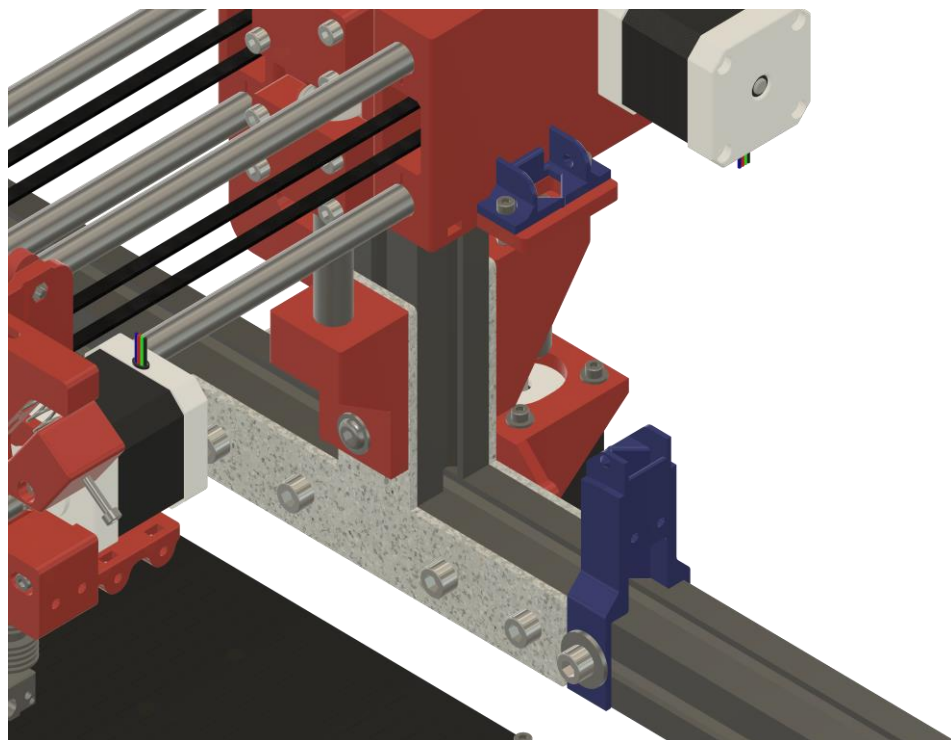


*Obr. 120 Články řetězu*

Energetické řetězy slouží pro vedení vodičů při pohybu. V práci jsou kompletně tištěné, řešení je plně funkční a již má odtištěno několik stovek hodin bez chyby nebo defektu. V plánu je ale opatření továrně vyráběných řetězů, hlavně z důvodu poměrně vysoké ceny za řetězy tištěné. Řetězy sestavíme z komponentů na obrázcích 118, 119 a 120. Soupis materiálu je na obrázcích 156, 157 a 158. Zakončení řetězů a jejich umístění je zobrazeno za obrázcích 121 a 122.



**Obr. 121 Energetické řetězy os Z a Y**

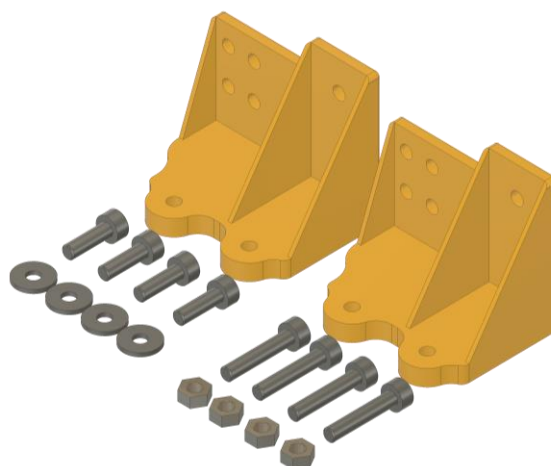


**Obr. 122 Energetický řetěz osy Z**

#### 4.11 Svorkovnice na extruderech

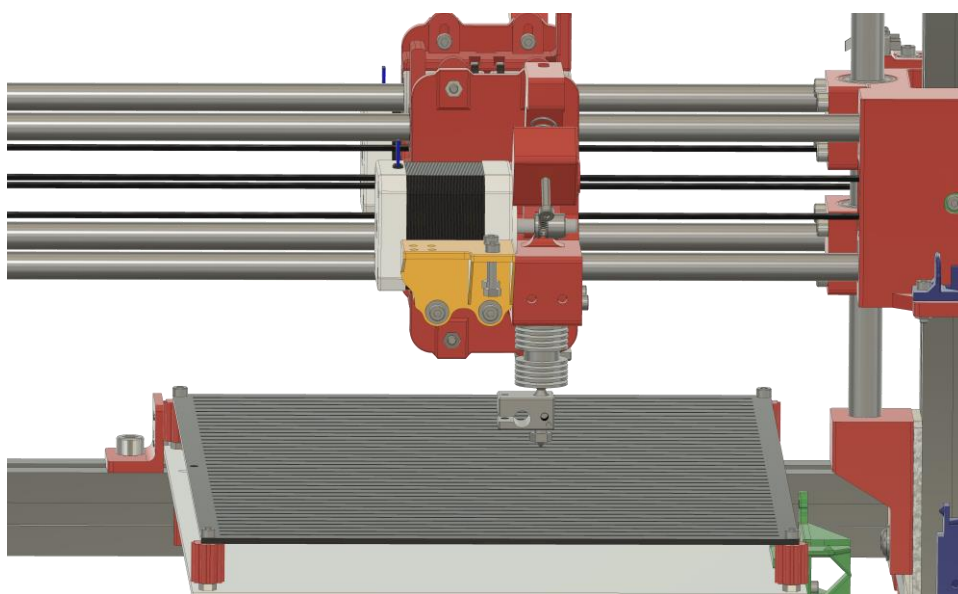
Navržené řešení umožňuje poměrně rychlou výměnu hotendů. Ve fázi neustálých experimentů a potřebě časté výměny hotendů bylo zvoleno toto řešení. Cena konektorů vzhledem k velkému množství hotendů, byla neúměrná. Svorkovnice spojuje topné tělísko a termistor s kabeláží na tiskárně. Navržené řešení ovšem skýtá prostor pro chybu uživatele, kdy zapojí topné tělísko místo termistoru a obráceně. V tomto případě zafungují ochrany nastavené ve firmware a tiskárna hlásí chybu a nedovolí nastavit teplotu hotendů až do odstranění chyby v zapojení.

Držáky svorkovnic sestavíme z komponentů na obrázku 123. Soupis dílů je na obrázku 159.



**Obr. 123** Komponenty pro sestavení držáků svorkovnic

Držáky svorkovnic přišroubujeme šrouby M3×10 na extrudery, výsledná montáž je zachycena na obrázku 124. Šrouby M3×14 a matice M3 použijeme pro montáž svorkovnic viz obrázek 173.



**Obr. 124** Montáž držáku svorkovnice

#### **4.12 Umístění vodičů na tiskárně**

Podkapitola popisuje vedení vodičů. Kapitola obsahuje několik fotografií polohy vodičů na tiskárně. Hlavním úskalím je zajištění vodičů v kabelových řetězech. Vodiče zajistíme stahovacími páskami do připravených bodů na jednotlivých dílech. Ještě přidáme přehled počtů článků energetických řetězů. U osy Y je to 18 kusů článků a u obou vedení osy Z je to 19 kusů článků. Pozici vodičů zobrazují názorně obrázky 162 až 176 v příloze B.

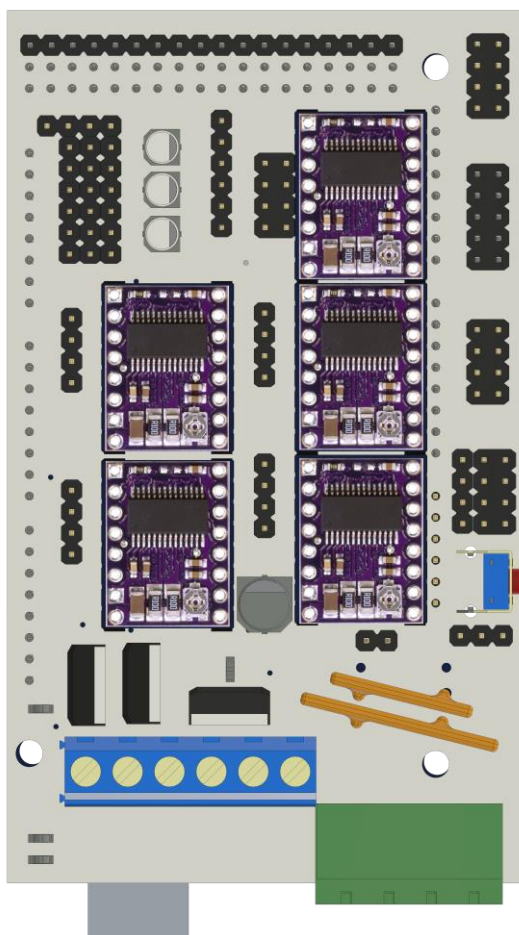


## 5 ZAPOJENÍ TISKÁRNY, FIRMWARE A OŽIVENÍ

Kapitola 5 se bude zabývat elektrickým zapojením tiskárny, zmíníme se o firmwaru tiskárny a uvedeme základní informace o nastavení k připojení a komunikaci tiskárny s počítačem.

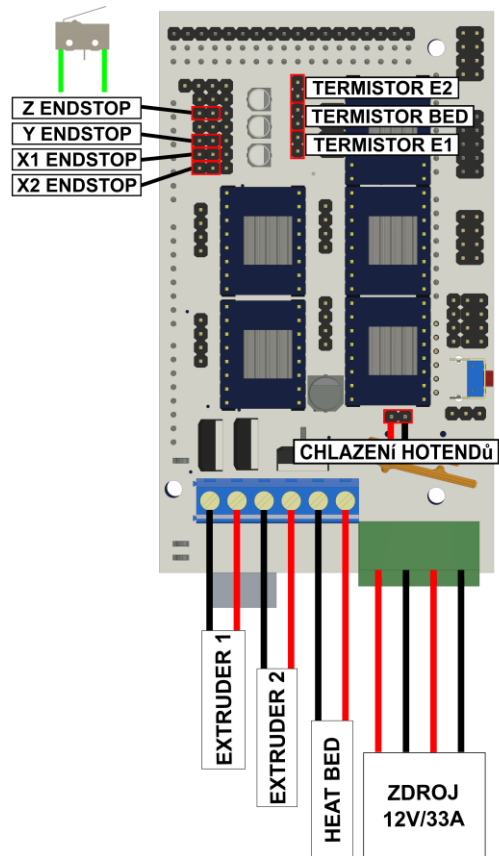
### 5.1 Zapojení základní desky RAMPS 1.4

Kapitola se zabývá elektrickým zapojením komponentů tiskárny do řídicí desky RAMPS 1.4. Zapojení jsou zobrazena názorně, při pohledu na desku RAMPS 1.4 z vrchu. Barvy vodičů krokových motorů vycházejí z defaultních barev vodičů, které jsou na krokových motorech Microcon XS17-1005VLQCEF viz obrázek 127. Použité stepsticky jsou typu DRV8825. Jumpery pod stepsticky jsou kompletně osazeny. Stepsticky osadíme podle obrázku 125. Dáváme velký pozor na orientaci stepsticků, špatné osazení má fatální následky.

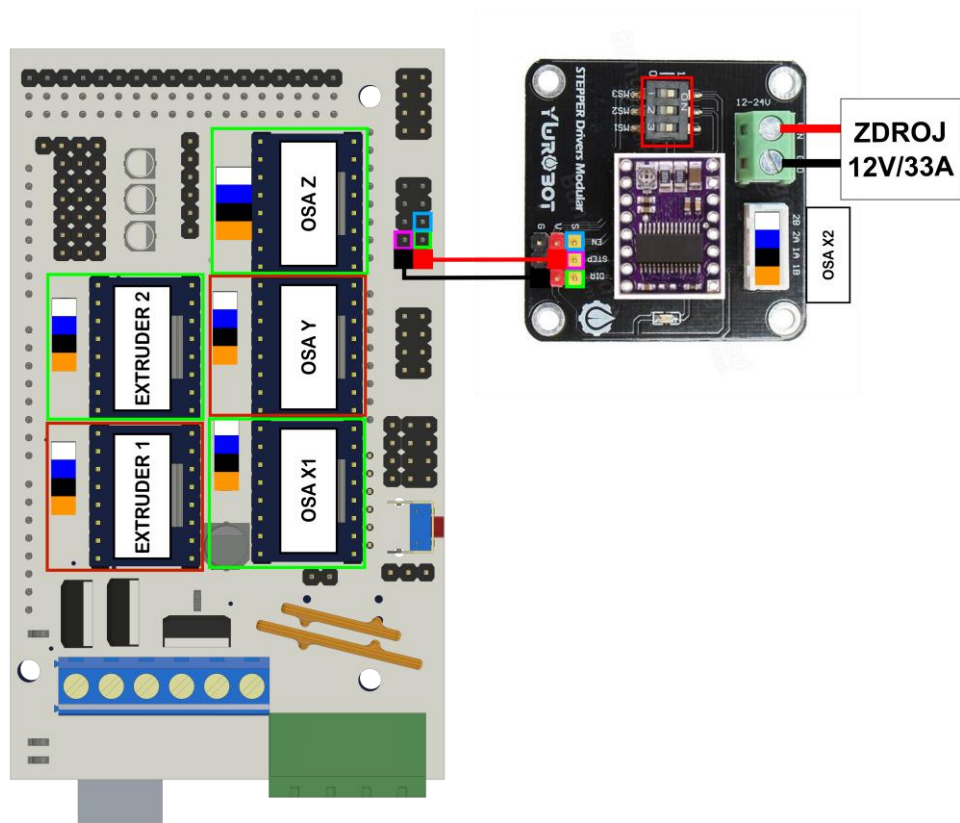


**Obr. 125 Osazení step sticků na desce**

Velký pozor dáváme při zapojování end stopů podle obrázku 126, posunutí konektorů o jeden pin vedle znamená zkrat na základní desce! Změna polaritě na vstupních svorkách zdroje bude mít také fatální následky! Veškeré zapojení pečlivě překontrolujeme před zapojením tiskárny do sítě.



Obr. 126 Zapojení napájení, výstupů, koncových spínačů a termistorů



Obr. 127 Zapojení krokových motorů a přídatné desky se step stickem

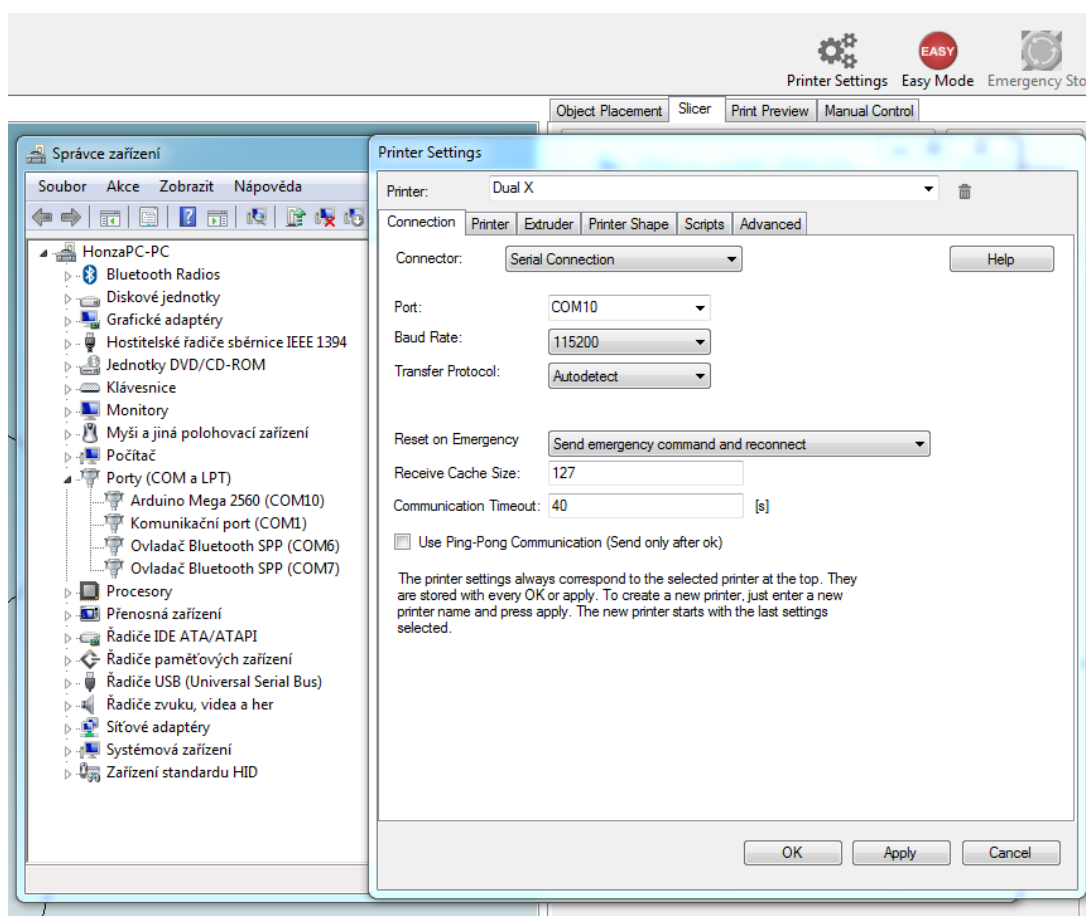
## 5.2 Firmware

Tiskárna používá open source firmware Marlin verze 1.1.0-RC7. Firmware je uložen v Arduino MEGA 2560 a má na starosti celkový běh tiskárny. Firmware se do arduina nahrává přes defaultní aplikaci Arduino software (IDE).

Na firmwaru bylo provedeno množství změn. Výsledná verze firmwaru je na příloženém CD a je plně funkční s konfigurací hardwaru uvedeného v této práci.

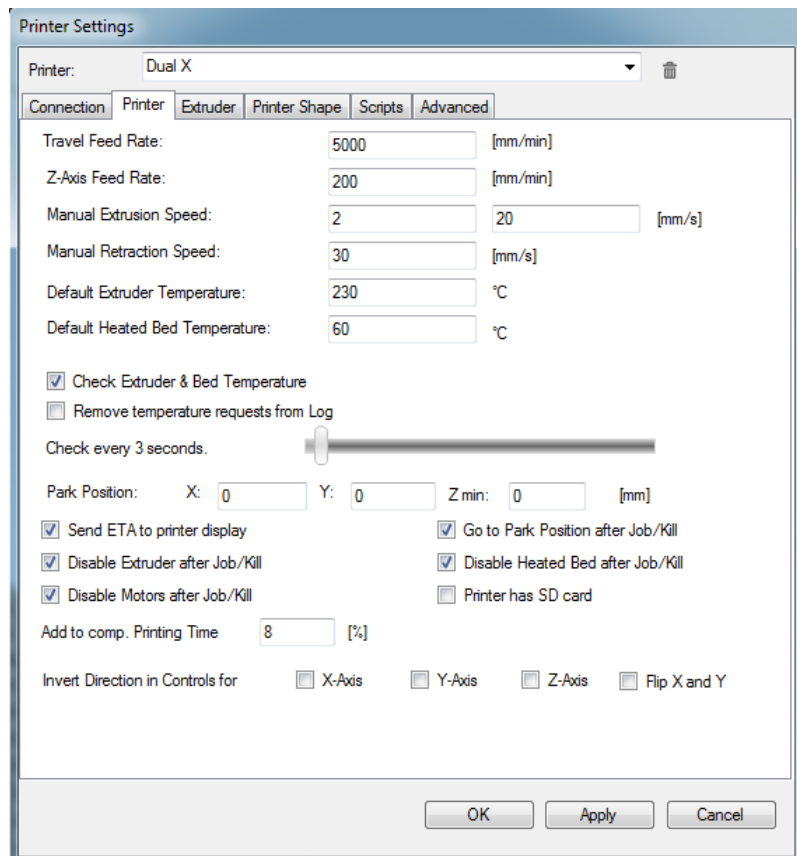
## 5.3 Oživení tiskárny, základní nastavení pro komunikaci s počítačem

Tiskárnu připojíme přes USB kabel do počítače. Operační systém by měl detekovat nově připojené zařízení. Ve správci zařízení zjistíme komunikační port, v našem případě COM10. V programu Repetier host otevřeme záložku printer settings a kartu connection vyplníme podle obrázku 128.

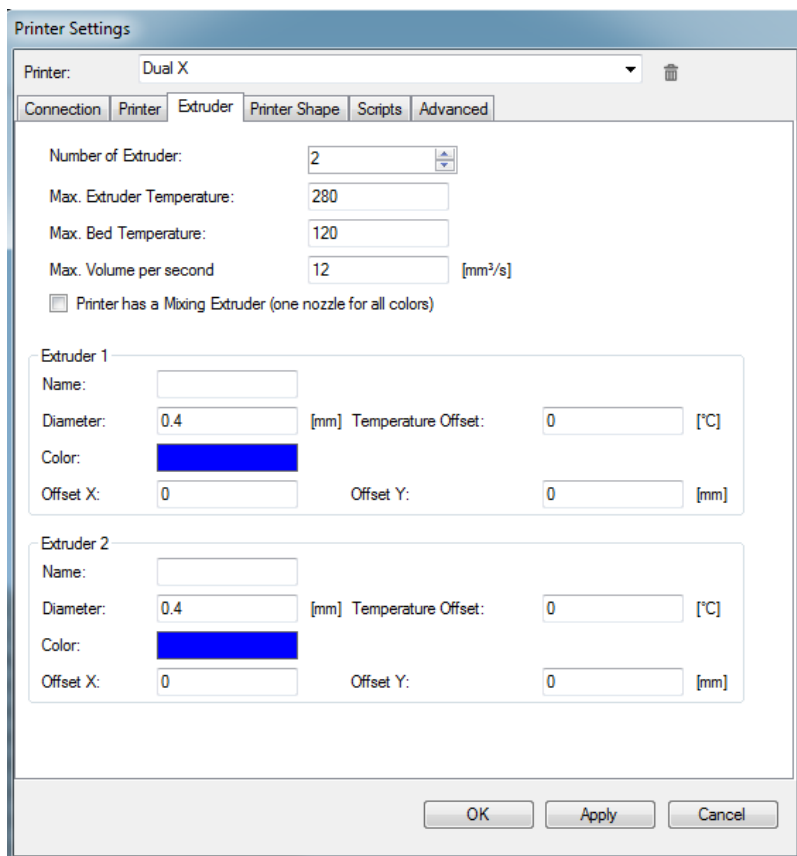


**Obr. 128** Nastavení připojení tiskárny

Dále nastavíme další karty. Záložku printer nastavíme podle obrázku 129. V další záložce nastavíme množství extruderů instalovaných na tiskárně viz obrázek 130. Maximální možnou teplotu extruderu nezvyšujeme na víc jak 300 °C. Vyšší teploty dlouhodobě nevydrží termistory instalované v hotendech.

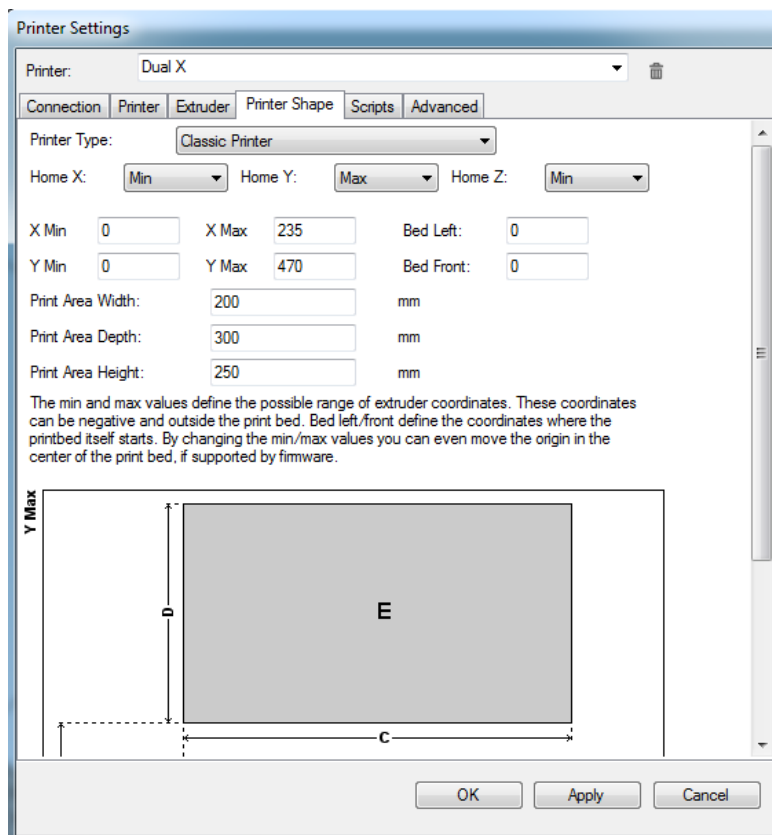


**Obr. 129** Nastavení tiskárny



**Obr. 130** Nastavení počtu extruderů

Posledním krokem v nastavení tiskárny je nastavení délky os a celkové geometrie tiskárny. Záložku printer shape nastavíme podle obrázku 131.



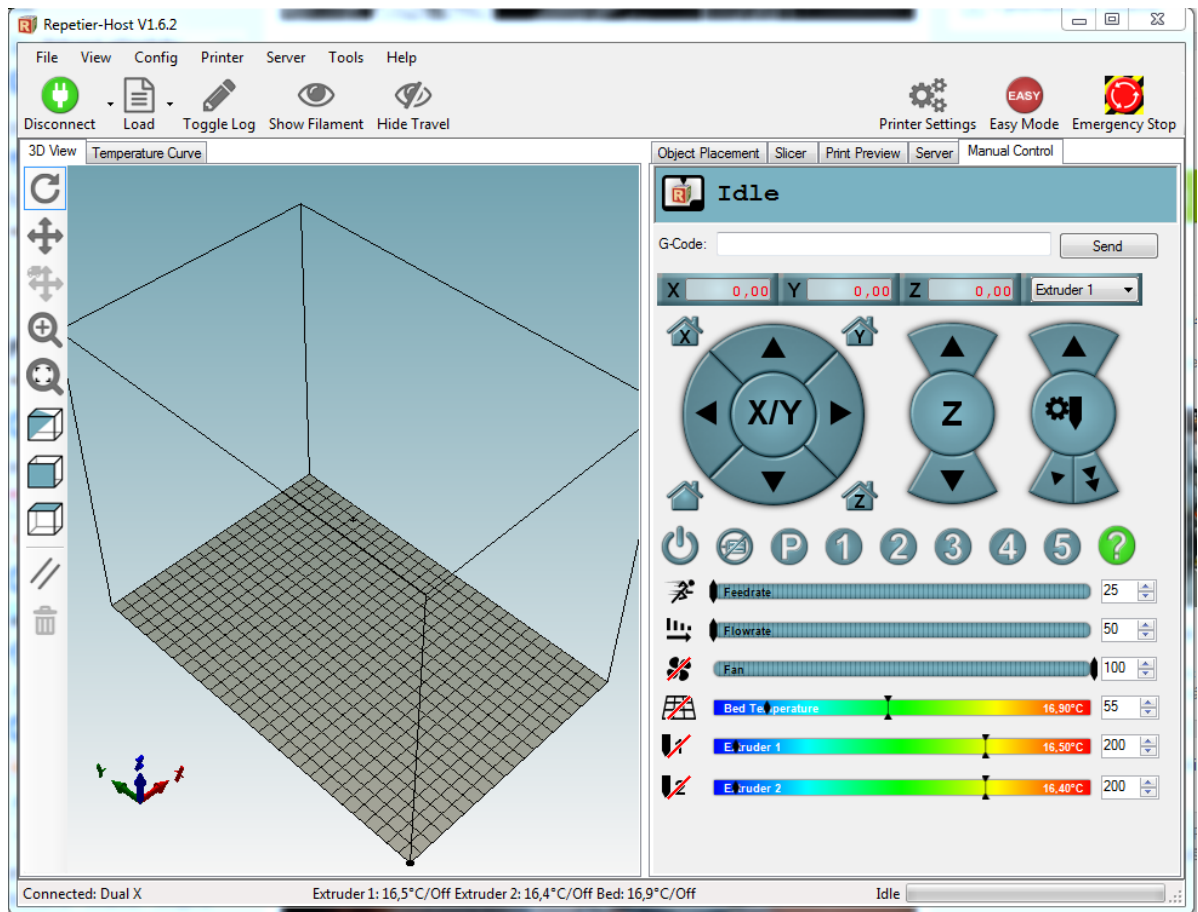
**Obr. 131 Nastavení geometrie tiskárny**

Tím je základní nastavení pro připojení tiskárny hotové. Nyní můžeme tiskárnu připojit. Po úspěšném připojení přepneme na kartu manual control viz 132. Zjistíme, zda tiskárna správně čte teploty extruderů a podložky. Zobrazené teploty by měly přibližně odpovídat teplotě vzduchu v okolí tiskárny. V tomto případě to je přibližně 16 °C (viz obrázek 132). Malé odchylky jsou přípustné v rámci přesnosti termistorů.

Dále vyzkoušíme funkčnost pohybu tiskárny a koncových spínačů. Na ovládacím panelu necháme všechny osy najet do minimální pozice. Koncový spínač osy Z nastavíme tak, aby trysky tiskárny byly cca 0,2 mm nad vyhřívanou podložku s nainstalovaným sklem. K hrubému nastavení vzdálenosti posunujeme s celým koncovým spínačem po profilu osy Z. K jemnému nastavení použijeme dorazový šroub. Dáváme pozor a toto nastavení provádíme s vyjetými extrudery mimo tiskovou plochu. Pohon osy Z má poměrně velkou sílu a v krajním případě by trysky dokázaly rozdrtit sklo na vyhřívané podložce.

Nakonec vyzkoušíme ohřev extruderů a podložky, požadované teploty nastavíme na zvolenou hodnotu, např.: extrudery na 230 °C a podložku na 100 °C. Při této příležitosti můžeme zkontrolovat činnost krokových motorů extruderů. Firmware blokuje motory extruderů při teplotě hotendů nižší jak 180 °C. Když je tedy teplota extruderu nižší krokový motor se nebude pohybovat.

Jako poslední informaci doplníme offset druhého extruderu v ose Y je 150 mm. Tímto je základní nastavení tiskárny hotové.



**Obr. 132 Ovládací panel tiskárny**

V příloze C jsou vloženy fotografie z funkce tiskárny a fotografie vytisknutých objektů.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout funkční prototyp 3D tiskárny se dvěma tiskovými hlavami a následně popsat sestavení 3D tiskárny a její zapojení. Výsledkem diplomové práce je obrázkový návod na sestavení 3D tiskárny. Postup sestavení tiskárny je vypracovaný přesně podle postupu sestavování prototypu. V příloze na CD jsou přiloženy stl soubory tisknutelných dílů 3D tiskárny.

Při stavbě a celém vývoji bylo řešeno obrovské množství problémů vycházející hlavně ze snahy udržet konstrukci co nejlevnější. Ze začátku byly většinou díly nakupovány přímo z Číny z nabídek na serverech ebay.com a aliexpress.com. Některé díly byly poměrně kvalitní a cenově velice výhodné. Žádný problém nebyl s řemenicemi a řemeny. O poznání horší kvalita byla například u lineárních ložisek a ložisek vůbec. V tomto případě bylo z 20 kusů ložisek LM10UU a z 20 kusů ložisek LM12UU s velkým úsilím vybráno 8 kusů od každého druhu, které nevykazovaly žádné větší vady. Ložiska buď nešla na tyče nasadit vůbec, nebo zadržávala, nebo byla extrémně hlučná. Problémy se nevyhnuly ani u stepsticků, zde to již nebylo tak ztrátové, z celkem 8 kusů jich bylo 6 funkčních.

Zvláštní kapitolou byly hotendy. Vzhledem k velmi špatné kvalitě čínských klonů E3D a poměrně vysoké ceně originálních hotendů jsem nakonec přistoupil ke zpracování výrobní dokumentace a zadání výroby vlastní modifikace hotendu, kdy jsem věděl, že odvedená práce bude přínosem pro kvalitu výsledného tisku a povede i ke snížení ceny hotendu při zachování vysoké výrobní kvality.

Celý vývoj se bohužel neobešel bez slepých uliček. U úplně první verze tiskárny byly pro zdvih osy Z použity řemeny místo trapézových šroubů. Řešení fungovalo velice dobře, bohužel se v praxi příliš neosvědčilo. S čím jsem při návrhu vůbec nepočítal, byla poměrně velká váha osy X, osa váží při osazení motory přibližně 5 kg. I přes převod na krokovém motoru nebyl krokový motor schopen udržet osu X na místě při vypnutém napájení tiskárny. V praxi to znamenalo že výpadek napájení při tisku znamenal okamžité spadnutí osy X směrem dolů. V tomto případě hrozilo například rozbití vyhřívané podložky nárazem hotendu. Tento problém jsem řešil nejprve dorazy, kdy se hotendy zastavily těsně nad sklem. Jenže ani to se neukázalo jako dostatečné řešení, další výpadek proudu sice nezpůsobil škody na vyhřívané podložce, ale způsobil další nečekaný problém. Rozpálený hotend se celý vnořil do právě tištěného předmětu a jeho dobývání ven z plastového dílu bylo poměrně oříškem. Řešení přicházelo v úvahu několik, krokový motor s integrovanou převodovkou a k tomu ještě další převod řemenem, nebo záloha napájení. Obě varianty jsem vzhledem k ceně a dalším problémům zavrhl a nastalou situaci jsem řešil osvědčenými trapézovými šrouby. Takto tedy vznikla druhá verze tiskárny. Slepá ulička stála poměrně dost času díky úpravě stávajících dílů. Pro zajímavost tiskárna verze 1 s řemeny na ose Z vytiskla mimo jiného kompletně všechny díly pro verzi aktuální, poté jsem ji rozebral a složil aktuální verzi.

Dalším problémem se v průběhu času a přibývajícím počtu komponent ukázal zvolený cad software Autodesk Fusion 360. Tato volba padla hlavně v důsledku poměrně nízké ceny za licenci oproti licenci Autodesk Inventor. Nízká cena ale v sobě skrývá několik nevýhod. Hlavní nevýhodou je relativní pomalost programu při velkém množství komponent v sestavě. Přesto, že práce probíhaly na výkonném herním počítači s výkonným procesorem i grafickou kartou a rychlým internetovým připojením, výsledný výkon aplikace byl mnohdy žalostný a ve finálních fázích sestavy tiskárny obnovení sestavy trvalo i několik minut. Dražší konkurent Autodesk Inventor neměl sebemenší problémy s výkonem ani v sestavách větších, než je výsledná sestava 3D

tiskárny. Za zmínku stojí i nedostatečné prostředí pro tvorbu výkresové dokumentace. Nepodařilo se například přepsat obsah tabulek se soupiskami materiálu, proto jsou kusovníky v práci s anglickými texty. Návod v práci byl vypracován s velkou dávkou trpělivosti. Zvláště ke konci vypracovávání návodu program začal z doteď nezjištěných příčin často padat a ani po konzultacích s podporou Autodesk jsem se nedozvěděl co bylo příčinou.

Výsledkem diplomové práce je plně funkční a provozně spolehlivá 3D tiskárna. Její vlastnosti dávají předpoklad jejího praktického použití jak na základních školách v rámci RVP 5.9 - Člověk a svět práce v oblastech Práce s technickými materiály, Design a konstruování a Využití digitálních technologií, tak na školách středních v nejrůznějších technických oblastech (elektrotechnika, elektronika, strojnictví atd.).

Ukázky 3D tisku byly pozitivně a s velkým zájmem přijaty žáky v rámci souvislé pedagogické praxe a lze předpokládat, že by nasazení 3D tisku do vzdělávací oblasti RVP 5.9 zatraktivnilo výuku a možná i přispělo k většímu zájmu o techniku a technické vzdělávání.



## POUŽITÉ ZDROJE

- [1] Stratasys. *FDM Technology*. [online]. 2016. [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/fdm-technology>
- [2] 3D HUBS. *What is 3D Printing?* [online]. 2016. [cit. 2016-02-25]. Dostupné z: <https://www.3dhubs.com/what-is-3d-printing>
- [3] Formlabs. *The Ultimate Guide to Stereolithography. (SLA) 3D Printing*. [online]. [cit. 2016-07-31]. Dostupné z: <https://formlabs.com/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>
- [4] Solidator. *Solidator 3D Printer - Product Video*. [online]. [cit. 2016-09-11]. Dostupné z: <http://www.solidator.com/3D-Printer-Video.html>
- [5] Stratasys. *PolyJet Technology*. [online]. [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/polyjet-technology>
- [6] 3D systems. *Selective Laser Sintering (SLS)*. [online]. [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: <https://www.3dsystems.com/resources/information-guides/selective-laser-sintering/sls>
- [7] Innomia. *DMLS (Direct Metal Laser Sintering) - 3D tisk kovu*. [online]. 2012. [cit. 2017-02-10]. Dostupné z: <http://www.innomia.cz/sluzby/kovove-prototypy#doprava>
- [8] Eos. *EOS M 290*. [online]. [cit. 2017-02-10]. Dostupné z: <https://www.eos.info/eos-m290>
- [9] 3D printing from scratch. *3D Printer Filament Types Overview*. [online]. 2017. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://3dprintingfromscratch.com/common/3d-printer-filament-types-overview/>
- [10] All3DP. *30 Types of 3D Printer Filament - Guide & Comparison Chart*. [online]. 2017. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://all3dp.com/best-3d-printer-filament-types-pla-abs-pet-exotic-wood-metal/>

## **PŘÍLOHY**

Příloha A - Soupisy materiálu potřebného pro sestavení 3D tiskárny

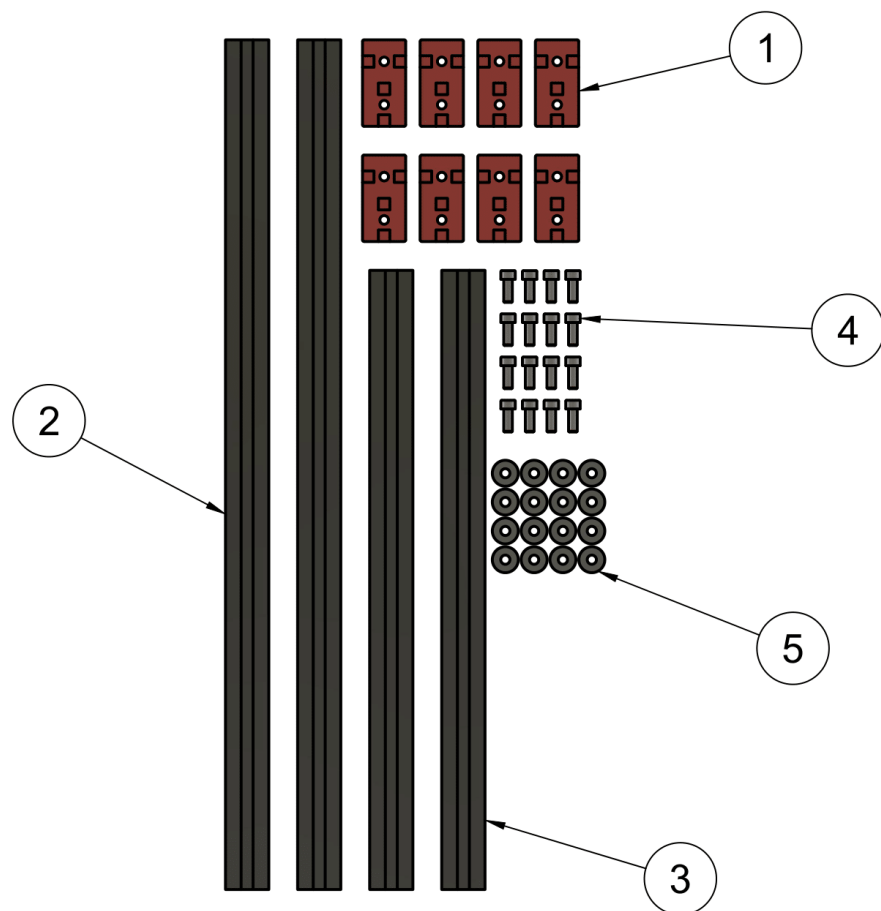
Příloha B - Fotodokumentace umístění vodičů na tiskárně

Příloha C - Fotogalerie z funkce tiskárny a fotografie vytištěných objektů

Dále přílohy obsahují firmware tiskárny a stl soubory jednotlivých dílů 3D tiskárny. Tyto přílohy jsou umístěny na CD, které je vloženo v tištěné verzi diplomové práce.

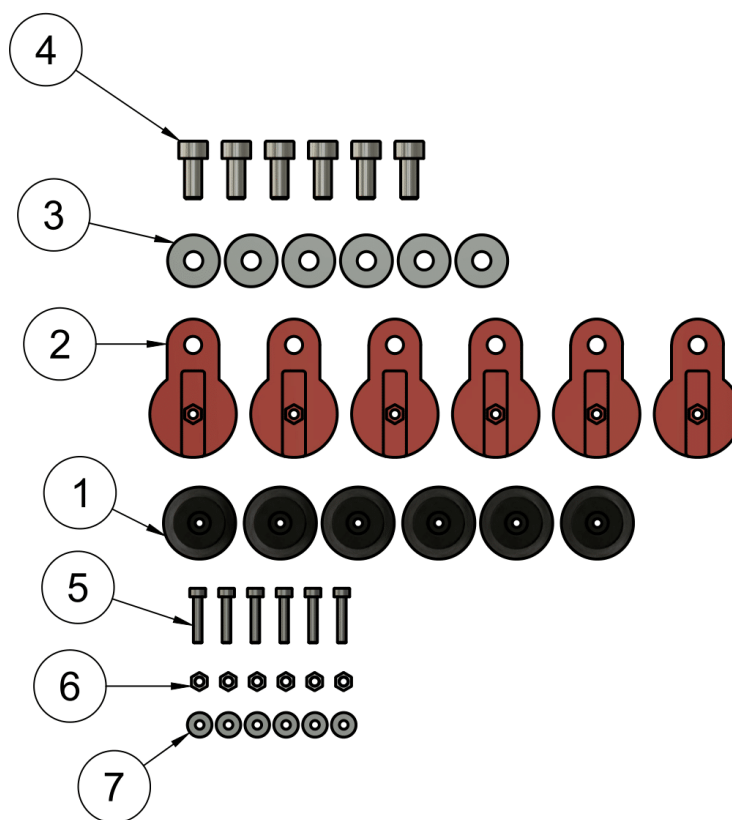
## PŘÍLOHA A

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	8	Yframeconnect v11		PET Plastic
2	2	Profil 590mm		
3	2	Profil 430mm		
4	16	M6x16	DIN 912	Steel
5	16	Podložka 6.4	DIN 9021	Steel



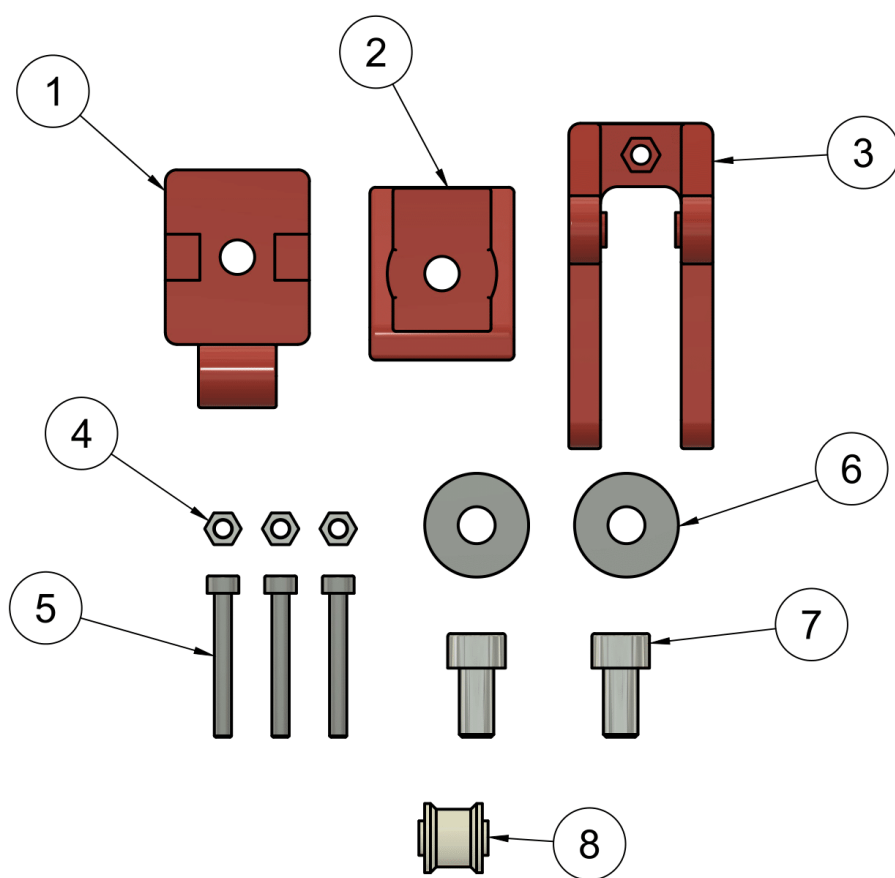
**Obr. 133** Soupis materiálu rámu osy Y

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	6	Gumová zarážka 24/18 výška 11 v2		Rubber
2	6	Leg v10		PET Plastic
3	6	Podložka 6.4	DIN 9021	Steel
4	6	M6x14	DIN 912	Steel
5	6	M3x16 v5	DIN 912	Steel
6	6	Matice M3		Steel
7	6	Podložka 3.2	DIN 9021	Steel



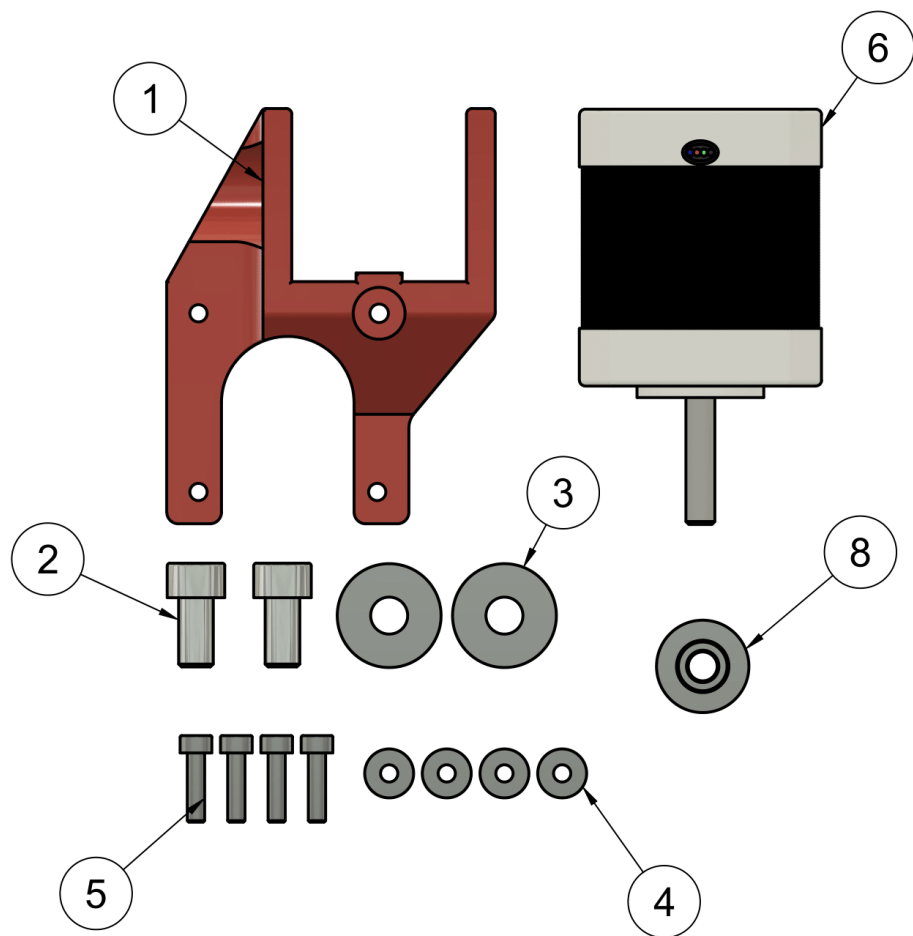
**Obr. 134** Soupis materiálu nohy

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Ybeltensionerbottom v8		PET Plastic
2	1	Ybeltensionertop v14		PET Plastic
3	1	Ybeltlever v18		PET Plastic
4	3	Matice M3		Steel
5	3	M3x25 v3	DIN 912	Steel
6	2	Podložka 6.4	DIN 9021	Steel
7	2	M6x12 v7	DIN 912	Steel
8	1	Zedexpulley v1		Steel



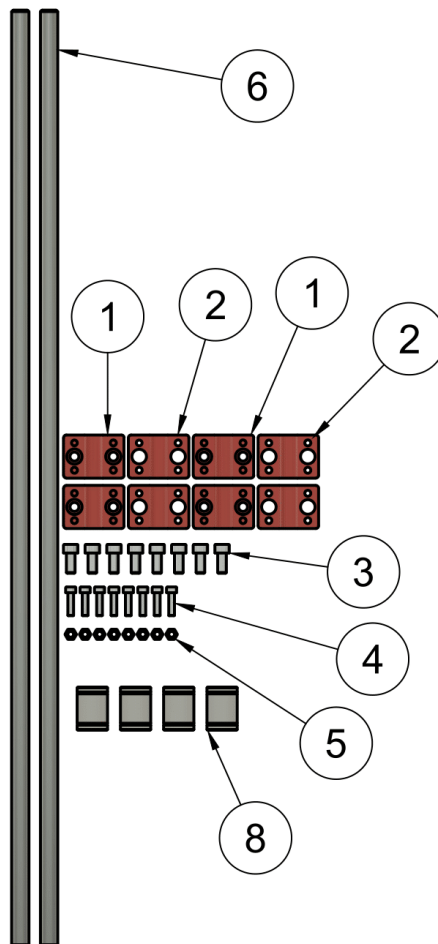
**Obr. 135** Soupis materiálu napínák řemene osy Y

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Ymotor v17		PET Plastic
2	2	M6x12 v7	DIN 912	Steel
3	2	Podložka 6.4	DIN 9021	Steel
4	4	Podložka 3.2	DIN 9021	Steel
5	4	M3x12 v4	DIN 912	Steel
6	1	SX17-1005VLQCEF v1		Steel
8	1	GT2 20z v1		Steel



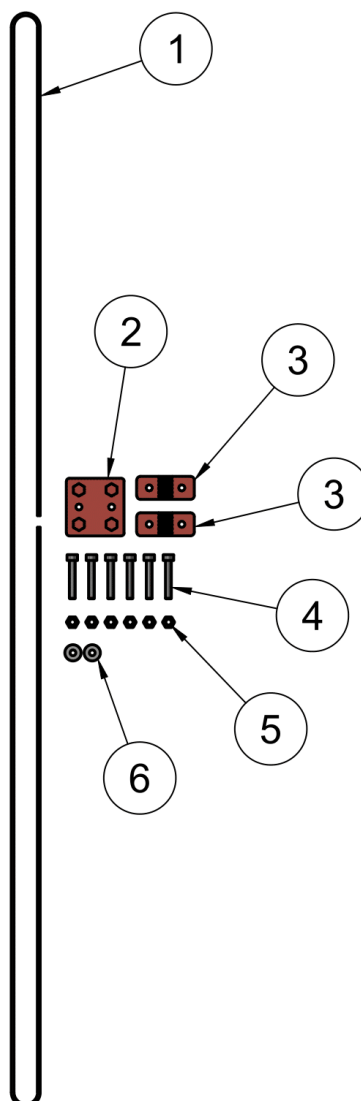
**Obr. 136** Soupis materiálu krokový motor osy Y

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	4	Yrodholderbottom v7		PET Plastic
2	4	Yrodholdertop v5		PET Plastic
3	8	M6x14	DIN 912	Steel
4	8	M4x16 v2	DIN 912	Steel
5	8	M4 v2		Steel
6	2	Dia12mm590mm v2		Steel
8	4	LM12UU v5		Steel



**Obr. 137** Soupis materiálu vodící tyče Y

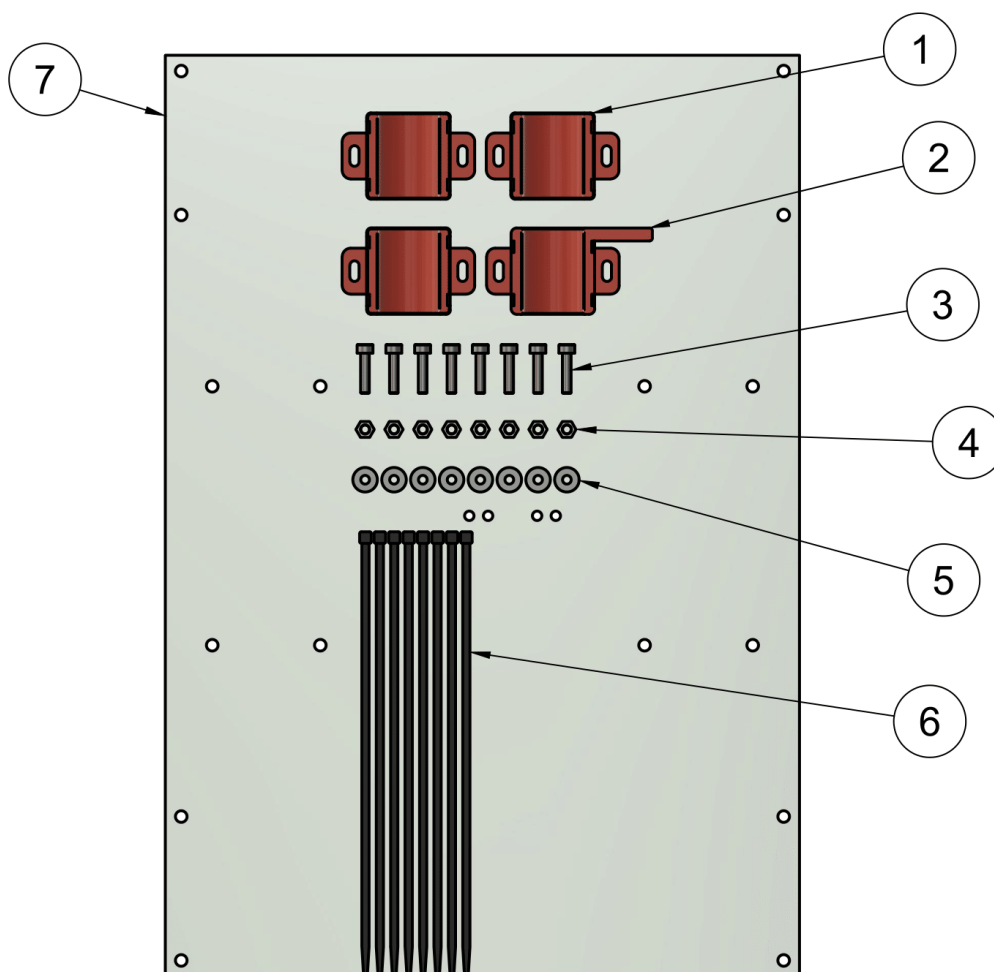
Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Řemen v3		Steel
2	1	Ybeltbase v11		PET Plastic
3	2	Ybeltclamp v11		PET Plastic
4	6	M3x20 v3	DIN 912	Steel
5	6	Matice M3		Steel
6	2	Podložka 3.2	DIN 9021	Steel



**Obr. 138** Soupis materiálu řemen osy Y

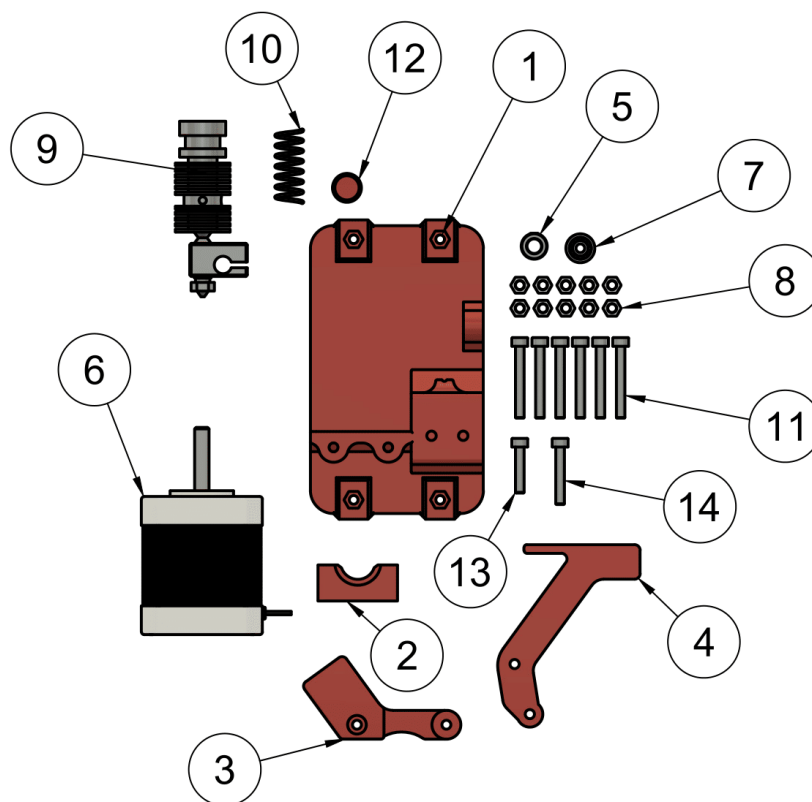


Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	3	YLM12UUcarry v6		PET Plastic
2	1	YLM12UUcarrystop v8		PET Plastic
3	9	M3x14 v3	DIN 912	Steel
4	8	Matice M3		Steel
5	8	Podložka 3.2	DIN 9021	Steel
6	8	Stahovací páska 2.5x150 v3		Nylon 6
7	1	Bedbackplate v5		Aluminum



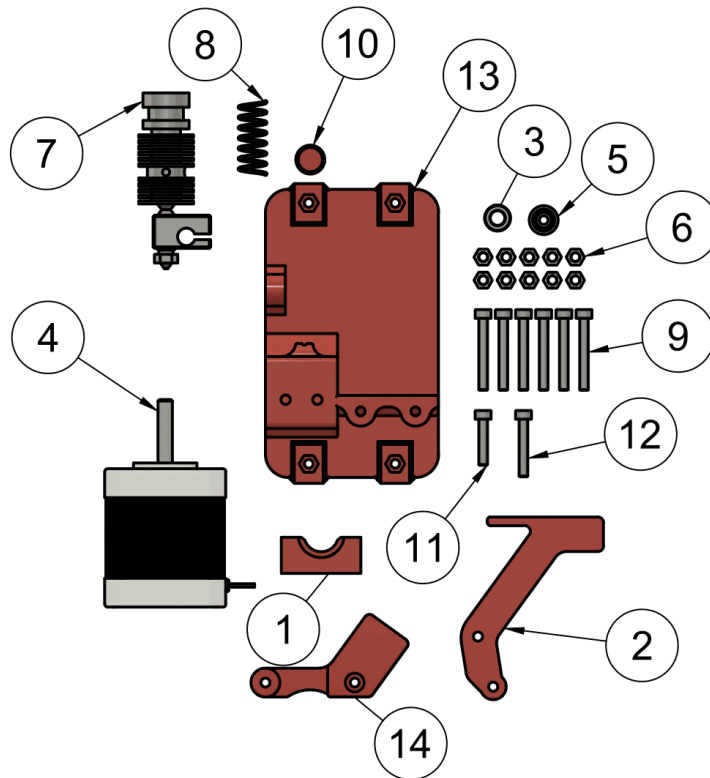
**Obr. 139** Soupis materiálu stolek osy Y

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Extruder1body v12		PET Plastic
2	1	Extruderclamp v2		PET Plastic
3	1	Springholder1 v2		PET Plastic
4	1	Pressurelever v5		PET Plastic
5	1	MK8Drivegear v1		Steel
6	1	SX17-1005VLQCEF v1		Steel
7	1	623 2z v1		Steel
8	10	Matice M3		Steel
9	1	J head Hotend v3		Steel
10	1	ESpring v2		Steel
11	6	M3x25 v3	DIN 912	Steel
12	1	ESpringknob v3		PET Plastic
13	1	M3x16 v5	DIN 912	Steel
14	1	M3x20 v3	DIN 912	Steel



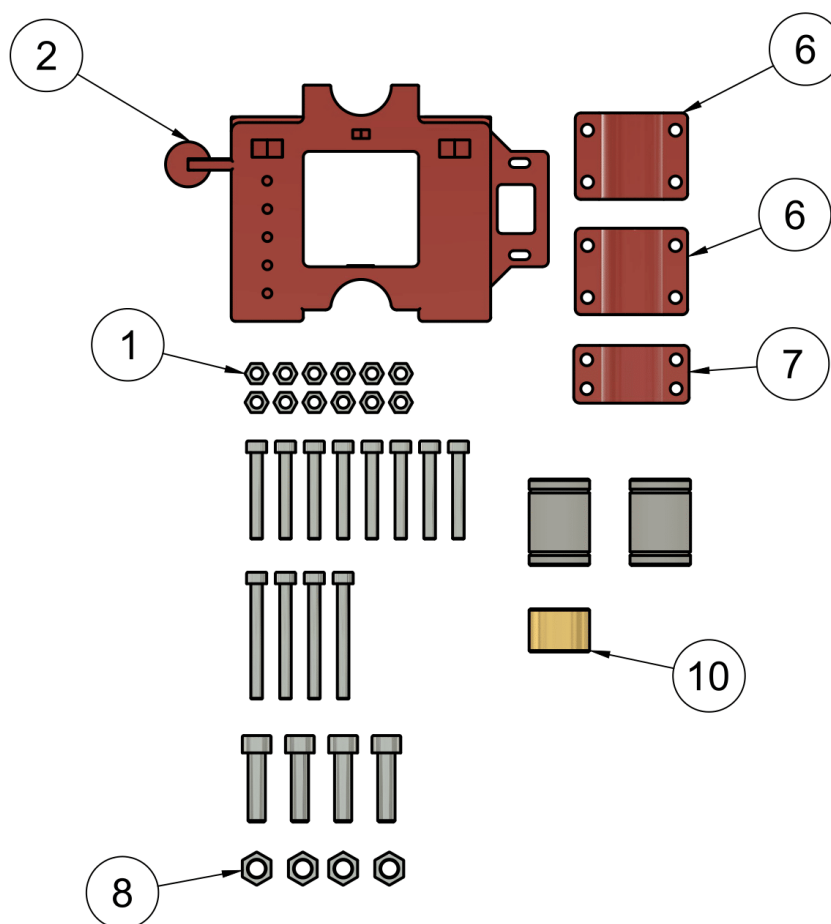
**Obr. 140** Soupis materiálu extruder 1

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Extruderclamp v2		PET Plastic
2	1	Pressurelever v5		PET Plastic
3	1	MK8Drivegear v1		Steel
4	1	SX17-1005VLQCEF v1		Steel
5	1	623 2z v1		Steel
6	10	Matice M3		Steel
7	1	J head Hotend v3		Steel
8	1	ESpring v2		Steel
9	6	M3x25 v3	DIN 912	Steel
10	1	ESpringknob v3		PET Plastic
11	1	M3x16 v5	DIN 912	Steel
12	1	M3x20 v3	DIN 912	Steel
13	1	Extruder2body v2		PET Plastic
14	1	Springholder2 v2		PET Plastic



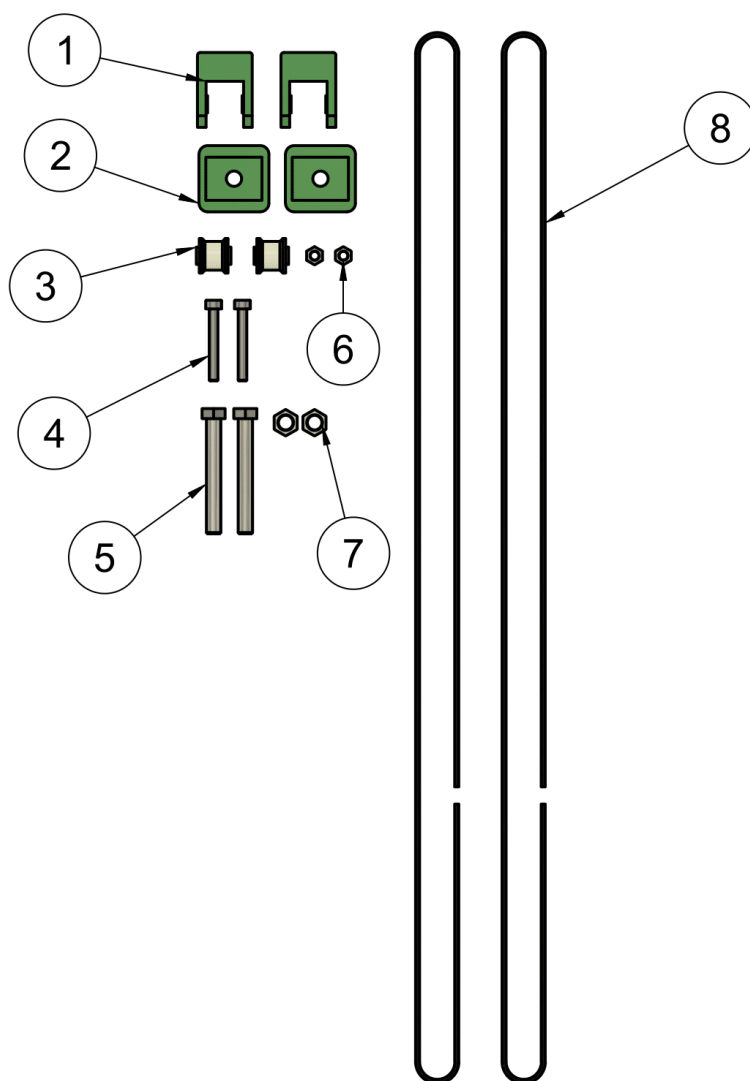
**Obr. 141** Soupis materiálu extruder 2

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	12	M4 v2		Steel
2	1	Xbodytensioner v65		PET Plastic
3	8	M4x30 v3	DIN 912	Steel
4	4	M4x40 v3	DIN 912	Steel
5	4	M6x24 v4	DIN 912	Steel
6	2	LM12UUzclamp v3		PET Plastic
7	1	TR10clampdia21mm v4		PET Plastic
8	4	M6 v2		Steel
9	2	LM12UU v5		Steel
10	1	Matice TR10x2 v8		Brass



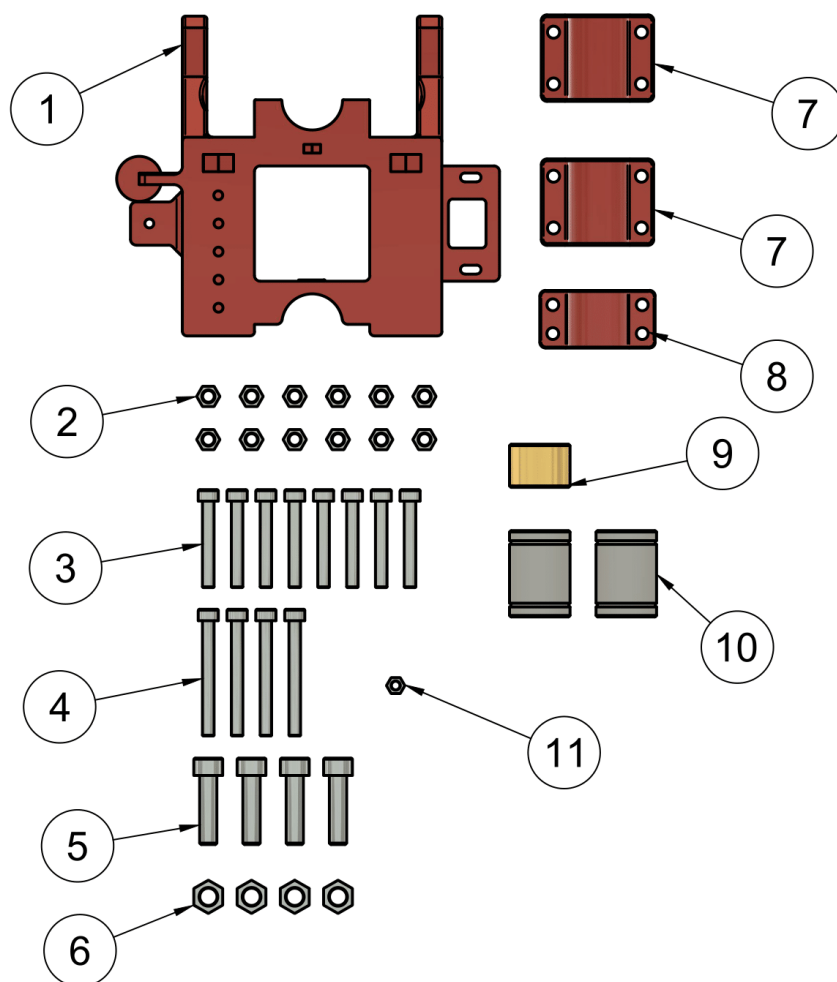
**Obr. 142** Soupis materiálu Osa X část s napínáky

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	2	XPulleyholder v17		PET Plastic
2	2	Tensionerholder v6		PET Plastic
3	2	Zedexpulley v1		Steel
4	2	M3x25 v3	DIN 912	Steel
5	2	M5x40 v4		Steel
6	2	Matice M3		Steel
7	2	M5 v1		Steel
8	2	GT2 řemen X v2		Rubber, Black



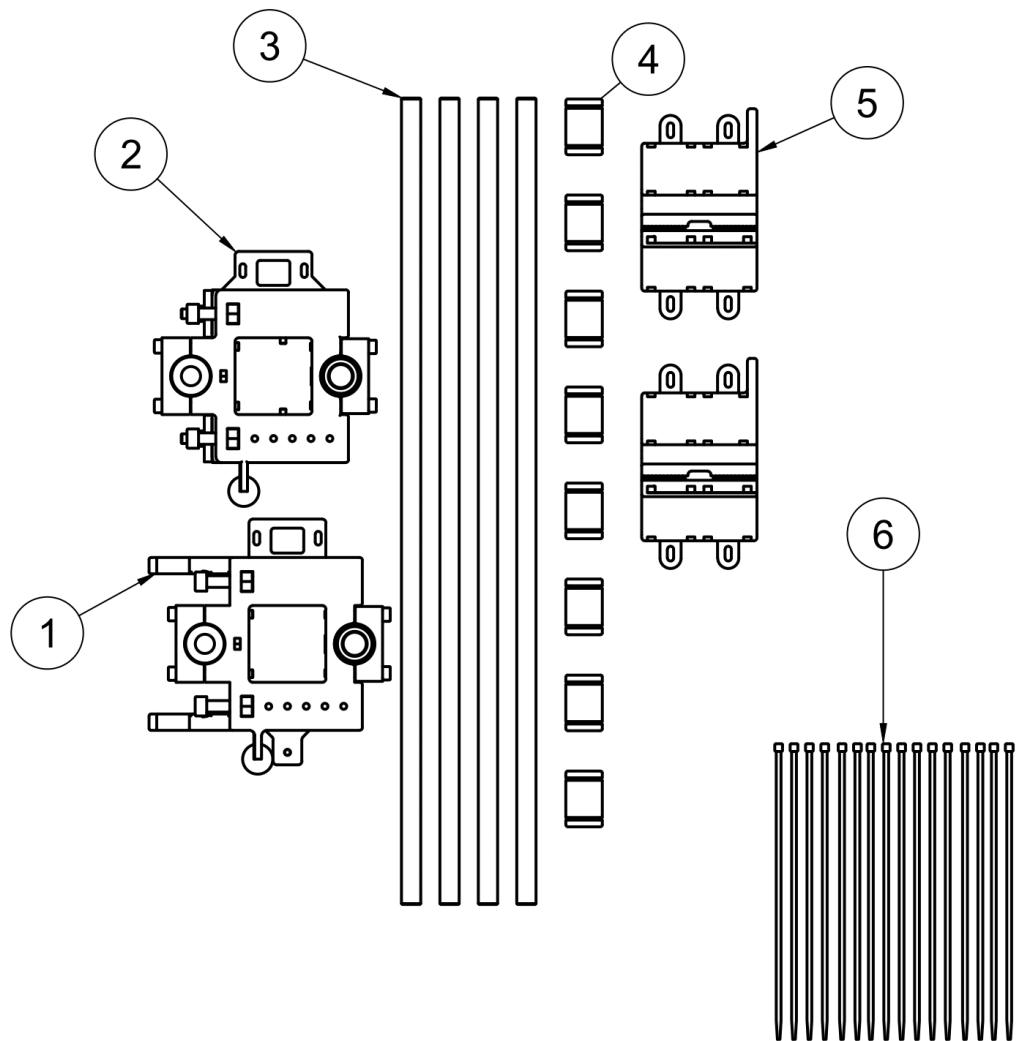
**Obr. 143 Soupis materiálu napínáky řemenů X**

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Xbodymotor v21		PET Plastic
2	12	M4 v2		Steel
3	8	M4x30 v3	DIN 912	Steel
4	4	M4x40 v3	DIN 912	Steel
5	4	M6x24 v4	DIN 912	Steel
6	4	M6 v2		Steel
7	2	LM12UUzclamp v3		PET Plastic
8	1	TR10clampdia21mm v4		PET Plastic
9	1	Matice TR10x2 v8		Brass
10	2	LM12UU v5		Steel
11	1	Matice M3		Steel



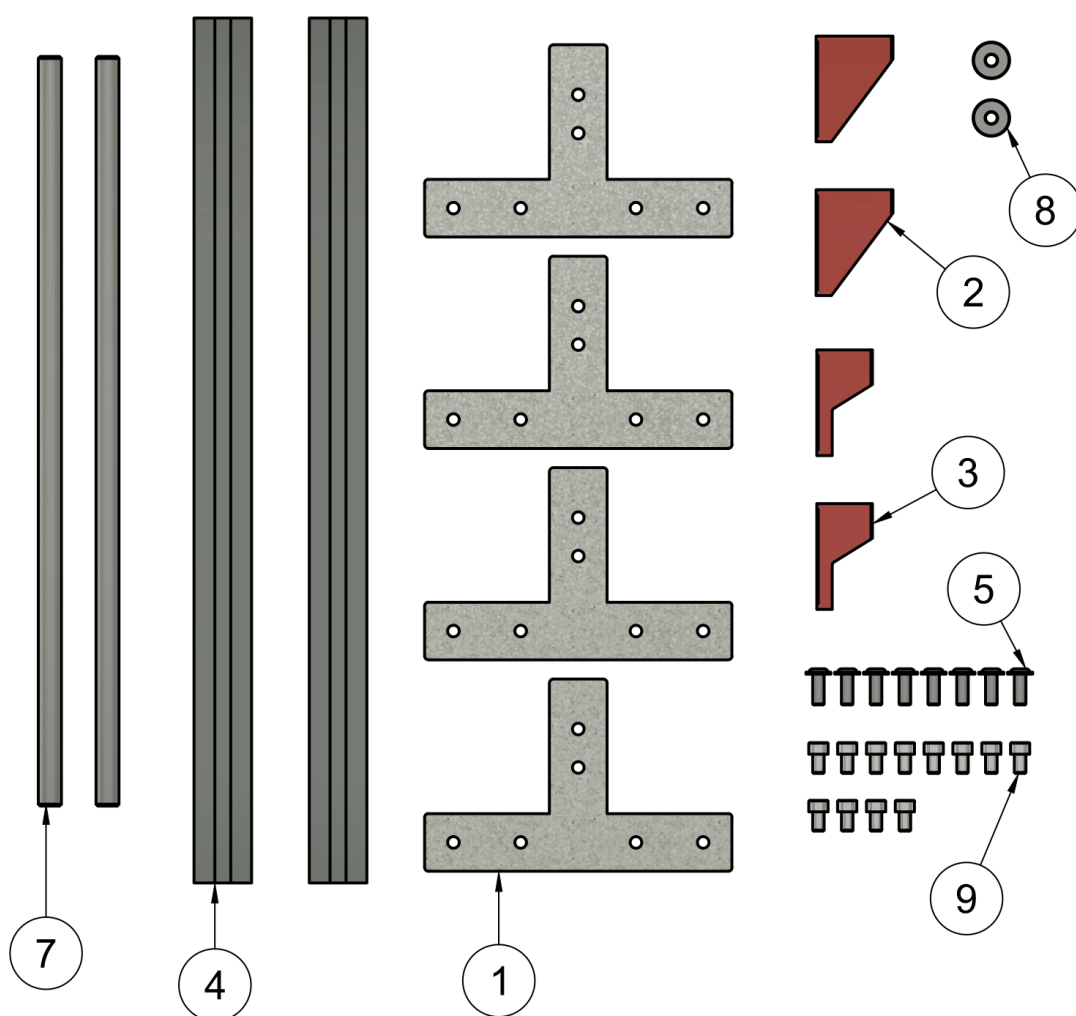
**Obr. 144** Soupis materiálu Osa X část s motory

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Sestava osy X část s motory v12		
2	1	Sestava osy X část s napínáky v19		
3	4	Xrod420mm v1		Steel
4	8	LM10UU v1		Steel
5	2	GT2Xcarry v40		PET Plastic
6	16	Stahovací páska 2.5x150 v3		Nylon 6



**Obr. 145** Soupis materiálu vodících tyčí osy X

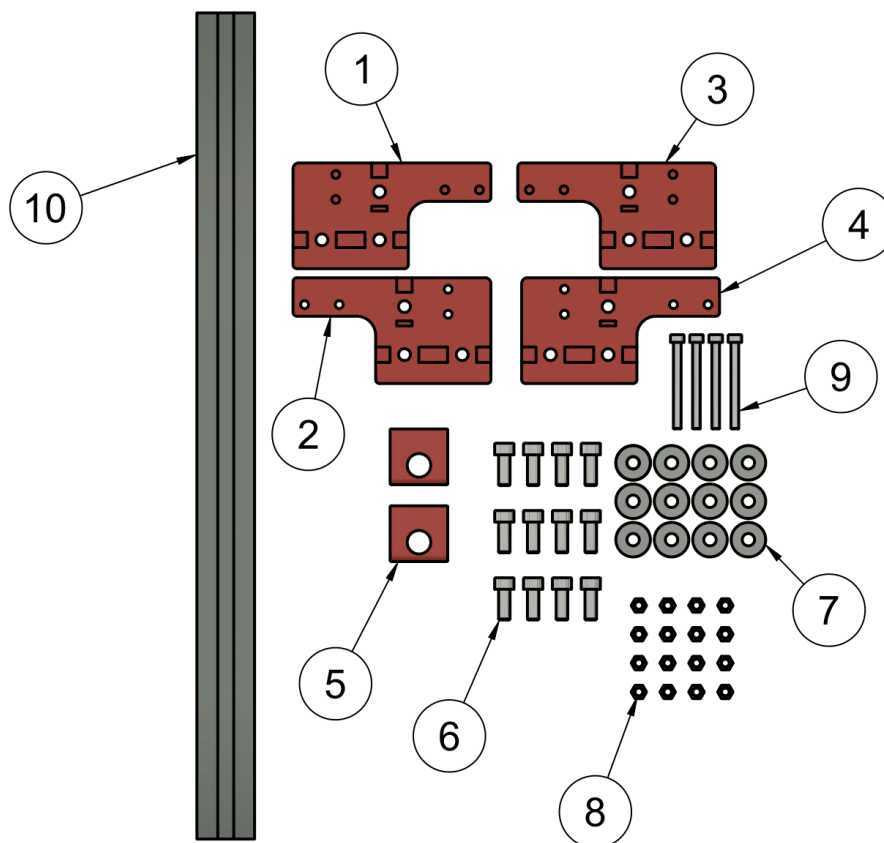
Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	4	Zmetalconnect v14		Steel
2	2	Zscrewmountbot v16		PET Plastic
3	2	Zrodmountbot v12		PET Plastic
4	2	450mm extrusion v6		
5	8	M6x16 v2	Button s límcem	Steel
7	2	ZROD390mm v1		Steel
8	2	626 2RS v3		Steel
9	12	M6x10 v2		Steel



**Obr. 146** Soupis materiálu osy Z - stojiny rámu, vodící tyče

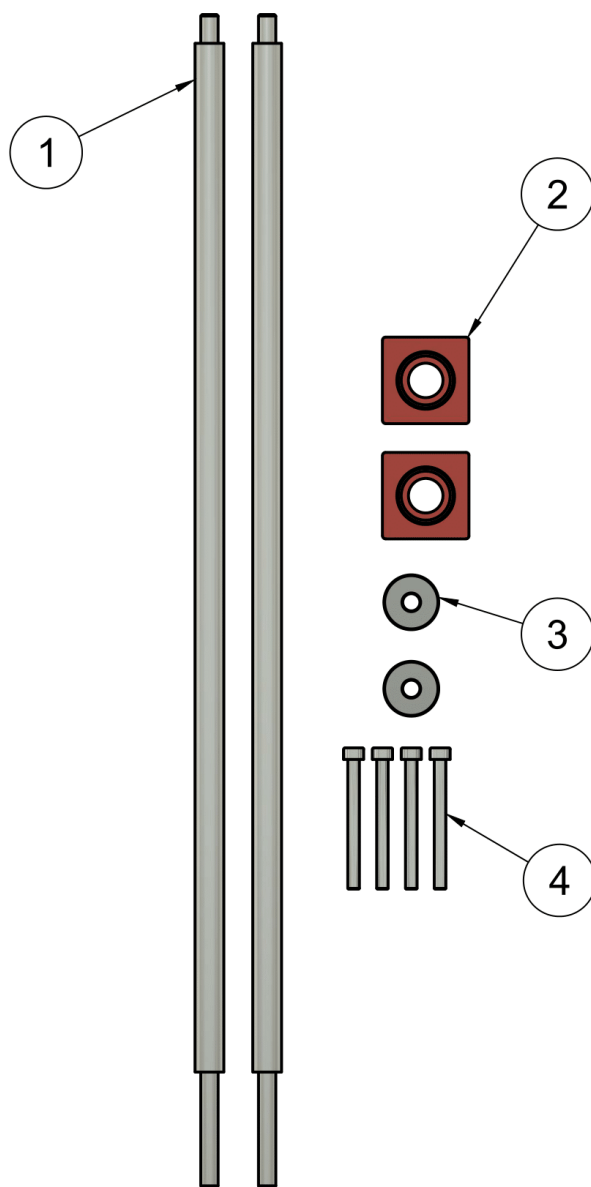


Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	ZCornerleft back v7		Steel
2	1	ZCornerleft front v16		PET Plastic
3	1	ZCornerright back v7		PET Plastic
4	1	ZCornerright front v10		Steel
5	2	ZrodTOP v12		PET Plastic
6	12	M6x16	DIN 912	Steel
7	16	Podložka 6.4	DIN 9021	Steel
8	16	M4 v2		Steel
9	4	M4x45 v2	DIN 912	Steel
10	1	Profil 430mm		



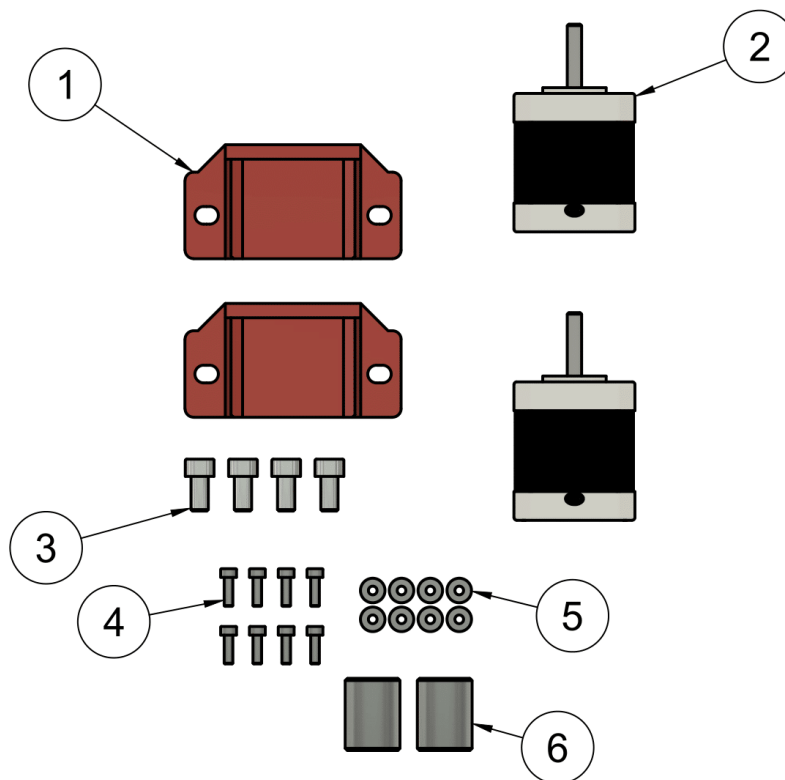
**Obr. 147** Soupis materiálu komponenty pro dokončení stavby rámu tiskárny

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	2	TR10x2 v16		Stainless Steel
2	2	Zcrewtophouse v10		Steel
3	2	626 2RS v3		Steel
4	4	M4x45 v2	DIN 912	Steel



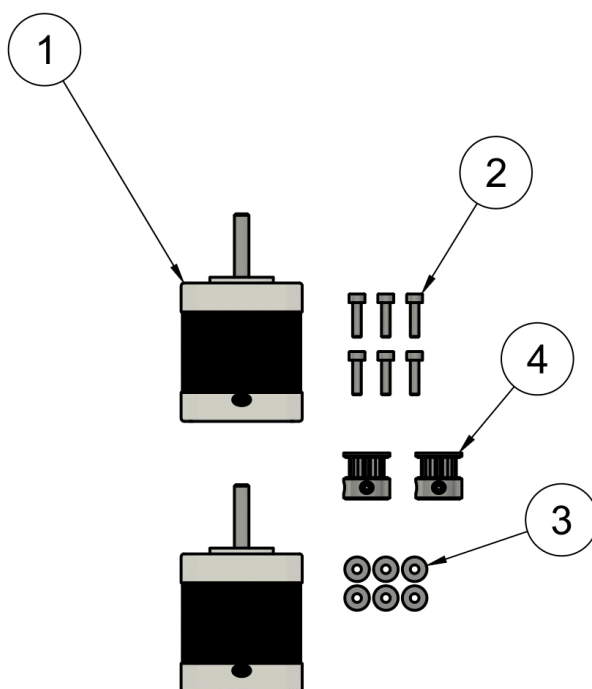
**Obr. 148** Soupis materiálu zvedací šrouby osy Z

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	2	Zaxismotor v43		PET Plastic
2	2	SX17-1005VLQCE F v1		Steel
3	4	M6x12 v7	DIN 912	Steel
4	8	M3x10 v3	DIN 912	Steel
5	8	Podložka 3.2	DIN 9021	Steel
6	2	Shaftcouple v3		Steel



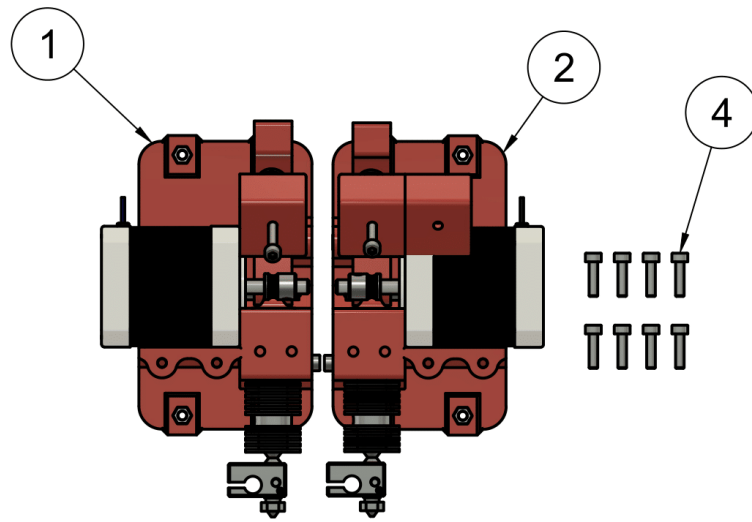
**Obr. 149** Soupis materiálu krokové motory osy Z

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	2	SX17-1005VLQCE F v1		Steel
2	6	M3x12 v4	DIN 912	Steel
3	6	Podložka 3.2	DIN 9021	Steel
4	2	GT2 20z v1		Steel



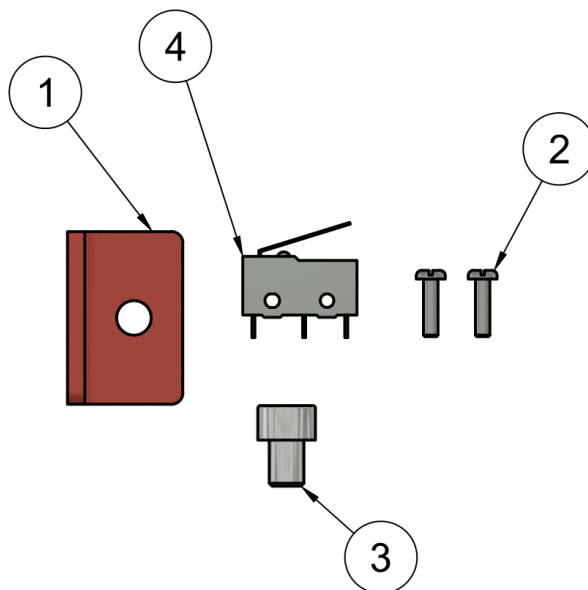
**Obr. 150 Soupis materiálu krokové motory os X**

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Extruder1part list v24		
2	1	Extruder2part list v8		
4	8	M3x12 v4	DIN 912	Steel



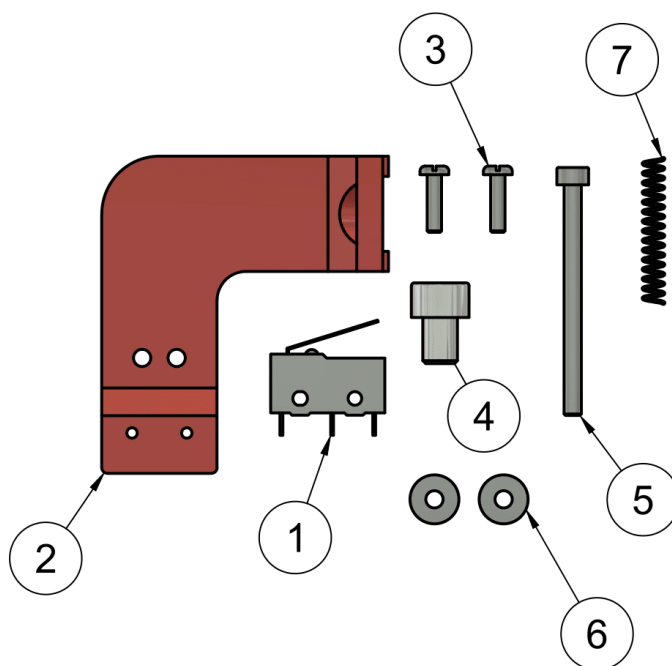
**Obr. 151** Soupis materiálu montáž extruderů na tiskárnu

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Y endstop v17		PET Plastic
2	2	M2,5x10 v2	DIN 84	Steel
3	1	M6x8 v4	DIN 912	Steel
4	1	Limitswitch v2		Steel



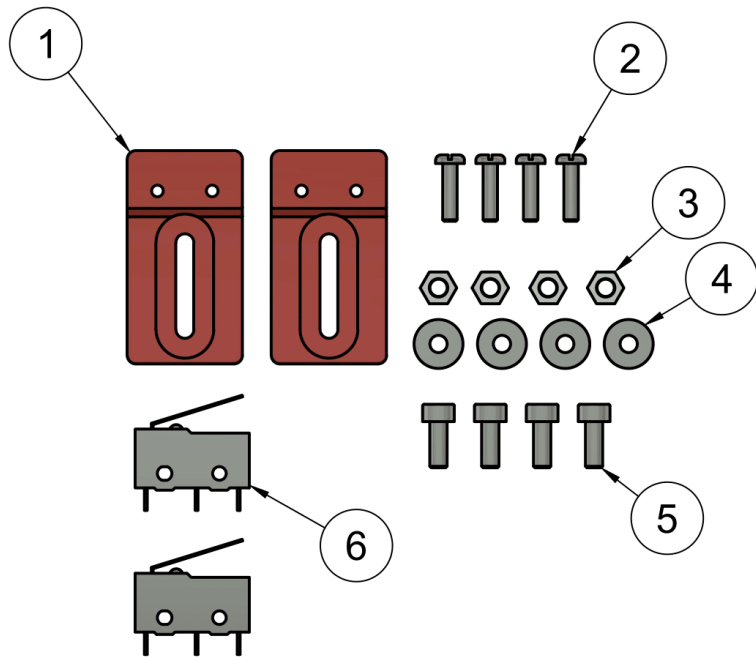
**Obr. 152** Soupiska materiálu koncový spínač osy Y

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Limitswitch v2		Steel
2	1	Zendstop v26		PET Plastic
3	2	M2,5x10 v2	DIN 84	Steel
4	1	M6x8 v4	DIN 912	Steel
5	1	M3x40 v2	DIN 912	Steel
6	2	Podložka 3.2	DIN 9021	Steel
7	1	Endstop spring v3		Steel



**Obr. 153** Soupiska materiálu koncový spínač osy Z

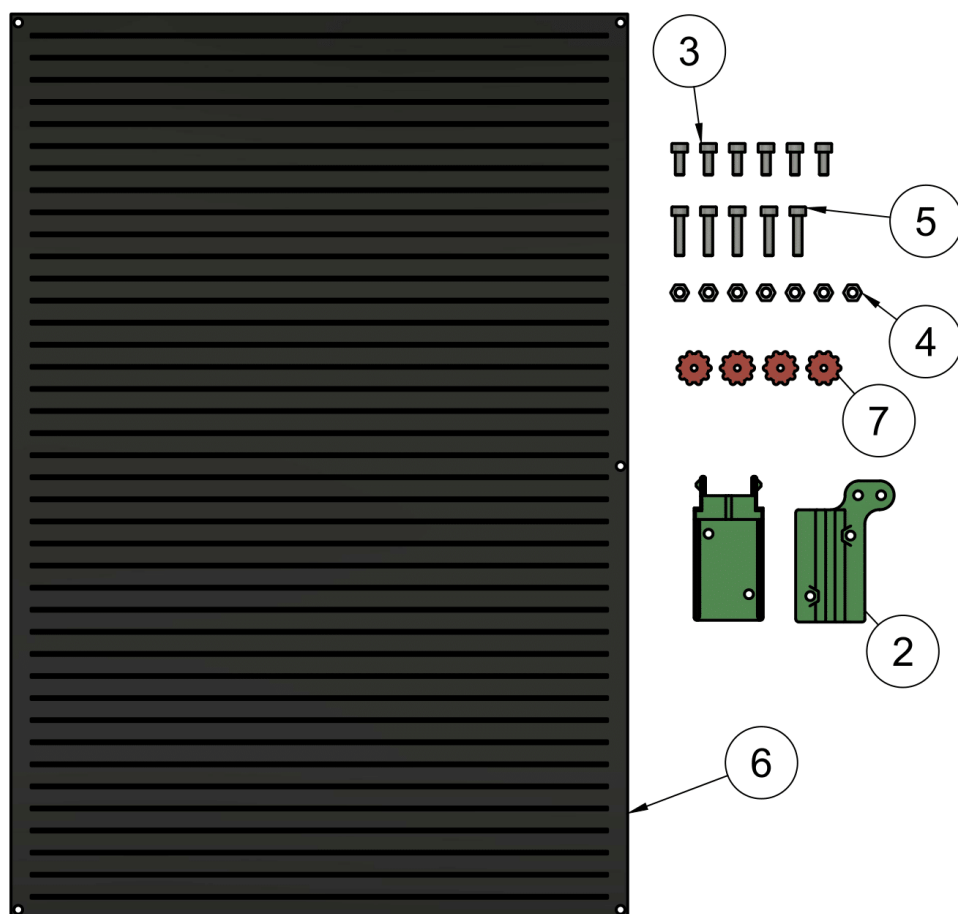
Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	2	Xendstop v8		PET Plastic
2	4	M2,5x10 v2	DIN 84	Steel
3	4	Matice M3		Steel
4	4	Podložka 3.2	DIN 9021	Steel
5	4	M3x8 v3	DIN 912	Steel
6	2	Limitswitch v2		Steel



**Obr. 154** Soupiska materiálu koncové spínače os X

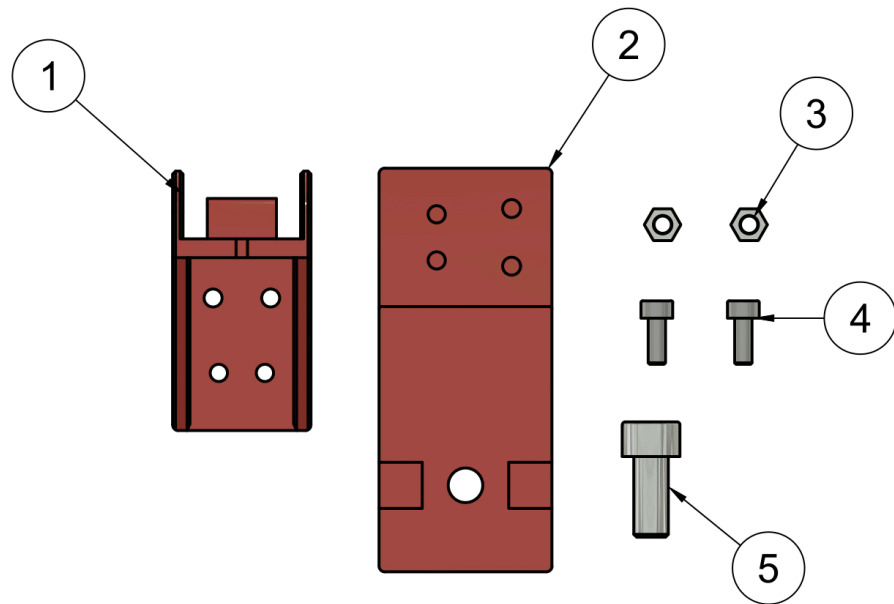


Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Bedchainend v13		PET Plastic
2	1	Bedchainholder v29		PET Plastic
3	6	M3x8 v3	DIN 912	Steel
4	7	Matice M3		Steel
5	5	M3x14 v3	DIN 912	Steel
6	1	Heatbed v5		Laminate, Red, Matte
7	4	Spacer v5		PET Plastic



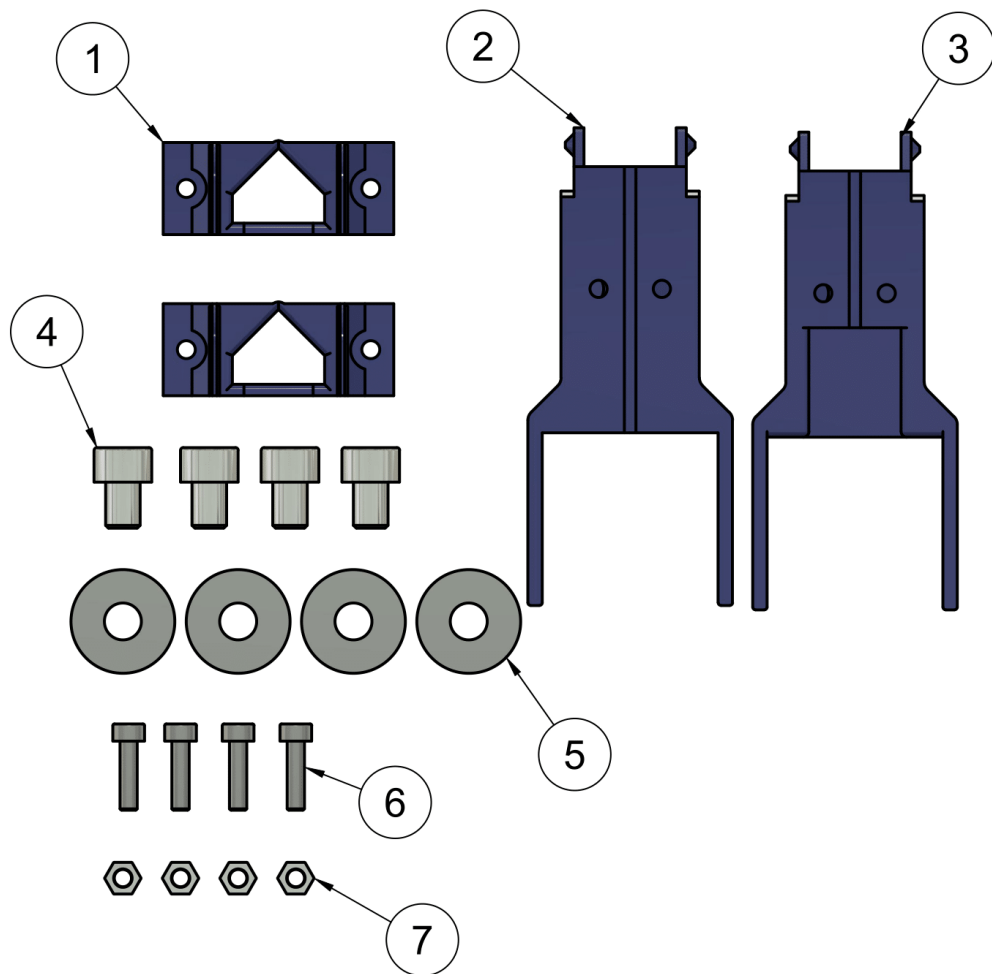
**Obr. 155** Soupis materiálu vyhřívaný stolek

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	1	Chain piece frame v10		PET Plastic
2	1	ChainYframe v13		PET Plastic
3	2	Matice M3		Steel
4	2	M3x8 v3	DIN 912	Steel
5	1	M6x14	DIN 912	Steel



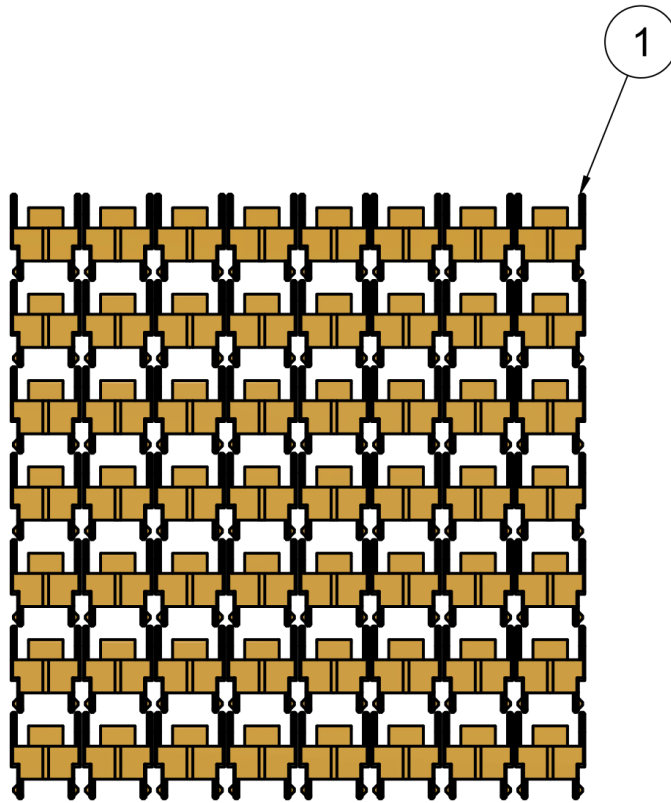
**Obr. 156** Soupis materiálu zakončení řetězu Y

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	2	Chainpiecex v4		PET Plastic
2	1	Chain X v8		PET Plastic
3	1	Chain X2 v5		PET Plastic
4	4	M6x8 v4	DIN 912	Steel
5	4	Podložka 6.4	DIN 9021	Steel
6	4	M3x12 v4	DIN 912	Steel
7	4	Matice M3		Steel



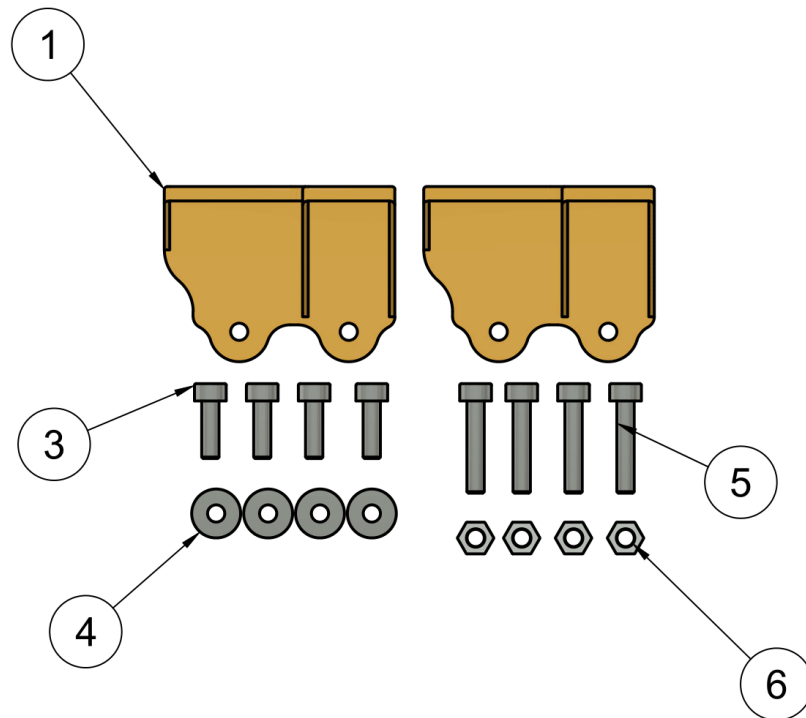
**Obr. 157 Soupis materiálu zakončení řetězů Z**

Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	56	Chainpiece v5		PET Plastic

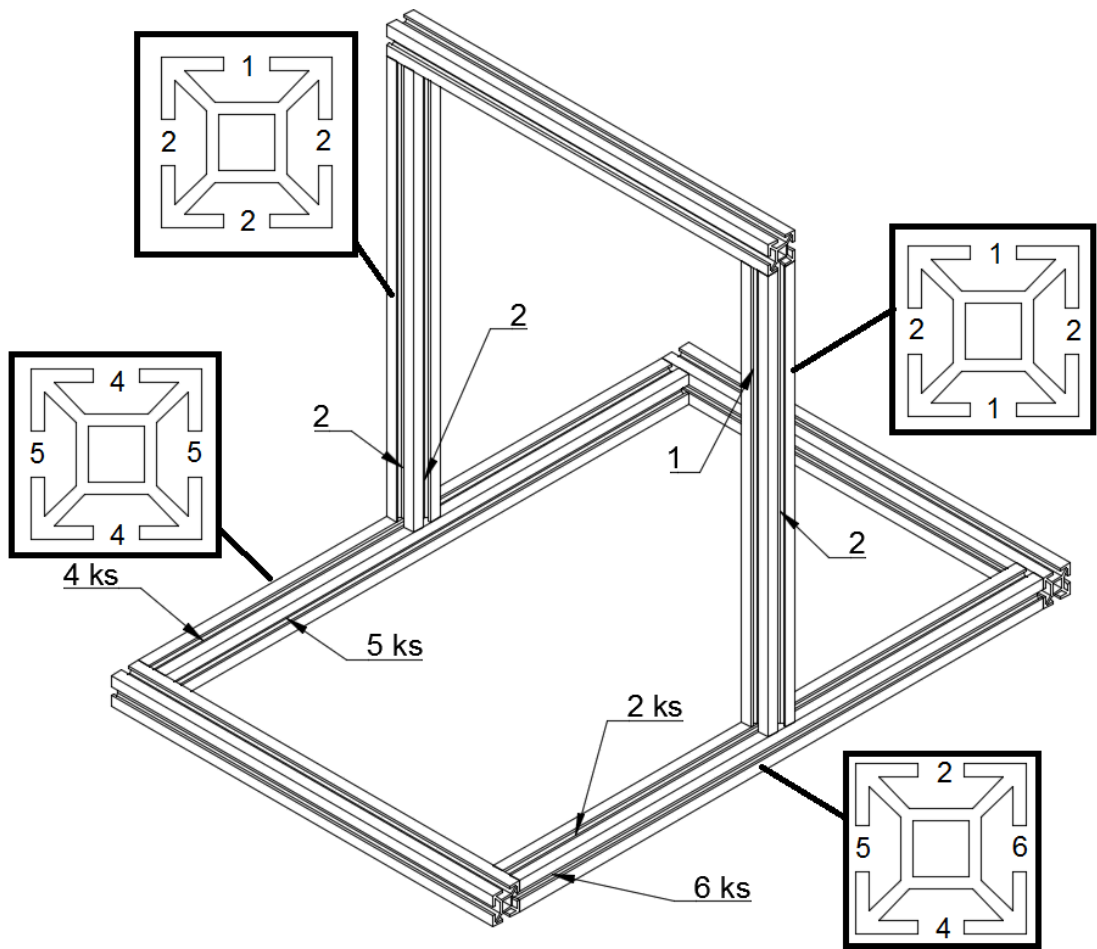


**Obr. 158** Soupis materiálu články řetězu

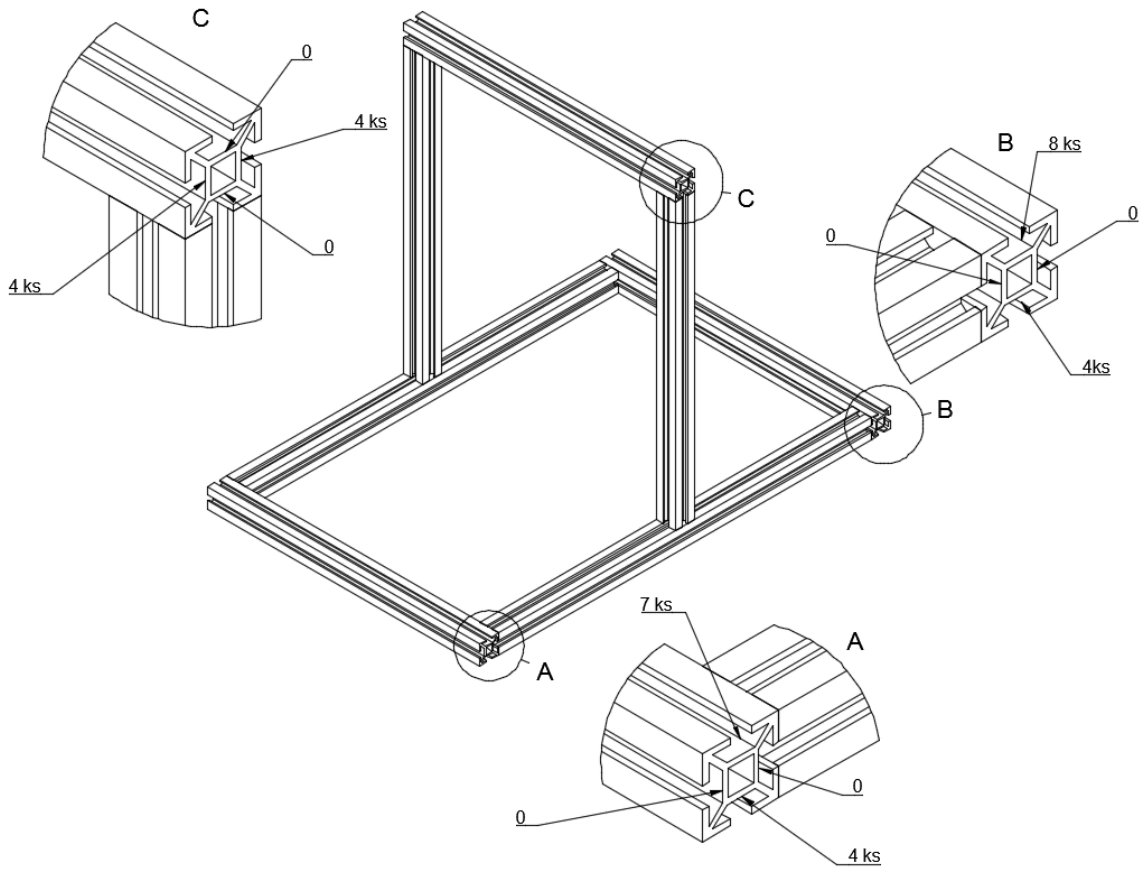
Parts List				
Item	Qty	Part Number	Description	Material
1	2	E1cableholder v15		PET Plastic
3	4	M3x10 v3	DIN 912	Steel
4	4	Podložka 3.2	DIN 9021	Steel
5	4	M3x16 v5	DIN 912	Steel
6	4	Matice M3		Steel



**Obr. 159** Soupis materiálu držáky svorkovnic

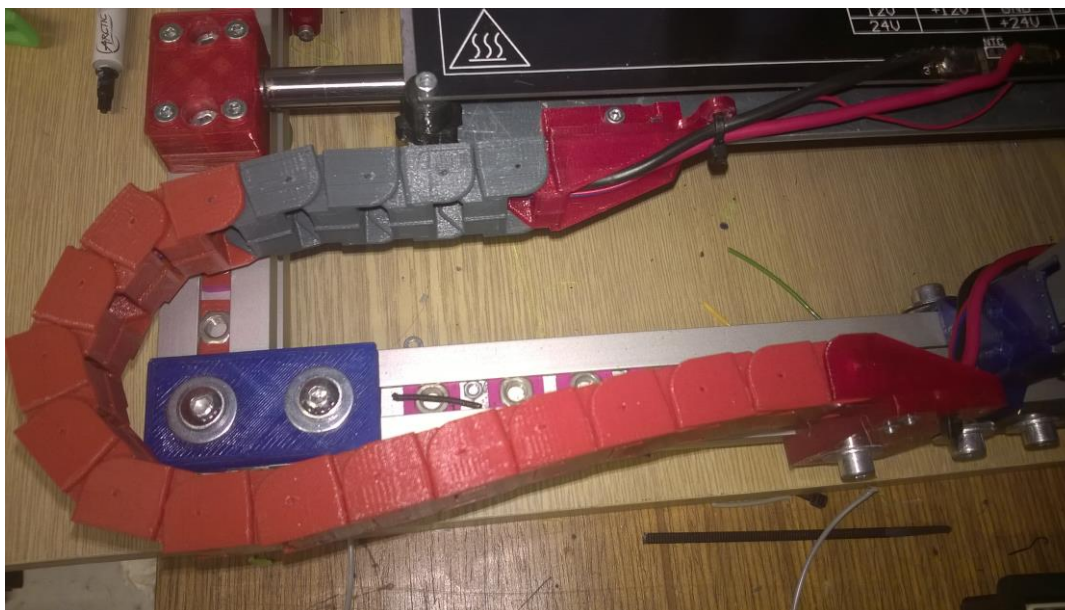


**Obr. 160** Rozmístění profilových matic

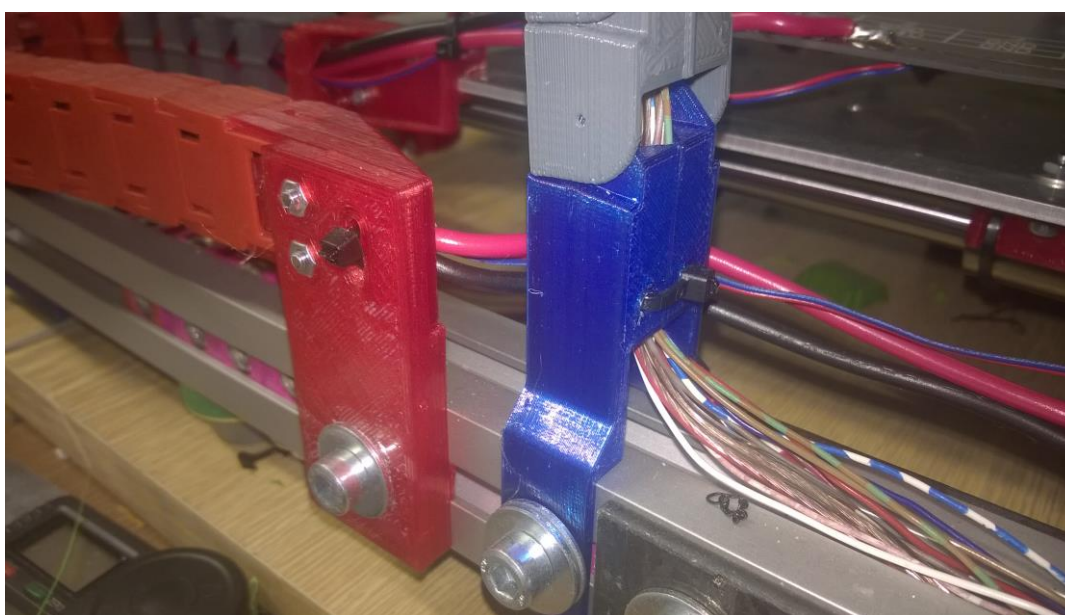


**Obr. 161 Rozmístění profilových matic 2**

## PŘÍLOHA B

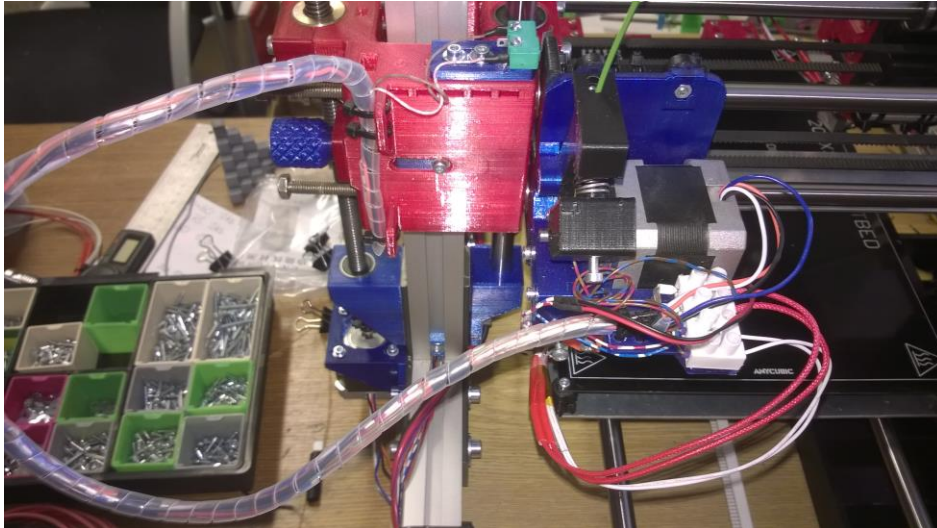


*Obr. 162 Vedení vodičů od vyhřívané podložky*

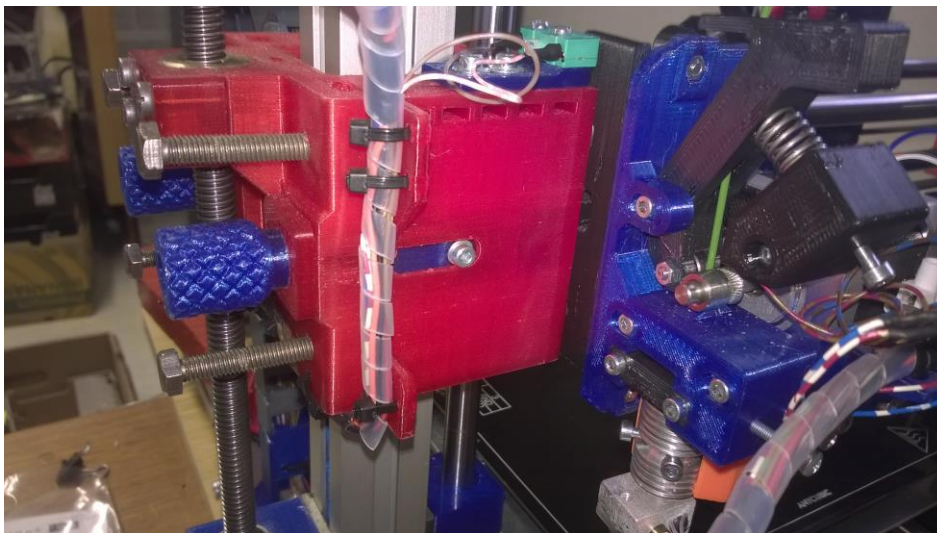


*Obr. 163 Detail zakončení kabelových řetězů osy Y a Z*

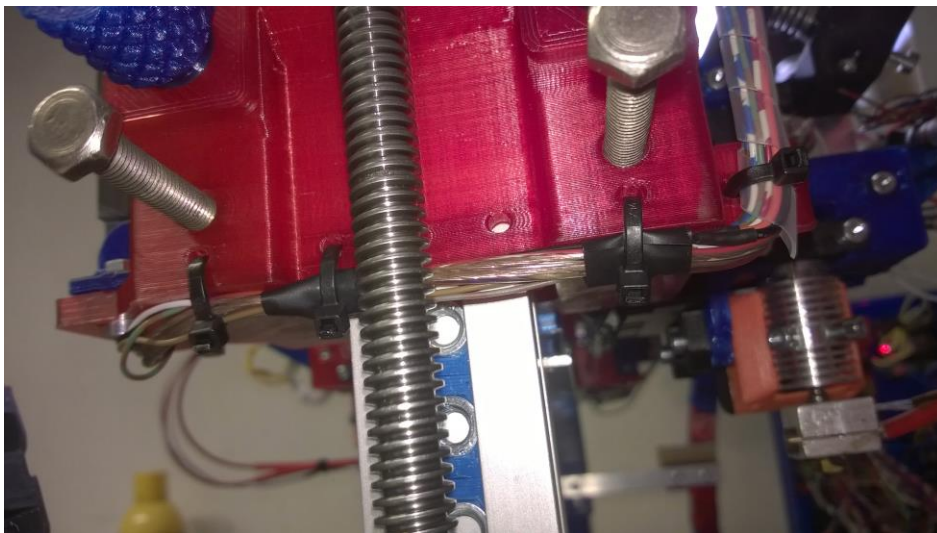




**Obr. 164** Vedení svazku vodičů extruderu 2 na ose X2



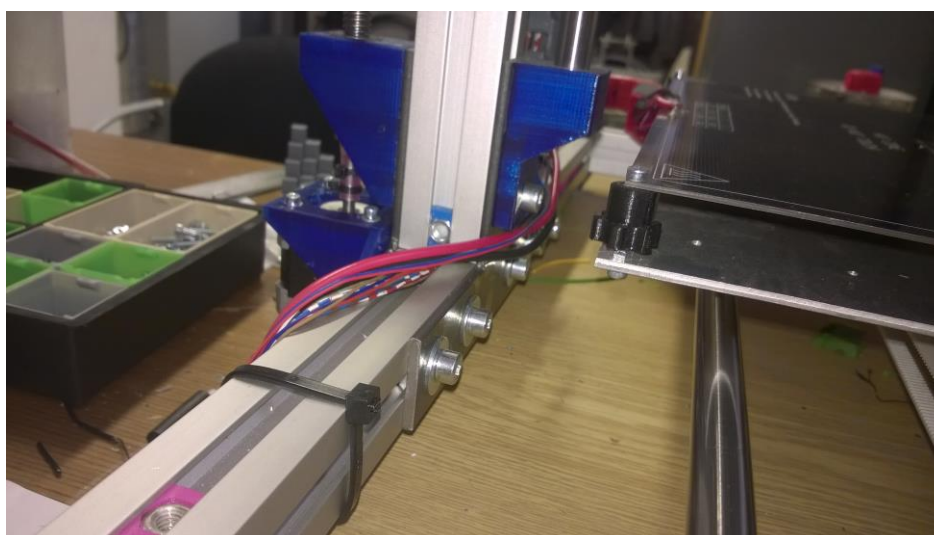
**Obr. 165** Detail připevnění svazku extruderu 2



**Obr. 166** Vedení svazku od extruderu 2 do řetězu



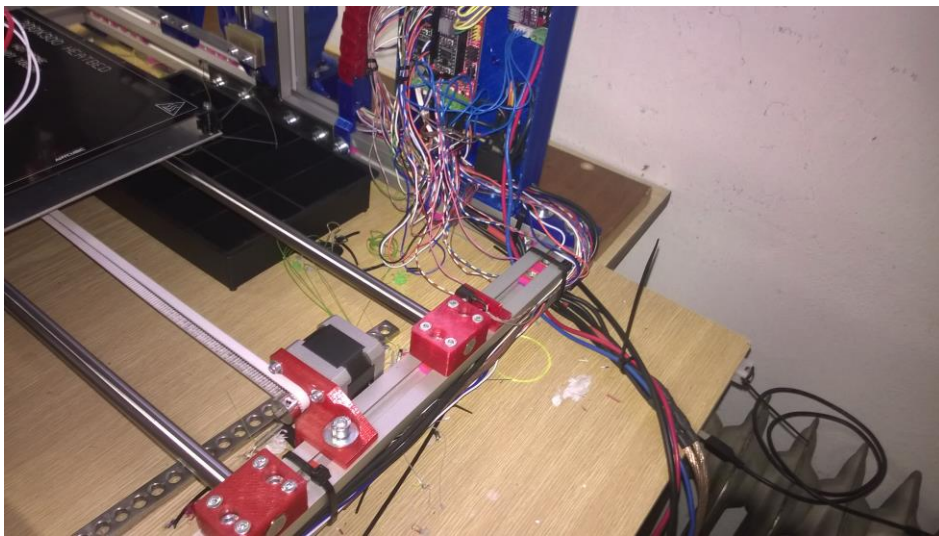
**Obr. 167 Svazek extruderu 2 protažen řetězem**



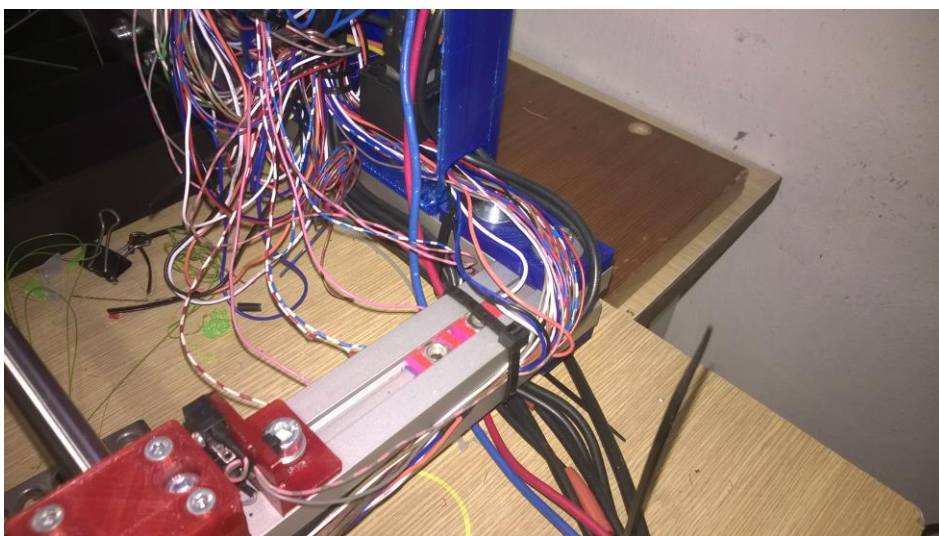
**Obr. 168 Detail vedení svazku od extruderu 2 a vodičů vyhřívání podložky**



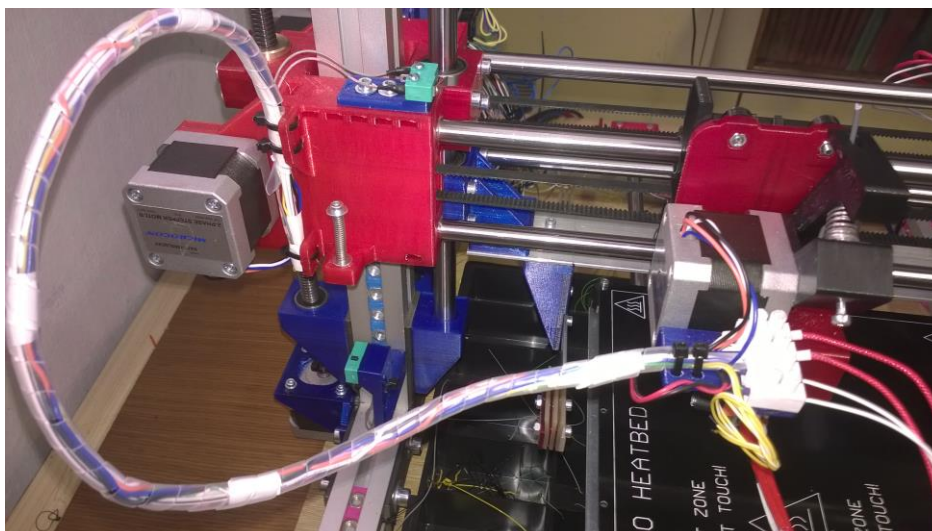
**Obr. 169** Vedení svazku od extruderu 2 a vyhřívané podložky do krabičky



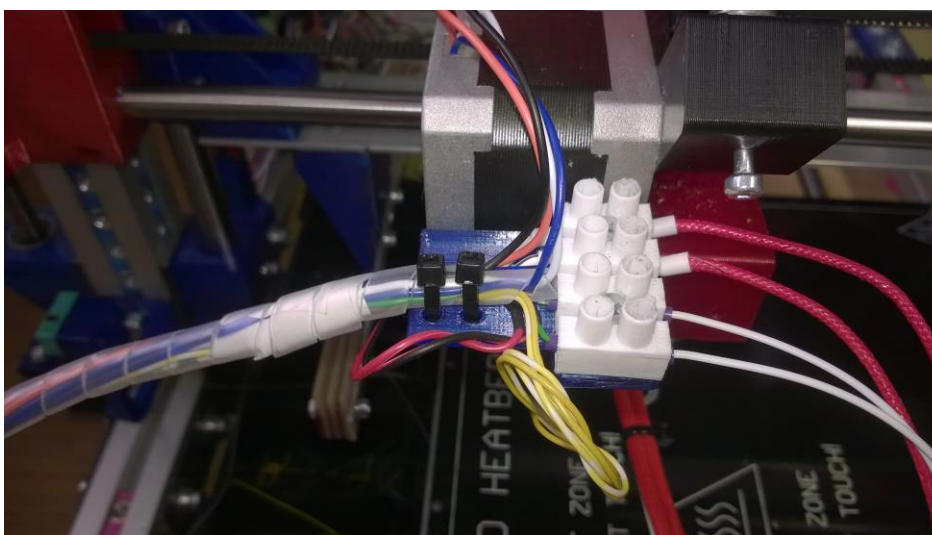
**Obr. 170** Vedení svazku od extruderu 2 a vyhřívané podložky do krabičky 2



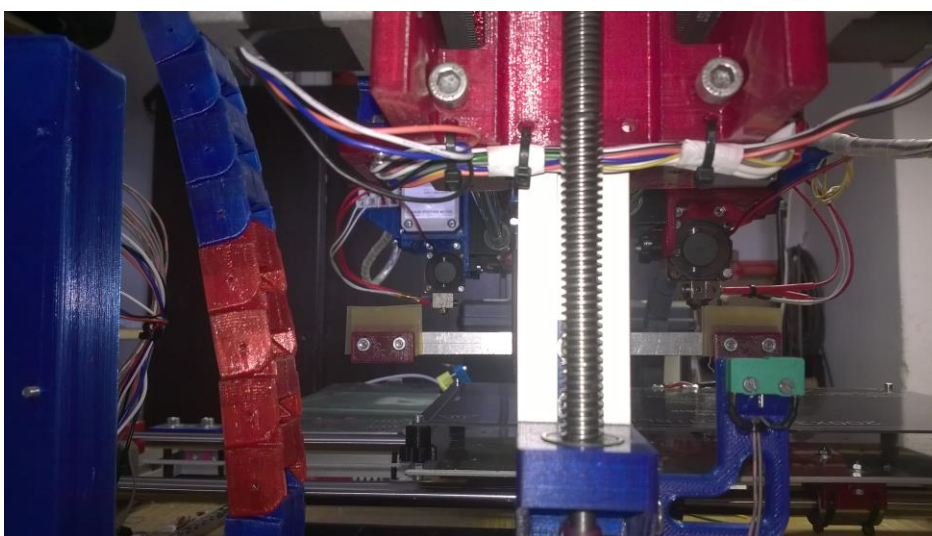
**Obr. 171** Detail vedení svazku extruderu 2 a vyhřívané podložky do krabičky



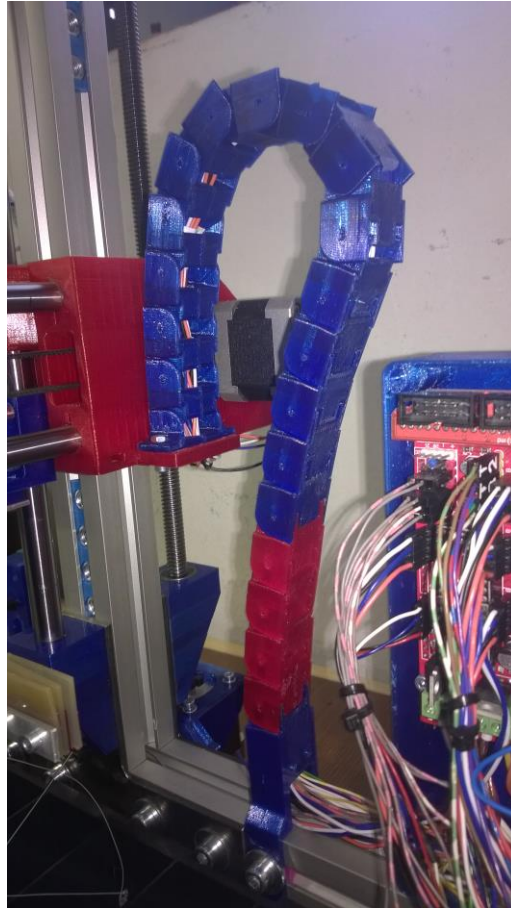
**Obr. 172 Vedení svazku extruderu 1**



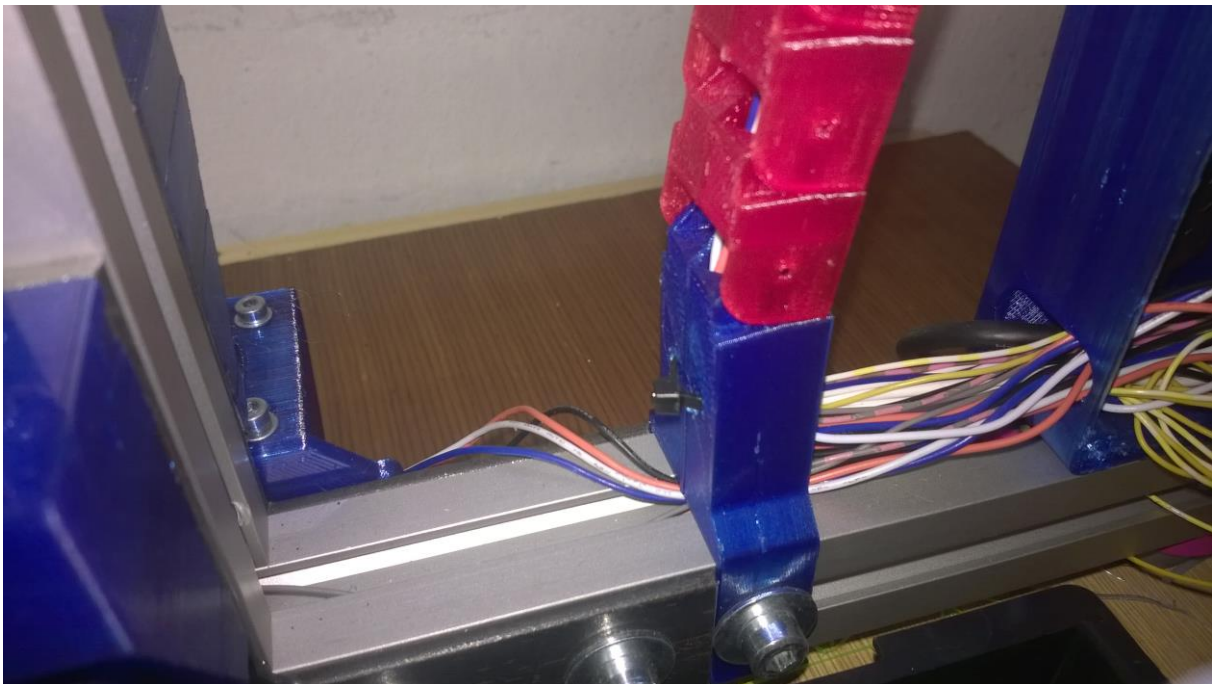
**Obr. 173 Detail přichycení svazku na extruderu**



**Obr. 174 Poloha vodičů extruderu 1 a krokových motorů os x**

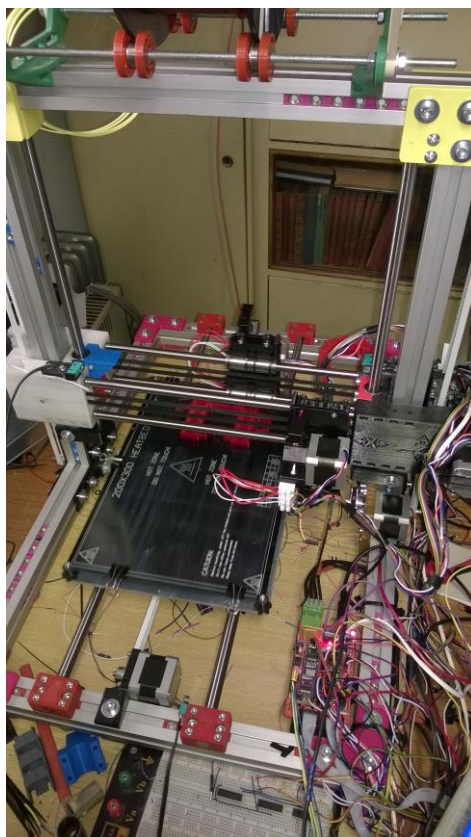


**Obr. 175 Energetický řetěz osy Z**

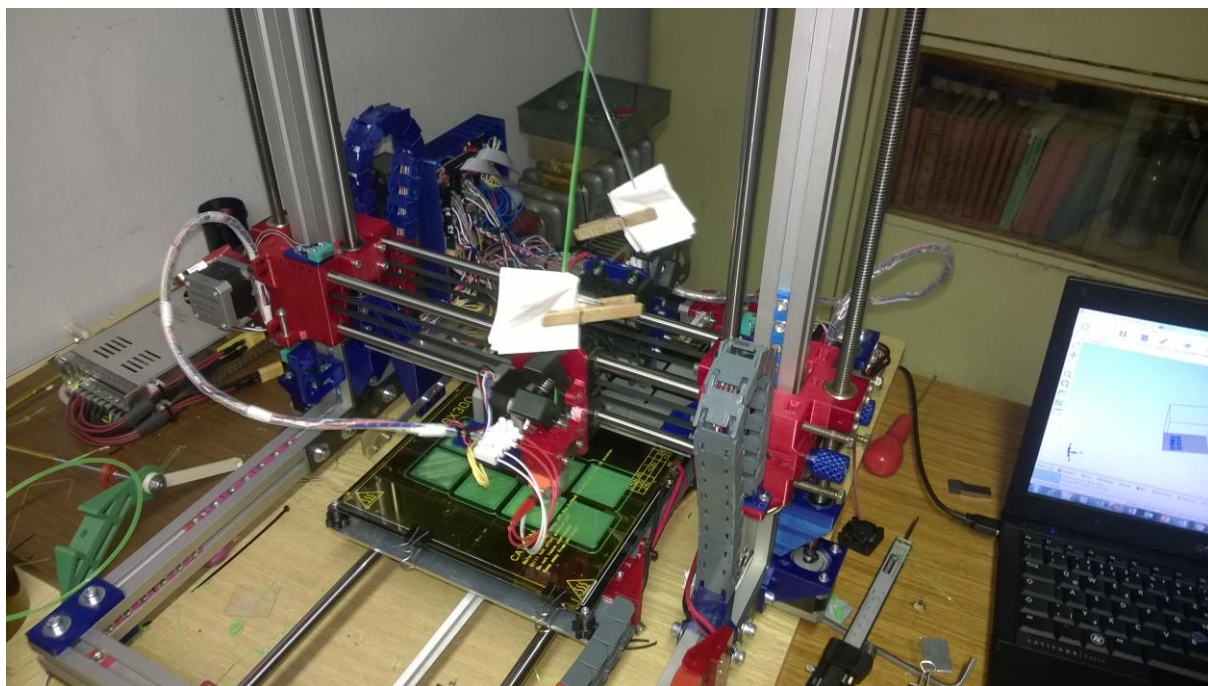


**Obr. 176 Zajištění svazku na konci řetězu**

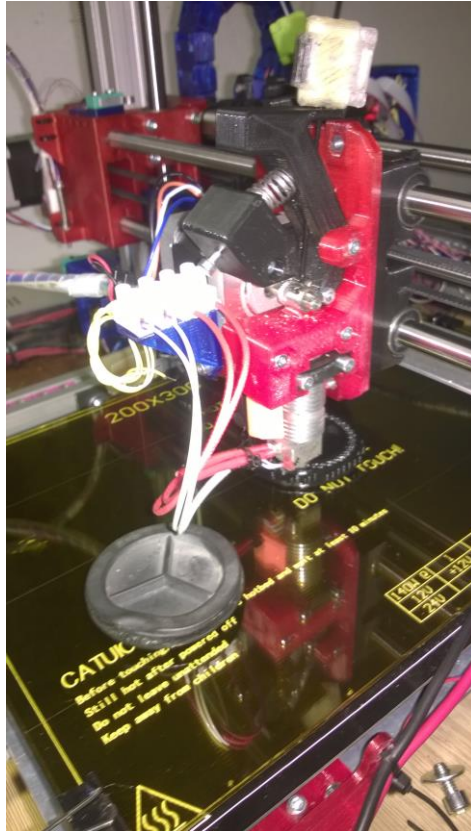
## PŘÍLOHA C



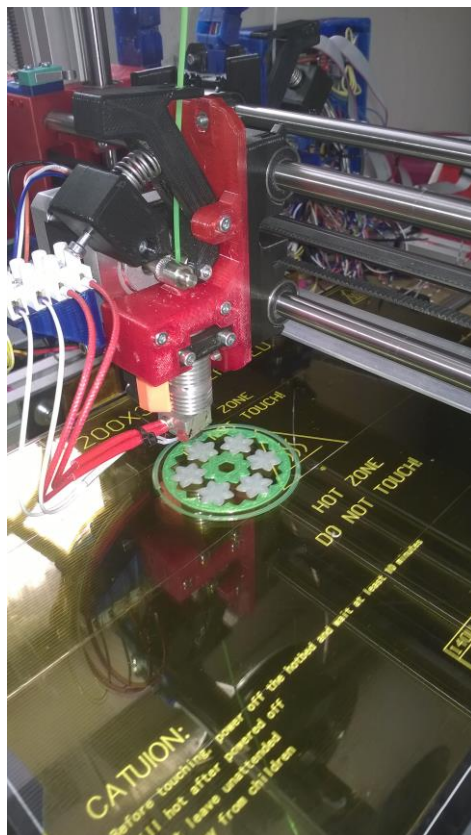
**Obr. 177** Tiskárna verze 1 s řemeny na ose Z



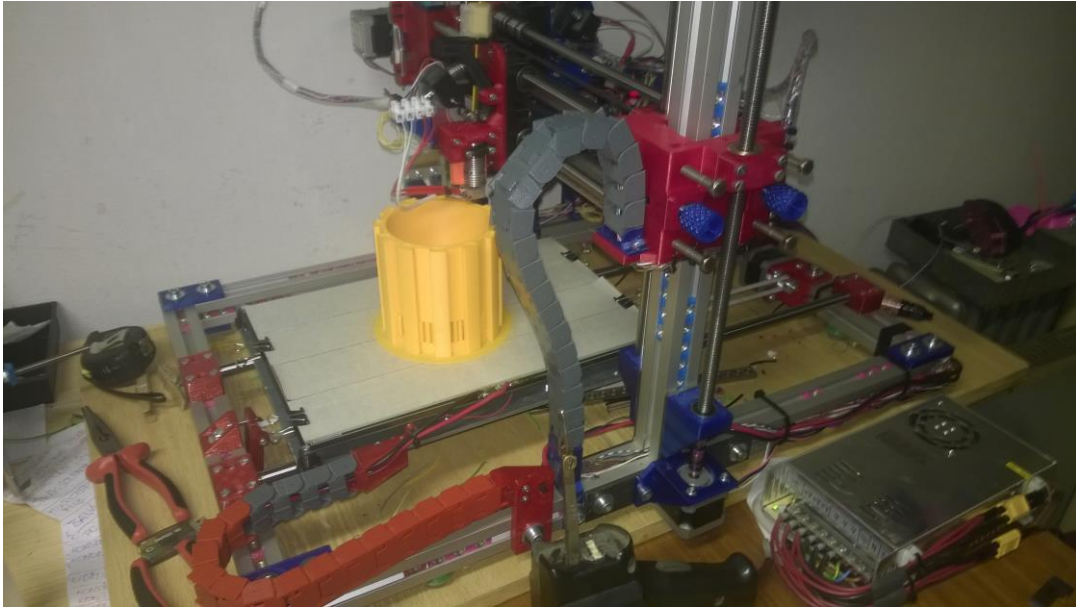
**Obr. 178** Klonování



**Obr. 179** Tisk náhradního dílu z flexibilního filamentu



**Obr. 180** Dvoubarevný tisk



***Obr. 181 Tisk modelu vodárenské věže***



***Obr. 182 Model vodárenské věže vytištěný na tiskárně***