ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ

Bakalářská práce

Návrh systému automatické výměny nástrojů pro obráběcí stroj MTC500

2020 Jan Turek

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Turek** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **474995**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**

Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**

Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh systému automatické výměny nástrojů pro obráběcí stroj MTC500

Název bakalářské práce anglicky:

Design of Automatic Tool Change System for CNC Machin-tool MTC500

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Předmětem bakalářské práce je návrh systému automatické výměny nástrojů pro stroj MTC500. Vnější zástavbové rozměry stroje nesmí být změněny. Parametry výměny nástrojů: maximální hmotnost nástroje 8kg, maximální průměr nástroje bez vynechání sousedních nástrojů 90mm, maximální průměr nástroje s vynecháním sousedních nástrojů 150mm, minimální počet nástrojů 32; Osnova práce: 1. Úvod, 2. Rešerše stávajících řešení a jejich zpracování, 3. Návrh konstrukčních řešení, 4. Návrh vybrané varianty systému automatické výměny nástrojů včetně návrhových a kontrolních výpočtů a 3D modelu, 5. Výkresová dokumentace, 6. Zhodnocení; Rozsah grafické části: 3D model sestavy automatické výměny nástrojů, výkres sestavy automatické výměny nástrojů, dva výrobní výkresy součástí; Rozsah textové části: 40 – 60 stran.

Seznam doporučené literatury:

KOPECKÝ, Miloslav a Jaromír HOUŠA. Základy stavby výrobních strojů. Praha: České vysoké učení technické, 1986.; LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.; MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN isbn978-80-260-6780-1.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jaroslav Červenka, ústav výrobních strojů a zařízení FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2020** Termín odevzdání bakalářské práce: **19.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2020**

Ing. Jaroslav Červenka podpis vedoucí(ho) práce	Ing. Matěj Sulitka, Ph.D. podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. Ing. Michael Valášek, DrSc. podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání	Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Prohlášení

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

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

V Praze dne 17.7. 2020 ……..…….

podpis

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Jaroslavu Červenkovi za jeho cenné rady a připomínky, kterými mi byl nápomocen při vypracovávání této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a partnerce za poskytování dobrého zázemí pro psaní této práce.

Anotace

Jména autora:	Jan Turek
Název BP:	Návrh systému automatické výměny nástrojů
Číslo BP:	BP 0255
Rozsah práce:	84 str., 97 obr., 5 tab.
Akademický rok vyhotovení:	2019/2020
Ústav:	Ú 12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí BP:	Ing. Jaroslav Červenka
Konzultant:	
Zadavatel tématu:	Kovosvit MAS, a.s.
Využití:	Návrh konstrukce automatické výměny nástrojů pro firmu Kovosvit MAS.
Klíčová slova:	automatická výměna nástrojů, zásobník nástrojů, manipulátor
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá návrhem automatické výměny nástrojů pro frézovací vřeteno stroje Multicut 500. Typ držáku nástrojů je HSK-T63. Návrh bere v úvahu požadavky zadavatele. Součástí práce je volba typu zásobníku a mechanismu výměny. Výstupem práce je 3D model systému automatické výměny nástrojů, sestavný výkres a dva výkresy výrobní vybraných součástí.

Annotation

Author:	Jan Turek
Title:	System design of automatic tool changer
Number:	BP 0255
Extent:	84 p., 97 fig., 5 tab.
Academic year:	2019/2020
Department:	Ú 12135 - Department of Production Machines and equipment
Tutor:	Ing. Jaroslav Červenka
Consultant:	
Submitter:	Kovosvit MAS, a.s.
Application:	Construction design of automatic tool change for Kovosvit MAS company.
Keywords:	automatic tool change,tool magazine, tool changing device
Annotation:	The bachelor´s thesis treats with a design of the automatic tool change for milling spindle of machin-tool Multicut 500. The tool holder type is HSK-T63. The design takes into account the requirements of the contracting authority. A choice of the type of magazine and a type of tool change mechanism is a part of the thesis. The outcome of the thesis is 3D model of the automatic tool change system, an assembly drawing and two manufacturing drawings of chosen elements.

Obsah

1. Úvod 15
2. Cíle práce 16
3. Rešerše 17
3.1. Automatická výměna nástrojů 17
3.1.1. Základní požadavky na systémy AVN 17
3.1.2. Rozdělení AVN 17
3.2. Držáky nástrojů pro systémy se skladovacím zásobníkem 28
3.2.1. Držáky s kuželovou stopkou 29
3.2.2. Držáky s polygonálním tvarem stopky 31
3.2.3. Držáky s válcovou stopkou 32
3.3. Upínací systémy 32
3.3.1. Systém pro ISO kužel 32
3.3.2. Systém pro HSK kužel 33
3.4. Výměna nástrojů u vybraných strojů 33
3.5 Závěr rešerše 34
4. Návrhy řešení 35
4.1. Prvotní návrhy uspořádání zásobníku 35
4.2. Návrhy uspořádání zásobníku a mechanismu výměny nástroje 39
4.2.1. První návrh 39
4.2.2. Druhý návrh 41
4.2.3. Třetí návrh 41
4.2.4. Čtvrtý návrh 42
4.2.5. Pátý návrh 43
4.2.6. Výběr skladovacího zásobníku a mechanismu výměny nástroje 44
5. Vlastní řešení 45
5.1. Úchopná vidlice 45
5.2. Návrh mechanismu rotace úchopné vidlice 46
5.3. Návrh posuvné konzoly 51
5.4. Návrh křížových saní 54
5.5. Návrh rámu sestavy 56
5.6. Návrh uložení vodících kol 57
5.7. Návrh uložení a výpočet pohonu zásobníku 57
5.8. Vedení řetězu 60
5.9. Kryt výměny 60

5.10. Zobrazení sestavy mechanismu výměny nástroje 61
5.11. Zobrazení sestavy systému AVN 61
5.12. Mechanismus výměny nástrojů 64
5.13. Výpočtová část 71
5.13.1. Kontrola hřídele rotačního pohybu vidlice 71
5.13.2. Výpočet životnosti lineárního vedení 73
5.13.3. Kontrola šroubového spoje 73
5.13.4. Výpočet času výměny nástrojů 74
6. Závěr 77
Seznamy 78
Seznam použité literatury 78
Seznam obrázků 81
Seznam tabulek 84
Seznam použitého softwaru 84
Seznam příloh 84

Seznam použitých jednotek a veličin

Symbol	*Jednotky SI*	*Název*
$a_{\check{r}}$	$[ms^{-2}]$	*Zrychlení řetězového zásobníku*
a_z	$[ms^{-2}]$	*Max. zrychlení sestavy manipulátoru*
a_v	$[ms^{-2}]$	*Linearizované zrychlení vidlice*
a^y	$[ms^{-2}]$	*Zrychlení posuvu konzoly*
a^y_{max}	$[ms^{-2}]$	*Max. zrychlení posuvu konzoly*
α_v	$[rads^{-2}]$	*Úhlové zrychlení vidlice*
α_{max}	$[rads^{-2}]$	*Max. úhlové zrychlení vidlice*
β	$[°]$	*Úhel natočení vidlice*
β_A	$[rad]$	*Úhel akcelerace vidlice*
β_B	$[rad]$	*Úhel brzdění vidlice*
β_K	$[rad]$	*Úhel konstantní úhlové rychlosti vidlice*
C	$[N]$	*Dynamická únosnost lineárního vedení*
D_L	$[mm]$	*Vnější průměr nástrojového lůžka*
d	$[mm]$	*Průměr roztečné kružnice řetězového kola*
d_a	$[mm]$	*Průměr hlavové kružnice řetězového kola*
d_f	$[mm]$	*Průměr patní kružnice řetězového kola*
d_{nmax}	$[mm]$	*Maximální průměr nástroje*
d_p	$[mm]$	*Perem oslabený průměr hřídele*
d_H	$[mm]$	*Průměr hřídele ve vyšetřovaném místě*
d_w	$[mm]$	*Průměr roztečné kružnice pastorku*
$\eta_{\check{r}}$	$[\ -\ ]$	*Sloučená účinnost řetězu a převodovky*
F_M	$[N]$	*Síla potřebná pro pohyb manipulátoru v ose Z*
F_P	$[N]$	*Síla vyvozovaná pneumatickým válcem pro rotaci vidlice*
F_P^g	$[N]$	*Složka síly F_P vyrovnávající tíhovou sílu nástrojů*
F_P^s	$[N]$	*Složka síly F_P vyrovnávající setrvačnou sílu rotace vidlice*
F_P^t	$[N]$	*Tečná složka síly F_P*
F_P^n	$[N]$	*Normálová složka síly F_P*
F_P^y	$[N]$	*Síla pneumatického válce pro posuv konzoly*
F_V	$[N]$	*Úchopná síla vidlice*

F_{od}	$[N]$	*Odstředivá síla nástroje*
F_k	$[N]$	*Silový účinek krouticího momentu elektromotoru*
F_{k1}	$[N]$	*Silový účinek krouticího momentu elektromotoru na šroub*
$F_{Ř1}$	$[N]$	*Síla v řetězu část 1*
$F_{Ř2}$	$[N]$	*Síla v řetězu část 2*
$F_{Ř3}$	$[N]$	*Síla v řetězu část 3*
$F_{Ř4}$	$[N]$	*Síla v řetězu část 4*
$F_{ŘC}$	$[N]$	*Celková síla v řetězu*
f	$[\ -\ ]$	*Součinitel tření*
f_h	$[\ -\ ]$	*Koeficient tvrdosti*
f_t	$[\ -\ ]$	*Koeficient teploty*
f_w	$[\ -\ ]$	*Koeficient zatížení*
f_v	$[\ -\ ]$	*Součinitel tření lineárního vedení*
φ	$[\ °]$	*Úhel sklonu větve 3*
G_N	$[N]$	*Tíhová síla nástroje*
G_N^t	$[N]$	*Tečná složka tíhové síly nástroje*
G_N^n	$[N]$	*Normálová složka tíhové síly nástroje*
g	$[ms^{-2}]$	*Tíhové zrychlení*
γ	$[°]$	*Úhel mezi osou pneumatického válce a tečnou rotace páky*
H_1	$[mm]$	*Hor. vzdálenost osy sous. vřetena a řetězového kola*
H_2	$[mm]$	*Poloměr roztečné kružnice řetězového kola*
H_3	$[mm]$	*Hor. vzdálenost osy lůžka a úchopné vidlice*
H_4	$[mm]$	*Zdvih pneumatického válce při výměně nástrojů*
H_m	$[mm]$	*Výchozí hor. poloha vidlice manipulátoru*
H_v	$[mm]$	*Výška lineárního vedení*
i_{ch}	$[\ -\ ]$	*Převodový poměr převodovky pohonu řetězu*
i_m	$[\ -\ ]$	*Převodový poměr převodovky pohonu Z*
J_e	$[kgm^2]$	*Moment setrvačnosti elektromotoru manipulátoru*
J_{CP}	$[kgm^2]$	*Moment setrvačnosti cykloidní převodovky*
J_N	$[kgm^2]$	*Moment setrvačnosti nástroje*
J_p	$[kgm^2]$	*Moment setrvačnosti pastorku*
J_{pm}	$[kgm^2]$	*Moment setrvačnosti převodovky manipulátoru*

$J_{ŘK}$	$[kgm^2]$	*Moment setrvačnosti řetězového kola*
J_{VK}	$[kgm^2]$	*Moment setrvačnosti vodícího kola*
k_o	$[mm]$	*Korekce délky řetězu*
k_H	$[\ -\ ]$	*Bezpečnost při namáhání hřídele*
k_k	$[\ -\ ]$	*Bezpečnost v krutu při namáhání hřídele*
L	$[m]$	*Jmenovitá životnost lineárního vedení*
L_A	$[\ -\ ]$	*Označení místa A kontroly na hřídeli*
L_B	$[\ -\ ]$	*Označení místa B kontroly na hřídeli*
$L1$	$[mm]$	*Délka části 1 řetězového zásobníku*
$L2$	$[mm]$	*Délka části 2 řetězového zásobníku*
$L3$	$[mm]$	*Délka části 3 řetězového zásobníku*
$L4$	$[mm]$	*Délka části 4 řetězového zásobníku*
L_O	$[mm]$	*Délka řetězu na radiusu*
L_h	$[hod]$	*Životnost lineárního vedení*
l_t	$[mm]$	*Délka řetězu*
l_P	$[mm]$	*Vzdálenost středu těsného pera ke středu ložiska*
l_G	$[mm]$	*Vzdálenost úchopné vidlice od ložiska*
l_L	$[mm]$	*Vzdálenost ložisek*
M_{kmax}	$[Nm]$	*Max. kroutící moment elektromotoru*
M_o	$[Nm]$	*Ohybový moment na hřídeli*
M_{omax}	$[Nm]$	*Max. ohybový moment na hřídeli*
M_N	$[Nm]$	*Jmenovitý kroutící moment elektromotoru*
M_B	$[Nm]$	*Celkový brzdný krouticí moment rotace vidlice*
M_B^g	$[Nm]$	*Tíhová složka momentu* M_B
M_B^s	$[Nm]$	*Setrvačná složka momentu* M_B
M_C	$[Nm]$	*Celkový potřebný krouticí moment*
M_{CP}	$[Nm]$	*Moment od cykloidní převodovky*
M_{nech}	$[Nm]$	*Jmenovitý moment elektromotoru řetězu*
$M_{Ř}$	$[Nm]$	*Moment od síly v řetězu*
$M_{ŘK}$	$[Nm]$	*Moment od řetězového kola*
M_{VK}	$[Nm]$	*Moment od vodících kol*
m_C	$[kg]$	*Celková hmotnost řetězového zásobníku s nátroji*
m_e	$[kg]$	*Hmotnost elektromotoru manipulátoru*

m_k	$[kg]$	*Hmotnost pohyblivé části konzoly*
m_z	$[kg]$	*Hmotnost pohyblivé části sestavy v ose Z*
m_p	$[-]$	*Modul ozubení pastorku*
m_{pm}	$[kg]$	*Hmotnost převodovky na manipulátoru*
m_n	$[kg]$	*Hmotnost nástroje*
m_{red}	$[kg]$	*Redukovaná hmotnost manipulátoru*
n_{nech}	$[min^{-1}]$	*Jmenovité otáčky elektromotoru pohonu řetězu*
n_{ch}	$[s^{-1}]$	*Otáčky řetězového kola*
$n_{nř}$	$[\ -\ ]$	*Kapacita zásobníku nástrojů*
n_{max}	$[rad/s]$	*Max. otáčky elektromotoru*
n_n	$[rad/s]$	*Jmenovité otáčky elektromotoru*
n_o	$[\ -\ ]$	*Počet omotaných obvodů*
$n_š$	$[\ -\ ]$	*Počet šroubů*
n_v	$[\ -\ ]$	*Počet vozíků lineárního vedení*
O_1	$[mm]$	*Délka jednoho omotaného obvodu*
O_2	$[mm]$	*Délka řetězu namotaného na jednom kole*
O_3	$[mm]$	*Rozdíl parametrů O_1 a O_2*
P	$[mm]$	*Rozteč řetězového zásobníku*
P_c	$[mm]$	*Ekvivalent dynamického zatížení*
$R_{ŘK}$	$[m]$	*Poloměr řetězového kola*
r_1	$[mm]$	*Poloměr bližších šroubů od osy elektromotoru*
r_2	$[mm]$	*Poloměr vzdálenějších šroubů od osy elektromotoru*
r_p	$[mm]$	*Poloměr rotace páky*
r_s	$[mm]$	*Střední poloměr šroubů od osy elektromotoru*
r_{vk}	$[mm]$	*Poloměr vodícího kola*
r_N	$[mm]$	*Poloměr rotace nástroje ve vidlici*
S_N	$[N]$	*Setrvačná síla od nástroje ve vidlici*
s_A	$[m]$	*Délka oblouku akcelerace vidlice*
s_B	$[m]$	*Délka oblouku brzdění vidlice*
s_k	$[m]$	*Délka oblouku konstantní rychlosti vidlice*
s_a^z	$[m]$	*Délka dráhy zrychlení v ose Z při vysouvání nástroje*
s^y	$[m]$	*Délka dráhy mezi krajními polohami pohybu v ose Y*
s^z	$[m]$	*Délka dráhy mezi krajními polohami pohybu v ose Z*

s_{1z}	$[m]$	*Délka prvního úseku dráhy pohybu v ose Z*
s_{2z}	$[m]$	*Délka druhého úseku dráhy pohybu v ose Z*
σ_D	$[MPa]$	*Dovolené napětí*
σ_{red}	$[MPa]$	*Redukované napětí*
T_n	$[Nm]$	*Jmenovitý moment převodovky*
T_B	$[Nm]$	*Max. dovolený moment převodovky*
t_{ch}	$[s]$	*Čas polohování nového nástroje k vyjmutí ze zásobníku*
t_p	$[s]$	*Celkový čas přípravy nového nástroje pro výměnu*
t_z	$[s]$	*Čas zrychlování sestavy manipulátoru v ose Z*
t_z^c	$[s]$	*Celkový čas posuvu křížových saní v ose Z*
t_A	$[s]$	*Čas akcelerace vidlice*
t_B	$[s]$	*Čas brzdění vidlice*
t_K	$[s]$	*Čas konstantní úhlové rychlosti vidlice*
t_{celk}	$[s]$	*Celkový čas otočení vidlice*
t_a^z	$[s]$	*Čas úseku posuvu křížových saní*
t_V	$[s]$	*Čas výměny nástroj-nástroj*
t_y	$[s]$	*Čas posuvu konzoly v ose Y*
τ_D	$[MPa]$	*Dovolené napětí v krutu*
τ_k	$[MPa]$	*Napětí v krutu*
V_m	$[mm]$	*Výchozí ver. poloha vidlice manipulátoru*
v	$[ms^{-1}]$	*Rychlost*
v_{ch}	$[ms^{-1}]$	*Rychlost řetězu*
v_z	$[ms^{-1}]$	*Rychlost sestavy manipulátoru*
v_0	$[ms^{-1}]$	*Linearizovaná počáteční rychlost vidlice*
v_1	$[ms^{-1}]$	*Linearizovaná rychlost vidlice v úseku II*
W_k	$[mm^3]$	*Modul průřezu v krutu*
W_o	$[mm^3]$	*Modul průřezu v ohybu*
ω_{ch}	$[rads^{-1}]$	*Úhlová rychlost řetězového kola*
ω_0	$[rads^{-1}]$	*Krajní úhlová rychlost vidlice*
ω_1	$[rads^{-1}]$	*Úhlová rychlost vidlice v úseku II*
ω_{max}	$[rads^{-1}]$	*Max. úhlová rychlost vidlice*
ω_e	$[rad/s]$	*Úhlová rychlost rotoru elektromotoru*
ω_p	$[rad/s]$	*Úhlová rychlost pastorku*

ω_v	*[rad/s]*	*Úhlová rychlost vidlice*
Z	*[-]*	*Počet zubů řetězového kola*
z_p	*[-]*	*Počet zubů pastorku*

* *Vz. - Vzdálenost*
Fr. - Frézovací
Sous. - Soustružnické
Hor. - Horizontální
Ver. - Vertikální

1. Úvod

Automatická výměna nástrojů (AVN) přinesla do obrábění možnost měnit nástroje bez přičinění lidské obsluhy. U obráběcích center je AVN nepostradatelným doplňkem k zajištění jejich plynulého provozu. Pomocí této automatizace se vedlejší výrobní časy zkrátily na minimum. To se odrazilo na výsledné ceně a produktivitě obrábění. Výrazně se také zvýšila bezpečnost práce, protože obsluha nemusí vystavovat své tělo nebezpečím, která jsou skryta v obráběcím procesu. Jedná se například o těžké nástroje nebo ostré třísky, se kterými dříve přicházela obsluha stroje do kontaktu neustále. Velké společnosti, které se zabývají tímto tématem, spolu soupeří a předhánějí se ve vývoji rychlejších a efektivnějších výměnných systémů. Pracují na zdokonalování komponentů, ať už jde o zásobníky, manipulátory nebo upínací systémy. [1]

Důvodem vzniku tématu této bakalářské práce je zmenšení zástavbových prostor obráběcího stroje Multicut 500 firmy Kovosvit MAS. Stávající verze stroje obsahuje řetězový zásobník pro uskladnění 81 nástrojů a manipulátor výměny v podobě přímého ramene se dvěma pozicemi pro nástroj. Samotný zásobník zvětšuje zástavbové prostory nad a za stroj. Hlavním požadavkem pro návrh nového řešení systému AVN je umístění celého systému do zástavbového prostoru soustružnického vřetene, kde se ve stávající verzi nachází zásobník vyvrtávacích tyčí. Odstraněním tohoto zásobníku se zvětšil prostor pro umístění nového systému AVN. Stávající verzi obráběcího stroje znázorňuje obr. 1. 1.

Obrázek 1. 1 - Stávající verze stroje MTC500 [2]

2. Cíle práce

Zadavatel požaduje umístit do obráběcího stroje systém AVN tak, aby nepřesahoval zástavbové prostory nad stroj a za stroj, jako tomu je u stávající verze. Systém AVN bude umístěn do prostoru k soustružnickému vřeteni do levé části stroje za kryt pracovního prostoru.

Součástí práce bude rešerše, která se bude zabývat druhy systémů AVN a jejich jednotlivých komponent. Rešerše bude také obsahovat srovnání stroje Multicut 500 se stroji stejného typu a podobnými parametry. Poté budou následovat návrhy řešení, ze kterých bude vybrán nejvýhodnější z nich. Tento návrh bude poté rozpracován a výstupem bude 3D model sestavy systému AVN, dva výrobní výkresy vybraných součástí a sestavný výkres celé sestavy. Konstrukce by měla splňovat požadované parametry zadané firmou Kovosvit MAS, které jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 2.1).

Tab. 2.1 – Požadované parametry pro systém AVN

Kužel nástroje	HSK-T63
Počet míst zásobníku	32
Max. délka nástroje	350mm
Max. průměr nástroje - S/bez vynechání	150/ 90 mm
Max. hmotnost nástroje	8kg

3. Rešerše

V této kapitole bude představena problematika AVN. Budou zmíněny základní principy a rozdělení systémů včetně jejich výhod a nevýhod. Budou zde také představeny způsoby, jakými tuto problematiku řeší výrobci.

3.1. Automatická výměna nástrojů

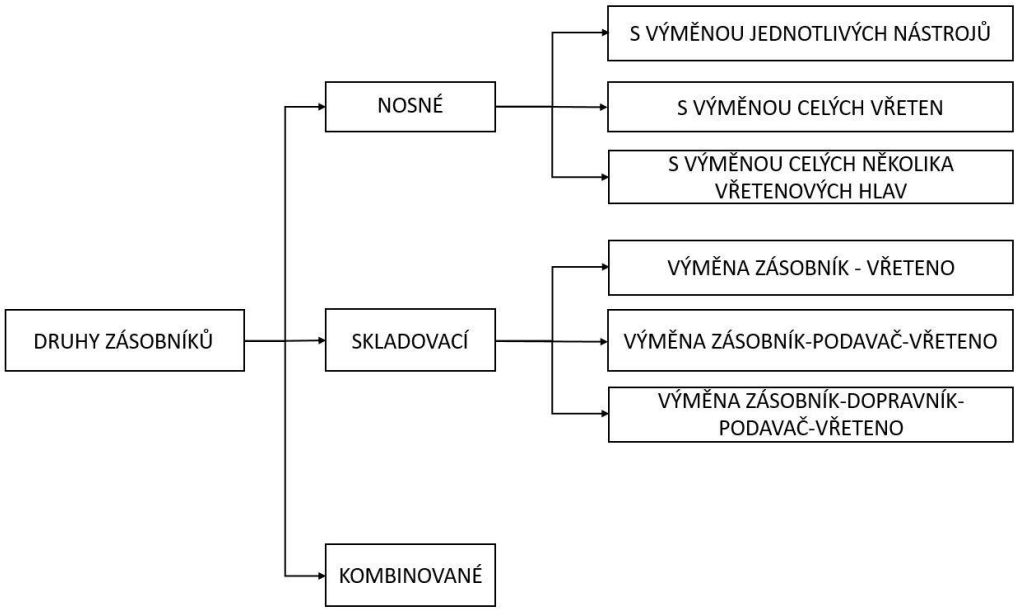
AVN probíhá ve dvou případech. První případ je potřeba vyměnit opotřebený nástroj za nový. Druhým případem je potřeba vyměnit nástroj z technologických důvodů. Výměna spočívá ve vyjmutí nástroje z vřetena, v jeho uložení do zásobníku, vyjmutí nového nástroje ze zásobníku a jeho uložení zpět do vřetena. [1]

3.1.1. Základní požadavky na systémy AVN

1. Čas na výměnu nástroje musí být co nejkratší;
2. Zásobník nástrojů musí mít dostatečnou kapacitu a nemá být náročný na prostor či na půdorysnou plochu;
3. Celý systém má být řešen tak, aby nepracující nástroje nebo mechanismy systému neomezovaly pracovní prostor stroje;
4. Mechanismy systému a nepracující nástroje musí být zakryty nebo uspořádány tak, aby za provozu neohrožovaly obsluhu;
5. Požaduje se vysoká spolehlivost a životnost. [3]

3.1.2. Rozdělení AVN

Základní rozdělení systémů automatické výměny nástrojů je vhodné provézt podle druhu použitého zásobníku na: systémy s nosnými zásobníky, systémy se skladovacími zásobníky a systémy kombinované. Toto rozdělení ukazuje obr. 3. 1. [3]



Obr. 3. 1 - Druhy zásobníků [4]

3.1.2.1. Systémy s nosnými zásobníky

Mezi systémy s nosnými zásobníky patří systémy s otočnou nástrojovou hlavou (revolverovou, obr. 3.2), kde jsou nástroje pevně upnuty v hlavě a vykonávají jen vedlejší pohyby. Hlavní pohyb koná obrobek. Dále jsou to systémy s výměnou celých vřeten a výměnou celých vřetenových hlav. [3]

Hlavní částí systémů s nosnými zásobníky je zásobník, který je spojen s řezným procesem tím, že přenáší řezné síly od nástroje do rámu stroje. Jeho další vlastností je, že nemá příliš mnoho míst pro nástroje. Jeho rozměry nejsou příliš velké a bývá umístěn přímo na stroji, nezvětšuje tedy půdorysnou plochu stroje. [5]

Nejčastěji je možné se s těmito zásobníky setkat u soustružnických center. Nástroje v těchto zásobnících mohou být poháněné, tedy konají hlavní pohyb (vrtání a podobné operace), nebo nástroje čistě soustružnické, které konají pohyb vedlejší. [3]

Pro systémy s otočnou nástrojovou hlavou jsou typickými představiteli revolverové a nožové hlavy. Mezi požadavky, které jsou kladeny na tyto systémy, patří minimální počet nástrojů, nástroje pro vnější a vnitřní opracovávání si nesmí vadit, čas výměny nástroje by měl být minimální a má být zajištěna vysoká přesnost výměny. Tyto systémy se nejčastěji nacházejí v případech, kdy hlavní řezný pohyb vykonává obrobek, tj. především u svislých a vodorovných soustruhů. [6]

Co se týče systémů s výměnou celých vřeten nebo vřeteníků lze ji provádět třemi způsoby. Patří mezi ně výměna pomocí vřetenové revolverové hlavy, výměna vřeten

rozmístěných v kruhu (vřetenové bubny) a výměna vřeten rozmístěných v přímce. Vřetenové hlavy mají své využití obvykle u frézek. Vyskytují se ve třech provedeních:

1. Osy vřeten jsou v jedné rovině, která je kolmá na osu otáčení hlavy.
2. Osy vřeten jsou rovnoběžné s osou otáčení hlavy.
3. Osy vřeten jsou površkami kuželu, jehož osa je také osou otáčení hlavy. [6]

Mezi hlavní výhody systémů AVN s nosnými zásobníky patří:

1. Rychlá výměna nástroje;
2. Není potřeba složitých manipulátorů a dopravníků;
3. Celý systém nezvětšuje půdorysnou plochu stroje.

Mezi nevýhody těchto systémů patří:

1. Nedostatek nástrojových míst;
2. Omezení pracovního prostoru nástroji, které nepracují. [6]

Obr. 3. 2 - Revolverová hlava [7]

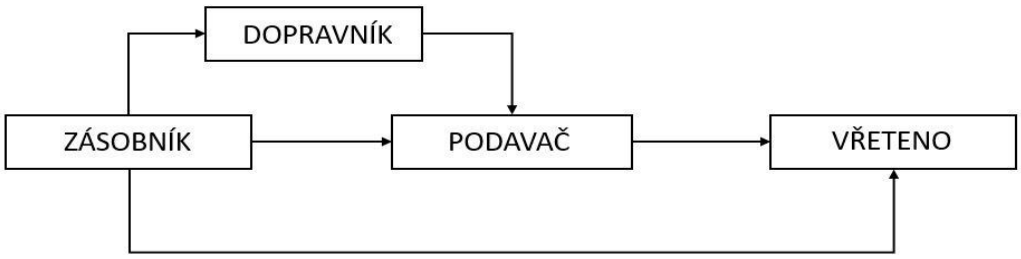
3.1.2.2. Systémy se skladovacími zásobníky

Mezi hlavní části těchto systémů patří skladovací zásobník, dopravní manipulátor, mezilehlé dílčí zásobníky a manipulátor pro výměnu nástrojů ve vřeteni. Dopravní manipulátor slouží k přemístění nástroje ze zásobníku do místa výměny. Manipulátor

slouží k výměně nástrojů ve vřeteni stroje nebo na nosiči nástrojů. Systémy se skladovacími zásobníky je možné rozdělit podle kapacity zásobníku na maloobjemové, které se pohybují v rozmezí od 25 do 40 nástrojů, a velkoobjemové, které mají asi 50 až 150 a více nástrojů. Podle cesty, kterou vykoná nástroj směrem k vřeteni ze zásobníku se systémy AVN dělí na:

1. Systém: zásobník – vřeteno;
2. Systém: zásobník – podavač – vřeteno;
3. Systém: zásobník – dopravní manipulátor -podavač – vřeteno. [4]

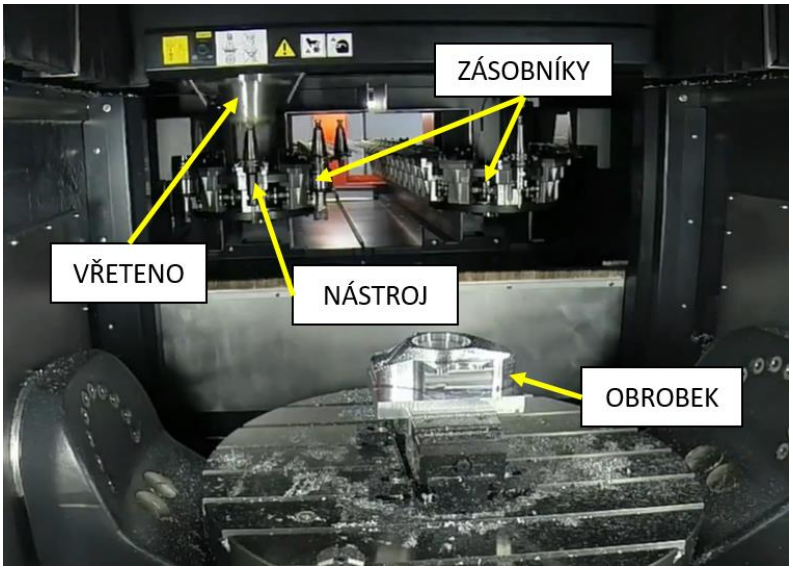
Čím komplikovanější je cesta, kterou musí nástroj absolvovat od zásobníku do vřetena stroje, tím by měla být samotná výměna rychlejší. Samotná doba výměny nástroje byla jednou z motivací pro konstrukci složitějších systémů AVN. Schéma výměny nástroje zachycuje obr. 3. 3. [4]



Obr. 3. 3 - Schéma výměny nástroje

Výměna zásobník – vřeteno

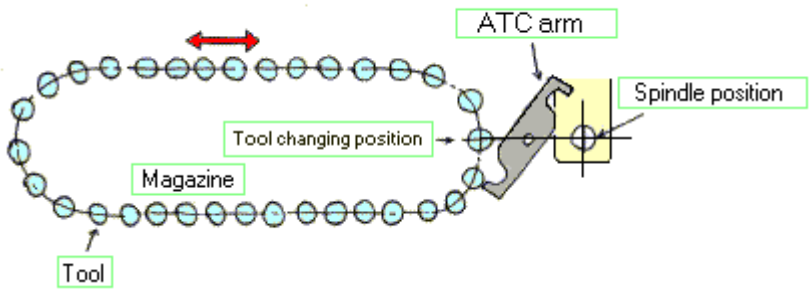
Tato výměna bývá někdy také zvaná jako přímá nebo tzv. pick-up výměna. V tomto případě bývá zásobník umístěn na vřeteníku ve tvaru revolverové hlavy se šikmou osou otáčení, nebo ve formě bubnu se svislou osou. Vřeteno musí být výsuvné. Nástroje v zásobníku by měly být za sebou tak, jak si je bude vřeteno brát vzhledem k pořadí technologií. Při výměně nástroje vřeteno uvolní použitý nástroj do zásobníku, který se následně pootočí tak, aby mohl být do vřetena upnut požadovaný nástroj. Příkladem takové výměny nástroje je výměna nástroje u stroje MCU700 (obr. 3. 4). [4]



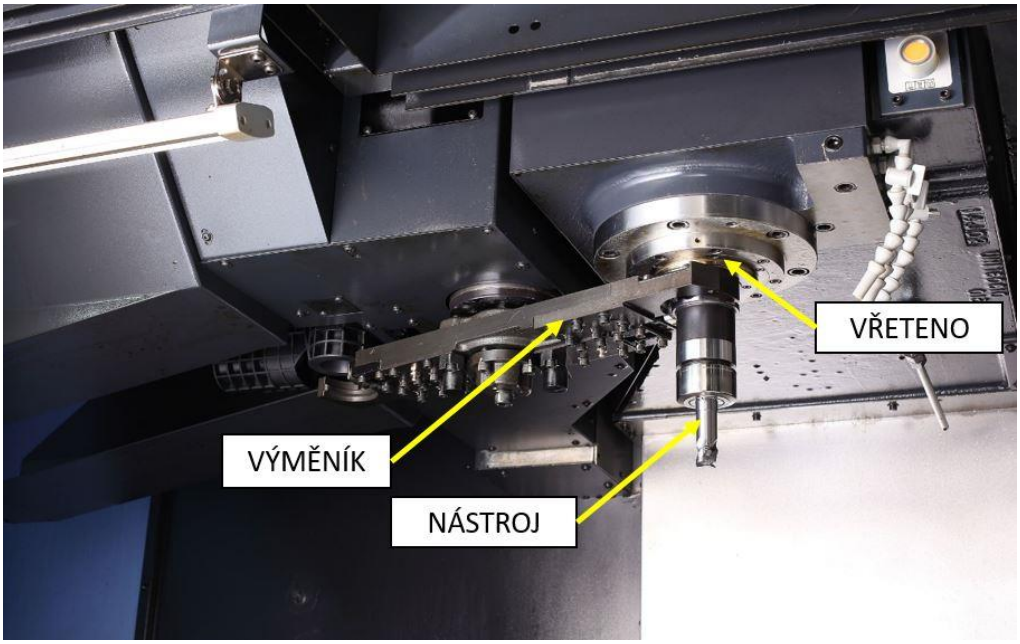
Obr. 3. 4 -Výměna zásobník - vřeteno stroje MCU700 [8]

Výměna zásobník – podavač – vřeteno (Z-V-V)

U tohoto systému se využívá podavač (výměník), který může být dvouramenný, výsuvný, otočný a teleskopický. Mezitím co stroj pracuje s jedním nástrojem se zásobník uvede do takové polohy, aby byl nástroj potřebný pro další operaci připraven v dosahu podavače. Při výměně nástroje uchopí podavač jedním ramenem nástroj v zásobníku a druhým nástroj ve vřetenu. Poté oba nástroje vysune ze svých upínacích ploch a vymění je otočením o 180°. Následně podavač zasune současně použitý nástroj do zásobníku a nový do vřetena. Výměna je zde v řádu několika sekund. Není nutné, aby byly nástroje v zásobníku seřazeny podle sledu operací. Schéma této výměny nástroje znázorňuje obr. 3.5 a její praktické použití na obr. 3. 6. [4]



Obr. 3. 5 - Výměna zásobník - podavač - vřeteno [9]



Obr. 3. 6 - Výměna zásobník - podavač – vřeteno [10]

Výměna zásobník – dopravní manipulátor – podavač – vřeteno (Z-D-V-V)

V době, kdy obrábíme jedním nástrojem, se nástroj pro další operaci vyhledá v zásobníku automaticky. Dopravní manipulátor ho poté dopraví na místo, kde ho uchopí podavač. Výměna nadále probíhá podobně jako u předchozího případu. Jedná se také o velmi rychlou výměnu. Tento systém se používá pro velkoobjemové zásobníky, které jsou umístěny mimo stroj. [4]

Shrnutí

Mezi hlavní výhody systémů AVN se skladovacím zásobníkem patří:

1. Dosažení velmi rychlé výměny nástroje;
2. Možnost uskladnění velkého počtu nástrojů;
3. Možnost doplňování nástrojů během pracovního cyklu stroje.

Mezi nevýhody těchto systémů patří:

1. Komplikovanější, těžší a dražší zařízení.
2. Vyšší pravděpodobnost poruchy.
3. Zvětšení zástavbových prostor stroje. [6]

3.1.2.3. Systémy kombinované

Obvykle se tyto systémy skládají ze systémů se skladovacím zásobníkem a ze systému s nosným zásobníkem. Mohou mít různá provedení.

3.1.2.4. Typy zásobníků podle tvaru

Zásobník plní funkci bezpečného uložení nepracujících nástrojů a funkci dopravení požadovaného nástroje do polohy vyzvednutí vřetenem, manipulátorem nebo dopravníkem. Druhy zásobníků se od sebe liší především tvarově. Mezi druhy zásobníků patří:

A. Bubnové (kruhové)
B. Řetězové
C. Diskové (hvězdicové)
D. Velkokapacitní a centrální [11]

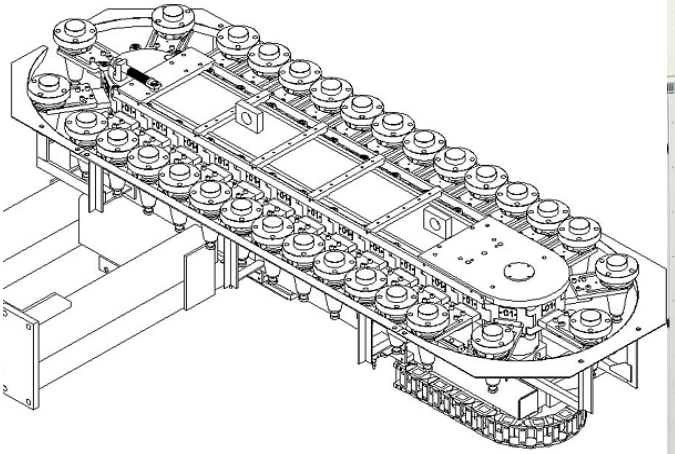
A. Bubnové (kruhové)

Tento typ zásobníku bývá určen pro výměnu typu pick-up. Obvyklá kapacita těchto zásobníků je do 20 nástrojů, což je řadí mezi malokapacitní zásobníky. Výhodou jsou malé rozměry a poměrná jednoduchost systému. Je možné se setkat s vyklápěcími lůžky, které usnadňují systém výměny. Zástupce bubnových zásobníků je na obr. 3. 7.[11]

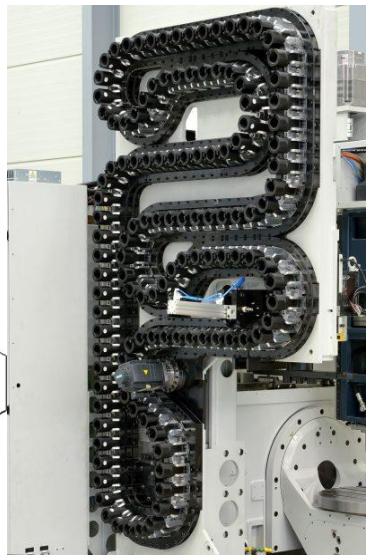
Obr. 3. 7 - Bubnový zásobník [12]

B. Řetězové

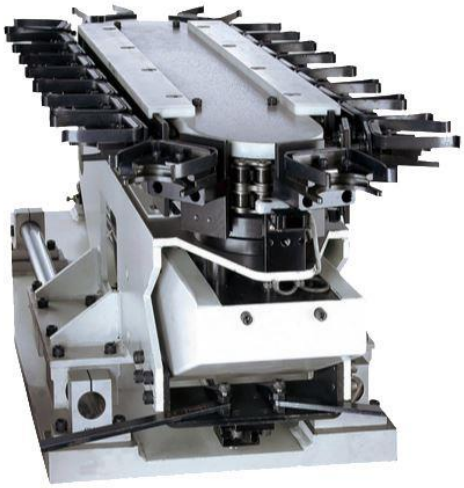
Řetězové zásobníky jsou velmi často používané. Patří do kategorie zásobníků se střední kapacitou (40-100 nástrojů). Možnost přizpůsobit rozměry zásobníku prostorovým podmínkám patří mezi výhody. V závislosti na použitém typu výměny nástrojů je možné se setkat s pevnými nebo vyklápěcími lůžky. Často je možné se také setkat s další vyčkávací polohou pro vlastní výměnu nástroje. Na následujících obrázcích jsou vidět příklady uspořádání řetězových zásobníků (obr. 3.8 – 3.11). [11]



Obr. 3. 8 - Řetězový zásobník [13]



Obr. 3. 9 - Řetězový zásobník 2 [13]



Obr. 3. 10 - Řetězový zásobník POJU [14]

Obr. 3. 11 - Řetězový zásobník vertikální [15]

Typy řetězů

Řetězy pro řetězové zásobníky se nabízejí ve dvou variantách. Jsou to válečkové a článkové řetězy. Pro oba typy existuje několik provedení.

Obr. 3. 12- Válečkový řetěz SK [17]

Válečkový řetěz (obr. 3. 12) je složen z lůžek nebo držáků nástrojů a unašečů. Lůžka nejsou vzájemně propojena. U vnitřního či vnějšího oblouku dochází ke změně rozteče lůžek. Pro určité aplikace existují výklopná lůžka (obr. 3.13) nebo vertikální lůžka (obr. 3.14). Tyto řetězy jsou obecně označovány SK. [16]

Obr. 3. 13 - Výklopná lůžka SK řetězu [17]

Obr. 3. 14 - Vertikální lůžka SK řetězu [17]

Obr. 3. 15 - Článkový řetěz HP [18]

Na obr. 3. 15 je článkový řetěz, který se vyznačuje konstantní roztečí. Lůžka jsou zde spojena dvojící desek s pojistnými kroužky. Obecné označení řetězu je HP. [16]

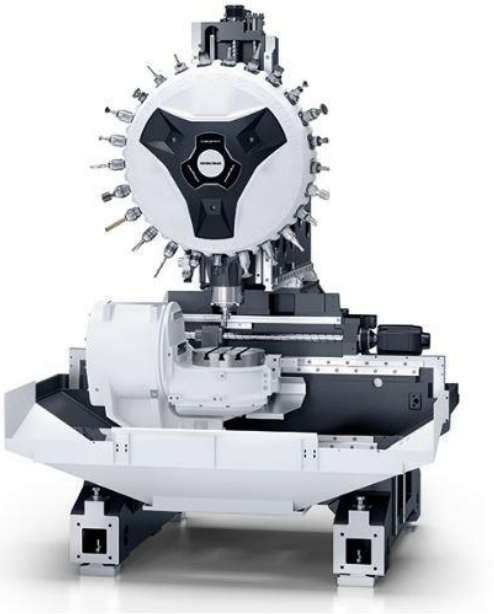
Na obr. 3. 16 je řetěz vhodný pro vysoké rychlosti až do 40m/min. Plochy kontaktu mezi řetězem a vodítkem jsou navrženy tak, aby snížily hlučnost při pohybu. Je vhodný pro řetězy od 60 do 240 nástrojů. [17]

Obr. 3. 16 - GK řetěz [17]

C. Diskové (hvězdicové)

Diskové zásobníky jsou typické tím, že osa nástroje šikmá popřípadě kolmá na osu otáčení zásobníku. Nedostatkem tohoto systému jsou velké rozměry (vnější průměr). Výhodu tvoří větší prostor pro čelisti výměnného ramene. Zástupci tohoto typu zásobníku jsou na obr. 3. 17 a obr. 3. 18. [11]

Obr. 3. 17 - Diskový zásobník (120 míst) [19]



Obr. 3. 18 - Diskový zásobník Mori [20]

D. Velkokapacitní a centrální

Velkokapacitní zásobníky jsou řešeny jako plošné, kdy je využita celá plocha zásobníku, čímž je možné docílit vysoké kapacity u relativně malých rozměrů. Nevýhodou je složitější způsob dopravy nástroje mezi polohou pro výměnu a jeho uložením v zásobníku. Zásobníky centrální jsou další formou rozšíření kapacity zásobníku, jejichž kapacita dosahuje až 250 nástrojů. Nástroje jsou ukládány mimo stroj

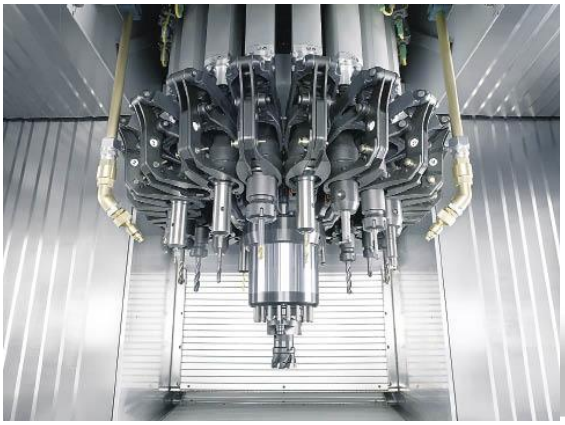
a mohou být uskladněny i pro jiné stroje. Na obr. 3. 19 a obr. 3. 20 jsou příklady těchto typů zásobníku. [11]

Obr. 3. 19 - Velkokapacitní zásobník [21]

Obr. 3. 20 - Tool arena [21]

Poznámka: Chiron

Zajímavostí jsou zásobníky vyvíjené firmou Chiron. Systém zobrazený na obr. 3.21 je schopen dosáhnout velmi krátkých časů výměny pohybujících se do 1 s. Každý nástroj má svůj vlastní mechanismus výměny, což znamená velmi složitý a nákladný systém výměny nástrojů. Druhým systémem na obr. 3.22 je skladovací zásobník, jehož řetěz je tvarován do šroubovice a tím se zmenší zástavbový prostor zásobníku.



Obr. 3. 21 - Zásobník Chiron[22]

Obr. 3. 22 - Věžový zásobník Chiron[23]

3.1.2.5. Výměník

Výměník (obr. 3. 23) slouží jako prostředek pro výměnu nástroje mezi zásobníkem, popř. dopravníkem a vřetenem. Nejčastěji bývá konstruován jako dvouramenná páka obvykle s úhlem 180°. Manipulátor vyjme požadovaný nástroj ze zásobníku

a vyměňovaný nástroj z vřetena. Následně se rameno otočí o 180°. Tímto pohybem se pozice nástrojů vymění a starý nástroj se dostane do pozice pro uložení do zásobníku a nový nástroj před vřeteno. Poté se oba nástroje jedním pohybem zasunou do vřetena a zásobníku.

Obr. 3. 23 – Výměník [24]

Na obrázku 3. 24 a 3. 25 jsou dále vidět čelisti manipulátoru sloužící k sevření nástroje před manipulací.

Obr. 3. 24 - Kovová čelist manipulátoru [25]

Obr. 3. 25 - Plastové čelisti [26]

3.2. Držáky nástrojů pro systémy se skladovacím zásobníkem

Mezi funkce, které musí plnit každý držák použitý v systému AVN, patří:

1. Umožnění přesného upnutí do vřetena nebo na nosič nástrojů stroje, což zajišťuje upínací část držáku, jejíž tvar může být válcový, kuželový nebo různě složený z válcových a rovinných ploch;

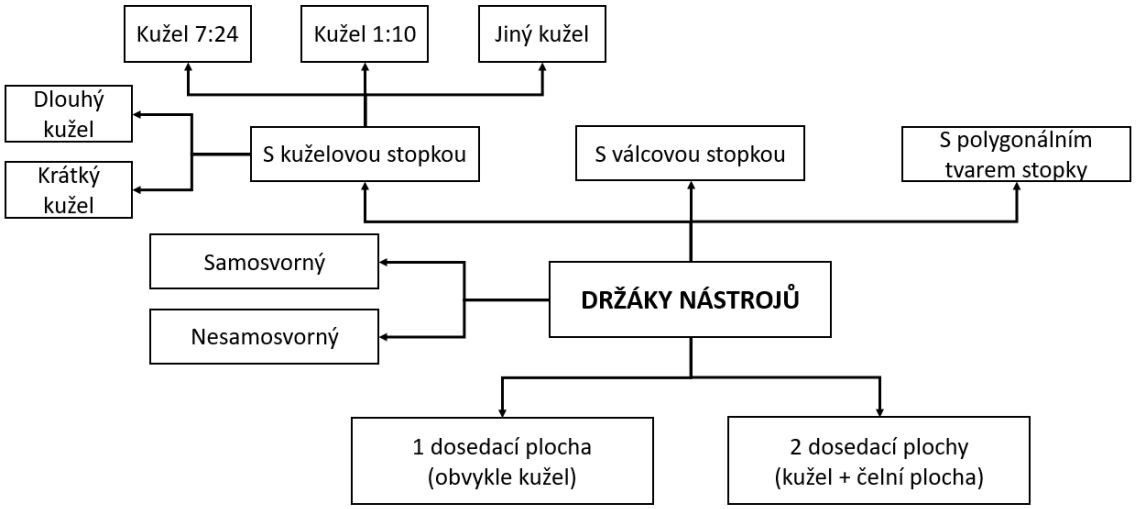
2. Pokud není spojení schopno přenést veškeré řezné síly třením upínacích ploch, musí mít vytvořeny plochy pro přenos těchto sil;

3. Musí mít vytvořeny plochy pro uchopení manipulátorem nástrojů při automatické výměně;

4. Může obsahovat nějaký kódovací systém nebo plochy pro umístění kódování. [6]

U obráběcích strojů, kde hlavní řezný pohyb koná nástroj, jsou používány dva typy upínání: do kuželových otvorů a do válcových otvorů. Vřeteno je vybaveno jednotnými upínacími plochami, které slouží k upnutí držáku nástroje, ve kterém je nástroj různým způsobem upevněn nebo je případně držák zhotoven přímo s nástrojem. Typ držáku je zvolen podle vlastností, jakých chceme u daného upnutí dosáhnout. [4]

Na obrázku 3. 26 je vidět schéma rozdělení držáků nástrojů. Vedle držáků nástrojů s kuželovými stopkami a válcovými stopkami jsou známi ještě držáky s polygonálním tvarem stopky. Držáky nástrojů se dále mohou dělit také dle hlediska samosvornosti a to na samosvorný a nesamosvorný. Z hlediska počtu dosedacích ploch jsou držáky děleny na jednu dosedací plochu, kterou obvykle bývá kužel, dále jsou to dvě dosedací plochy, kde je navíc daná čelní plocha nástroje. Kuželové stopky se dělí podle kuželovitosti. Nejčastější je kužel 7:24 a kužel 1:10. Kuželové držáky můžeme také rozdělit podle délky kužele na krátký kužel a dlouhý kužel. [1]



Obr. 3. 26 - Schéma rozdělení držáků nástrojů [1]

3.2.1. Držáky s kuželovou stopkou

Mezi výhody tohoto držáku patří nepříliš složité upínací zařízení a vysoká tuhost upnutí. Mezi nevýhody patří velmi přesná a náročná výroba kuželové části. Obtížné bývá

také udržovat kužel v čistotě. Ofukování stopek není příliš účinné a účinné způsoby čištění jsou finančně náročné. Pokud nedojde k odstranění nečistot ze stykových ploch, dojde k zamačkávání nečistot a tím k poškození upínacích ploch. [4]

Mezi často užívané držáky tohoto typu patří ISO (obr. 3. 27). K přenosu krouticího momentu slouží pero v drážce. Držák obvykle obsahuje i drážku pro uchopení manipulátorem. [4]

Obr. 3. 27 - Držák nástrojů ISO-40[27]

Dalším typem držáku s kuželovou stopkou je HSK (obr. 3. 28). Tento systém disponuje velmi pevným axiálním pojištěním a velmi přesným vystředěním. Kratší a lehčí konstrukce umožňuje držákům HSK vyšší rychlosti a rychlejší výměnu nástroje. Použití proto nachází ve vysokorychlostním obrábění s častou výměnou nástroje. [28].

Obr. 3. 28 - Držák nástrojů HSK-A63 [28]

3.2.2. Držáky s polygonálním tvarem stopky

Mezi držáky s polygonálním tvarem stopky patří držák CAPTO od firmy Sandvik Coromant (obr. 3. 29). Přenos krouticího momentu a středění zajišťuje zužující se polygon. Kontakt čela a kuželu spolu s dobrou pevností poskytuje možnost vyšší upínací síly, která má za následek vynikající tuhost v ohybu. [29]

Obr. 3. 29 - Držák nástrojů CAPTO [30]

Tab. 3.1 – Porovnání držáků nástrojů [29], [31]

Držáky nástrojů	**ISO 40**	**HSK-A63**	**CAPTO C6**
Upínací síla [N]	12000	17460	41000
Max. otáčky [1/min]	16000	25000	20000
Obvodové házení [µm]	3	3	3
Max. ohybový moment [Nm]	80	200	700
Max. krouticí moment [Nm]	500	300	800
Cena [Kč (bez DPH)]	2 000 – 4 000	3 000- 5 000	5 000 – 11 000

Z tabulky (Tab. 3.1) vyplývá, že řada strmých kuželů ISO je nejméně vhodná pro vysoké otáčky vřetena. Co se týká obvodového házení, většina výrobců uvádí, že hodnoty házení nepřesahují 3µm. Co se týče ohybových momentů, nejlépe vychází držáky CAPTO, které své konkurenty v této oblasti značně převyšují. Podobně ve prospěch držáků CAPTO je na tom porovnání maximálních dovolených krouticích

momentů. Tyto výhody se ovšem projevují na vyšší ceně. Obrázek 3. 30 dále znázorňuje namáhání jednotlivých typů držáků nástrojů.

Obr. 3. 30 - Namáhání držáků nástrojů [29]

3.2.3. Držáky s válcovou stopkou

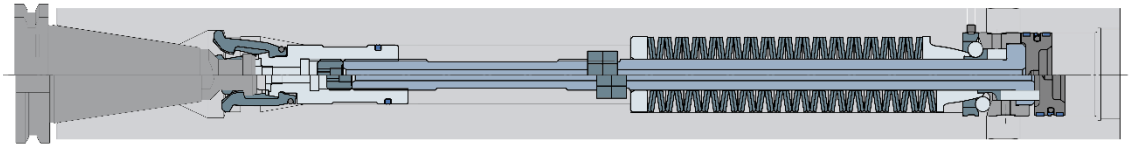
Mezi výhody těchto držáků patří snazší údržba upínací plochy v čistotě. Díky tomu je možné dosahovat vyšších přesností upínání. K odstranění nečistot dochází při zasouvání do vřetena nebo do zásobníku pomocí stěrače nebo stlačeného vzduchu. Mohou se stírat také přímo pouzdrem. Díky tomu zůstávají upínací plochy nepoškozené. Další výhodou je jednodušší výroba válcové plochy než kuželové. Nevýhodou je nižší tuhost upnutí ve vřetenu způsobená kleštinou mezi držákem a vřetenem. [4]

3.3. Upínací systémy

Upínací systémy musí splňovat vysoké nároky na propracovanost, neboť jsou stěžejní součástí frézovacího stroje. Od upnutí nástroje ve vřeteni se odvíjí kvalita obráběných ploch.

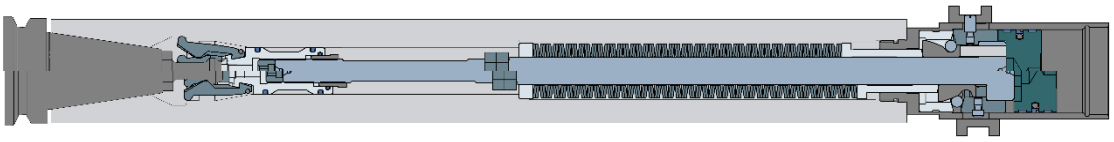
3.3.1. Systém pro ISO kužel

Na obr. 3.31 je systém IS. Pomocí mechanismu zesílení síly zabudovaného do hřídele vřetena je struktura integrovaného táhla vřetena udržována co možná nejkompaktnější pro dosažení vysokých otáček u strmých kuželových upínačů nástrojů. [32]



Obr. 3. 31 – Upínací systém IS[32]

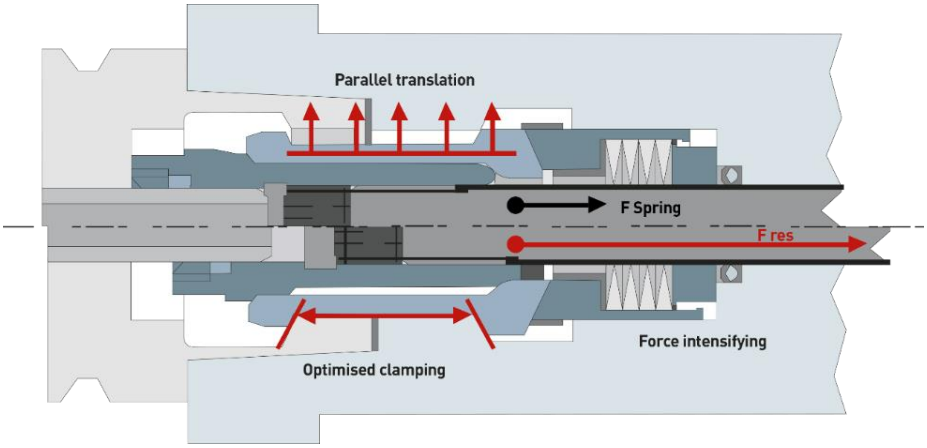
Na obr. 3. 32 je systém ES. Přídavný mechanismus zvyšuje upínací sílu přes vnitřní táhlo vřetene. Díky poloze ozubení může být poloha upínacího systému snadno monitorována. Konfigurace ES je vhodná pro aplikace, kde rychlost vřetena dosahuje až 10 000 ot/min. [32]



Obr. 3. 32 – Upínací systém ES [32]

3.3.2. Systém pro HSK kužel

Spojení nástroje s vřetenem prostřednictvím kuželu HSK (obr. 3. 33) umožňuje obrábění vysokými otáčkami za cenu nižší tuhosti. Výrobce Ott-Jacob udává pět variant upínacích jednotek, kterými jsou typy K, B, C, D, a BK. [33]



Obr. 3. 33 - Upínací systém HSK [33]

3.4. Výměna nástrojů u vybraných strojů

V tab. 3.2 jsou srovnány obráběcí stroje, které se svými rozměry a parametry podobají stroji Multicut 500. Všechna zmíněná soustružnicko-frézovací centra používají pro uskladnění nástrojů řetězový zásobník, který má kapacitu od 40 do 140 nástrojů. Většina strojů je nabízena v různých variantách provedení řetězového zásobníku, které se liší v kapacitě. Nejčastějším typem výměny je výměna pick-up a výměna Z-V-V. Čas výměny nástroj – nástroj (t-t) se obvykle pohybuje v rozmezí dvou až tří sekund.

Tab. 3.2 – Porovnání parametrů vybraných strojů [34],[35],[36],[37]

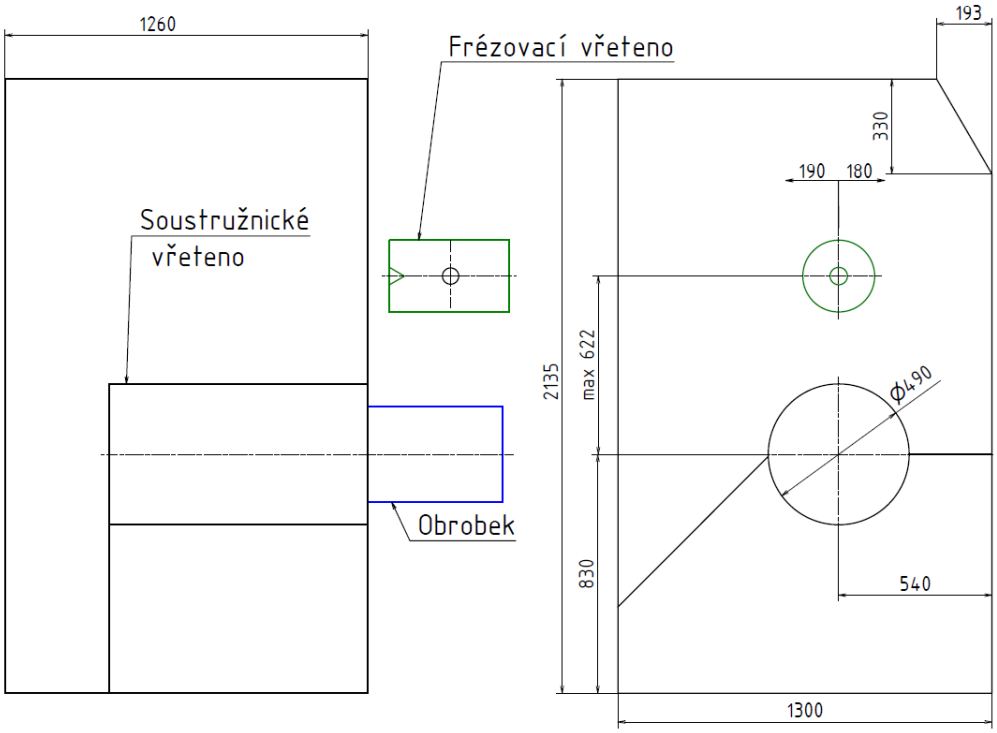
Stroj	Typ stroje	Zásobník /nástroje	Výměna	Čas výměny (s)	Pracovní prostor x/y/z
MAS - MTC 500i	5 - osé	Řetězový/81	Z-V-V	3 (t-t)	640/370/1600
INDEX - G420	5 - osé	Řetězový /139	Pick-up	2 (t-t)	750/240/1600
MORI - NT 4200 DCG	5 - osé	Řetězový/40	Z-V-V	-----	750/210/1500
EMCO-HYPERTURN 65 POWERMILL G2	5 - osé	Řetězový/80	Pick-up	-----	530/240/1170

3.5 Závěr rešerše

Návrhy řešení AVN pro stroj MTC500 se budou odvíjet od požadavků zadavatele Kovosvit MAS. Samostatné návrhy budou brát v potaz výhody a nevýhody jednotlivých typů skladovacích zásobníků a typů výměn nástroje. Z rešerše vychází jako nejpravděpodobnější varianta řetězový zásobník s výměnou typu Z-V-V.

4. Návrhy řešení

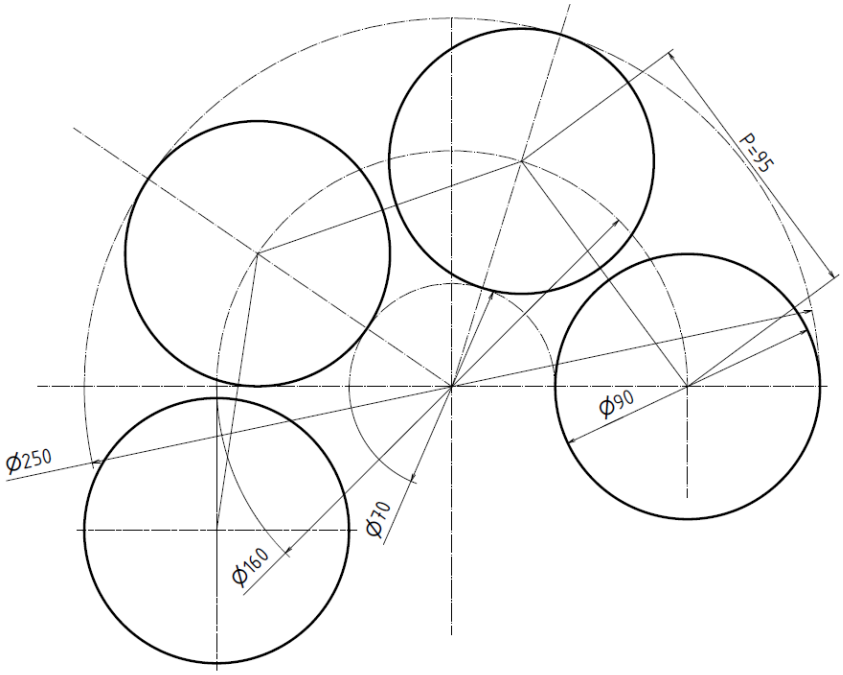
Hlavními parametry, ze kterých vychází návrhy řešení, jsou rozměry zástavbového prostor (obr. 4.1). První návrhy řeší pouze možnosti uspořádání skladovacího zásobníku bez ohledu na způsob výměny nástroje. Finální návrhy poté již zahrnující způsob výměny nástroje.



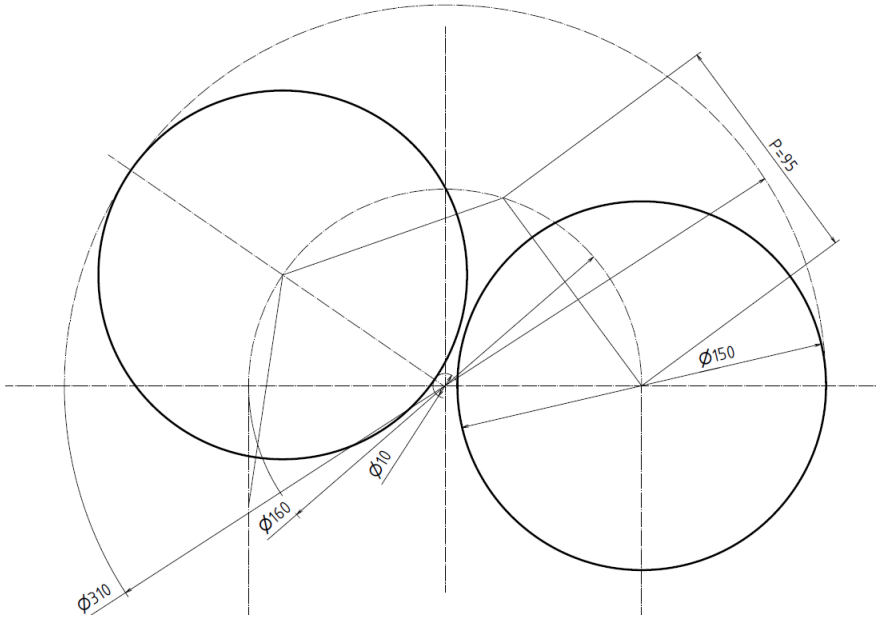
Obr. 4. 1 - Zástavbový prostor

4.1. Prvotní návrhy uspořádání zásobníku

Tato kapitola obsahuje návrhy uspořádání skladovacího zásobníku způsoby vycházejícími z rešerše. Vhodným typem skladovacího zásobníku je pro malé zástavbové prostory řetězový zásobník. Nejprve je nutné určit rozteč a pro ní nejmenší možný rádius zásobníku pro případ bez vynechání nástroje (obr. 4.2) a s vynecháním nástroje (obr. 4.3).



Obr. 4. 2 - Minimální rádius zásobníku bez vynechání nástroje

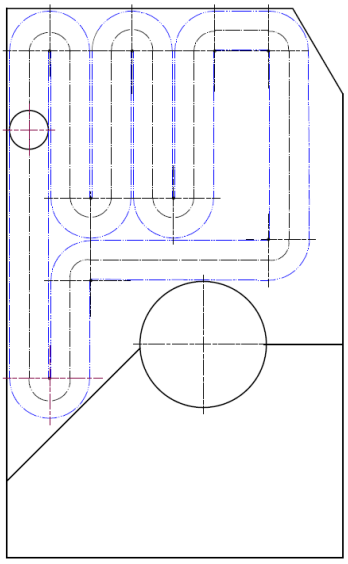


Obr. 4. 3 - Minimální rádius zásobníku s vynecháním nástroje

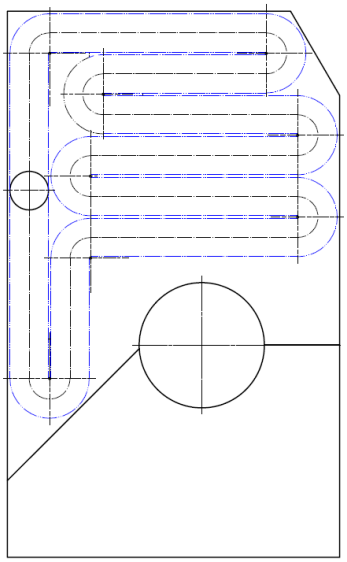
Určené parametry zachycuje následující tabulka (tab. 4.1). Maximální průměr nástroje bez vynechání činí 90mm, proto byla rozteč zvolena 95mm. Průměr roztečné kružnice byl navržen z maximálního průměru nástroje, který činí 150mm, tak aby v přímých částech nedocházelo ke kolizi nástrojů v sousedících větvích řetězu.

Tab. 4.1 – Parametry řetězového zásobníku

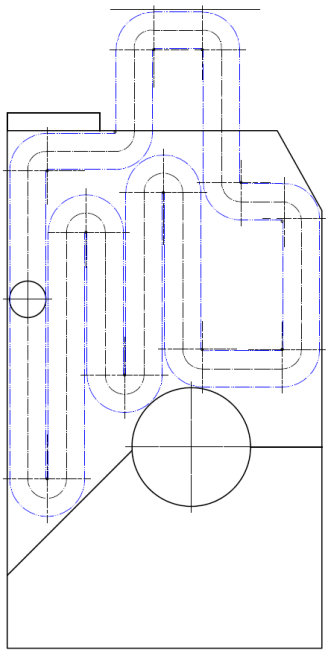
Rozteč řetězu [mm]	95
Průměr roztečné kružnice [mm]	160
Maximální vnější průměr ekvidistantní kružnice [mm]	310



Obr. 4. 4 - Varianta 1

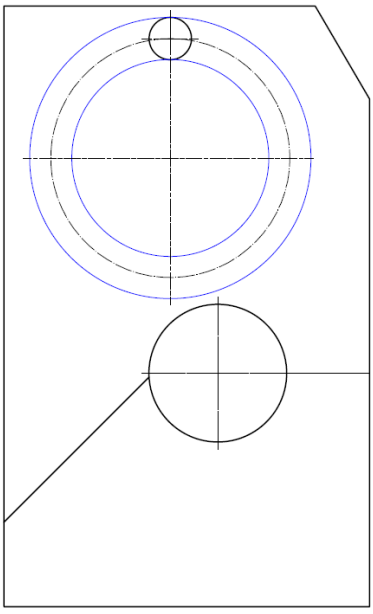


Obr. 4. 5 - Varianta 2

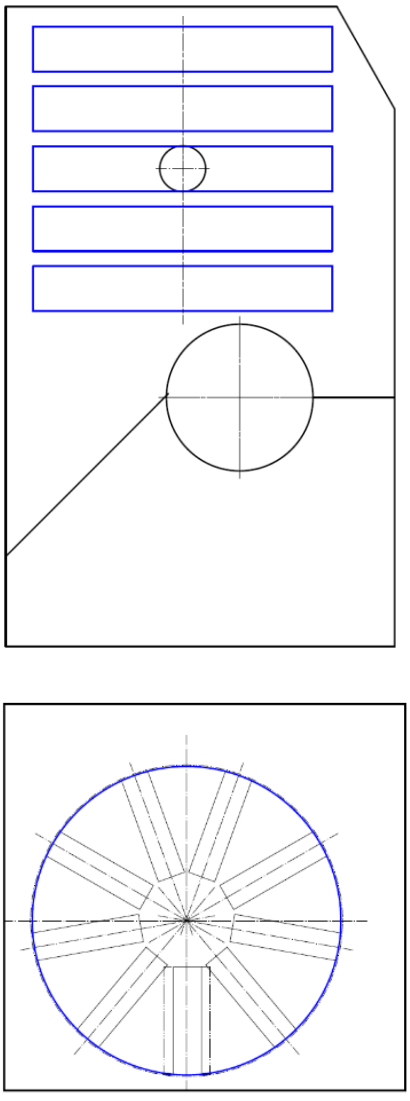


Obr. 4. 6 - Varianta 3

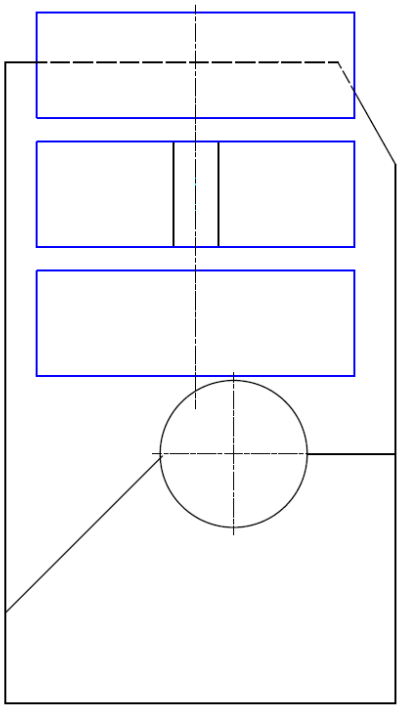
Na obr. 4.4 a obr. 4.5 jsou znázorněna uspořádání řetězového zásobníku, která nepřesahují zástavbový prostor. Naopak na obr. 4.6 je zobrazeno takové uspořádání, které překračuje hranice zástavbového prostoru, čímž se zvyšuje kapacita na úkor zvětšení celkové výšky stroje. Vedle zásobníků řetězových byly při návrzích použity také další typy skladovacích zásobníků. Dále pak na obr. 4.7 je varianta s bubnovým zásobníkem s horizontální osou bubnu. Na obr. 4.8 je znázorněn bokorys a půdorys diskového zásobníku a na obr. 4.9 bokorys a půdorys bubnového zásobníku s vertikální osou bubnu, které je možné do zástavbového prostoru bez rozšířením nad stroj umístit dva s celkovou kapacitou 60 nástrojů.

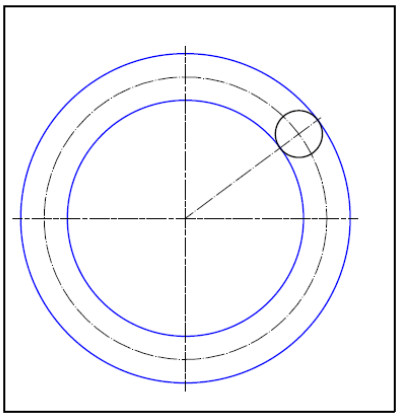


Obr. 4. 7 - Varianta 4



Obr. 4. 8 - Varianta 5





Obr. 4. 9 - Varianta 6

Tab. 4.2 – porovnání variant návrhů

Varianta	Délka řetězu/ obvod roztečné kružnice [mm]	Kapacita
1	8123,5	83
2	7321,2	77
3	8678,2	91
4	2905,9	30
5	-	45
6	2849,7	60/90

Porovnání zmíněných návrhů uspořádání z hlediska kapacity znázorňuje tab. 4.2. Nejvyšší kapacity dosahují řetězové zásobníky, konkrétně varianta tři s rozšířením nad stroj. Následující návrhy zásobníků nástrojů budou zohledňovat mechanismus samotné výměny nástroje a bude pro ně použit řetězový zásobník.

4.2. Návrhy uspořádání zásobníku a mechanismu výměny nástroje

V této kapitole budou představeny konečné návrhy řešení systému AVN pro stroj Multicut500. Tyto návrhy budou obsahovat řetězový zásobník v kombinaci s manipulátorem výměny nástrojů.

Nejprve bylo potřeba vypočítat rozměry poháněného řetězového kola pro varianty s řetězem typu HP. Vodící kola mají s kolem řetězovým společnou hodnotu průměru roztečné kružnice. Vnější průměr lůžka (D_L) nástroje byl uvažován 68mm dle katalogu firmy Tsubaki [38].

- Výpočet hlavních rozměrů řetězového kola

Rozměry byly počítány pro rozteč 100 mm a pro počet zubů 10.

Průměr roztečné kružnice: $d = \frac{P}{\sin(\frac{180}{Z})} = \frac{100}{\sin(\frac{180}{10})} = 324mm$ (4.1)

Průměr hlavové kružnice: $d_a = d + 0{,}5 \cdot D_L = 324 + 0{,}5 \cdot 68 = 358mm$ (4.2)

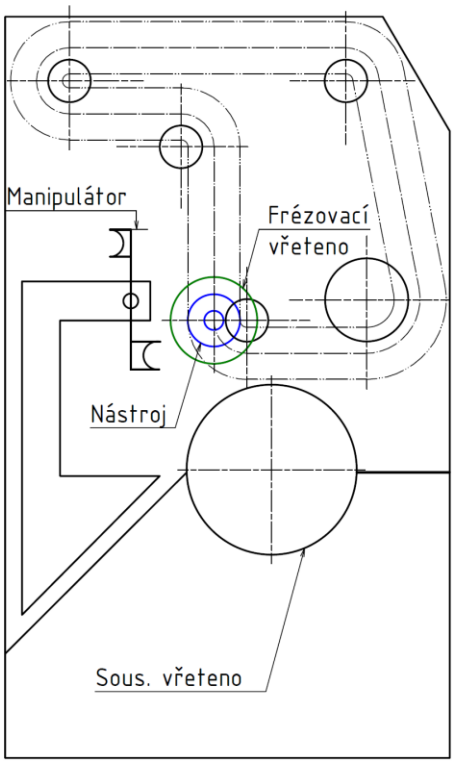
Průměr patní kružnice: $d_f = d - D_L = 324 - 68 = 256mm$ (4.3)

Tyto vypočtené rozměry řetězového kola byly následně uvažovány při navrhování uspořádání zásobníku nástrojů a mechanismu výměny nástrojů.

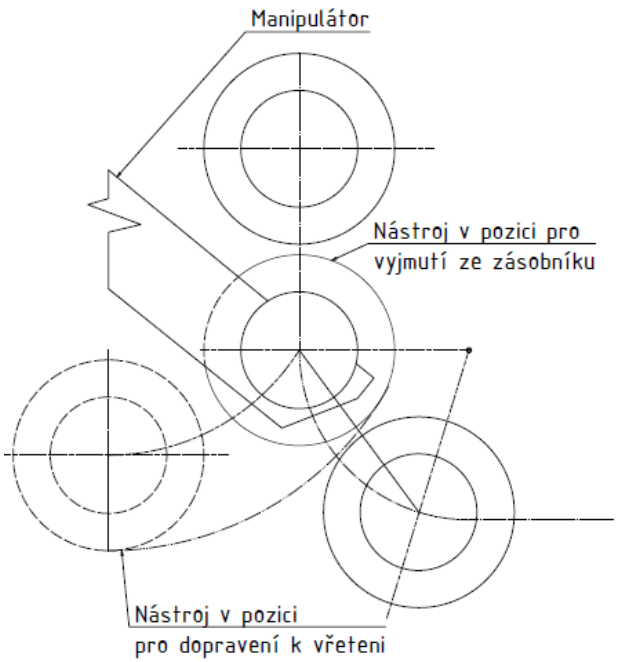
4.2.1. První návrh

První návrh (obr. 4. 10) obsahuje otočný manipulátor umístěný za zásobníkem nástrojů. Manipulátor otočením najede úchopnou vidlicí k držáku nástroje. Vidlice sevře nástroj. Následným pohybem ve směru od frézovacího vřetene nástroj vyjme z lůžka. Otočením manipulátoru do svislé polohy je umožněno dopravit nástroj podél řetězu do pozice, ve které je možné nástroj vyměnit za použitý. Výměna probíhá uchopením použitého nástroje, otočením manipulátoru o 180° a zasunutím nového nástroje do vřetena. Následně je zapotřebí, aby vřeteno uvolnilo prostor pro otočení ramene do polohy pro dopravení použitého nástroje do zásobníku. Pozice vřetena při výměně je souosá s pozicí ze zásobníku vyjímaného nástroje. Uspořádání zásobníku poskytuje 37 míst pro nástroj. Pro vyšší kapacitu zásobníku je za potřebí umístit takové zásobníky dva za sebe, což zástavbový prostor neumožňuje. Při modelování návrhu v 3D softwaru bylo zjištěno, že výměnný mechanismus by při zajíždění pro nástroj k zadnímu zásobníku

musel vyjíždět mimo stroj. Obrázek (obr. 4. 11) znázorňuje geometrii vyjmutí nástroje otočením ramene. Jediné místo umožňující takové vyjmutí nástroje je ta část řetězu, kde sousední nástroj poskytuje dostatečný prostor pro rotační pohyb manipulátoru s nástrojem. Jediným takovým místem je rádius zásobníku. Manipulátor současně nesmí překračovat určitou délku, aby byl schopen rotace u vřetena při výměně nástrojů. Z toho důvodu je tento návrh obtížně realizovatelný, neboť by při zasouvání nového nástroje do frézovacího vřetena docházelo ke kolizi použitého nástroje v druhé pozici manipulátoru s tělesem frézovacího vřetene.



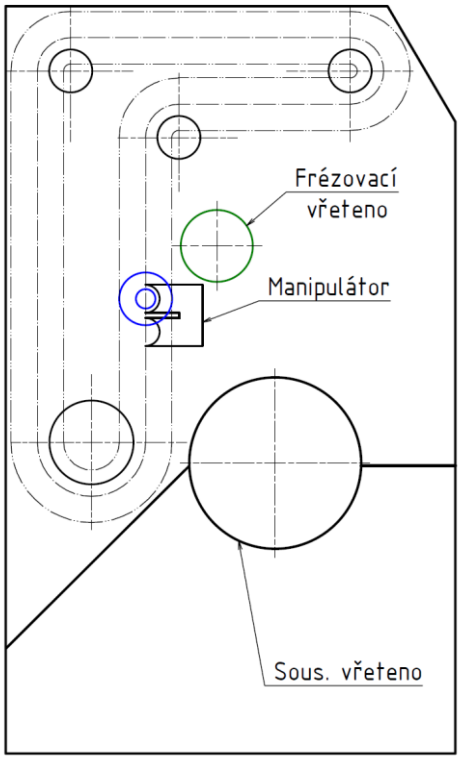
Obr. 4. 10- Návrh 1



Obr. 4. 11 - Geometrie vyjmutí nástroje

4.2.2. Druhý návrh

Druhý návrh (obr. 4. 12) využívá manipulátor schopný konat dva posuvné pohyby. Jedná se o pohyb ve směru osy „Z“ stroje a ve směru osy „Y“ stroje. Manipulátor je vybaven dvěma pozicemi pro nástroj nad sebou. Při výměně koná pohyb také frézovací vřeteno a to pohyb ve směru osy „X“, kdy po odepnutí použitého nástroje přejíždí k druhé poloze manipulátoru, kde upíná nástroj nový. Zvolené uspořádání řetězového zásobníku poskytuje kapacitu 42 nástrojů, což pro případ umístění dvou takových zásobníků za sebe splňuje požadavek zadavatele (viz. Tab. 2.1). Manipulátor je vybaven dvěma úchopnými vidlicemi. Pro jednodušší řízení řetězového zásobníku v průběhu výměny je vhodné zvolit vzdálenost středu úchopných vidlic jako násobek rozteče řetězu. Současně od sebe musí být vidlice v dostatečné vzdálenosti, aby při výměně nedošlo ke kolizi vidlice s frézovacím vřetenem. Tato varianta omezuje pracovní prostor frézovacího vřetena.

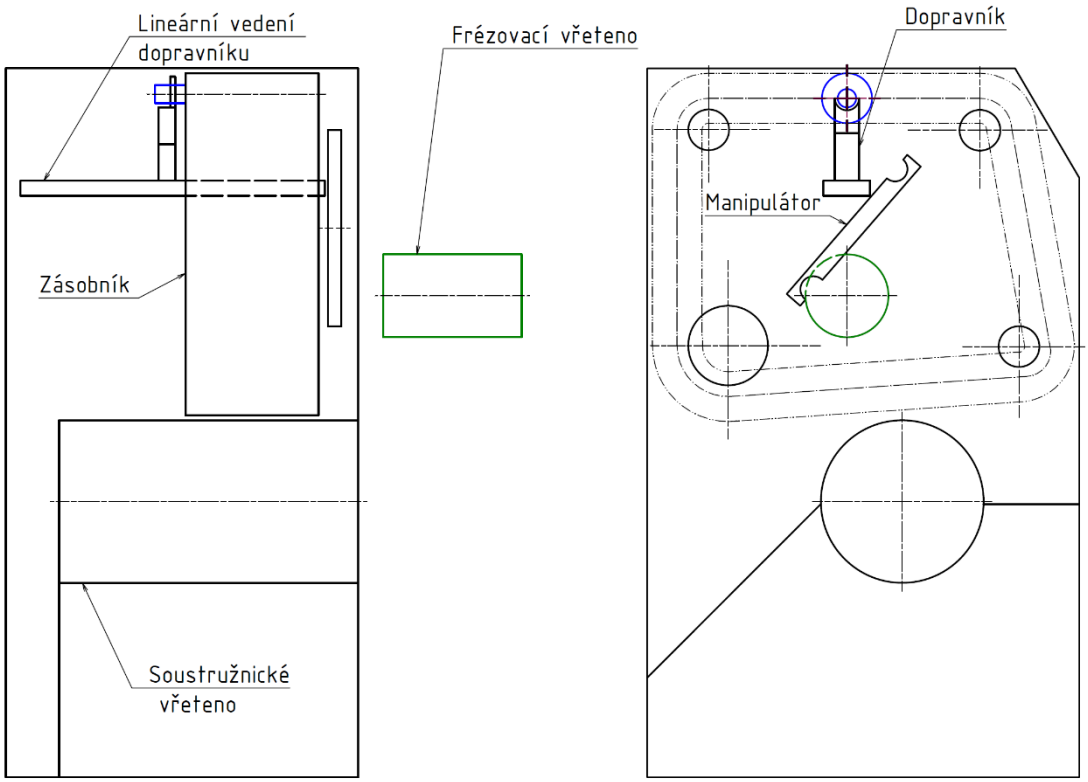


Obr. 4. 12 - Návrh 2

4.2.3. Třetí návrh

Další návrh znázorňuje obr. 4. 13. Jedná se o kombinaci dopravníku s otočným manipulátorem. Dopravník koná svislý posuv a posuv rovnoběžný se soustružnickým vřetenem. Dopravník nejprve vyjme nástroj sevřením a vysunutím směrem od zásobníku, následně koná pohyb svislý směrem dolů tak, aby mohl dopravit nástroj pod horní větví zásobníku bez kolize s lůžkem či rámem zásobníku až do prostoru, kde nástroj předá manipulátoru. Manipulátor po sevření nástroje nového a současně použitého otočením o 180° a následným zasunutím do vřetene dokončuje proces výměny. Dopravník se poté vrací s použitým nástrojem zpět do polohy, ve které zasune použitý nástroj do lůžka zásobníku. Pokud je nástroj upnutý v lůžku zásobníku za upínací kužel je vhodné volit počet manipulátorů lichý, neboť pokud je nástroj ze zásobníku vyjímán pomocí drážky pro úchopnou vidlici, je zapotřebí ho takto rovnou upnout do vřetene. Pokud to není

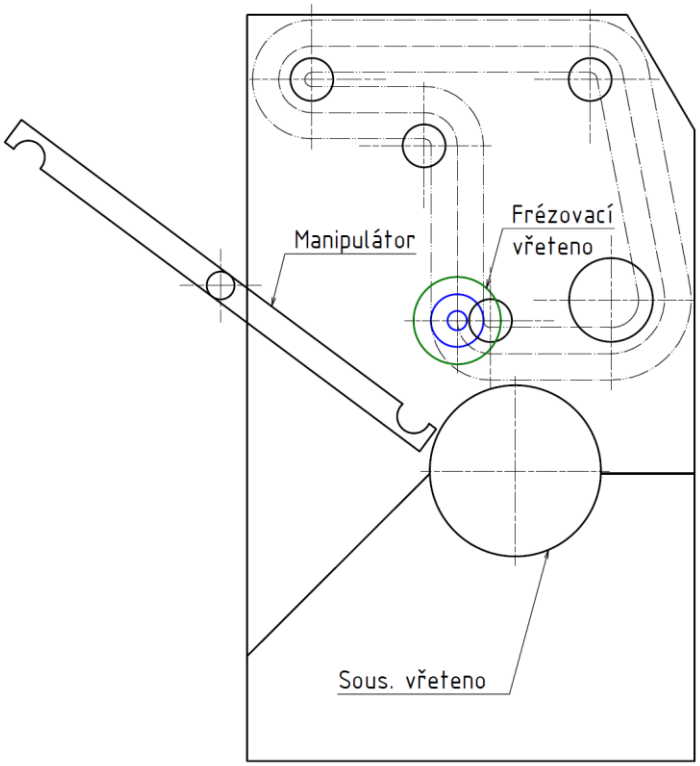
možné, je zapotřebí nástroj z úchopné vidlice upnout do druhého manipulátoru za upínací kužel, aby mohl poslední manipulátor použít k sevření drážku pro úchopnou vidlici. Návrh obsahuje dva manipulační prostředky, proto je nutné použít uložení nástroje v zásobníku pomocí úchopných vidlic, což je vzhledem ke hmotnosti nástrojů nevýhodné.



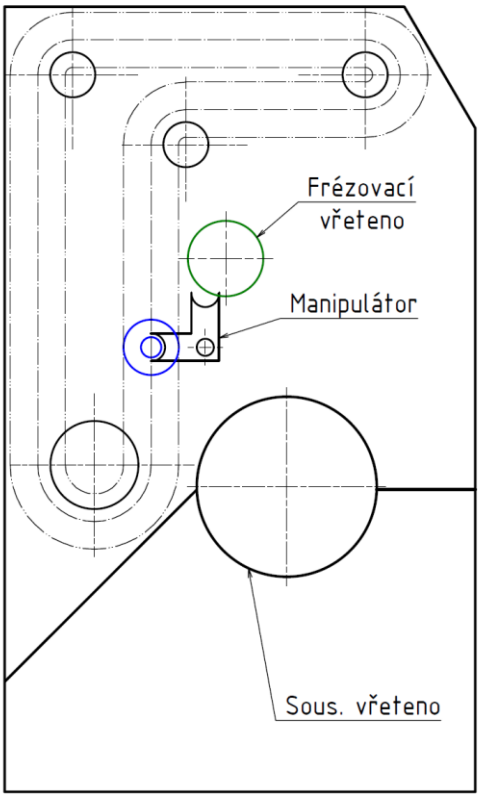
Obr. 4. 13 - Návrh 3

4.2.4. Čtvrtý návrh

Dalším řešením je návrh na obr. 4. 14. Pohon manipulátoru je umístěný za stěnou zástavbového prostoru. Manipulátor koná posuvný pohyb od zásobníku ke vřetenu a pohyb rotační. Uspořádání zásobníku je použito stejné jako u návrhu 1. Mimo průběh výměny je manipulátor ve svislé poloze za stěnou pracovního prostoru frézovacího vřetene. Krajní poloha vřetene určuje minimální délku ramene manipulátoru. Vzhledem k rozměrům manipulátoru a rozmístění komponent stroje v okolí prostoru pro zásobník je tato varianta ze všech nejméně realizovatelná.



Obr. 4. 14 - Návrh 4



Obr. 4. 15 - Návrh 5

4.2.5. Pátý návrh

Poslední návrh (obr. 4. 15) využívá manipulátor schopný konat dva posuvy a jednu rotaci. Manipulátor je vybaven úchopnou vidlicí s dvěma pozicemi pro nástroj vzájemně otočenými o 90°. Manipulátor sevře nástroj upnutý v zásobníku, následným posuvem v ose nástroje směrem od lůžka vyjme nástroj ze zásobníku. Dále následuje posuv směrem od zásobníku do takové vzdálenosti, aby mohl být nástroj bezpečně dopraven do prostoru pro výměnu, aniž by došlo ke kolizi s nástrojem v zásobníku. Výměna poté probíhá vyjmutím použitého nástroje z frézovacího vřetene pomocí druhé volné pozice vidlice manipulátoru. Následně je použitý nástroj vysunut z frézovacího vřetene

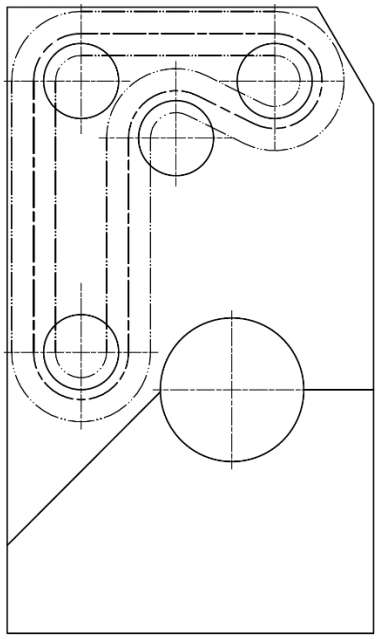
a otočením vidlice o 90° se vymění pozice použitého nástroje za nástroj nový, který je následně zasunut do vřetene. Manipulátor následně odjíždí umístit použitý nástroj do zásobníku. Tento návrh využívá stejné uspořádání zásobníku jako návrh 2.

4.2.6. Výběr skladovacího zásobníku a mechanismu výměny nástroje

Po prostudování všech návrhů řešení, vymodelování v 3D softwaru a zvážení jejich výhod a nevýhod, byl k řešení vybrán návrh 5. Uspořádání řetězového zásobníku se u tohoto návrhu jeví jako výhodné, protože vyhovuje požadavku na kapacitu nástrojů (viz. Tab. 2.1) a současně poskytuje dostatečný prostor pro komponenty samotného mechanismu výměny. Mechanismus výměny obsahuje dva posuvné pohyby a jeden rotační pohyb, čímž je o jeden pohyb složitější než návrh 2, který využívá stejné uspořádání řetězu. Návrh 5 ale současně poskytuje více prostoru nad soustružnickým vřetenem a také nevyužívá pro výměnu pohyb frézovacího vřetene. Je použit řetěz typu HP, který umožňuje sevření nástroje upnutého v zásobníku pomocí drážky pro úchopnou vidlici manipulátoru.

5. Vlastní řešení

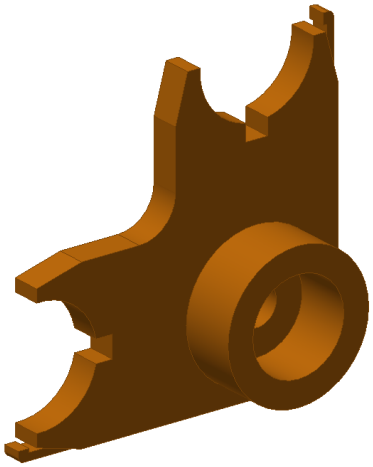
Tato kapitola obsahuje postup, kterým bylo dosaženo finální podoby systému AVN pro obráběcí stroj MTC500. Nejprve bude navržen manipulátor spolu s analýzou jeho pohybů a kinematiky výměny nástrojů. Dále bude následovat návrh nosného rámu, uložení hnaného kola a vodících kol. Uspořádání řetězového zásobníku vybraného návrhu bylo upraveno z důvodu zvětšení prostoru pro manipulátor a jeho komponenty do podoby zobrazené na obr. 5.1 (viz Příloha 4). Při úpravě byla kapacita snížena na 40 nástrojů při rozteči lůžek 100mm.



Obr. 5. 1 - Uspořádání zásobníku

5.1. Úchopná vidlice

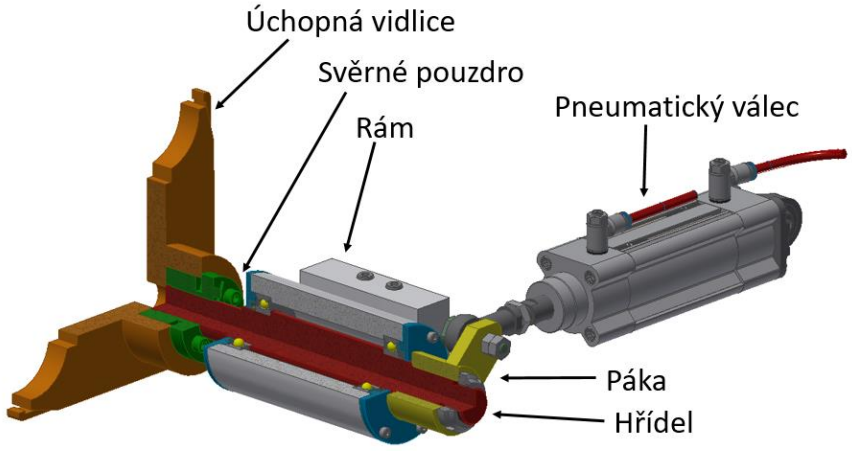
Úchopná vidlice musí umožňovat pevné sevření nástroje pro bezpečnou manipulaci a to i ve svislé poloze, do které se nástroj při výměně dostává. Vidlice je navržena jako dvouramenná, jejíž ramena svírají pravý úhel. Sevření nástroje probíhá mechanicky „nacvaknutím“ nástroje. Jedná se o upravený typ vidlice, který používá firma Kovosvit pro AVN u stroje Multicut 630. Zmíněný stroj používá držáky nástrojů HSK-T100, je tedy za potřebí vidlici upravit pro velikost držáků HSK-T63. Konstrukční návrh nové vidlice není součástí bakalářské práce. Pro 3D model sestavy byla použita zjednodušená úprava vidlice bez mechanismu sevření nástroje (obr. 5.2).



Obr. 5. 2 - Úchopná vidlice

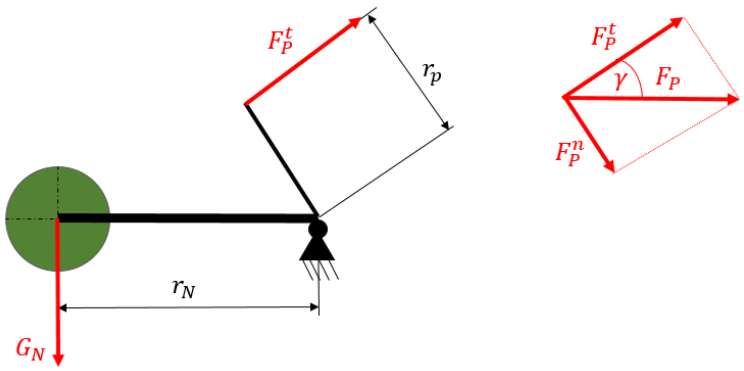
5.2. Návrh mechanismu rotace úchopné vidlice

Rotační pohyb zajišťuje krouticí moment převedený z posuvného pohybu pístu pneumatického válce pomocí páky upevněné na hřídeli prostřednictvím těsného pera. Hřídel je uložena v rámu manipulátoru za pomoci dvou kuličkových ložisek. Spojení hřídele a otočné vidlice zajišťuje svěrné pouzdro. Rozsah rotačního pohybu je 90°. Mechanismus rotace je znázorněn na obr. 5.3. Mechanismus rotace byl řešen obdobně jako u mechanismu rotace úchopné vidlice stroje Multicut 630 firmy Kovosvit MAS.



Obr. 5. 3 - Mechanismus rotace

Pneumatický válec musí být zvolen tak, aby byl schopen vyvodit dostatečný silový účinek, který způsobí krouticí moment pro otočení vidlice s nástroji. Byl vybrán typ DSBC-40-60-PA. Požadovaný zdvih pro mechanismus výměny je roven zdvihu pneumatického válce. Válec je vybaven polohovými čidly. Uvažovaný pracovní tlak je 6 barů, při kterém je pneumatický válec schopen vyvodit sílu 633N pro zasouvání (viz Příloha 2). Nejprve byla provedena statická kontrola pro pozici nástroje, který je právě vyjmut z lůžka zásobníku. Schéma výpočtu znázorňuje obr. 5.4.



Obr. 5. 4 - Schéma statické kontroly

- Statická kontrola pneumatického válce

Výpočet byl proveden porovnáním krouticího momentu tíhové síly nástroje a síly pneumatického válce.

$$F_P^t \cdot r_p > G_N \cdot r_N \quad (5.1)$$

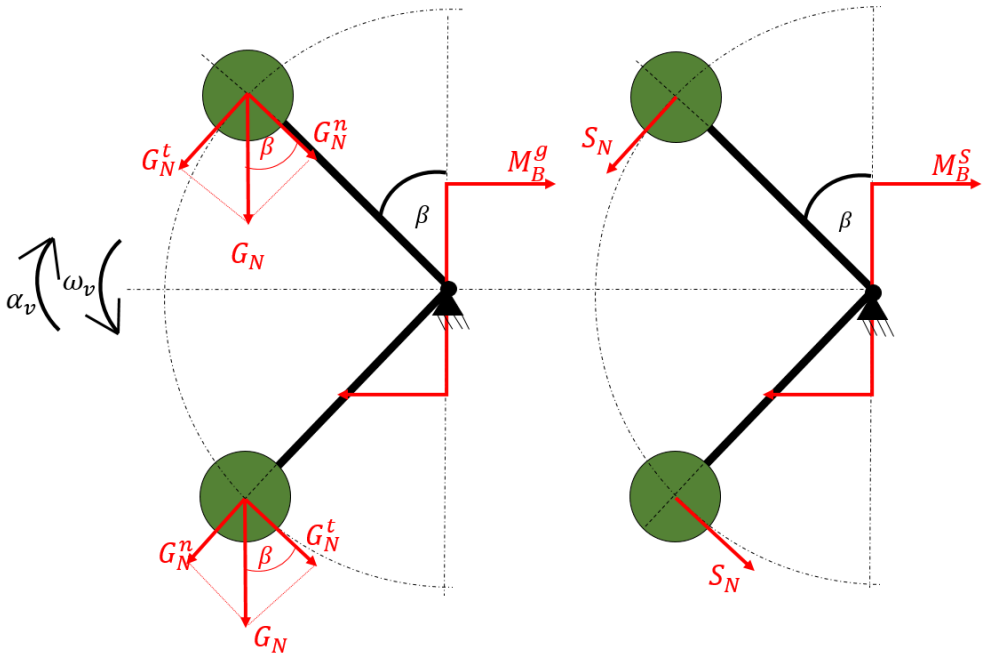
$$F_P \cdot \cos(\gamma) \cdot r_p > g \cdot m_n \cdot r_N \quad (5.2)$$

$$633 \cdot \cos(45°) \cdot 0{,}0424 > 9{,}81 \cdot 8 \cdot 0{,}12 \quad (5.3)$$

$$18{,}99Nm > 9{,}42Nm \quad (5.4)$$

Pneumatický válec je schopen udržet vidlici v dané poloze.

Nejvíce dynamicky zatížený je pneumatický válec v pozici, kdy jsou obě nástrojové pozice obsazeny a vidlice provádí rotační pohyb, kterým umisťuje nový nástroj před upínací rozhraní frézovacího vřetena. Při tomto pohybu je nutné vyvodit brzdný krouticí moment, který zajistí zastavení vidlice ve správné pozici pro výměnu nástroje. Jelikož je maximální krouticí moment od síly pneumatického válce v průběhu rotace proměnlivý a současně je proměnlivá i tečná složka tíhové síly obou nástrojů, bude výpočet zjednodušen, a tedy proveden pro nejnepříznivější stav. Nejvyšší hodnotu dosáhne součet tíhových sil nástrojů uprostřed dráhy mezi krajními polohami (obr. 5.5). Nejmenší užitečný silový účinek vyvozuje pneumatický válec, pokud je v jedné z krajních poloh, protože pracující složkou jeho síly je vždy pouze složka tečná F_P^t (viz obr. 5.4). Při výpočtu byla využita superpozice. Nejprve byl vypočten moment, který musí vyvinout pneumatický válec, aby vyrovnal momentové účinky tíhových sil nástrojů. Část síly se tedy spotřebuje pro vyrovnání tíhových sil a druhá část je použita pro zabrzdění rotačního pohybu vidlice. Výsledkem je stanovit maximální zrychlení, kterým je schopen válec brzdit vidlici.



Obr. 5. 5 - Schéma dynamické analýzy

Nejprve je zapotřebí stanovit moment setrvačnosti rotační sestavy mechanismu. Momenty setrvačnosti vidlice a hřídele byly zanedbány stejně jako pasivní odpory.

- Dynamická analýza rotačního pohybu vidlice

Nejprve byl určen moment setrvačnosti nástroje sevřeného úchopnou vidlicí.

$$J_N = m_n \cdot {r_N}^2 = 8 \cdot 0{,}12^2 = 0{,}1152\ kgm^2 \tag{5.5}$$

Následně byla určená tíhová složka brzdného momentu, který musí být vyvinut v případě plného obsazení vidlice nástroji.

$$M_B^g = r_v \cdot G_N \cdot (sin\beta + cos\beta) = r_N \cdot g \cdot m_n \cdot (sin\beta + cos\beta) \tag{5.6}$$

$$M_B^g = 0{,}12 \cdot 9{,}81 \cdot 8 \cdot (\sin(45°) + \cos(45°)) = 13{,}3Nm \tag{5.7}$$

Z této složky byla následně určen silový účinek, kterým tuto složku vyrovnává síla pneumatického válce.

$$F_P^g \cdot \cos(45°) = \frac{M_B^g}{r_p} \rightarrow F_P^g = \frac{M_B^g}{r_p \cdot \cos(45°)} \tag{5.8}$$

$$F_P^g = \frac{13{,}3}{0{,}0424 \cdot \cos(45°)} = 443{,}6\ N \tag{5.9}$$

Odečtením této síly od celkové síly, kterou je schopen pneumatický válec vyvodit, byla stanovena síla, kterou lze použít pro brzdění vidlice s nástroji. Z této síly byl určen krouticí moment, kterým je pneumatický válec schopen brzdit vidlici.

$$F_P^s = F_P - F_P^g = 633 - 443{,}6 = 199{,}4N \tag{5.10}$$

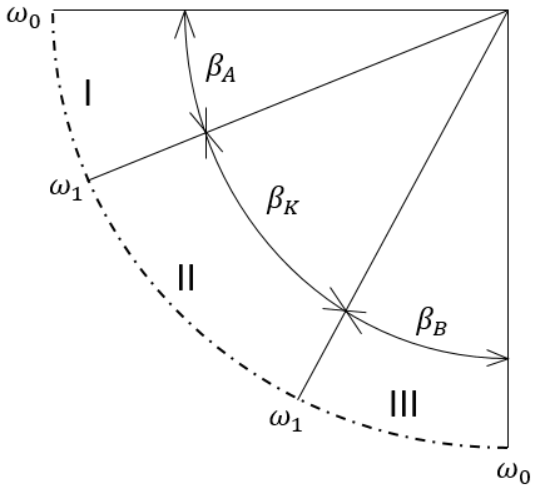
$$M_B^s = F_P^s \cdot \cos(45°) \cdot r_p = 199{,}4 \cdot \cos(45°) \cdot 0{,}0424 = 5{,}98\ Nm \tag{5.11}$$

Pomocí krouticího momentu určeného k brzdění vidlice a momentu setrvačnosti nástroje bylo vypočteno maximální zrychlení, kterým je pneumatický válec schopen brzdit vidlici.

$$\alpha_{max} = \frac{M_B^s}{2 \cdot J_N} = \frac{5{,}98}{2 \cdot 0{,}1152} = 25{,}9\ \frac{rad}{s^2} \tag{5.12}$$

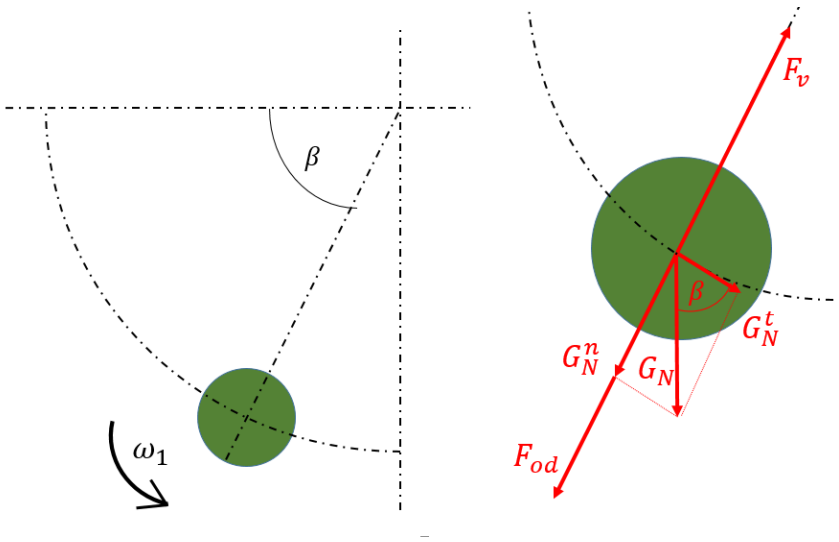
Hodnota maximálního úhlového zrychlení je hranicí pro následující výpočet, kde byla stanovena kinematika rotace.

První z parametrů, který byl určen, je maximální úhlová rychlost úchopné vidlice. Její návrh vychází ze schématu pohybu (obr. 5. 6), kdy bylo otočení vidlice rozděleno na tři úseky. První z úseků je akcelerace vidlice, ve druhém úseku vidlice rotuje konstantní úhlovou rychlostí a ve třetím úseku je vidlice brzděna. Výpočet maximální úhlové rychlosti vyplývá ze součtu maximální odstředivé síly a normálové složky tíhové síly, které na vidlici působí (obr. 5.7). Uvažovaná síla, kterou je schopna vidlice udržet nástroj je 1,1 násobek tíhové síly nástroje.



Obr. 5. 6 - Schéma rotačního pohybu

Součet odstředivé síly a normálové složky tíhové síly působící na nástroj dosahuje největší hodnotu tehdy, kdy je nástroj na konci úseku II, tedy v poloze, kdy začíná brzdit.



Obr. 5. 7 - Schéma sil působících na rotující nástroj

- Výpočet maximální úhlové rychlosti

Nejprve byla stanovena potřebná úchopná síla vidlice.

$$F_v = 1{,}1 \cdot G_N = 1{,}1 \cdot 78{,}5 = 86{,}35\ N \tag{5.13}$$

Pomocí vyjádření obou složek úchopné síly vidlice byla vyjádřena a vyčíslena maximální úhlová rychlost, kterou lze vidlicí otáčet.

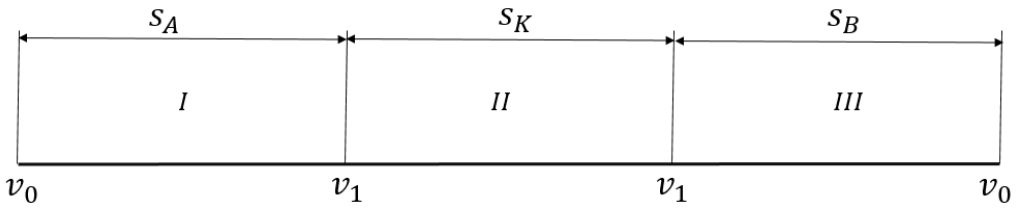
$$F_v = F_{od} + G_N^n \tag{5.14}$$

$$F_v = m_n \cdot r_N \cdot \omega_{max}^2 + G_N \cdot sin\beta \tag{5.15}$$

$$\omega_{max} = \sqrt{\frac{F_v - G_N \cdot sin\beta}{m_n \cdot r_N}} \tag{5.16}$$

$$\omega_{max} = \sqrt{\frac{86{,}35 - 78{,}5 \cdot \sin(60°)}{8 \cdot 0{,}12}} = 4{,}3\ \frac{rad}{s} \tag{5.17}$$

Pomocí maximální dovolené úhlové rychlosti byly dopočteny zbývající hodnoty rychlostí a zrychlení během rotačního cyklu. Cyklus byl zvolen jako symetrický s úhlovými úseky po 30°. Výpočet byl převeden z úhlových do lineárních veličin (obr. 5.8). Čas otočení byl stanoven na 1,5s a úhlová rychlost v úseku II na 4 rad/s.



Obr. 5. 8 - Linearizace rotačního pohybu

- Výpočet kinematických veličin rotačního pohybu

Jako první byla stanovena doba, kdy vidlice koná rotační pohyb s konstantní úhlovou rychlostí. Tento čas byl vyjádřen ze vzorce pro dráhu při konstantním posuvu.

$$s_K = v_1 \cdot t_k = \omega_1 \cdot r_N \cdot t_k \tag{5.18}$$

$$t_K = \frac{s_K}{\omega_1 \cdot r_N} = \frac{\beta_A \cdot r_N}{\omega_1 \cdot r_N} = \frac{\beta_A}{\omega_1} = \frac{\frac{\pi}{6}}{4} = 0{,}13s \tag{5.19}$$

Následně byla vyjádřena a vyčíslena doba akcelerace vidlice.

$$t_{celk} = 2 \cdot t_A + t_K = 1{,}5s \tag{5.20}$$

$$t_A = \frac{1 - t_K}{2} = \frac{1{,}5 - 0{,}13}{2} = 0{,}685s \tag{5.21}$$

Jako poslední bylo dopočteno zrychlení vidlice a následně byla tato hodnota převedena zpět na úhlové zrychlení.

$$a_v = \frac{2 \cdot s_A}{{t_A}^2} = \frac{2 \cdot r_N \cdot \beta_A}{{t_A}^2} = \frac{2 \cdot 0{,}12 \cdot \frac{\pi}{6}}{0{,}685^2} = 0{,}268\ \frac{m}{s^2} \tag{5.22}$$

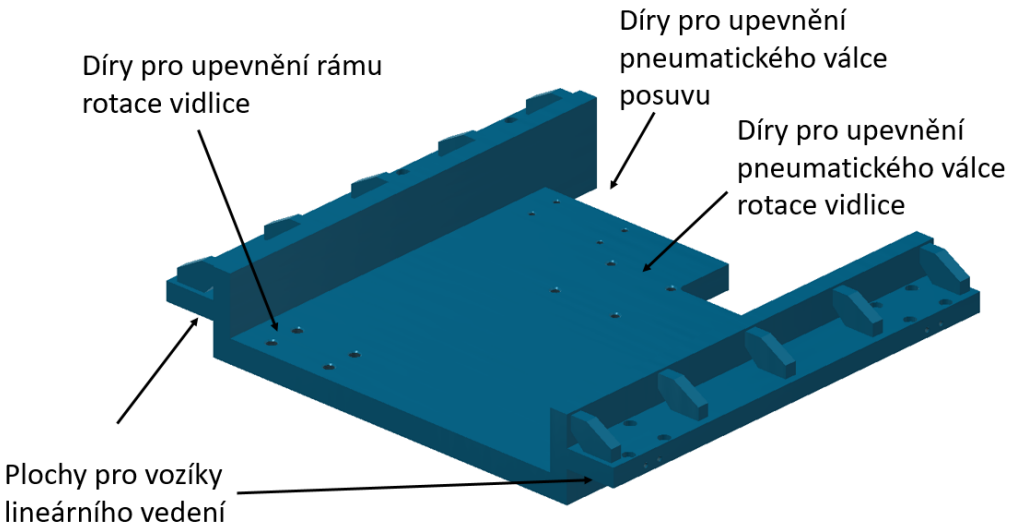
$$\alpha_v = \frac{a_v}{r_N} = \frac{0{,}268}{0{,}12} = 2{,}23\ \frac{rad}{s^2} \tag{5.23}$$

Vypočtená hodnota úhlového zrychlení je výrazně menší než hodnota maximálního úhlového zrychlení. Výpočet maximálního úhlové zrychlení, kterým je pneumatický válec schopen brzdit vidlici, byl proveden znovu dle vztahů (5.10), (5.11) a (5.12) pro menší typ válce se stejným zdvihem. Pro tento pneumatický válec je α_{max} rovno záporné hodnotě (-3,73 m/s ^{2}), a tedy ho nelze použít pro pohon rotace úchopné vidlice. Bude tedy použit pneumatický válec DSBC-40-60-PA firmy Festo.

5.3. Návrh posuvné konzoly

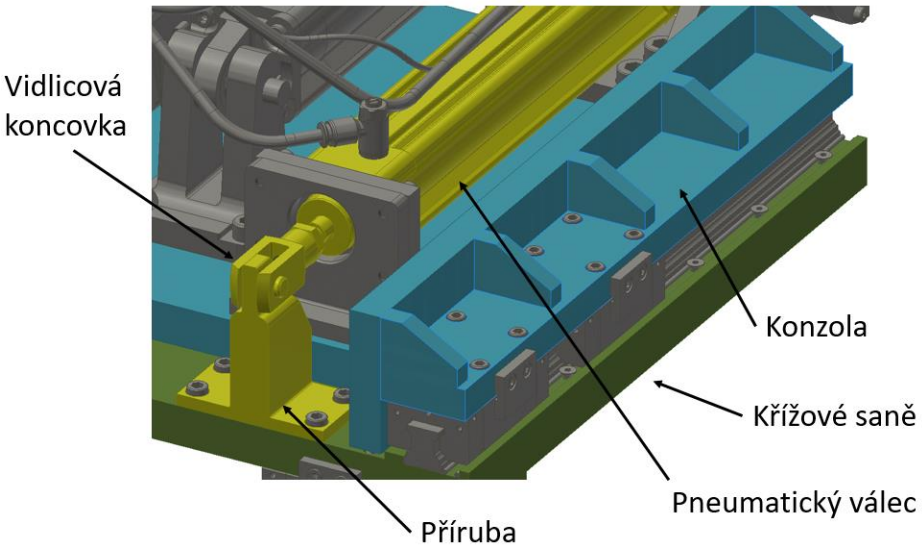
Dalším pohybem, který je nutné realizovat při výměně nástrojů je pohyb posuvný ve směru osy Y. Tímto pohybem je zajištěno dopravení úchopné vidlice do prostoru pro sevření nástroje v zásobníku nástrojů a ve frézovacím vřetenu. Pohonnou jednotkou posuvného pohybu je pneumatický válec. Zvolený typ je DSBC-32-200-PA vybavený polohovými čidly. Na konzolu je upevněna sestava rotačního pohybu vidlice pomocí

příruby rámu, pneumatický válec DSBC-40-60-PA je upevněn pomocí kyvné příruby. Konzolu znázorňuje obr. 5.9.

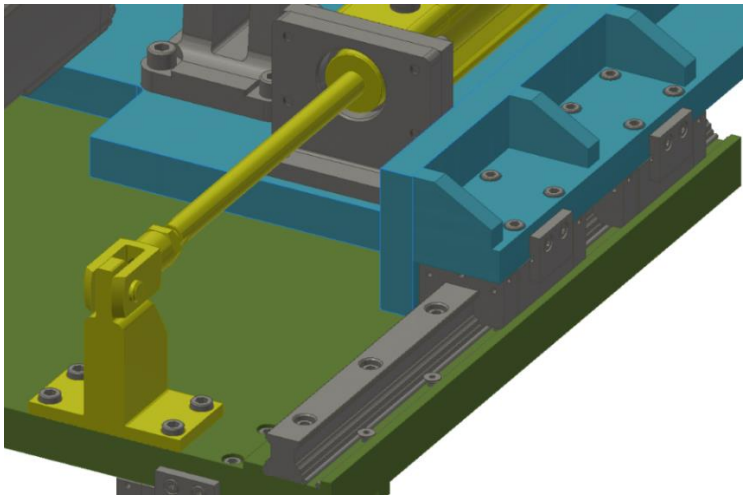


Obr. 5. 9 - Konzola

Posuvný pohyb konzoly je posuvem vůči křížovým saním, které zajišťují posuvný pohyb ve směru osy Z soustružnického vřetene. Jako lineární vedení konzoly je použito vedení firmy Bosch Rexroth typu SNS-20. Zajištění vzájemného posuvu konzoly a křížových saní je realizováno pomocí vidlicové koncovky, která je upevněna ke křížovým saním pomocí příruby. Řešení umístění mechanismu posuvného pohybu konzoly vůči křížovým saní zachycuje obr. 5.10. Obr. 5.11 poté zachycuje vysunutou polohu konzoly.



Obr. 5. 10 - Konzola ve výchozí poloze



Obr. 5. 11 - Vysunutá konzola

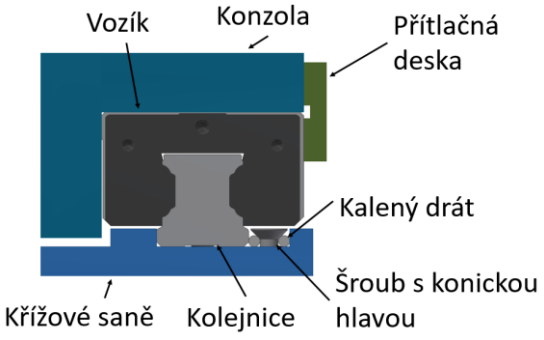
Pneumatický válec je schopen při tlaku 6 barů vyvodit sílu 483 N při vysouvání a 415 N při zasouvání. Hmotnost pohybující se části byla stanovena pomocí 3D modelu na 45kg. Odpor lineárního vedení byl zanedbán. Z těchto parametrů bylo vypočteno maximální zrychlení konzoly, které je schopen pneumatický válec vyvinout. Výpočet byl proveden pro zasouvání konzoly.

- Výpočet maximálního zrychlení konzoly

$$a^y_{max} = \frac{F^y_p}{m_k} = \frac{415}{45} = 9{,}2\,\frac{m}{s^2} \qquad (5.24)$$

Z výsledku je patrné, že zvolený pneumatický válec má dostatečné parametry pro ovládání pohybu v této ose. Hodnota zrychlení a^y byla zvolena 2 m/s ^{2}.

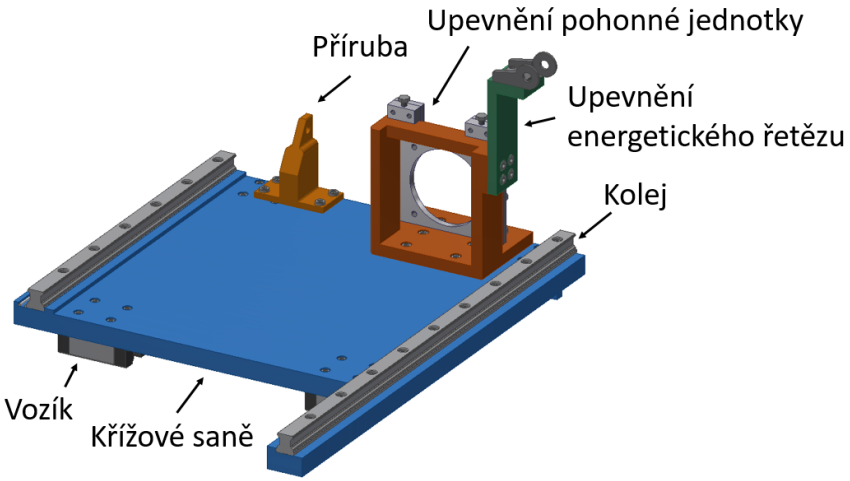
Konstrukční uspořádání sestavy lineárního vedení je zobrazeno na obr. 5.12. Pro zajištění polohy vozíků je použita přítlačná deska. Kolejnice lineárního vedení je umístěna v drážce, kde je z jedné strany opřena o bok drážky a z druhé strany zajištěna kalenými dráty přitlačovanými šrouby s konickou hlavou. Druhá kolejnice je volná bez možnosti dotlačení dle doporučení výrobce.



Obr. 5. 12 - Upevnění lineárního vedení

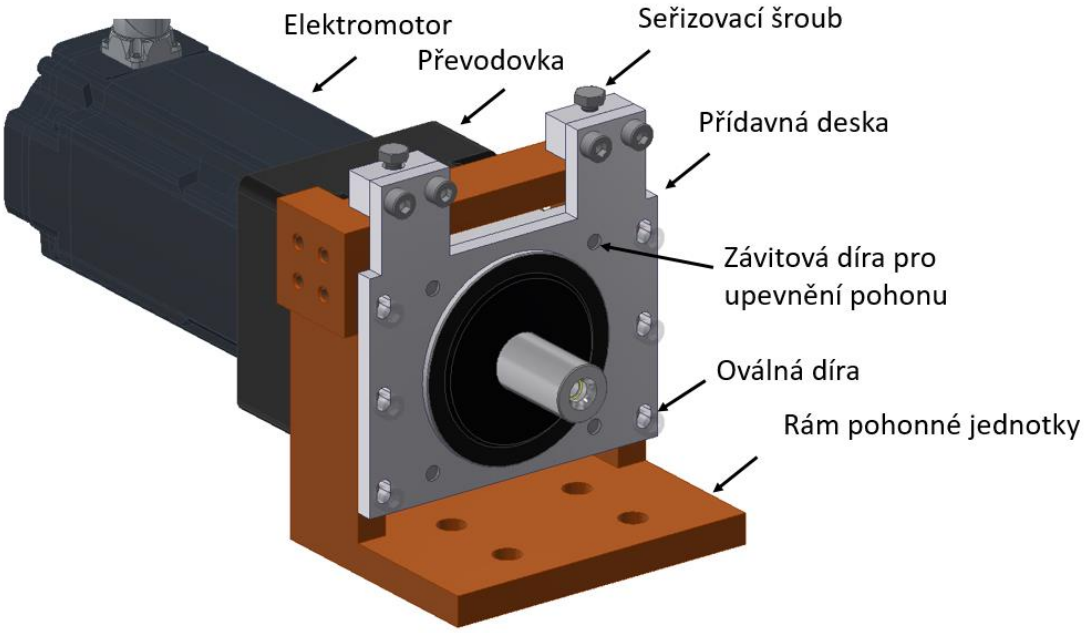
5.4. Návrh křížových saní

Doprava mezi pozicemi pro výměnu nástroje a pro ukládání a vyjímání nástroje ze zásobníku je zajištěna posuvným pohybem křížových saní. Mezi komponenty křížových saní patří příruba pro pneumatický válec pro posuv konzoly, lineární vedení, upevnění energetického řetězu a upevnění pohonné jednotky (obr. 5.13). Uložení lineárního vedení mezi křížovými saněmi a rámem je řešeno stejným způsobem jako mezi konzolou a křížovými saněmi.



Obr. 5. 13 - Křížové saně

Jako pohonná jednotka slouží k pohybu ve směru osy Z, tedy mezi zásobníkem nástrojů a polohou pro výměnu nástrojů s frézovacím vřetenem, elektromotor s převodovkou. Na výstup převodovky je pomocí svěrného pouzdra upevněn pastorek. Rotační pohyb je převáděn na posuvný pohyb pomocí dvojice pastorek a ozubený hřeben. Aby bylo možné seřídit polohu pastorku vůči ozubenému hřebeni, neboli nastavit zubovou mezeru, je pohonná jednotka upevněna k rámu pomocí přídavné desky (obr. 5.14), která umožňuje nastavit výšku pohonu v rozmezí 3mm. Pro nastavení výšky slouží dva šrouby.



Obr. 5. 14 - Upevnění pohonné jednotky

Pro pohon posuvu v ose Z byl vybrán elektromotor firmy Siemens typu 1FK2204-5AF00 se jmenovitým krouticím momentem 2,4 Nm a jmenovitými otáčkami 3000/min. Jako převodovka byla použita planetová typu AB090 s převodovým poměrem 4. Následujícím výpočtem bylo stanoveno zrychlení křížových saní. Hmotnost pohyblivé části z hlediska tohoto pohonu byla stanovena pomocí 3D modelu a její hodnota je 88,6kg.

- Návrh pohonu křížových saní (Příloha 5 - str. 1)

Nejprve byla vypočtena redukovaná hmotnost sestavy.

$$\frac{1}{2}m_{red}v^2 = \frac{1}{2}(J_e + J_{pm})\omega_e^2 + \frac{1}{2}J_p\omega_p^2 + \frac{1}{2}m_z v^2 \quad (5.25)$$

$$m_{red}v^2 = (J_e + J_{pm}){i_m}^2\omega_p^2 + J_p\omega_p^2 + m_z v^2 \quad (5.26)$$

$$m_{red} = (J_e + J_{pm})\frac{{i_m}^2 \cdot 4}{d_w^2} + J_p\frac{4}{d_w^2} + m_z \quad (5.27)$$

$$m_{red} = (1{,}23 \cdot 10^{-4} + 4{,}4 \cdot 10^{-5})\frac{4^2 \cdot 4}{0{,}09^2} + 10^{-5}\frac{4}{0{,}09^2} + 88{,}6 \quad (5.28)$$

$$m_{red} = 89{,}9\ kg \quad (5.29)$$

Následně byla vypočtena síla potřebná k uvedení sestavy do pohybu. Pomocí potřebné síly a redukované hmotnosti bylo vypočteno zrychlení sestavy, které je schopna pohonná jednotka vyvodit.

$$F_M = \frac{M_N \cdot i_m}{\frac{d_W}{2}} = \frac{2{,}4 \cdot 4}{\frac{0{,}09}{2}} = 213{,}3\ N \quad (5.30)$$

$$a_z = \frac{F_M}{m_{red}} = \frac{213{,}3}{89{,}9} = 2{,}37\ ms^{-2} \quad (5.31)$$

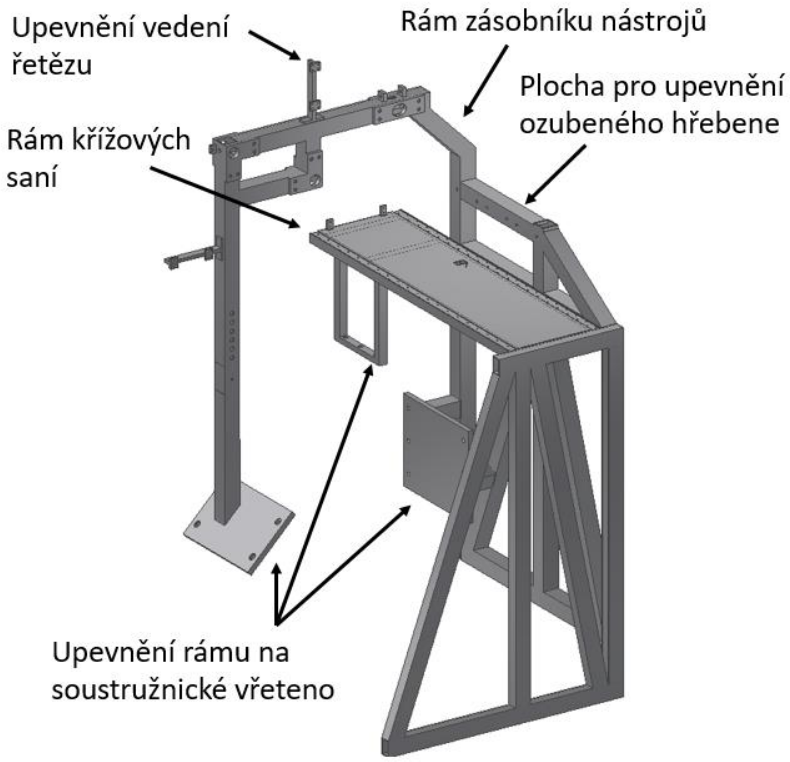
Pomocí stanoveného zrychlení lze dopočítat rychlost manipulátoru. Doba zrychlování manipulátoru byla stanovena na 0,2s.

$$v_z = t_z \cdot a_z = 0{,}2 \cdot 2{,}37 = 0{,}47 \frac{m}{s} \quad (5.32)$$

Stanovená rychlost pohybu manipulátoru v ose z bude použita při výpočtu životnosti lineárního vedení.

5.5. Návrh rámu sestavy

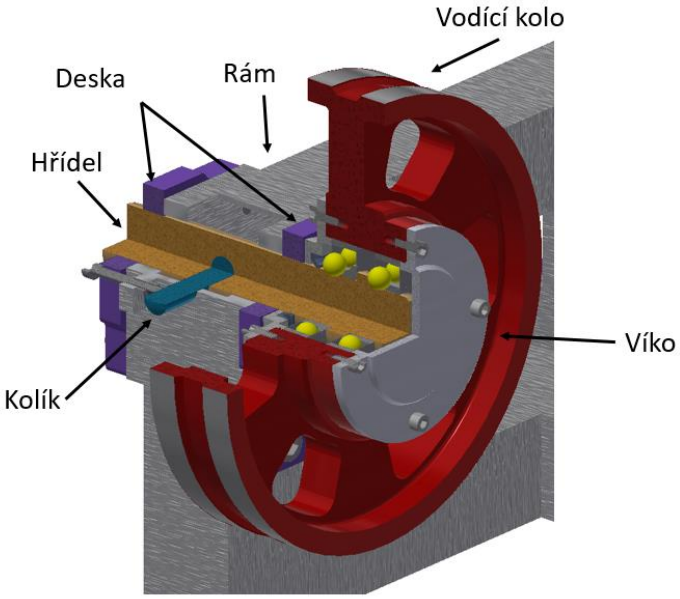
Rám sestavy se skládá ze dvou hlavních celků, kterými jsou rám zásobníku nástrojů a rám křížových saní (obr. 5.15). Oba rámy tvoří svařovanou konstrukci z uzavřených obdélníkových profilů. Vzájemné spojení rámů spolu s upevněním na těleso soustružnického vřetena poskytuje dostatečnou tuhost celého systému AVN.



Obr. 5. 15 - Rám sestavy

5.6. Návrh uložení vodících kol

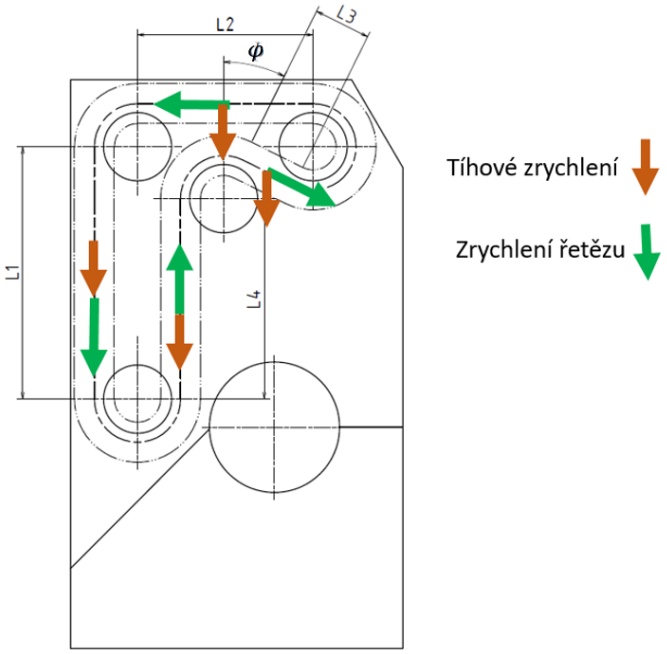
Vodící kola jsou uložena na radiálních kuličkových ložiskách na hřídel, která je upevněna k rámu prostřednictvím dvou desek s lícovanými dírami a pojištěna kolíkem proti rotaci. Sestava je navržena jako rozebíratelná pro možnost opravy poškozených součástí. Uložení vodících kol zobrazuje obr. 5.16.



Obr. 5. 16 - Uložení vodícího kola

5.7. Návrh uložení a výpočet pohonu zásobníku

Pro návrh pohonu musel být nejprve určen potřebný krouticí moment na výstupu převodovky. Potřebný krouticí moment se skládá z momentu pro překonání momentů setrvačnosti jednotlivých rotačních komponent a setrvačné síly od jednotlivých větví zásobníku na daném rameni, kterým je poloměr řetězového kola. Následně byl zvolen typ motoru a převodovky. Za pomoci převodového poměru převodovky a jmenovitých otáček motoru byla vypočtena rychlost řetězového zásobníku. Schéma výpočtu sil v řetězu zachycuje obr. 5. 17. Pro návrh jsou větve zásobníku plně obsazeny nástroji o maximální hmotnosti 8 kg mimo větev 1, která je pro případ výpočtu prázdná pro nejvíce nepříznivý stav.



Obr. 5. 17 - Síly v řetězu

- Výpočet pohonu zásobníku

Nejprve byly vypočteny síly v jednotlivých větvích řetězu. Celková síla byla určena součtem jednotlivých sil větví řetězu. Požadované zrychlení řetězu $a_{\check{r}}$ bylo stanoveno na 1,2 m/s^2.

$$F_{\check{R}1} = (m_c - 40 \cdot m_n) \cdot \frac{L1}{l_t} \cdot (a_{\check{r}} - g) \quad (5.33)$$

$$F_{\check{R}2} = m_c \cdot \frac{L2}{l_t} \cdot (a_{\check{r}} + g \cdot f) \quad (5.34)$$

$$F_{\check{R}3} = m_c \cdot \frac{L3}{l_t} \cdot (a_{\check{r}} - g \cdot sin\varphi) \quad (5.35)$$

$$F_{\check{R}4} = m_c \cdot \frac{L4}{l_t} \cdot (a_{\check{r}} + g) \quad (5.36)$$

$$F_{\check{R}C} = \sum_{i=1}^{4} F_{\check{R}i} \quad (5.37)$$

Moment od sil v řetězu je dán jako součin celkové síly v řetězu a poloměru roztečné kružnice řetězového kola.

$$M_{\check{R}} = F_{\check{R}C} \cdot R_{\check{R}K} \quad (5.38)$$

Celkový moment potřebný k pohybu řetězu s potřebným zrychlením je dán součtem dílčích momentů podělený účinností soustavy. Vztah (5.39) znázorňuje výpočet dílčích momentů rotačních součástí. Momenty setrvačnosti byly odečteny z 3D modelu.

$$M_{\check{R}K} = \frac{a_{\check{r}}}{R_{\check{R}K}} \cdot J_{\check{R}K} \quad (5.39)$$

$$M_C = \frac{(M_{\check{R}} + M_{\check{R}K} + 3 \cdot M_{VK} + M_{CP})}{\eta_{\check{r}}} \quad (5.40)$$

Hodnota celkového potřebného krouticího momentu činí 190,12 Nm. Pro pohon byl zvolen servomotor typu 1FK2204-5AF s jmenovitým krouticím momentem 2,4 Nm a jmenovitými otáčkami 3000 1/min. Pro svou vysokou tuhost, malou vůli v ozubení a malé rozměry byla vybrána cykloidní převodovka typu RV-40E s převodovým poměrem 80 (viz Příloha 5 – str. 4).

- Výpočet rychlosti řetězu

Rychlost řetězu se odvíjí od otáček řetězového kola, které jsou dány otáčkami servomotoru a převodovým poměrem cykloidní převodovky. Z otáček řetězového kola byla poté dopočtena jeho úhlová rychlost. Vynásobením úhlové rychlosti poloměrem roztečné kružnice řetězového kola byla stanovena rychlost řetězu.

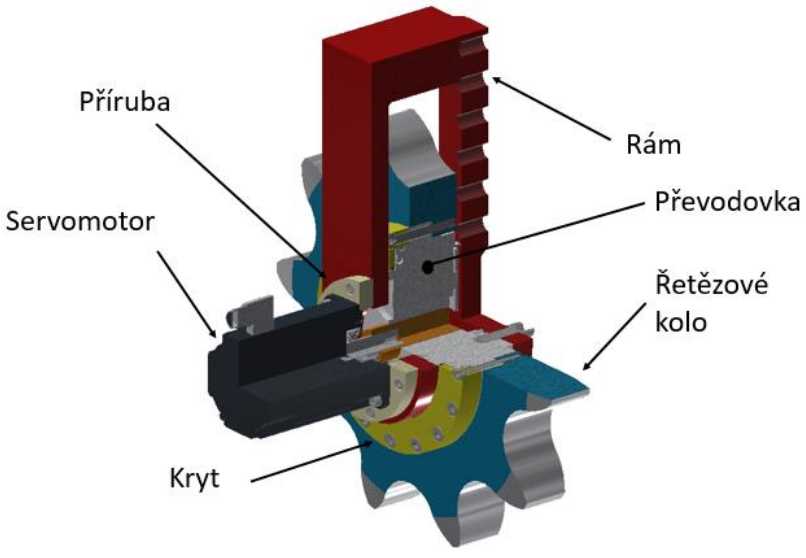
$$n_{ch} = \frac{n_{ech}}{i_{ch \cdot 60}} \quad (5.41)$$

$$\omega_{ch} = 2 \cdot \pi \cdot n_{ch} \quad (5.42)$$

$$v_{ch} = \omega_{ch} \cdot R_{\check{R}K} \quad (5.43)$$

Pro hodnotu převodového poměru převodovky 80 a jmenovité otáčky servomotoru 3000/min je maximální rychlost řetězu 0,64 m/s (viz Příloha 5 – str. 4).

Obrázek 5.18 zachycuje uložení řetězového kola.



Obr. 5. 18 - Uložení řetězového kola

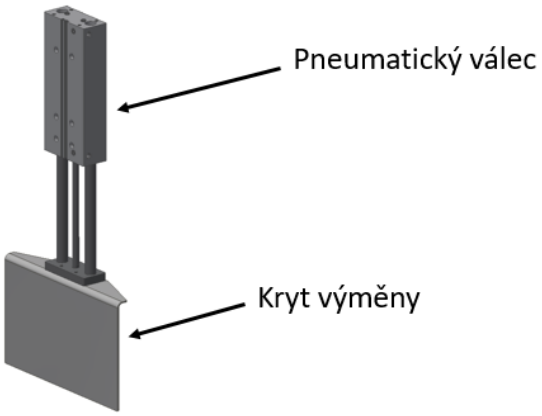
5.8. Vedení řetězu

Z důvodu plynulosti pohybu řetězového zásobníku je ve dvou jeho větvích umístěno lokální vedení řetězu (obr. 5.19). Vedení se skládá ze dvou ohýbaných plechů s žebry a dvou vodících lišt. Vedení je přišroubováno na rám zásobníku.

Obr. 5. 19 - Vedení řetězu

5.9. Kryt výměny

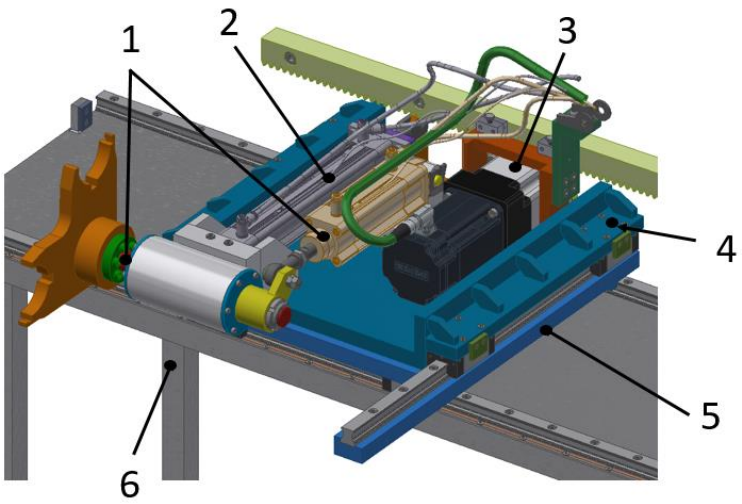
Pohyblivý kryt umožňující otevření prostoru výměny nástrojů pro frézovací vřeteno byl konstrukčně navržen podobně, jako tomu je u stávající verze stroje. Jedná se o plechový kryt přišroubovaný k pístu pneumatického válce s vedením typu DFM-32-200-P-A-GF. Nově navržený kryt se vysouvá ve svislém směru směrem nahoru od prostoru výměny, na rozdíl od stávají verze, kde se kryt vysouvá v horizontálním směru doprava od prostoru výměny. Pro nový způsob otevírání prostoru výměny je také za potřebí upravit kryt oddělující zástavbový prostor systému AVN a pracovní prostor frézovacího vřetene. Obr. 5. 20 znázorňuje systém otevírání prostoru výměny nástrojů.



Obr. 5. 20 - Kryt výměny nástrojů

5.10. Zobrazení sestavy mechanismu výměny nástroje

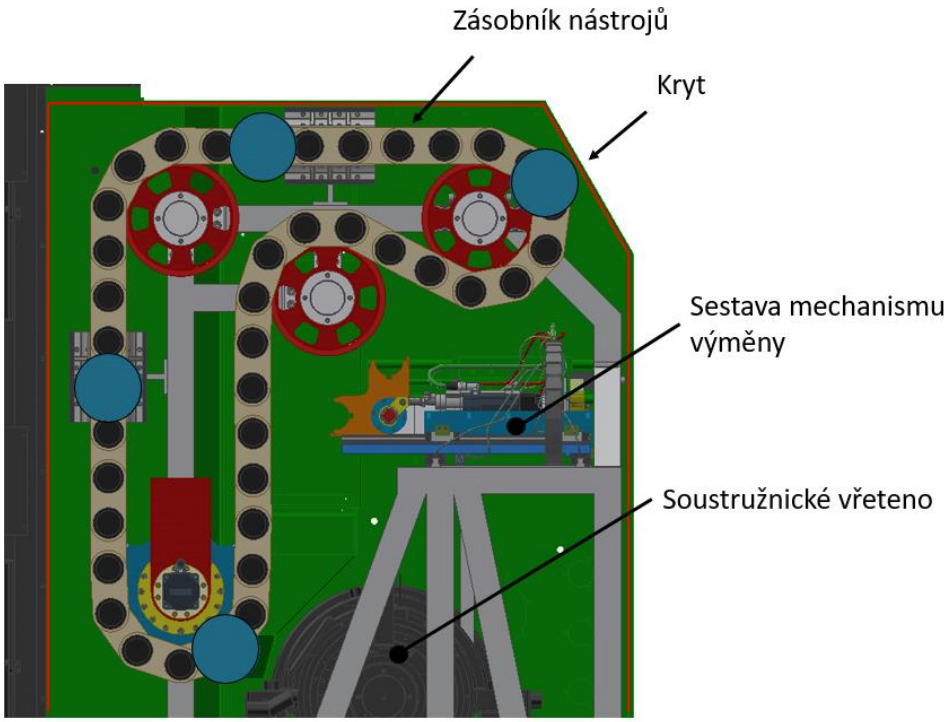
Obrázek 5.21 zobrazuje sestavu mechanismu výměny nástroje. Křížové saně (5) jsou namontovány pomocí lineárního vedení k rámu (6). Na křížové saně je namontována sestava pohonné jednotky osy Z (3) a příruba pro pneumatický válec zajišťující posuv v ose Y. Pro umožnění tohoto pohybu jsou na křížové saně namontovány koleje lineárního vedení, přes které jsou křížové saně spojeny s konzolou (4). Pneumatický válec sestavy rotačního pohybu úchopné vidlice (1) je namontován na konzolu pomocí kyvné příruby. Rám rotační sestavy je přišroubován na konzolu přímo. Dále je na konzole pomocí přírub namontován pneumatický válec (2) zajišťující pohyb v ose Y.



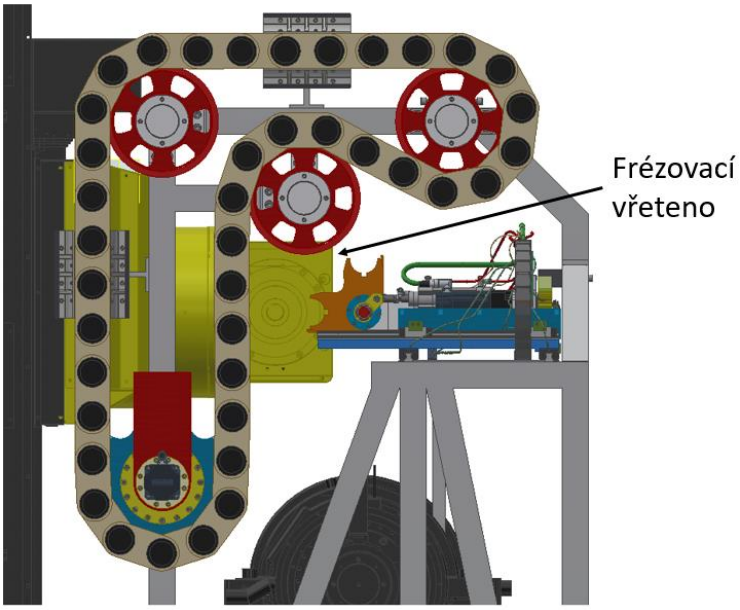
Obr. 5. 21 - Sestava mechanismus výměny nástroje

5.11. Zobrazení sestavy systému AVN

Obr. 5.22 zobrazuje kompletní sestavu systému AVN umístěnou v zástavbovém prostoru stroje. Okraj zástavbového prostoru, kam byl umístěn systém AVN znázorňuje červená čára. Je tedy vidět, že samotný systém AVN a ani nástroje uložené v zásobníku (na obr. 5. 22 světle modrá) nepřesahují zástavbový prostor. Obr. 5.23 dále zobrazuje polohu systému AVN vůči frézovacímu vřetenu v poloze pro výměnu.

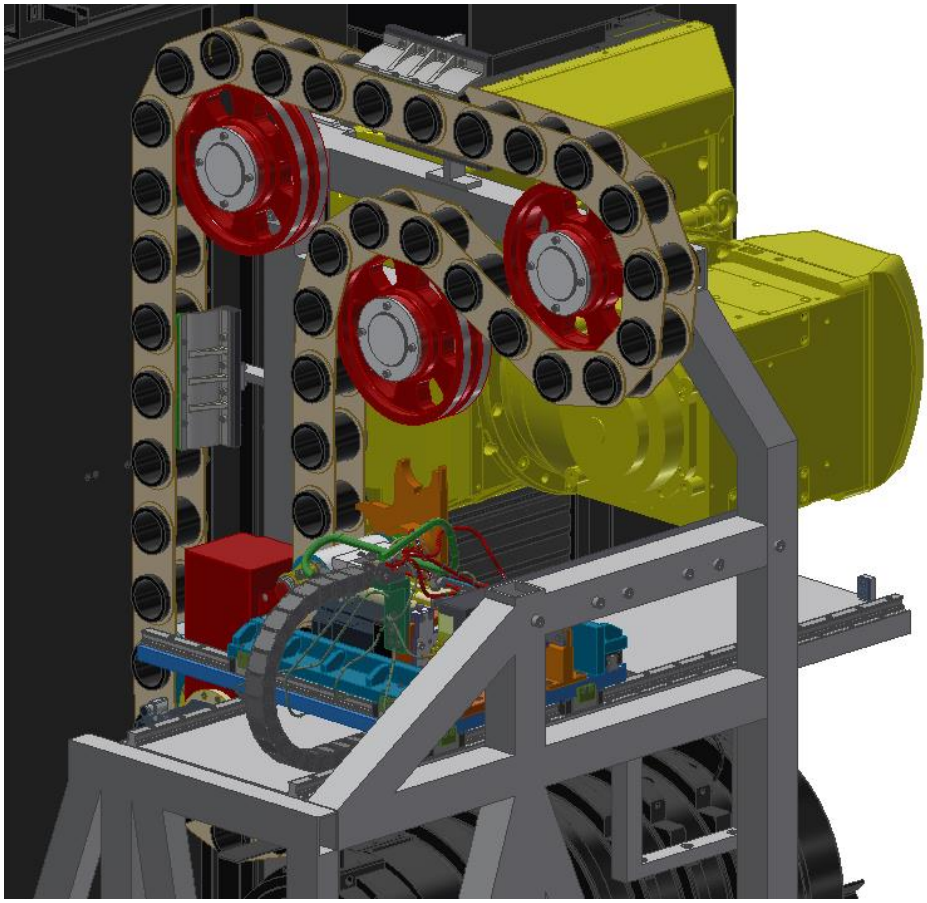


Obr. 5. 22 - Sestava systému AVN - kryt

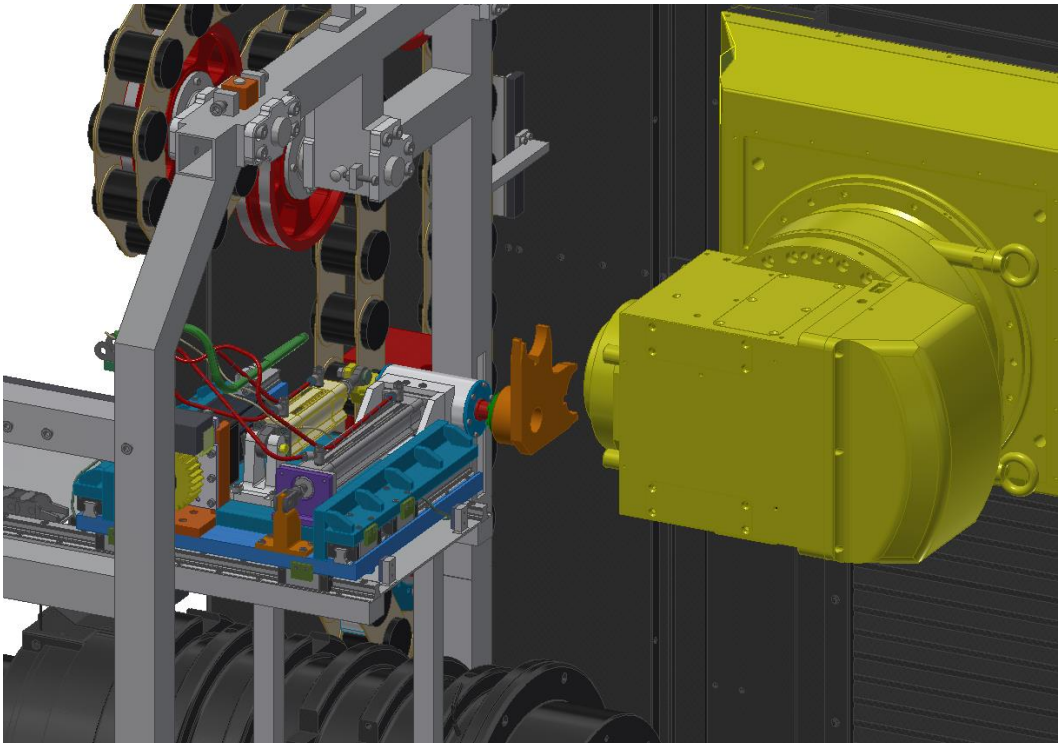


Obr. 5. 23 - Sestava systému AVN – vřeteno

Obr. 5. 24 a 5.25 dále zobrazují sestavu systému AVN z pohledů od obsluhy stroje.



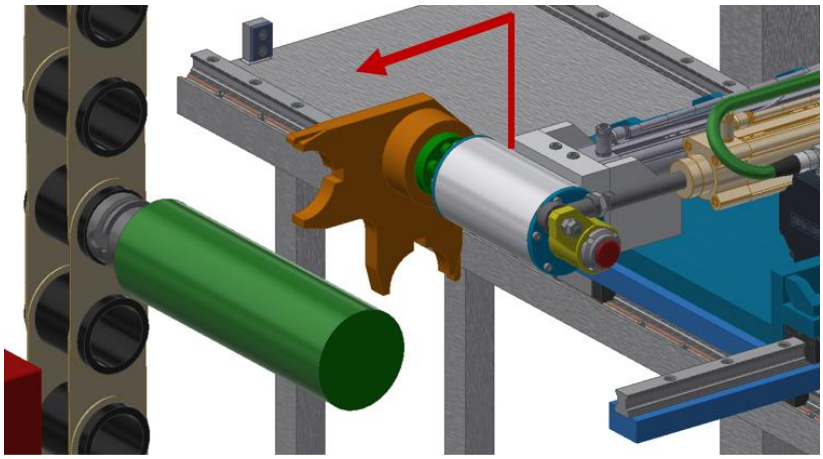
Obr. 5. 24 - Pohled na systém AVN 1



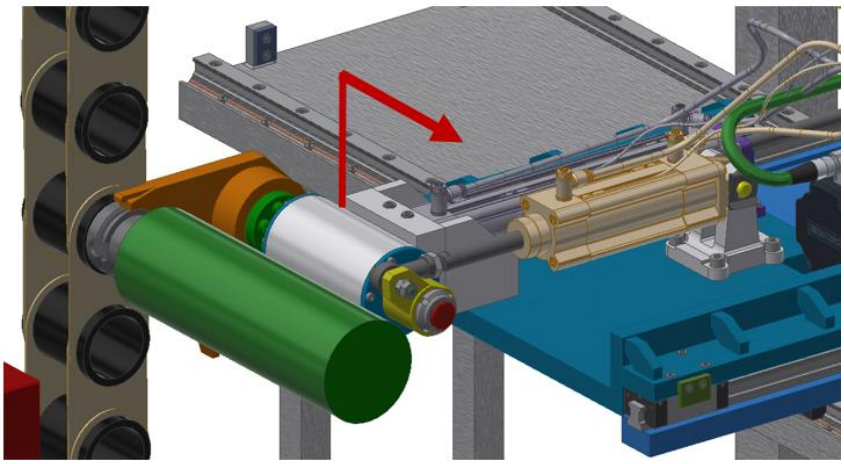
Obr. 5. 25 - Pohled na systém AVN 2

5.12. Mechanismus výměny nástrojů

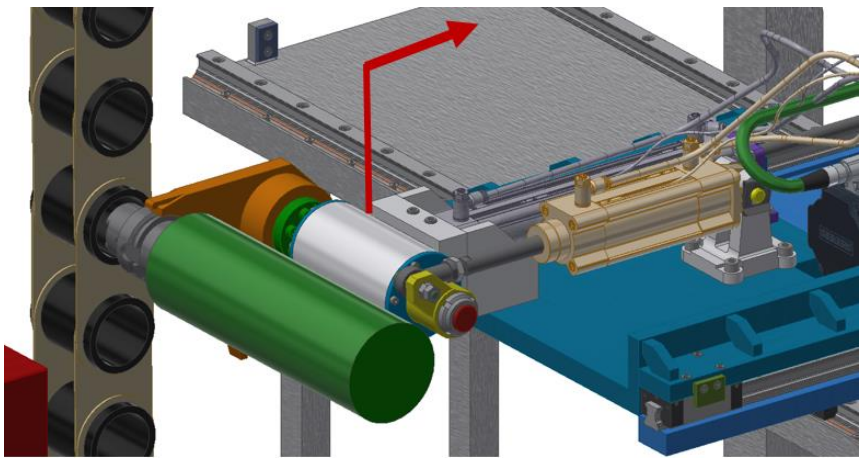
Mechanismus výměny nástrojů je rozdělen na tři fáze. První fází je uchopení nástroje, vyjmutí nástroje ze zásobníku a dopravení nástroje do prostoru výměny. Pozice této fáze zobrazují obr. 5.26 – 5.31. Červená šipka značí následující pohyb.



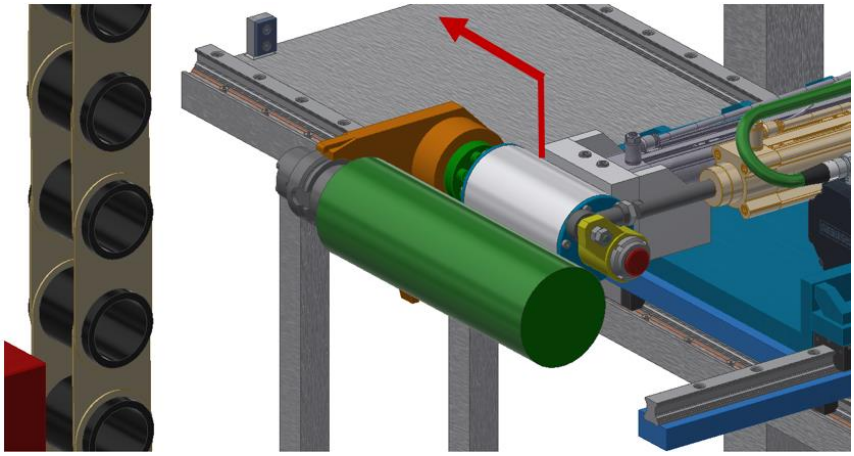
Obr. 5. 26 - Výchozí pozice manipulátoru



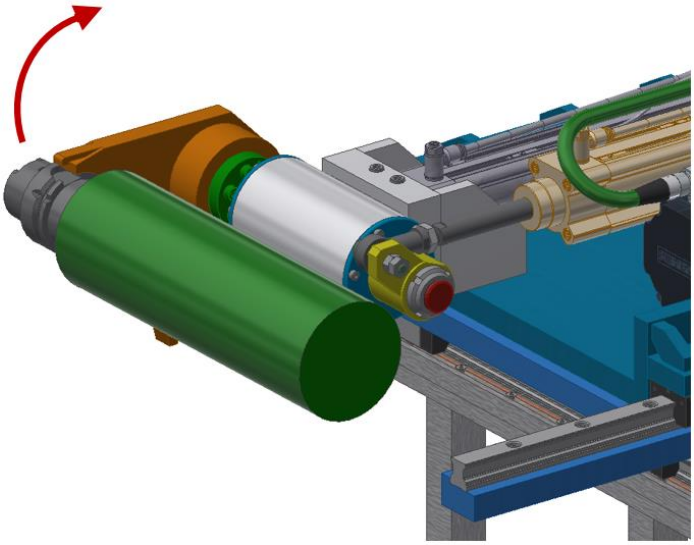
Obr. 5. 27 - Uchopení nástroje v zásobníku



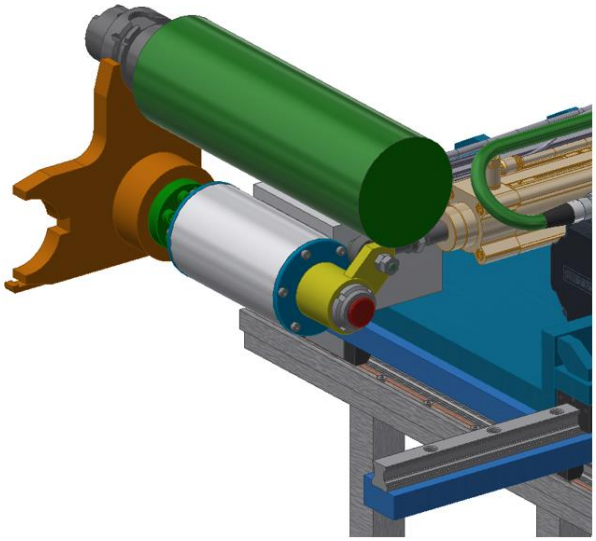
Obr. 5. 28 - Vyjmutí nástroje z lůžka zásobníku



Obr. 5. 29 - Dopravení nástroje do prostoru výměny

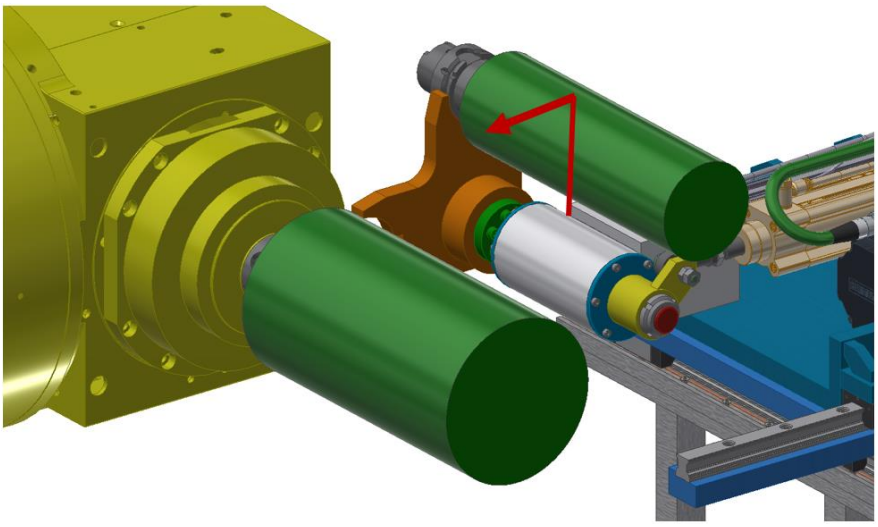


Obr. 5. 30 - Natočení vidlice pro uchopení použitého nástroje

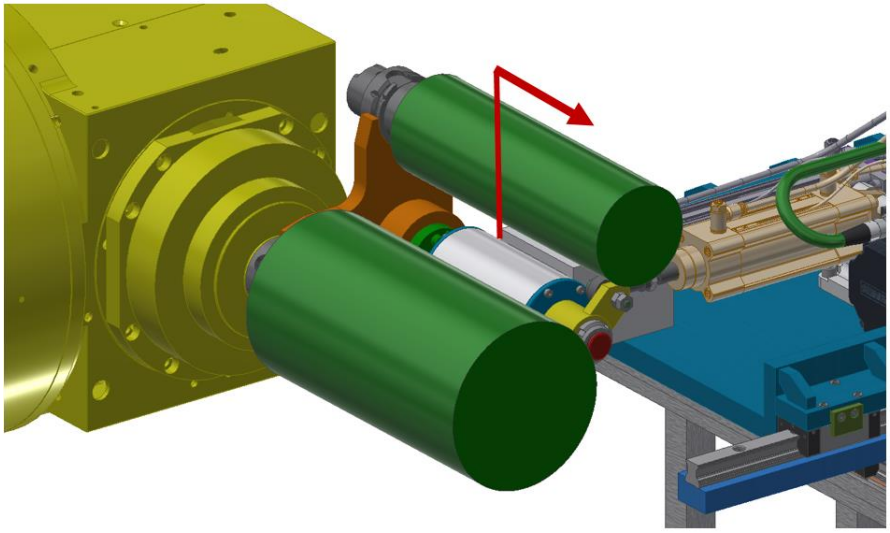


Obr. 5. 31 - Vyčkávací pozice manipulátoru

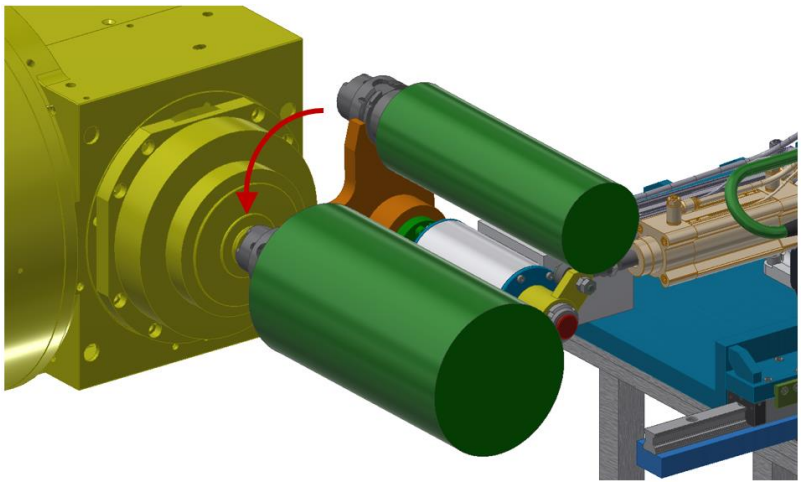
Manipulátor setrvává ve vyčkávací poloze, dokud do prostoru nepřijede frézovací vřeteno s použitým nástrojem. Poté probíhá druhá fáze mechanismu výměny nástroje a tou je samotná výměna nástrojů, které je dosaženo za pomoci rotace vidlice a kombinace posuvných pohybů konzoly a křížových saní. Pozice této fáze zobrazují obr. 5.32 – 5.37.



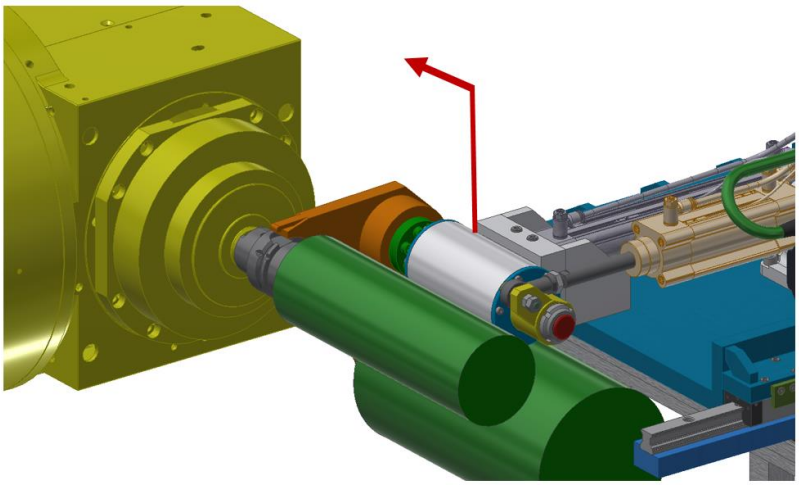
Obr. 5. 32 - Najetí frézovacího vřetena do prostoru výměny



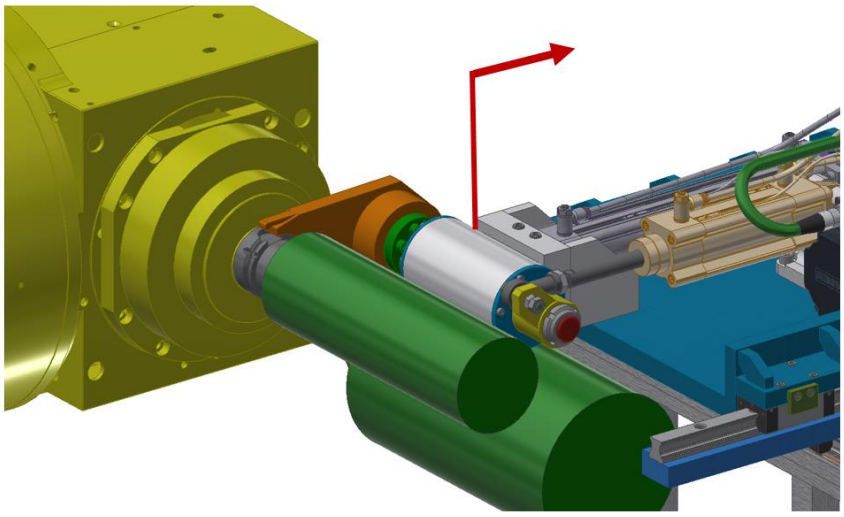
Obr. 5. 33 - Uchopení použitého nástroje



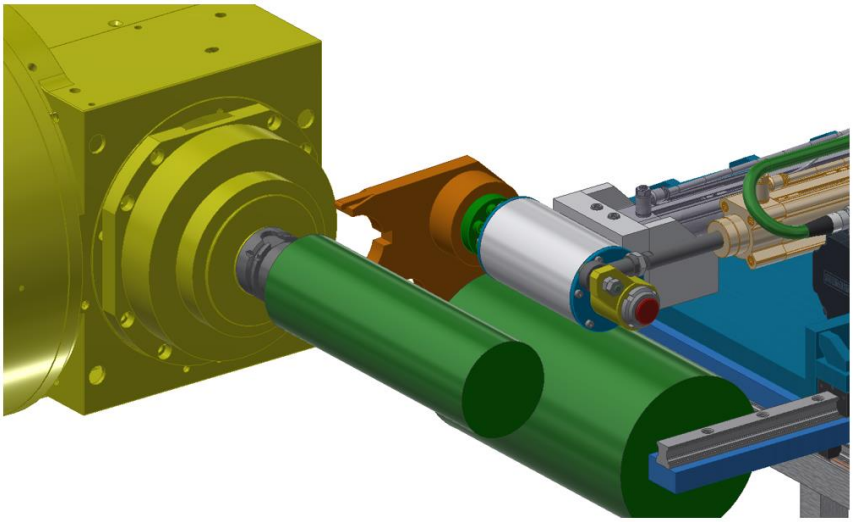
Obr. 5. 34 - Vysunutí použitého nástroje z vřetena



Obr. 5. 35 - Výměna pozic nástrojů v manipulátoru (rotace vidlice)

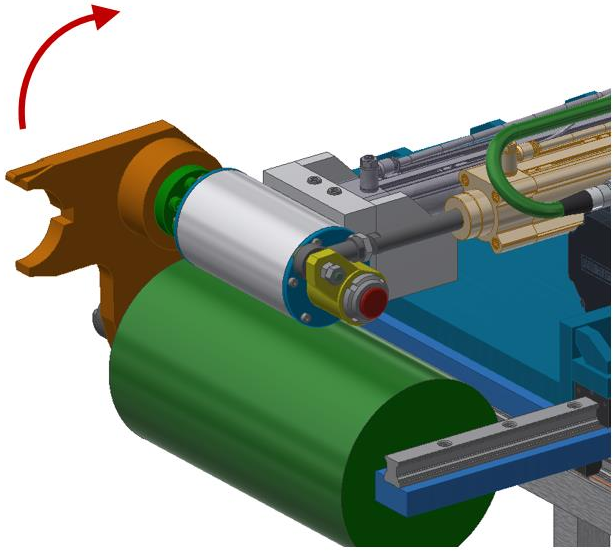


Obr. 5. 36 - Zasunutí nástroje do vřeten

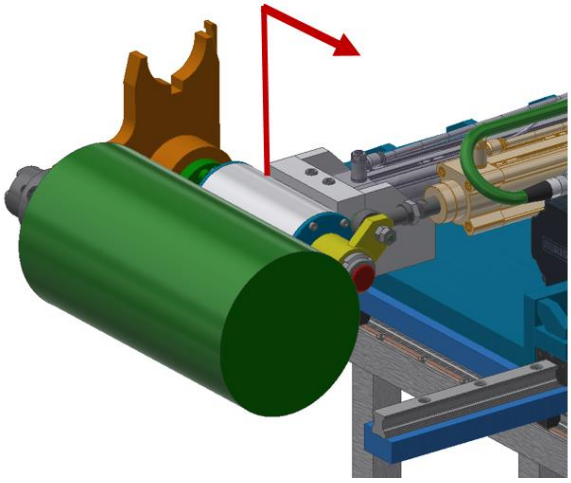


Obr. 5. 37 - Zasunutí konzoly do nulového zdvihu

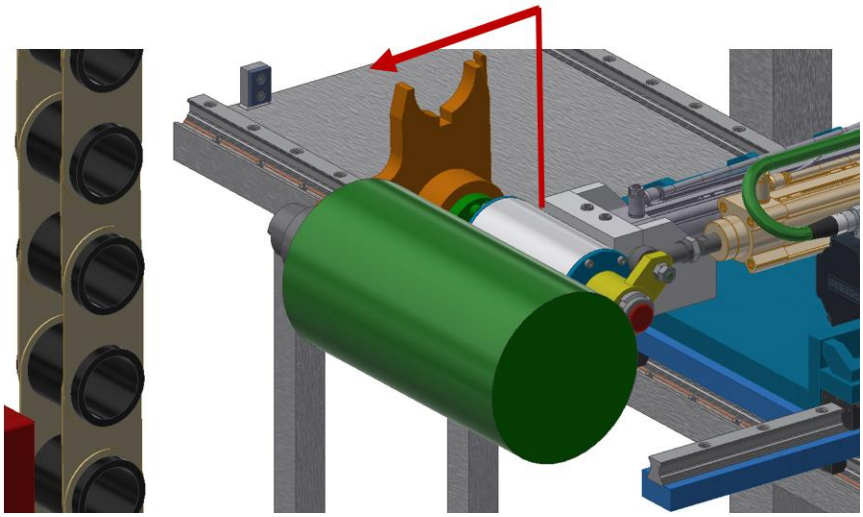
Poté, co frézovací vřeteno odjede do pracovního prostoru s novým nástrojem, začíná poslední fáze výměny, kterou je dopravení použitého nástroje do zásobníku. Nejprve se vidlice otočí tak, aby byla nástrojem obsazená pozice vidlice ve vodorovné poloze. To zabrání případné kolizi s osou C umístěnou nad soustružnickým vřetenem. Následně je nástroj kombinací posuvných pohybů křížových saní a konzoly dopraven do zásobníku, jak ukazují obr. 5.38 – 5.44.



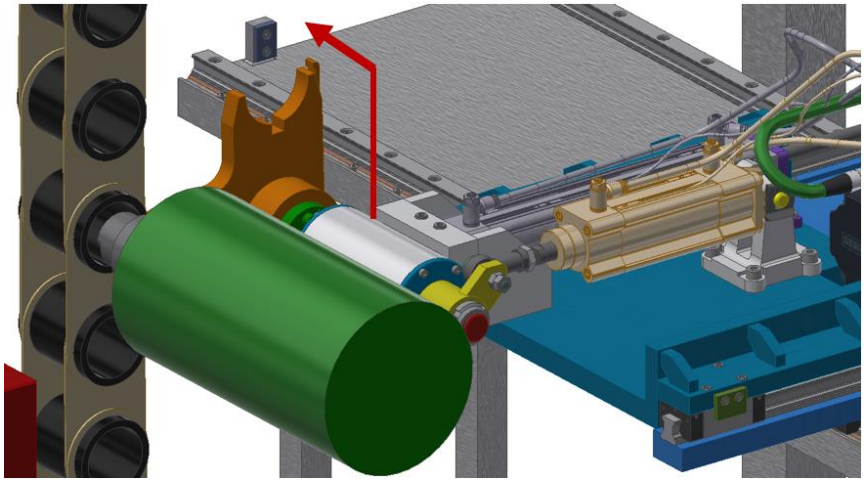
Obr. 5. 38 - Výchozí pozice poslední fáze výměny nástrojů



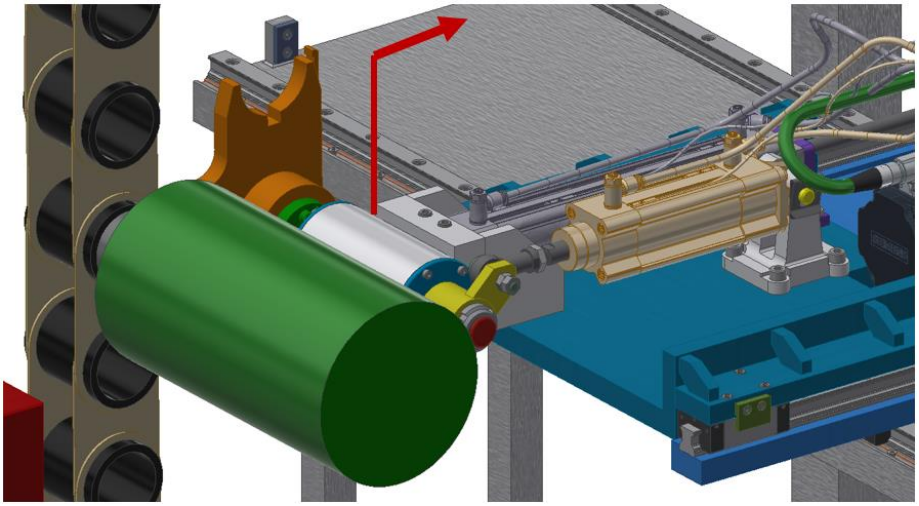
Obr. 5. 39 - Otočení vidlice o 90°



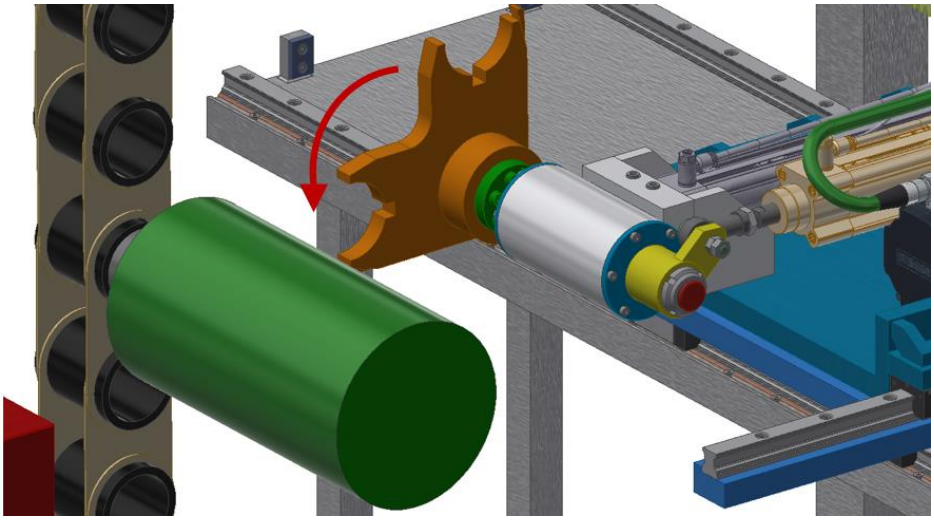
Obr. 5. 40 - Manipulátor v prostoru zásobníku



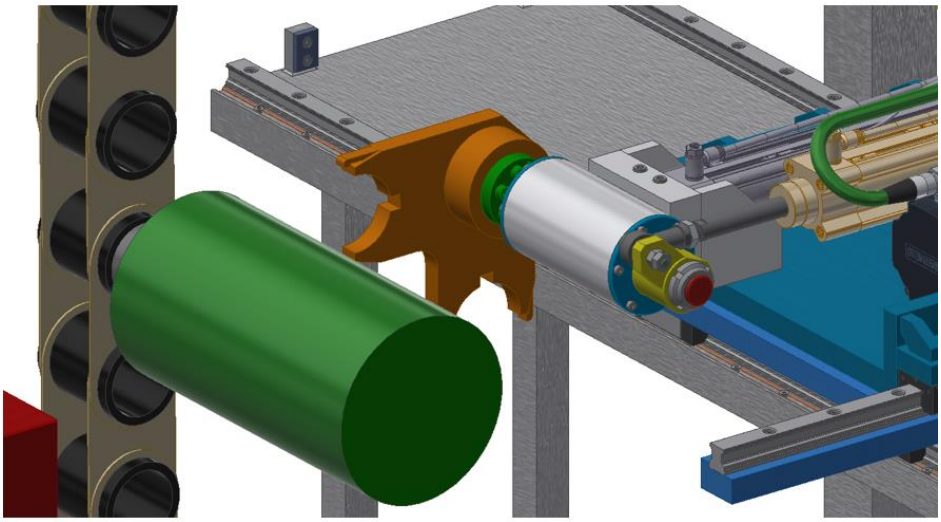
Obr. 5. 41 - Vysunutí konzoly



Obr. 5. 42 - Zasunutí nástroje do lůžka zásobníku



Obr. 5. 43 - Zasunutí konzoly do výchozí polohy



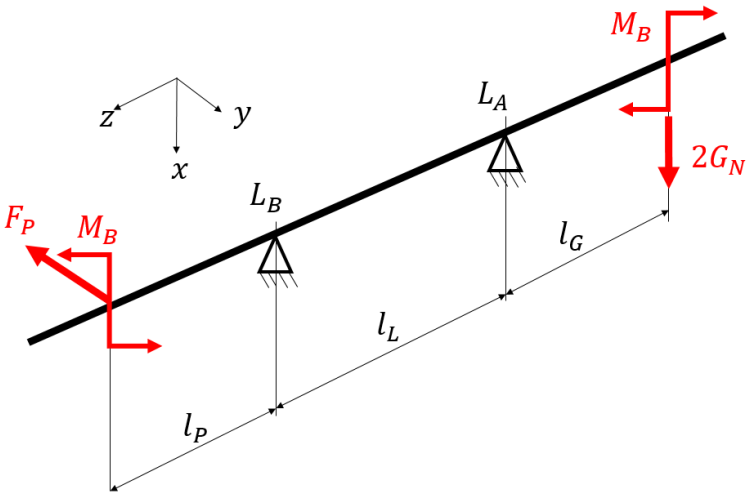
Obr. 5. 44 - Otočení vidlice do výchozí polohy

5.13. Výpočtová část

Tato kapitola se zaměřuje na kontrolní výpočty některých součástí systému AVN a výpočet času výměny nástrojů.

5.13.1. Kontrola hřídele rotačního pohybu vidlice

Stěžejní součástí systému AVN je hřídel, která přenáší krouticí moment mezi pákou síly pneumatického válce a úchopnou vidlicí. Tím je realizována rotace vidlice. Schéma zatížení součásti je vidět na obr. 5.45.



Obr. 5. 45 - Schéma zatížení hřídele

Prvním místem, které je kontrolováno je místo působiště síly F_P, kde je hřídel oslabena drážkou pro těsné pero. V tomto místě působí na hřídel pouze krouticí moment. Ten je dán úhlovým zrychlením plně obsazené vidlice α_v a momentovým účinkem tíhových sil nástrojů. Ohybový moment na kraji pera od síly pneumatického válce je zanedbán. Dovolené napětí v krutu pro ocel je 70MPa.

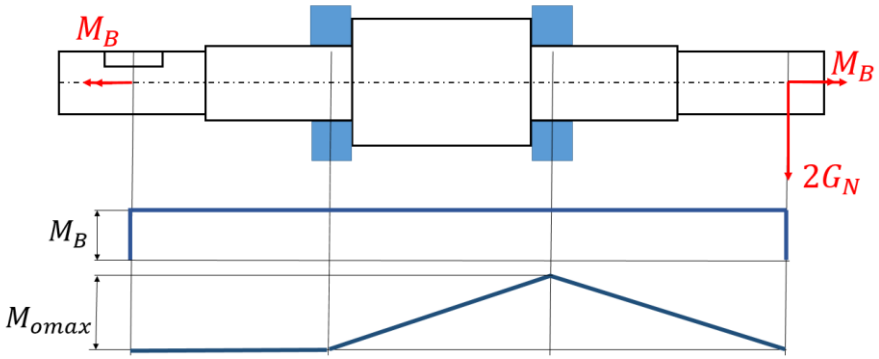
$$M_B = \alpha_v \cdot 2 \cdot J_N + m_n \cdot g \cdot (\cos(60°) + \sin(60°)) \cdot r_N \qquad (5.44)$$

Hodnota krouticího momentu je 13,4 Nm. Nyní je možné stanovit napětí v krutu τ_k a bezpečnost při namáhání k_k.

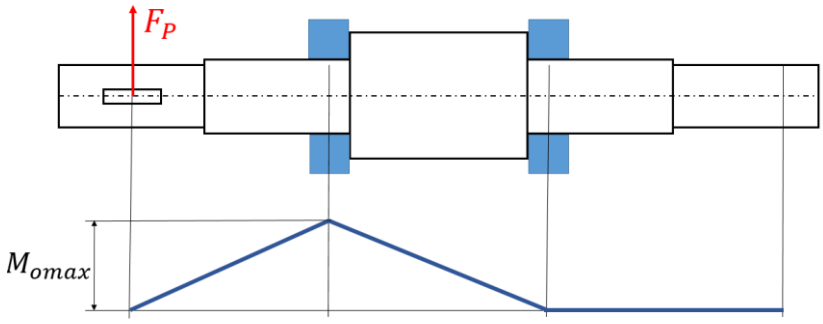
$$\tau_k = \frac{M_B \cdot 1000}{W_k} = \frac{M_B \cdot 1000}{\frac{\pi \cdot d_p^3}{16}} = \frac{13{,}4 \cdot 1000}{\frac{\pi \cdot 21{,}9^3}{16}} = 9\ MPa \qquad (5.45)$$

$$k_k = \frac{\tau_D}{\tau_k} = \frac{70}{9} = 7{,}8 \qquad (5.46)$$

Kontrolované místo vyhovuje požadovanému zatížení. Zbylá dvě kontrolovaná místa jsou místa, kde jsou uložena ložiska, neboť se zde sčítá účinek konstantního krouticího momentu a ohybového momentu od příslušné síly. Zatížení hřídele bylo rozděleno do dvou na sebe kolmých rovin. V první je hřídel zatížena krouticím momentem a tíhovými silami nástrojů. V druhé je hřídel zatížena pouze ohybovou silou od pneumatického válce. Rozdělení zatížení a průběhy zátěžných momentů znázorňují obr. 5.46 a 5.47.



Obr. 5. 46 - Zatížení hřídele 1



Obr. 5. 47 - Zatížení hřídele 2

V místě prvního ložiska L_A se sčítá účinek ohybového momentu od tíhových sil nástrojů a krouticí moment M_B. Ohybový moment je tedy roven součinu tíhových sil nástrojů a vzdálenosti l_G. Dále byly pro dané průměry hřídelů spočteny průřezové moduly v ohybu a v krutu.

$$M_o = 2 \cdot G_N \cdot l_G \tag{5.47}$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_H^3}{32} \tag{5.48}$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot d_H^3}{16} \tag{5.49}$$

Nyní lze pro místo L_A vypočítat redukované napětí. Zvolenou teorií je τ_{MAX}.

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\frac{M_o}{W_o})^2 + 4 \cdot (\frac{M_k}{W_k})^2} \quad (5.50)$$

Hodnota redukovaného napětí v tomto místě je 10,8MPa. Obdobným způsobem bylo vypočteno redukované napětí i pro druhé kontrolované místo L_B, kde je jeho hodnota 14,5MPa. Vyšší hodnota redukovaného napětí byla použita pro výpočet bezpečnosti. Dovolené napětí při namáhání je 160 MPa. Následujícím vztahem byla stanovena bezpečnost při namáhání hřídele ohybem a krutem.

$$k_H = \frac{\sigma_D}{\sigma_{red}} = \frac{160}{14,5} = 11 \quad (5.51)$$

Z výsledků vyplývá, že hřídel vyhovuje pro dané namáhání. Nejmenší bezpečnost je dosažena v oblasti drážky pro těsné pero. Výpočet je obsažen v Příloze 5 – str. 3.

5.13.2. Výpočet životnosti lineárního vedení

Pro výpočet životnosti bylo zvoleno lineární vedení mezi křížovými saněmi a rámem sestavy. Rychlost křížových saní je 1,185 m/s. Pro výpočet je uvažováno zjednodušené rovnoměrné zatížení vozíků. Nejprve bude vypočteno ekvivalentní zatížení P_c, následně jmenovitá životnost L a z ní poté časová životnost lineárního vedení L_h.

$$P_c = \frac{m_z \cdot g}{n_v} + \frac{m_z \cdot a_z}{n_v} = \frac{88,6 \cdot 9,81 + 83,1 \cdot 3,13}{4} = 286,6\ N \quad (5.52)$$

$$L = (\frac{f_h \cdot f_t \cdot C}{f_w \cdot P_c})^3 \cdot 50 = (\frac{1 \cdot 1 \cdot 23,4 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 286,6})^3 \cdot 50 = 8,1 \cdot 10^6\ km \quad (5.53)$$

$$L_h = \frac{L \cdot 10^3}{v_z \cdot 60} = \frac{8,1 \cdot 10^6 \cdot 10^3}{1,185 \cdot 60 \cdot 60} = 1,9 \cdot 10^6\ h \quad (5.54)$$

Lineární vedení vykazuje při daném zatížení vysokou hodnotu životnosti, a není tedy nutné volit větší typ lineárního vedení ani při uvažování uvedeného zjednodušení. Zvoleným typem lineárního vedení je vedení typu SNS-20 firmy Bosch Rexroth.

5.13.3. Kontrola šroubového spoje

Pro kontrolu byl vybrán šroubový spoj upevnění pohonné jednotky posuvu v ose Z. Tento šroubový spoj zajišťuje spojení přídavné desky a rámu pohonné jednotky pomocí šesti šroubů M6 třídy 8.8. Silové účinky jsou kolmé na osy šroubů.

Jelikož jedna dvojice šroubů nemá stejnou vzdálenost od osy pohonné jednotky jako ostatní šrouby, byl vypočten střední poloměr.

$$r_s = \frac{2r_1+4r_2}{6} = \frac{2\cdot57+4\cdot66}{6} = 63\ mm \tag{5.55}$$

Pomocí středního poloměru a jmenovitého krouticího momentu motoru byl stanoven silový účinek krouticího momentu motoru. Ten byl následně vydělen počtem šroubů a tím byla stanovena zátěžná síla na jeden šroub.

$$F_k = \frac{M_{kmax}\cdot i_m}{r_s} = \frac{7{,}1\cdot4}{63\cdot10^{-3}} = 450{,}8\ N \tag{5.56}$$

$$F_{k1} = \frac{F_k}{6} = \frac{450{,}8}{6} = 75{,}1\ N \tag{5.57}$$

Dle tabulky A7 – Estimating the diameter range of bolts (viz Příloha 1) byla zvolena nejbližší vyšší hodnota zatížení. Dle způsobu zatížení a způsobu utažení je nutné podle uvedeného postupu vybrat hodnotu zatížení o 6 řádků níže. Této hodnotě poté odpovídá nejmenší přípustná velikost a příslušná třída šroubu. Pro řešený případ vyplývá z tabulky šroub M5 třídy 8.8 nebo M4 třídy 10.9. Zvolený šroub tedy vyhovuje zatížení. [39]

5.13.4. Výpočet času výměny nástrojů

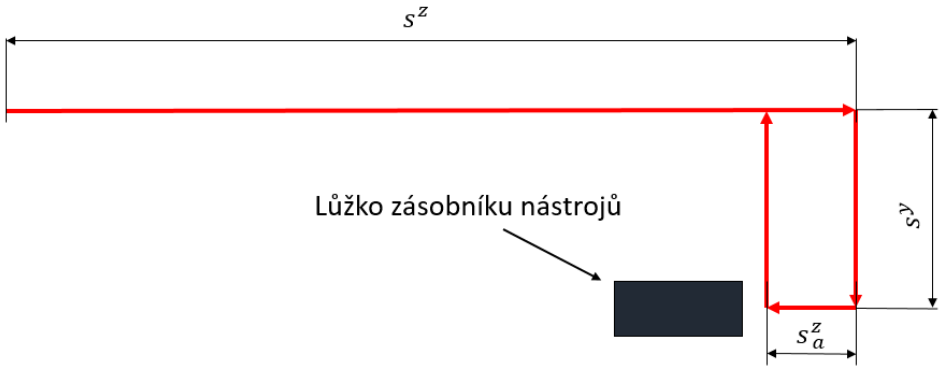
Výměna nástroje se skládá ze tří hlavních pohybů. Jsou to dva posuvné pohyby, kdy je nástroj vysunut a zasunut do vřetene a rotace vidlice. Čas rotace vidlice byl stanoven na 1,5s v kapitole 5.2. Zbývá určit čas dvou posuvných pohybů. Zrychlení v ose Z a_z bylo stanoveno na 2,37 m/s^2 v kapitole 5.4. Dráha, kterou je potřeba urazit pro vyjmutí nebo zasunutí nástroje je 33 mm. Zvolená kinematika pohybu je taková, že polovinu dráhy sestava zrychluje a druhou polovinu brzdí. Byl tedy vypočten čas, za který sestava ujede polovinu dráhy s daným zrychlením. Čas byl poté vynásoben příslušným počtem stejných úseků, což jsou 4. Následně byl dopočet výsledný čas výměny nástrojů.

$$t_a^z = \sqrt{\frac{2\cdot s_a^z}{a_z}} = \sqrt{\frac{2\cdot0{,}0165}{2{,}37}} = 0{,}118s \tag{5.58}$$

$$t_V = t_{celk} + 4\cdot t_a^z = 1{,}5 + 4\cdot0{,}118 = 1{,}97\ s \tag{5.59}$$

Hodnota t_V odpovídá času výměny nástroj-nástroj. U stávající verze je doba výměny tříska-tříska rovna 15s, z toho 3s probíhá výměna nástroj-nástroj. Za předpokladu, že je doba najíždění frézovacího vřetena do prostoru výměny stejná jako doba odjíždění

s novým nástrojem do pracovního prostoru a teoretická doba obrábění je 0s, lze určit dobu, za kterou manipulátor musí vrátit použitý nástroj do vřetene a připravit nástroj nový do pozice pro výměna. Tato doba je rovna rozdílu času výměny tříska-tříska a nástroj-nástroj a činí tedy 12s. V následujícím výpočtu bude ověřeno, že nový systém AVN je schopen během této doby vrátit použitý nástroj do zásobníku a následně nový nástroj připravit do pozice pro výměnu. Danou dráhu zobrazuje obr. 5.48. Pro požadovaný úkon musí být dráha vykonána dvakrát, výsledný čas bude tedy vynásoben dvěma.



Obr. 5. 48 - Schéma dráhy přípravy nástrojů

Dráha s^z byla rozdělena na tři úseky, kdy v prvním dochází k akceleraci křížových saní, v druhém se křížové saně pohybují konstantní rychlosti v_z a v poslední brzdí. Úseky s^y *a* s_a^z jsou rozděleny na dva úseky, v nichž v prvním dochází k akceleraci a v druhém k brzdění se stejnou hodnotou zrychlení jako v prvním úseku. Nejdříve byla stanovena délka prvního úseku dráhy s^z za pomoci znalosti zrychlení a_z a času zrychlení t_z. Délka dráhy s^z vychází z konstrukce systému AVN a její hodnota je 505,2mm.

$$s_{1z} = 0{,}5 \cdot a_z \cdot t_z^2 = 0{,}5 \cdot 2{,}37 \cdot 0{,}2^2 = 0{,}0474m \tag{5.60}$$

Následně byla stanovena dráha druhého úseku, pomocí které byl vypočten čas, za který křížové saně ujedou druhý úsek.

$$s_{2z} = s^z - 2 \cdot s_{1z} = 0{,}5052 - 2 \cdot 0{,}0474 = 0{,}4104m \tag{5.61}$$

$$t_2 = \frac{s_{2z}}{v_z} = \frac{0{,}4104}{0{,}47} = 0{,}87s \tag{5.62}$$

Celkový čas dráhy s^z je vyjádřen vztahem (5.63).

$$t_z^c = t_2 + 2 \cdot t_z = 0{,}87 + 2 \cdot 0{,}2 = 1{,}27s \tag{5.63}$$

Zrychlení na dráze s^y je rovno hodnotě 2 m/s^2. Čas této dráhy je tedy dán vztahem (5.64). Délka dráhy s^y je dle konstrukce rovna 178mm.

$$t_y = \sqrt{\frac{2 \cdot s^y}{2 \cdot a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0{,}178}{2 \cdot 2}} = 0{,}3s \tag{5.64}$$

Délka dráhy s_a^z a kinematika tohoto posuvu byla již vyřešena na začátku této kapitoly, kde byl také stanoven čas t_a^z, za který se uskuteční polovina tohoto pohybu. K výslednému času je ještě za potřebí přičíst čas, kdy řetězový zásobník polohuje nový nástroj do pozice pro vyjmutí. Tento čas je dán délkou řetězu l_t a rychlostí řetězu v_{ch}. Předpokládá se, že řetěz se pohybuje takovým směrem, aby byl nástroj připraven do pozice co nejdříve, proto je hodnota času nejvíce polovina podílu hodnot l_t a v_{ch}.

$$t_{ch} = 0{,}5 \cdot \frac{l_t}{v_{ch}} = 0{,}5 \cdot \frac{4{,}03}{0{,}63} = 3{,}2s \tag{5.65}$$

Dále je potřeba také přičíst časy rotace vidlice, které se v celém úkonu konají celkem 3. Nyní jsou už dány všechny potřebné hodnoty časů pro výpočet celkového času přípravy nástrojů pro výměnu t_p. Každý čas musí být vynásoben příslušným počtem opakování v daném úkonu.

$$t_p = 2 \cdot \left(t_z^c + 2 \cdot t_y + 2 \cdot t_a^z\right) + 3 \cdot t_{celk} + t_{ch} =$$
$$2 \cdot (1{,}27 + 2 \cdot 0{,}3 \; + 2 \cdot 0{,}118) + 3 \cdot 1{,}5 + 3{,}2 = 11{,}9s \tag{5.66}$$

Tato hodnota t_p vyhovuje zadané podmínce.

6. Závěr

Cílem práce bylo navrhnout systém AVN pro stroj Multicut 500 firmy Kovosvit MAS tak, aby nebyly překročeny zástavbové prostory a byly dodrženy zadané parametry (tab. 2.1). Nevýhodou stávajícího řešení je zvětšení zástavbových rozměrů stroje. Stávající řešení používá otočný manipulátor se dvěma pozicemi pro nástroj a řetězový zásobník pro uskladnění nástrojů o kapacitě 81 nástrojů.

Rešeršní část práce obsahuje rozdělení systémů AVN dle druhu zásobníků a typu výměny. Rešerše také obsahuje druhy upínacího rozhraní a držáků nástrojů. V závěru rešerše je srovnávací tabulka strojů s podobnými parametry jako stroj Multicut 500.

Po obdržení 3D modelu stroje byly změřeny zástavbové prostory určené pro umístění systému AVN, na jejichž základě bylo vypracováno schéma prostoru. Toto schéma bylo základem pro prvotní návrhy řešení. Ty obsahují pouze uspořádání zásobníku nástrojů bez uvažování mechanismu výměny. Slouží tedy k orientaci v prostoru z hlediska velikosti nástrojů a kapacity zásobníku. Nejvýhodnější typ zásobníku se vzhledem k omezeným prostorovým podmínkám jeví řetězový zásobník, který je dobře přizpůsobitelný prostoru při zachování požadované kapacity. Byl vybrán řetězový zásobník typu HP s lůžky pro nástroj. Dále bylo možné navrhovat mechanismy výměny nástrojů. Zvolený mechanismus výměny koná dva posuvné a jeden rotační pohyb. Konstrukce systému rotace byla stejně jako konstrukce úchopné vidlice vyřešena obdobně jako u stroje Multicut 630 firmy Kovosvit MAS. Kapacita navrženého zásobníku je 40 nástrojů. Prodloužením zástavbového prostoru o 100mm je možné vytvořit dostatečný prostor pro umístění druhého zásobníku o stejném uspořádání a tím navýšit celkovou kapacitu na 80 nástrojů. Poloha frézovacího vřetena při výměně nástroje je v krajní poloze ve směru osy Y (-190 mm) a 620,5 mm nad soustružnickým vřetenem ve směru osy X (viz Příloha 5 – str. 5).

Výsledkem práce je navržený řetězový zásobník, který je poháněn servomotorem s cykloidní převodovkou, a manipulátor, jehož posuvný pohyb ve směru osy Z je poháněn servomotorem s planetovou převodovkou a pastorkem. Posuv manipulátoru ve směru osy Y zajišťuje pneumatický válec s polohovými čidly. Rotační pohyb vidlice je vykonáván přenosem krouticího momentu z posuvného pohybu pneumatického válce na úchopnou vidlici.

Seznamy

Seznam použité literatury

[1] CHROMČÍK, Adam. Automatická výměna nástrojů – držáky nástrojů [online]. 2016 [cit. 2019-11-02]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Radim Blecha, Ph.D

[2] Multicut 500i [online]. In: KOVOSVIT MAS . [cit. 2019-11-7]. Dostupné z: https://www.kovosvit.cz/multicut-500i-p36.html

[3] RUDOLF, Bedřich, Jaromír HOUŠA, Jaroslav KRATOCHVÍL a Helena KRATOCHVÍLOVÁ. Konstrukce číslicově řízených výrobních strojů. Praha 1, Husova 5: Vydavatelství ČVUT, 1977.

[4] HOUŠA, Jaromír. Kostrukce číslicově řízených obráběcích strojů. Praha 1: Vydavatelství technické literatury, 1985.

[5] KELLNER, Petr. Zásobníky nástrojů, typy, základní vlastnosti. [online]. [cit. 2019-11-08]. Dostupné z: http://educom.tul.cz/educom/inovace/PNC/VY_03_08-zásobníky%20nástrojů,%20typy,%20základní%20vlastnosti_př_MZ_6.pdf

[6] RUDOLF, Bedřich. Stavba a využití číslicově řízených výrobních strojů a pružných výrobních systémů - II. díl. Praha1, Husova 5: Vydavatelství ČVUT, 1979.

[7] Nástrojová hlava Duplomatic. In: Ciessetrade.cz [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: http://nastrojove-hlavy.ciessetrade.cz/produkty/nastrojovehlavy/nastrojove-hlavy-s-vodorovnou-osou-otaceni/

[8] MCU 700VT - 5X - Five Axis vertical machining center. In: Youtube [online]. 2014, 22-5 [cit. 2019-11-20]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=T3FdyixepUc

[9] Tool magazine. In: Apiwat [online]. [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: http://www.apiwat.ie.engr.tu.ac.th/molddesign/yougo2/nc_maciningc.htm

[10] DNM Tool change arm. In: Doosan [online]. [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: https://www.doosanmachinetools.us/machining-centers/vertical-machining-centers/dnm

[11] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Šesté vydání. Praha: MM Publishing, 2014. ISBN 978-80-260-6780-1.

[12] ATC 2450. In: Zamaq [online]. [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: http://www.zamaq.cz/zvlastni-prislusenstvi-ke-strojum-CM

[13] Meander chain magazine innovation. In: Ktc GmbH [online]. [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: https://ktc-gmbh.de/innovation/meander-chain-magazine/?lang=en

[14] DCM-H. In: POJU [online]. [cit. 2020-11-24]. Dostupné z: http://www.poju.com.tw/products-detail-6-52.html

[15] ATC for horizontal machine centre. In: ATC Gifu [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: https://www.atcgifu.com/eng/pro_horizontal.php

[16] SLÁDEK, Jakub. Vývoj řetězového zásobníku pro horizontální stroje řady H630, H800 a H1000. 2018. Diplomová práce.

[17] Products for Machine Tools: ATC Chain and Tool Pot. In: TSUBAKI [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: https://tsubakimoto.com/products/application-products-datail/machine-tool/atc-toolpot/

[18] NO.03:4625313605. In: Shen feng toolmagazine industrial [online]. [cit. 2019-12-15]. Dostupné z: https://www.sftp.com.tw/product-detail-1976606.html

[19] Werkzeug-Scheinbenmagazin mit 120 Werkzeugplatzen. In: DAS SCHWEIZER INDUSTRIE PORTAL [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: https://www.maschinenmarkt.ch/index.cfm?pid=8787&pk=406963&fk=587825&type=article

[20] DMG Mori. In: PRODUCTION INGENEERING SOLUTIONS [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: https://www.pesmedia.com/dmg-mori-dmp-70/

[21] Aréna nástrojů. In: Demmeler [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: https://www.demmeler.com/cs/vyrobky-a-obchod/automatizacni-technice/arena-nastroju

[22] Courtesy of Chiron America. In: CUTTING TOOL ENGINEERING [online]. [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: https://www.ctemag.com/news/articles/not-your-fathers-vmc

[23] Chiron ToolTower. In: EUROTEC [online]. [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: https://eurotec-online.com/2013/08/27/rapid-tool-change-due-to-the-chiron-tooltower/

[24] Toolchanger. In: Hitachi Seiki [online]. [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: http://www.hitachiseiki.de/product-showroom/

[25] Mazak VQC 3050B CAT 40 ATC Automatic Tool Changer TOOL POD POT GRIPPER HOLDER. In: Ebay [online]. [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: https://www.ebay.com/itm/Mazak-VQC-3050B-CAT-40-ATC-Automatic-Tool-Changer-TOOL-POD-POT-GRIPPER-HOLDER-/143181581923

[26] Tool fork. In: Hyperinzerce [online]. [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: https://stroje.hyperinzerce.cz/drevoobrabeci-nastroje/inzerat/12090076-bt30-tool-fork-bt40-tool-clip-atc-gripper-cnc-tool-forks-nabidka/

[27] DRŽÁK ISO50 - WE12 - 130 MM S VÁLCOVOU STOPKOU WELDON (APX 7620). In: Markagro [online]. [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: https://eshop.markagro.cz/upinaci-drzaky-pro-nastroje-s-valcovou-stopkou-weldon/4017-drzak-iso50-we12-130-mm-s-valcovou-stopkou-weldon-apx-7620.html

[28] Haimer [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: https://www.haimer-usa.com/products/tool-holders/din-69893-hsk-a-hsk-e-hsk-f/hsk-a63/shrink-fit-chuck/standard.html

[29] Srovnání schopnosti přenosu kroutícího momentu a ohybové tuhosti. In: SANDVIK Coromant [online]. [cit. 2019-12-04]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/machine-tooling-solutions/tooling-considerations/pages/spindle-selection.aspx

[30] Tool Holding Systems. In: FERRET [online]. [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: http://www.ferret.com.au/c/Sandvik-Coromant/Tool-Holding-Systems-from-Sandvik-Coromant-p26115

[31] TOOL HOLDERS [online]. [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: https://www.productivity.com/wp-content/uploads/pdfs/Haimer Toolholder Catalog.pdf

[32] CONFIGURATIONS. In: OTT-JACOB Spanntechnic [online]. [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: https://www.ott-jakob.de/en/steep_taper/#steilkegel-Es-149

[33] HSK-Clamping. In: OTT JACOB Spanntechnik [online]. [cit. 2019-12-15]. Dostupné z: https://www.ott-jakob.de/en/hsk/

[34] KOVOSVIT MAS [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: https://www.kovosvit.cz/multicut-500i-p36.html#technicaldata

[35] DMG MORI [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: https://en.dmgmori.com/products/machines/turning/turn-mill/nt/nt-4200-dcg

[36] INDEX TRAUB [online]. [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: https://hu.index-traub.com/en/products/turn-mill-centers/index-g400-index-g420/

[37] Emco [online]. [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: https://www.emco-world.com/en/products/turning/cat/6/d/2/p/1000912%2C6/pr/hyperturn-65-powermill-g2.html

[38] TSUBAKI CONVEYOR CHAINS [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: http://www.tsubaki.ca/pdfs/general2.pdf

[39] Systematic calculation of high duty bolted joints joints with one cylindral bolt. Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen Zylindrische Einnschraubenverbindungen, Berlin VDI, 2003

[40] KOPECKÝ, Miloslav a Houša JAROMÍR. Základy stavby výrobních strojů. Praha: České vysoké učení technické, 1986.

[41] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.

Seznam obrázků

Obr. 1. 1 - Stávající verze MTC500 [2]……..……15
Obr. 3. 1 - Druhy zásobníků [4] 18
Obr. 3. 2 - Revolverová hlava [7] 19
Obr. 3. 3 - Schéma výměny nástroje 20
Obr. 3. 4 -Výměna zásobník - vřeteno stroje MCU700 [8].....21
Obr. 3. 5 - Výměna zásobník - podavač –vřeteno [9] 21
Obr. 3. 6 - Výměna zásobník - podavač – vřeteno [10] 22
Obr. 3. 7 - Bubnový zásobník [12].....23
Obr. 3. 8 - Řetězový zásobník [13]……..……23
Obr. 3. 9 - Řetězový zásobník [13]…… .24
Obr. 3. 10 - Řetězový zásobník POJU [14]……...…..23
Obr. 3. 11 - Řetězový zásobník vertikální [15].....24
Obr. 3. 12- Válečkový řetěz SK [17].....25
Obr. 3. 13 - Výklopná lůžka SK řetězu [17]……...…….24
Obr. 3. 14 - Vertikální lůžka SK řetězu [17]……..……...25
Obr. 3. 15 - Článkový řetěz HP [39] 25
Obr. 3. 16 - GK řetěz [17].....26
Obr. 3. 17 - Diskový zásobník (120 míst) [18]……..……25
Obr. 3. 18 - Diskový zásobník Mori [19]…… ……....26
Obr. 3. 19 - Velkokapacitní zásobník [20].....26
Obr. 3. 20 - Tool arena [20]……27
Obr. 3. 21 - Zásobník Chiron [21]……..……....26
Obr. 3. 22 - Věžový zásobník Chiron [22] 27
Obr. 3. 23 – Výměník [23].....28
Obr. 3. 24 - Kovová čelist manipulátoru [24]……..……...27
Obr. 3. 25 - Plastové čelisti [25]……..28
Obr. 3. 26 - Schéma rozdělení držáků nástrojů [1] 29
Obr. 3. 27 - Držák nástrojů ISO-40 [26] 30
Obr. 3. 28 - Držák nástrojů HSK-A63 [29] 30
Obr. 3. 29 - Držák nástrojů CAPTO [31] 31
Obr. 3. 30 - Namáhání držáků nástrojů [30] 32
Obr. 3. 31 - Upínací systém IS [28] 32

Obr. 3. 32 - Upínací systém ES [28] 33
Obr. 3. 33 - Upínací systém HSK [33] 33
Obr. 4. 1 - Zástavbový prostor 35
Obr. 4. 2 - Minimální rádius zásobníku bez vynechání nástroje 36
Obr. 4. 3 - Minimální rádius zásobníku s vynecháním nástroje 36
Obr. 4. 4 - Varianta 1 36
Obr. 4. 5 - Varianta 2 36
Obr. 4. 6 - Varianta 3 37
Obr. 4. 7 - Varianta 4 37
Obr. 4. 8 - Varianta 5 38
Obr. 4. 9 - Varianta 6 38
Obr. 4. 10 - Geometrie vyjmutí nástroje 40
Obr. 4. 11 - Návrh 1 40
Obr. 4. 12 - Návrh 2 41
Obr. 4. 13 - Návrh 3 42
Obr. 4. 14 - Návrh 4 43
Obr. 4. 15 - Návrh 5 43
Obr. 5. 1 - Uspořádání zásobníku 45
Obr. 5. 2 - Úchopná vidlice 45
Obr. 5. 3 - Mechanismus rotace 46
Obr. 5. 4 - Schéma statické kontroly 46
Obr. 5. 5 - Schéma dynamické analýzy 48
Obr. 5. 6 - Schéma rotačního pohybu 49
Obr. 5. 7 - Schéma sil působících na rotující nástroj 50
Obr. 5. 8 - Linearizace rotačního pohybu 50
Obr. 5. 9 - Konzola 52
Obr. 5. 10 - Konzola ve výchozí poloze 52
Obr. 5. 11 - Vysunutá konzola 53
Obr. 5. 12 - Upevnění lineárního vedení 53
Obr. 5. 13 - Křížové saně 54
Obr. 5. 14 - Upevnění pohonné jednotky 55
Obr. 5. 15 - Rám sestavy 56
Obr. 5. 16 - Uložení vodícího kola 57
Obr. 5. 17 - Síly v řetězu 58

Obr. 5. 18 - Uložení řetězového kola 59
Obr. 5. 19 - Vedení řetězu 60
Obr. 5. 20 - Kryt výměny nástrojů 60
Obr. 5. 21 - Sestava mechanismus výměny nástroje.....61
Obr. 5. 22 - Sestava systému AVN - kryt.....62
Obr. 5. 23 - Sestava systému AVN – vřeteno 62
Obr. 5. 24 - Pohled na systém AVN 1 63
Obr. 5. 25 - Pohled na systém AVN 2.....63
Obr. 5. 26 - Výchozí pozice manipulátoru 64
Obr. 5. 27 - Uchopení nástroje v zásobníku 64
Obr. 5. 28 - Vyjmutí nástroje z lůžka zásobníku 64
Obr. 5. 29 - Dopravení nástroje do prostoru výměny.....65
Obr. 5. 30 - Natočení vidlice pro uchopení použitého nástroje 65
Obr. 5. 31 - Vyčkávací pozice manipulátoru.....65
Obr. 5. 32 - Najetí frézovacího vřetena do prostoru výměny 66
Obr. 5. 33 - Uchopení použitého nástroje.....66
Obr. 5. 34 - Vysunutí použitého nástroje z vřetena.....67
Obr. 5. 35 - Výměna pozic nástrojů v manipulátoru (rotace vidlice).....67
Obr. 5. 36 - Zasunutí nástroje do vřeten.....67
Obr. 5. 37 - Zasunutí konzoly do nulového zdvihu.....68
Obr. 5. 38 - Výchozí pozice poslední fáze výměny nástrojů.....68
Obr. 5. 39 - Otočení vidlice o 90° 69
Obr. 5. 40 - Manipulátor v prostoru zásobníku.....69
Obr. 5. 41 - Vysunutí konzoly 69
Obr. 5. 42 - Zasunutí nástroje do lůžka zásobníku.....70
Obr. 5. 43 - Zasunutí konzoly do výchozí polohy.....70
Obr. 5. 44 - Otočení vidlice do výchozí polohy.....70
Obr. 5. 45 - Schéma zatížení hřídele 71
Obr. 5. 46 - Zatížení hřídele 1.....72
Obr. 5. 47 - Zatížení hřídele 2.....72
Obr. 5. 48 - Schéma dráhy přípravy nástrojů.....75

Seznam tabulek

Tab. 2.1 - Požadované parametry pro systém AVN……..…...….14
Tab. 3.1 - Porovnání držáků nástrojů [29],[31] ……..…..……...…….31
Tab. 3.2 - Porovnání parametrů vybraných strojů [34],[35],[36],[37]……...……33
Tab. 4.1 - Parametry řetězového zásobníku…….…...35

Seznam použitého softwaru

Autodesk Inventor 2017

Microsoft Word 2013

Microsoft Excel 2013

Seznam příloh

Textové přílohy

Příloha 1 - Výpočet šroubů

Příloha 2 - Technické parametry pneumatických válců DSBC

Příloha 3 - Technické parametry servomotoru 1FK2204-5AF

Příloha 4 - Parametry zásobníku nástrojů

Výkresová dokumentace

AVN – 01 - Výrobní výkres hřídele rotace

AVN – 02 - Výrobní výkres konzoly

AVN – 03 - Výkres sestavy systému AVN pro MTC500

Elektronické přílohy

Bakalářská práce JT - Text bakalářské práce ve formátu PDF

Systém AVN pro MTC500 - 3D model systému AVN ve formátu STEP

Výkresová dokumentace ve formátu PDF

Příloha 5 - Výpočty ve formátu XLS

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ

Bakalářská práce

Návrh systému automatické výměny nástrojů pro obráběcí stroj MTC500

TEXTOVÉ PŘÍLOHY

2020 Jan Turek

Příloha 1 – Výpočet šroubů

All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2003

Table A7. Estimating the diameter range of bolts

1	2	3	4
Load in N	Nominal diameter in mm		
	Strength grade		
	12.9	10.9	8.8
250			
400			
630			
1 000	3	3	3
1 600	3	3	3
2 500	3	3	4
4 000	4	4	5
6 300	4	5	6
10 000	5	6	8
16 000	6	8	10
25 000	8	10	12
40 000	10	12	14
63 000	12	14	16
100 000	16	18	20
160 000	20	22	24
250 000	24	27	30
400 000	30	33	36
630 000	36	39	

Example

A joint is dynamically and eccentrically loaded by the axial load $F_A = 8.500$ N. A bolt of strength grade 12.9 is to be assembled using a torque wrench.

A 10.000 N is the next largest load to F_A in column 1

B Two steps for "eccentric and dynamic axial loading" give $F_{M\,min} = 25.000$ N

C One step for "tightening using a torque wrench" gives $F_{M\,max} = 40.000$ N

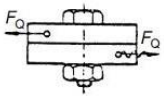
D **For** $F_{M\,max} = 40.000$ N, we find in column 2 (strength grade 12.9): M 10

A In Column 1, select the next highest load to the loading acting on the bolted joint. If during combined loading (longitudinal and transverse loads) $F_{A\,max} < F_{Q\,max} / \mu_{T\,min}$, then only $F_{Q\,max}$ is to be used.

B The required minimum preload $F_{M\,min}$ is obtained by increasing this number by the following number of steps:

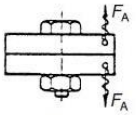
B1 If the joint is to be designed with $F_{Q\,max}$:

four steps for static or dynamic transverse load



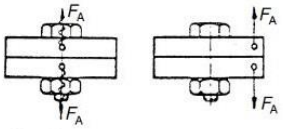
B2 If the joint is to be designed with $F_{A\,max}$:

two steps for dynamic and eccentrically applied axial load



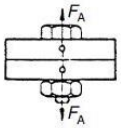
or

one step for dynamically and concentrically or statically and eccentrically applied axial load



or

no steps for statically and concentrically applied axial load



C The required maximum preload $F_{M\,max}$ obtained by increasing this load $F_{M\,min}$ by:

two steps for tightening the bolt with a simple tightening spindle which has been set by the retightening torque

or

one step for tightening using a torque wrench or precision spindle adjusted by means of dynamic torque measurement or elongation measurement of the bolt

or

no steps for tightening by means of angle control within the plastic range or by means of computer-controlled yield-point monitoring

D Next to the number found, Columns 2 to 4 give the required bolt dimensions in mm for the selected strength grade of the bolt.

Lizenzierte Kopie von elektronischem Datenträger

Příloha 2 – Technické parametry pneumatických válců DSBC

DSBC-32-200-PA-N3

technické údaje

Parametr	Hodnota
zdvih	200 mm
Ø pístu	32 mm
zkratka typového označení	DSBC
tlumení	pružné tlumicí kroužky/desky na obou stranách
montážní poloha	libovol.
konstrukční výstavba	píst pístnice profilová trubka
snímání poloh	pro přibližovací čidla
Provozní tlak	0.05 ... 12.0 bar
činnost	dvojčin.
provozní médium	stlačený vzduch podleISO 8573-1:2010 [7:4:4]
upozornění k provoznímu/řídicímu médiu	mazaný provoz je možný (od mazání pak již nelze upustit!)
třída odolnosti korozi KBK	1 - silné nároky na odolnost korozi
okolní teplota	-20 ... 80 °C
energie nárazu v koncové poloze	0,4 J
teor. síla při 6 barech, chod zpět	415 N
teor. síla při 6 barech, chod vpřed	483 N
přírůstek pohybující se hmotnosti na 10 mm zdvihu	0 g 9 g
způsob upevnění	s vnitřním závitem s příslušenstvím volitelně:
připojení pneumatiky	G1/8
upozornění k materiálu	obsahuje látky LABS ve shodě s ROHS
informace o materiálu víka	tlakový odlitek z hliníku, lakováno
informace o materiálu trubky válce	tvárná hliníková slitina, hladce eloxováno

DSBC-40-60-PA-N3

technické údaje

Parametr	Hodnota
zdvih	60 mm
Ø pístu	40 mm
zkratka typového označení	DSBC
tlumení	pružné tlumicí kroužky/desky na obou stranách
montážní poloha	libovol.
konstrukční výstavba	píst pístnice profilová trubka
snímání poloh	pro přibližovací čidla
Provozní tlak	0.05 ... 12.0 bar
činnost	dvojčin.
provozní médium	stlačený vzduch podleISO 8573-1:2010 [7:4:4]
upozornění k provoznímu/řídicímu médiu	mazaný provoz je možný (od mazání pak již nelze upustit!)
třída odolnosti korozi KBK	1 - silné nároky na odolnost korozi
okolní teplota	-20 ... 80 °C
energie nárazu v koncové poloze	0,7 J
teor. síla při 6 barech, chod zpět	633 N
teor. síla při 6 barech, chod vpřed	754 N
přírůstek pohybující se hmotnosti na 10 mm zdvihu	0 g 16 g
způsob upevnění	s vnitřním závitem s příslušenstvím volitelně:
připojení pneumatiky	G1/4
upozornění k materiálu	obsahuje látky LABS ve shodě s ROHS
informace o materiálu víka	tlakový odlitek z hliníku, lakováno
informace o materiálu trubky válce	tvárná hliníková slitina, hladce eloxováno

Příloha 3 – Technické parametry servomotoru 1FK2204-5AF

SIEMENS

Data sheet for SIMOTICS S-1FK2

Figure similar

MLFB-Ordering data **1FK2204-5AF00-0MA0**

Client order no. :
Order no. :
Offer no. :
Remarks :

Item no. :
Consignment no. :
Project :

Basic motor data

Motor type	Permanent-magnet synchronous motor, Natural cooling, IP64
Motor type	Compact
Static torque	2.40 Nm
Static current	2.3 A
Maximum torque	7.10 Nm
Maximum current	7.1 A
Maximum speed	7500 rpm
Rotor moment of inertia	1.230 kgcm²
Weight	2.9 kg

Rated data

SINAMICS S210, 3AC 400V

Rated speed	3000 rpm
Rated torque	2.40 Nm
Rated current	2.3 A
Rated power	0.75 kW

Encoder system

Encoder system	Encoder AM22DQC: Absolute encoder 22 bit + 12 bit multiturn

Motor connection

Connection type	OCC for S210
Connector size	M17

Mechanical data

Design acc. to Code I	IM B5 (IM V1, IM V3)
Vibration severity grade	Grade A
Shaft height	40
Flange size (AB)	80 mm
Centering ring (N)	70 mm
Hole circle (M)	90 mm
Screw-on hole (S)	6.5 mm
Overall length (LB)	126 mm
Diameter of shaft (D)	19 mm
Length of shaft (E)	40 mm
Length of flange diagonal (P)	105 mm
Shaft extension	Plain shaft

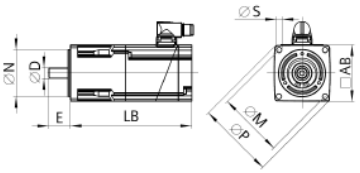


Figure similar

Technical data are subject to change! There may be discrepancies between calculated and rating plate values.

Page 1 of 1 Generated Tue Jul 07 21:30:36 CEST 2020

Příloha 4 – Parametry zásobníku nástrojů

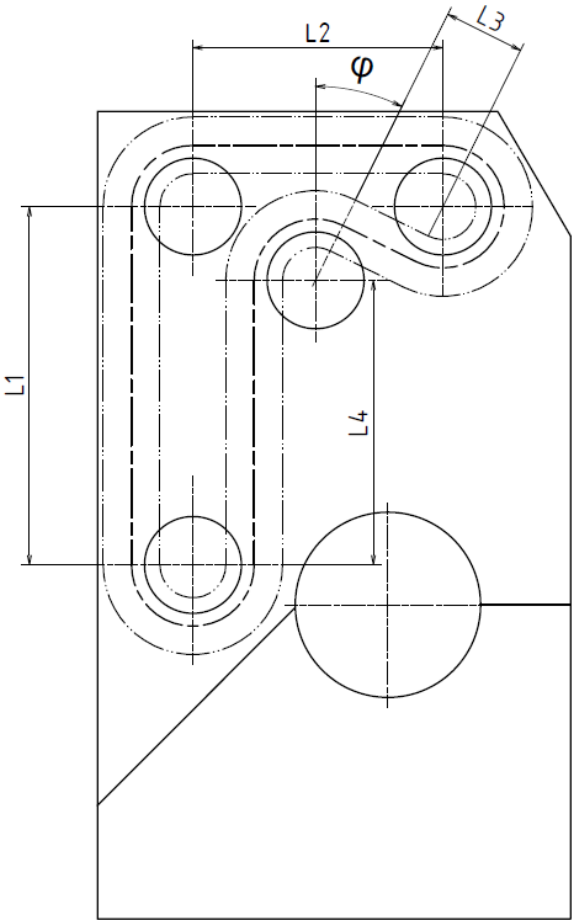
$L1 = 822{,}5\ mm$

$L2 = 660{,}4\ mm$

$L3 = 197{,}1\ mm$

$L4 = 647{,}4\ mm$

$\varphi = 31{,}19°$



Délka řetězu na řetězovém a vodícím kole neodpovídá jejich obvodu, jelikož lůžka nástrojů jsou spojena pevnými deskami. Proto byla vypočtena hodnota korekce k_o o kterou jsou větve L1 a L2 prodlouženy stejným podílem. Hodnota korekce je 29,91 mm. Výpočet obsahuje Příloha 5 – str. 2.