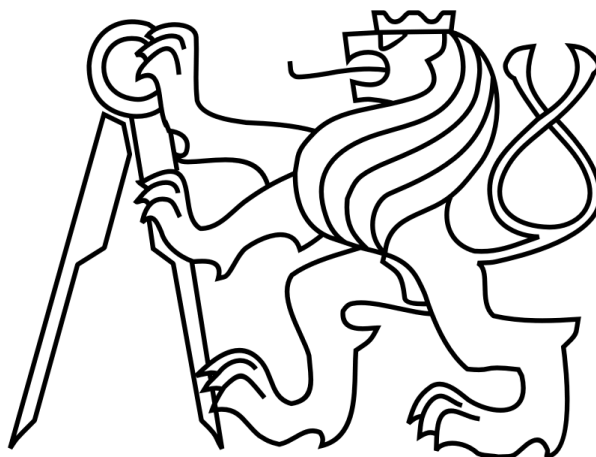


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Diplomová práce

Vývoj řetězového zásobníku pro horizontální stroje
řady H630, H800 a H1000

2018

Bc. Jakub Sládek

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Sládek** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **419987**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní stroje a zařízení**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Vývoj řetězového zásobníku pro horizontální stroje řady H630, H800 A H1000

Název diplomové práce anglicky:

Chain stack development for horizontal H630 series machines

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Konstrukční návrh nového typu zásobníku s kapacitou 60, 90 a 120 míst. Jedná se o náhradu stávajícího kazetového (tzv. kačenky) zásobníku. Zásobník bude připojen k firemnímu novému vačkovému výměníku nástrojů. Osnova práce: 1. Analýza řešení AVN, návrhy variant; 2. Návrh uspořádání řetězového zásobníku a jeho pohonu; 3. Návrh manipulátoru pro vyjmutí nástroje ze zásobníku a vložení do mezipolohy; 4. Návrh čištění a kontroly nástroje v mezipolohy před vložením nástroje do vřetena; 5. Kontrolní výpočty; 6. Výkres sestavy, výrobní výkresy manipulátoru
Rozsah grafické části: výkres sestavy řetězového zásobníku umístěného na stroji a manipulátoru, výrobní výkresy manipulátoru; Rozsah textové části: 60-80 stran

Seznam doporučené literatury:

HOUŠA, Jaromír a Bedřich RUDOLF. Výrobní stroje. 3. přeprac. vyd. Praha: ČVUT, 1993. ISBN 80-01-00993-9.; KOPECKÝ, Miloslav a Jaromír HOUŠA. Základy stavby výrobních strojů. 2. vyd. Praha: ČVUT, 1989. ISBN 80-01-00085-0.; KRATOCHVÍL, Jaroslav, Stanislav MAŇAS a Petr VÁVRA. Konstrukční cvičení z výrobních strojů. Praha: ČVUT, 1987.; Firemní literatura a katalogy výrobců;

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Miroslav Ondráček, Ph.D., ústav výrobních strojů a zařízení FS


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


Radek Stratil, TAJMAC ZPS

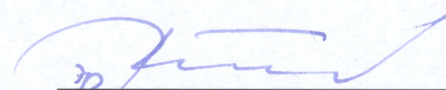
Datum zadání diplomové práce: **12.04.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **13.07.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2018**


Ing. Miroslav Ondráček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


Ing. Petr Kolář, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

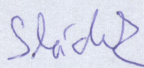

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

30.4.2018

Datum převzetí zadání



Podpis studenta



Prohlášení

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

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

V Praze dne 13. 7. 2018

.....
podpis



Poděkování

Tímto chci poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Miroslavu Ondráčkovi, Ph.D. a konzultantovi panu Ing. Radku Stratilovi za jejich pomoc, cenné rady a připomínky, kterými mi byli nápomocni při vypracovávání této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval rodině a partnerce za jejich podporu při psaní této práce.



Anotace

Autor:	Bc. Jakub Sládek
Název DP:	Vývoj řetězového zásobníku pro horizontální stroje řady H630, H800 a H1000
Rozsah práce:	96 str., 129 obr., 3 tab.
Školní rok vyhotovení:	2018
Škola:	ČVUT v Praze – Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí DP:	Ing. Miroslav Ondráček, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Radek Stratil
Zadavatel:	TAJMAC-ZPS, a.s.
Využití:	Navrhovaný řetězový zásobník bude použit v rámci inovace horizontálních strojů H630, H800 a H1000.
Klíčová slova:	automatická výměna nástrojů, řetězový zásobník, manipulátor nástrojů
Anotace:	<p>Diplomová práce se zabývá vývojem řetězového zásobníku pro horizontální obráběcí stroje řady H630, H800 a H1000 firmy TAJMAC-ZPS, a.s.</p> <p>Součástí diplomové práce je konstrukční návrh manipulátoru pro vyjmutí nástroje ze zásobníku a vložení do mezipolohy. V mezipoloze bude nástroj zkontrolován a očištěn.</p> <p>Výstupem práce jsou výkresy sestav a výrobní výkresy manipulátoru.</p>



Annotation

Author:	Bc. Jakub Sládek
Title of Master's Thesis:	Chain stack development for horizontal H630 series machines
Extent:	96 p., 129 fig., 3 tab.
Academic year:	2018
University:	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135 – Department of Production Machines and Equipment
Supervisor:	Ing. Miroslav Ondráček, Ph.D.
Consultant:	Ing. Radek Stratil
Submitter of the Theme:	TAJMAC-ZPS, a.s.
Application:	Engineered chain stack will be of use within an innovation programme for horizontal H630, H800 and H1000 series machines.
Key words:	automatic tool changing, chain stack, tool handling device
Annotation:	<p>The Master's Thesis treats of the chain stack development for horizontal H630, H800 and H1000 series machines manufactured by the company TAJMAC-ZPS, a.s.</p> <p>The Master's Thesis comprises engineering design of the handling device for picking up a tool from the stack and its placement under the intermediate position. In the intermediate position the tool will be checked and cleansed.</p> <p>The thesis output presents assembly drawings and manufacturing drawings of the handling device.</p>



Obsah

Seznam použitých symbolů.....	9
1. Úvod	13
2. TAJMAC-ZPS, a.s.	14
2.1. Uvedení firmy.....	14
2.2. Požadavky firmy	14
2.2.1. Řetěz zásobníku.....	14
2.2.2. Nástroje.....	14
2.2.3. Konstrukce zásobníku	14
2.2.4. Výměna nástroje	15
2.2.5. Odbyt strojů	15
2.3. Horizontální obráběcí centra	15
2.3.1. H 630	15
2.3.2. H 800	16
2.3.3. H 1000	16
2.3.4. Parametry horizontálních strojů	17
3. Automatická výměna nástrojů	18
3.1. Dělení AVN	18
3.2. Řetězový zásobník.....	19
3.2.1. Typy řetězů.....	19
3.2.2. Tvar HP řetězu v zásobníku	20
3.2.3. Pohon a vedení HP řetězu	20
3.3. Výměna nástroje	22
3.3.1. Manipulátor	26
3.3.2. Úchopné čelisti manipulátoru.....	26
3.4. Upínací kužele nástrojů.....	28
3.4.1. ISO 50	28
3.4.2. MAS BT 50	28
3.4.3. CAT 50	29
3.4.4. HSK 100	30
3.5. Kontrola a čištění nástrojů	30
3.5.1. Kontrola nástroje.....	31
3.5.2. Čištění nástroje	32
3.6. Shrnutí.....	32
4. Návrh řetězového zásobníku.....	33
4.1. Návrh tvaru řetězu	33
4.1.1. Volba řetězu	33



4.1.2.	Návrh hnacího a vodícího kola	35
4.1.3.	Návrh uspořádání řetězu v zásobníku	37
4.2.	Návrh pohonu	41
4.2.1.	Dimenzování pohonu	41
4.2.2.	Montáž pohonu	44
4.2.3.	Volba převodovky	44
4.2.4.	Volba servomotoru	45
4.3.	Návrh nosného rámu zásobníku	45
4.3.1.	Sestava pohonu	46
4.3.2.	Uložení vodících kol	46
4.3.3.	Vedení řetězu	47
4.3.4.	Napínání řetězu	48
4.4.	Vizualizace řetězového zásobníku	48
5.	Návrh manipulátoru	50
5.1.	Návrh kinematických pohybů	50
5.1.1.	Varianta A3 – 2T2R pohyby	50
5.1.2.	Varianta B3 – 1T2R pohyby	51
5.1.3.	Rozbor kolize vysouvání nástroje	51
5.1.4.	Shrnutí	52
5.2.	Konstrukční návrh - varianta A4	52
5.2.1.	Schématický návrh manipulátoru	53
5.2.2.	Shrnutí	55
5.3.	Konstrukční návrh – varianta B4	55
5.3.1.	Vyosení osy rotace C	55
5.3.2.	Dimenzování pohonů	56
5.3.3.	Vizualizace konstrukce	61
5.4.	Návrh úchopné ruky	66
5.5.	Rozbor pohybů dílčích komponent	69
5.6.	Bezpečnostní a řídicí prvky manipulátoru	70
5.7.	Návrh přívodu energií k HM	72
5.8.	Pracovní cyklus manipulátoru	73
6.	Návrh přípravné pozice	77
6.1.	Měření nástroje	77
6.2.	Vážení nástroje	77
6.3.	Čištění nástroje	78
6.4.	Konstrukční návrh mezipolohy	78
6.5.	Zobrazení AVN	80



7.	Výpočtová část	81
7.1.	Kontrola řetězového kola	81
7.2.	Kontrola uložení vodících kol	82
7.2.1.	Kontrola ložisek	82
7.2.2.	Kontrola šroubů.....	83
7.3.	Kontrola uložení manipulátoru	84
8.	Závěr.....	86
9.	Seznamy	89
9.1.	Zdroje	89
9.2.	Seznam obrázků	92
9.3.	Seznam tabulek	94
9.4.	Seznam použitého softwaru	95
9.5.	Seznam příloh.....	95
9.5.1.	Textové přílohy.....	95
9.5.2.	Výkresová dokumentace	95
9.5.3.	Elektronické přílohy na CD	96



Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky SI	Název
A	[m]	Vnitřní průměr lůžka řetězu pro nástrojový kužel
$a_{\ddot{r}}$	[ms ⁻²]	Zrychlení řetězu
$a_{pohonu_{max_1}}$	[m]	Maximální čtvercový půdorys pohonu
$a_{pohonu_{max_2}}$	[m]	Maximální čtvercový půdorys pohonu
B	[m]	Vnější průměr osazení lůžka řetězu
$b_{\ddot{r}}$	[m]	Šířka zubu
C_0	[N]	Základní statická únosnost
C	[m]	Vnější průměr lůžka řetězu
C_D	[N]	Základní dynamická únosnost
D	[m]	Vnitřní průměr lůžka řetězu pro stopku nástrojového držáku
d_{HM}	[m]	Průměr pístní tyče
D_{HM}	[m]	Průměr pístu
D_1	[m]	Průměr vodícího kola
D_2	[m]	Průměr vodícího kola
d_{h_1}	[m]	Průměr hlavové kružnice řetězového kola
d_{h_2}	[m]	Průměr hlavové kružnice řetězového kola
d_{p_1}	[m]	Průměr roztečné kružnice řetězového kola
d_{p_2}	[m]	Průměr roztečné kružnice řetězového kola
$d_{\dot{s}_3}$	[m]	Průměr těla šroubu
$d_{n_{max_1}}$	[m]	Maximální průměr nástroje při všech obsazených pozicích
$d_{n_{max_2}}$	[m]	Maximální průměr nástroje při vynechání sudých pozic
$d_{n_{max_3}}$	[m]	Maximální průměr nástroje při vynechání sudých pozic
$d_{pohonu_{max_1}}$	[m]	Maximální průměr pohonu
$d_{pohonu_{max_2}}$	[m]	Maximální průměr pohonu
$d_{R_{min_1}}$	[m]	Minimální průměr roztečné kružnice vodícího kola
$d_{R_{min_2}}$	[m]	Minimální průměr roztečné kružnice vodícího kola
$d_{R_{min_3}}$	[m]	Minimální průměr roztečné kružnice vodícího kola
e	[-]	Výpočtový součinitel
f	[-]	Součinitel smykového tření vodících lišt
F_a	[N]	Axiální síla v ložisku
F_r	[N]	Radiální síla v ložisku
F_V	[N]	Síla potřebná k vytržení nástroje z lůžka řetězu
F_{HMZ}	[N]	Síla HM při zasouvání pístnice



Symbol	Jednotky SI	Název
$F_{\dot{r}_C}$	[N]	Celková síla v řetězu
$F_{X_{Celk}}$	[N]	Celková síla působící na HM v ose X
$F_{\dot{r}_1}$	[N]	Síla v řetězu část 1
$F_{\dot{r}_2}$	[N]	Síla v řetězu část 2
$F_{\dot{r}_3}$	[N]	Síla v řetězu část 3
$F_{\dot{r}_4}$	[N]	Síla v řetězu část 4
$F_{\dot{r}_5}$	[N]	Síla v řetězu část 5
$F_{\dot{r}_6}$	[N]	Síla v řetězu část 6
$F_{\dot{r}_7}$	[N]	Síla v řetězu část 7
g	$[ms^{-2}]$	Tíhové zrychlení
H	[m]	Výška spojovací desky řetězu
h_p	[m]	Délka paty zubu
i_c	[-]	Převod cykloidní převodovky
i_{pA}	[-]	Převodový poměr ozubeného soukolí
i_{pC}	[-]	Převodový stupeň planetové převodovky
J_{T_a}	$[kg\ m^2]$	Moment setrvačnosti
J_{T_b}	$[kg\ m^2]$	Moment setrvačnosti
J_{T_c}	$[kg\ m^2]$	Moment setrvačnosti
k	[-]	bezpečnost
L	[m]	Délka článku řetězu
l_C	[m]	Celková délka řetězu
l_p	[m]	Výška paty zubu
l_1	[m]	Délka řetězu část 1
l_2	[m]	Délka řetězu část 2
l_3	[m]	Délka řetězu část 3
l_4	[m]	Délka řetězu část 4
l_5	[m]	Délka řetězu část 5
l_6	[m]	Délka řetězu část 6
l_7	[m]	Délka řetězu část 7
$l_{n_{max}}$	[m]	Maximální délka nástroje v zásobníku
m_C	[kg]	Celková hmotnost řetězu s nástroji
m_n	[kg]	Hmotnost nosiče vodícího kola
M_n	[Nm]	Moment od setrvačnosti nástrojů
M_{out}	[Nm]	Výstupní moment cykloidní převodovky při daných otáčkách
M_{C_A}	[Nm]	Moment působící na pohon manipulátoru osa A
M_{C_C}	[Nm]	Moment působící na pohon manipulátoru osa C



Symbol	Jednotky SI	Název
$M_{C_{120}}$	[Nm]	Moment působící na pohon řetězu s kapacitou 120 nástrojů
$M_{F\ddot{r}}$	[Nm]	Moment od celkové síly v řetězu
M_{jm_p}	[Nm]	Jmenovitý krouticí moment pohonu
$M_{k_{jm}}$	[Nm]	Jmenovitý krouticí moment motoru řetězu
M_{k_1}	[Nm]	Krouticí moment pohonu manipulátoru osa C
M_{k_2}	[Nm]	Krouticí moment pohonu manipulátoru osa A
M_{max_k}	[Nm]	Maximální moment servomotoru vůči převodovce
$m_{n_{max}}$	[kg]	Maximální hmotnost jednoho nástroje v zásobníku
m_{n_p}	[kg]	Průměrná hmotnost všech nástrojů v zásobníku
$m_{\ddot{r}_k}$	[kg]	Hmotnost řetězového kola
$M_{\ddot{r}_k}$	[Nm]	Moment od setrvačnosti řetězového kola
$M_{\ddot{r}_1}$	[Nm]	Moment od řetězu část 1
m_{v_k}	[kg]	Hmotnost vodícího kola
M_{v_k}	[Nm]	Moment od setrvačnosti vodících kol
$M_{k_{jm_A}}$	[Nm]	Jmenovitý krouticí moment motoru manipulátoru osa A
$M_{k_{jm_C}}$	[Nm]	Jmenovitý krouticí moment motoru manipulátoru osa C
$M_{k_{n_A}}$	[Nm]	Krouticí moment motoru manipulátoru při daných ot. osa A
$M_{k_{n_C}}$	[Nm]	Krouticí moment motoru manipulátoru při daných ot. osa C
$M_{\ddot{r}_{kC}}$	[Nm]	Celkový moment působící na řetězové kolo
N	[-]	Počet zubů řetězového kola
n_a	[Hz]	Vstupní otáčky manipulátoru osa A
n_c	[Hz]	Vstupní otáčky manipulátoru osa C
n_{jm}	[Hz]	Jmenovité otáčky motoru řetězu
n_L	[-]	Počet ložisek
n_{ξ}	[-]	Počet šroubů
n_z	[-]	Počet zubů v záběru
N_1	[-]	Počet pozic v zásobníku
N_2	[-]	Počet pozic v zásobníku
N_3	[-]	Počet pozic v zásobníku
N_{10}	[-]	Počet zubů řetězového kola
N_{12}	[-]	Počet zubů řetězového kola
n_{jm_A}	[Hz]	Jmenovité otáčky motoru manipulátoru osa A
n_{jm_C}	[Hz]	Jmenovité otáčky motoru manipulátoru osa C
O	[m]	Vnitřní průměr článku řetězu
P	[m]	Rozteč článkového řetězu HP
P_D	[N]	Dynamické zatížení ložiska



Symbol	Jednotky SI	Název
p_{provoz}	[Pa]	Provozní tlak HM
P_0	[N]	Statické zatížení ložiska
R	[m]	Vnější průměr článku řetězu
r_A	[m]	Délka ramene manipulátoru osa A
r_C	[m]	Délka ramene manipulátoru osa C
R_e	[Pa]	Mez kluzu materiálu
r_{p_1}	[m]	Poloměr roztečné kružnice
s_D	[-]	Dynamická bezpečnost ložiska
s_0	[-]	Statická bezpečnost ložiska
S_1	[m ²]	Plocha pístu
S_2	[m ²]	Plocha pístní tyče
T	[m]	Tloušťka spojovací desky
t_{m_A}	[s]	Doba otáčení manipulátoru osa A
t_{m_C}	[s]	Doba otáčení manipulátoru osa C
W	[m]	Vnitřní rozměr řetězu mezi deskami
W_0	[m ³]	Průřezový modul v ohybu
Y	[-]	Výpočtový součinitel
Y_0	[-]	Výpočtový součinitel
Y_2	[-]	Výpočtový součinitel
Δ_m	[-]	Rozdíl hmotností nástroje při vážení
ε_A	[rad s ⁻²]	Úhlové zrychlení manipulátoru osa A
ε_C	[rad s ⁻²]	Úhlové zrychlení manipulátoru osa C
ε_r	[rad s ⁻²]	Úhlové zrychlení na roztečné kružnici
$\varepsilon_{\dot{r}_k}$	[rad s ⁻²]	Úhlové zrychlení řetězového kola
ε_{v_k}	[rad s ⁻²]	Úhlové zrychlení vodícího kola
η_{c_p}	[-]	Účinnost cykloidní převodovky
$\eta_{\dot{r}_p}$	[-]	Účinnost řetězového pohonu
σ_D	[Pa]	Dovolené napětí v ohybu
$\sigma_{o\ddot{r}}$	[Pa]	Ohybové napětí paty zubu řetězového kola
τ	[Pa]	Smykové napětí
τ_D	[Pa]	Dovolené napětí ve smyku
φ_A	[rad]	Úhel otáčení manipulátoru osa A
φ_C	[rad]	Úhel otáčení manipulátoru osa C



1. Úvod

Téma diplomové práce vzniklo za účelem návrhu nové automatizované výměny nástrojů, dále jen AVN, pro firmu TAJMAC-ZPS, a.s. Jedná se o náhradu stávajícího řetězového zásobníku s řetězem typu SK (tzv. kačenky) řetězem typu HP na horizontálních strojích H 630, H 800 a H 1000. Současné řešení AVN neumožňuje vrácení nástroje z vřetena na stejnou pozici v zásobníku, což obnáší přečíslování polohy nástroje při každém vrácení na novou pozici v řetězu. Do současné AVN bude přidána mezipoloha – přípravné místo, díky kterému bude možné vracet nástroje na stejné pozice v zásobníku.

Práce se bude zabývat konstrukčním návrhem řetězového zásobníku s ohledem na požadavky zadávající firmy. Standardním vybavením strojů H 630, H 800 a H 1000 bude zásobník s kapacitou 60 nástrojů, v nabídce firmy však bude i provedení strojů se zásobníky na 90 či 120 nástrojů.

S návrhem AVN také souvisí návrh řešení dopravy nástroje ze zásobníku do vřetena. Bude použit systém výměny „zásobník – manipulátor – mezipoloha – výměník – vřeteno“. Manipulátor vysune nástroj ze zásobníku a zasune jej do mezipolohy, odkud si ho převezme výměník a zasune nástroj do vřetena. Výměník však nebude předmětem této práce, neboť už byl firmou navržen a zkonstruován. Práce bude obsahovat rešerši na vhodné poskládání sledů pohybů nástroje a následně návrh manipulátoru.

Firma klade důraz na rychlost a spolehlivost AVN, s čímž je spojena řada podúloh, které nesmí být opomenuty. Nástrojový kužel by měl být během výměny očištěn, nástroj pak zvážen a zkontrolován. Bude provedena rešerše na kontrolní a měřicí senzory a systémy.

Následně zvolená varianta AVN bude vymodelována a bude vytvořen výkres sestavy. Práce bude obsahovat návrhové a kontrolní výpočty vybraných komponent.



2. TAJMAC-ZPS, a.s.

2.1. Uvedení firmy

TAJMAC-ZPS, a.s. je česká firma zaměřená především na vývoj, výrobu a prodej obráběcích strojů po celém světě s dlouholetou tradicí.

Zkratka ZPS v názvu firmy znamená Závody Přesného Strojírenství.



2.2. Požadavky firmy

2.2.1. Řetěz zásobníku

- Náhon řetězu – synchronní servomotor s převodovkou
- Typ řetězu: HP řetěz
- Kapacita řetězu: $N_1 = 60$ pozic
 $N_2 = 90$ pozic
 $N_3 = 120$ pozic

2.2.2. Nástroje

- Upínací kužel: ISO 50 BIG PLUS / MAS BT 50 / CAT 50 / HSK 100
- Maximální hmotnost: $m_{n_{max}} = 30$ kg / 1 nástroj
- Průměrná hmotnost: $m_{n_p} = 12$ kg / každý nástroj
- Maximální délka: $l_{n_{max}} = 650$ mm
- Maximální průměr: $d_{n_{max_1}} = 125$ mm / všechny pozice obsazeny
 $d_{n_{max_2}} = 250$ mm / při vynechání sudých pozic

2.2.3. Konstrukce zásobníku

- Modulární řešení
- Dodržet dané zástavbové rozměry
- Montáž k rámu stroje
- Odlitek z šedé litiny

2.2.4. Výměna nástroje

- Hydraulický nebo elektrický pohon pro manipulátor
- V mezipoloze nástroj očistit a zkontrolovat

2.2.5. Odbyt strojů

- Odbyt 20 kusů strojů / 1 rok

2.3. Horizontální obráběcí centra

Řetězový zásobník je navrhován pro horizontální obráběcí centra H 630, H 800 a H 1000, která budou inovovaná včetně AVN.

2.3.1. H 630

„H 630 je horizontální frézovací centrum vybavené výměníkem palet se dvěma paletami a zásobníkem nástrojů s automatickou výměnou nástrojů. Stroj je určen pro produktivní komplexní obrábění forem, zápusťek a součástí plochého nebo skříňového tvaru z oceli, šedé litiny a slitin lehkých kovů upnutých na pracovní paletě. Umožňuje provádět frézovací operace ve třech na sebe kolmých souřadnicových osách X, Y, Z. Otočný stůl (osa B) umožňuje obrábění z více stran.“¹



Obr. 2 - horizontální obráběcí centrum H 630 [2]

¹ Horizontální obráběcí centra | TAJMAC-ZPS, a.s. TAJMAC-ZPS, a.s. [online]. [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: <http://www.tajmac-zps.cz/cs/horizontalni-obrabeci-centra>

2.3.2. H 800

„Produkční horizontální obráběcí centrum H 800 je využitelné pro celou škálu technologií od silového po vysokorychlostní obrábění. Koncepte stroje je v provedení lože do „T“ s příčně posuvným stojanem (osa X), po kterém se ve svislém směru pohybuje vřeteník (osa Y). Pohyb v ose Z vykonává otočný stůl (osa B) s obrobkem. H 800 FIVE AXIS je produkční horizontální obráběcí centrum v pětiosém provedení s dvouosým naklápěcím CNC stolem a souřadnicovým zásobníkem nástrojů. Stůl je otočně sklopný s kruhovou upínací plochou.“²



Obr. 3 - horizontální obráběcí centrum H 800 [2]

2.3.3. H 1000

„Produkční horizontální obráběcí centrum H 1000 je využitelné pro celou škálu technologií od silového po vysokorychlostní obrábění. Vyznačuje se vynikající charakteristikou tlumení a absorpcí mechanických vibrací, maximální tuhostí, dynamickou a tepelnou stabilitou. Koncepte stroje je v provedení lože do „T“ s příčně posuvným stojanem (osa X), po kterém se ve svislém směru pohybuje vřeteník (osa Y). Pohyb v ose Z vykonává otočný stůl (osa B) s obrobkem.“³

^{2,3} Horizontální obráběcí centra | TAJMAC-ZPS, a.s. TAJMAC-ZPS, a.s. [online]. [cit. 2018-01-20].
Dostupné z: <http://www.tajmac-zps.cz/cs/horizontalni-obrabeci-centra>



Obr. 4 - horizontální obráběcí centrum H 1000 [2]

2.3.4. Parametry horizontálních strojů

V Tab. 1 jsou uvedeny základní parametry horizontálních strojů H 630, H 800 a H 1000.

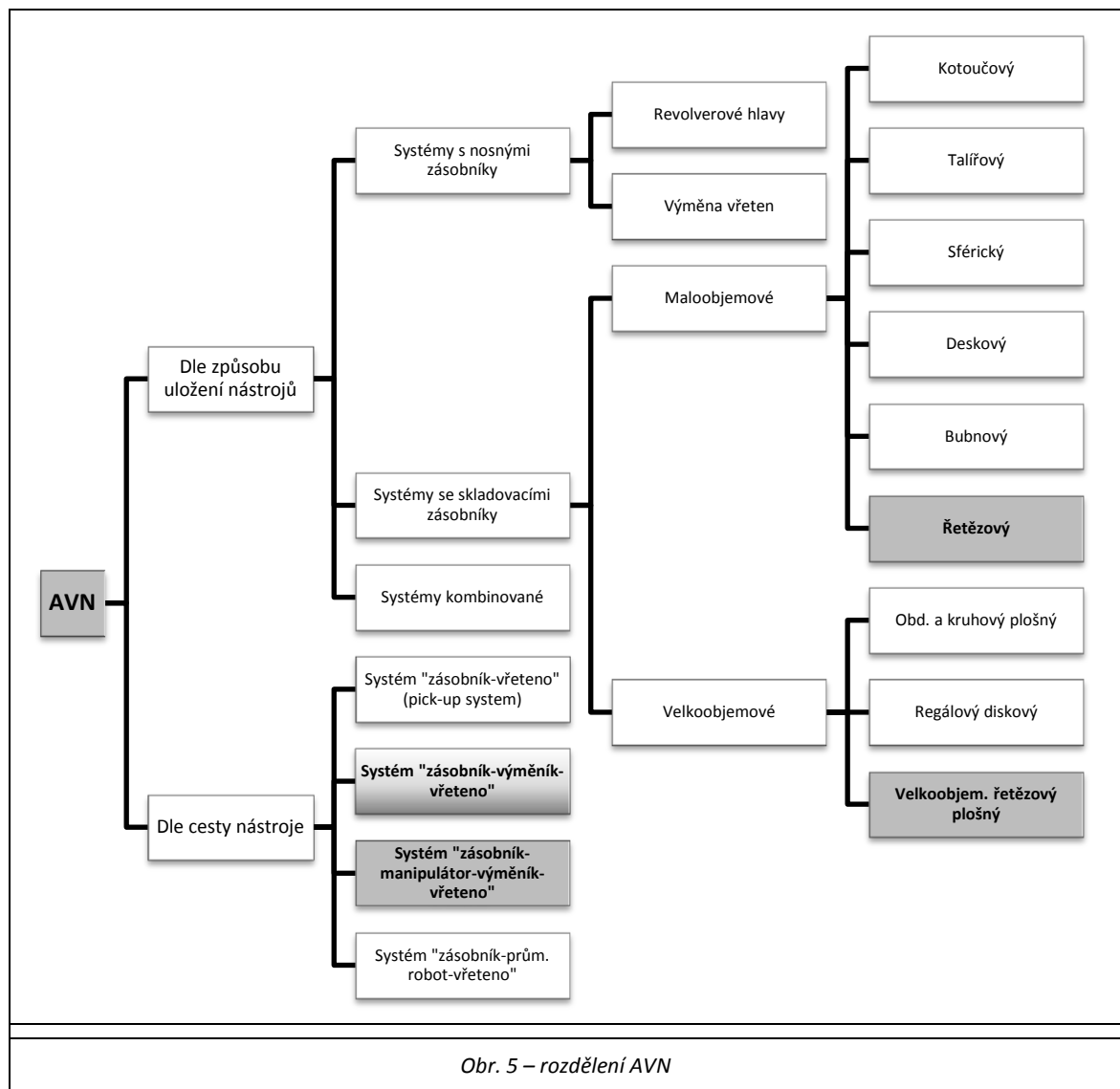
Tab. 1 - parametry horizontálních strojů [2]

TYP STROJE	H 630	H 800	H 1000	
Pracovní pojezd				Jednotky
Osa X (stožan)	750	1 000	1 400	[mm]
Osa Y (vřeteník)	700	1 050	1 050	[mm]
Osa Z (stůl)	770	1 200	1 200	[mm]
Rychloposuv	50	50	50	[m min ⁻¹]
Zrychlení	5	5	5	[m s ⁻²]
Otočný stůl s paletou				Jednotky
Rozměry palety	630 x 630	800 x 800	1 000 x 1 000	[mm]
Rozsah otáčení	360	360	360	[deg]
Max. zatížení palety	800	2 500	2 500	[kg]
Max. rozměr obrobku (průměr x výška)	φ 750 x 800	φ 1 100 x 1 300	φ 1 400 x 1 300	[mm]
Vnější rozměry stroje				Jednotky
Délka	5 800	8 025	8 125	[mm]
Šířka	3 140	4 102	4 502	[mm]
Výška	3 260	3 616	3 616	[mm]

3. Automatická výměna nástrojů

Jde o automatizovaný proces, při němž se během obrábění mění jednotlivé nástroje podle technologických požadavků bez zásahu operátora. AVN výrazně zvyšuje produktivitu stroje zkrácením vedlejších časů. V současné době je AVN nedílnou součástí každého číslicově řízeného obráběcího stroje.

3.1. Dělení AVN



Z Obr. 5 vyplývá, že AVN se rozpadá do mnoha variant, které se od sebe konstrukčně zásadně liší. Z tohoto důvodu se práce dále bude podrobněji zabývat pouze řetězovými zásobníky se systémem výměny nástroje „zásobník-manipulátor-výměník-vřeteno“.

Současná AVN je řešena systémem výměny „zásobník-výměník-vřeteno“.

3.2. Řetězový zásobník

Řetězový zásobník slouží k uskladnění nástrojů nezbytných pro zajištění nepřetržitého obrábění daného dílce s ohledem na technologii obrábění i opotřebení jednotlivých nástrojů.

Abychom minimalizovali vedlejší časy výměny nástroje, je snaha umísťovat zásobníky co nejbližší pozici, do které najíždí vřeteno při výměně nástroje. Zásobník je pak montován přímo k nosnému rámu stroje nebo je zásobník řešen jako samostatný celek, který není přímo spojen se strojem. Na obráběcích centrech H 630, H 800 a H 1000 bude zásobník namontován přímo ke stroji. Toto řešení usnadní práci při předávání strojů zákazníkovi, protože je zásobník pevně spojen se strojem a není nutné po předání znovu seřizovat zásobník vůči vřetenu.



Jednotlivé nástroje jsou uloženy odděleně v lůžkách řetězu a to v horizontální nebo vertikální poloze. Orientace nástroje v zásobníku nemusí souhlasit s kinematickým uspořádáním osy vřetena. Nejčastějším řešením jsou zásobníky s horizontálním uspořádáním nástrojů. Horizontálně orientované nástroje budou i v tomto navrhovaném zásobníku.

3.2.1. Typy řetězů

U řetězového zásobníku nástrojů se používají dva odlišné typy řetězů, které se nabízejí ve více provedeních vhodných pro konkrétní případy použití.

Válečkový řetěz

Válečkový řetěz se skládá z unašečů a lůžek nebo držáků nástrojů. Jednotlivá lůžka nejsou navzájem spojena a dochází ke změně osové rozteče u vnějšího či vnitřního oblouku, kde se lůžka od sebe oddalují či přibližují. Lůžka mohou být pevná nebo výklopná. Orientace lůžek může být horizontální i vertikální. Označení řetězu je obecně SK (tzv. kačenky).

	
<i>Obr. 6 – SK řetěz [5]</i>	<i>Obr. 7 – SK řetěz s vyjímatelnými lůžky [5]</i>
	
<i>Obr. 8 – SK řetěz s výklopnými lůžky [5]</i>	<i>Obr. 9 – SK řetěz s vertikálním uspořádáním [5]</i>

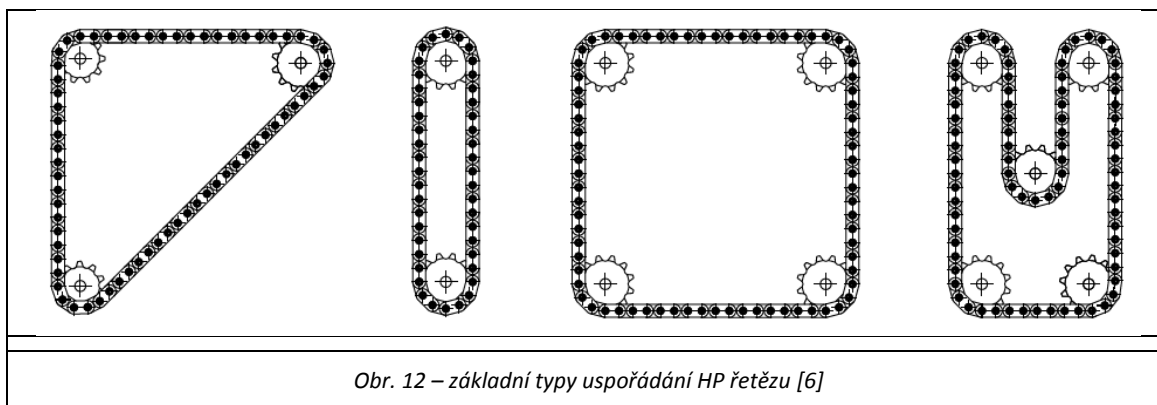
Článekový řetěz

Článekový řetěz je složen z lůžek, která jsou spojena dvěma deskami zajištěnými pojistnými kroužky. Osová vzdálenost lůžek je vždy konstantní. Označení řetězu je obecně HP.



3.2.2. Tvar HP řetězu v zásobníku

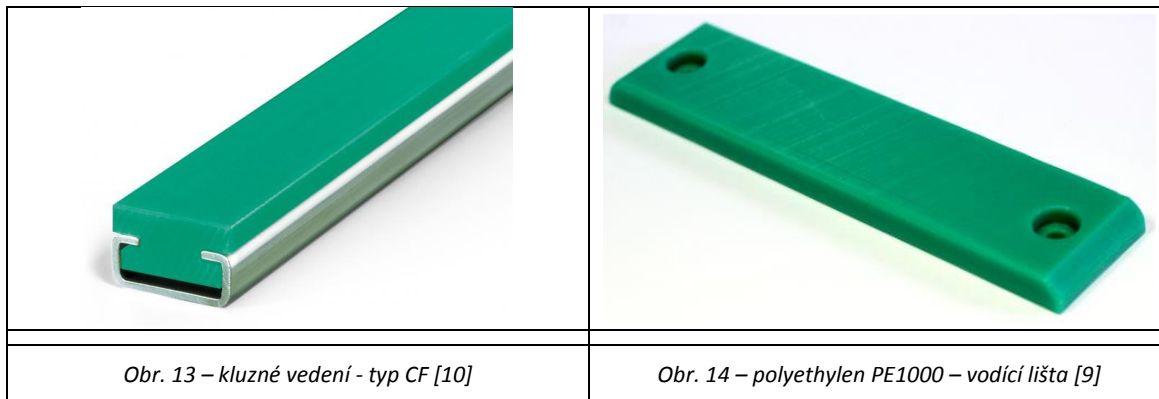
Možností, jak uspořádat HP řetěz v zásobníku, je mnoho na rozdíl od SK řetězu. Článekový řetěz nemá díky konstantní osově rozteči lůžek žádné omezení. Při navrhování minimálního průměru oblouku se vychází z maximálního průměru nástrojů a velikosti roztečné kružnice hnacího řetězového kola. Možné varianty uspořádání HP řetězu jsou zobrazeny na Obr. 12.



3.2.3. Pohon a vedení HP řetězu

Při výměně nástroje je důležité, aby řetěz s nástrojem dojel vždy na pozici výměny nástroje, odkud si nástroj převezme dále manipulátor. Z toho plyne požadavek na přesné polohové řízení pohonu. Dále musí být zajištěn plynulý rozjezd a zastavení řetězu bez rázů a chvění. Samotný chod řetězu pak může být realizován konstantním rovnoměrným pohybem nebo přerušovaným chodem s krokem o velikosti rozteče dvou sousedních lůžek.

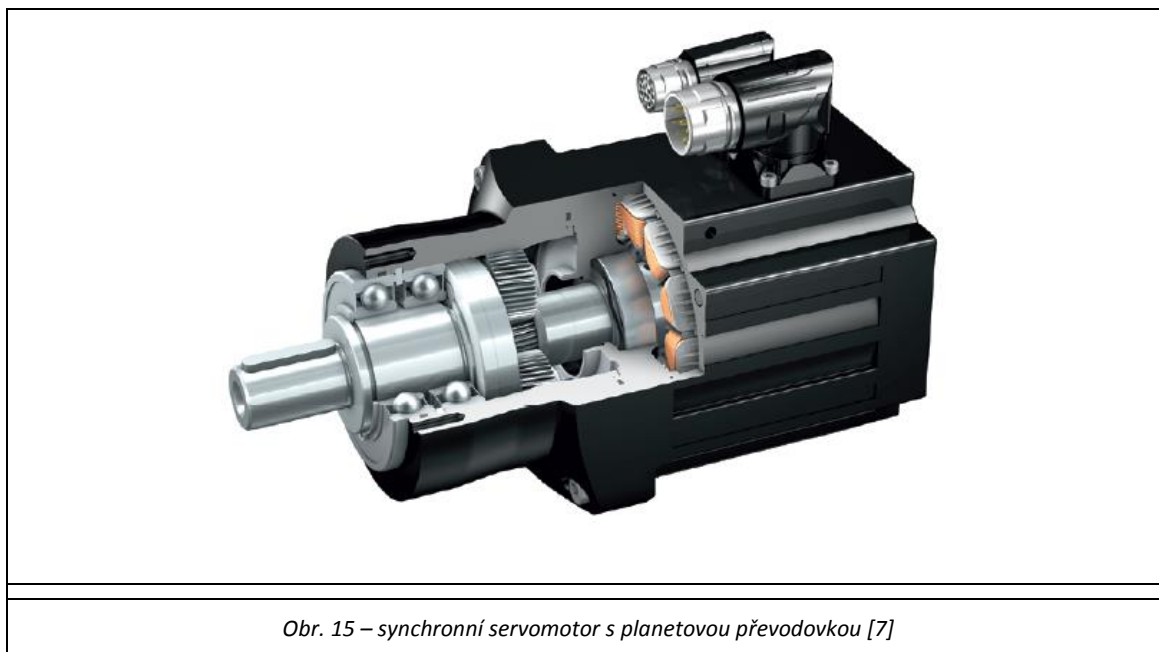
Vedení řetězu je zajištěno vodícími koly uloženými v nosném rámu zásobníku. Řetěz je nutné při montáži napnout a zajistit možnost napínání i během provozu. K tomu slouží jedno z vodících kol nebo to může být v některých případech přímo i hnací řetězové kolo. Pro tišší a plynulejší chod je řetěz veden také vodícími lištami v horizontálních i vertikálních polohách viz Obr. 13 a Obr. 14.



Synchronní servomotor s převodkou

Synchronní servomotor je kompaktní spolehlivý pohon používaný v mnoha aplikacích, kde je požadována přesná polohová regulace s vysokou dynamikou, jako je například zajištění translačních pohybů u obráběcích strojů nebo rotačních pohybů u průmyslových robotů. Řízení motoru je zajištěno přes uzavřenou zpětnovazební smyčku. Motor je vybaven snímačem polohy, který zaznamenává aktuální polohu, která je porovnávána s žádanou hodnotou a tím je dosažena vysoká přesnost. Motor je tvořen statorovým třífázovým vinutím a permanentními magnety na rotoru. Tato konstrukce umožňuje motor krátkodobě mnohonásobně přetížít bez poškození motoru. Napájení motoru je zajištěno přes frekvenční měnič, který umožňuje plynule měnit otáčky motoru.

Součástí pohonu je také převodovka s vysokým stupněm převodu dopomala. Vhodnými převodovkami jsou planetová, harmonická nebo cykloidní. Tyto převodovky mají vysokou tuhost a malé zástavbové rozměry především v axiálním směru. Lze také použít šnekovou převodovku, která má též vysoký převodový poměr a dobré mechanické vlastnosti, ale její nevýhodou je větší nárok na zástavbový prostor.

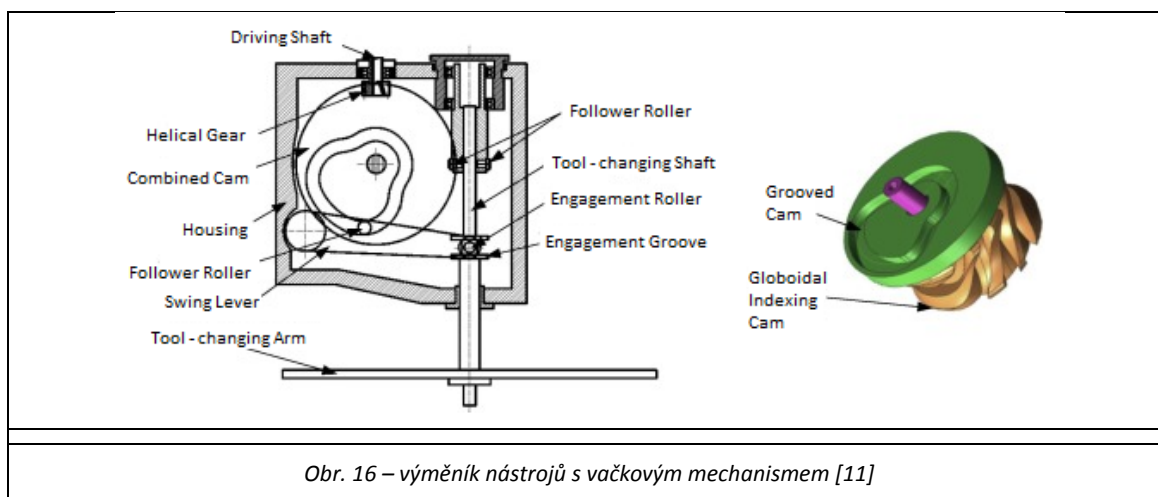


Asynchronní motor s globoidní vačkou

Asynchronní motor vyniká svou jednoduchou a robustní konstrukcí za nízké pořizovací náklady, proto je používán ve většině pohonů pracovních strojů tam, kde není nutná plynulá regulace otáček. Konstrukce motoru je tvořena statorovým vinutím a kotvou nakrátko nebo kroužkovou kotvou. Motor je napájen jednofázovým nebo třífázovým napětím ze sítě.

Asynchronní motor lze použít i tam, kde je nutné dodržet přesné polohování použitím globoidní vačky. Tyto pohony se používají u jednoúčelových manipulátorů v aplikacích, kde není potřeba pružného výrobního programu. Příkladem použití je například výměník nástrojů, který koná jednoduché opakující se navazující pohyby neustále dokola při každé výměně nástroje, viz Obr. 16.

Pro pohon řetězového zásobníku je nutné navrhnout globoidní vačku takovou, aby se při jedné otáčce řetěz posunul o rozteč dvou sousedních lůžek. Nevýhodou tohoto uspořádání pohonu je složitý návrh a výroba globoidních vaček, ale při velkosériové výrobě výhody převažují oproti synchronním servomotorům díky své dlouhé životnosti a bezúdržbovému chodu.

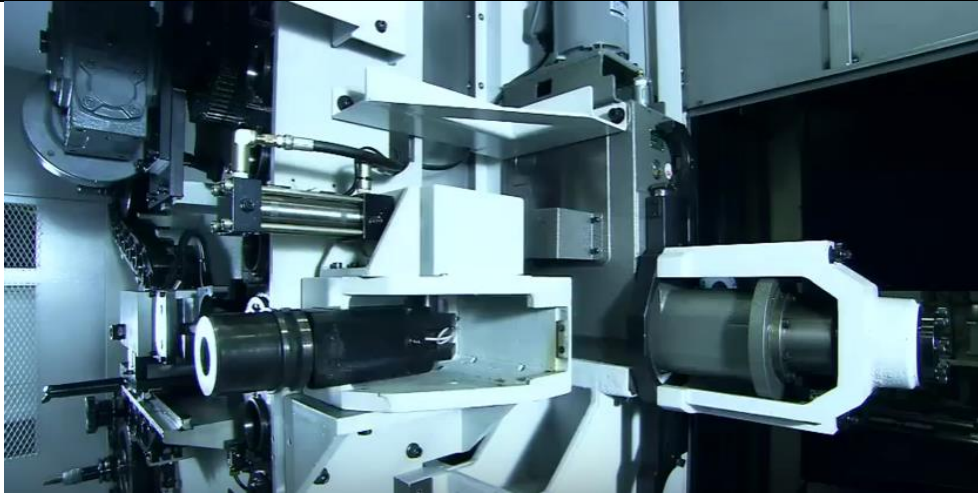


3.3. Výměna nástroje

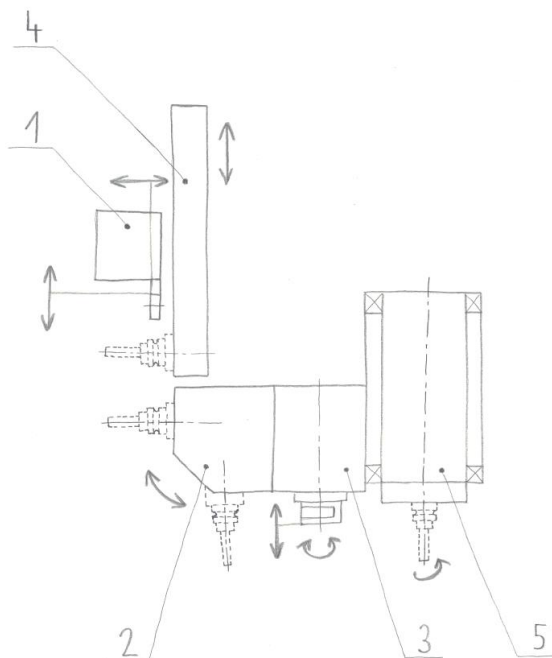
Nástroj lze ze zásobníku do vřetena obráběcího stroje přemístit několika způsoby, viz kapitola 3.1. Z konstrukce obráběcích strojů H 630, H 800 a H 1000 a vzájemné polohy řetězového zásobníku a vřetena ale vychází jako nejlepší možná varianta pouze systém výměny „zásobník-manipulátor-výměník-vřeteno“. Na Obr. 17 – Obr. 23 jsou znázorněny možné varianty, jakým způsobem lze nástroj ze zásobníku do vřetena přemístit s použitím manipulátoru a výměníku, které se běžně vyskytují u českých i světových výrobců obráběcích strojů.

Předmětem této práce je navrhnout vhodný manipulátor, který vyjme nástroj ze zásobníku a zasune jej do mezipolohy, odkud si nástroj převezme výměník a nástroj zasune do vřetena. Návrh výměníku není součástí této práce, protože už byl zadávající firmou navržen a zkonstruován.

Varianta A1 – horizontální stroj



Obr. 17 – AVN s horizontální osou vřetena [12]



Obr. 18 – kinematické uspořádání pohybů AVN

- 1 – translační manipulátor
- 2 – rotační mezipoloha
- 3 – výměník

- 4 – řetězový zásobník
- 5 – vřeteno

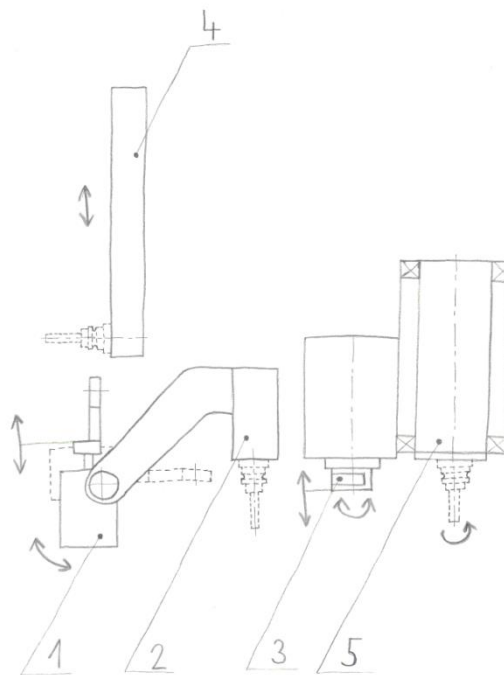
Jedná se o AVN s horizontální osou vřetena, kde je nástroj dopraven ze zásobníku do vřetena pomocí dvou manipulátorů a výměnné ruky.

Nástroj je z řetězového zásobníku 4) vysunut translačním manipulátorem 1) a zasunut do rotačního manipulátoru 2). Dále je nástroj výměníkem 3) zasunut do vřetena 5).

Varianta B1 – horizontální stroj



Obr. 19 – AVN s horizontální osou vřetena [13]



Obr. 20 – kinematické uspořádání pohybů AVN

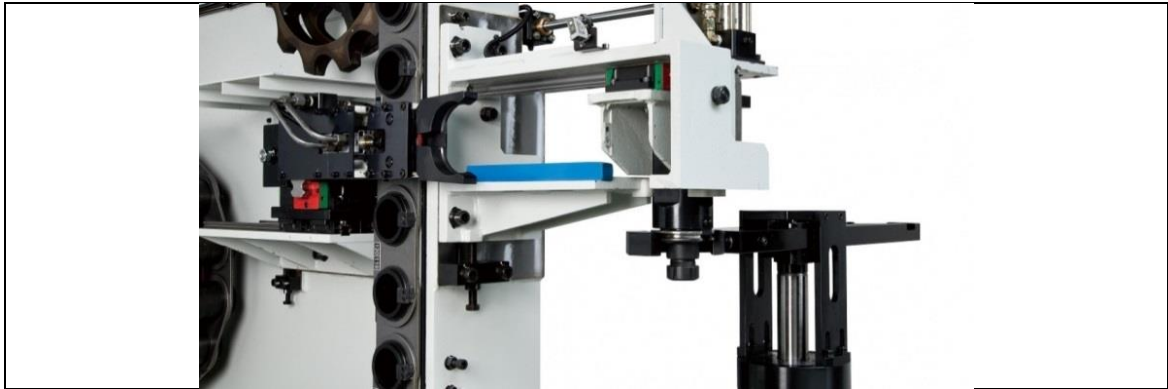
1 – rotačně-translační manipulátor
2 – fixní mezipoloha
3 – výměník

4 – řetězový zásobník
5 – vřeteno

Jedná se o AVN s horizontální osou vřetena, kde je nástroj dopraven ze zásobníku do vřetena pomocí jednoho manipulátoru a výměnné ruky s mezipolohou.

Nástroj je z řetězového zásobníku 4) vysunut rotačně-translačním manipulátorem 1) a zasunut do fixní mezipolohy 2). Dále je nástroj výměníkem 3) zasunut do vřetena 5).

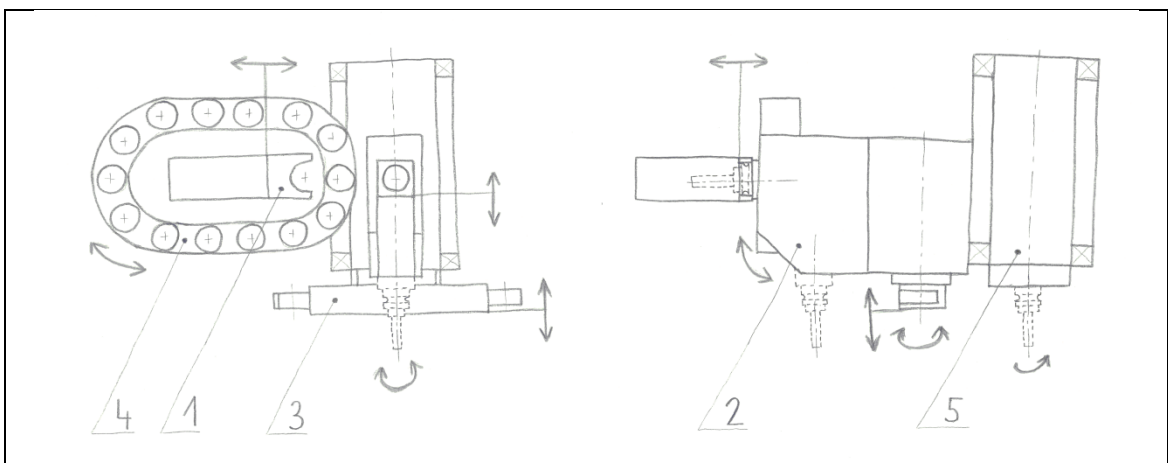
Varianta C1 – vertikální stroj



Obr. 21 – AVN s vertikální osou vřetena [16]



Obr. 22 – AVN s vertikální osou vřetena [14]



Obr. 23 – kinematické uspořádání pohybů AVN

1 – translační manipulátor
2 – rotační mezipoloha
3 – výměník

4 – řetězový zásobník
5 – vřeteno



Jedná se o AVN s vertikální osou vřetena, kde je nástroj dopraven ze zásobníku do vřetena pomocí dvou manipulátorů a výměnné ruky.

Nástroj je z řetězového zásobníku 4) vysunut translačním manipulátorem 1) a zasunut do rotačního manipulátoru 2). Dále je nástroj výměníkem 3) zasunut do vřetena 5).

3.3.1. Manipulátor

Manipulátor slouží k manipulaci s předměty pomocí skládání rotačních a translačních pohybů. V tomto případě jde o manipulaci s nástroji. Jedná se o jednoúčelový manipulátor s pevným programem. Pohon manipulátoru může být elektrický, hydraulický, pneumatický nebo kombinovaný. Při návrhu je nezbytné zajistit správné uchopení nástroje a jeho pevné zajištění po celou dobu manipulace i v případě výpadku proudu nebo jiné závady.

Elektrický pohon

Elektrické motory jsou vhodné pro rotační pohyby manipulátoru. Používají se synchronní servomotory nebo krokové motory podle nároků na přesnost polohování, rychlost a cenu. Pro translační pohyby se elektrické pohony příliš nehodí kvůli složité transformaci rotačního pohybu na translační. V některých případech však mohou elektrické pohony efektivně nahradit tekutinové pohony, kdy je použit vačkový mechanismus, který spojí více pohybů dohromady a zjednoduší se tak celý pohon manipulátoru. Tímto způsobem může být řešen například pohon výměníku, viz Obr. 16.

Hydraulický pohon

Hydraulické motory, dále jen HM, mají velké zastoupení v pohonech manipulátorů. Jejich hlavní výhodou je velký výkon vzhledem k zástavbovým rozměrům. Konstrukce HM je jednoduchá a spolehlivá. Možnost konání translačních i rotačních pohybů bez složité transformace. Nevýhodou HM je nižší účinnost oproti elektrickým pohonům, nutný hydraulický agregát a neekologický provoz.

Pneumatický pohon

Pneumatické motory, dále jen PM, jsou také často zastoupeny v pohonech manipulátorů. Předností PM oproti HM jsou velké pracovní rychlosti a čistota prostředí. Nevýhodou PM je menší síla, vysoké náklady na provoz a nižší účinnost oproti HM.

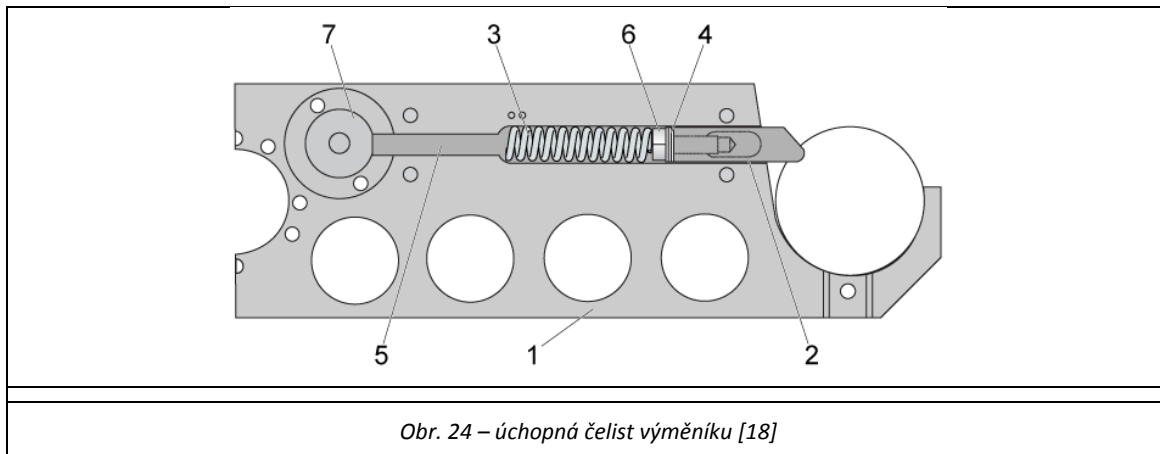
Kombinovaný pohon

Vhodnou kombinací elektrických a tekutinových pohonů lze v některých případech dosáhnout ideálního pohonu s požadovaným výkonem nebo snadným a přesným polohováním.

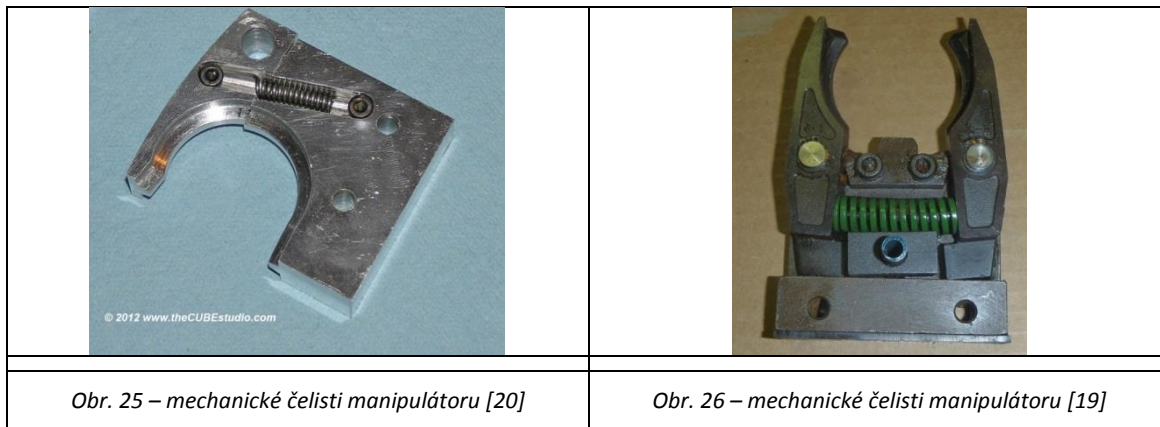
3.3.2. Úchopné čelisti manipulátoru

Čelisti manipulátoru pro manipulaci s nástroji mohou být mechanické nebo ovládané hydraulicky či pneumaticky. Tvar čelistí se odvíjí od tvaru upínacího kužele nástrojů, viz kapitola 3.4. Čelisti manipulátoru a výměníku se od sebe liší z důvodu odlišného pohybu,

konaného při uchopení nástroje. Manipulátor přijíždí k nástroji přímočarým pohybem, výměník nástroj uchopí při rotačním pohybu. Na Obr. 24 je řez ruky výměníku s mechanicky ovládanou aretací polohy nástroje během výměny nástroje. Aretační čep je možné ovládat také hydraulicky nebo pneumaticky. Na Obr. 25 a Obr. 26 jsou vidět možnosti řešení mechanických čelistí. Pro manipulaci s menšími nástroji (ISO 30 / MAS BT 40 / HSK 63) lze použít plastové mechanické čelisti, viz Obr. 27.



- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 1 – rameno výměníku | 5 – táhlo |
| 2 – aretace nástroje | 6 – zajišťovací matice |
| 3 – přítlačná pružina | 7 – mechanická vačka |
| 4 – vymezovací podložky | |



3.4. Upínací kužele nástrojů

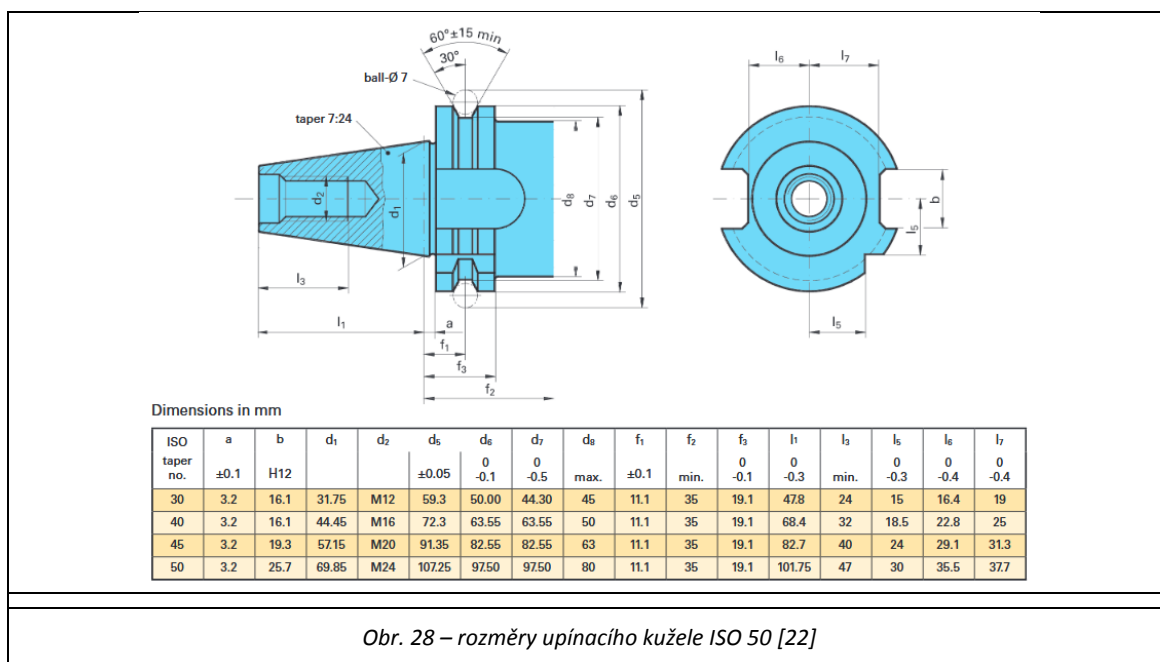
Existuje několik typů a velikostí upínacích kuželů, které se postupně vyvíjely s dobou a vzrůstajícími nároky na obrábění ve strojírenství. Tato práce se bude zabývat pouze kužely ISO 50 BIG PLUS / MAS BT 50 / CAT 50 / HSK 100. Horizontální obráběcí centra H 630, H 800 a H 1000 jsou vybavena jedním vřetenem bez možnosti výměny vřetenové hlavy, tedy každý stroj bude vybaven vždy pouze jedním typem upínacího kužele. Z tohoto důvodu nemusí být manipulátor vybaven univerzální úchopnou rukou, bude pouze konstrukčně uzpůsoben možné výměně jednotlivých typů úchopných rukou. Lůžka nástrojů v řetězu se budou pořizovat vždy pro konkrétní nástrojové rozhraní.

3.4.1. ISO 50

Tento typ kužele pochází z Evropy. Jde o starší typ, ale je stále hojně používán. Strmost tohoto kužele je 7:24. ISO kužel je označován také zkratkou SK. Nástroj je ve vřetení upnut za stopku držáku. Krouticí moment je přenášen přes kuželovou plochu.

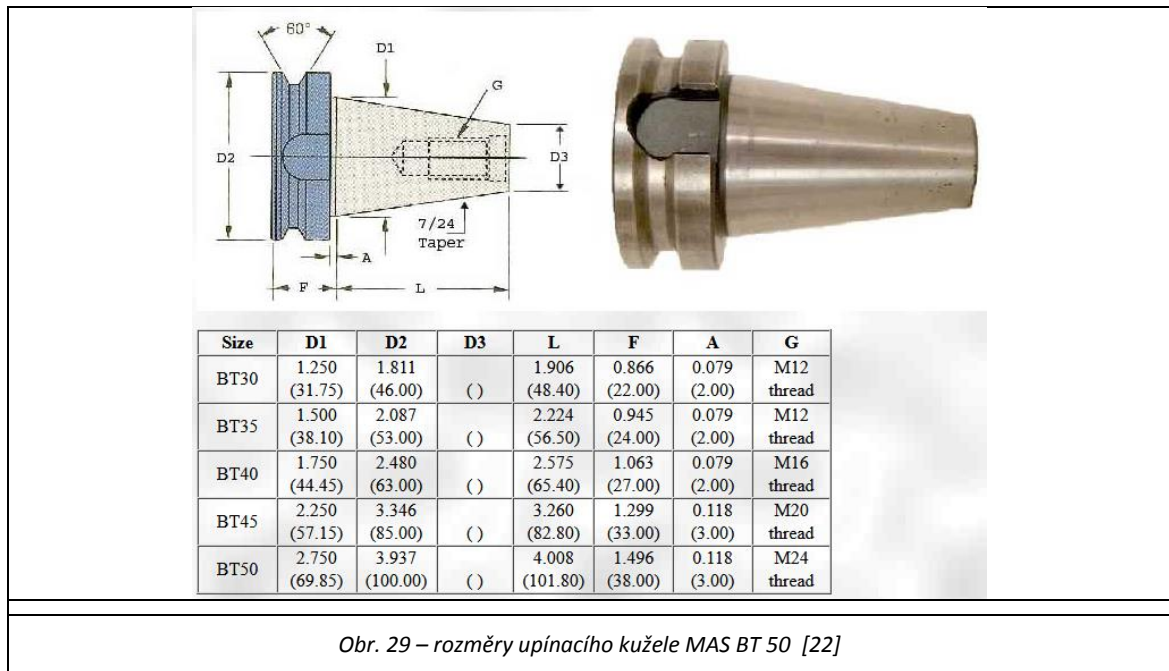
BIG PLUS

Jedná se o vylepšení standardních upínacích kuželů ISO / MAS BT a CAT tím, že se krouticí moment přenáší kromě tření na kuželové ploše, také přes čelní plochu vřetena, kde dosedá nástrojový držák.



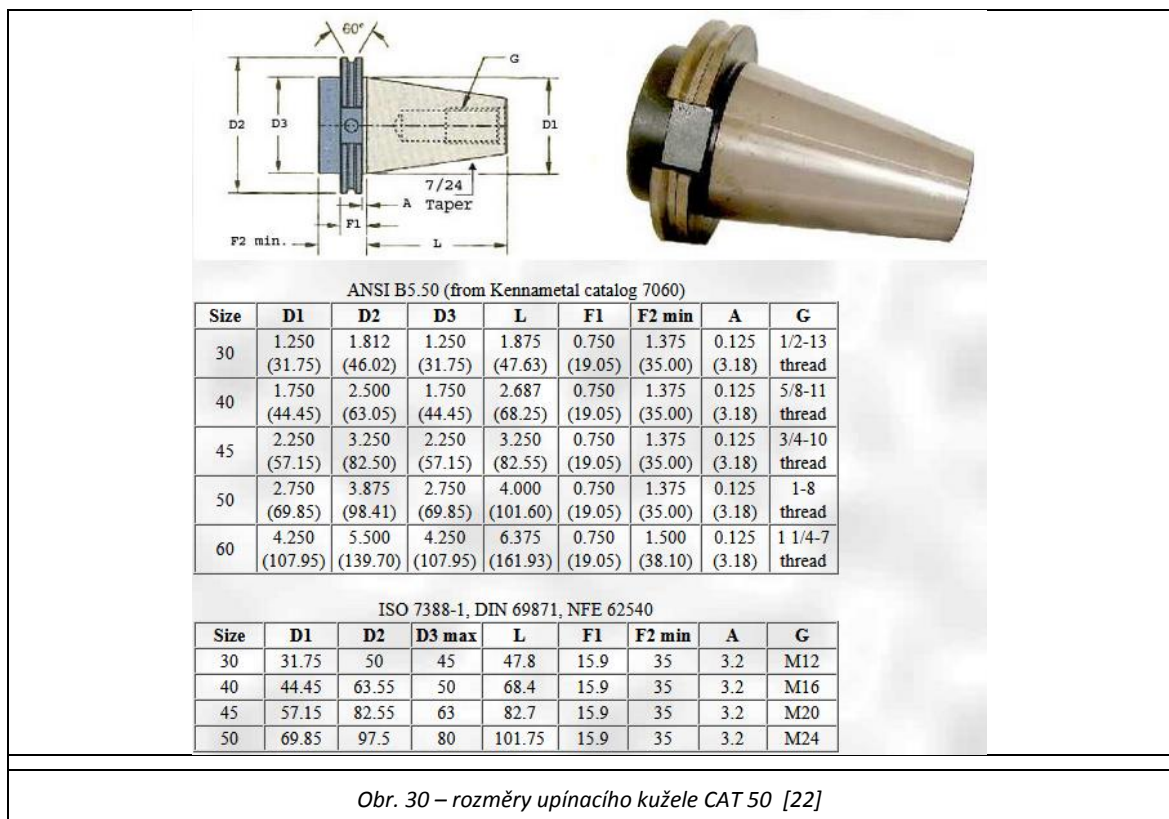
3.4.2. MAS BT 50

Držák MAS BT je velmi podobný držáku ISO. Byl vyvinut v Japonsku se strmostí kužele 7:24. Krouticí moment je přenášen přes kuželovou plochu. Stejně tak jako ISO držák není vhodný pro vysokorychlostní obrábění, tzv. HSC kvůli jejich vysoké hmotnosti a nízké tuhosti uložení. Upnutí ve vřetenu je pomocí stopky držáku.



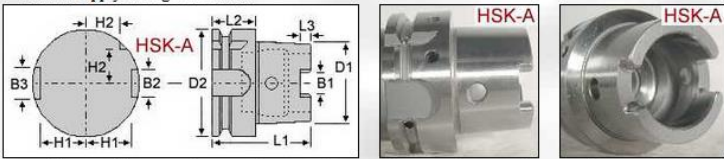
3.4.3. CAT 50

Držák CAT byl vyvinut v Americe a kvůli palcovým mírám není v Evropě příliš zastoupen. Tvarově i rozměrově je držák podobný typu ISO a MAS BT. Strmost kužele je 7:24. Upínání ve vřetení je za stopku držáku. Krouticí moment je přenášén přes kuželovou plochu. Tento držák také není vhodný pro HSC.



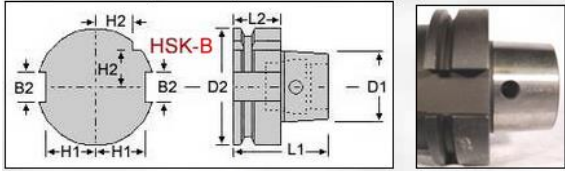
3.4.4. HSK 100

Držák HSK byl vyvinut v Německu a oproti předchozím držákům jde o dutý kužel se strmostí 1:10. Tento držák je ve vřetenu upevněn za vnitřní kuželovou plochu kleštinami a dosedá k vřetenu dvěma plochami. Tento způsob uložení umožňuje použít držák HSK i při HSC. Držák HSK se vyrábí ve variantách HSK A – F a HSK-T. K AVN jsou určeny pouze varianty držáku A, B, E a F. Varianty E a F se ale nevyrábí ve velikostech HSK 100, z tohoto důvodu se jimi dále práce nebude zabývat.



Size	Form	D1	D2	L1	L2	L3	B1	B2	B3	H1	H2
32	A	24	32	36	20	5	7	7	9	13	9.5
40	A	30	40	40	20	6	8	9	11	17	12
50	A	38	50	51	26	7.5	10.5	12	14	21	15.5
63	A	48	63	58	26	10	12.5	16	18	26.5	20
80	A	60	80	66	26	12	16	18	20	34	25
100	A	75	100	79	29	15	20	20	22	44	31.5
125	A	95	125	92	29	19	25	25	28	55.5	39.5
160	A	120	160	111	31	23	30	32	36	72	50

Obr. 31 – rozměry upínacího kužele HSK-A 100 [22]



Size	Form	D1	D2	L1	L2	B2	H1	H2
40	B	24	40	36	20	10	16	?
50	B	30	50	46	26	12	20	?
63	B	38	63	51	26	16	25	?
80	B	48	80	58	26	18	31.5	?
100	B	60	100	69	29	20	40	?
125	B	75	125	79	29	25	50	?
160	B	95	160	94	31	32	62.5	?

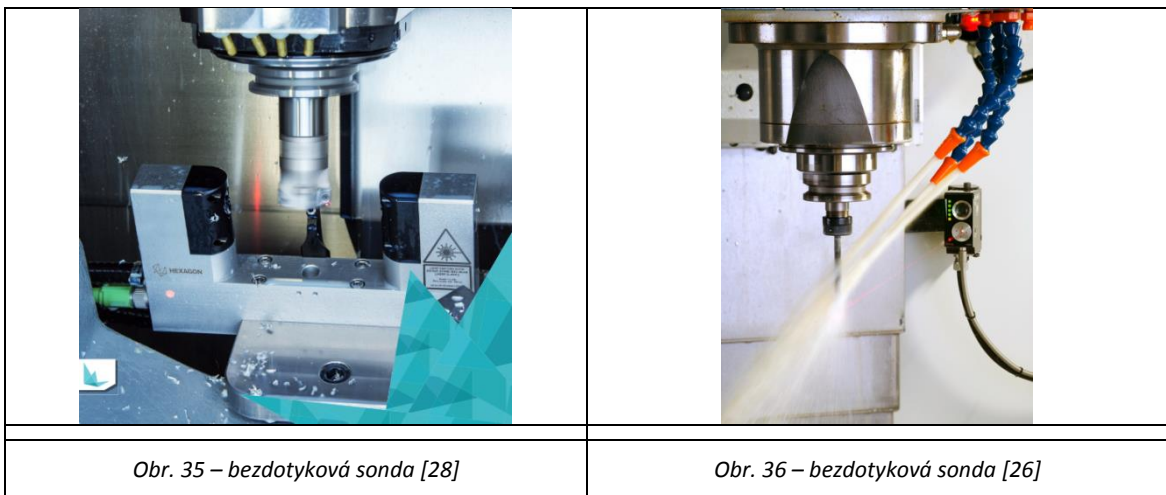
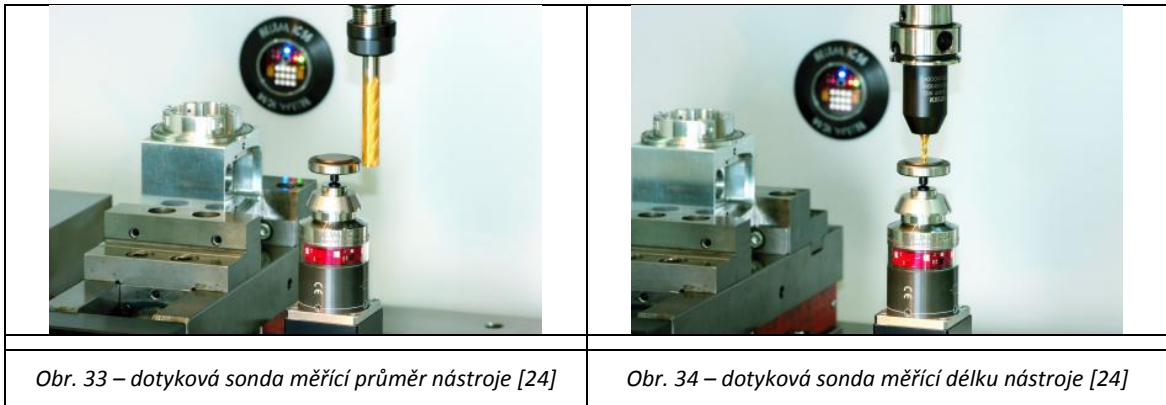
Obr. 32 – rozměry upínacího kužele HSK-B 100 [22]

3.5. Kontrola a čištění nástrojů

K zajištění spolehlivého automatizovaného obrábění a tím i samotné AVN je nezbytné zajistit průběžnou kontrolu nástrojů, aby se minimalizoval počet vyrobených vadných dílů vinou poškozeného nástroje. Dále pro zajištění delší životnosti lůžek a upínání nástrojů do vřetena a ukládání nástrojů do lůžek v řetězu je nutné nástroj očistit od ostrých špon, které na nástroji ulpěly spolu s emulzí po obrábění. Zadávací firma si také přeje nástroj zvažít v mezipoloze před tím, než nástroj uchopí výměník a zasune jej do vřetena. Podle hmotnosti pak výměník přizpůsobí rychlost manipulace s nástrojem, aby byla výměna co nejrychlejší, ale nebyl překročen dovolený moment setrvačnosti působící na pohon výměníku od nástroje.


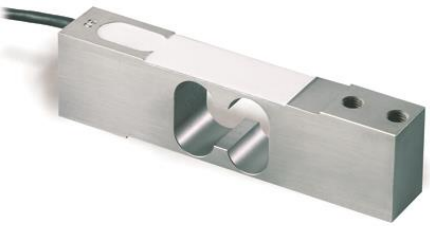
3.5.1. Kontrola nástroje

Ke kontrole nástroje přímo v řezném prostředí nebo kdekoliv v prostoru obráběcího stroje, bez zásahu operátora, se používají měřicí sondy, které detekují zlomení nástroje a proměří délkové a průměrové korekce nástroje. Lze použít sondu dotykovou, která upnutý nástroj malou měřicí silou objede a následně podle vychýlení sondy optoelektronicky vyhodnotí rozměry nástroje a výsledky měření předá řídicímu systému. Další možností je bezdotyková sonda, která umožňuje měření nástroje upnutého ve vřetení při jmenovitých otáčkách pomocí vysílaného laserového paprsku. Vyhodnocení měření probíhá buď na principu prošlého či přerušného paprsku nástrojem, kde neporušený paprsek představuje opotřebený nebo poškozený nástroj, anebo probíhá vyhodnocení měření detekce stavu nástroje „prostřednictvím analýzy frekvence záblesků paprsku odraženého od rotujícího nástroje“⁴. Tato metoda eliminuje chyby měření způsobené od stříkající emulze a třísek v řezném prostředí.



Nástroj bude během výměny, kromě kontroly poškození a proměření rozměrových korekcí, také zvážen. K tomu lze použít tenzometrický snímač umístěný v mezipoloze při výměně nástroje. Změřená hmotnost nástroje bude použita jako vstupní hodnota pro maximální dovolenou rychlost pohybu výměníku nástroje pro dosažení minimálního času výměny nástroje vřeteno-mezipoloza. Pro tuto aplikaci lze použít tlakový tenzometrický snímač na Obr. 37 nebo ohybový snímač na Obr. 38.

⁴ <http://www.renishaw.cz/cs/novy-laserovy-system-detekce-stavu-nastroju-nabizi-vysokorychlostni-identifikaci-poskozeneho-nastroje--7933>

 <p>Model TAS606-50 HT Sensor Technology Ø 20mm</p>	
<i>Obr. 37 – tlakový tenzometrický snímač [29]</i>	<i>Obr. 38 – ohybový tenzometrický snímač [30]</i>

3.5.2. Čištění nástroje

Čištění nástroje může probíhat ve vřetenu tlakovým vzduchem při zasouvání a vysouvání nástroje nebo při zasouvání a vysouvání nástroje v mezipoloze při výměně nástroje. Další možností je mechanické čištění nástroje rotačními kartáči, viz Obr. 39. Je nutné očistit držák nástroje, aby se odstranily ostré špony a emulze z povrchu. Prodlouží se tím životnost lůžek nástrojů a upínání nástroje ve vřetenu.



3.6. Shrnutí

Návrh AVN pro horizontální obráběcí centra H 630, H 800 a H 1000 bude vycházet z hlavních požadavků od zadávající firmy TAJMAC-ZPS, a.s.

Nástroje budou uloženy v řetězovém zásobníku v horizontální poloze. Zásobník bude pevně spojen se strojem. Typ řetězu bude článkový, tzv. HP řetěz. Řetěz bude poháněn synchronním servomotorem s převodovkou. Bude navržen nosný rám zásobníku, tvar řetězu a jeho vedení.

Systém výměny nástroje bude použit „zásobník–manipulátor–mezipoloha–výměník–vřeteno“. Bude navržen sled pohybů nástroje vhodný pro daný zásobník a bude navržen manipulátor.

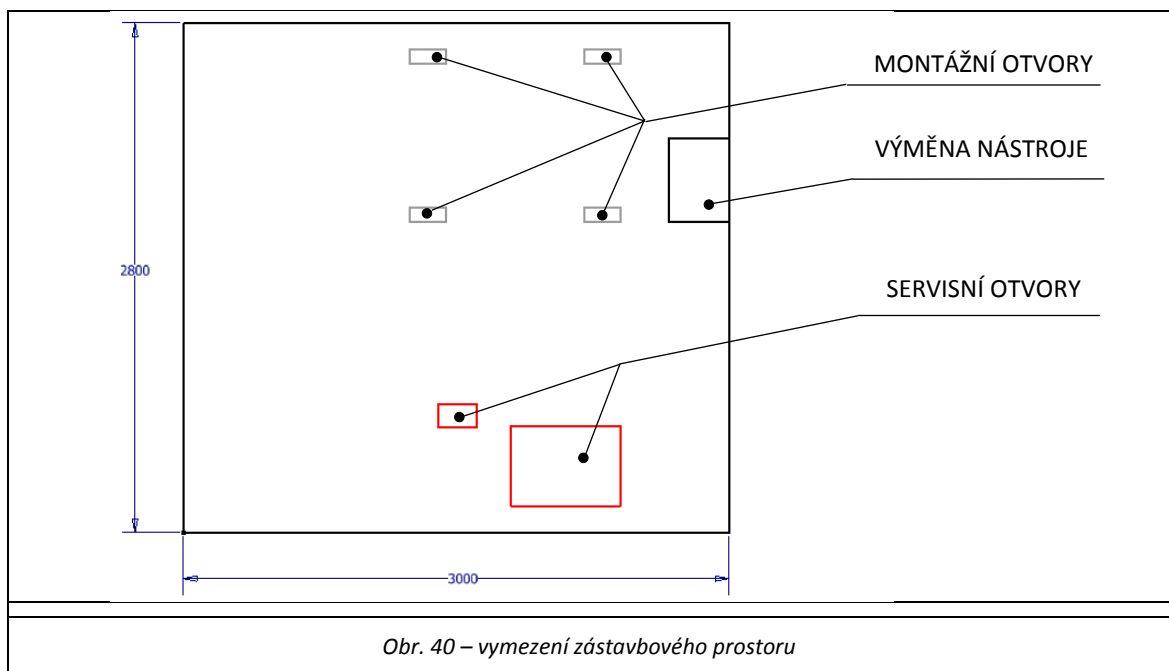
V mezipoloze bude nástroj zvážen, zkontrolován a očištěn.

4. Návrh řetězového zásobníku

Návrh řetězového zásobníku se odvíjí od daných zástavbových rozměrů a počtu nástrojů v zásobníku. Snahou je zvolit takové uspořádání řetězu v zásobníku, aby byla zastavěna co nejmenší plocha. Pokud bude zásobník kompaktní, bude se s ním lépe manipulovat při montáži a sníží se mimo jiné i výrobní náklady.

4.1. Návrh tvaru řetězu

Na Obr. 40 je znázorněna hranice zástavbového prostoru, která by neměla být překročena. Dále jsou vyznačeny servisní otvory, které nesmějí být řetězem zakryté.



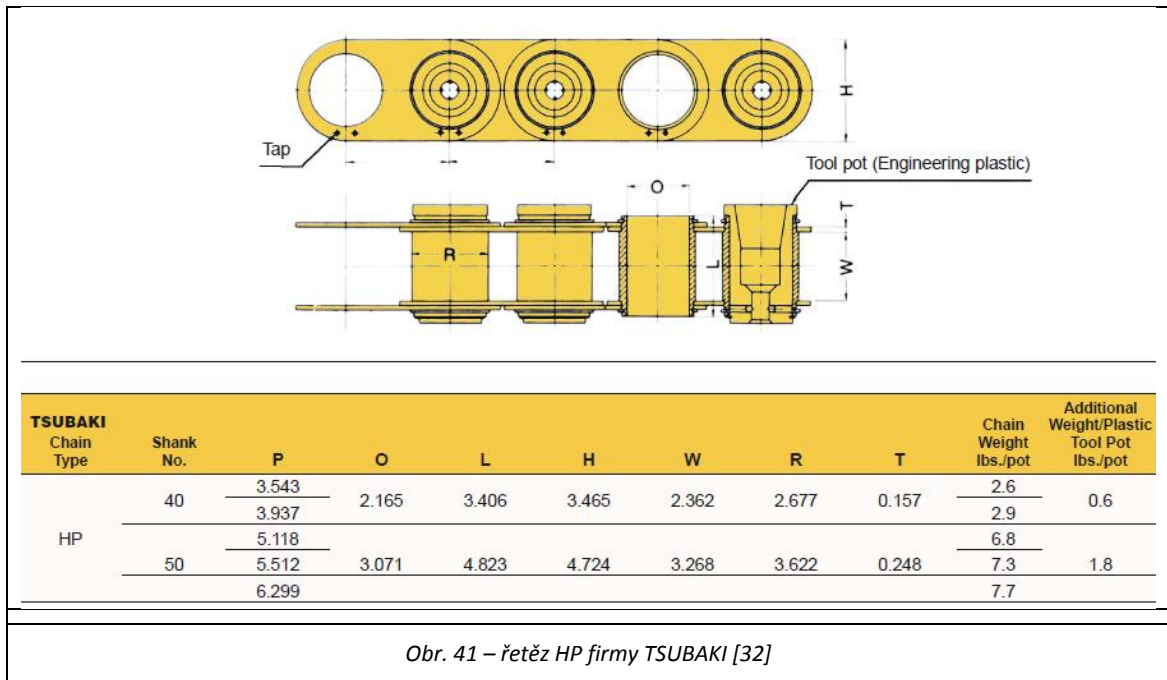
Obr. 40 – vymezení zástavbového prostoru

4.1.1. Volba řetězu

Typy jednotlivých řetězů jsou popsány v kapitole 3.2.1. Bude použit normalizovaný článkový řetěz HP od firmy TSUBAKI pro upínací kužele velikosti 50. V této třídě řetězu jsou v nabídce tři různé délkové rozteče článků řetězu, nejvhodnější je řetěz s roztečí $P = 130$ mm, který splňuje požadavky vzhledem k velikosti nástrojů a zároveň se bude lépe navrhovat tvar řetězu do zadaného zástavbového prostoru, díky nejmenší možné rozteči P . Katalogové rozměry jsou uvedeny na Obr. 41 a v Tab. 2 jsou rozměry převedeny z palců na milimetry.

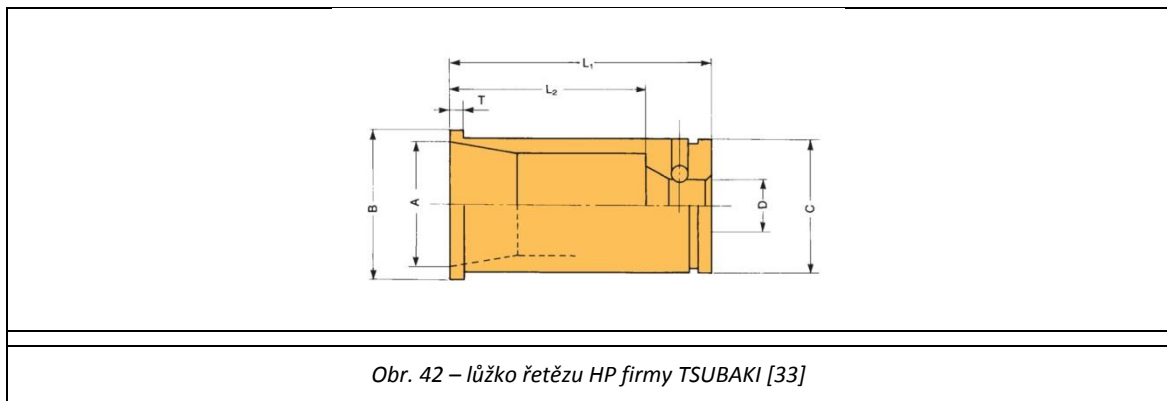
Na Obr. 41 je vidět řez článkem řetězu, ve kterém je uloženo plastové lůžko s kuličkami, které nástroj díky pružině zaaretují, aby nedošlo k samovolnému vysunutí nástroje z lůžka. Samotné lůžko je na Obr. 42 a rozměry jsou uvedeny v Tab. 3. K uvolnění nástroje z lůžka dojde pouhým vytržením, kde úchopná ruka manipulátoru musí překonat sílu $F_V = (75 \div 105)$ N.

Součástí řetězu jsou také unašecí kameny, které zajistí správnou orientaci nástroje. Nedojde tak k pootočení nástroje v lůžku řetězu.



Tab. 2 - rozměry řetězu HP [mm]

Typ řetězu	Jm. rozměr	P	O	L	H	W	R	T
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
HP	40	90,0	55,0	86,5	88,0	60,0	68,0	4,0
		100,0						
	50	130,0	78,0	122,5	120,0	83,0	92,0	6,3
		140,0						
	160,0							



Tab. 3 - rozměry lůžka řetězu HP [mm]

Typ lůžka	A	B	C	D
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
50-MAS	69,9	84,0	78,0	23,6
50-ISO/CAT	69,9	84,0	78,0	29,6

4.1.2. Návrh hnacího a vodícího kola

Nejprve je nutné stanovit minimální možný průměr roztečné kružnice, po které se pohybují nástroje, takový, aby nedocházelo v oblouku ke kolizi dvou sousedících nástrojů průměru 125 mm nebo nástrojů průměru 250 mm s vynecháním jedné volné pozice v řetězu dle zadání.

Na Obr. 43 jsou nakresleny 3 varianty rozboru kolize nástroj-nástroj. Po konzultaci ve firmě došlo ke změně zadání u max. průměru nástroje z 250 mm na 245 mm z důvodu zásadního zmenšení průměru roztečné kružnice.

$P = 130 \text{ mm}$ $d_{n_{max_1}} = 125 \text{ mm}$ $d_{R_{min_1}} = 300 \text{ mm}$	$P = 130 \text{ mm}$ $d_{n_{max_2}} = 250 \text{ mm}$ $d_{R_{min_2}} = 475 \text{ mm}$	$P = 130 \text{ mm}$ $d_{n_{max_3}} = 245 \text{ mm}$ $d_{R_{min_3}} = 400 \text{ mm}$
<i>Obr. 43 – rozbor kolize nástroj-nástroj na roztečné kružnici řetězu</i>		

Hnací kolo

Článkový řetěz je poháněn řetězovým kolem. Na Obr. 44 je uveden výpočet řetězového kola od firmy SENQCIA, která také vyrábí řetězy a příslušenství do řetězových zásobníků nástrojů.

Chains and Pots for ATC (Automatic Tool Changer) Systems	
Sprocket Pitch Circle Diameter (P.C.D.) and Outer Diameter (O.D.)	
<div style="background-color: #FFD700; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">HLP type</div> $\text{P.C.D.} = \frac{P}{\sin \frac{180^\circ}{N}}$ $\text{O.D.} = P \times \left(0.5 + \cot \frac{180^\circ}{N}\right)$	<div style="background-color: #FFD700; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">K2S type</div> $\text{P.C.D.} = \frac{P}{\sin \frac{180^\circ}{N}}$ $\text{O.D.} = \text{P.C.D.} + 0.8D$
<div style="background-color: #FFD700; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">SAW, SK types</div> $\text{P.C.D.} = \frac{\sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1 \cdot P_2 \cos \frac{180^\circ}{N}}}{\sin \frac{180^\circ}{N}}$ $\text{O.D.} = \text{P.C.D.} + 0.8D$	<p>P = Chain pitch P_1 = Long pitch P_2 = Short pitch N = No. of teeth (the number corresponding to pitch P) D = Roller diameter</p>
<i>Obr. 44 – výpočet řetězového kola firma SENQCIA [34]</i>	



Pro výpočet řetězového kola je nutné určit rozteč článků řetězu P a počet zubů řetězového kola N . Rozteč P je již zvolena, počet zubů je zvolen na základě rešerše provedené u jiných řetězových zásobníků s článkovým řetězem.

- **Výpočet řetězového kola**

a) Zvoleno: $P = 130$ mm
 $N_{12} = 12$

$$d_{p_1} = \frac{P}{\sin \frac{180^\circ}{N_{12}}} = \frac{130}{\sin \frac{180^\circ}{12}} = 502,28 \text{ mm} \quad 4.1.2 (1)$$

$$d_{h_1} = P \cdot \left(0,5 + \cot \frac{180^\circ}{N_{12}}\right) = 130 \cdot \left(0,5 + \cot \frac{180^\circ}{12}\right) = 550,17 \text{ mm} \quad 4.1.2 (2)$$

Při zvoleném počtu zubů N_{12} platí $d_{p_1} > \max(d_{R_{min_1}}, d_{R_{min_2}}, d_{R_{min_3}})$, je tedy možné tyto navržená kola použít v řetězovém zásobníku, ve kterém mohou být nástroje s průměrem 125 mm při plném obsazení zásobníku a nástroje do průměru 250 mm při vynechání jedné pozice v zásobníku.

b) Zvoleno: $P = 130$ mm
 $N_{10} = 10$

$$d_{p_2} = \frac{P}{\sin \frac{180^\circ}{N_{10}}} = \frac{130}{\sin \frac{180^\circ}{10}} = 420,69 \text{ mm} \quad 4.1.2 (3)$$

$$d_{h_2} = P \cdot \left(0,5 + \cot \frac{180^\circ}{N_{10}}\right) = 130 \cdot \left(0,5 + \cot \frac{180^\circ}{10}\right) = 465,10 \text{ mm} \quad 4.1.2 (4)$$

Při zvoleném počtu zubů N_{10} neplatí $d_{p_2} > \max(d_{R_{min_1}}, d_{R_{min_2}}, d_{R_{min_3}})$, je tedy nutné omezit max. průměr nástrojů z 250 mm na 245 mm za účelem menších zástavbových rozměrů zásobníku.

Vodící kolo

Vodící kola jsou v zásobníku nezbytná pro zajištění požadovaného tvaru řetězu. Pro zmenšení pasivních odporů jsou vodící kola uložena na radiálních kuličkových ložiskách. Průměr vodících kol je zvolen v závislosti na průměru roztečné kružnice řetězového kola.

- **Výpočet vodícího kola**

$$D_1 = d_{p_1} - R = (502,28 - 92) = 410,28 \text{ mm} \quad 4.1.2 (5)$$

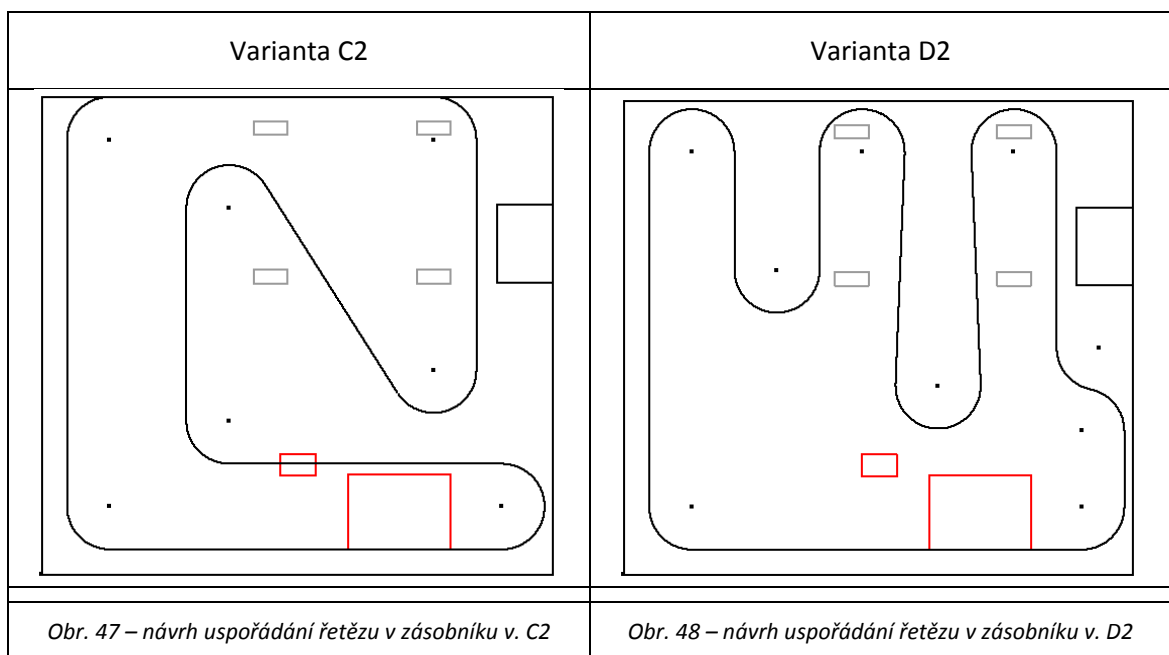
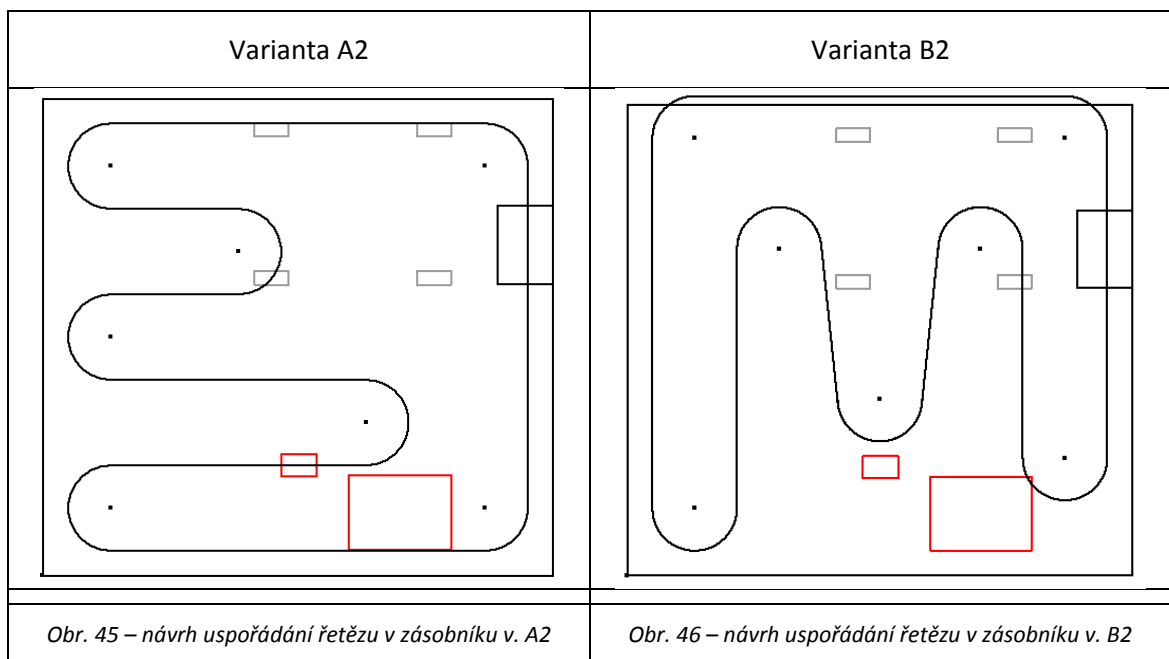
$$D_2 = d_{p_2} - R = (420,69 - 92) = 328,69 \text{ mm} \quad 4.1.2 (6)$$

- Průměr vodícího kola zvolen $D_1 = 410$ mm
- Průměr vodícího kola zvolen $D_2 = 328$ mm

4.1.3. Návrh uspořádání řetězu v zásobníku

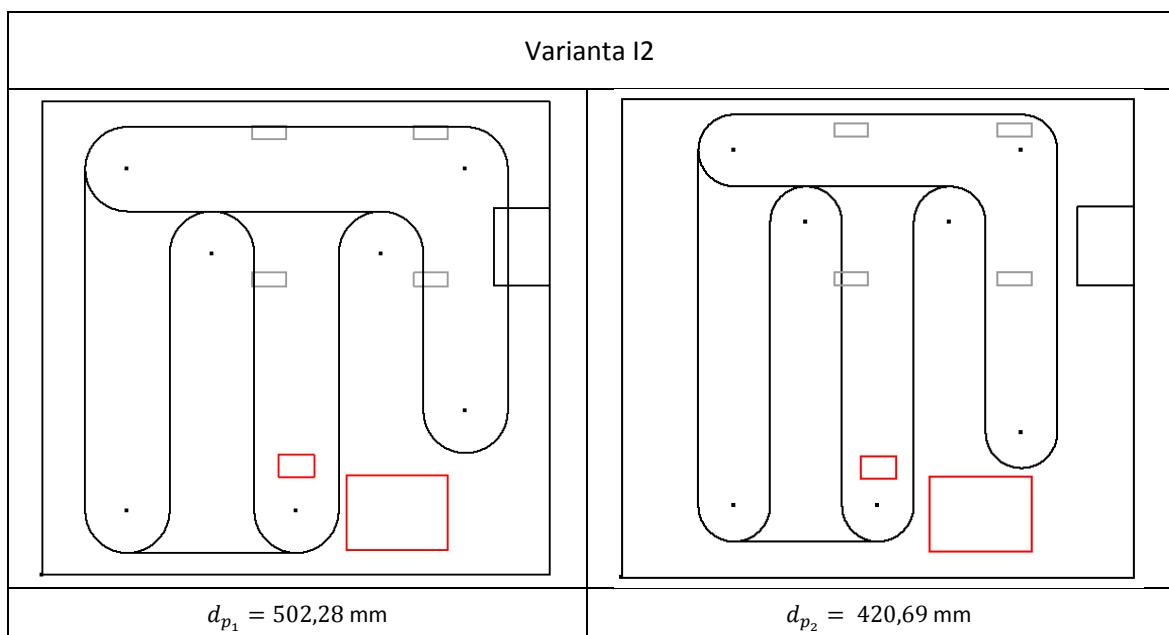
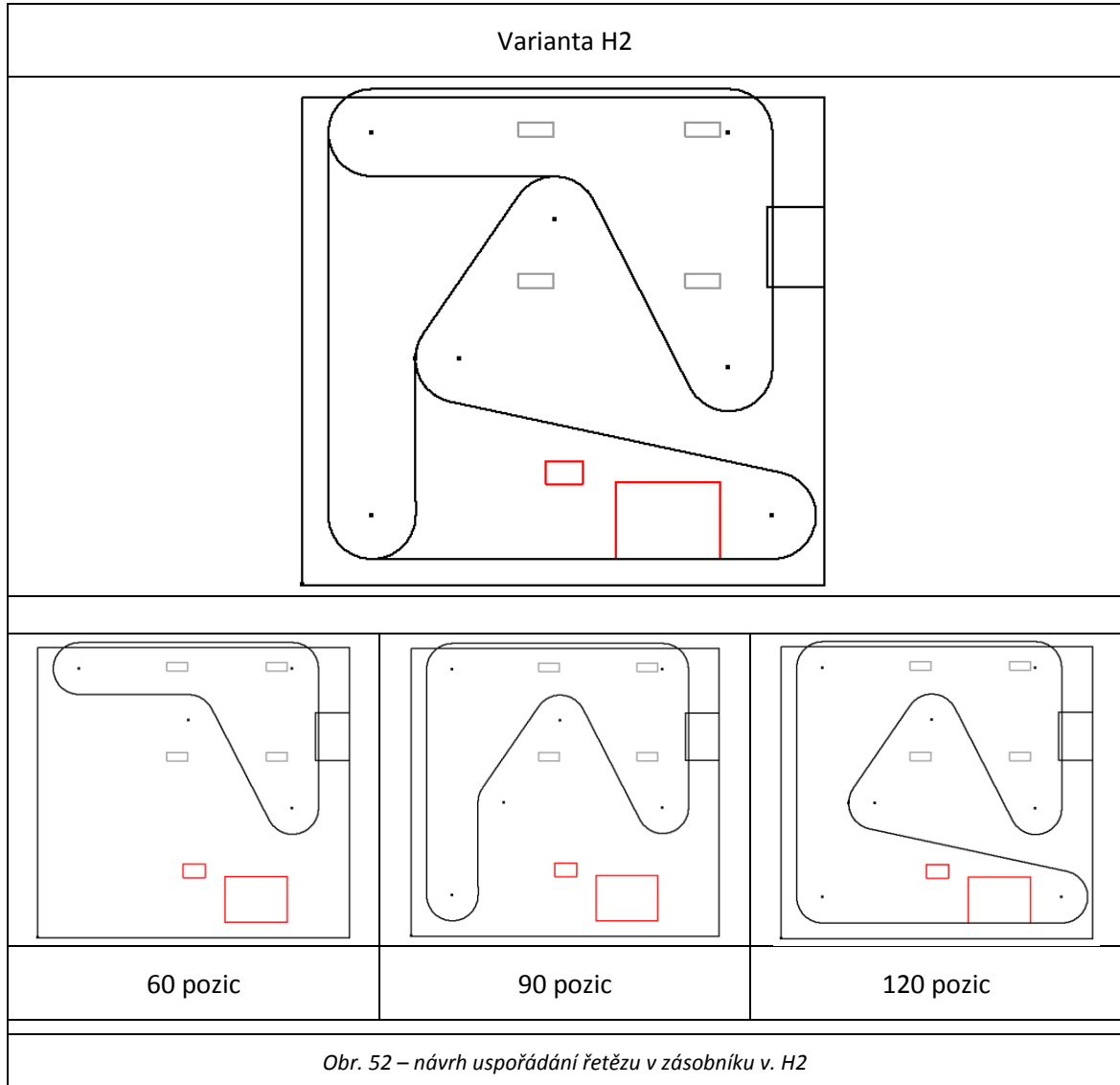
Řetězový zásobník musí být variabilní pro tři různé kapacity. V základní variantě bude zásobník nabízen s kapacitou 60 nástrojů, možné ale bude zásobník rozšířit o 30 nebo 60 dalších pozic. S tím souvisí i samotné uspořádání řetězu v zásobníku, neboť je snaha o minimální zásah do konstrukce při přestavbě zásobníku na větší kapacitu. Z toho vyplývá požadavek na využití maximálního počtu společných vodičích kol v zásobníku.

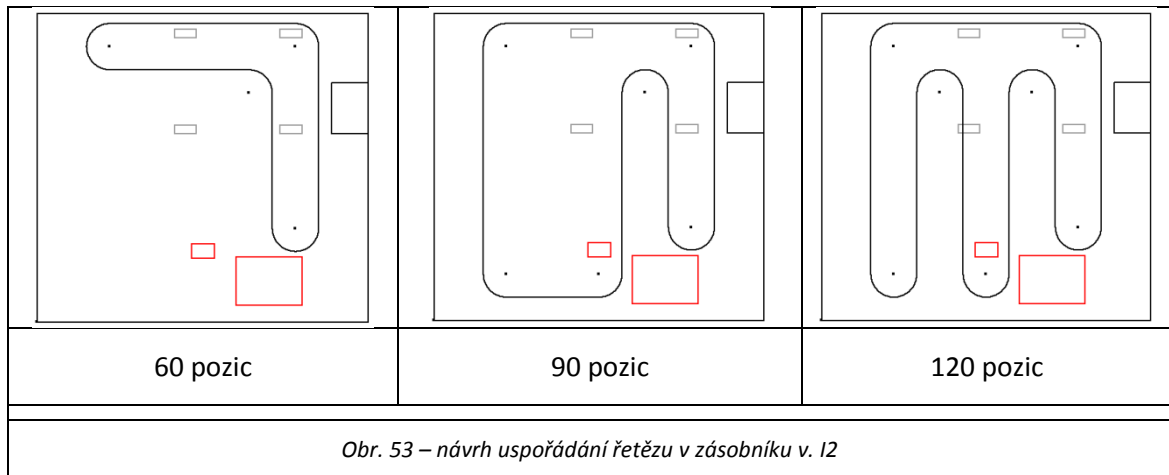
Návrh uspořádání řetězu bude vycházet z řetězového kola s počty 12 zubů. V případě, že uspořádání řetězu s řetězovým kolem s počty 10 zubů bude vycházet lépe, bude použita tato varianta, i když se zmenší max. průměr možného uložení nástroje do zásobníku.



Varianta E2	Varianta F2
<p>Obr. 49 – návrh uspořádání řetězu v zásobníku v. E2</p>	<p>Obr. 50 – návrh uspořádání řetězu v zásobníku v. F2</p>

Varianta G2		
<p>60 pozic</p>	<p>90 pozic</p>	<p>120 pozic</p>
<p>Obr. 51 – návrh uspořádání řetězu v zásobníku v. G2</p>		





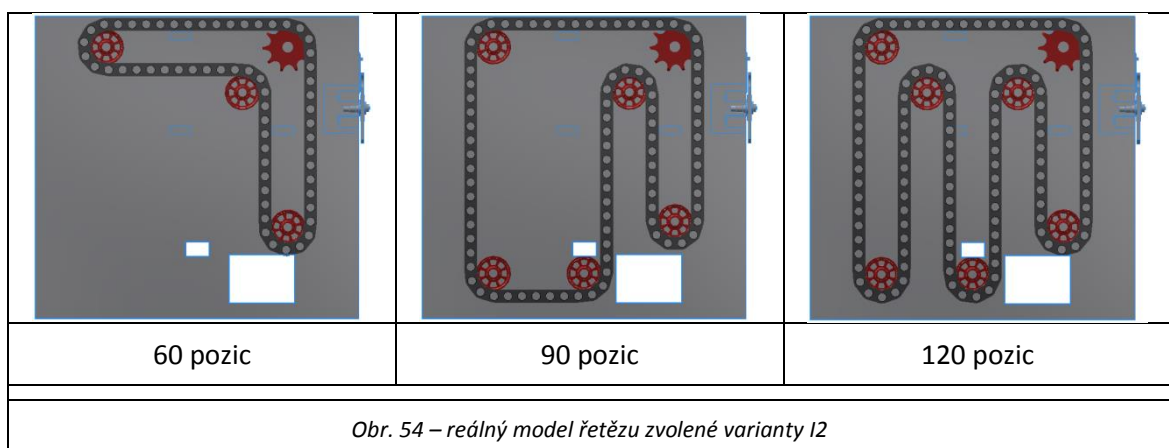
Shrnutí

Návrhy uspořádání řetězu byly vytvářeny vykreslením středové čáry řetězu, tedy trajektorií, po které se pohybuje osa nástrojů. Nejprve byly návrhy provedeny pro max. kapacitu zásobníku se 120 nástroji s použitím větších vodících kol a zubovým kolem se 12 zuby. U třech vybraných variant G2, H2 a I2 byly navrženy všechny varianty kapacit zásobníku.

Některé z variant zasahují do servisních otvorů, konkrétně varianty A2 a C2. Jiné varianty zasahují do prostoru výměny nástroje nebo je jejich tvarové uspořádání příliš složité a nevhodné.

Varianta H2 splňuje většinu požadavků. Nezasahuje do servisních otvorů, má max. společný počet využitých vodících kol pro všechny 3 varianty kapacit. Je navržena pro větší vodící kola a řetězové kolo s počty zubů N_{12} . Do pracovního prostoru zasahuje minimálně. Nevýhodou tohoto uspořádání je složitější tvarová trajektorie řetězu a složitější modulárnost nosného rámu řetězu.

Varianta I2 je v mnohém totožná s variantou H2 s tím rozdílem, že do pracovního prostoru zasahuje více. Aby se eliminoval tento problém, nahradilo se řetězové kolo s počty zubů N_{12} kolem menším s počtem zubů N_{10} a použila se i menší vodící kola. Tato varianta nabízí zajímavé uspořádání řetězu a vytváří velmi kompaktní řetězový zásobník s modulárním nosným rámem, a proto bude návrh zásobníku vycházet z této varianty uspořádání řetězu.



4.2. Návrh pohonu

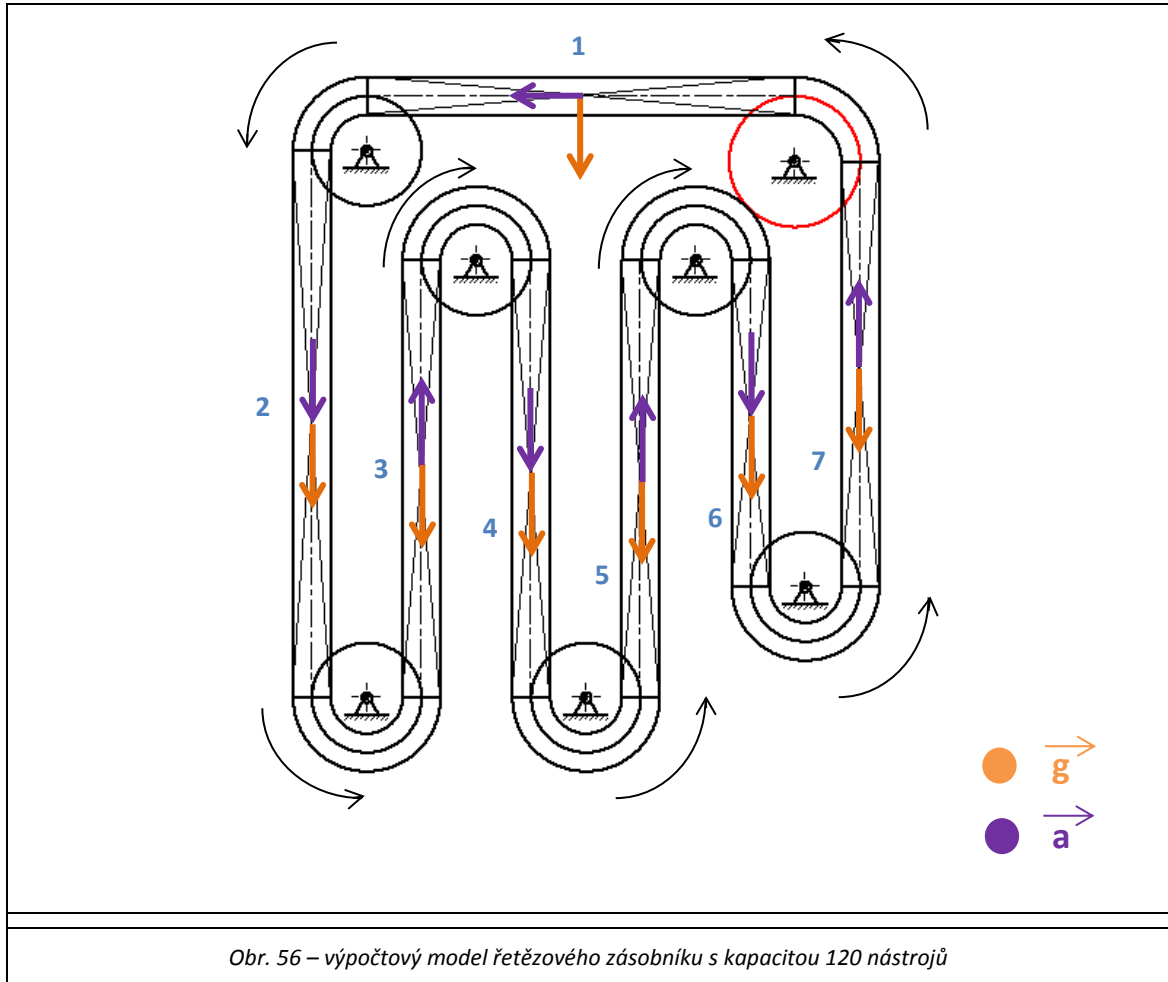
V aplikaci pohonu řetězového zásobníku je důležité přesné polohování motoru s plynulým rozběhem a brzděním. Bude použit synchronní servomotor, který je pro tyto aplikace vhodný. Motor bude vybaven převodovkou s vysokým převodovým poměrem do pomalu, kvůli potřebnému vysokému krouticímu momentu.

Pohon je dobré umístit přímo do osy řetězového kola kvůli jednodušší montáži a vyšší celkové účinnosti pohonu, kterou nebude snižovat další mechanický převod, jako je například ozubený řemen. Aby bylo možné umístit pohon do osy rotace řetězového kola, je nutné použít větší řetězové kolo s počty zubů N_{12} , čímž se zvětší prostor pro pohon, který je limitován max. průměrem nástrojů v řetězu, viz Obr. 55. Použitím řetězového kola s více počty zubů se takélepší plynulost chodu řetězu.

<p>Řetězové kolo N_{10}</p> <p>Průměr nástroje 250 mm</p> <p>$d_{pohonu_{max_1}} = 170$ mm</p> <p>$a_{pohonu_{max_1}} = 120$ mm</p>	<p>Řetězové kolo N_{12}</p> <p>Průměr nástroje 250 mm</p> <p>$d_{pohonu_{max_2}} = 252$ mm</p> <p>$a_{pohonu_{max_2}} = 178$ mm</p>
<p>Obr. 55 – rozbor kolize pohon-nástroj v ose řetězového kola</p>	

4.2.1. Dimenzování pohonu

Pohon bude dimenzovaný na maximální kapacitu zásobníku se 120 nástroji a pro menší kapacity bude proveden pouze kontrolní výpočet zatížení pohonu. Pro výpočet krouticího momentu působícího na řetězové kolo byl vytvořen zjednodušený matematický model řetězu, viz Obr. 56. Dle zadání je řetěz pro návrh pohonu plně obsazen nástroji s průměrnou hmotností $m_{np} = 12$ kg. Veškeré zadané a volené hodnoty jsou uvedeny v Příloze Stránka I. – Stránka IV.



Výpočet sil v řetězu

- Vypočtené hodnoty viz Příloha Stránka I. – Stránka IV.

$$F_{ř_1} = \frac{m_C \cdot l_1}{l_C} \cdot (a_{ř} + g \cdot f) \quad 4.2.1 (7)$$

$$F_{ř_2} = \frac{m_C \cdot l_2}{l_C} \cdot (a_{ř} - g) \quad 4.2.1 (8)$$

$$F_{ř_3} = \frac{m_C \cdot l_3}{l_C} \cdot (a_{ř} + g) \quad 4.2.1 (9)$$

$$F_{ř_4} = \frac{m_C \cdot l_4}{l_C} \cdot (a_{ř} - g) \quad 4.2.1 (10)$$

$$F_{ř_5} = \frac{m_C \cdot l_5}{l_C} \cdot (a_{ř} + g) \quad 4.2.1 (11)$$

$$F_{ř_6} = \frac{m_C \cdot l_6}{l_C} \cdot (a_{ř} - g) \quad 4.2.1 (12)$$



$$F_{\dot{r}_7} = \frac{m_C \cdot l_7}{l_C} \cdot (a_{\dot{r}} + g) \quad 4.2.1 (13)$$

$$F_{\dot{r}_C} = \sum_{i=1}^n F_{\dot{r}_i} \quad 4.2.1 (14)$$

Výpočet momentů

- Vypočtené hodnoty viz Příloha Stránka I. – Stránka IV.

a) Moment od síly v řetězu

$$M_{F_{\dot{r}}} = F_{\dot{r}_C} \cdot \frac{d_{p1}}{2} \quad 4.2.1 (15)$$

b) Moment od části 1

$$M_{\dot{r}_1} = \frac{m_C \cdot l_1}{l_C} \cdot \frac{l_1}{2} \quad 4.2.1 (16)$$

c) Moment od setrvačnosti řetězového kola

$$M_{\dot{r}_k} = \frac{1}{2} \left(\frac{d_{p1}}{2} \right)^2 \cdot m_{\dot{r}_k} \cdot \varepsilon_{\dot{r}_k} \quad 4.2.1 (17)$$

d) Moment od setrvačnosti vodících kol

$$M_{v_k} = \frac{1}{2} \left(\frac{D_2}{2} \right)^2 \cdot m_{v_k} \cdot \varepsilon_{v_k} \cdot (4 - 2) \quad 4.2.1 (18)$$

e) Moment od setrvačnosti nástrojů

$$M_n = \frac{m_C \cdot \pi \cdot d_{p2}}{l_C} \cdot \left(\frac{d_{p2}}{2} \right)^2 \cdot \varepsilon_r \cdot (2 - 1) \quad 4.2.1 (19)$$

f) Celkový moment působící na řetězové kolo

$$M_{\dot{r}_{kC}} = M_{F_{\dot{r}}} + M_{\dot{r}_1} + M_{\dot{r}_k} + M_{v_k} + M_n \quad 4.2.1 (20)$$

g) Potřebný krouticí moment pohonu

$$M_{C120} = \frac{M_{\dot{r}_{kC}}}{n_{c_p} \cdot n_{\dot{r}_p}} \quad 4.2.1 (21)$$

Shrnutí

Výpočty, viz Příloha Stránka I. – Stránka IV., byly pro kontrolu provedeny pro oba směry otáčení, ačkoli velikost momentu působící na řetězové kolo musí být pro oba směry stejná. Výpočty byly provedeny pro všechny tři velikosti zásobníků a při zvolené rychlosti řetězu, která vychází ze zkušenosti výrobce řetězových zásobníků, vychází pro všechny kapacity zásobníků

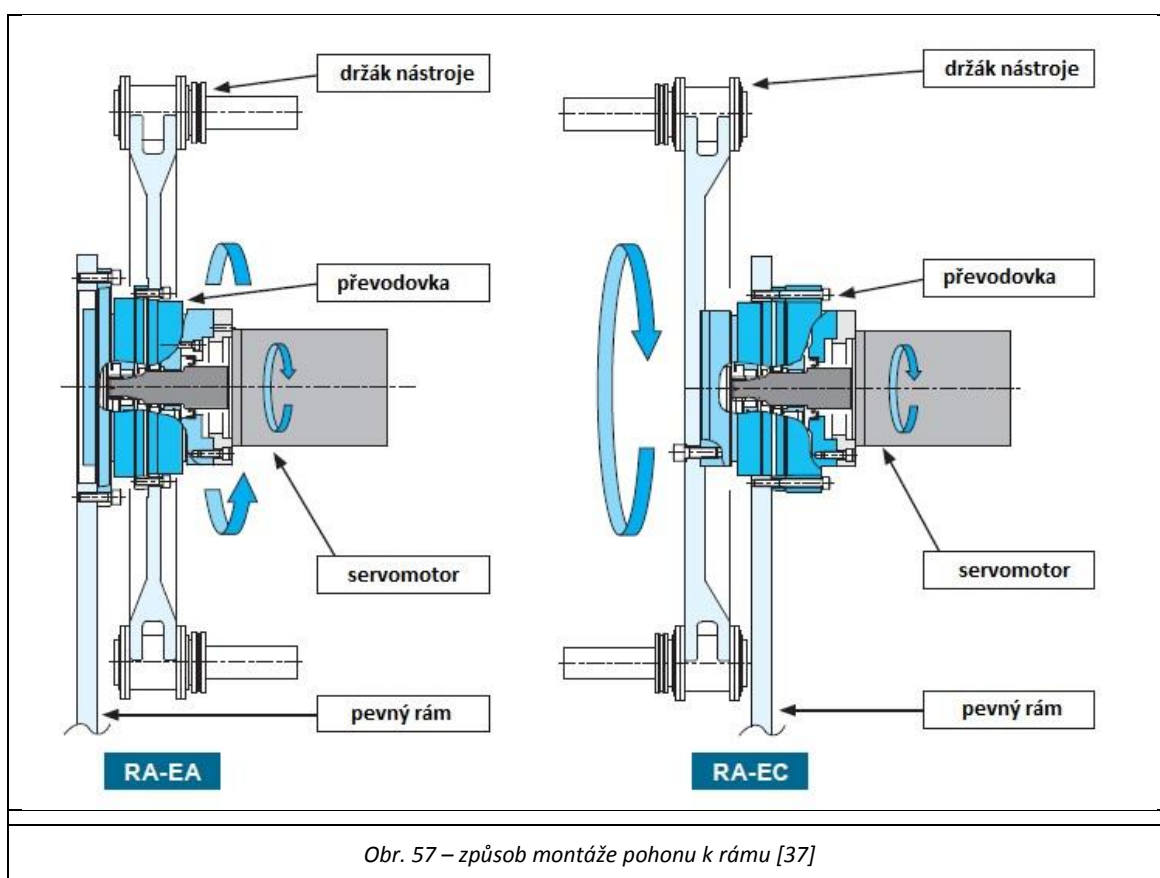
podobné zatížení na řetězové kolo. Zvýší-li se rychlost řetězu a tím i zrychlení, moment působící na řetězové kolo v největším zásobníku začne být výrazně vyšší.

Tyto výpočty byly provedeny pro symetricky zatížený zásobník, pokud bude ale zatížen zásobník nerovnoměrně, výsledný moment může být i dvojnásobně větší.

Maximální uvažovaný moment $M_C = 630 \text{ Nm}$.

4.2.2. Montáž pohonu

Pohon bude namontován k rámu jako celek z přední strany, kvůli dobrému přístupu. Na Obr. 57 odpovídá požadovanému způsobu montáže typ převodovky RA-EA od firmy RAVEO.



4.2.3. Volba převodovky

Volba převodovky vycházela především ze způsobu montáže. Typ převodovky RA-EA není k dostání, z toho důvodu byl zvolen jiný typ převodovky.

Parametrově a způsobem montáže vyhovuje cykloidní převodovka RV-110E.

- Převod : $i_c = 110$
- Výstupní moment při daných otáčkách: $M_{out} = 950 \text{ Nm}$

4.2.4. Volba servomotoru

Výpočet maximálního možného momentu

$$M_{max_k} = \frac{M_{out}}{i_c} = \frac{950}{110} = 8,6 \text{ Nm} \quad 4.2.4 (22)$$

- Typ motoru: 1FK7081-2AH71-1DB2-Z
- Jmenovité otáčky: $n_{jm} = 4500 \text{ ot min}^{-1}$
- Jmenovitý krouticí moment: $M_{k_{jm}} = 3,8 \text{ Nm}$

Výpočet jmenovitého krouticího momentu pohonu

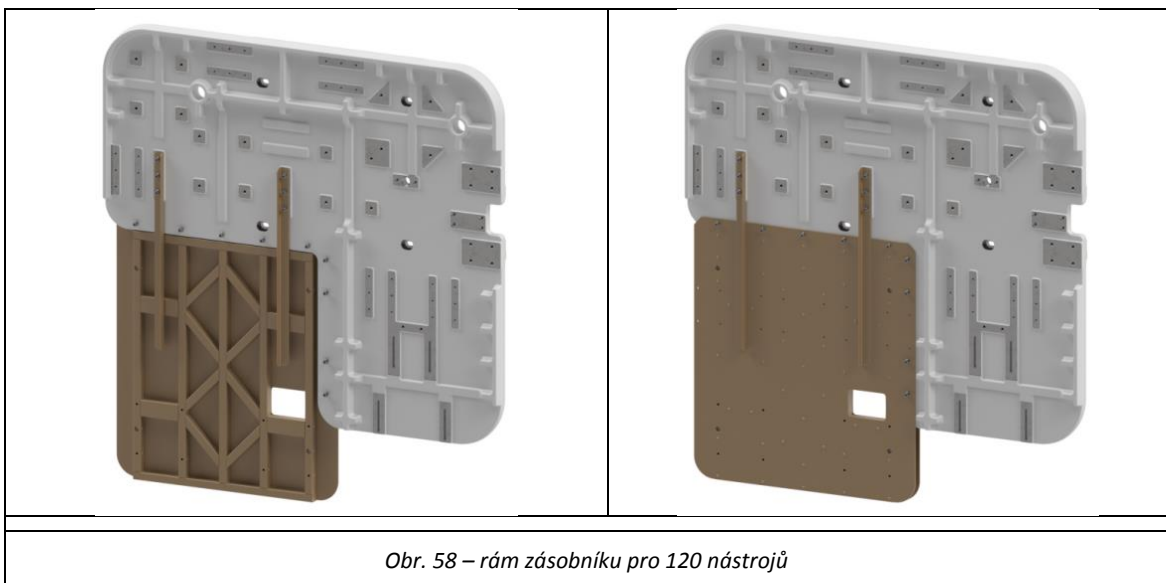
$$M_{jm_p} = M_{k_{jm}} \cdot i_c = 3,8 \cdot 110 = 418 \text{ Nm} \quad 4.2.4 (23)$$

Zvolený typ pohonu bude dostatečně silný, vzhledem k možnému krátkodobému přetížení servomotoru i cykloidní převodovky. Kompletní parametry vybraného servomotoru od firmy SIEMENS jsou uvedeny v Příloze Stránka VIII. – Stránka X.

4.3. Návrh nosného rámu zásobníku

Nosný rám musí být modulární a přechod ze základní varianty kapacity zásobníku s 60 pozicemi musí být konstrukčně jednoduchý. Nosný rám zásobníku bude šroubovým spojem uchycen k rámu stroje v předem daných montážních otvorech. Součástí rámu bude pohon řetězu, vodící kola, vodící lišty, šponování řetězu, nosné rameno manipulátoru a výměnná ruka s mezipolohou výměny nástroje.

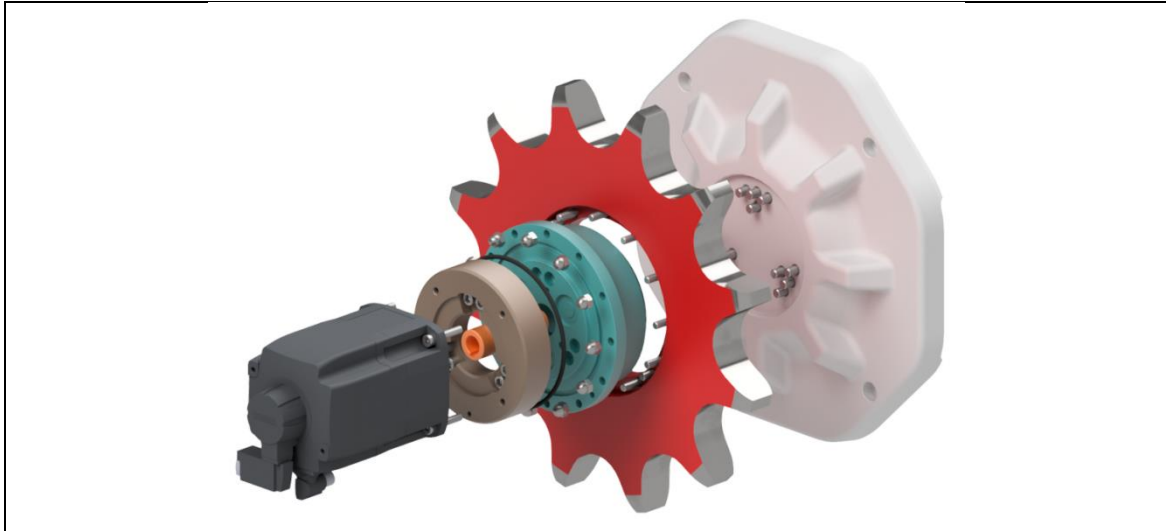
Základní rám je navržen jako odlitek z šedé litiny s připravenými nálitky pro všechny tři varianty kapacity zásobníku. V případě stavby zásobníku s kapacitou nástrojů 90 nebo 120 se k základnímu odlitku šroubovým spojem přidá svařenec, který je tvarově stejný pro obě varianty vyšší kapacity zásobníku a liší se pouze v montážních dírách pro vodící lišty. Na Obr. 58 je zobrazen smontovaný rám připravený pro kapacitu 120 nástrojů.



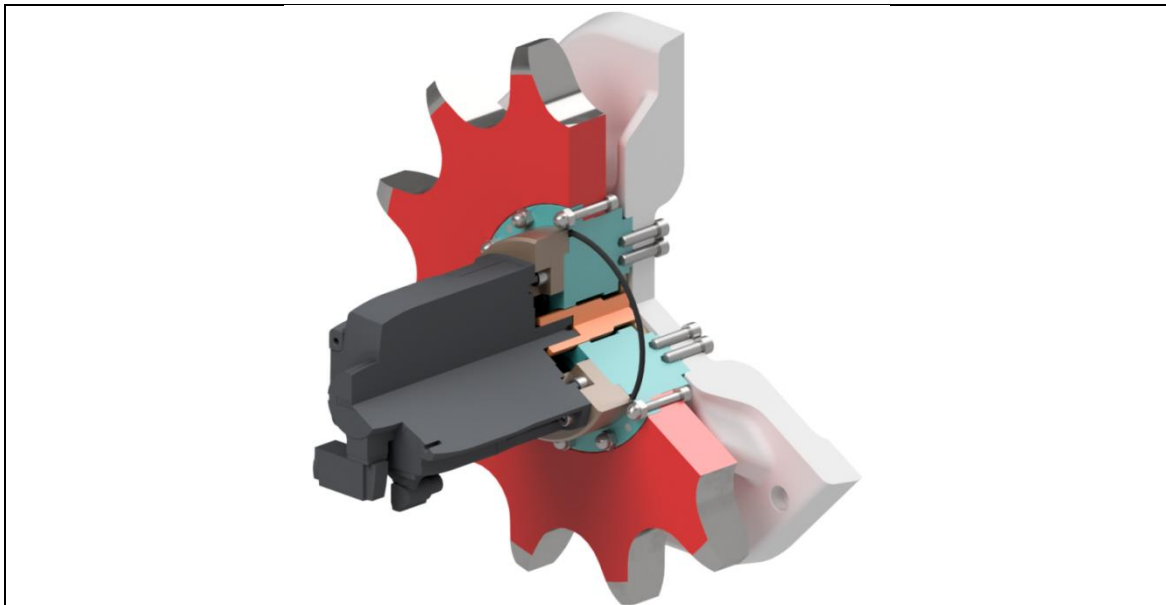
Obr. 58 – rám zásobníku pro 120 nástrojů

4.3.1. Sestava pohonu

Na Obr. 59 je zobrazen rozpad sestavy pohonu zásobníku. Smontovaný celek v částečném řezu je zobrazen na Obr. 60.



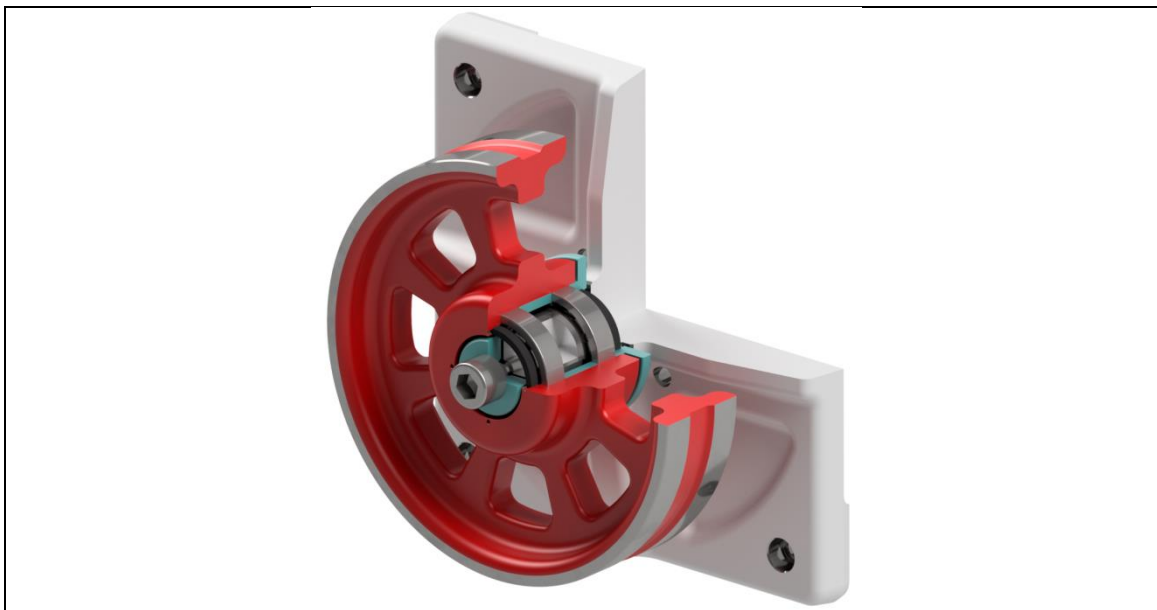
Obr. 59 – rozpad sestavy pohonu zásobníku



Obr. 60 – řez pohonem zásobníku

4.3.2. Uložení vodících kol

Vodící kola jsou uložena na radiálních kuličkových ložiskách na samostatném odlitém nosiči vodících kol. Tato smontovaná sestava se následně šroubovým spojem namontuje k nosnému rámu zásobníku. Vodící kola se nemontují přímo na rám z důvodu možné opravy poškozeného náboje kola od valivých ložisek a z důvodu snazší montáže vodících kol na rám. Sestava vodícího kola je znázorněna na Obr. 61.

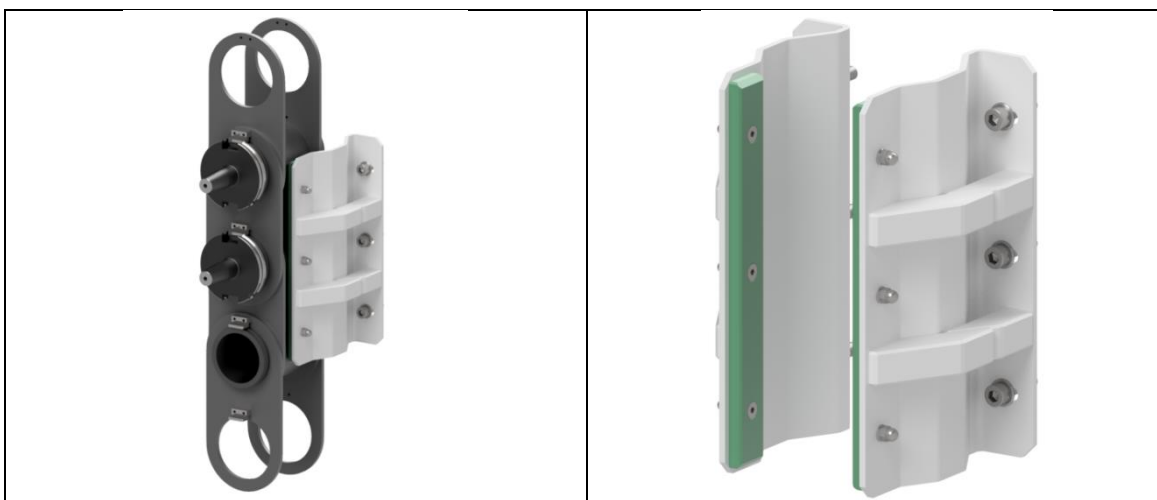


Obr. 61 – řez uložením vodícího kola řetězu

4.3.3. Vedení řetězu

Pro plynulejší chod je řetěz v horizontálním i vertikálním směru veden vodícími lištami po obou stranách řetězu. Vedení je možné umístit po celé délce nebo jen lokálně, vždy však alespoň přes dvě lůžka řetězu. Z konstrukčních důvodů bylo zvoleno vedení jen lokální. Byla použita vodící lišta z polyethylenu PE 1000 od firmy SITTECH. Tento materiál zajišťuje dobré kluzné vlastnosti a je mechanicky odolný i proti chemikáliím.

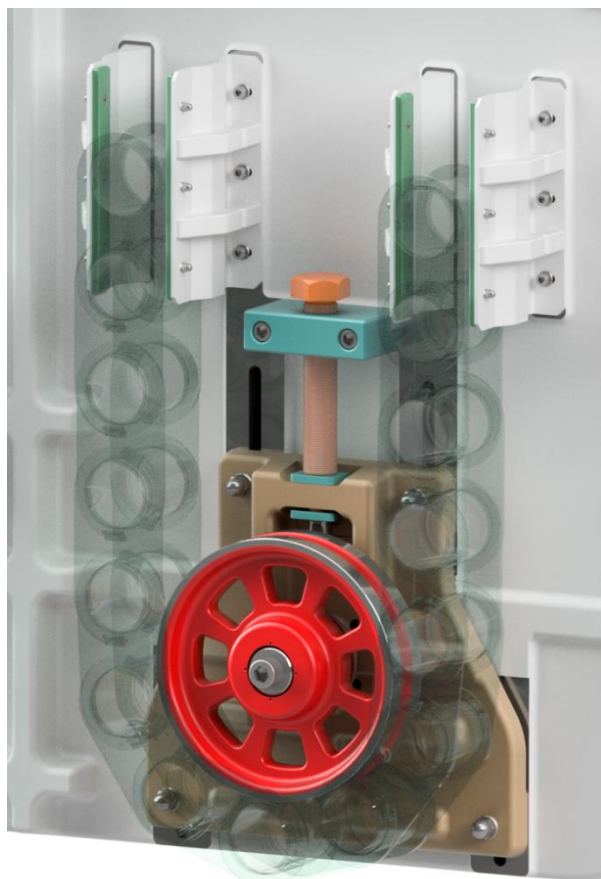
Vodící lišta je šroubovým spojem připevněna k ohýbanému plechu, který se montuje k rámu zásobníku. V ohýbaném plechu jsou vyfrézované drážky na šrouby pro možné předepnutí vedení při montáži. Ohýbaný plech je vyztužen navařenými vzpěrami pro vyšší pevnost. Vedení je zobrazeno na Obr. 62.



Obr. 62 – vedení řetězu

4.3.4. Napínání řetězu

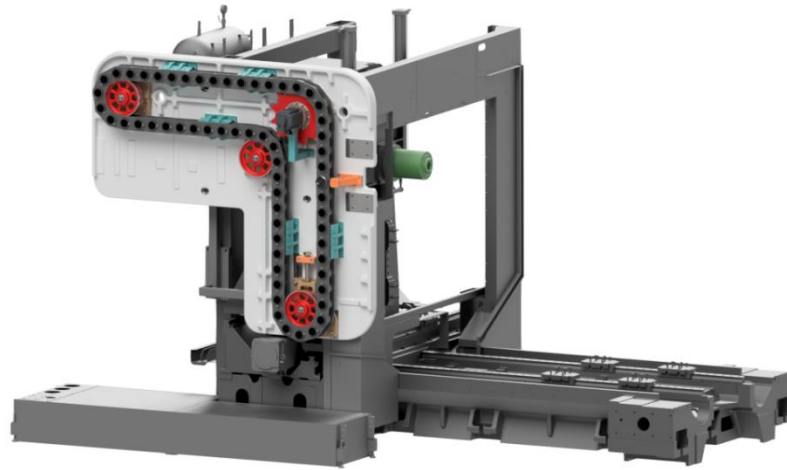
K napínání řetězu bude sloužit jedno z vodících kol, které je společné pro všechny tři varianty uspořádání řetězu. Nosič tohoto vodícího kola je tvarově odlišný od ostatních vodících kol, aby byly nosné šrouby přístupné i s nasazeným řetězem. V nosném rámu jsou vyfrézované drážky pro šrouby se čtvercovou hlavou, vůči kterým se nosič s vodícím kolem upevní po napnutí řetězu. Napínání je zajištěno metrickým šroubem M42x2. Z konstrukčních důvodů musel být šroub umístěn nad vodícím kolem. Z tohoto důvodu je nutné zajistit možnost šroubem pohybovat s vodícím kolem směrem dolů ale i nahoru, aby jej obsluha nemusela nadzvedávat ručně nebo pomocí jeřábu. Obousměrný pohyb je realizován přes bronzové opěrné desky, přes které se přenáší síla do nosiče vodícího kola. Nosné šrouby se čtvercovou hlavou jsou také vedeny ve vyfrézované drážce a zajištěny víkem proti vysunutí. Šrouby se tak nebudou při dotahování protáčet a nemohou ani vypadnout do zadního prostoru řetězového zásobníku v případě vyšroubování zajišťovací matice.



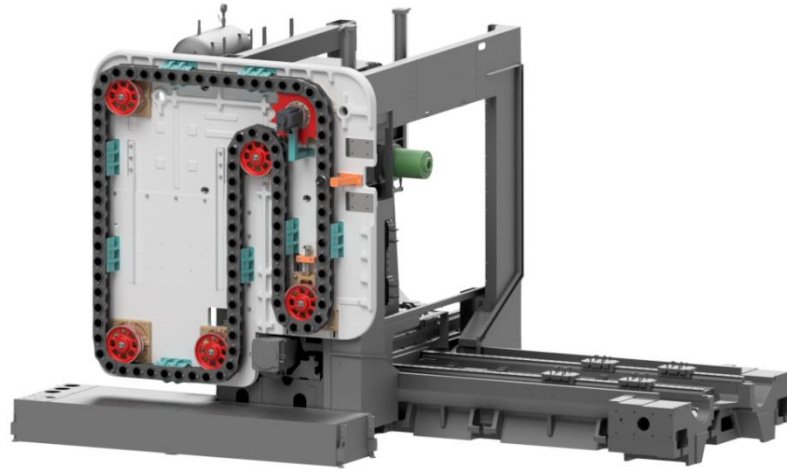
Obr. 63 – napínání řetězu

4.4. Vizualizace řetězového zásobníku

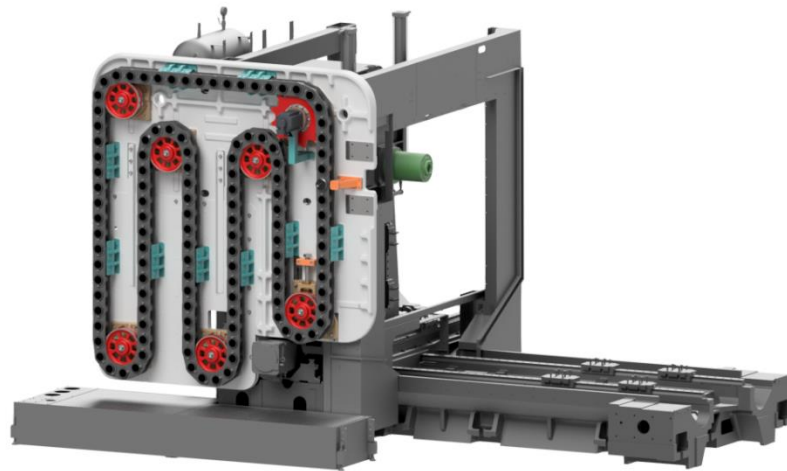
Na Obr. 64 – Obr. 66 jsou zobrazeny jednotlivé varianty kapacity řetězového zásobníku přimontovaného k rámu horizontálního stroje H 800 firmy TAJMAC-ZPS.



Obr. 64 – řetězový zásobník s kapacitou 60 nástrojů



Obr. 65 – řetězový zásobník s kapacitou 90 nástrojů



Obr. 66 – řetězový zásobník s kapacitou 120 nástrojů

5. Návrh manipulátoru

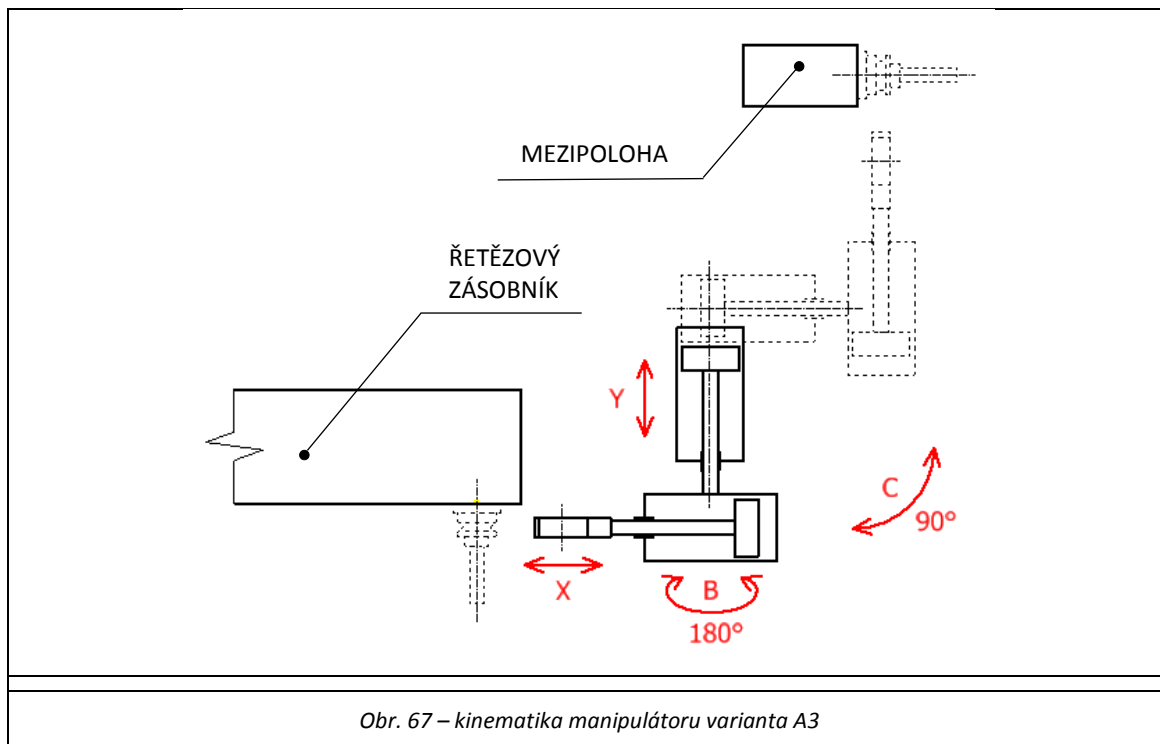
Nástroj je potřeba přemístit ze zásobníku do mezipolohy, aby byl připraven k zasunutí do pracovního vřetena výměnnou rukou. K tomu slouží navrhovaný jednocelový manipulátor, který nástroj vysune z lůžka řetězu a zasune jej do mezipolohy a obrátí.

V kapitole 3.3 byly ukázány různé způsoby výměny nástroje. Hlavním rozdílem mezi jednotlivými variantami je umístění manipulátoru. Nejčastějším řešením je umístění manipulátoru do vnitřního prostoru řetězového zásobníku. Při návrhu uspořádání řetězu v zásobníku byla snaha navrhnout takové řešení, aby bylo možné manipulátor umístit do vnitřního prostoru zásobníku. Takové řešení ale nebylo možné navrhnout z důvodu omezení zástavbových a servisních prostorů. Z tohoto důvodu se manipulátor umístí vně řetězového zásobníku a výměna nástroje bude vycházet z varianty B1, kterou na svém stroji používá firma MAZAK.

5.1. Návrh kinematických pohybů

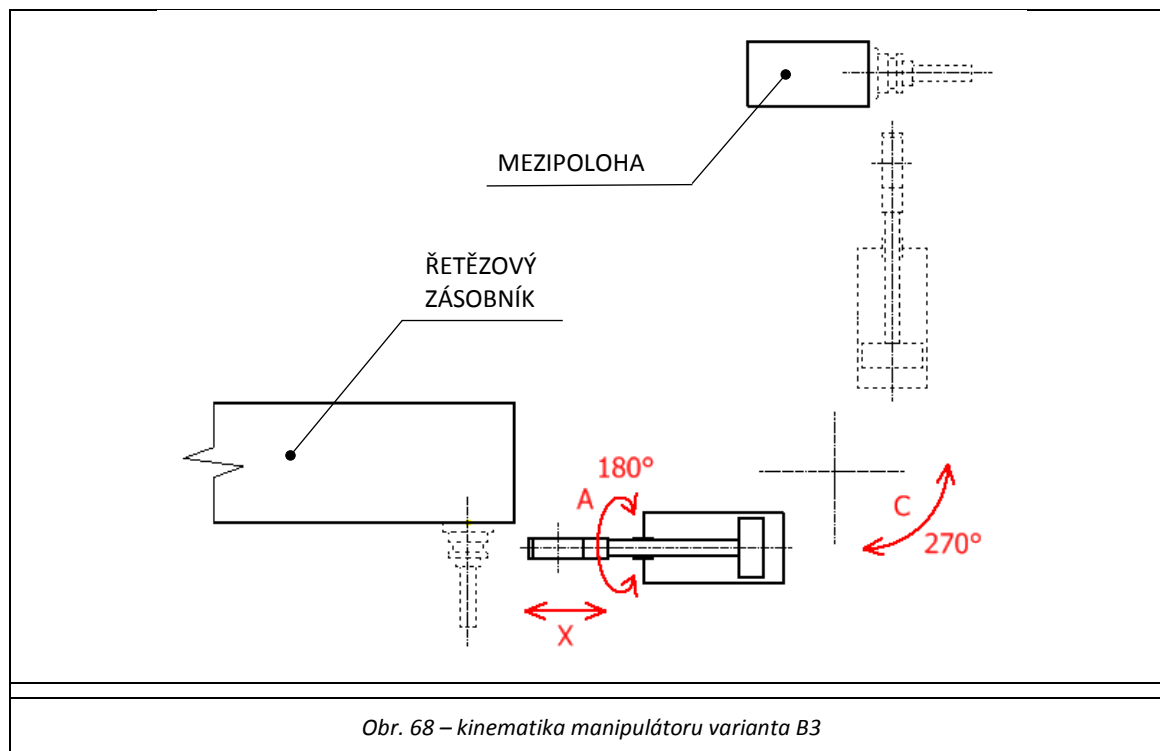
Prostorové uspořádání zásobníku je dané konstrukcí stroje. Řetězový zásobník je vzhledem k přípravnému místu v mezipoloze orientován o 90° . Manipulátor tedy musí konat rotační pohyb a pohyb translační k uchycení nástroje.

5.1.1. Varianta A3 – 2T2R pohyby



Pohyb manipulátoru se ve variantě A3 skládá ze dvou translačních a dvou rotačních pohybů. Translačními pohyby je nástroj uchycen a vysunut a rotačními pohyby je nástroj otočen kolem osy C a překlopen kolem osy B.

5.1.2. Varianta B3 – 1T2R pohyby



Obr. 68 – kinematika manipulátoru varianta B3

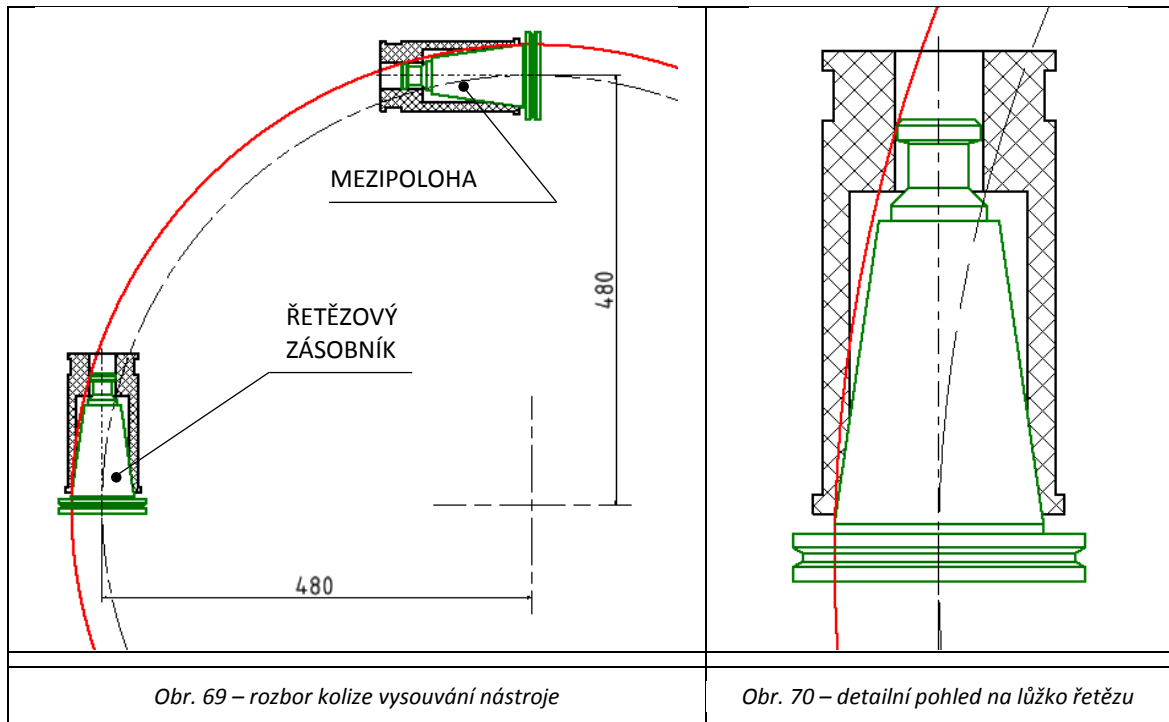
Pohyb manipulátoru se ve variantě B3 skládá z jednoho translačního a dvou rotačních pohybů. Translačním pohybem je nástroj uchycen a rotačními pohyby je nástroj vysunut, otočen kolem osy C a překllopen kolem osy A.

Tato varianta je stejná, jako používá firma MAZAK. Výhodou této varianty oproti variantě A3 je jednodušší a levnější konstrukce a provoz manipulátoru díky třem použitým pohonům místo čtyř. Dále se varianty liší prostorovým uspořádáním. Varianta A3 je vhodná v případě, kdy je zásobník umístěn ve větší vzdálenosti od mezipolohy, výhodou této varianty je rychlejší a méně náročná výměna nástroje vzhledem ke konstrukci manipulátoru. Varianta B3 je vhodná tam, kde není mnoho místa mezi zásobníkem a mezipolohou. Manipulátor v této variantě zabírá více místa v prostoru výměny nástroje a koná delší pohyb s nástrojem.

5.1.3. Rozbor kolize vysouvání nástroje

Na Obr. 69 je rozkreslená pozice nástroje v řetězovém zásobníku vůči pozici nástroje v mezipoloze a naznačena trajektorie pohybu nástroje při vysouvání z lůžka po kružnici. Tato skica slouží k ověření kolize nástroje s lůžkem řetězu při vysouvání nástroje rotačním pohybem, stejně jako je to řešeno ve variantě B3. Rozbor kolize je řešen s použitím upínacího držáku nástroje SK 50.

Ze skici je zřejmé, že upínací čep držáku koliduje s lůžkem řetězu. Z konstrukčního důvodu nelze se vzájemnou polohou pozic nástroje v zásobníku a v mezipoloze příliš manipulovat, a proto bude nástroj vysouván translačním pohybem a ne rotačním.



5.1.4. Shrnutí

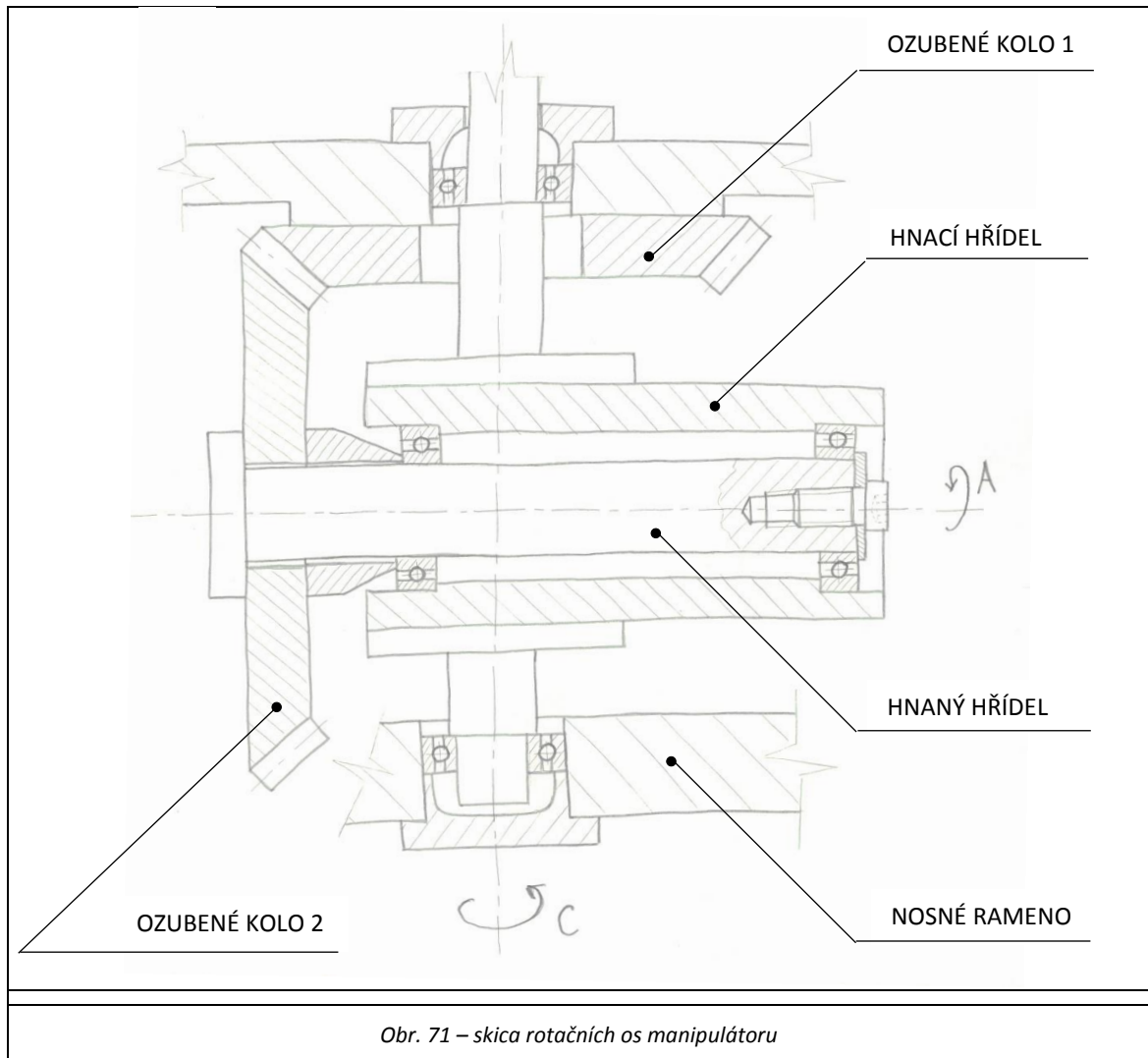
Rozbor kolize ukázal, že v tomto případě nelze nástroj vysouvat rotačním pohybem, proto varianta B3 nevyhovuje. Variantu A3 ale také nelze použít kvůli nedostatečnému prostoru pro manipulátor mezi zásobníkem a mezipolohou. Výsledné kinematické uspořádání pohybů bude vycházet z kombinací obou variant A3 a B3.

Manipulátor bude konat dva translační pohyby a dva rotační pohyby. Translačními pohyby bude nástroj uchycen a vysunut ze zásobníku a rotačními pohyby bude nástroj otočen a překlopen. Manipulátor bude připevněn k nosnému rameni upevněnému k nosnému rámu zásobníku, stejně jako ve variantě B3.

5.2. Konstrukční návrh - varianta A4

Návrh manipulátoru vychází z předpokladu, že pozice výměny nástroje leží na společné kružnici. Cílem tohoto návrhu bude minimalizovat počet použitých pohonů ve snaze ušetřit pořizovací a provozní náklady.

Na Obr. 71 je skica s návrhem uspořádání rotačních os, které jsou mechanicky svázané kuželovým ozubeným soukolím s přímými zuby. Osa C je hnací a osa A hnaná. Pro rotační osu C byl zvolen pohon synchronní servomotor, který je svými vlastnostmi pro tyto aplikace nejvhodnější. Vhodným pohonem by také byl krokový motor, ale po konzultaci ve firmě byla upřednostněna varianta se servomotorem.



5.2.1. Schématický návrh manipulátoru

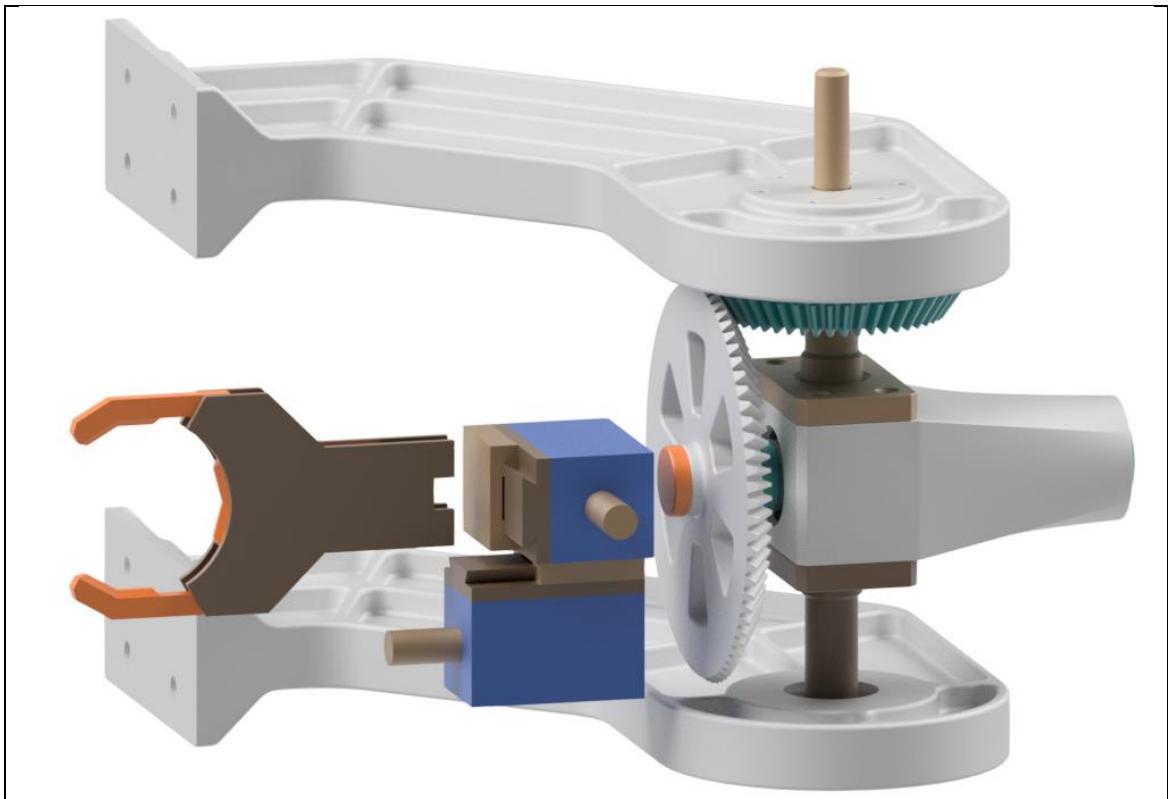
Návrh rotačních os vychází ze skici na Obr. 71. Hřídel hnací osy je uložena na radiálních kuželíkových ložiskách v nosném rameni. Hřídel hnané osy je také uložena na radiálních kuželíkových ložiskách v nosné trubce hnací hřídele, takže koná dva rotační pohyby kolem osy A a C.

Kuželové ozubené soukolí vzájemně propojuje hnanou a hnací hřídel. Převodový poměr soukolí je dán poměrem úhlů otáčení každé osy. Ozubené kolo 1 je přišroubované k tuhému rámu a ozubené kolo 2 je perem spojeno s hnanou hřídelí. Pokud pohon začne otáčet s osou C, ozubené kolo 2 začne otáčet s osou A odvalováním se po ozubeném kole 1.

Pro translační pohyby byly zvoleny přímočaré hydraulické motory kvůli dosažení velké síly v poměru s malým zástavbovým prostorem. Návrhy uspořádání HM jsou na Obr. 72 a Obr. 73.

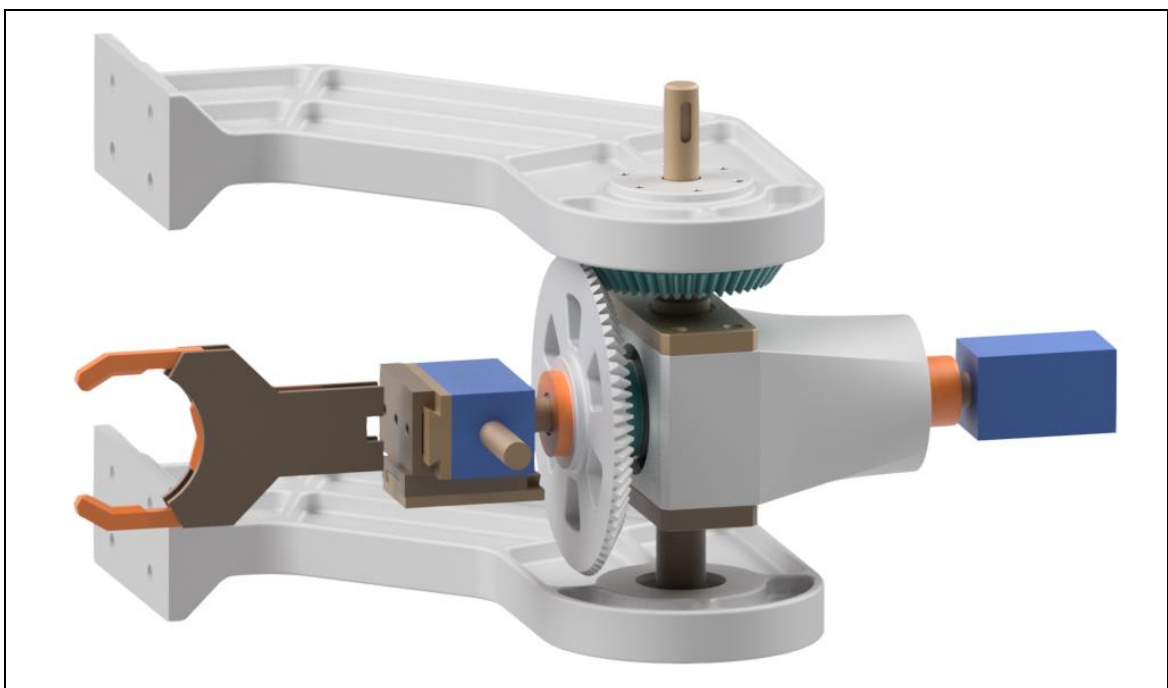
Vedení translačních pohybů je řešeno rybinovými drážkami. Valivé lineární vedení nebylo zvoleno z důvodu menších nároků na přesnost, nízkých rychlostí pohybů a vysokým nárokům na zástavbový prostor a hmotnost celé konstrukce.

Varianta A4.1 – HM umístěny na jedné straně



Obr. 72 – schématický návrh manipulátoru – varianta A4.1

Varianta A4.2 – HM umístěny symetricky



Obr. 73 – schématický návrh manipulátoru – varianta A4.2

5.2.2. Shrnutí

Navrhovaný manipulátor s kuželovým ozubeným soukolím byl konstruován s předpokladem, že bude možné konstrukčně docílit umístění poloh výměny nástroje v zásobníku a mezipolohy na společnou kružnici. Tohoto předpokladu ale nelze docílit s daným uspořádáním řetězu v zásobníku kvůli servisním otvorům, které musí zůstat nezakryté.

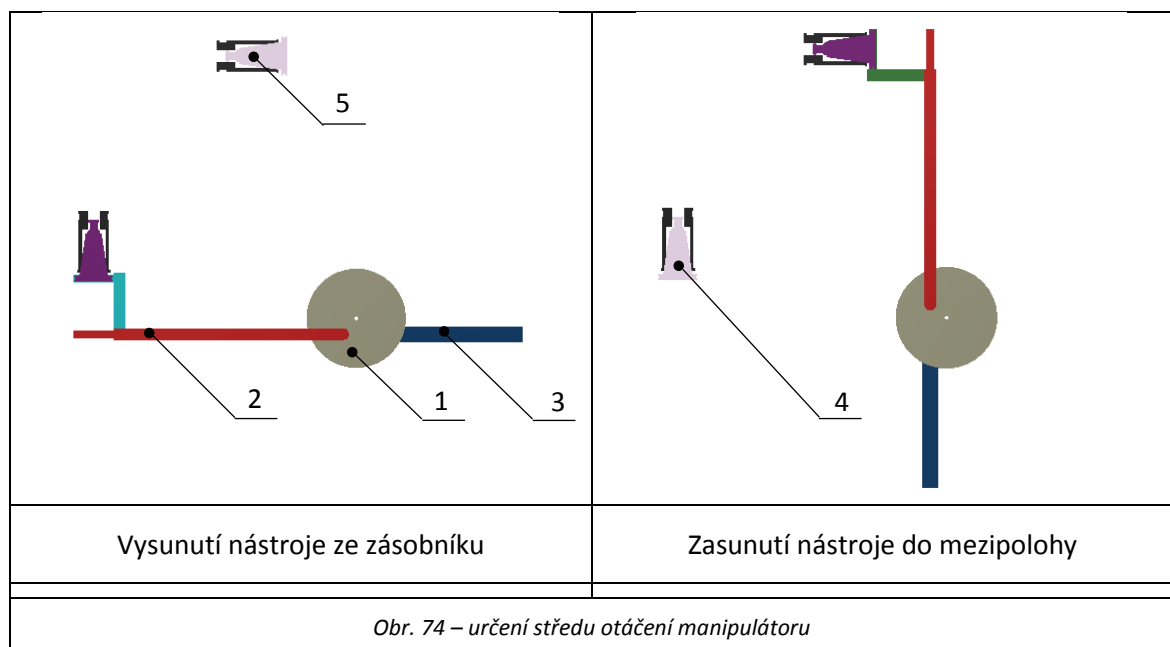
Další návrh manipulátoru bude vycházet z rozpracované varianty A4.2 s dutou hřídelí osy A, která nabízí prostorově vyváženou konstrukci. Jednotlivé koncepční uzly budou propojeny ve funkční celek. Budou navrženy jednotlivé pohony, uchopovací ruka, kontrolní a bezpečnostní prvky a přívod energií k HM.

5.3. Konstrukční návrh – varianta B4

Konstrukce manipulátoru vychází z varianty A4.2. Budou použity dva servomotory, každý pro jednu osu rotace a dva HM pro translační pohyby. Vzájemná poloha výměny nástroje neleží na společné kružnici, z tohoto důvodu se manipulátor bude otáčet excentricky.

5.3.1. Vyosení osy rotace C

Na Obr. 74 je zobrazena reálná poloha pro výměnu nástroje se zjednodušeným modelem osy A s úchopnou rukou. Určení polohy osy otáčení vůči ose C manipulátoru bylo zjištěno experimentálně iterační metodou ve virtuálním prostředí.

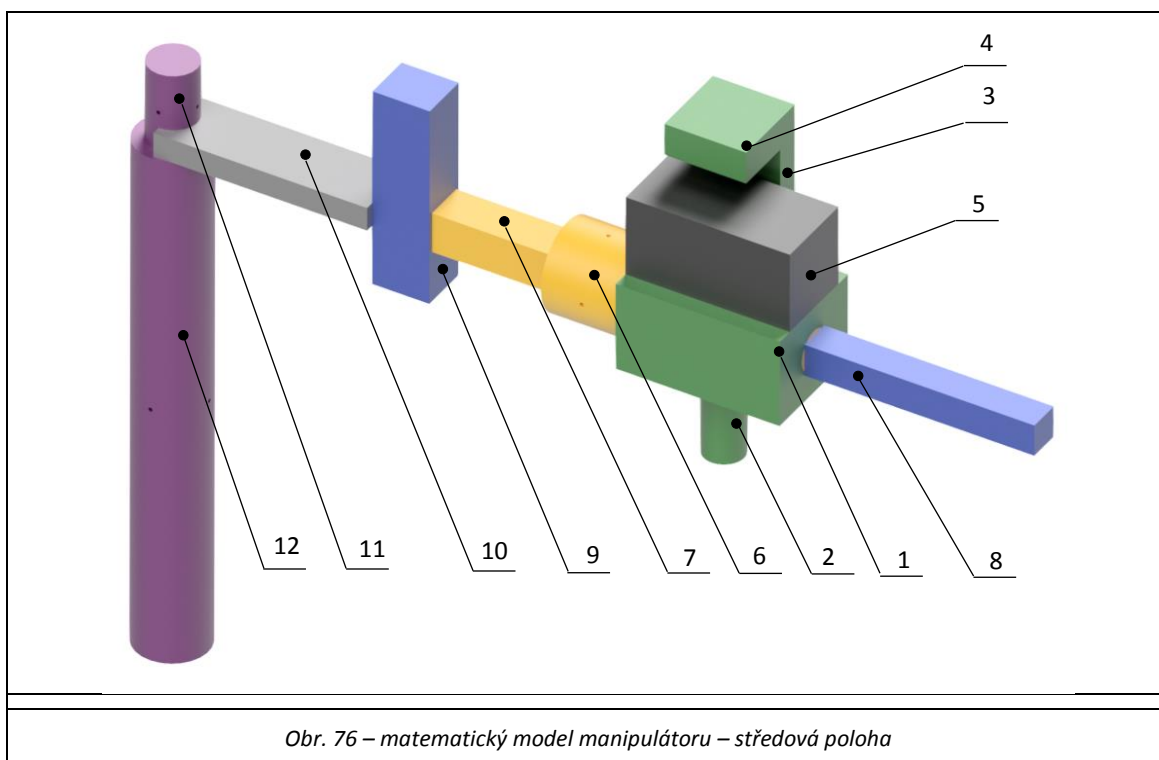
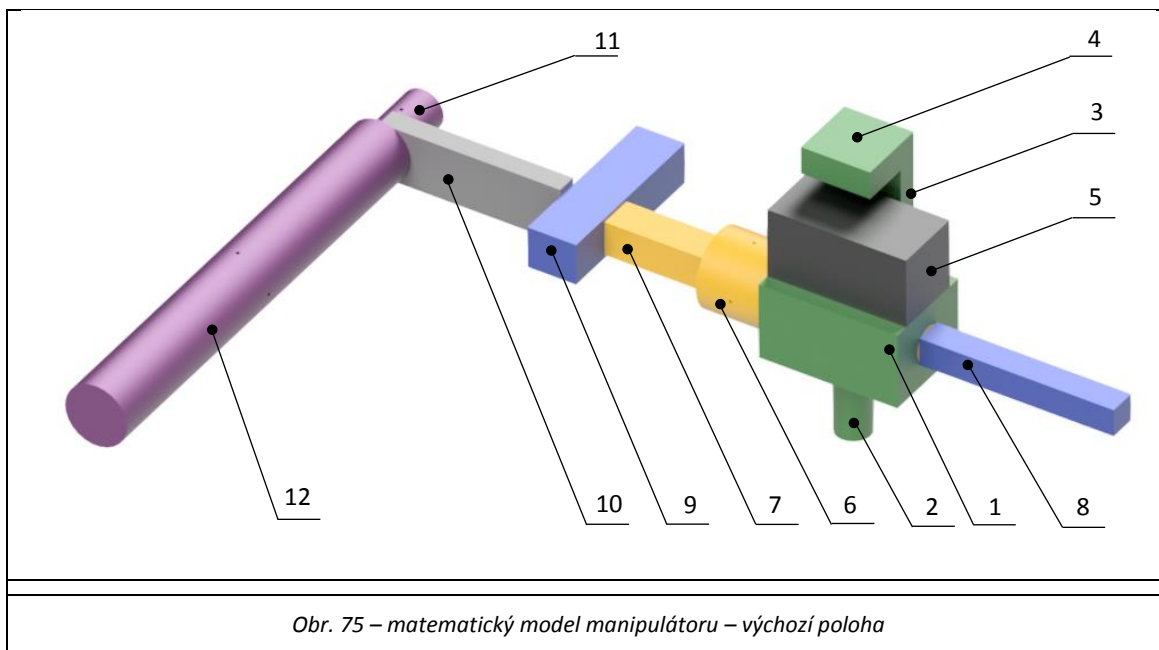


1 – nosné rameno
2 – hnací hřídel
3 – HM 1

4 – pozice výměny nástroje v zásobníku
5 – pozice výměny nástroje v mezipolohy

5.3.2. Dimenzování pohonů

Pro dimenzování pohonů byl vytvořen zjednodušený matematický model manipulátoru ve dvou hlavních polohách, viz Obr. 75 a Obr. 76. Tvary hlavních uzlů byly nahrazeny kvádry a válci se zachováním hmotnosti a polohy těžiště pro přesnější výpočet. Tyto modely poslouží k výpočtu celkového momentu setrvačnosti k daným rotačním osám pro zvolení servomotorů a k výpočtu hmotnosti pohybujících se těles k určení velikosti HM 1 a HM 2.



Fyzikální parametry jednotlivých těles jsou spolu s výpočty uvedeny v Příloze Stránka V. – Stránka VII. Základní vzorce, které byly při výpočtu použity, jsou uvedeny níže, viz vzorce 5.3.2 (24) - 5.3.2 (34).

Výpočet úhlového zrychlení rotačních os A a C

Zvoleno: $t_{m_C} = 3 \text{ s}$
 $t_{m_A} = 3 \text{ s}$

Dáno: $\varphi_C = 270^\circ$
 $\varphi_A = 180^\circ$

$$\varepsilon_C = \frac{\frac{\varphi_C}{2}}{\frac{t_{m_C}^2}{2}} = \frac{\varphi_C}{t_{m_C}^2} = \frac{\pi \cdot 270}{2^2} = 1,18 \text{ rad s}^{-2} \quad 5.3.2 (24)$$

$$\varepsilon_A = \frac{\frac{\varphi_A}{2}}{\frac{t_{m_A}^2}{2}} = \frac{\varphi_A}{t_{m_A}^2} = \frac{\pi \cdot 180}{2^2} = 0,79 \text{ rad s}^{-2} \quad 5.3.2 (25)$$

Výpočet momentů setrvačnosti

a) Kvádr s osou procházející těžištěm

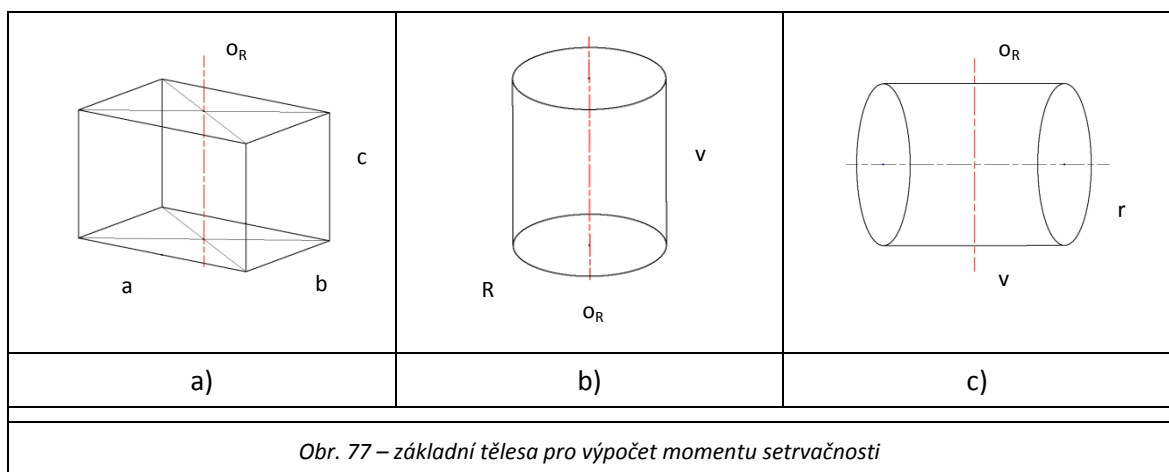
$$J_{T_a} = \frac{1}{12} m \cdot (a^2 + b^2) \quad 5.3.2 (26)$$

b) Válec s osou procházející těžištěm rovnoběžnou s rotační osou válce

$$J_{T_b} = \frac{1}{2} m \cdot R^2 \quad 5.3.2 (27)$$

c) Válec s osou procházející těžištěm kolmou k rotační ose válce

$$J_{T_c} = \frac{1}{4} m \cdot (r^2 + \frac{v^2}{3}) \quad 5.3.2 (28)$$





d) Steinerova věta

$$J = J_T + m \cdot r_T^2 \quad 5.3.2 (29)$$

e) Celkový moment setrvačnosti

$$J_C = \sum_{i=1}^n J_i \quad 5.3.2 (30)$$

Výpočet momentů působících na osy rotace A a C

$$M_i = J_i \cdot \varepsilon \quad 5.3.2 (31)$$

$$M_C = \sum_{i=1}^n M_i \quad 5.3.2 (32)$$

Z výpočtů, viz Příloha Stránka V. – Stránka VII., vyplývá, že maximální moment působící na osu rotace A vyšel $M_{CA} = 7,75 \text{ Nm}$ a maximální působící moment na osu rotace C vyšel $M_{CC} = 11,75 \text{ Nm}$.

Výpočet výstupních otáček rotačních os A a C

$$n_C = \frac{\varphi_C}{\frac{2 \cdot \pi \cdot t_{m_C}}{60}} = \frac{60 \cdot \frac{\pi \cdot 270}{180}}{2 \cdot \pi \cdot 3} = \frac{60 \cdot 270}{2 \cdot 3 \cdot 180} = 15 \text{ ot min}^{-1} \quad 5.3.2 (33)$$

$$n_A = \frac{\varphi_A}{\frac{2 \cdot \pi \cdot t_{m_A}}{60}} = \frac{60 \cdot \frac{\pi \cdot 180}{180}}{2 \cdot \pi \cdot 3} = \frac{60 \cdot 180}{2 \cdot 3 \cdot 180} = 10 \text{ ot min}^{-1} \quad 5.3.2 (34)$$

Návrh pohonu rotační osy C

Pohon rotační osy C bude statický, pevně spojen s nosným ramenem manipulátoru. Pohon se skládá ze servomotoru a jednostupňové planetové převodovky pro dosažení potřebného momentu. Krouticí moment bude přenášen na hřídel osy C pružnou spojkou. Kompletní parametry vybraného pohonu od firmy SIEMENS jsou uvedeny v Příloze Stránka XI. – Stránka XII.

- Typ motoru: 1FK7042-2AC74-1EH1-Z
- Jmenovité otáčky: $n_{jm_C} = 2000 \text{ ot min}^{-1}$
- Jmenovitý krouticí moment: $M_{k_{jm_C}} = 2,8 \text{ Nm}$
- Převodový stupeň planetové převodovky: $i_{p_C} = 7$

- **Kontrola pohonu:**

Krouticí moment při otáčkách $n_C = 15 \text{ ot min}^{-1}$ je $M_{k_{n_C}} \cong 2,9 \text{ Nm}$. Hodnota odečtena z grafu charakteristiky motoru, viz Příloha Stránka XIII.

$$M_{k_1} = M_{k_{n_C}} \cdot i_{p_C} = 2,9 \cdot 7 = 20,3 \text{ Nm} \quad 5.3.2 (35)$$

$$M_{k_1} > M_{C_C} \Leftrightarrow 20,3 \text{ Nm} > 11,75 \text{ Nm} \quad 5.3.2 (36)$$

Výsledný krouticí moment pohonu M_{k_1} je větší, než moment M_{C_C} působící na osu rotace C. Zvolený motor vyhovuje. Při výpočtech byla zanedbána účinnost převodovky a pasivní odpory. Tyto hodnoty jsou zanedbatelné, dominantní zátěží je samotný nástroj, který na osu působí největším momentem.

Návrh pohonu rotační osy A

Pohon rotační osy A bude pevně spojen s rotační osou C. Výstupní hřídel motoru s hnanou hřídelí bude spojena ozubeným soukolím s přímými zuby. Kvůli jednoduššímu nastavení pohonů a údržbě byl zvolen stejný motor, jako pro osu C. Kompletní parametry vybraného pohonu od firmy SIEMENS jsou uvedeny v Příloze Stránka XIV. – Stránka XV.

- Typ motoru: 1FK7042-2AC74-1EB1
- Jmenovité otáčky: $n_{jm_A} = 2000 \text{ ot min}^{-1}$
- Jmenovitý krouticí moment: $M_{k_{jm_A}} = 2,8 \text{ Nm}$
- Převodový stupeň ozubeného soukolí: $i_{p_A} = 5$

- Kontrola pohonu:

Krouticí moment při otáčkách $n_A = 10 \text{ ot min}^{-1}$ je $M_{k_{n_A}} \cong 2,9 \text{ Nm}$. Hodnota odečtena z grafu charakteristiky motoru, viz Příloha Stránka XVI.

$$M_{k_2} = M_{k_{n_A}} \cdot i_{p_A} = 2,9 \cdot 5 = 14,5 \text{ Nm} \quad 5.3.2 (37)$$

$$M_{k_2} > M_{C_A} \Leftrightarrow 14,5 \text{ Nm} > 7,75 \text{ Nm} \quad 5.3.2 (38)$$

Výsledný krouticí moment pohonu M_{k_2} je větší, než moment M_{C_A} působící na osu rotace A. Zvolený motor vyhovuje. Při výpočtech byla zanedbána účinnost ozubeného soukolí a pasivní odpory. Tyto hodnoty jsou zanedbatelné, dominantní zátěží je samotný nástroj, který na osu působí největším momentem.



Obr. 78 – zvolené pohony rotačních os firmy SIEMENS

Návrh HM

Pro oba translační pohyby budou zvoleny stejné pohony, stejně jako v případě elektrických pohonů rotačních os. Pohyb bude realizován přímočarým hydraulickým motorem s diferenciální pístnicí od firmy REXROTH. HM se budou lišit jen ve způsobu montáže a délkou zdvihu, viz Obr. 79. Velikost HM bude určena ze síly vyvolané hmotou pohybující se ve směru X, viz Obr. 67.

- Výpočet zatížení HM

Hmotnosti všech pohybujících se hmot jsou uvedeny v Příloze Stránka V. dle Obr. 75.

$$\begin{aligned} F_{X_{celk}} &= (m_7 + m_9 + m_{10} + m_{11} + m_{12}) \cdot g = (3 + 8,2 + 4,9 + 3 + 30) \cdot 9,81 = \\ &= 49,1 \cdot 9,81 = 481,67 \text{ N} \end{aligned} \quad 5.3.2 (39)$$

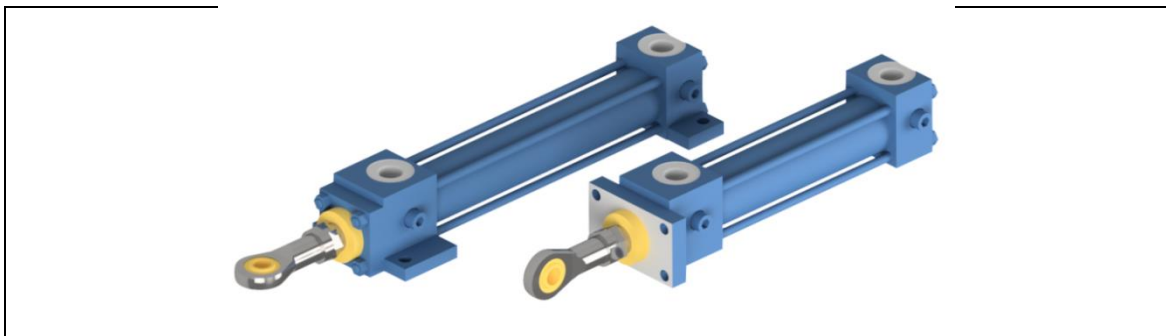
- Volba HM

Hydromotor byl zvolen tak, aby konstrukčně vyhovoval uspořádání manipulátoru. Tlak v hydraulickém obvodu horizontálních strojů H 630, H 800 a H 1000 je 150 barů. HM od REXROTH v této tlakové třídě mají nevhodné rozměry, zejména zakončení pístní tyče kloubovým okem je výrazně větší, než u řady HM pro tlak 70 barů. Tento parametr je při volbě důležitý, protože pístnice HM 1 bude procházet dutou hřídelí, která by musela být výrazně větší, což je nežádoucí. Z tohoto důvodu byla vybrána varianta HM pro max. pracovní tlak 70 barů. Průměr pístní tyče byl zvolen $d_{HM} = 16 \text{ mm}$ a průměr pístu $D_{HM} = 25 \text{ mm}$. Ostatní parametry HM 1 a HM 2 jsou uvedeny v Příloze Stránka XVII. – Stránka XXII.

- Výpočet síly HM

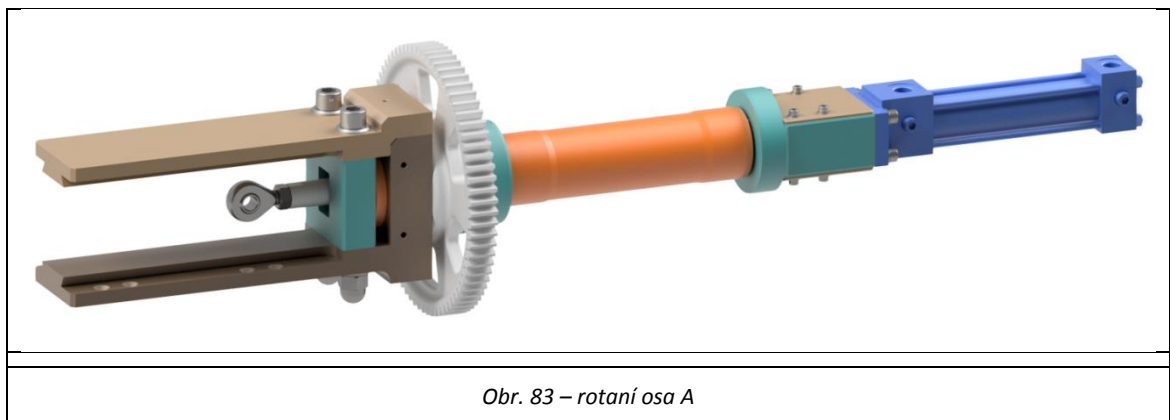
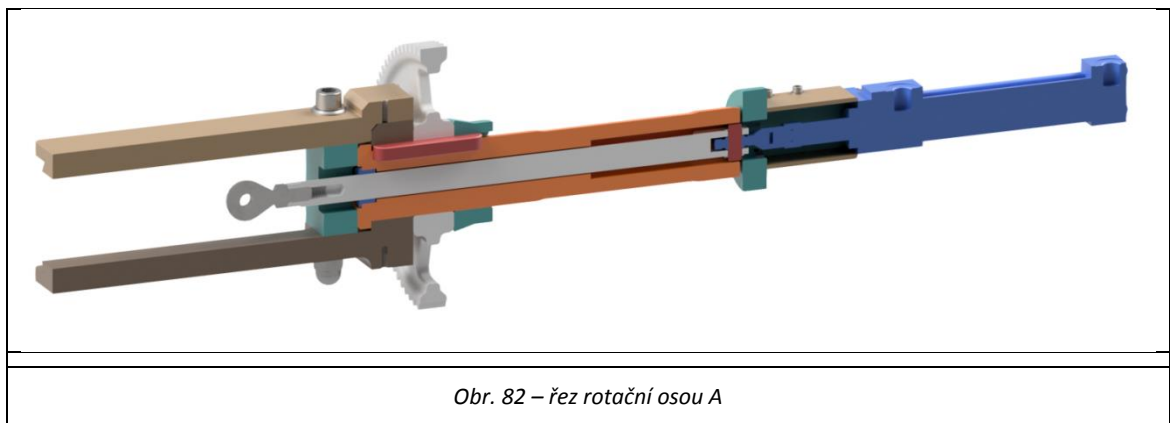
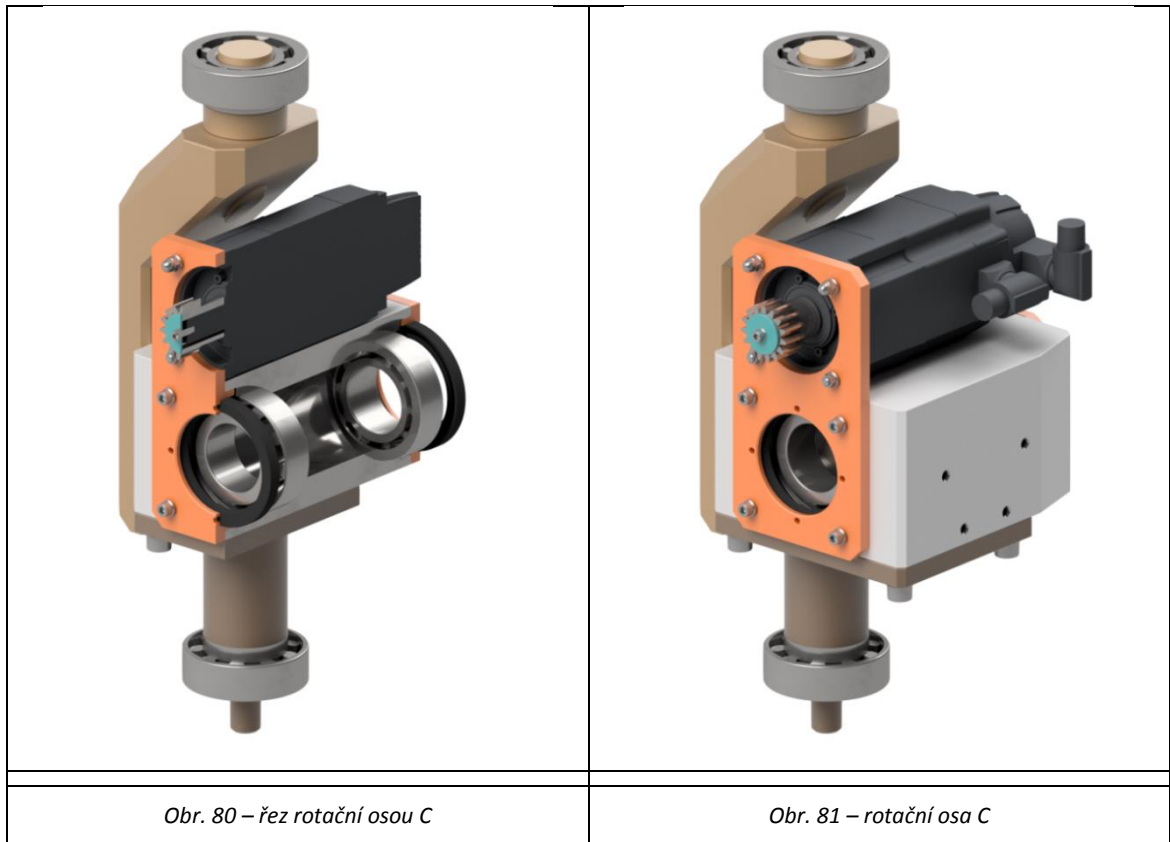
$$\begin{aligned} F_{HMz} &= p_{provoz} \cdot (S_1 - S_2) = p_{provoz} \cdot \left(\frac{\pi \cdot D_{HM}^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_{HM}^2}{4} \right) = \\ &= 70 \cdot 10^{-1} \cdot \left(\frac{\pi \cdot 25^2}{4} - \frac{\pi \cdot 16^2}{4} \right) = 2028,68 \text{ N} \end{aligned} \quad 5.3.2 (40)$$

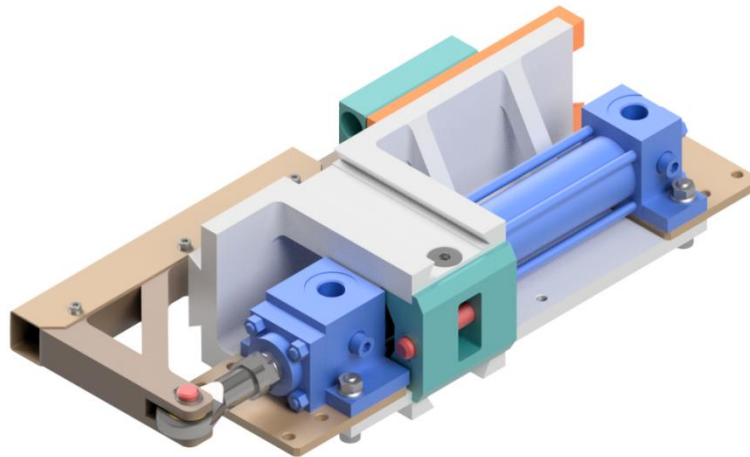
Pro výpočet síly HM byla uvažována varianta zasouvání pístu, protože v tomto prostoru válce je plocha pístu zmenšena o plochu průřezu pístnice. Velikost síly HM vyšla přibližně 5x větší, než je potřeba. Tento předimenzovaný výsledek je dán vysokým tlakem v obvodu, ale rozměry HM jsou vyhovující, a proto budou vybrané HM použity.



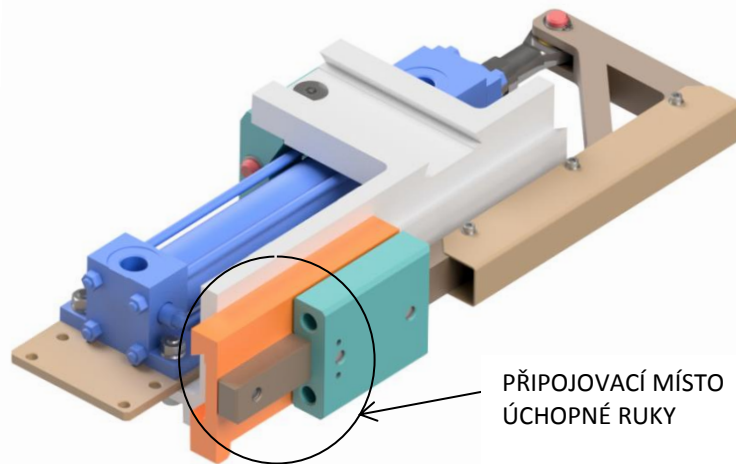
Obr. 79 – zvolené pohony translačních os firmy REXROTH

5.3.3. Vizualizace konstrukce





Obr. 84 – křížové saně s HM 2 – pohled zepředu



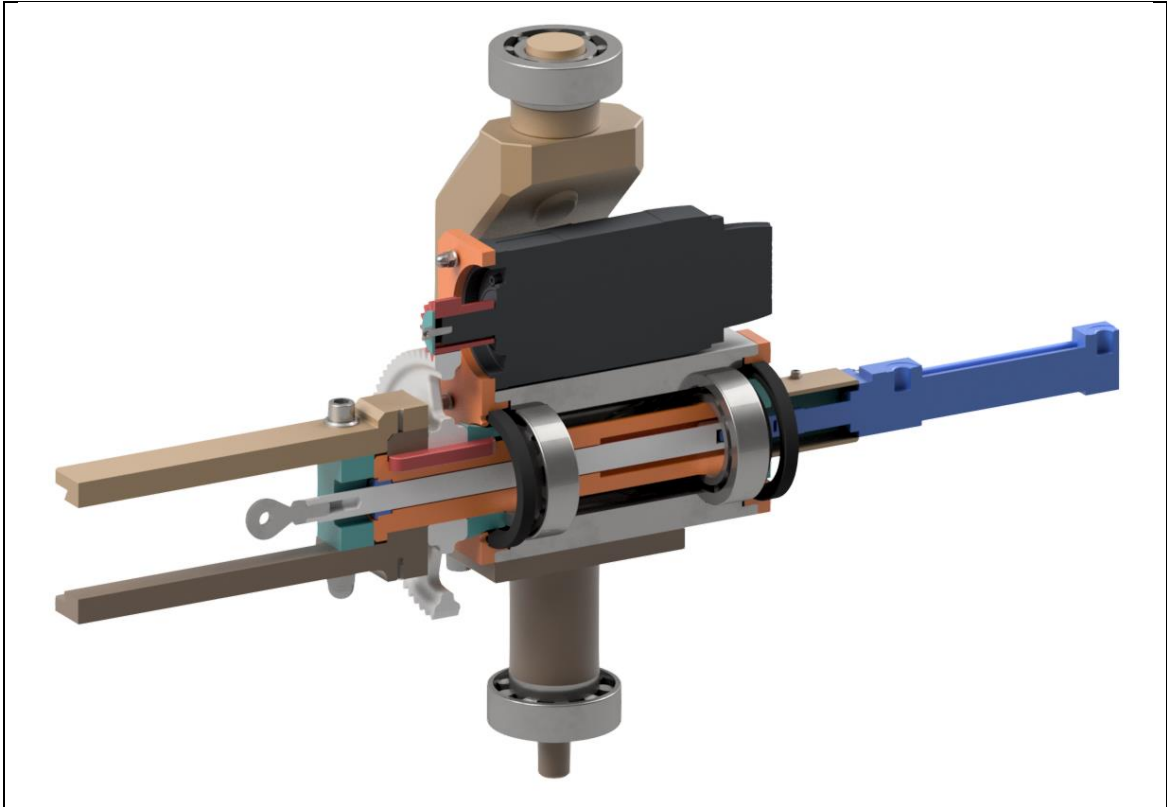
Obr. 85 – křížové saně s HM 2 – pohled zezadu

Na Obr. 80 a Obr. 81 je rozkreslena rotační osa C – hnací hřídel manipulátoru. Hřídele jsou uloženy na radiálních kuželíkových ložiskách. Ložiska jsou utěsněna gufery, možnost mazání tukovou náplní.

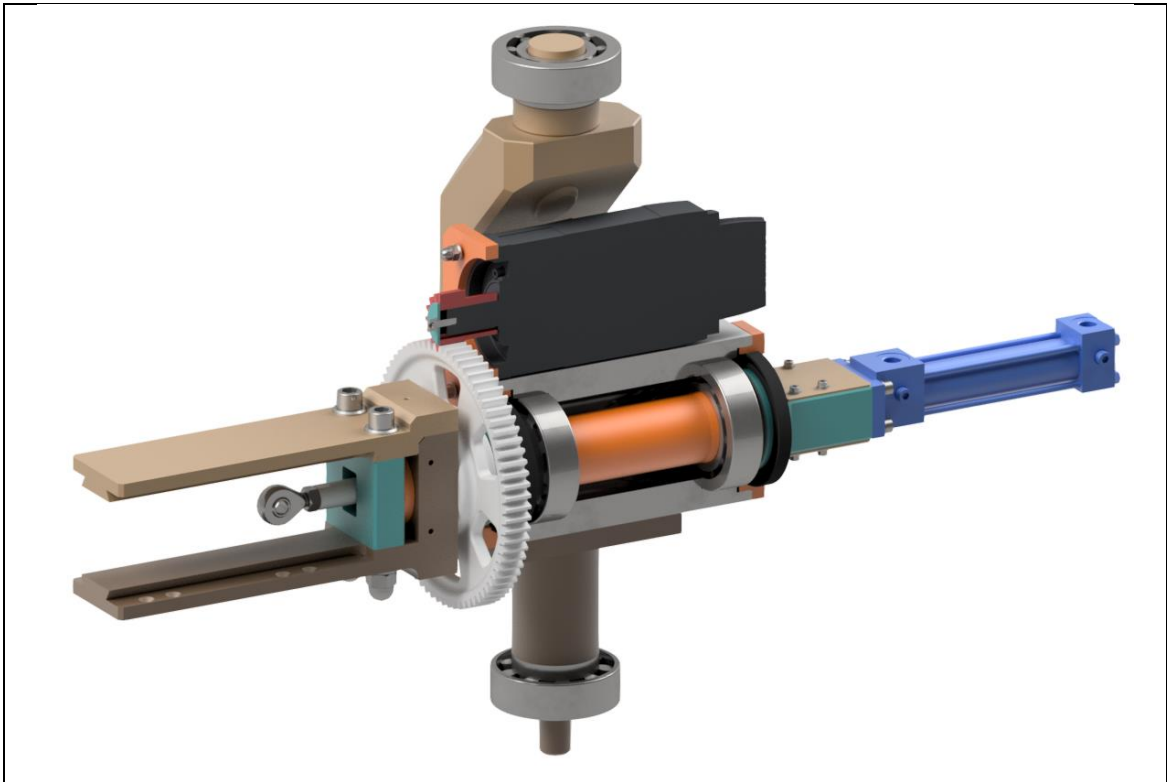
Na Obr. 82 a Obr. 83 je rozkreslena osa A – hnaná hřídel manipulátoru. K hnané hřídeli je přes přírubu přišroubován HM 1. Pístnice HM 1 je prodloužena táhlem spojeným přes kloubové oko, které eliminuje mimoosé zatížení na píst hydromotoru. Na hnané hřídeli je nasazené lineární vedení s rybinovými drážkami. Vedení je zdvojené kvůli větší tuhosti celé konstrukce.

Na Obr. 84 a Obr. 85 jsou rozkresleny křížové saně manipulátoru s HM 2. Na zadní straně je přípojovací místo pro úchopnou ruku manipulátoru. K táhlu, připojenému k pístní tyči přes kloubové oko, je přinýtované vedení pro kabeláž vedoucí k úchopné ruce.

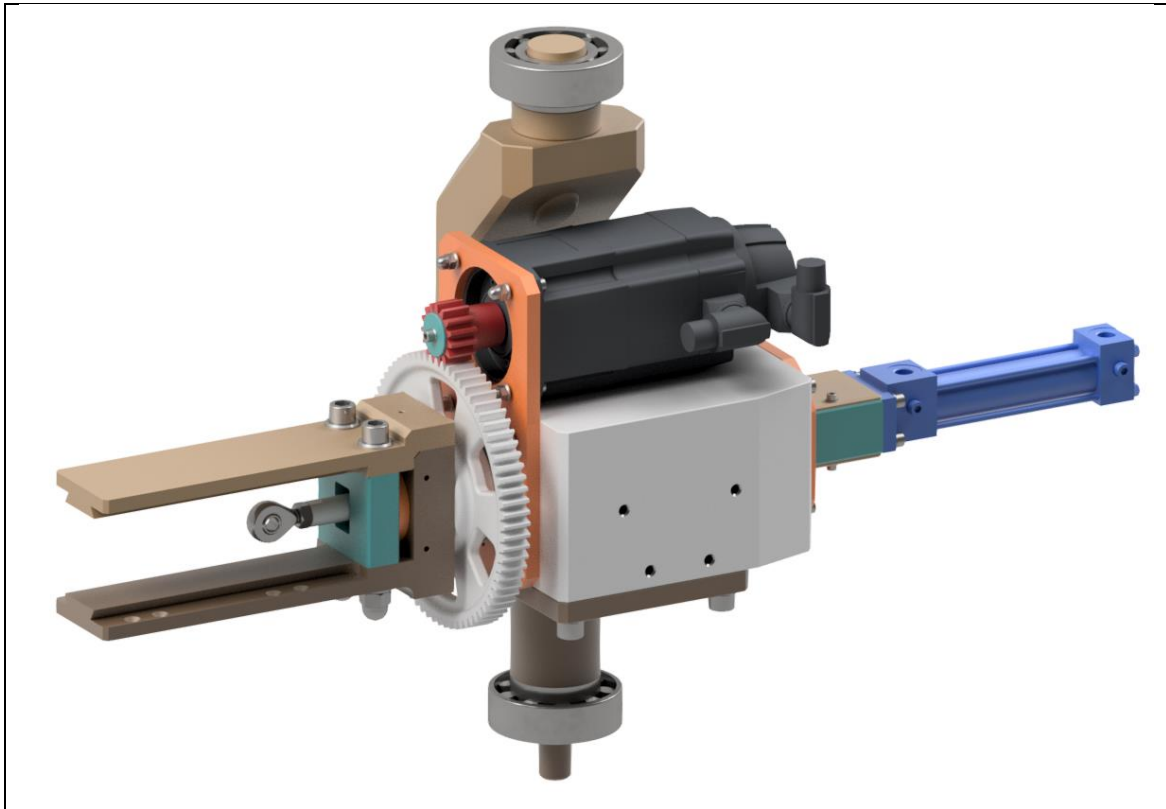
Na Obr. 86 – Obr. 89 je zobrazena kompletace rotačních os spolu s křížovými saněmi.



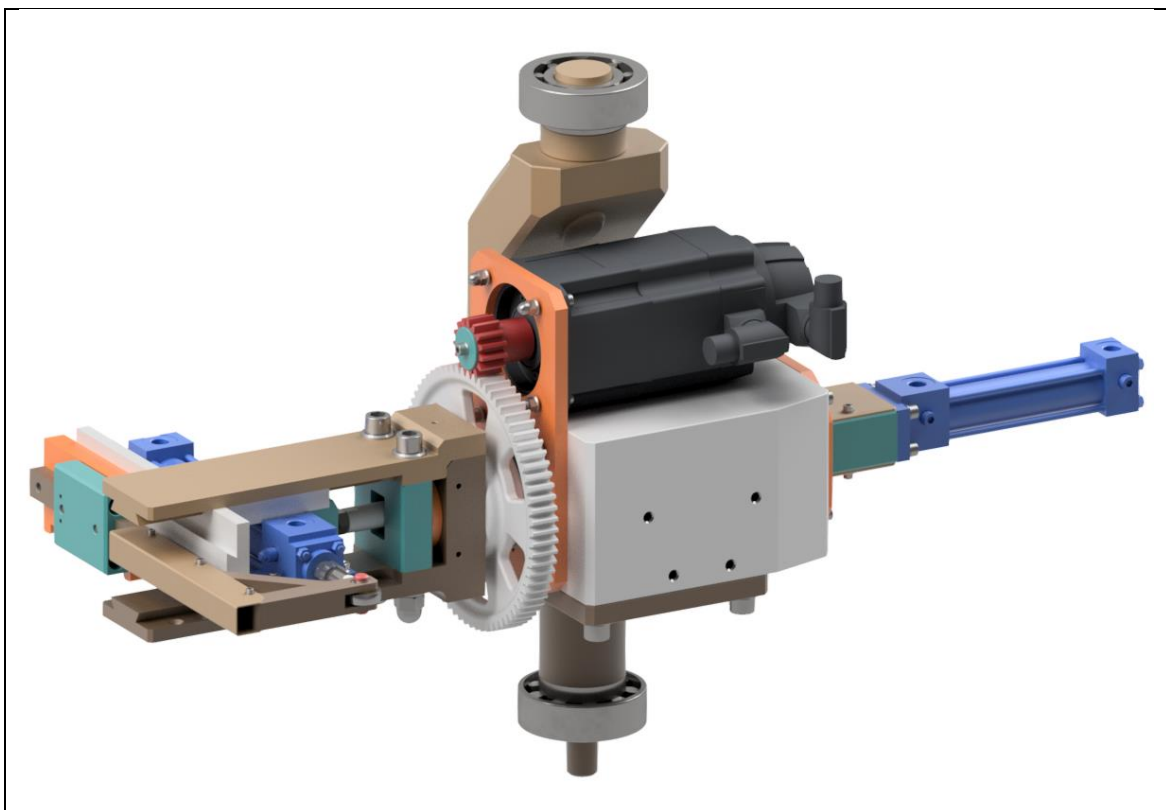
Obr. 86 – kompletace rotačních os – úplný řez



Obr. 87 – kompletace rotačních os – částečný řez



Obr. 88 – kompletace rotačních os



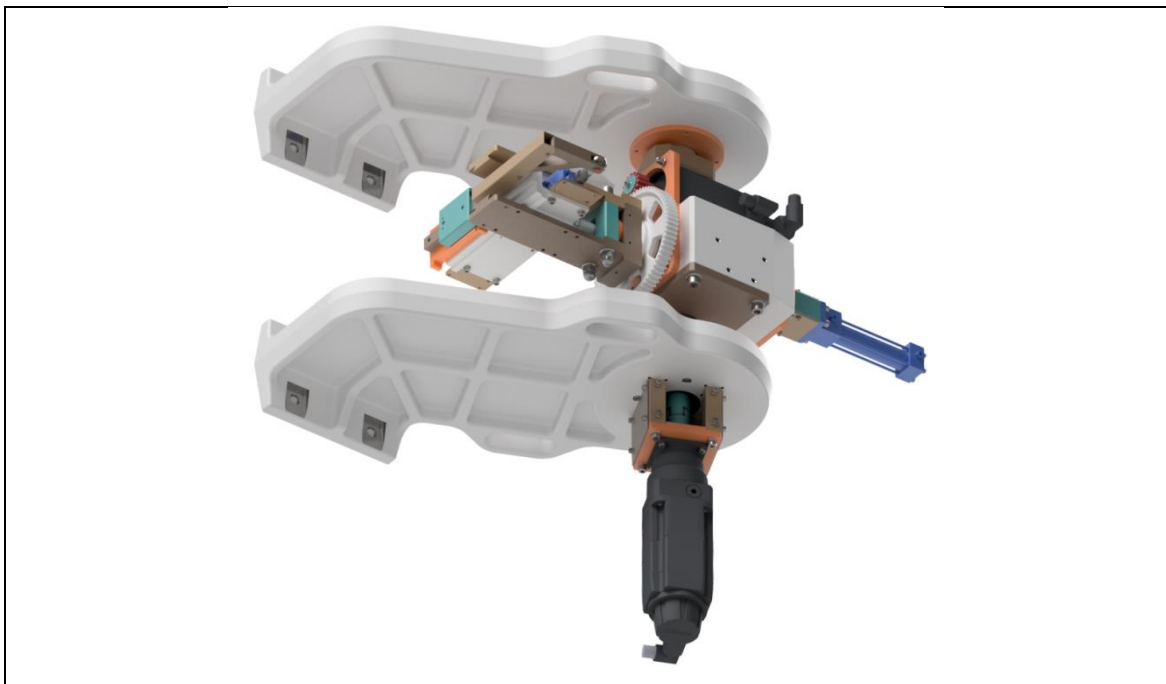
Obr. 89 – kompletace rotačních os s křížovými saněmi

Na Obr. 90 je navrženo nosné rameno jako odlitek z šedé litiny. Jde o dva stejné odlitky, akorát jinak obrobené. Součástí odlitku jsou duté otvory určené k manipulaci s manipulátorem.

Na Obr. 91 je pohled na dolní rameno spolu s pohonem rotační osy C. Pružná spojka je zakrytována a uzavřena kvůli delší životnosti. Zároveň je tak uzavřen celý ložiskový prostor.



Obr. 90 – nosné rameno s pohonem osy C

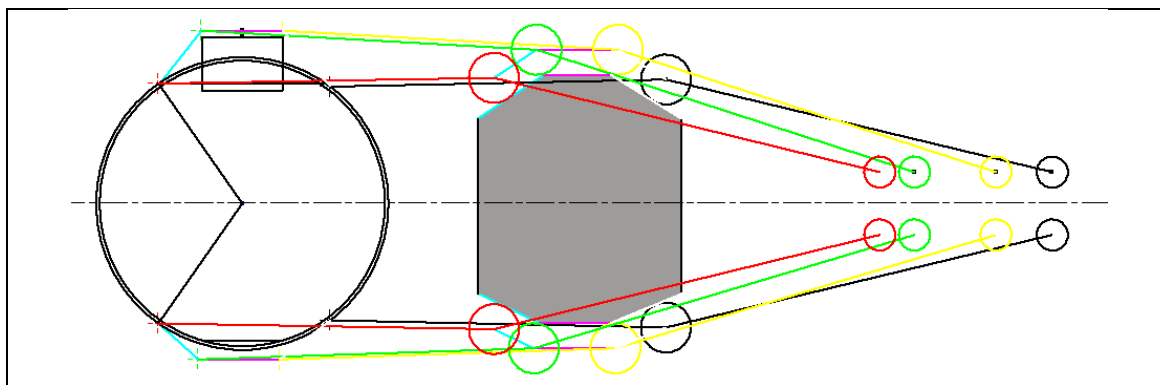


Obr. 91 – nosné rameno s pohonem osy C

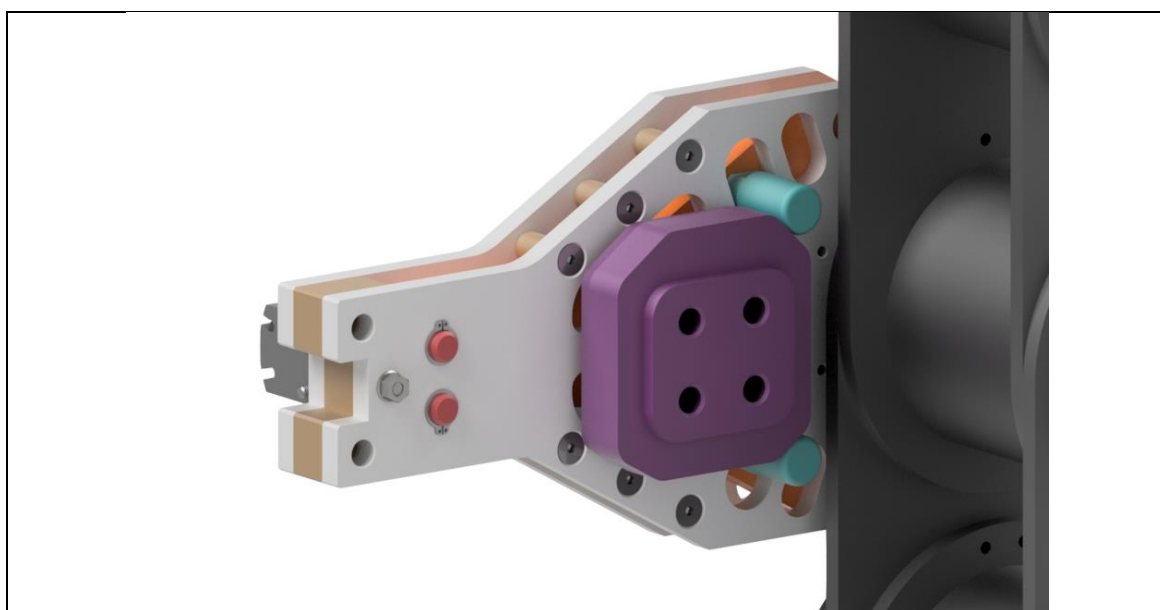
5.4. Návrh úchopné ruky

Úchopná ruka manipulátoru bude navržena vždy pro konkrétní upínací držák nástroje. Z provedené rešerše na Obr. 28 - Obr. 32, viz kapitola 3.4, je vidět, že se jednotlivé držáky rozměrově trochu liší. Nejčastěji používaným držákem je SK 50, z tohoto důvodu bude úchopná ruka navržena pro tento typ a další úchopné ruce budou modifikovány pro další upínací rozhraní.

Čelisti úchopné ruky budou mechanicky ovládané, sevřené pružinou a zaaretovány během manipulace. Rozevírání čelistí bude řešeno přes navrženou šablonu, viz Obr. 92. Upínací držák má dvě drážky umístěné proti sobě, do kterých zapadá unašecí kámen. Nástroj je tedy v zásobníku i během manipulace zajištěn proti pootočení. Pozice nástroje v zásobníku vzhledem k drážkám může být horizontální nebo vertikální. V tomto případě je pozice nástroje jednoznačně určena výměnnou rukou. Nástroj musí být v zásobníku v horizontální poloze. Z tohoto důvodu nelze čelisti rozevírat přímo přes upínací držák nástroje, protože by nedošlo ke správnému uchycení nástroje. Na Obr. 93 je zobrazena šablona spolu s čepy přišroubovanými k čelistem, které kopírují šablonu.



Obr. 92 – návrh šablony pro rozevírání čelistí



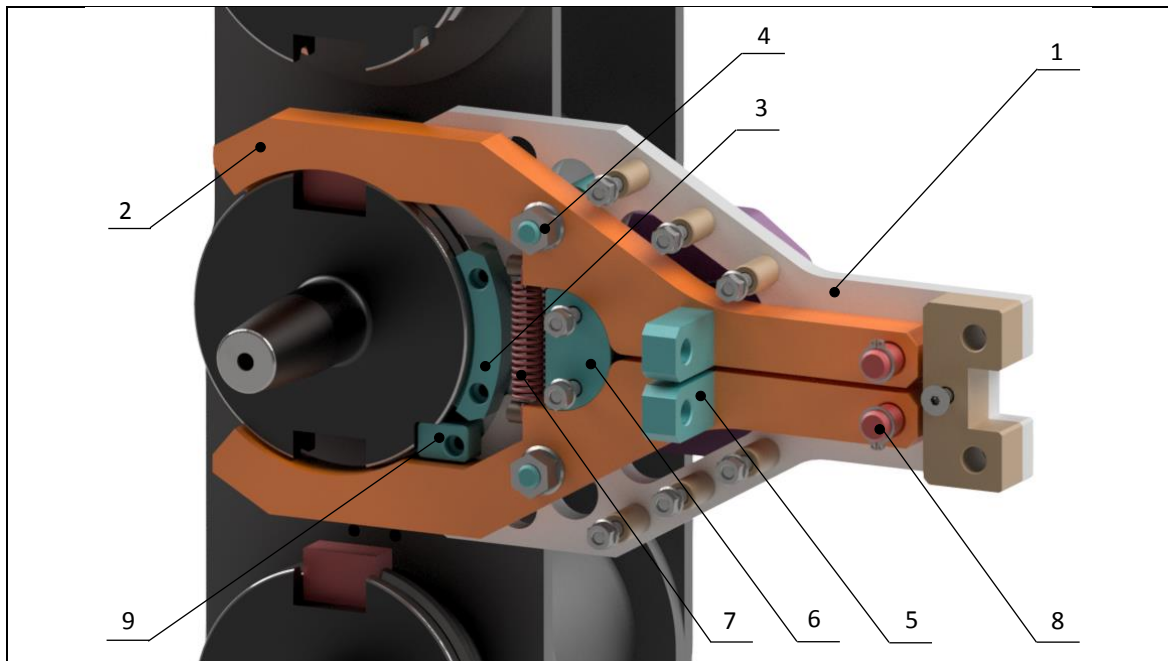
Obr. 93 – rozevírání čelistí

Na Obr. 94 a Obr. 95 je zobrazen vnitřek úchopné ruky. Čelisti 2) jsou uloženy na čepu 8) a vedeny mezi dvěma sešroubovanými deskami 1). Čelisti jsou spojené tažnou pružinou 7) a dosedají na pevný doraz 6). Nástroj je pohyblivými čelistmi 2) přitlačován vůči pevné čelisti 3) a proti pootočení nástroje je zde unašecí kámen 9).

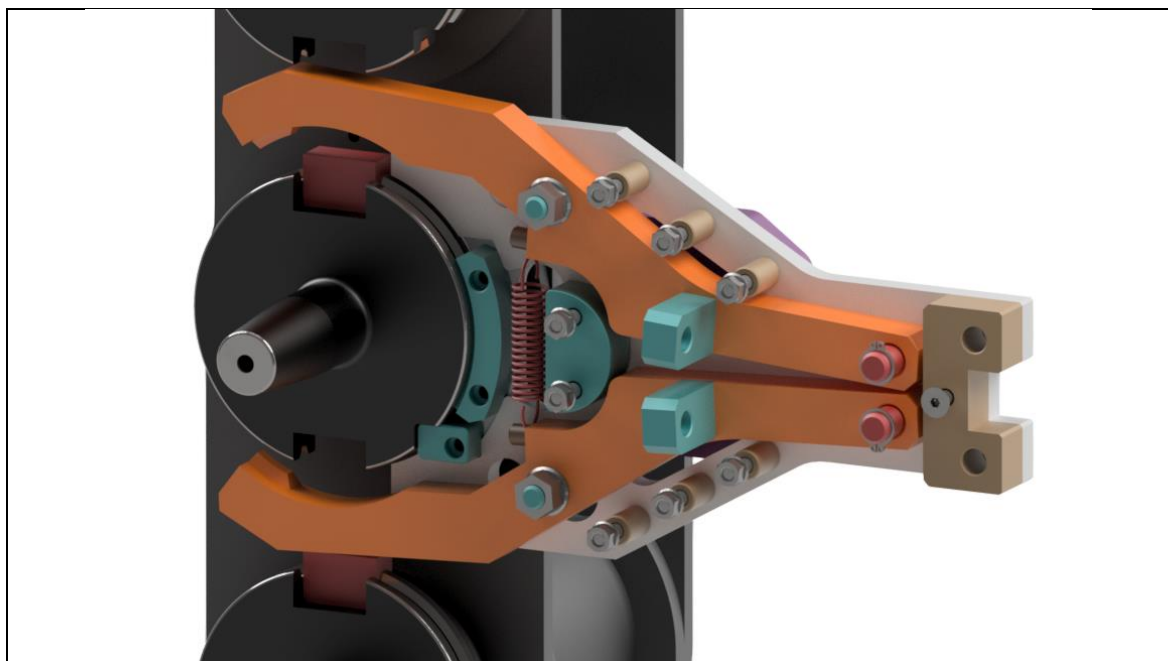
1 – tělo úchopné ruky
2 – pohyblivé čelisti
3 – pevná čelist

4 – kopírovací čep
5 – aretace čelistí
6 – doraz čelistí

7 – tažná pružina
8 – čep
9 – unašecí kámen

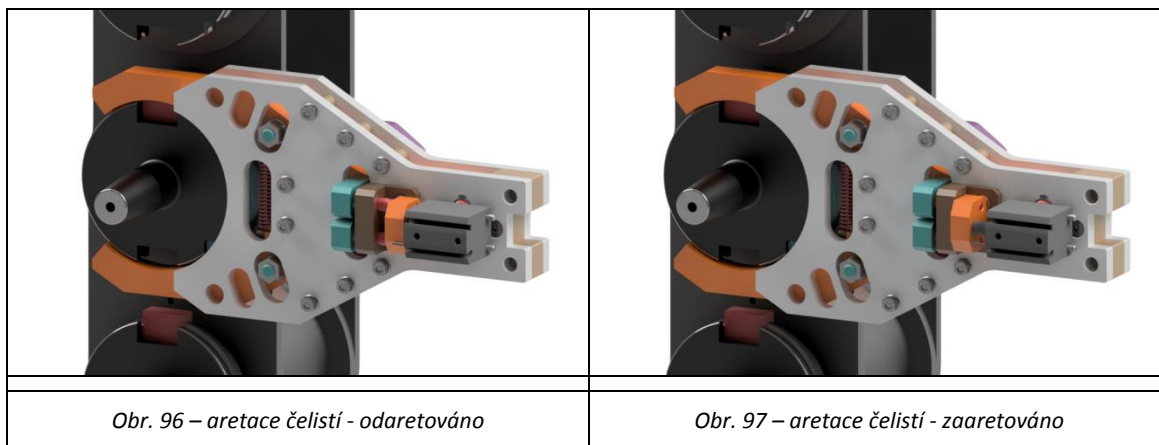


Obr. 94 – mechanismus úchopné ruky – sevřené čelisti

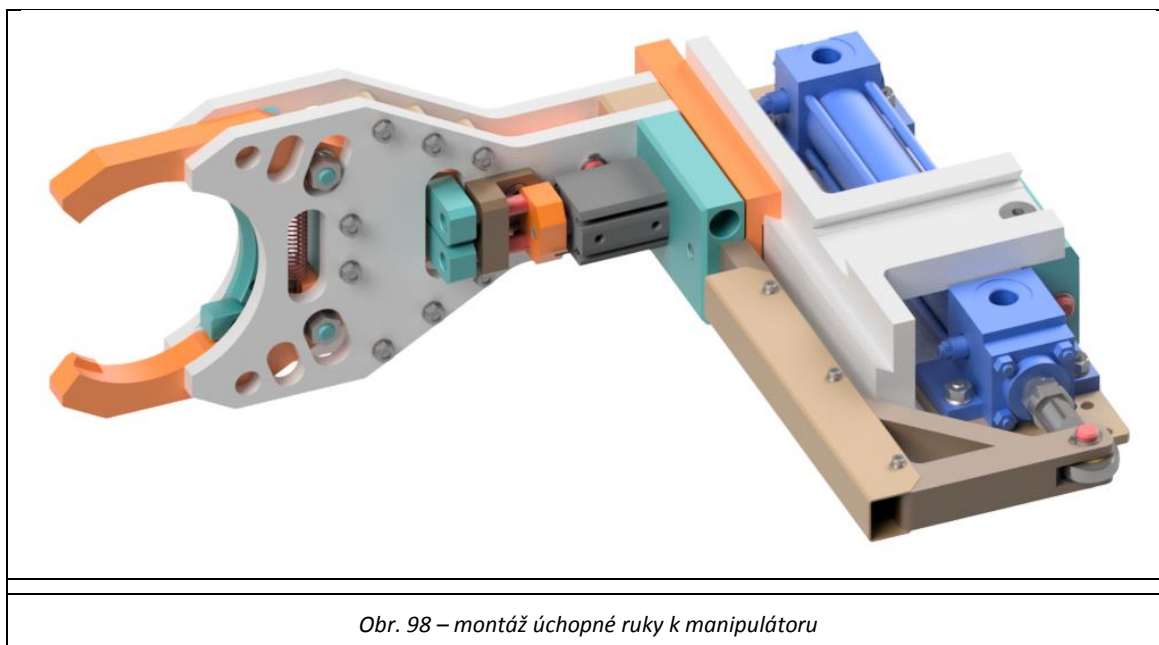


Obr. 95 – mechanismus úchopné ruky – rozevřené čelisti

Na Obr. 96 a Obr. 97 je znázorněno řešení aretace čelistí během manipulace s nástrojem. Byl použit pneumatický přímočarý dvoučinný motor, který zasouvá aretační čepy do protikusu na čelistech. Podrobné specifikace pneumotoru viz Příloha Stránka XXIII. Toto řešení aretace čelistí zaručuje bezpečnou manipulaci s nástroji, protože nemůže dojít k samovolnému odaretování čelistí ani při výpadu proudu nebo jiné závady.

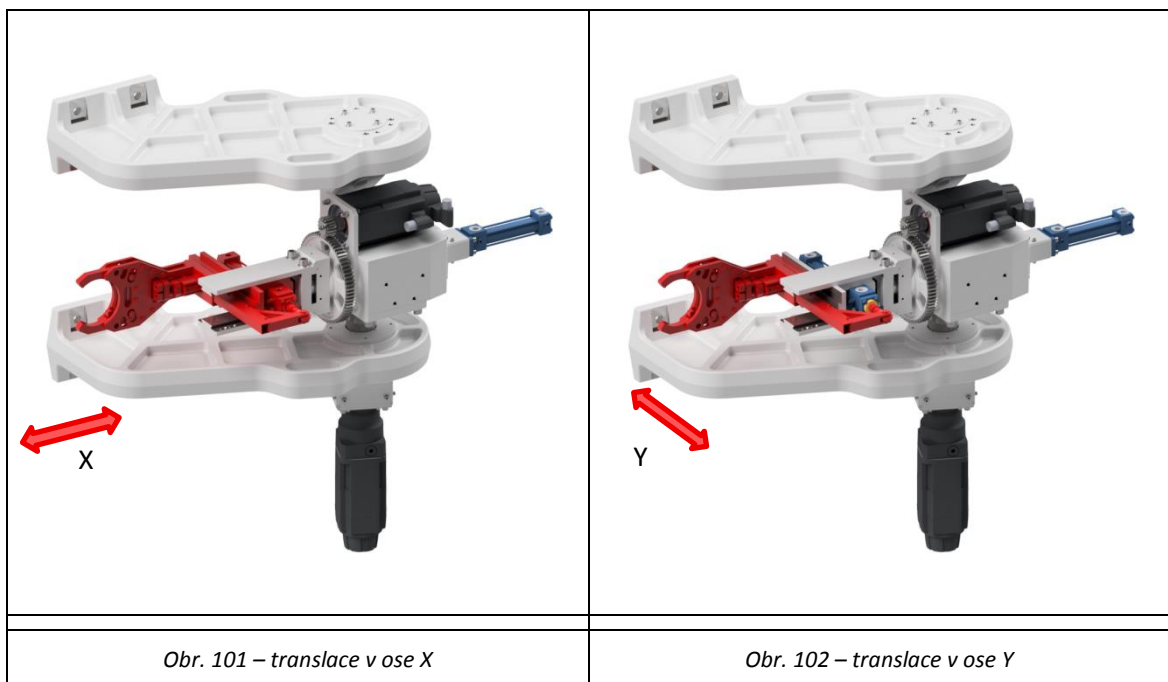
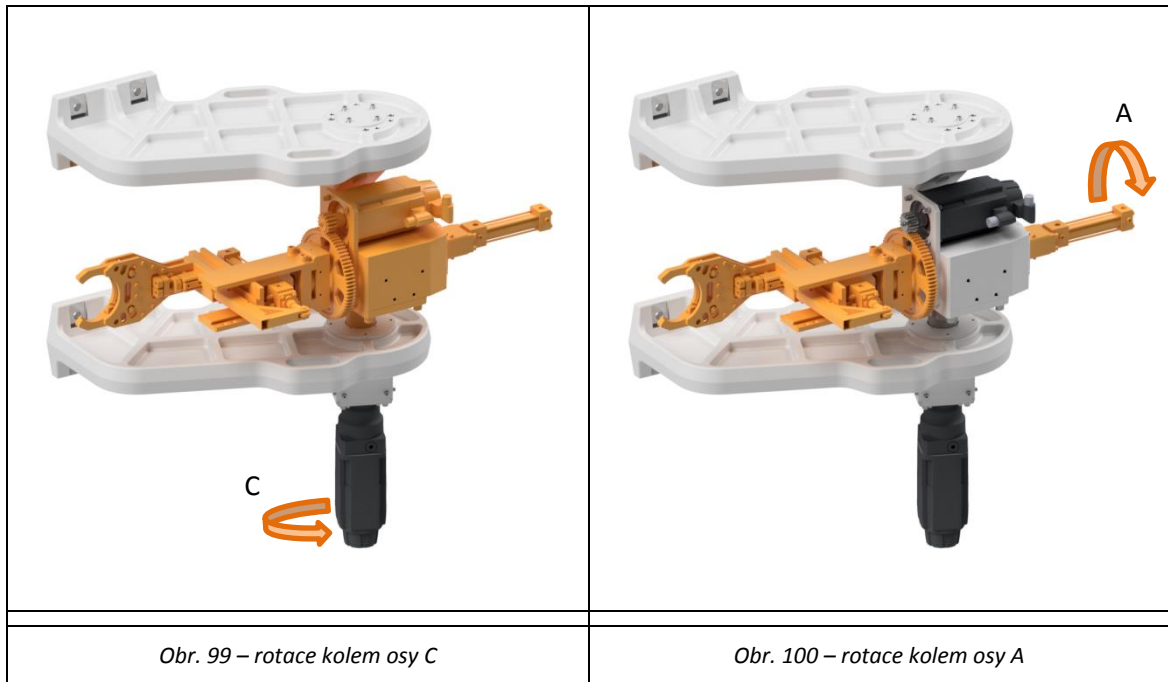


Na Obr. 98 je zobrazena kompletace křížových saní spolu s úchopnou rukou. Při návrhu uchopovací ruky byla snaha docílit čistě mechanické konstrukce bez použití pohonů z důvodu jednoduššího programování manipulátoru, bezúdržbového chodu a nižších nákladů, spojených s pořizovací cenou a provozními náklady. Aretace čelistí však nešla vyřešit jinak, než s použitím pneumotoru, protože na jiný způsob zaaretování čelistí není prostor, který je omezen rybinovým vedením a šablonou. Dalším zásadním omezením při návrhu byl max. průměr nástroje $d_{n_{max_2}} = 250$ mm, kterému se bylo třeba také vyhnout.



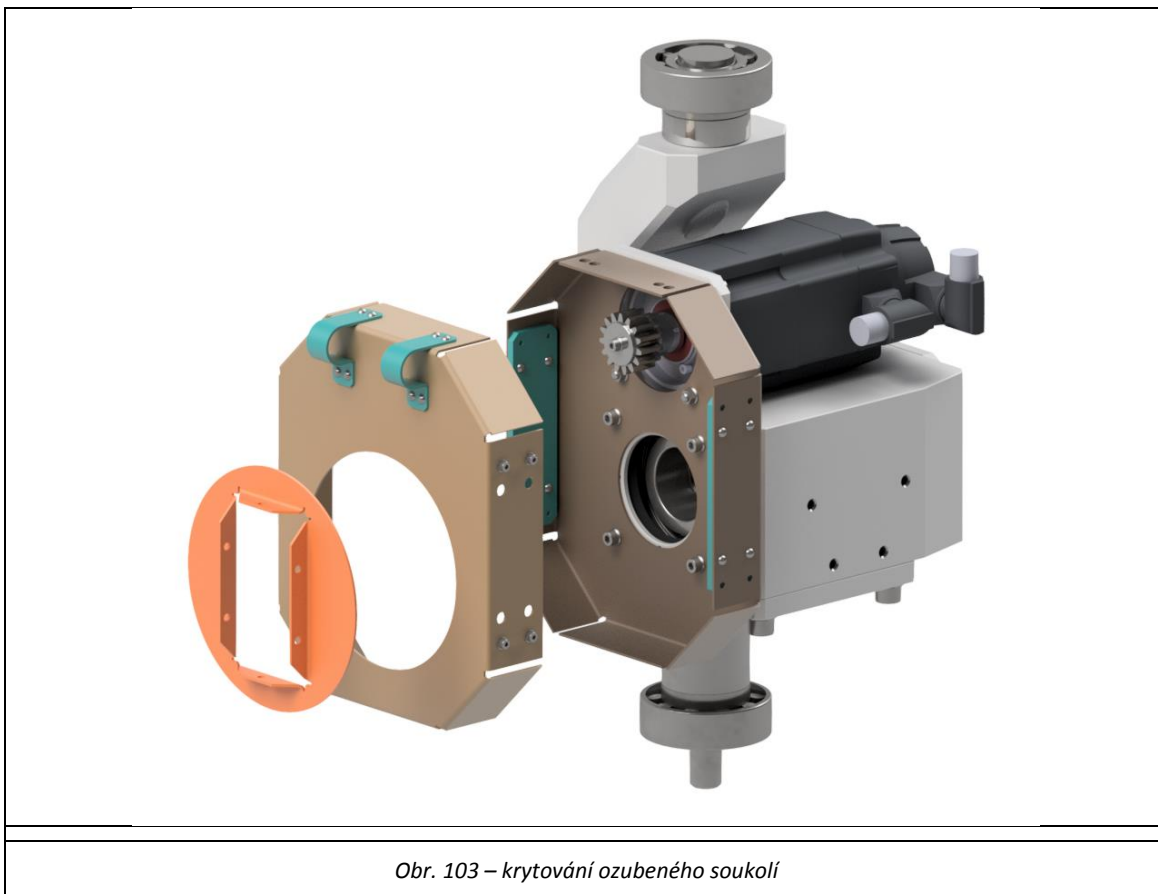
5.5. Rozbor pohybů dílčích komponent

Manipulátor koná s nástrojem mnoho pohybů. Pro názornost byly pohyby rozloženy na rotační a translační a na Obr. 99 - Obr. 102 jsou barevně zvýrazněny komponenty, které příslušný pohyb vykonávají. Tento rozbor bude důležitý pro správné navržení přívodů energií k jednotlivým pohonům.



5.6. Bezpečnostní a řídicí prvky manipulátoru

Manipulátor bude umístěn uvnitř obráběcího stroje za vnějším krytváním, z tohoto důvodu není nutné dbát na bezpečnost práce během pohybu manipulátoru. Zakrytováno bude pouze ozubené soukolí z důvodu ochrany před znečištěným prostředím od špon a emulze. Krytování také zamezí přímému kontaktu ozubených kol s přívodem energií k jednotlivým pohonům. Na Obr. 103 je plechový kryt zobrazen.



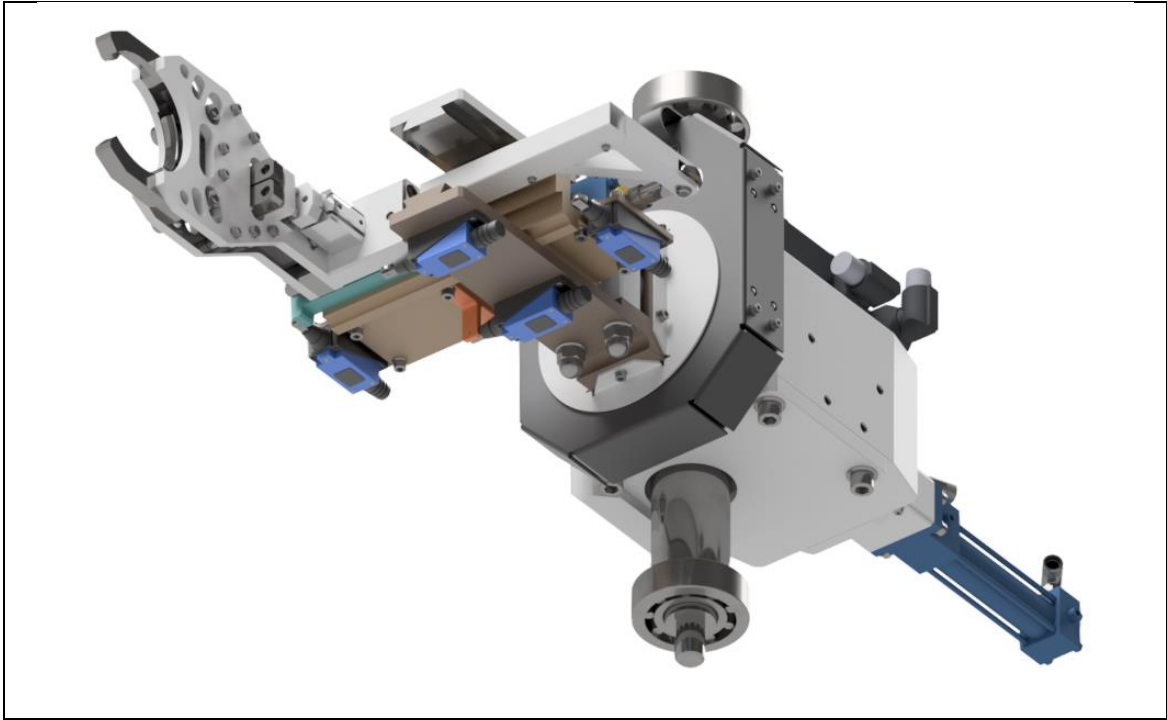
Obr. 103 – krytování ozubeného soukolí

Jednotlivé pohybové osy je nutné vybavit koncovými snímači, případně odměřováním, aby bylo možné naprogramovat jednotlivé pohyby a zajistit, aby nedošlo ke kolizi, pokud se některý z pohybů neuskuteční.

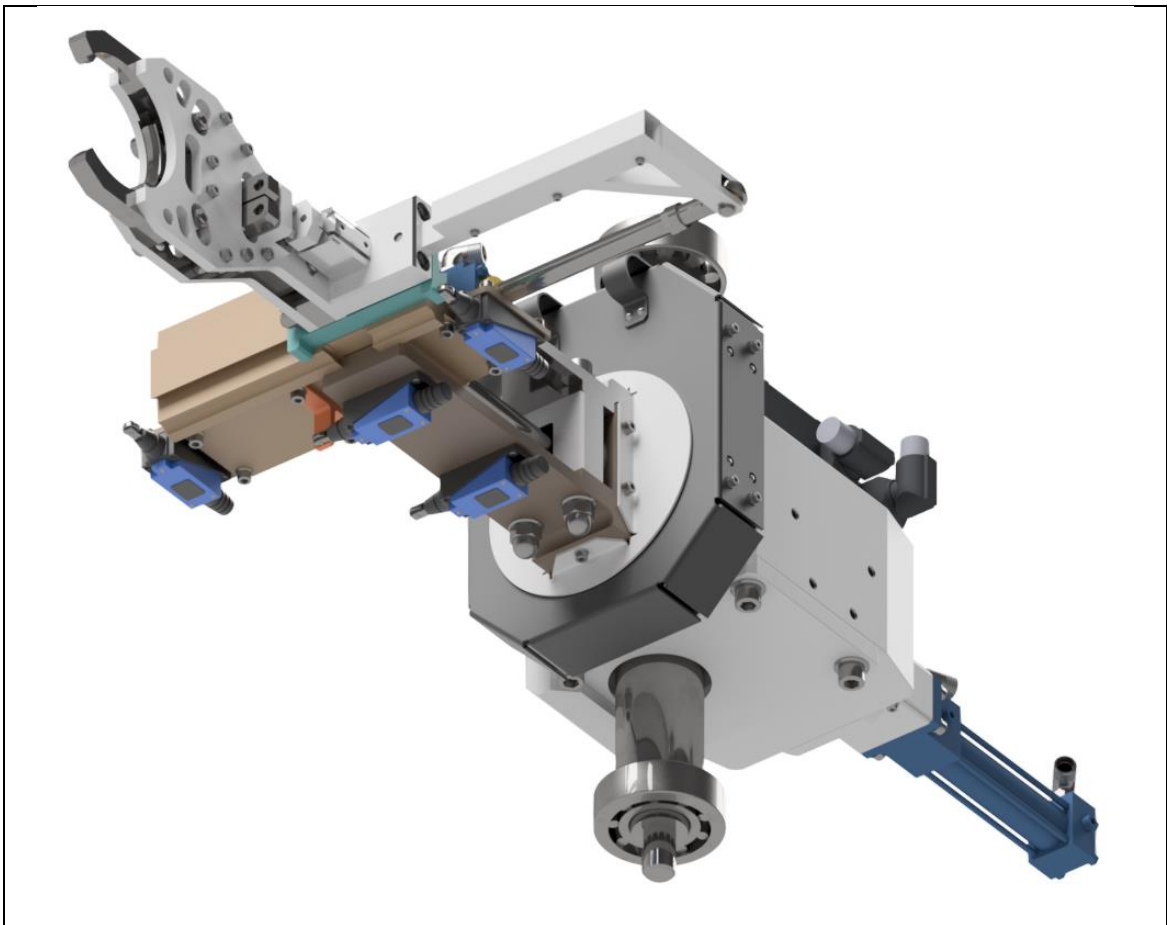
Lineární osy jsou vybaveny mechanickými koncovými snímači s rolnou s vysokou třídou krytí. Umístění snímačů viz Obr. 104 a Obr. 105. Na Obr. 105 je pak úchopná ruka zobrazena v druhé krajní poloze.

Rotační osy jsou poháněny synchronními servomotory s vlastním absolutním odměřováním polohy. Pokud známe absolutní polohu natočení rotoru, není nutné používat referenční čidlo polohy při zapínání stroje.

Pneumatický pohon, který ovládá aretační čepy čelistí, je vybaven vlastními koncovými snímači, které snímají polohu pístu. Píst je vybaven magnetickým kroužkem, který kolem sebe generuje magnetické pole, které lze snímat.



Obr. 104 – koncové snímače lineárních os – výchozí poloha



Obr. 105 – koncové snímače lineárních os – koncová poloha

5.7. Návrh přívodu energií k HM

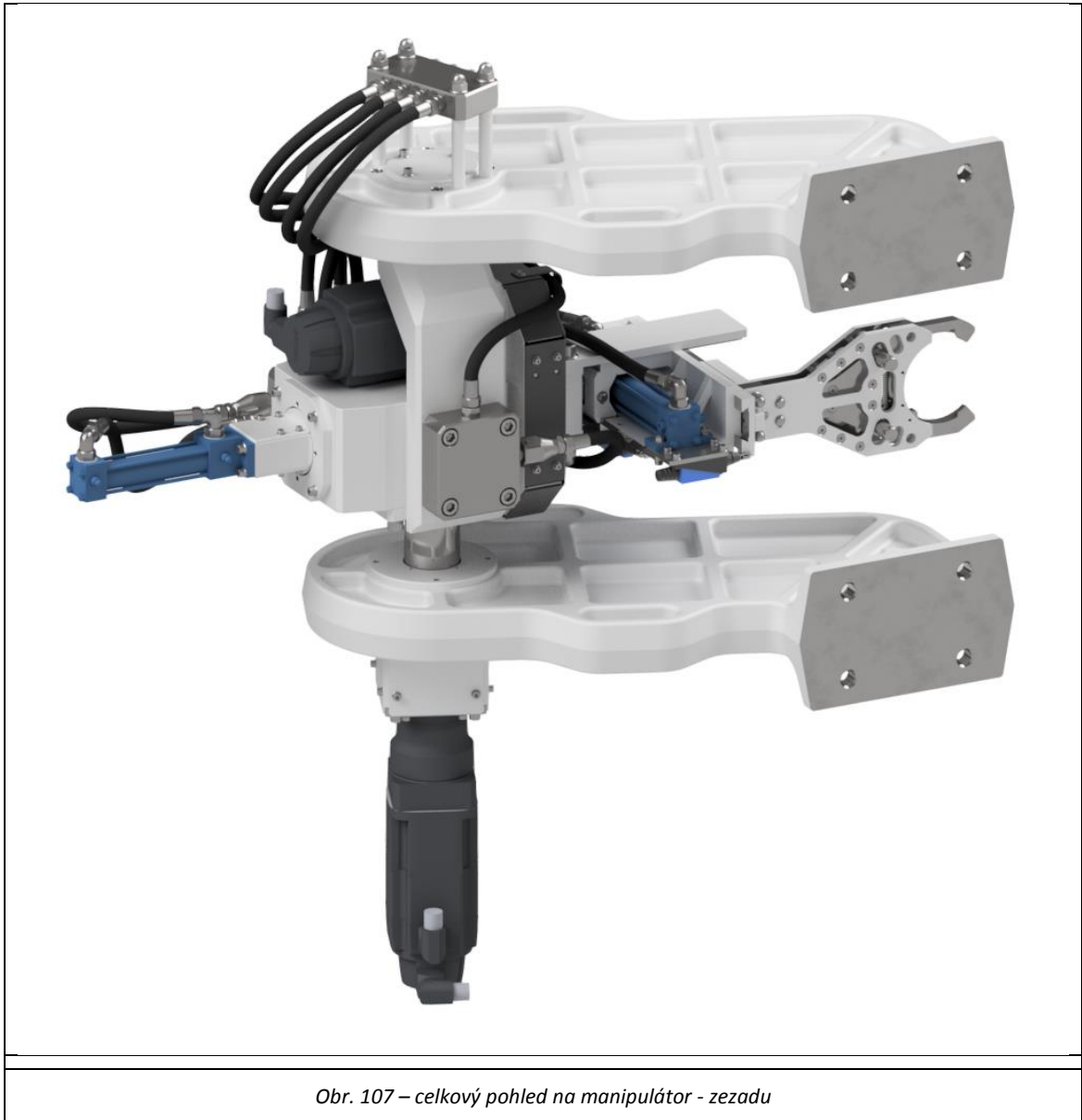
Oba HM konají dva rotační pohyby kolem osy A a C a HM 2 koná také translační pohyb ve směru osy X. Aby nebyly hadice tolik namáhány, je pohyb hadic rozložen do dvou nezávislých rotačních pohybů použitím rozváděcího bloku. Pro eliminaci krutu jednotlivých hadic je vždy na jeden konec hadice přidána rotační spojka. Délky hadic byly voleny dle normalizovaných délek možných k zakoupení u firmy ELOTECHNIK. Celkový pohled na manipulátor je na Obr. 106 a Obr. 107.

Rozložením kombinovaných pohybů na pohyby na sebe nezávislé bylo docíleno lépe definovatelných trajektorií hadic, takže není potřeba použít triflex – energetický řetěz pro vedení kabelů při trojrozměrném pohybu.

Ostatní přívody energií budou vedeny společně s hadicemi a místy budou svázány dohromady.



Obr. 106 – celkový pohled na manipulátor - zepředu







Obr. 107 – celkový pohled na manipulátor - zezadu



5.8. Pracovní cyklus manipulátoru

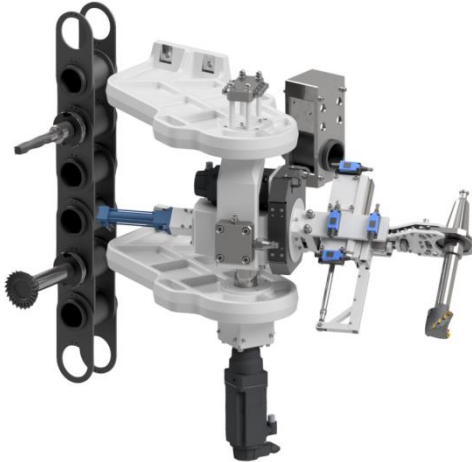

Pracovní cyklus manipulátoru se skládá z těchto pohybů:



- uchycení nástroje
- vysunutí nástroje ze zásobníku/mezipolohy
- přemístění nástroje
- zasunutí nástroje do mezipolohy/zásobníku
- uvolnění nástroje



Na následujících obrázcích (Obr. 108 – Obr. 119) jsou rozkresleny pohyby jednotlivých pohonů tak, jak jdou za sebou.

<p>Výchozí poloha manipulátoru</p>	<p>Vysunutí HM 1 – uchopení nástroje v zásobníku</p>
	
<p><i>Obr. 108 – prac. cyklus manipulátoru – fáze I</i></p>	<p><i>Obr. 109 – prac. cyklus manipulátoru – fáze II</i></p>
<p>Vysunutí HM 2 – vyjmutí nástroje ze zásobníku</p>	<p>Zasunutí HM 1 – manipulátor připraven k rotačním pohybům – nenastane tak kolize nástroj-nástroj při rotaci</p>
	
<p><i>Obr. 110 – prac. cyklus manipulátoru – fáze III</i></p>	<p><i>Obr. 111 – prac. cyklus manipulátoru – fáze IV</i></p>

Začátek rotace	Rotace
	
<p><i>Obr. 112 – prac. cyklus manipulátoru – fáze IV</i></p>	<p><i>Obr. 113 – prac. cyklus manipulátoru – fáze V</i></p>

Rotace	Rotace
	
<p><i>Obr. 114 – prac. cyklus manipulátoru – fáze V</i></p>	<p><i>Obr. 115 – prac. cyklus manipulátoru – fáze V</i></p>

Konec rotace	Vysunutí HM 1
	
<p><i>Obr. 116 – prac. cyklus manipulátoru – fáze V</i></p>	<p><i>Obr. 117 – prac. cyklus manipulátoru – fáze VI</i></p>

Zasunutí HM 2 – vložení nástroje do mezipohy	Zasunutí HM 1 – uvolnění nástroje a uvedení manipulátoru do výchozí polohy
	
<p><i>Obr. 118 – prac. cyklus manipulátoru – fáze VII</i></p>	<p><i>Obr. 119 – prac. cyklus manipulátoru – fáze VIII</i></p>



6. Návrh přípravné pozice

Jeden z hlavních rozdílů mezi původním a navrhovaným zásobníkem je přidání mezipolohy do fáze výměny nástroje. Díky této vložené pozici vznikne možnost vrátit nástroj zpět do zásobníku na svou původní pozici. Dále by dle zadání měl být nástroj v mezipoloze očištěn, zvážen a zkontrolován.

6.1. Měření nástroje

Proměření délkových rozměrů nástroje, bez lidského zásahu přímo v obráběcím stroji, je čím dál tím více používané. Důvodem je snaha předejít výrobě zmetkových dílů kvůli zlomenému nebo značně opotřeбенému nástroji.

Nástroj lze změřit dotykovou nebo bezdotykovou sondou, viz kapitola 3.5.1. Měření rotačních nástrojů probíhá téměř vždy při otáčkách daných výrobcem měřidla. Pokud jde o dotykovou sondu, nástroj objede sondu z boku kvůli změření průměru nástroje a dále najede na sondu ze shora pro určení délky nástroje. Pokud je nástroj měřen bezdotykovou sondou, roztočí se opět ve vřetení na dané otáčky a dojde do požadované polohy vůči sondě, která nástroj poté změří.

Měřicí sondy se umísťují do pracovního prostoru stroje. Výhodou bezdotykové sondy je, že nemusí být umístěna na pracovním stole a nedojde tak ke zmenšení pracovního prostoru. Další výhodou bezdotykové sondy oproti dotykové je rychlejší měření. Kvůli kontrole nástroje v pracovním prostoru narůstají vedlejší časy, což je nežádoucí.

Umístěním některé z měřících sond do prostoru zásobníku by znamenalo odstranění nežádoucích vedlejších časů, ale bylo by potřeba v tomto případě dalších dvou pohonů. Vzhledem ke složitější konstrukci bude efektivnější nabízet kontrolu nástrojů přímo v pracovním prostoru bezdotykovou sondou.

6.2. Vážení nástroje

Jedním z požadavků od zadávající firmy bylo vážení nástrojů v mezipoloze. Hmotnost každého nástroje lze ručně zadat do tabulky nástrojů v řídicím systému. Pokud bude nástroj pokaždé zvážen, může být provedena kontrola nástroje porovnáním zadané a naměřené hodnoty. Pokud se hodnoty budou lišit o Δ_m , může být nástroj zlomen nebo zaměněn s jiným nástrojem a řídicí systém na tuto chybu upozorní obsluhu, případně zastaví celou výrobu.

Pro tuto aplikaci byl vybrán tenzometrický ohybový snímač od firmy UTILCELL, model 300/100 kg. Parametry snímače a doporučený způsob montáže viz Příloha Stránka XXIV. – Stránka XXVI. a Stránka XXVIII. Tento snímač není nutné zatěžovat pouze v ose snímače, má dobrou přesnost měření, může být přetížen bez poškození a má vysoké krytí IP 69K.



6.3. Čištění nástroje

Nástroj je čištěn ve vřetení tlakovým vzduchem, ale může se stát, že na upínacím kuželi ulpí ostrá špona, která poškodí povrch lůžka v řetězu. Z tohoto důvodu bude nástrojový držák čištěn i v mezipoloze.

K zajištění dobrého očištění kužele byla vybrána vícekanálová vzduchová tryska s uspořádáním paprsků do kruhu od firmy HENNLICH. Parametry trysky viz Příloha Stránka XXIX. Nástrojový držák bude očištěn vždy při zasouvání do lůžka, kde se při tomto směru pohybu zmenšuje průřez proudění vzduchu a roste úměrně jeho rychlost, čímž dojde k dokonalému očištění povrchu kužele.

V případě, že budou špony ulpívat i na samotném nástroji, bude nutné zajistit čištění tlakovým vzduchem také celý nástroj, aby špony s emulzí nezkreslovaly naměřené hodnoty hmotnosti nástroje a nedocházelo tak k chybnému vyhodnocení stavu nástroje.

6.4. Konstrukční návrh mezipolohy

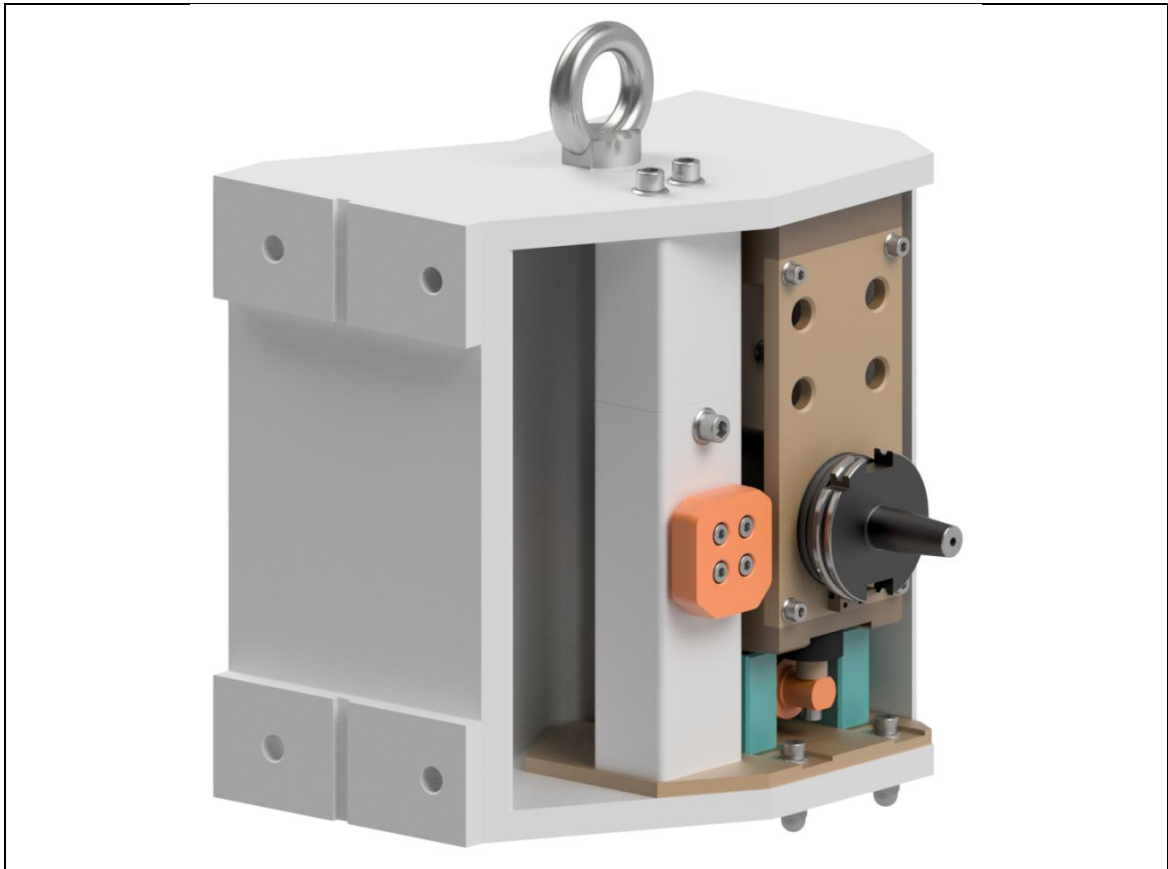
Mezipoloha, nebo-li přípravná pozice se skládá z domku, ve kterém je upevněno lůžko nástroje, stejně, jako je v samotném řetězu. Domek s lůžkem je přes ohybový tenzometrický snímač připevněn k nosné skříni mezipolohy. Dále je zde šablona, kvůli rozevření čelistí manipulátoru.

Svařená skříň je namontována šroubovým spojem na nosný rám zásobníku a z druhé strany skříň je upevněn výměník nástrojů. Pohled na sestavenou mezipolohu je na Obr. 120.

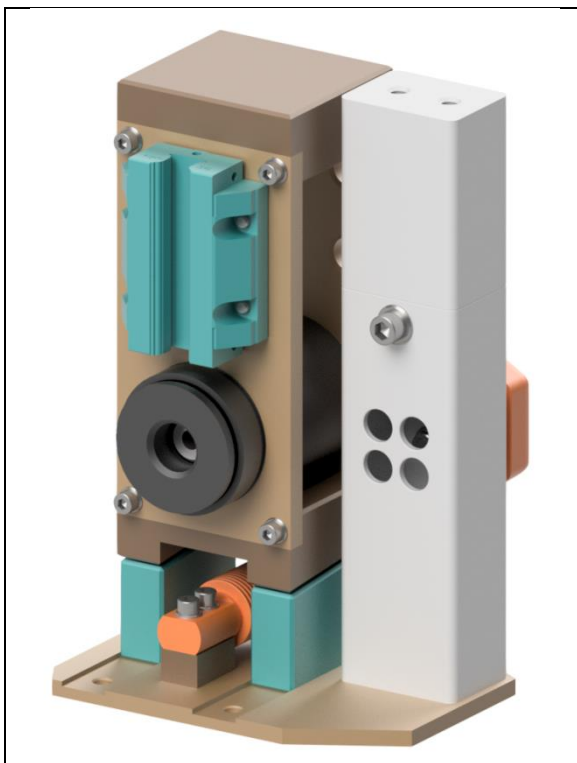
Na Obr. 121 a Obr. 122 je pohled na vnitřní část mezipolohy. Domek s lůžkem nástroje je v ose Z veden lineárním valivým vedením, které musí zachytávat všechny klopné momenty působící na ohybový snímač a zachytávat síly v ose nástroje (osa X). Klopné momenty vznikají od samotného nástroje, síly působící v ose X jsou vyvolány vytrhávací silou manipulátoru, při vkládání nebo vyjímání nástroje z lůžka. Na lůžko působí ještě síla v ose Z, vyvolaná od ramene výměníku při uchopování nástroje. Tato složka síly je částečně pohlcena silentblokem, který spojuje domek s nástrojem a samotný tenzometrický snímač. Dále jsou pod domkem umístěny polohovací dorazy, kdyby byla Z-ová složka síly větší, než na kterou je snímač dimenzovaný. V řezu mezipolohy je pak vidět řešení čištění nástroje. Jelikož nemůže být vzduchová tryska pevně spojena s domkem, aby neovlivňovala měření hmotnosti, je meziprostor utěsněn gumovou manžetou, která je pevně nasazena na trysce a čelní plochou dosedá na domek s nástrojem.

V případě, že bude docházet při uchopení nástroje výměnnou rukou k příliš velkým rázům, bude nutné zajistit aretaci domku s nástrojem v době, kdy dochází k výměně nástroje, aby se tak neničil tenzometrický snímač a nezkracovala se jeho životnost.

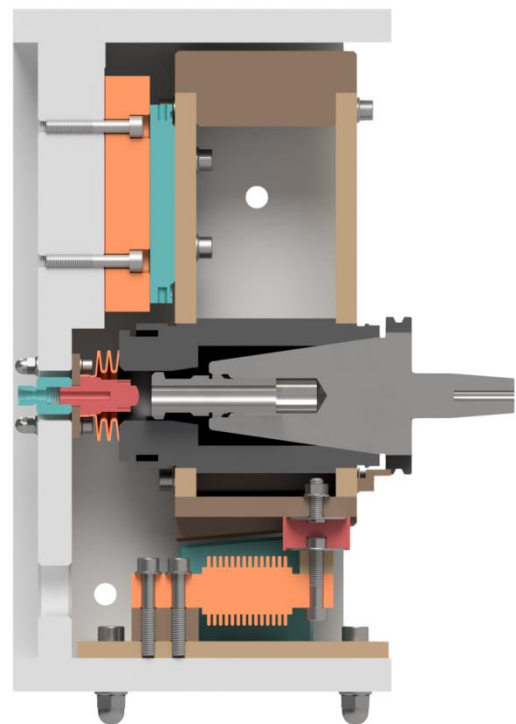
Pokud si zákazník vážení nebo čištění nástroje v mezipoloze nebude přát, lze vyrobit i variantu bez těchto opcí.



Obr. 120 – sestava mezipolohy



Obr. 121 – pohled na vnitřní uspořádání mezipolohy



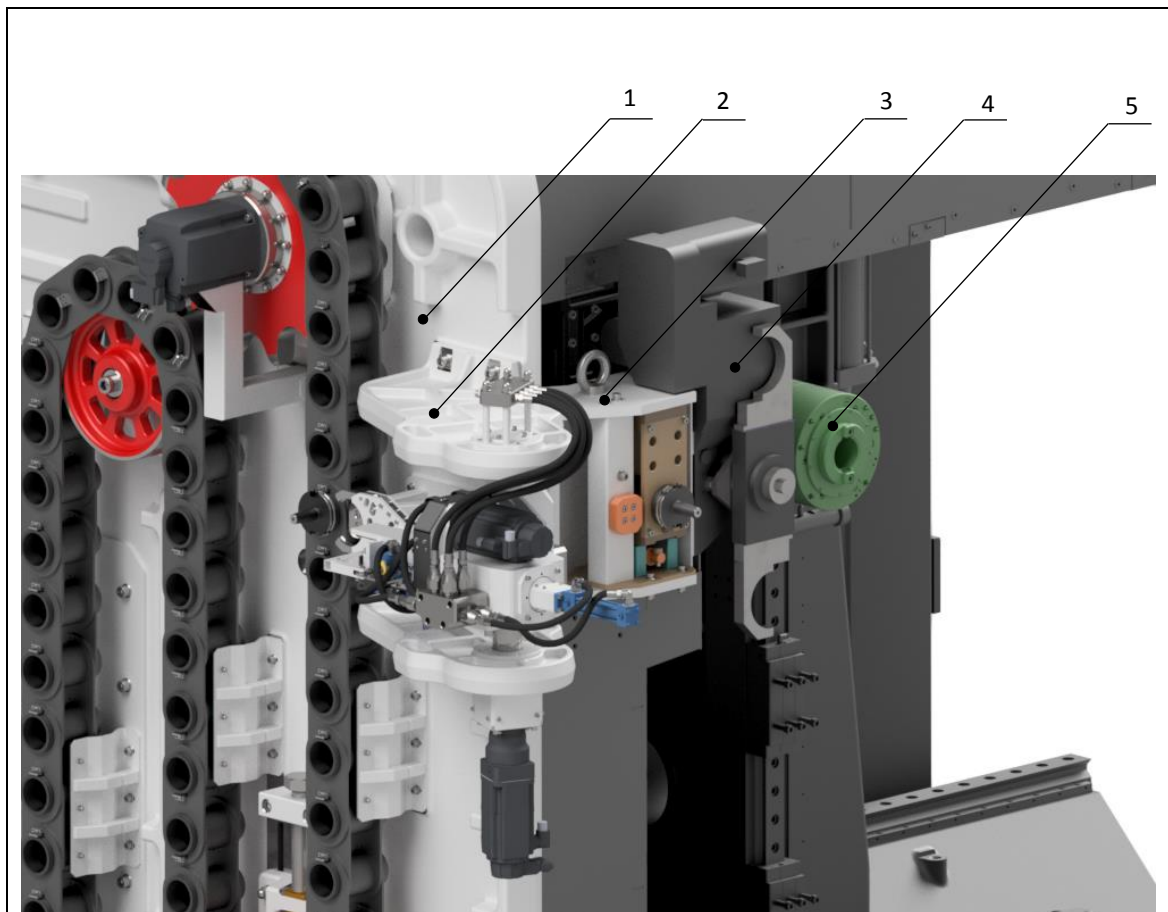
Obr. 122 – podélný řez mezipolohou

6.5. Zobrazení AVN

Na Obr. 123 je pohled na zásobník s celou AVN.

1 – nosný rám zásobníku
2 – manipulátor
3 – mezipoloha

4 – výměník
5 – vřeteno

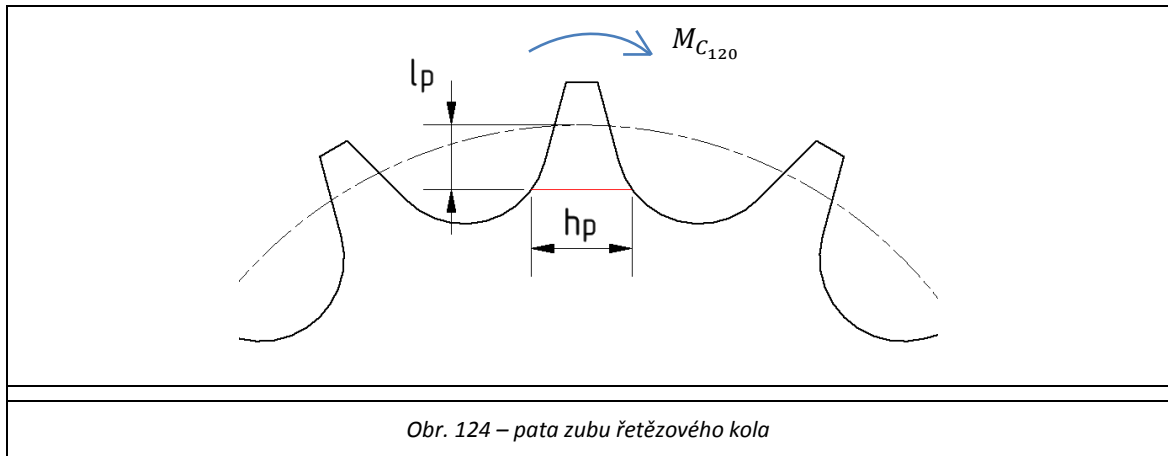


Obr. 123 – celkový pohled na AVN

7. Výpočtová část

7.1. Kontrola řetězového kola

- Kontrola paty zubu na ohybové napětí



Dáno:

- Moment působící od řetězu: $M_{C_{120}} = 630 \text{ Nm}$
- Výška paty zubu: $l_p = 35 \text{ mm}$
- Délka paty zubu: $h_p = 60 \text{ mm}$
- Šířka zubu: $b_f = 50 \text{ mm}$
- Poloměr roztečné kružnice: $r_{p_1} = 251 \text{ mm}$
- Počet zubů v záběru: $n_z = 3$
- Mez kluzu materiálu: $R_e = 300 \text{ MPa}$
- Bezpečnost pro ozubená kola: $k = 1,4 \div 1,7$

$$\sigma_{o_f} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_{C_{120}} \cdot \frac{r_{p_1} - l_p}{r_{p_1}}}{\frac{1}{6} b_f \cdot h_p^2 \cdot n_z} = \frac{6 \cdot M_{C_{120}} \cdot (r_{p_1} - l_p)}{b_f \cdot h_p^2 \cdot r_{p_1} \cdot n_z} = \frac{6 \cdot 630 \cdot 10^3 \cdot (251 - 35)}{50 \cdot 60^2 \cdot 251 \cdot 3} = 6 \text{ MPa} \quad 7.1 (41)$$

- Ohybové napětí působící v patě zubu vyšlo $\sigma_{o_f} = 6 \text{ MPa}$.

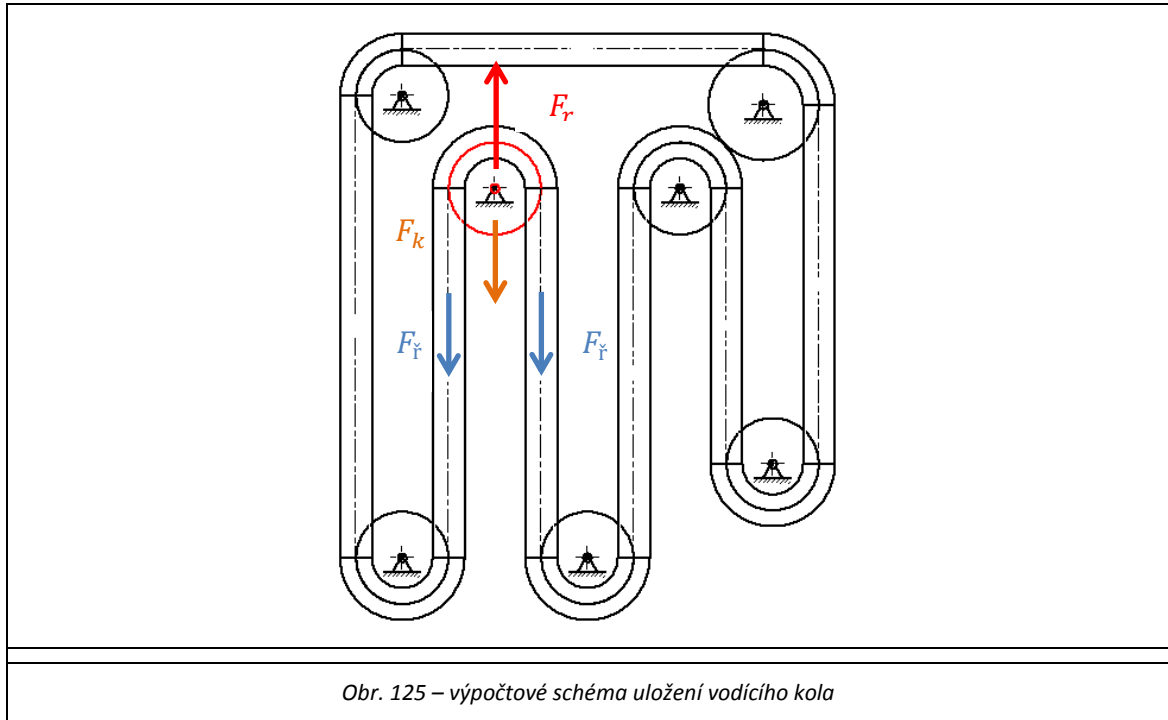
$$\sigma_D = \frac{R_e}{k} = \frac{300}{1,7} = 176 \text{ MPa} \quad 7.1 (42)$$

$$\sigma_D > \sigma_{o_f} \Leftrightarrow 167 \text{ MPa} > 6 \text{ MPa} \quad 7.1 (43)$$

- Výpočet napětí byl proveden pouze orientačně, bez uvažování míjivého namáhání, ale vzhledem k malé hodnotě σ_{o_f} je výpočet považován za dostačující.

7.2. Kontrola uložení vodících kol

- Kontrolovány budou radiální kuličková ložiska na vyznačeném vodícím kolu, které je nejvíce namáháno
- Bude provedena kontrola šroubů nosné desky vodícího kola na střih
- Uložení vodícího kola je zobrazeno na Obr. 61.



7.2.1. Kontrola ložisek

Typ ložiska – radiální kuličkové ložisko 6210

Dáno:

- Počet ložisek: $n_L = 2$
- Základní dynamická únosnost: $C_D = 30,2 \text{ kN}$
- Základní statická únosnost: $C_0 = 23,2 \text{ kN}$
- Ostatní údaje viz Příloha Stránka I.

Síly působící na ložiska

$$F_r = F_k + 2 \cdot F_f = g \cdot \left(m_k + 2 \cdot m_c \cdot \frac{\frac{\pi \cdot d_{p2} + l_3}{2}}{l_c} \right) =$$

$$= 9,81 \cdot \left(24 + 1440 \cdot \frac{\pi \cdot 420 + 1675}{15600} \right) = 1431 \text{ N} \quad 7.2.1 (44)$$

- Axiální síly zanedbány $\rightarrow F_a = 0 \text{ N}$



a) Statické zatížení

$$P_0 = 0,6 \cdot F_r + 0,5 \cdot F_a \quad 7.2.1(45) [38]$$

$$P_0 < F_r \rightarrow P_0 = F_r \quad 7.2.1 (46) [38]$$

- Protože je axiální síla F_a zanedbána, bude použit pro výpočet statického zatížení vzorec 7.2.1 (46) [38].

$$P_0 = F_r = 1431 \text{ N} \quad 7.2.1 (47)$$

$$s_0 = \frac{C_0}{F_r} = \frac{23200}{1431} = 16,2 \quad 7.2.1 (48)$$

- Vypočtená statická bezpečnost s_0 vyšla výrazně vyšší, než je stanovena limitní hodnota. Ložiska byla volena v této rozměrové kategorii z důvodu způsobu uložení vodícího kola, které je uloženo na vetknutém rameni. Kdyby byla zvolena menší ložiska, byla by celá sestava poddajná.

b) Dynamické zatížení

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \rightarrow P_D = F_r \quad 7.2.1 (49) [38]$$

$$\frac{F_a}{F_r} > e \rightarrow P_D = 0,75 \cdot F_r + Y_2 \cdot F_a \quad 7.2.1 (50) [38]$$

- Není nutné počítat dynamické zatížení a bezpečnost, protože ložisko vyhovuje při výpočtu statického zatížení.

Shrnutí

Zvolená ložiska jsou podle základních výpočtů předdimenzovaná, protože velikost ložisek musela být přizpůsobena konstrukci.

7.2.2. Kontrola šroubů

Typ šroubu - ŠROUB S VÁLCOVOU HLAVOU S VNITŘ. ŠESTIHRANEM ČSN 3932 – M16x50 – 8.8

Dáno:

- Počet šroubů: $n_s = 4$
- Průměr těla šroubu: $d_{s_3} = 13,546 \text{ mm}$
- Hmotnost nosiče vodícího kola: $m_n = 32,5 \text{ kg}$
- **Výpočet na smyk**

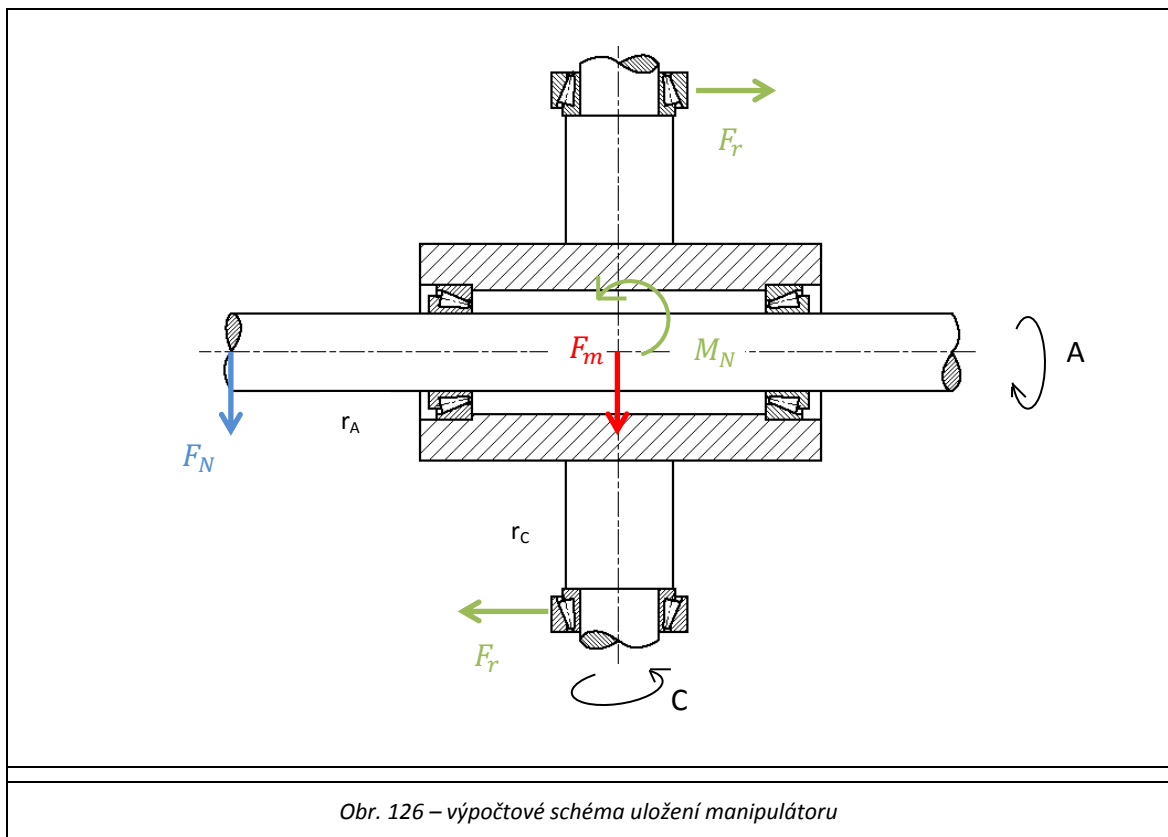
$$\tau = \frac{F}{S} = \frac{F_r + F_n}{n_s \cdot \frac{\pi \cdot d_{s_3}^2}{4}} = \frac{1431 + 32,5 \cdot 9,81}{4 \cdot \frac{\pi \cdot 13,546^2}{4}} = 3 \text{ MPa} \quad 7.2.2 (51) [38]$$

Shrnutí

Dovolené napětí na smyk pro ocel je $\tau_D = 70$ MPa. Smykové napětí působící na jeden šroub je $\tau = 3$ MPa. Šrouby pro daný typ namáhání vyhovují.

7.3. Kontrola uložení manipulátoru

- Rotační osy manipulátoru A a C jsou uloženy na radiálních kuželíkových ložiskách.
- Kontrolní výpočet bude proveden pro osu C, která je více namáhána
- Uložení manipulátoru je vidět na Obr. 86.



Obr. 126 – výpočtové schéma uložení manipulátoru

Typ ložiska – kuželíkové jednořadé ložisko 33210

Dáno:

- | | |
|--------------------------------|----------------|
| - Počet ložisek: | $n_L = 2$ |
| - Typ uložení: | do „X“ |
| - Základní dynamická únosnost: | $C_D = 142$ kN |
| - Základní statická únosnost: | $C_0 = 160$ kN |
| - Výpočtový součinitel: | $Y = 1,5$ |
| - Výpočtový součinitel: | $Y_0 = 0,8$ |
| - Výpočtový součinitel: | $e = 0,4$ |



Síly působící na ložiska

$$F_r = \frac{M_N}{2 \cdot r_c} = \frac{F_N \cdot r_A}{2 \cdot r_c} = \frac{m_N \cdot g \cdot r_A}{2 \cdot r_c} = \frac{30 \cdot 9,81 \cdot 660}{2 \cdot 170} = 571 \text{ N} \quad 7.3 (52)$$

$$F_a = F_m + F_N = g \cdot (m_m + m_N) = 9,81 \cdot (91 + 30) = 1187 \text{ N} \quad 7.3 (53)$$

a) Statické zatížení

$$P_0 = 0,5 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a \quad 7.3 (54) [39]$$

$$P_0 < F_r \rightarrow P_0 = F_r \quad 7.3 (55) [39]$$

$$P_0 = 0,5 \cdot 571 + 0,8 \cdot 1187 = 1235,1 \text{ N} \quad 7.3 (56)$$

- $P_0 > F_r$

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{160000}{1235,1} = 130 \quad 7.3 (57)$$

- Vypočtená statická bezpečnost s_0 vyšla výrazně vyšší, než je stanovena limitní hodnota. Ložiska byla volena v této rozměrové kategorii v závislosti na dvojici kuželíkových ložisek na ose A. Jelikož je hřídel osy A průchozí, musela být volena ložiska s velkým průměrem vnitřního kroužku.

b) Dynamické zatížení

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \rightarrow P_D = F_r \quad 7.3 (58) [39]$$

$$\frac{F_a}{F_r} > e \rightarrow P_D = 0,4 \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad 7.3 (59) [39]$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{1187}{571} = 2,1 \quad 7.3 (60)$$

- $\frac{F_a}{F_r} > e$

$$P_D = 0,4 \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0,4 \cdot 571 + 1,5 \cdot 1187 = 2008,9 \text{ N} \quad 7.3 (61)$$

$$s_D = \frac{C_D}{P_D} = \frac{142000}{2008,9} = 70,7 \quad 7.3 (62)$$

- Ložiska vyhovují i pro výpočet dynamického zatížení a bezpečnost je mnohokrát vyšší, než je stanovena limitní hodnota.

Shrnutí

Zvolená ložiska jsou podle základních výpočtů předimenzovaná, protože velikost ložisek musela být přizpůsobena konstrukci.

8. Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout nový řetězový zásobník na horizontální stroje řady H 630, H 800 a H 1000 pro firmu TAJMAC-ZPS a.s. Tento zásobník bude použit v rámci inovace zmiňovaných horizontálních strojů. Součástí práce byl návrh manipulátoru, který vyjme nástroj ze zásobníku a vloží jej do mezipolohy. Odtud je nástroj uchopen výměnou rukou a vložen do vřetena. Návrh výměnné ruky není součástí této práce, neboť bude použit vačkový výměník firmy TAJMAC-ZPS a.s. Požadavkem firmy bylo očištění, změření a zvážení nástroje během výměny v mezipoloze.

Současný řetězový zásobník neumožňuje vrácení nástrojů na jejich původní místa v zásobníku, což má za následek přečíslování pozice nástroje po každém obrábění. Z tohoto důvodu byl nový zásobník navrhován. Další změnou v zásobníku bylo použití jiného typu řetězu. Válečkový řetěz (typ SK, tzv. kačenky) byl nahrazen článkovým řetězem (typ HP).

Řetězový zásobník s HP řetězem nabízí velmi kompaktní prostorové uspořádání díky konstantní osově vzdálenosti sousedících lůžek. Nevýhodou válečkového řetězu je menší tuhost z důvodu vedení řetězu mimo osu nástroje a větší prostorová náročnost na uspořádání řetězu v zásobníku. Nástroje se od sebe na vnějším oblouku oddalují, ale při vnitřním oblouku se naopak přibližují.

Rešerše se zabývala především systémem AVN „zásobník-manipulátor-mezipoloha-vřeteno“. Stávající systém AVN na horizontálních strojích je „zásobník-manipulátor-vřeteno“. Z rešerše vyplynulo, že jsou zásobníky konstruovány takovým způsobem, aby bylo možné umístit do vnitřního prostoru řetězu translační manipulátor, který nástroj vysune z řetězu a zasune jej do rotačního manipulátoru. Dále je nástroj uchopen výměnnou rukou a vložen do vřetena.

Navrhovaný řetězový zásobník se odvíjel od kapacity zásobníku, která měla být variabilní. Základní kapacita zásobníku je 60 nástrojů. V nabídce firmy bude ale i kapacita zásobníku 90 nebo 120 nástrojů. Požadavkem na nosný rám zásobníku je modulární koncepce. Omezením při návrhu zásobníku bylo nechat přístupné servisní otvory pohybové osy X horizontálních strojů. Dále pak dodržení vnějších zástavbových rozměrů zásobníku. Snahou bylo docílit takového uspořádání řetězu v zásobníku, aby se jednotlivé varianty kapacit prolínaly a měly co největší počet společných vodících kol a zároveň byly dodrženy všechny dané požadavky.

Zvolená varianta I2 uspořádání řetězu je velmi kompaktní a nabízí vzhledem k počtu nástrojů velice malý zásobník. Splňuje všechny výše uvedené podmínky, avšak přináší i určité omezení. Zásobník měl být konstruován pro průměr nástroje $d_{n_{max_1}} = 125$ mm při plném obsazení zásobníku a průměr nástroje $d_{n_{max_2}} = 250$ mm při vynechání jedné pozice v zásobníku. Aby mohlo být docíleno této varianty uspořádání řetězu, je možné při vynechání jedné pozice použít nástroje s max. průměrem $d_{n_{max_3}} = 245$ mm. Nástroj s průměrem $d_{n_{max_2}} = 250$ mm lze použít v případě větších rozestupů mezi nástroji nebo v kombinaci s mnohem menším průměrem nástroje ve vedlejší lůžku.

Nosný rám zásobníku se skládá ze dvou částí - ze základního rámu odlitého z šedé litiny pro kapacitu 60 nástrojů a z přídatného svařeného rámu pro zbylé dvě varianty kapacity.



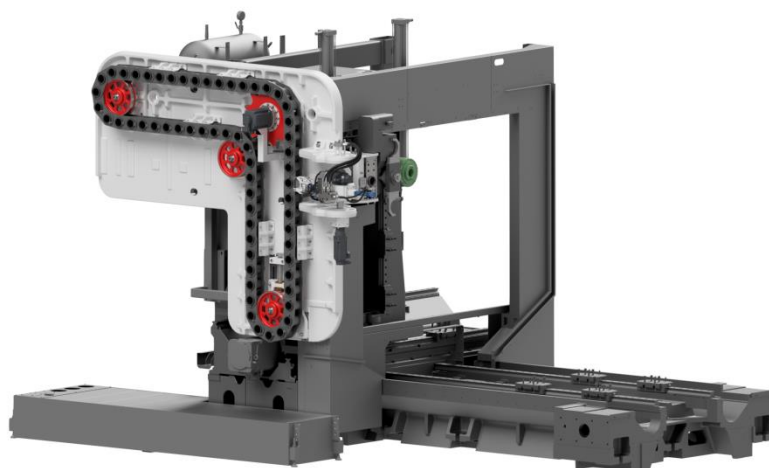
K rámu je přimontován pohon řetězu, vodící kola řetězu, napínání řetězu a vodící lišty řetězu. Rám zásobníku je přišroubován k rámu stroje. Přesné ustavení zásobníku vůči vřetenу je možné.

Kinematika a konstrukce manipulátoru vychází z navrženého zásobníku. Umístění manipulátoru musí být vně řetězového zásobníku, což není obvyklé řešení. Manipulátor koná dva rotační a dva translační pohyby. Vzhledem k vzájemné pozici zásobníku a vřeten se však manipulátor neotáčí kolem své osy, což vedlo ke složitější konstrukci.

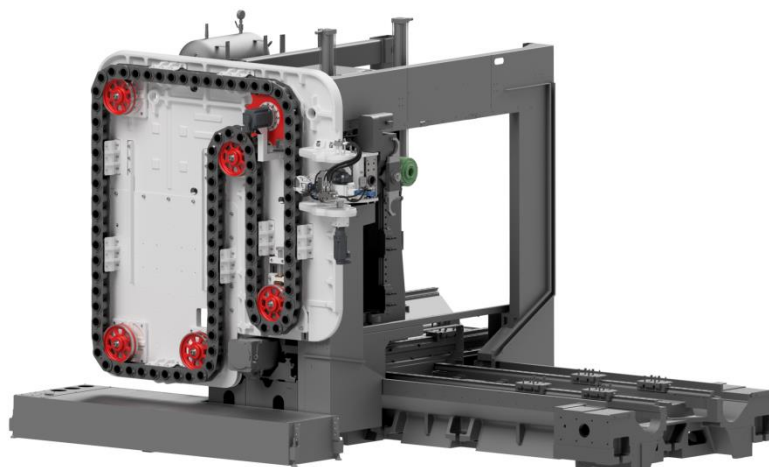
Práce zahrnuje také návrh úchopné ruky manipulátoru. Horizontální stroje jsou vybaveny jedním vřetenem, v zásobníku je tedy vždy pouze jeden typ upínacího kužele. Požadavek firmy ale byl navrhnout zásobník pro upínací kužele ISO 50 BIG PLUS / MAS BT 50 / CAT 50 / HSK 100. Byla provedena rešerše na upínací kužele, a jelikož se nástrojové držáky rozměrově liší, bude navržena vždy jedna ruka pro daný typ kužele. Nejčastěji zastoupený nástrojový držák v Evropě je ISO 50, uchopovací ruka je navržena pro tento typ držáku.

Návrh mezipolohy byl zaměřen na kontrolu, měření a čištění nástroje. Z rešerše provedené na měřicí systémy bylo usouzeno, že se nevyplatí nástrojovou sondou kontrolovat nástroje v prostoru zásobníku, protože by bylo nutné přidat další dva pohony, aby bylo možné nástroj změřit. Proto je výhodnější změřit nástroj ve vřetení v pracovním prostoru i za cenu nárůstu vedlejších časů. Dalším požadavkem bylo vážení nástroje v mezipoloze. Pro vážení byl zvolen tenzometrický ohybový snímač a měření bylo konstrukčně zpracováno. Na snímač ale působí mnoho nežádoucích sil a je možné, že se bude muset měřicí místo zajistit aretací při každé výměně nástroje. Změřená hmotnost nástroje může být porovnána se zadanou výchozí hmotností nástroje a na základě odchylky hodnot může být vyhodnocena kontrola nástroje z hlediska lomu. Čištění nástroje je řešeno tlakovým vzduchem usměrněným vzduchovou tryskou. Čištěna je kuželová plocha držáku nástroje, aby se nedostávaly špony do plastových lůžek v řetězu.

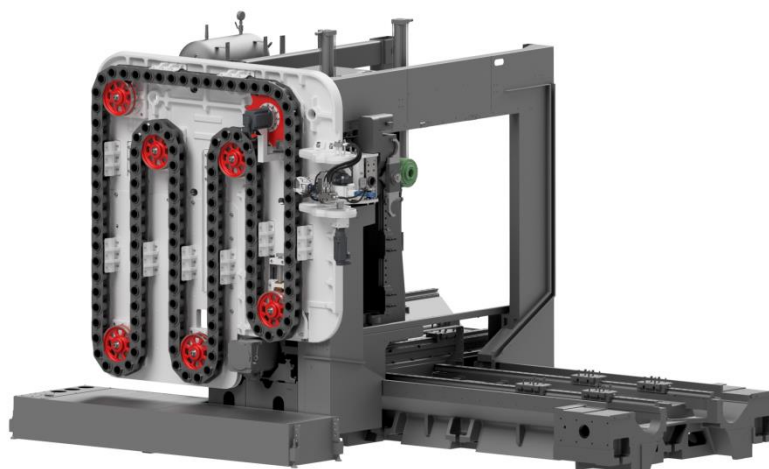
Diplomová práce je velmi komplexní a rozsáhlá v mnoha směrech. Výsledkem práce je navržený řetězový zásobník poháněný servomotorem s cykloidní převodovkou pro horizontální stroje řady H 630, H 800 a H 1000. Ze začátku nebylo jasné, jestli bude možné použít toto uspořádání řetězu, kvůli obtížnosti návrhu manipulátoru. Konstrukce manipulátoru se během práce neustále vyvíjela a měnila kvůli složitému provázání všech pohybů při výměně nástroje od řetězového zásobníku až po vřetenу. Během výměny jsou nástroje čištěny a kontrolovány. Výsledná vizualizace celé práce je zobrazena na Obr. 127 – Obr. 129, kde k rámu horizontálního stroje H 800 firmy TAJMAC-ZPS jsou přimontovány jednotlivé varianty kapacity řetězového zásobníku s manipulátorem a mezipolohou.



Obr. 127 – řetězový zásobník s kapacitou 60 nástrojů



Obr. 128 – řetězový zásobník s kapacitou 90 nástrojů



Obr. 129 – řetězový zásobník s kapacitou 120 nástrojů



9. Seznamy

9.1. Zdroje

- [1] *TAJMAC-ZPS, a.s.* [online]. [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: <http://www.tajmac-zps.cz/>
- [2] Horizontální obráběcí centra | *TAJMAC-ZPS, a.s.* *TAJMAC-ZPS, a.s.* [online]. [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: <http://www.tajmac-zps.cz/cs/horizontalni-obrabeci-centra>
- [3] *3.5 AUTOMATICKÁ VÝMĚNA NÁSTROJŮ* [online]. [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/content/file/CNC_ukazky_Cz/3.5.pdf
- [4] *ADAMEC, Jaromír. Technologie automatizovaných výrob* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006 [cit. 2018-01-21]. ISBN 80-248-0871-4. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/TAV/technologie-automatizovanych-vyrob.pdf>
- [5] Products for Machine Tools | ATC Chain and Tool Pot Products *TSUBAKIMOTO CHAIN GROUP. TSUBAKIMOTO CHAIN GROUP* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <http://tsubakimoto.com/products/application-products-datal/machine-tool/atc-toolpot/>
- [6] *ATC CHAINS WIPPERMANN* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: https://bmc-tech.cz/download/ATC_chains.pdf
- [7] Ekonomické převodovky PE se šikmým ozubením - *REM-Technik - Průmyslová a domovní automatizace. REM-Technik - Průmyslová a domovní automatizace* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.rem-technik.cz/pohyb-pohony-prevody/prevodovky/prevodovky-pro-servomotory/ekonomicke-prevodovky-pe-se-sikmym-ozubenim-843.html>
- [8] Beltplast | typ CF1. *Beltplast* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://www.beltplast.cz/cs/kluzna-vedeni-valeckovych-retezu-typ-cf1>
- [9] PE 1000 | specialisté na těsnění | *sittech.cz. Specialisté na těsnění, pryže, plasty, brzdové obložení | sittech.cz* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://www.sittech.cz/polyethylen-pe1000>
- [10] Typ CF / Murtfeldt - Výkon v oblasti plastů. *Home / Murtfeldt - Výkon v oblasti plastů.* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://www.mata.nl/cz/produkty/vedeni-retezu-remenu-a-kluzne-profily/profily-pro-dopravniky/typ-cf/>
- [11] Condition assessment for automatic tool changer based on sparsity-enabled signal decomposition method - *ScienceDirect. ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books.* [online]. [cit. 2018-02-13]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095741581400213X>
- [12] *DETA* [online]. [cit. 2018-02-13]. Dostupné z: <http://www.deta.com.tw/>



- [13] Welcome to Mazak [online]. [cit. 2018-02-13]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/>
- [14] CNC tool change. In: Youtube [online]. 1. 3. 2012. [cit. 2018-02-13]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=tvhEea2adz0>. Kanál uživatele FlorentinoFilm.
- [15] Automatic Tool Changer Supplier - Tool Changer-Gifu [online]. [cit. 2018-02-13]. Dostupné z: <https://www.atcgifu.com/eng/index.php>
- [16] Tool Changer-Gifu. *Automatic Tool Changer Supplier - Tool Changer-Gifu* [online]. [cit. 2018-02-13]. Dostupné z: https://www.atcgifu.com/eng/product_show.php?id=86
- [17] Tool Changer-Gifu. *Automatic Tool Changer Supplier - Tool Changer-Gifu* [online]. [cit. 2018-02-13]. Dostupné z: http://www.atcgifu.com/eng/product_show.php?id=143
- [18] Side-Mount Tool Changer - Double Arm - Troubleshooting Guide | Customer Resource Center. *DIY - Haas Customer Resource Center | Customer Resource Center* [online]. [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: <https://diy.haascnc.com/reference-docs/side-mount-tool-changer-double-arm-troubleshooting-guide>
- [19] Mazak Machining Center Tool Pod / Pot ATC Holders CAT 40 CAT40 SH-400N _ H-400 N | eBay. *Electronics, Cars, Fashion, Collectibles, Coupons and More | eBay* [online]. [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: <https://www.ebay.ca/itm/Mazak-Machining-Center-Tool-Pod-Pot-ATC-Holders-CAT-40-CAT40-SH-400N-H-400-N/151774850243?hash=item23567c6cc3:g:JN4AAMXQrvpREmbn>
- [20] Print Page - BT30 spindle from scratch - with power drawbar and ATC of course. *Newfangled Solutions CNC Software Home of Mach3* [online]. [cit. 2018-02-14]. Dostupné z: <https://www.machsupport.com/forum/index.php?action=printpage;topic=22080.0>
- [21] ISO30 Tool Changer CNC Tool Holder Plastic Forks. *China Chamber of Commerce - Help You Find Reliable Trade Partners* [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <http://www.cccme.org.cn/products/detail-8171700.aspx>
- [22] Machine Tool Shanks (Tapers). *Tools-n-Gizmos: New and Used Machine Tooling* [online]. [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: <http://www.tools-n-gizmos.com/specs/Tapers.html#HSK>
- [23] *Shank designs* [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <http://guhring.com/documents/Tech/DIN/228.pdf>
- [24] Cenově příznivá kontrola nástroje. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/cenove-prizniva-kontrola-nastroje.html>
- [25] Tool measurement with the BLUM laser measuring system. *Blum-Novotest GmbH | Dotykové sondy, laserové sondy, laserové měřicí systémy* [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <https://www.blum-novotest.com/cz/vyrobky/merici-komponenty/lasercontrol/lc50-digilog.html>



- [26] Nový laserový systém detekce stavu nástrojů nabízí vysokorychlostní identifikaci poškozeného nástroje. *Renishaw: zvyšování efektivity ve výrobě a zdravotní péči* [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/novy-laserovy-system-detekce-stavu-nastroju-nabizi-vysokorychlostni-identifikaci-poskozeneho-nastroje--7933>
- [27] Měřicí komponenty: Výrobní měřicí technika pro obráběcí stroje. *Blum-Novotest GmbH | Dotykové sondy, laserové sondy, laserové měřicí systémy* [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <https://www.blum-novotest.com/cz/vyrobky/merici-komponenty.html>
- [28] *M&h LASEROVÉ SYSTÉMY USTAVOVÁNÍ NÁSTROJŮ* [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: http://w3.leica-geosystems.com/downloads123/hxmh/mh/general/brochures/mh_laser_tool_setter_s_cs.pdf
- [29] Tenzometrické snímače | Tenzometrický snímač HT Sensor TAS606/100kg | Tenzometrické snímače - load cells, vážní indikátory a jejich příslušenství. *Tenzometrické snímače - load cells, vážní indikátory a jejich příslušenství* [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <https://www.tenzometricke-snimace.cz/Tenzometricky-snimac-HT-Sensor-TAS606-100kg-d1066.htm?tab=description>
- [30] Snímač sil M160 | Utilcell. *Utilcell | Snímače sil – Load cells – Celulas de carga* [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://www.utilcell.com/content/snimac-sil-m160>
- [31] *DEMMELE*R [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: https://www.demmeler.com/fileadmin/user_upload/Download/DE/Demmeler_Werkzeugarena_de_2010.pdf
- [32] *TSUBAKI CONVEYOR CHAINS* [online]. [cit. 2018-06-22]. Dostupné z: <http://www.tsubaki.ca/pdfs/general2.pdf>
- [33] Item # 50-ISO, ATC Tool Pot On U.S. Tsubaki Inc. *All Categories On U.S. Tsubaki Inc.* [online]. [cit. 2018-06-22]. Dostupné z: <https://chains.ustsubaki.com/item/all-categories/atc-tool-pot/50-iso>
- [34] SENQCIA [online]. *ATC catalogue*. [cit. 24.6. 2018]
- [35] Moment setrvačnosti válce — Sbíрка úloh. *Sbíрка řešených úloh* [online]. [cit. 2018-06-26]. Dostupné z: <http://reseneulohy.cz/555/moment-setrvacnosti-valce>
- [36] ZAJÍC, Jan. *MOMENTY SETRVAČNOSTI geometricky pravidelných homogenních těles* [online]. Pardubice, 2010 [cit. 2018-06-26]. Dostupné z: http://www.mech.fd.cvut.cz/education/bachelor/18sat/download/zajic_momenty_setrvacnosti.pdf
- [37] Ultra kompaktní cykloidní převodovka NABTESCO - RA | RAVEO s.r.o. *RAVEO s.r.o. / WORLD OF MOTION* [online]. [cit. 2018-06-26]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/cykloidni-prevodovka-nabtesco-ra>



- [38] Zatížení. SKF CZ, a.s. [online]. [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/loads/index.html>
- [39] Volba velikosti na základě statického zatížení. SKF CZ, a.s. [online]. [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/principles/bearing-selection-process/bearing-size/size-selection-based-on-static-load/index.html>

9.2. Seznam obrázků

Obr. 1 - logo firmy TAJMAC-ZPS, a.s. [1]	14
Obr. 2 - horizontální obráběcí centrum H 630 [2]	15
Obr. 3 - horizontální obráběcí centrum H 800 [2]	16
Obr. 4 - horizontální obráběcí centrum H 1000 [2]	17
Obr. 5 – rozdělení AVN	18
Obr. 6 – SK řetěz [5]	19
Obr. 7 – SK řetěz s vyjímatelnými lůžky [5]	19
Obr. 8 – SK řetěz s výklopnými lůžky [5]	19
Obr. 9 – SK řetěz s vertikálním uspořádáním [5]	19
Obr. 10 – HP řetěz [5]	20
Obr. 11 – GK řetěz – vysokorychlostní řetěz [5]	20
Obr. 12 – základní typy uspořádání HP řetězu [6]	20
Obr. 13 – kluzné vedení - typ CF [10]	21
Obr. 14 – polyetylen PE1000 – vodící lišta [9]	21
Obr. 15 – synchronní servomotor s planetovou převodovkou [7]	21
Obr. 16 – výměník nástrojů s vačkovým mechanismem [11]	22
Obr. 17 – AVN s horizontální osou vřetena [12]	23
Obr. 18 – kinematické uspořádání pohybů AVN	23
Obr. 19 – AVN s horizontální osou vřetena [13]	24
Obr. 20 – kinematické uspořádání pohybů AVN	24
Obr. 21 – AVN s vertikální osou vřetena [16]	25
Obr. 22 – AVN s vertikální osou vřetena [14]	25
Obr. 23 – kinematické uspořádání pohybů AVN	25
Obr. 24 – úchopná čelist výměníku [18]	27
Obr. 25 – mechanické čelisti manipulátoru [20]	27
Obr. 26 – mechanické čelisti manipulátoru [19]	27
Obr. 27 – plastové úchopné čelisti manipulátoru [21]	27
Obr. 28 – rozměry upínacího kužele ISO 50 [22]	28
Obr. 29 – rozměry upínacího kužele MAS BT 50 [22]	29
Obr. 30 – rozměry upínacího kužele CAT 50 [22]	29
Obr. 31 – rozměry upínacího kužele HSK-A 100 [22]	30
Obr. 32 – rozměry upínacího kužele HSK-B 100 [22]	30
Obr. 33 – dotyková sonda měřící průměr nástroje [24]	31
Obr. 34 – dotyková sonda měřící délku nástroje [24]	31
Obr. 35 – bezdotyková sonda [28]	31
Obr. 36 – bezdotyková sonda [26]	31
Obr. 37 – tlakový tenzometrický snímač [29]	32
Obr. 38 – ohybový tenzometrický snímač [30]	32



Obr. 39 – mechanické čištění nástroje [31]	32
Obr. 40 – vymezení zástavbového prostoru	33
Obr. 41 – řetěz HP firmy TSUBAKI [32]	34
Obr. 42 – lůžko řetězu HP firmy TSUBAKI [33]	34
Obr. 43 – rozbor kolize nástroj-nástroj na roztečné kružnici řetězu	35
Obr. 44 – výpočet řetězového kola firma SENQIA [34]	35
Obr. 45 – návrh uspořádání řetězu v zásobníku v. A2	37
Obr. 46 – návrh uspořádání řetězu v zásobníku v. B2	37
Obr. 47 – návrh uspořádání řetězu v zásobníku v. C2	37
Obr. 48 – návrh uspořádání řetězu v zásobníku v. D2	37
Obr. 49 – návrh uspořádání řetězu v zásobníku v. E2	38
Obr. 50 – návrh uspořádání řetězu v zásobníku v. F2	38
Obr. 51 – návrh uspořádání řetězu v zásobníku v. G2	38
Obr. 52 – návrh uspořádání řetězu v zásobníku v. H2	39
Obr. 53 – návrh uspořádání řetězu v zásobníku v. I2	40
Obr. 54 – reálný model řetězu zvolené varianty I2	40
Obr. 55 – rozbor kolize pohon-nástroj v ose řetězového kola	41
Obr. 56 – výpočtový model řetězového zásobníku s kapacitou 120 nástrojů	42
Obr. 57 – způsob montáže pohonu k rámu [37]	44
Obr. 58 – rám zásobníku pro 120 nástrojů	45
Obr. 59 – rozpad sestavy pohonu zásobníku	46
Obr. 60 – řez pohonem zásobníku	46
Obr. 61 – řez uložením vodícího kola řetězu	47
Obr. 62 – vedení řetězu	47
Obr. 63 – napínání řetězu	48
Obr. 64 – řetězový zásobník s kapacitou 60 nástrojů	49
Obr. 65 – řetězový zásobník s kapacitou 90 nástrojů	49
Obr. 66 – řetězový zásobník s kapacitou 120 nástrojů	49
Obr. 67 – kinematika manipulátoru varianta A3	50
Obr. 68 – kinematika manipulátoru varianta B3	51
Obr. 69 – rozbor kolize vysouvání nástroje	52
Obr. 70 – detailní pohled na lůžko řetězu	52
Obr. 71 – skica rotačních os manipulátoru	53
Obr. 72 – schématický návrh manipulátoru – varianta A4.1	54
Obr. 73 – schématický návrh manipulátoru – varianta A4.2	54
Obr. 74 – určení středu otáčení manipulátoru	55
Obr. 75 – matematický model manipulátoru – výchozí poloha	56
Obr. 76 – matematický model manipulátoru – středová poloha	56
Obr. 77 – základní tělesa pro výpočet momentu setrvačnosti	57
Obr. 78 – zvolené pohony rotačních os firmy SIEMENS	59
Obr. 79 – zvolené pohony translačních os firmy REXROTH	60
Obr. 80 – řez rotační osou C	61
Obr. 81 – rotační osa C	61
Obr. 82 – řez rotační osou A	61
Obr. 83 – rotaní osa A	61
Obr. 84 – křížové saně s HM 2 – pohled zepředu	62
Obr. 85 – křížové saně s HM 2 – pohled zezadu	62
Obr. 86 – kompletace rotačních os – úplný řez	63
Obr. 87 – kompletace rotačních os – částečný řez	63
Obr. 88 – kompletace rotačních os	64
Obr. 89 – kompletace rotačních os s křížovými saněmi	64



Obr. 90 – nosné rameno s pohonem osy C.....	65
Obr. 91 – nosné rameno s pohonem osy C.....	65
Obr. 92 – návrh šablony pro rozevírání čelistí	66
Obr. 93 – rozevírání čelistí	66
Obr. 94 – mechanismus úchopné ruky – sevřené čelisti.....	67
Obr. 95 – mechanismus úchopné ruky – rozevřené čelisti	67
Obr. 96 – aretace čelistí - odaretováno	68
Obr. 97 – aretace čelistí - zaaretováno	68
Obr. 98 – montáž úchopné ruky k manipulátoru.....	68
Obr. 99 – rotace kolem osy C.....	69
Obr. 100 – rotace kolem osy A.....	69
Obr. 101 – translace v ose X.....	69
Obr. 102 – translace v ose Y.....	69
Obr. 103 – krytování ozubeného soukolí	70
Obr. 104 – koncové snímače lineárních os – výchozí poloha.....	71
Obr. 105 – koncové snímače lineárních os – koncová poloha	71
Obr. 106 – celkový pohled na manipulátor - zepředu	72
Obr. 107 – celkový pohled na manipulátor - zezadu	73
Obr. 108 – prac. cyklus manipulátoru – fáze I.....	74
Obr. 109 – prac. cyklus manipulátoru – fáze II.....	74
Obr. 110 – prac. cyklus manipulátoru – fáze III.....	74
Obr. 111 – prac. cyklus manipulátoru – fáze IV	74
Obr. 112 – prac. cyklus manipulátoru – fáze IV	75
Obr. 113 – prac. cyklus manipulátoru – fáze V	75
Obr. 114 – prac. cyklus manipulátoru – fáze V	75
Obr. 115 – prac. cyklus manipulátoru – fáze V	75
Obr. 116 – prac. cyklus manipulátoru – fáze V	76
Obr. 117 – prac. cyklus manipulátoru – fáze VI	76
Obr. 118 – prac. cyklus manipulátoru – fáze VII	76
Obr. 119 – prac. cyklus manipulátoru – fáze VIII	76
Obr. 120 – sestava mezipolohy	79
Obr. 121 – pohled na vnitřní uspořádání mezipolohy	79
Obr. 122 – podélný řez mezipolohou.....	79
Obr. 123 – celkový pohled na AVN	80
Obr. 124 – pata zubu řetězového kola.....	81
Obr. 125 – výpočtové schéma uložení vodícího kola.....	82
Obr. 126 – výpočtové schéma uložení manipulátoru	84
Obr. 127 – řetězový zásobník s kapacitou 60 nástrojů	88
Obr. 128 – řetězový zásobník s kapacitou 90 nástrojů	88
Obr. 129 – řetězový zásobník s kapacitou 120 nástrojů	88

9.3. Seznam tabulek

Tab. 1 - parametry horizontálních strojů [2].....	17
Tab. 2 - rozměry řetězu HP [mm].....	34
Tab. 3 - rozměry lůžka řetězu HP [mm].....	34



9.4. Seznam použitého softwaru

- Autodesk Inventor Professional 2018
- Microsoft Word 2010
- Microsoft Excel 2010

9.5. Seznam příloh

9.5.1. Textové přílohy

Příloha 1 – Dimenzování pohonu zásobníku	Stránka I. – Stránka IV.
Příloha 2 – Dimenzování pohonu manipulátoru	Stránka V. – Stránka VI.
Příloha 3 – Technické údaje servomotoru 1FK7081-2AH71-1DB2-Z	Stránka VII. – Stránka X.
Příloha 4 – Technické údaje servomotoru 1FK7042-2AC74-1EH1-Z	Stránka XI. – Stránka XIII.
Příloha 5 – Technické údaje servomotoru 1FK7042-2AC74-1EB1	Stránka XIV. – Stránka XVI.
Příloha 6 – Technické údaje hydromotoru 1	Stránka XVII. – Stránka XIX.
Příloha 7 – Technické údaje hydromotoru 2	Stránka XX. – Stránka XXII.
Příloha 8 – Technické údaje pneumatického válce	Stránka XXIII.
Příloha 9 – Technické údaje tenzometrického snímače	Stránka XXIV. – Stránka XXVIII.
Příloha 10 – Technické údaje vzduchové trysky	Stránka XXIX.

9.5.2. Výkresová dokumentace

Číslo výkresu	Název výkresu	Typ výkresu
01-00-00	H 800 – ŘETĚZOVÝ ZÁSOBNÍK – 120	Výkres sestavy
01-00-00-K	H 800 – ŘETĚZOVÝ ZÁSOBNÍK – 120	Kusovník
01-03-00	MANIPULÁTOR	Výkres sestavy
01-03-00-K	MANIPULÁTOR	Kusovník
03-01-00	RAMENO MANIPULÁTORU	Výkres sestavy
03-01-00-K	RAMENO MANIPULÁTORU	Kusovník
SV-03-01-03-00	SVAŘENEC – DOLNÍ RYBINOVÉ VEDENÍ	Výkres sestavy
03-01-02-03	NOSNÁ TRUBKA RAMENE	Výrobní výkres
03-01-05	HNANÁ HŘÍDEL	Výrobní výkres
03-01-03-00	DOLNÍ RYBINOVÉ VEDENÍ	Výrobní výkres
03-01-11	KRYT OZUBENÉHO SOUKOLÍ 1	Výrobní výkres



9.5.3. Elektronické přílohy na CD

Název	Formát
Diplomová práce	PDF
Textové přílohy	PDF
Dimenzování pohonu zásobníku	XLS
Dimenzování pohonu manipulátoru	XLS
Výkresová dokumentace	ZIP
H 800 – řetězový zásobník – 60	STEP
H 800 – řetězový zásobník – 90	STEP
H 800 – řetězový zásobník – 120	STEP