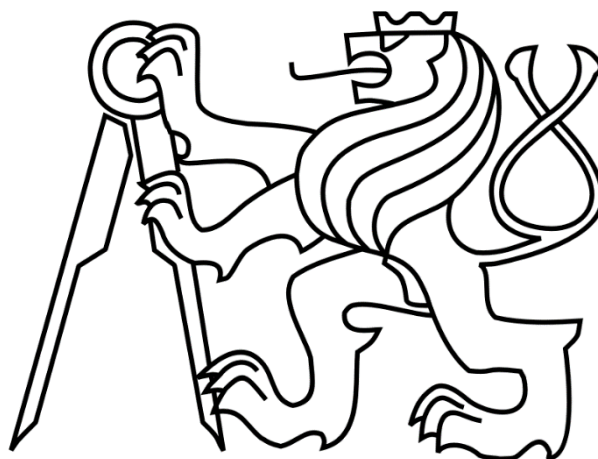


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Diplomová práce

Automatická výměna obrobků pro obráběcí stroje MCV 1100 5X



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bartoš** Jméno: **Matěj** Osobní číslo: **473684**
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:

Automatická výměna obrobků pro obráběcí stroje MCV 1100 5X

Název diplomové práce anglicky:

Design of automatic workpiece change on pallets for MCV1100 5x

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Pro obráběcí stroj MCV 1100 5x navrhnete automatizovanou výměnu obrobků (AVO) na paletách. AVO bude využívat manipulátor vlastní konstrukce, který bude umožňovat přístup do pracovního prostoru stroje z boku. Maximální velikost obrobku průměr 400 mm a výška 400 mm, maximální hmotnost 350kg; Osnova práce: Stav řešené problematiky, navrhnout vhodnou kinematiku manipulátoru se zásobníkem palet a napočítat všechny pohybové osy s navržením pohonů; Ověřit, zda je velikost pro automatizaci vhodná (počet palet a nosnost), navrhnout rám a krytování. Navrhnout potřebné senzory a snímače, zajistit způsob komunikace s řídicím systémem. Navrhnout celé AVO se strojem MCV 1100 5x - 3D model; Rozsah grafické části: potřebné sestavné výkresy; Rozsah textové části: 60 – 80 stran.

Seznam doporučené literatury:

[1] KOPECKÝ, Miloslav a Jaromír HOUŠA, Základy stavby výrobních strojů. Praha: České vysoké učení technické, 1986.; [2] KOLÍBAL, Z. et al. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: VUTIUM, 2016. 788 p. ISBN: 978-80-214-4828-5; [3] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8; [4] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Tomáš Krannich, Ph.D. ústav výrobních strojů a zařízení FS

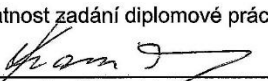
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

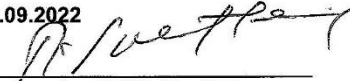
Ing. Eduard Stach, Ph.D. ústav výrobních strojů a zařízení FS

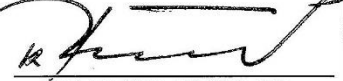
Datum zadání diplomové práce: **25.03.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **25.07.2022**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2022**


Ing. Tomáš Krannich, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce



Ing. Matěj Sulitka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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.


28.4.2022
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 20.7.2022

.....

podpis



Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Tomáši Krannichovi, Ph.D. za ochotné vedení při tvorbě diplomové práce. Panu Ing. Eduardovi Stachovi, Ph.D. za cenné připomínky a trpělivost, kterou mi věnoval.

Rád bych také poděkoval své rodině za podporu během celého studia.

Anotace

Autor:	Bc. Matěj Bartoš
Název diplomové práce:	Automatická výměna obrobků pro obráběcí stroje MCV 1100 5X
Rozsah práce:	98 str., 155 obr., 12 tab.
Školní rok vyhotovení:	2022
Škola:	ČVUT v Praze – Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Tomáš Krannich, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Eduard Stach, Ph.D.
Zadavatel:	ČVUT – FS
Využití:	Automatizace výměny obrobků
Klíčová slova:	AVO, Automatická výměna obrobků, automatizace
Anotace:	Diplomová práce se zabývá návrhem paletové výměny pro stroj MCV 11005X pro maximální hmotnost obrobku 350 kg. Úvod se věnuje analýze stavu řešené problematiky a následného návrhu kinematiky manipulátoru se zásobníkem palet. Byl navržen rám a krytování systému AVO. Následně byly napočítány pohybové osy s pohony. Určila se vhodnost obrobku pro automatizaci s návrhem senzorů a snímačů. Byl navržen způsob komunikace s řídicím systémem a na závěr bylo navrženo celé zařízení AVO. Grafická část byla zpracována ve formě potřebných sestavných výkresů.

Annotation

Author:	Bc. Matěj Bartoš
Title thesis:	Design of automatic workpiece change on pallets for MCV11005X
Extent:	98 p., 155 fig., 12 tab.
Academic year:	2022
Univerzity:	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135 – Department of Production Machines and Equipment
Supervisor:	Tomáš Krannich, Ph.D.
Consultant:	Eduard Stach, Ph.D.
Submitter of the Theme:	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
Application:	Automation of workpiece exchange
Key words:	AVO, automatic exchange of workpieces, automation
Annotation:	<p>The thesis deals with the design of a pallet exchange for the MCV 11005X machine for a maximum workpiece weight of 350 kg. The introduction is dedicated to the analysis of the state of the solved problem and the subsequent design of the kinematics of the manipulator with the pallet stack. The frame and enclosure of the AVO system was designed. Subsequently, movement axes with drives were calculated. The suitability of the workpiece for automation with the design of sensors was determined. A way to communicate with the control system was designed and the entire AVO was designed. The graphic part was processed in the form of the necessary assembly drawings.</p>

Obsah

1	Úvod.....	14
2	Cíl práce	15
3	Obráběcí centrum MCV 1100 5X	16
4	Systémy automatické výměny obrobků	18
4.1	Technologické palety, strojní palety a přípravky	18
4.1.1	Technologická paleta s T-drážkami	18
4.1.2	Technologická paleta s rastrovými otvory	19
4.1.3	Paleta Erowa UPC Pallet	19
4.1.4	Paleta Halder DIN 55201-A1	19
4.2	Paleta Erowa MTS	20
4.2.1	Přípravky pro upnutí menších obrobků	20
4.2.2	Strojní palety	20
4.3	Zásobník palet	21
4.3.1	Regálový zásobník	21
4.3.2	Zásobník na otočném stole.....	21
4.3.3	Zásobník s odkládacími místy	21
4.3.4	Válečkový dopravník	22
4.3.5	Seřizovací a zásobovací místo.....	22
4.3.6	Vozíkový zásobník	23
4.3.7	Otočný patrový zásobník.....	23
4.4	Manipulátory	23
4.4.1	Teleskopický manipulátor (translační).....	24
4.4.2	Manipulátor s otočným ramenem.....	24
4.4.3	Robotický manipulátor	25
4.4.4	Manipulátor se dvěma klouby	25
4.5	Uchopovač palet.....	25
4.5.1	Uchopení s RCS 5	25
4.5.2	Uchopení s WGS-500.....	26
4.5.3	Uchopovací vidlice UPC	26
4.5.4	Uchopení vidlicovým podavačem.....	26
4.6	Upínací systémy	27
4.6.1	Erowa UPC (upnutí pomocí upínacích čepů).....	27
4.6.2	Erowa MTS (upnutí pomocí upínacích čepů)	27
4.6.3	Erowa Heavy PowerChuck (upnutí pomocí T-vedení a středících čepů)	27
4.6.4	Stark-Roemheld PowerGrip (upnutí pomocí upínacích čepů)	28



4.6.5	Schunk Vero S NSL3 400 (upnutí pomocí upínacích čepů)	29
4.6.6	Schunk Magros MFRS (magnetické upínání)	29
4.6.7	Upnutí pomocí Hirthova věnce	30
4.7	Paletizační stroje	30
4.7.1	Erowa Robot Six	30
4.7.2	Erowa Robot Dynamic 500	31
4.7.3	Erowa Robot Easy 250	31
4.7.4	Erowa Robot Compact 80	32
4.7.5	DMG MORI	32
4.7.6	Toyoda pallet pool storage system	34
4.7.7	Midaco automatic pallet-cart changer	35
4.7.8	ZeroClamp Zerobot 100P a 100V	36
4.7.9	Viceloader	37
4.7.10	Midaco pool systém.....	38
4.7.11	Liebherr Rotary loading systém	39
4.7.12	Porovnání systémů	40
5	Vlastní návrh automatizace vykládání a zakládání obrobků do MCV 1100 5X.....	41
5.1	Kinematické návrhy pro MCV 1100 5X.....	41
5.1.1	Nakládka z boku teleskopickým ramenem.....	41
5.1.2	Aplikace inspirací Viceloaderem	42
5.1.3	Aplikace s inspirací u MIDACO Automatic Pallet Changer for 5 – Axis	42
5.1.4	Aplikace s inspirací u ZEROBOT 100 V	43
5.1.5	Inspirace strojem Erowa Robot Easy 250	44
5.2	Vybrané dílčí komponenty pro navrhované AVO	45
5.3	Vybrané varianty ke zpracování.....	46
5.4	Počet palet na otočném stole	46
5.5	Rám zařízení AVO	48
5.6	Volba profilu pro výsuvný teleskop	49
5.7	Kombinace rámu a teleskopického manipulátoru	51
5.8	Návrh otočného stolu	52
5.8.1	Účinnost převodu	52
5.8.2	Valivý odpor koleček	53
5.8.3	Krouticí moment určený z dynamických účinků	54
5.8.4	Doba otočení obrobku o 90°	56
5.8.5	Hřídel otočného stolu	57
5.8.6	Hnací hřídel otočného stolu.....	59
5.8.7	Návrh řetězového pohonu otočného stolu	60



5.8.8	Polohování otočného stolu	66
5.9	Návrh teleskopického manipulátoru	67
5.9.1	Návrh řetězového převodu	68
5.9.2	Návrh hnací hřídele	73
5.9.3	Kontrolní spojení hnací hřídele s řetězovým kolem pomocí per.....	74
5.9.4	Návrh zvedání obrobku	74
5.10	Návrh lineárního vedení.....	78
5.10.1	Kontrola lineárního vedení pro pohyb konzoly.....	78
5.10.2	Kontrola lineárního vedení pro výsuv profilů s konzolou.....	80
5.10.3	Kontrola lineárního vedení pro vertikální výsuv ramene s uchopovačem	82
5.11	Polohování manipulátoru	84
5.11.1	Dosažení polohy uchopovače pro posazení palety do upínače v obráběcím stroji ...	84
5.11.2	Dosažení polohy uchopovače pro nabrání palety z obráběcího stroje	84
5.11.3	Dosažení polohy uchopovače před nabráním palety v systému AVO	85
5.11.4	Dosažení polohy uchopovače pře usazením palety do systému AVO	85
5.12	Pneumatické schéma ovládání výsuvů pneumatických válců.....	86
5.13	Komunikace senzorů.....	87
5.14	Manipulace se zařízením AVO	88
5.15	Vizualizace sestav	89
6	Závěr	91
	Seznamy	92
	Příloha 1 – Krytování zařízení AVO	
	Příloha 2 – Doba výsuvu teleskopického manipulátoru	

Přehled použitých veličin a jednotek

a	$[m \cdot s^{-2}]$	zrychlení
a_{om}, a_{os}	$[m]$	osová vzdálenost řetězových kol
a_v	$[m \cdot s^{-2}]$	zrychlení válce
a_{v2}	$[m \cdot s^{-2}]$	zrychlení palety s obrobkem
a_{vm}	$[m \cdot s^{-2}]$	zrychlení výsuvu tel. manipulátoru
a_1	$[m]$	rozměr řetězu
b_1	$[m]$	vnitřní šířka řetězu
C_0	$[N]$	statická únosnost
C_{dyn}	$[N]$	dynamická únosnost
C	$[-]$	součinitel
c	$[-]$	počet cyklů za hodinu
d_1	$[m]$	průměr válečku řetězu
d_2	$[m]$	průměr čepu řetězu
d_4	$[m]$	minimální průměr hřídele
d_5	$[m]$	průměr hřídele
d_{hn}	$[m]$	průměr hnací hřídele
d_M	$[m]$	průměr řetězového kola
d_{ot}	$[m]$	minimální průměr hřídele otočného stolu
F_1	$[N]$	velikost gravitační síly konzoly
F_2	$[N]$	velikost gravitační síly palety s obrobkem
F_{2z}	$[N]$	velikost akcelerační síly palety s obrobkem
F_3	$[N]$	velikost gravitační síly výsuvného teleskopu
F_4	$[N]$	velikost gravitační síly výsuvného ramene
F_C	$[N]$	celkové zatížení řetězu
F_{N1}, F_{N2}	$[N]$	normálové síly
F_b	$[N]$	síla při přetržení řetězu
F_k	$[-]$	koeficient F_k
F_{od}	$[N]$	odstředivá síla
F_p	$[N]$	posuvová síla
$F_{předep}$	$[N]$	předepínací síla
F_{pt}	$[N]$	tažná síla
F_{t1}, F_{t2}	$[N]$	třecí síly
f_h	$[-]$	faktor tvrdosti
f_{sl}	$[-]$	statická konstrukční bezpečnost
f_{sm}	$[-]$	faktor statické bezpečnosti při zatěžování krutem



f_t	$[-]$	faktor teploty
f_w	$[-]$	faktor zatížení
f	$[-]$	součinitel tření
g_1	$[m]$	rozměr řetězu
G	$[N]$	odstředivá síla na řetězové kole
g	$[m \cdot s^{-2}]$	gravitační zrychlení
$i_{řet}$	$[-]$	převodový poměr převodového řetězu
$i_{řet.p}$	$[-]$	převodový poměr převodového řetězu
i_c	$[-]$	celkový převodový poměr
i_p	$[-]$	převodový poměr převodovky
$i_{př}$	$[-]$	převodový poměr převodovky
$i_{př2}$	$[-]$	převodový poměr převodovky
$i_{př2}$	$[-]$	převodový poměr převodovky
i	$[-]$	ideální převodový poměr
I_1	$[-]$	součinitel tření
I_2	$[-]$	součinitel mazání
J_h	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti hřídele desky
J_o	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti obrobku
J_{o4}	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti čtyř obrobků
J_r	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti rotoru motoru
J_{rm}	$[kg \cdot m^2]$	redukovaný moment setrvačnosti
J_s	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti desky stolu
J_{s2}	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti hřídele malého řetězového kola
J_{uhl}	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti úhlové převodovky
J_h	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti hřídele
$J_{ř1}$	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti řetězového kola 1
$J_{ř2}$	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti řetězového kola 2
J_{aist}	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti distanční trubky
J_m	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti motoru
J_p	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti převodovky
J_{ph}	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti posuvových hmot
J_{red}	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačnosti redukovaný
l	$[m]$	délka drážkování
L_r	$[roky]$	životnost lin. vedení přepočtená na cykly za hodinu
l_1	$[m]$	vzdálenost pouzder čepů
l_{10}	$[m]$	vzdálenost působíště F_2 od těžiště lin. vozíků
l_{11}	$[m]$	vzdálenost působíště F_4 od těžiště lin. vozíků
l_{12}	$[m]$	vzdálenost vozíků



l_{13}	[m]	vzdálenost působišť F_2 od těžiště lin. vozíků
l_2	[m]	polovina vzdálenosti pouzder čepů
l_3	[m]	vzdálenost vozíků
l_4	[m]	vzdálenost vozíků
l_5	[m]	vzdálenost působišť F_1 od těžiště lin. vozíků
l_6	[m]	vzdálenost působišť F_2 od těžiště lin. vozíků
l_7	[m]	vzdálenost vozíků
l_8	[m]	vzdálenost vozíků
l_9	[m]	vzdálenost působišť F_3 od těžiště lin. vozíků
l_p	[m]	délka těsného pera
L	[-]	jmenovitá životnost lineárního vedení
M_z	[Nm]	žádaný krouticí moment
$M_{k(\text{motoru})}$	[Nm]	krouticí moment hnací hřídele
M_k	[Nm]	moment třecích sil
M_{k1}	[Nm]	Celkový valivý odpor koleček
M_{k2}	[Nm]	krouticí moment hnacího hřídele ot.stolu
M_{k3}	[Nm]	krouticí moment posuvové síly
M_{k4}	[Nm]	statický moment motoru
M_{k5}	[Nm]	moment motoru
M_{k6}	[Nm]	krouticí moment hřídele
M_{k7}	[Nm]	krouticí moment hnací hřídele manipulátoru
M_{kc}	[Nm]	celkový potřebný moment motoru
M_{kv}	[Nm]	vstupní moment
M_m	[Nm]	rozběhový moment motoru
M_{omax}	[Nm]	maximální ohybové napětí
M_{ored}	[Nm]	redukovaný ohybový moment
M_{roz}	[Nm]	moment potřebný pro rozběh
M_y	[Nm]	přípustný statický moment
m_1	[kg]	celková hmotnost vertikálně výsuvných částí s paletou a obrobkem
m_2	[kg]	celková hmotnost vertikálně výsuvných částí bez palety s obrobkem
m_3	[kg]	hmotnost konzoly
m_4	[kg]	hmotnost obrobku s paletou a upínačem
m_4	[kg]	hmotnost palety s obrobkem
m_5	[kg]	hmotnost výsuvného teleskopu
m_7	[kg]	hmotnost výsuvného ramene
$m_{vč}$	[kg]	hmotnost výsuvných částí
M	[Nm]	ekvivalentní statický moment



n_1	$[ot/min]$	vstupní otáčky
n_2	$[ot/min]$	otáčky otočného stolu
n_2	$[ot/min]$	otáčky výstupní
n_d	$[-]$	počet drážek
n_m	$[ot/min]$	potřebné otáčky motoru
n_{max}	$[ot/min]$	maximální otáčky pastorku
n_p	$[ot/min]$	otáčky pastorku
N	$[kW]$	přenášený výkon
P_c	$[kg]$	maximální zatížení vozíků
p_3	$[m]$	rozteč článků řetězu
p_4	$[m]$	rozteč článků řetězu
p_D	$[MPa]$	dovolené napětí v otláčení
p_{DOV}	$[MPa]$	dovolený tlak v kloubu řetězu
p_m	$[MPa]$	měrný tlak v kloubu řetězu
p_v	$[MPa]$	tlak v kloubu řetězu
P	$[kW]$	potřebný výkon
Q	$[kg \cdot m^{-1}]$	měrná hmotnost řetězu
$R_{\check{R}1}$	$[N]$	radiální síla v řetězovém kole 1
$R_{\check{R}2}$	$[N]$	radiální síla v řetězovém kole 2
R_A	$[N]$	radiální síla v kul ložisku 1
R_B	$[N]$	radiální síla v kul ložisku 2
r_1, r_2	$[m]$	vzdálenosti sil od středu otáčení
r_k	$[m]$	poloměr kolečka
r	$[m]$	poloměr otočného stolu
s_z	$[m]$	ujetá vzdálenost
t_1	$[s]$	doba zrychlování otočného stolu
t_2	$[s]$	doba otáčení stolu na konstantních otáčkách
t_3	$[s]$	doba zpomalení otočného stolu
t_{360}	$[s]$	doba otočení otočného stolu o 360°
t_{90}	$[s]$	doba otočení stolu o 90°
t_c	$[s]$	doba chodu na otáčkách při otočení o 360°
t_n	$[m]$	hloubka drážky v náboji
u	$[m]$	maximální deformace konce desky ot. stolu
$v_{\check{r}}$	$[m]$	vůle řetězové kola a řetězu
v_{om}	$[m \cdot s^{-1}]$	obvodová rychlost řetězu
v_{os}	$[m \cdot s^{-1}]$	obvodová rychlost řetězu
v_p	$[m \cdot s^{-1}]$	obvodová rychlost pastorku
v_{po}	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost posuvu



v	$[m \cdot s^{-1}]$	obvodová rychlost
x	$[-]$	počet článků řetězu
Y	$[-]$	součinitel rázů
z_1, z_{1M}	$[-]$	počet zubů hnacího kola
z_2, z_{2M}	$[-]$	počet zubů hnaného kola
α_B	$[-]$	Bachův opravný součinitel
γ_{dyn}	$[-]$	dynamický bezpečnostní koeficient
γ_{stat}	$[-]$	statický bezpečnostní koeficient
ε_m	$[rad \cdot s^{-2}]$	úhlové zrychlení motoru
ε_s	$[rad \cdot s^{-2}]$	úhlové zrychlení stolu
$\eta_{řet}$	$[-]$	účinnost řetězového převodu
η_c	$[-]$	celková účinnost
η_{kul}	$[-]$	účinnost kuličkového ložiska
η_{uhl}	$[-]$	účinnost úhlové převodovky
σ_{do}	$[MPa]$	dovolené napětí v ohybu
τ_{dk}	$[MPa]$	dovolené tečné napětí
φ_1	$[rad]$	úhel otočení stolu při zrychlování
φ_2	$[rad]$	úhel otočení stolu na konstantních otáčkách
φ_c	$[rad]$	úhel otočení na otáčkách při otočení o 360°
ω_m	$[rad \cdot s^{-2}]$	úhlové zrychlení motoru

Přehled zkratk

AVO	automatická výměna obrobku
CAD	Computer Aided Design - software pro počítačem podporované navrhování
CNC	Computer Numeric Control – počítačem řízený obráběcí stroj
PCL	Programmable Logic Controller – programovatelný logický automat

1 Úvod

Automatická výměna obrobků (AVO) je proces, který významně přispívá ke zkrácení vedlejších časů při výrobě a který umožňuje na minimum potlačit vliv pochybení obsluhy na kvalitu výrobků. Dochází při něm ke zvýšení produktivity práce a efektivnějšímu využití výrobního stroje. Systém AVO automaticky vloží obrobek na paletě do stroje. Po dokončení výrobního procesu zařízení vymění obrobek za jiný neobrobený díl. Cílem je dosáhnout co nejkratší doby výměny palet se zaručením přesnosti uložení. Zařízení AVO by mělo pracovat zcela automaticky. Obsluha vykonává pouze výměnu palet s obrobky ze zásobníku či údržbu stroje. Na trhu jsou k dispozici různé koncepty AVO pro manipulaci s malými rotačními díly až po velké nerotační obrobky.



Obr. 1: Obráběcí stroj se zařízením automatické výměny obrobků (AVO) [upraveno z 41]

2 Cíl práce

Cílem této práce je navrhnout pro pětiosý obráběcí stroj MCV 1100 5X systém pro automatickou výměnu obrobků (AVO) na paletách. Navržený koncept AVO bude využívat vlastní konstrukce manipulátoru tak, aby umožňoval obsluhu snadný přístup do stroje z boku. Navržený systém AVO musí být schopný snadného přechodu z automatického režimu do odstaveného stavu, kdy bude obsluha moci pracovat na obráběcí stroji MCV 1100 5X samostatně. Na začátku návrhu je důležité si určit maximální velikost obrobku a zjistit, zda je pro automatizaci vhodná. Je potřeba se snažit o maximální využitelnost navrhovaného zařízení. Pro systém AVO je nutno navrhnout rám, který bude nést otočný stůl s manipulátorem. Dalším cílem je navrhnout všechny pohybové osy manipulátoru s jejich správným dimenzováním. Navržené zařízení AVO bude osazeno čidly, která budou zajišťovat jeho správný chod. Následně je třeba zajistit správnou komunikaci s řídicím systémem. Systém AVO je dále potřeba osadit krytovaním, které nebude omezovat pohyb stroje a které bude bezpečné pro obsluhu. Přílohou bude zpracování návrhu ve 3D modelu s potřebnými sestavnými výkresy.

3 Obráběcí centrum MCV 1100 5X

Pětiosé vertikální obráběcí centrum MCV 1100 5X je výrobek firmy Kovosvit MAS. Vyznačuje se širokým technologickým využitím a vysokou produktivitou. Centrum obsahuje otočný sklopný stůl a využívá konstrukci rámu ve tvaru C. Ve všech lineárních osách je aplikováno lineární vedení, které se vyznačuje vysokou tuhostí a stabilitou. Přístup do pracovního prostoru je zajištěn posuvnými kryty, které umožňují založit i rozměrný obrobek.



Obr. 2: Obráběcí centrum MCV 1100 5X [1]

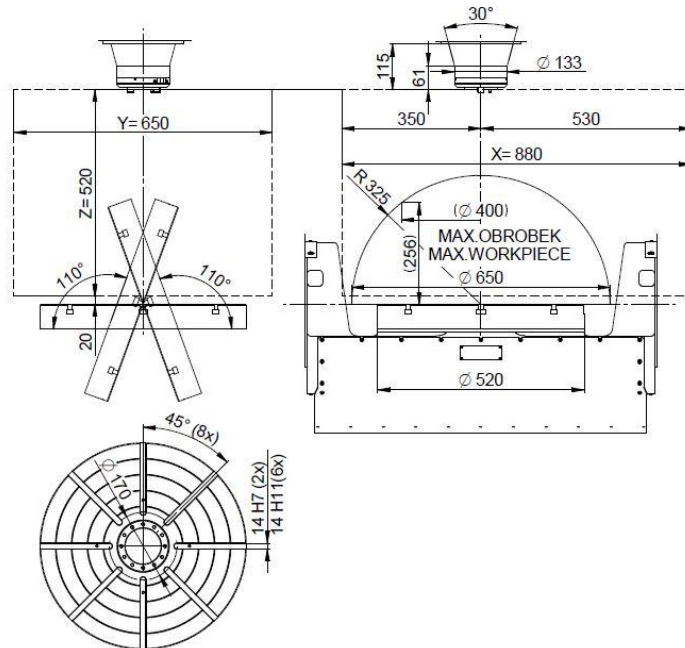
Na stroji je možné provádět pětiosé frézování, soustružení a používat i ostatní technologie (vrtání, vyvrtávání, vystružení či řezání závitů). Lze ho vybavit různými druhy vřeten (lišícími se maximálními otáčkami a upínacím systémem nástroje). Vřetena obsahují průtokové chlazení vodou vlastním chladicím agregátem.



Obr. 3: Otočný sklopný stůl MCV 1100 5X [1]

Tento stroj je možné použít pro obrábění lopatek vodních turbín, různých forem či součástí motorů a převodovek [1].

Na Obr. 4 jsou uvedeny rozměry otočného sklopného stolu a v Tab. 1 vybrané technické parametry stroje.



Obr. 4 : Rozměry otočného sklopného stolu [1]

Tab. 1: Vybrané technické parametry MCV 1100 5X [upraveno z 1]

	Jednotka	MCV 1100 5X
Zdvih osy X	[mm]	880 (-350 / +530)
Zdvih osy Y	[mm]	650 (-325 / +325)
Zdvih osy Z	[mm]	520
Krouticí moment (S1/S3-40 %) A	[Nm]	720 / 1 025
Krouticí moment (S1/S3-40 %) C	[Nm]	600 / 850
Výkon vřetena (S1/S6-40 %)	[kW]	21,5 / 32,3 (24,5 / 36,8)
Pracovní posuv X, Y, Z	[m/min]	30
Rychloposuv X, Y, Z	[m/min]	0-30
Průměr desky stolu	[mm]	520
Maximální hmotnost obrobku	[kg]	400
Rozměry stroje (pro zásobník se 24 nástroji)	[mm]	2 230 x 2 800 x 2 800

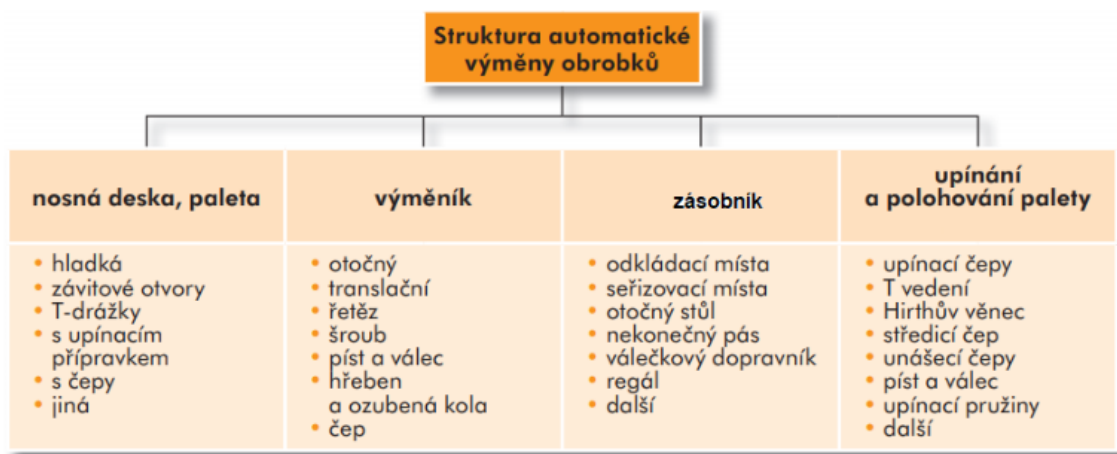
Maximální možnosti upnutí obrobků na MCV 1100 5X

Výrobce udává pro otočný stůl maximální rozměr obrobku 520 x 400 mm a maximální hmotnost 400 kg. V praxi se tento stroj používá pro obrábění tvarově složitých obrobků s hmotností odhadem 200 kg. Hrubovací operace se neprovádějí z důvodu omezení vřetene stroje [1].

4 Systémy automatické výměny obrobků

Systémy automatické výměny obrobků (AVO) spolu s automatizovanou výměnou nástrojů (AVN) jsou nepostradatelnými součástmi velkosériové výroby. Významně se podílejí na zkrácení vedlejších časů výroby a na zvýšení její produktivity. Snahou je dosáhnout co nevyšší rychlosti výměny a přesného založení obrobku. Obrobek by měl být přístupný z co nejvíc stran tak, aby bylo možné provádět 5tiosé obrábění. Upnutí obrobku musí být bezpečné, stabilní a pevné. Nesmí však docházet k deformacím. Automatizace upínání a manipulace je závislá na rozměrech a hmotnosti obrobku. U menších obrobků lze obvykle manipulovat přímo s obrobkem, bez použití palety. Středně malé a velké nerotační obrobky jsou zpravidla upínány na technologickou paletu. Těžké obrobky jsou většinou upínány na palety a manipulace je prováděna buď robotem nebo jednoúčelovým manipulátorem [1] [26].

Dílejší části automatické výměny obrobků



Obr. 5: Struktura AVO [7]

4.1 Technologické palety, strojní palety a přípravky

K přesunu obrobku do či ze stroje se používají zpravidla technologické palety či speciální upínací přípravky. Obrobek je upnut na technologické paletě, která se při výměně ustaví či nasune na pracovní stůl. To umožňuje zrychlení výrobního procesu a efektivnější využití CNC stroje. Palety či přípravky jsou uloženy v zásobníku.

4.1.1 Technologická paleta s T-drážkami

Tato paleta je vybavena systémem T-drážek. Umisťuje se přímo na pracovní stůl stroje. Paleta je přizpůsobena stolům obráběcích strojů dle DIN 55201. Vysokou přesnost upnutí zaručují drážky s přesnou roztečí v podélném i příčném směru. K vymezení palety na strojním stole je použit středící čep [2].



Obr. 6: Paleta s T-drážkami firmy Norelem [12]

4.1.2 Technologická paleta s rastrovými otvory

Paleta je vybavena rastrem tvořeným metrickými závity M12. Upnutí palety je možné přes průchozí díry a polohovací otvory. Nepoužité závitové díry je možné zaslepit ochrannými zátkami. Nevýhodou této palety je to, že rastrové otvory snižují tuhost palety. Palety se vyrábějí v 9 různých velikostech podle potřeby zákazníka [2].



Obr. 7: Paleta s rastrem firmy Kipp [13]

4.1.3 Paleta Erowa UPC Pallet



Obr. 8: UPC Pallet [24]



Obr. 9: Erowa UPC [24]

Paleta Erowa UPC je vhodná pro upínání přípravků i obrobků. Je vyrobena z hliníku a otvory na funkční straně jsou vrtány dle potřeby zákazníka. Paleta je dodávána s upínacími čepy a je kompatibilní se sklíčidlem UPC chuck. Její hmotnost je 7 kg a má rozměry 320 x 320 x 40 mm [15].

4.1.4 Paleta Halder DIN 55201-A1

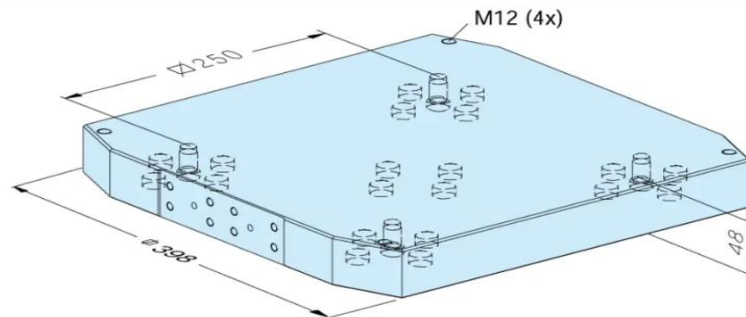
Paleta vyráběná firmou Halder se pohybuje pomocí válečků na kolejnicích umístěných po okrajích palety. Pohon je realizován pomocí řetězu s čepem, který prochází střední částí spodního okraje palety. Paleta je v konečné poloze zajištěna upínacími čepy a středícím čepem. Vyrábějí se v rozměrech 400 x 400 mm, 400 x 500 mm, 500 x 630 mm, 630 x 630 mm. Paleta 400 x 400 mm má hmotnost 89 kg. Tyto palety jsou zároveň stolem stroje, a proto se také nazývají strojní. Používají se zpravidla pro velmi těžké obrobky pro stroje s horizontálními či vertikálními vřeteny [25].



Obr. 10: Paleta Halder [25]

4.2 Paleta Erowa MTS

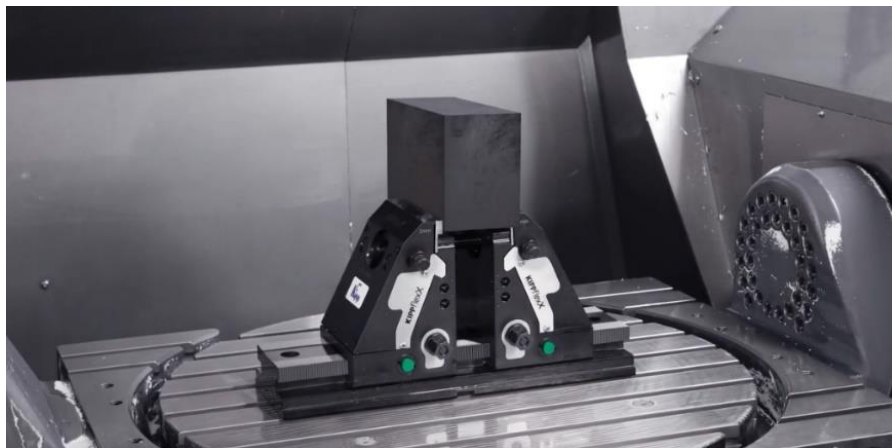
Řada Erowa MTS nabízí velký počet rozměrů palet. Tyto palety se dodávají neobrobené a jsou proto vhodné pro používání přípravků s různými druhy upnutí. Vyrábějí se například v rozměrech 225 x 225 mm, 398 x 398 mm či 498 x 498 mm. Tyto palety se snadno integrují do upínacích systémů firmy Erowa, konkrétně do systému WGS-500. Jsou vyrobeny z hliníku a mají hmotnost 40 kg. Maximální nosnost palety je 500 kg [24].



Obr. 11: Paleta Erowa MTS [24]

4.2.1 Přípravky pro upnutí menších obrobků

5tiosý upínač KIPPflexX se vyznačuje velmi dobrou přístupností při obrábění při zachování vysoké stability a flexibility. Lze ho použít jako upínač obrobků či přítlačný upínač.



Obr. 12: Upínač KiPPflexX [14]

Upínač je vhodný pro systém s rastrovými otvory či pro systém nulového bodu. Při použití přítlačné funkce lze obrobek upínat s reprodukční přesností $\pm 0,01$ mm. Uzavřená geometrie je odolná vůči různým nečistotám [14].

4.2.2 Strojní palety

U koncepcí, které používají strojní palety, neobsahuje obráběcí centrum samostatný pracovní stůl. Strojní paleta je v porovnání s technologickou odlišně upínána a je univerzálnější. Musí být schopna tuhého upnutí s vysokou přesností opakovatelnosti a zpevnění. Horní upínací plocha je provedena stejně jako u technologické palety. Upnutí je realizováno pomocí upínacích čepů, které jsou v technologickém základu stroje. Strojní palety jsou cenově náročnější, protože jsou na ně kladeny vyšší technické požadavky [8].

4.3 Zásobník palet

Palety s obrobky lze umístit v tzv. zásobnících. Vhodné řešení zásobníku je podmínkou vysokoobjemové produkce a bezobslužného provozu. Rozeznáváme několik druhů zásobníků.

4.3.1 Regálový zásobník

Výhodou regálového zásobníku jsou malé zástavbové prostory. Počet pater regálů do výšky je závislý na velikosti obrobku. Určitou nevýhodou může být konstrukční složitost manipulátoru, který musí dosahovat do velkých výšek. Tyto zásobníky používá například firma Erowa ve stroji Erowa Robot Compact 80 či firma DMG v paletizačním stroji PH Cell [15].



Obr. 13: Regálový zásobník obráběcího centra Erowa Robot Compact 80 [15]

4.3.2 Zásobník na otočném stole

Tento typ zásobníku má proti regálovému nevýhodu větších zástavbových rozměrů a menší počet pozic s obrobky. Výhodou je konstrukčně jednodušší manipulátor, protože nemusí dosahovat do takových výšek jako u regálového. Používáme ho pro středně těžké obrobky. Tento koncept používá firma DMG u paletizačních systémů DMG PH 150 [15] [16].



Obr. 14: Zásobník obráběcího centra DMG PH 150 [16]

4.3.3 Zásobník s odkládacími místy

Tento zásobník je tvořen odkládacími místy uspořádanými do kruhu, lineárně či do kruhových pater. Tyto odkládací místa je možné uspořádat do různých útvarů. Jeho výhodou je jednoduchost. Mezi nevýhody patří větší zástavbové prostory a omezená možnost obsluhy

se k těmto odkládacím místům dostat. Bývají zakryté ohrazením či stěnou, kvůli bezpečnosti. Mezi výrobce, kteří používají tento systém patří Toyota, Liebherr či DMG [16] [20].



Obr. 15: Zásobník obráběcího centra Liebherr R1s [20]



Obr. 16: Zásobník konceptu Toyota pallet pool storage system [18]

4.3.4 Válečkový dopravník

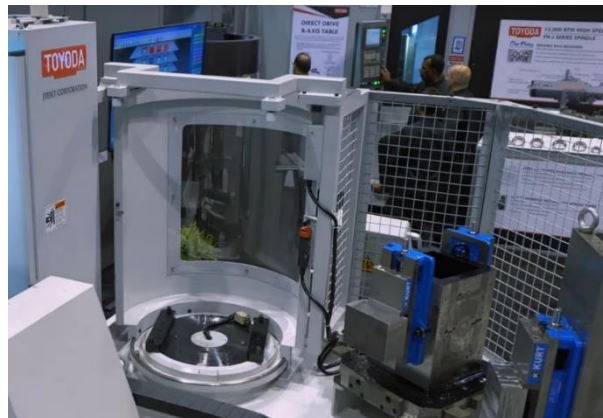
Válečkový dopravník využívá ve svých obráběcích centrech např. firma Midaco. Jeho výhodou je jednoduchost a možnost většího počtu obrobků na dopravníku [19].



Obr. 17: Válečkový dopravník Midaco pool system [19]

4.3.5 Seřizovací a zásobovací místo

Toto místo je přístupné jak pro manipulátor, tak pro obsluhu stroje zvenčí. Zde je možné paletu s obrobkem správně ustavit. Lze tu také zásobit odkládací místa novými paletami s obrobky či odebrat již hotové obrobky. Tento systém používá firma Toyota či DMG [16] [18].



Obr. 18: Zásobovací místo obráběcího centra Toyota [18]

4.3.6 Vozíkový zásobník

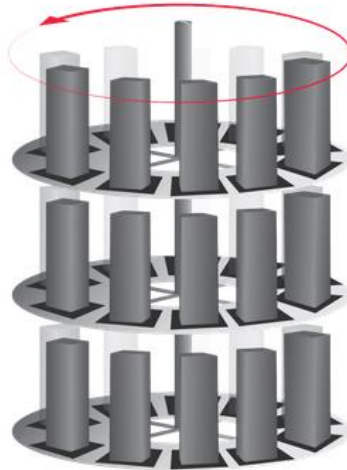
Mezi další možnosti pro odkládání či manipulaci s obrobky patří vozíky. Lze je řadit za sebe a vytvořit z nich „vlak“. Výhodou tohoto řešení je možnost manipulace s vozíky i obrobky, přestože je obráběcí centrum v činnosti. Vozíky vyjíždějí ze stroje a je možné s nimi dále manipulovat. Vozíky bývají spojeny pomocí čepů a jsou vedeny ve vedení pro přesné dosažení požadovaného místa pro nakládku či vykládku [27].



Obr. 19: Vozík s obrobkem firmy Midaco [27]

4.3.7 Otočný patrový zásobník

Otočný patrový zásobník se vyznačuje malými zástavbovými rozměry a je vhodný pro malé až středně velké obrobky. Na rozdíl od zásobníku typu otočný stůl má více pater [29].



Obr. 20: Otočný patrový zásobník

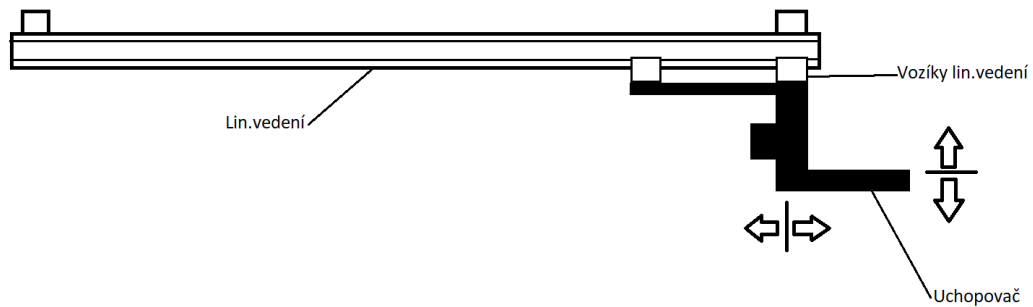
4.4 Manipulátory

Manipulátory slouží k transportu obrobků do a ze stroje. Konstrukčně se liší v závislosti na velikosti a hmotnosti obrobku či také dle kompatibilitnosti se zásobníkem. Během manipulace je stroj v nečinnosti, proto je snahou provést operaci s minimálním počtem pohybů a v co nejkratším čase.

Hlavní typy manipulátorů

1. Teleskopický manipulátor
2. Manipulátor s otočným ramenem
3. Robotický manipulátor
4. Manipulátor se dvěma klouby

4.4.1 Teleskopický manipulátor (translační)

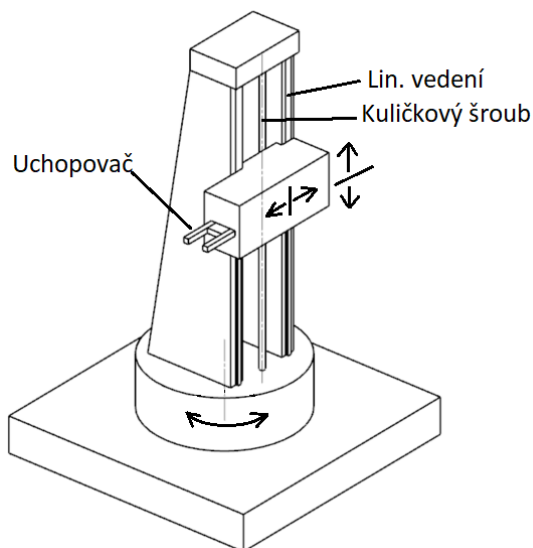


Obr. 21: Teleskopický manipulátor

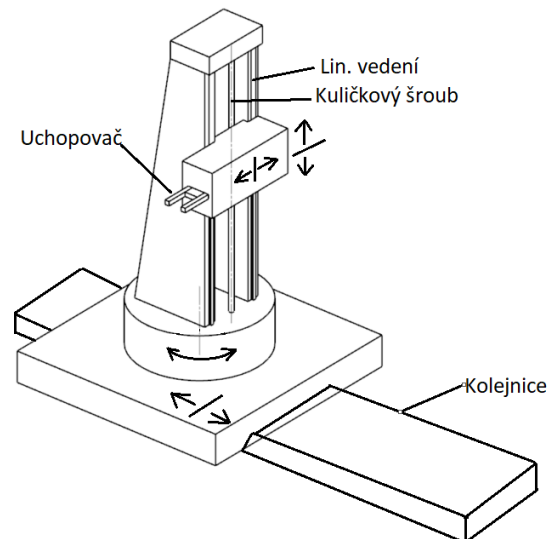
Tento typ se vyznačuje jednoduchou konstrukcí. Manipulátor koná pohyb směrem dopředu/dozadu a nahoru/dolů. Může se vyskytovat v kombinaci se zásobníkem využívající otočný stůl, jako například aplikace Erowa Robot Easy 250, DMG PH 150 či MIDACO Pool systém. Tyto manipulátory se používají pro přesuny méně těžkých obrobků (do 250 kg). Zásobník typu otočný stůl obsahuje pouze omezený počet pozic [15] [16] [27].

4.4.2 Manipulátor s otočným ramenem

Otočné rameno se často používá v kombinaci s kruhově uspořádanými odkládacími místy do pater. Manipulátor se může otáčet kolem své osy, zvedat obrobky do výšky a zasouvat je do potřebných pozic. Tuto aplikaci využívá např. firma Liebherr v aplikaci Liebherr Rotary loading systém nebo firma DMG v aplikaci DMG PH Cell. Tato konfigurace se používá pro objemnější obrobky (převážně 300-500 kg). Liebherr RLS však dovoluje manipulovat s obrobky od 800 do 1500 kg. Při stavění odkládacích pozic do pater disponujeme více odkládacími místy [15] [16] [20].



Obr. 22: Manipulátor s otočným ramenem [21]

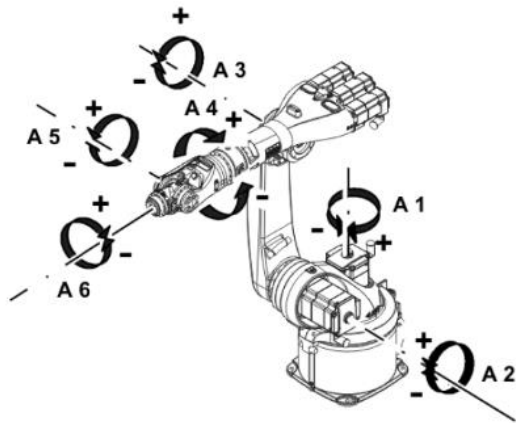


Obr. 23: Manipulátor s otočným ramenem na kolejnících [21]

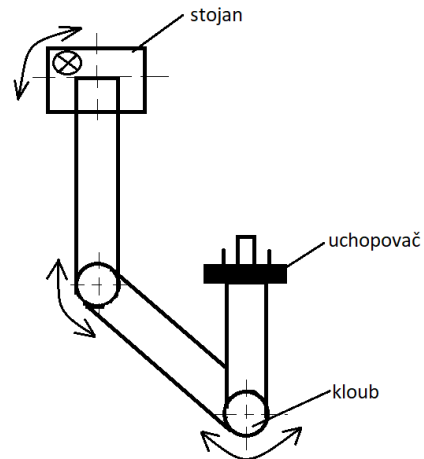
V některých aplikacích se otočné rameno pohybuje po kolejnících a může například obsluhovat více obráběcích strojů či odkládací místa uspořádané lineárně do pater podél vedení manipulátoru. Tento princip využívá např. aplikace Erowa Robot Dynamic 500 [15].

4.4.3 Robotický manipulátor

Mezi výhody robotických manipulátorů patří možnost manipulace s těžkými obrobky (až do 500 kg). Příkladem je šestiosý robot Erowa Robot Six firmy Erowa (viz Obr. 24). Dalším významným výrobcem je firma KUKA. Robot, upevněný na lineárním vedení, dokáže obsloužit více obráběcích strojů. Nevýhodou tohoto řešení je jeho vysoká cena [15] [21].



Obr. 24: 6tiosý robot [21]



Obr. 25: Manipulátor se dvěma klouby

4.4.4 Manipulátor se dvěma klouby

Tento typ manipulátoru má zpravidla menší nosnost (do 80 kg). Umožňuje ale komplexnější pohyb, díky kterému lze obsluhovat stroj z boku.

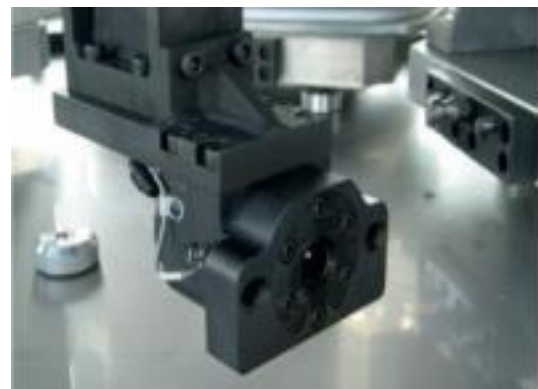
4.5 Uchopovač palet

Uchopovač slouží ke spojení palety a manipulátoru. Konstrukci lze řešit různými způsoby. Uchopovač musí být schopen přenést hmotnost obrobku a palety a musí být co nejtužší. Překročení dovolených hmotností může mít za následek zničení manipulátoru.

4.5.1 Uchopení s RCS 5



Obr. 26: Čep s pomocnými kolíky [15]

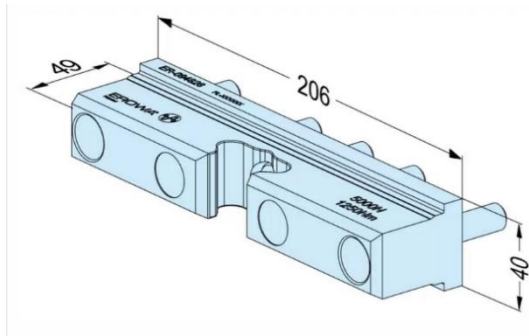


Obr. 27: Uchopení RCS 5 [15]

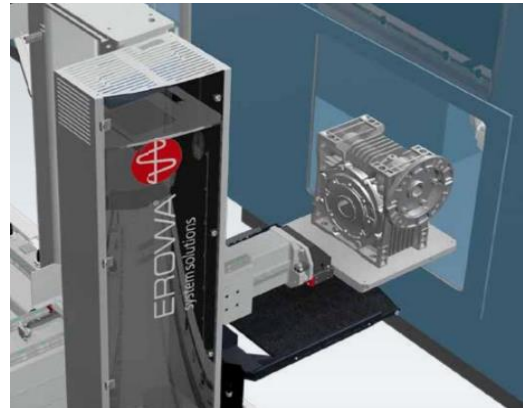
Spojení manipulátoru s paletou je realizováno pomocí čepu a dvou pomocných kolíků. Můžeme se s ním setkat např. v aplikaci Erowa Robot Easy 250. Výhodou systému je jednoduchá konstrukce. Lze ho dodatečně umístit na rameno manipulátoru. Nevýhodou je jeho omezená nosnost. Pomocí tohoto systému s označením RCS5 gripper jsme schopni přenášet obrobky s hmotností do 250 kg o rozměrech 500 x 500 x 400 mm [15].

4.5.2 Uchopení s WGS-500

Firma Erowa nabízí i uchopovací řešení pro objemnější obrobky do 500 kg. Tato aplikace je kompatibilní s paletou Erowa UPC [15].



Obr. 28: Rozměry uchopení WGS-500 [15]



Obr. 29: WGS-500 automation [15]

4.5.3 Uchopovací vidlice UPC

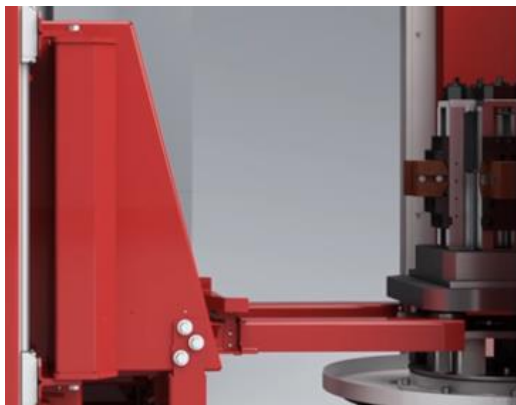
Tento systém umožňuje přesun palety podebráním a následným zvednutím. Používá se pro palety UPC firmy Erowa a má nosnost 250 kg [15].



Obr. 30: Erowa gripper fork [15]

4.5.4 Uchopení vidlicovým podavačem

Manipulátor nabere paletu tak, že pod ní najede vidlicový podavač a poté ji nadzvedne. Výhodou systému je, že může být konstruován pro libovolnou hmotnost. Nevýhodou je nutnost ponechání prostoru pod paletou pro najetí ližin. Tento systém se používá například u stroje Liebherr pallet pool system či Toyota pallet pool storage system [20].



Obr. 31: Liebherr RLS [20]



Obr. 32: Liebherr RLS [20]

4.6 Upínací systémy

Upínací systém slouží k upnutí palety na pracovní stůl obráběcího stroje. Upnutí musí být tuhé, rychlé a přesné. Druh použitého systému závisí na hmotnosti a velikosti obrobku.

4.6.1 Erowa UPC (upnutí pomocí upínacích čepů)



Obr. 33: Erowa UPC [3]

Firma Erowa nabízí paletizační systém Erowa UPC. Tato aplikace je vhodná jak pro upínání malých obrobků (EDM stroje), tak zejména pro obrábění velkých obrobků. Přípravky, svěráky a měřidla jsou upnuty na paletě UPC, která je plně integrována do systému Zero clamping system (upnutí pomocí upínacích čepů) firmy Erowa. Paletizační systém je odolný proti převrácení z důvodu velkých vzdáleností opěrných bodů. Upínací plocha může mít rozměry až 500 x 500 mm. Konstrukce systému je nízkoprofilová, sklíčidlo je chráněno gumovým těsněním proti vniknutí třísek a kapalin. Kontaktní povrchy jsou automaticky čištěny vzduchem [3].

4.6.2 Erowa MTS (upnutí pomocí upínacích čepů)

Systém Erowa MTS je vhodný pro automatizovanou výměnu obrobků. Vyznačuje se velkou flexibilitou. Počet sklíčidel může být libovolný a závisí na kapacitě stroje. Při výměně obrobků se kontaktní povrchy sklíčidel a upínacích čepů automaticky čistí. Středící a vyrovnávací čepy polohují a vystředí nosič obrobku s přesností menší než 0,003 mm. Sklíčidlo má rozměry 360 x 400 mm a jeho hmotnost je 20 kg [3].



Obr. 34: Erowa MTS [3]

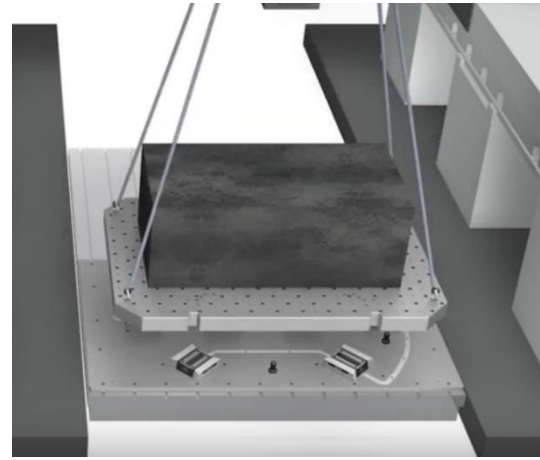
4.6.3 Erowa Heavy PowerChuck (upnutí pomocí T-vedení a středících čepů)

Erowa Heavy PowerChuck je systém pro upínání velkých těžkých obrobků. Erowa HPC se skládá z upínacích modulů, které jsou umístěny podle potřeby na stole stroje. Obrobky lze tedy rychle a bezpečně pokládat. Počet paletizačních modulů (T-vedení) lze rozšířit o 4-8 dle

velikosti palety. Při pokládání palety jeřábem na upínací moduly pomáhají středící čepy najít koncovou polohu a brání před poškozením modulů [3].



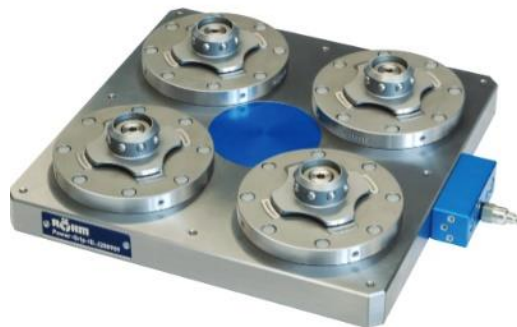
Obr. 35: Erowa Heavy PowerChuck [3]



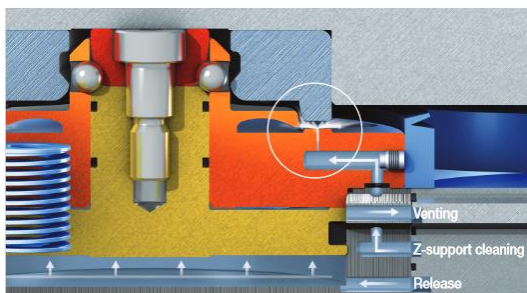
Obr. 36: Erowa Heavy PowerChuck [4]

4.6.4 Stark-Roemheld PowerGrip (upnutí pomocí upínacích čepů)

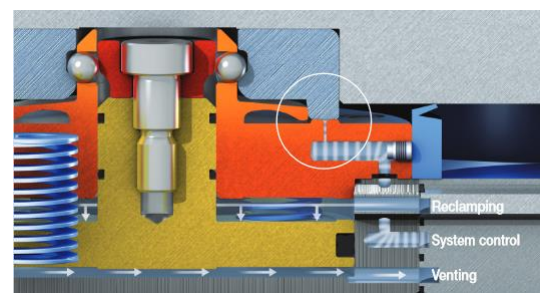
Stark-Roemheld PowerGrip je rychloupínací systém s nulovým bodem s možností použití v různých aplikacích (strojní palety, desky, úhelníky, otočné mosty). Lze jej použít pro všechny obráběcí operace (soustružení, frézování, broušení, erodování) a také pro upevnění montážních přípravků. Mechanismus upevnění může využívat hydraulické či pneumatické síly. Opakovatelnost je 0,002 mm na více než 750 000 upínacích procesů. Přesnost upnutí je 0,005 mm [11].



Obr. 37: PowerGrip zero point [11]



Obr. 38: PowerGrip – uvolněno [11]



Obr. 39: PowerGrip - sevřeno [11]

4.6.5 Schunk Vero S NSL3 400 (upnutí pomocí upínacích čepů)

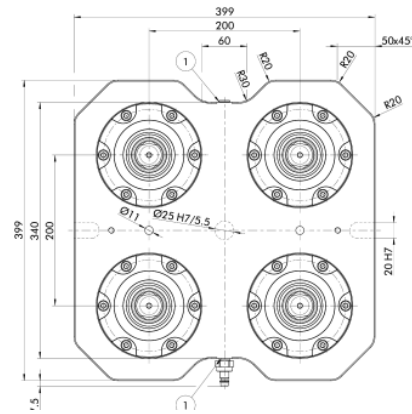
Přenos síly v tomto systému probíhá pomocí patentované kinematiky pohonu, která přenáší dostupnou sílu pružiny na maximální sílu přitahu přes upínací čep. Upínání je samodržné, přitlačná síla může být zvýšena pomocí integrované funkce turbo. Otvírání se provádí pneumaticky s tlakem systému 6 barů. Hmotnost upínače NSL3 400 je 35 kg [6].



Obr. 40: Vero-S [6]



Obr. 41: Vero S 2 [7]



Obr. 42: NSL3 400 [6]

4.6.6 Schunk Magnos MFRS (magnetické upínání)

Pro 5tiosé obrábění lze také použít magnetické sklíčidlo s extrémně vysokými přídržnými silami pro frézování. Jedná se o upínací řešení určené pro výkonné obráběcí procesy. Výhodou je rovnoměrná upínací síla permanentních magnetů na celý obrobek. Díky upínacím silám je upnutí bez deformací a vnitřních sil v obrobku. Upnutí probíhá během několika sekund a je vhodné pro automatizované aplikace. Magnetická sklíčidla se vyrábějí ve třech provedeních, výběr závisí na tloušťce, hmotnosti, povrchu a geometrii obrobku. Při aplikaci v systémech AVO může nastat problém s ustavením obrobku do správné polohy [9].



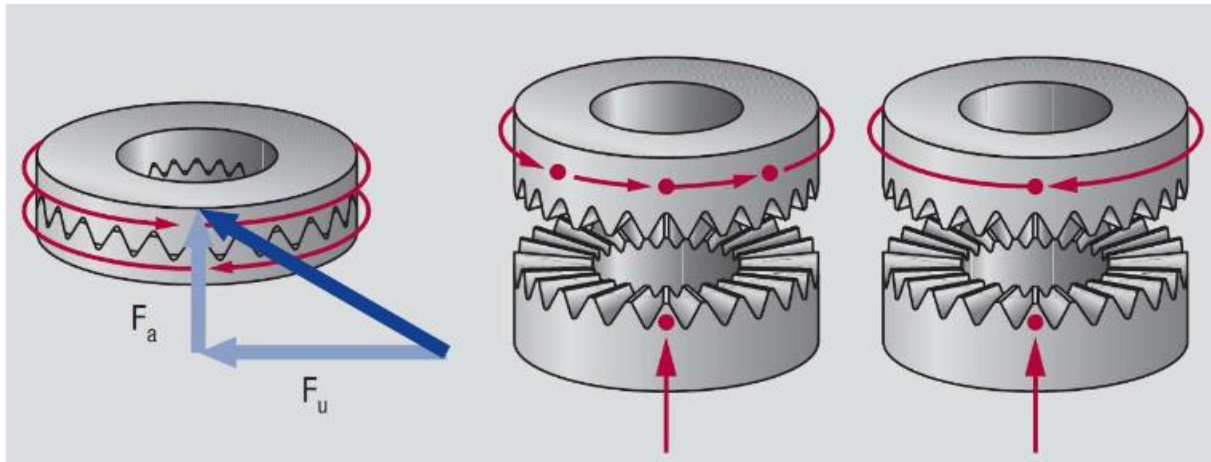
Obr. 43: Schunk Magnos MFRS [9]



Obr. 44: Schunk Magnos MFRS [10]

4.6.7 Upnutí pomocí Hirthova věnce

K fixaci otočného stolu lze použít také Hirthovo ozubení. Zajišťuje nám vysokou přesnost, odolnost proti opotřebení. Díky velké stykové ploše jsme schopni přenášet velké kroutící momenty [22].



Obr. 45: Hirthovo ozubení [22]

4.7 Paletizační stroje

Na trhu existuje mnoho výrobců, kteří nabízejí různé uspořádání manipulátoru a zásobníku. Paletizační stroje se liší dle zástavbových rozměrů, hmotností, velikostí obrobků, počtů odkládacích míst a samozřejmě ceny.

4.7.1 Erowa Robot Six

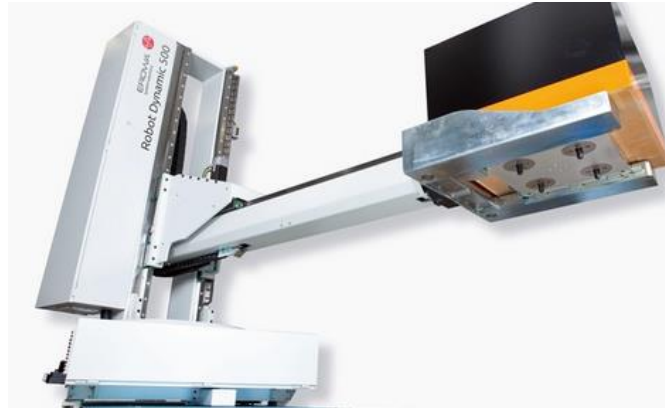
Erowa Robot Six je paletizační systém pro manipulaci s obrobky či nástroji. Firma Erowa vyvíjí různé aplikace s použitím tohoto systému, jak pro automatizaci u jednotlivého stroje, tak pro celé výrobní linky. Tento 6tiosý robot může manipulovat s obrobky do 500 kg, s pojezdem do vzdálenosti 30 metrů. Na Obr. 46 je uspořádání s obráběcími stroji na jedné straně a s úložným prostorem na opačné straně. Robot se pohybuje po lineárním vedení. Erowa robot Six je často uspořádán se systémem Erowa MTS zero point pro jednoduché a rychlé upínání [15] [38].



Obr. 46: Erowa Robot Six [15]

4.7.2 Erowa Robot Dynamic 500

Tento systém je určen pro manipulaci s lehkými i velkými těžkými obrobky. Erowa Robot Dynamic 500 může být v provedení pro pojezd až do 20 metrů a nakládání až 8 strojů. Paletizovat lze obrobky až do hmotnosti 500 kg a rozměrů 800 x 800 x 500 mm. Manipulátor je konstrukce typu otočné rameno. Pro upínání je použit také některý ze systémů Erowy dle hmotnosti obrobku [15].



Obr. 47: Erowa Robot Dynamic 500 [15]

4.7.3 Erowa Robot Easy 250

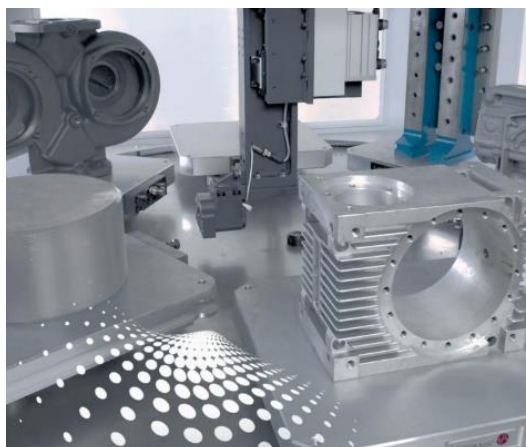
Tento systém může být integrován k mnoha typům strojů a zvětšit tak jejich produktivitu, zároveň zabírá relativně málo místa. Manipulátor je typu otočné rameno. Může přenášet obrobky až do hmotnosti 250 kg s maximálními rozměry 500 x 500 x 400 mm. Lehčí verze může přenášet palety do 40 kg. Uvnitř je zásobník pro 4-60 pozic [15].



Obr. 48: Erowa Robot Easy 250 [15]



Obr. 49: Erowa Robot Easy 250 [15]



Obr. 50: Odkládací pozice Erowa Robot Easy 250 [15]

4.7.4 Erowa Robot Compact 80

Erowa Robot Compact 80 je ideální řešení pro malý zástavbový prostor a mnoho odkládacích pozic v regálovém zásobníku (počet se liší dle velikosti obrobku či nástroje). Je možné přenášet obrobky či nástroje do 80 kg. Manipulátor je osazen chapadlem dimenzovaným dle hmotnosti obrobku či palety. Manipulátor je konstrukce typu otočné rameno [15].



Obr. 51: Erowa Compact 80 [15]



Obr. 52: Erowa robot Compact 80 [15]

4.7.5 DMG MORI

Firma DMG Mori nabízí v rámci svých řešení manipulací s paletami lineární nebo kotoučové zásobníkové systémy.

Typ PH 150



Obr. 53: DMG PH 150 [16]



Obr. 54: DMG PH 150 [16]

Tento systém je určen pro manipulaci s obrobky do hmotnosti 250 kg s maximálními rozměry 500 x 500 x 400 mm. Nabízí 4-24 odkládacích pozic. Využívá systému upínání nulového bodu a manipulace je typu teleskopický manipulátor.

Je to výhodné řešení automatizace s rychlou návratností investic. DMG PH 150 je dostupný pro různé produktové řady obráběcích strojů DMG. Aplikace používá vlastní řídicí systém, nepotřebuje žádné externí ovládání [16].

Typ PH Cell

Tento koncept má 9-40 úložných míst ve více patrech zásobníku. Maximální hmotnost překládaného materiálu je 300 kg. Manipulace je typu otočné rameno. Je možné pracovat s různými velikostmi palet – \varnothing 320 x 320 mm, 400 x 400 mm, 500 x 500 mm, \varnothing 500 x 500 x 500 mm [16].



Obr. 55: DMG PH Cell [16]



Obr. 56: DMG PH Cell [16]

Typ DMG RPS 4

Tento systém je využíván pro objemné a těžké obrobky. Manipulátor provádí výměnu celých pracovních stolů i s obrobky. K posuvu mezi pozicemi se používají kolejnice s řetězem. Systém se dodává pro velké portálové stroje typu DMC 270 a DMC 340. Hmotnost transportovaných obrobků se pohybuje od 6 000 do 10 000 kg [17].



Obr. 57: DMG RPS4 [17]

Typ DMG RPS3

Paletizační systém firmy DMG dodávaný pro 5tiosé CNC stroje DMC 65 a DMC 85 je schopný manipulovat s obrobky o hmotnostech od 500 kg do 800 kg. Využívá k tomu rotační výměník se třemi pozicemi. Manipulátor je atypický teleskopický. Manipulace s obrobkem neprobíhá přes hlavní přístupové dveře do CNC, ale přes odkrývací boční stěnu [16] [23].



Obr. 59: RPS3 [23]



Obr. 58: RPS3 aplikace [23]

4.7.6 Toyoda pallet pool storage system

Paletový bazén firmy Toyoda obsahuje 6 pozic pro palety s obrobky. Dochází zde k manipulaci s celým pracovním stolem. Manipulátor je typu otočné rameno [18].



Obr. 60::Toyoda [18]



Obr. 61: Toyoda pallet pool storage system [18]

4.7.7 Midaco automatic pallet-cart changer



Obr. 62: Midaco automatic pallet-cart changer [27]

Tento systém umožňuje bezobslužnou obsluhu obráběcích center. Doprava obrobků probíhá na spojených vozících, přičemž každý vozík obsahuje 2 místa pro obrobky. Stroj pracuje s opakovatelností 0,002 5 mm. Manipulátor paletu zvedne a zasune do stroje. Před započatím práce stačí spojit vozíky do „vlaku“ a připojit ke stroji. Když vozík s paletami projde procesem na druhou stranu, manipulant může vozík odpojit a např. obrobky vyměnit. Palety jsou hliníkové s průměrem 381 mm a na vozíku jsou upevněny pomocí dvou upínacích čepů. Výhodou je možnost manipulace s obrobky s vřetenem a manipulátorem v pracovním procesu. Nevýhodou je to, že paleta pojme pouze obrobek s maximální hmotností 68 kg. Mezi dodávanými prvky jsou i automatické dveře, které lze připevnit na obráběcí centrum. Počet obrobků závisí na počtu vozíků za sebou [27].



Obr. 63: Midaco pallet-cart changer [27]

4.7.8 ZeroClamp Zerobot 100P a 100V

Firma ZeroClamp nabízí automatizaci využívající dvojkolbového manipulátoru s regálovým zásobníkem. Maximální manipulovatelná hmotnost je 100 kg, můžeme zde manipulovat s nástroji a obrobky. Výhodou této automatizace je, že zásobník obrobků

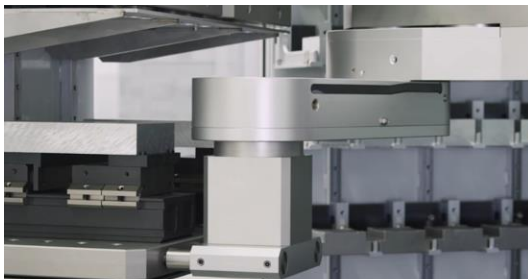


Obr. 64: ZeroClamp Zerobot 100P [28]

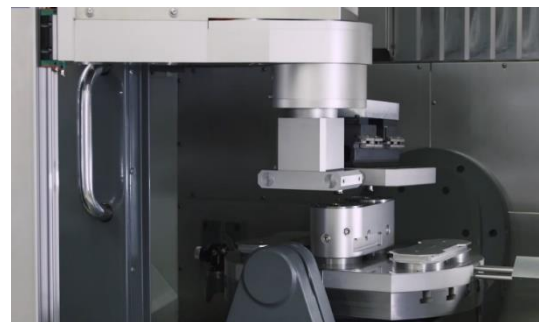
a manipulátor neblokuje přístup do pracovního prostoru stroje. Stroj je tedy možné používat i s manipulátorem v nečinnosti. Počet obrobků v zásobníku závisí na velikosti a hmotnosti obrobků. Další výhodou jsou malé zástavbové prostory. Nevýhodou je nízká maximální hmotnost palety s obrobkem [28].



Obr. 65: Zerobot 100V [28]

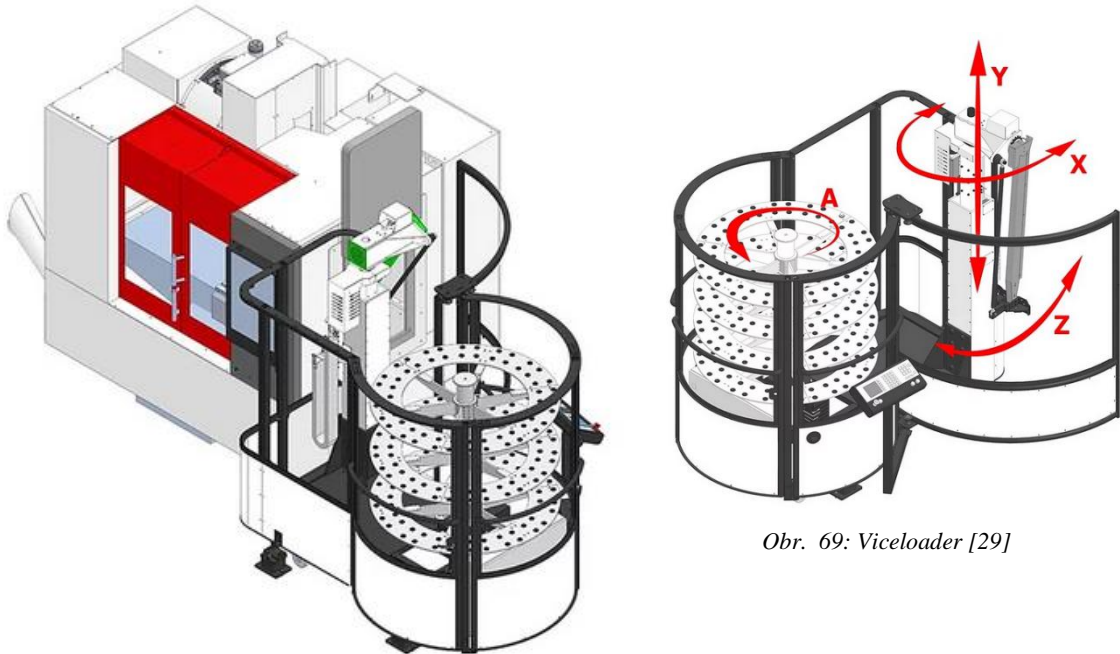


Obr. 66: ZeroClamp automation [28]



Obr. 67: ZeroClamp automation [28]

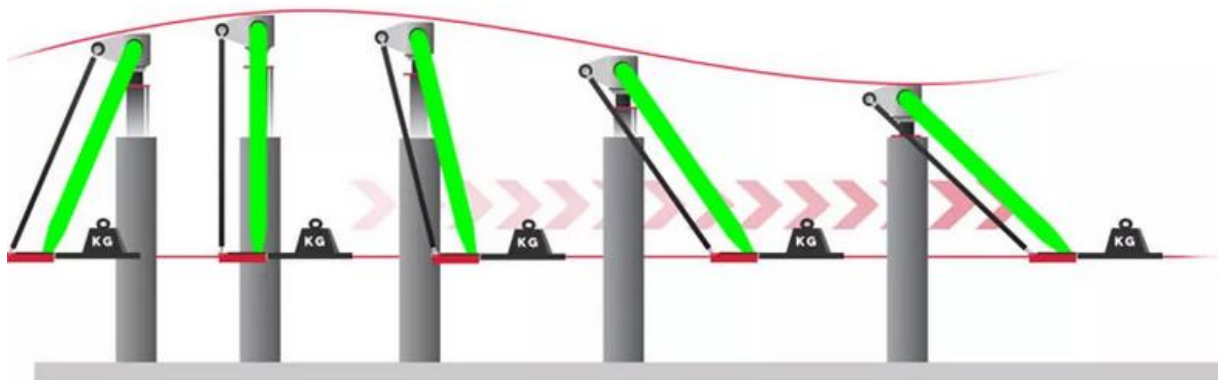
4.7.9 Viceloader



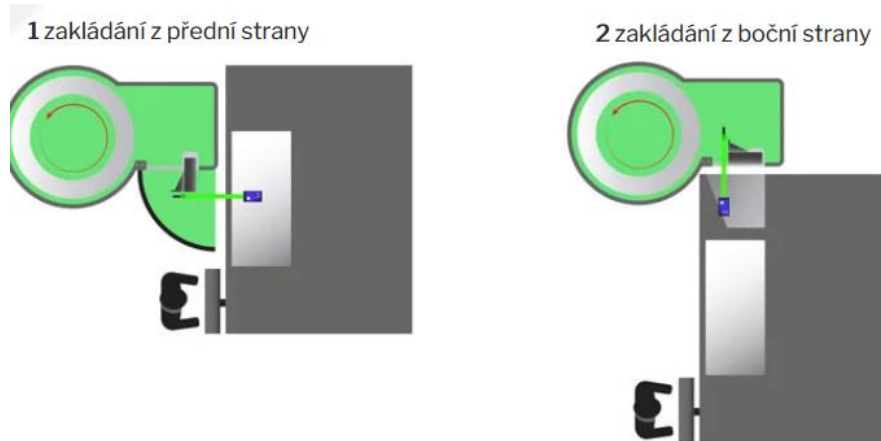
Obr. 69: Viceloader [29]

Obr. 68: Viceloader se strojem MAS MCV 800Q [29]

Viceloader je systém automatizace, která využívá speciálního ramene se schopností horizontálního pohybu. Obrobky jsou přenášeny na paletách či ve svěrácích. Maximální možné zatížení ramene závisí na vzdálenosti založení od Viceloaderu, pohybuje se od 75 kg do 120 kg. Mezi výhody automatizace Viceloader patří nízké zástavbové prostory, možnost přístupu obsluhy k CNC (i v neaktivním režimu stroje). Velkou předností je i možnost připojit Viceloader k jakémukoliv CNC stroji. Pro komunikaci je zapotřebí pouze jediná M-funkce. Zásobník bývá typu otočný patrový či otočný stůl, dle velikosti a hmotnosti obrobku. Viceloader lze k CNC ustavit z přední či boční strany. Počet obrobků v zásobníku se liší dle velikosti a počtu pater. Obecně lze říci, že se pohybuje od 4 do 80 obrobků [29].



Obr. 70: Viceloader rameno [29]



Obr. 71: Viceloader uspořádání [29]

4.7.10 Midaco pool systém

Americká firma Midaco nabízí multi-paletový výměnný bazén pro 5tiosá obráběcí centra. Disponuje opakovatelností 0,002 5 mm výměny palet. Maximální hmotnost obrobku na paletě je 34,5 kg. Tento systém obsahuje 19 kruhových hliníkových palet s průměrem 254 mm, které se pohybují po válečkových tratích kolem manipulátoru do obdélníku. Palety jsou do stroje umísťovány teleskopicky [19] [27].



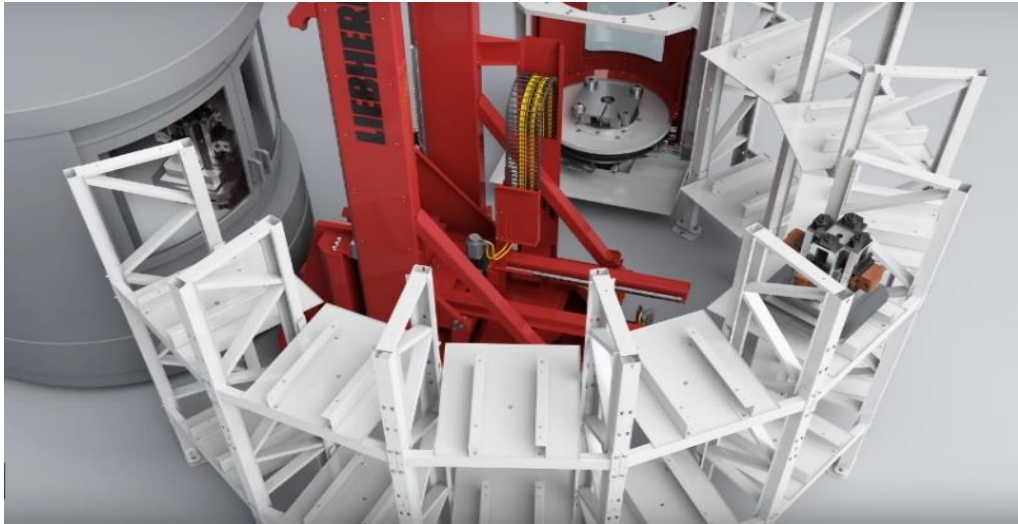
Obr. 72: Midaco pool system [19]



Obr. 73: Midaco pool systém [19]

4.7.11 Liebherr Rotary loading systém

Firma Liebherr nabízí řešení automatické manipulace s obrobky o hmotnosti od 800 kg do 1 500 kg a pro maximální průměry obrobků od 600 mm do 1 300 mm. Umožňuje uskladnění až 36 obrobků v závislosti na velikosti. Manipulace probíhá s celým stolem a obrobkem. Úložný prostor je možné doplnit o otočnou odkládací věž pro obrobky. Manipulace je typu otočné rameno [20].



Obr. 74: Liebherr Rls [20]



Obr. 75: Liebherr RLS800
[20]

4.7.12 Porovnání systémů

V Tab. 3 je uveden přehled jednotlivých paletizačních systémů s rozsahem hmotností jimi opracovávaných obrobků.

Tab. 2: Rozdělení obrobků dle hmotnosti

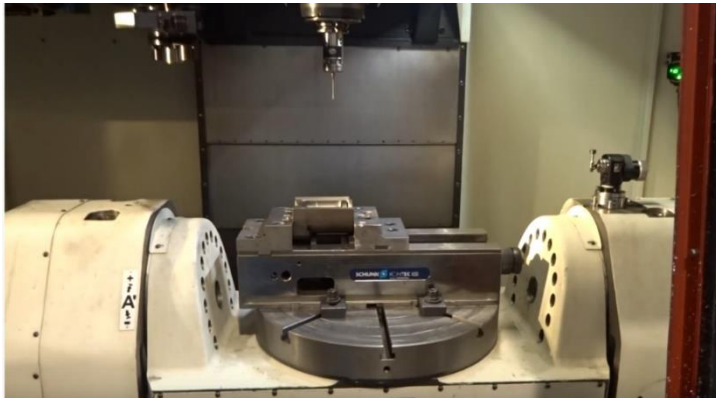
Obrobky dle hmotnosti	hmotnost [kg]
Nejlehčí	<35
Lehké	<80
Středně těžké	<250
Těžší	<350
Těžké	<500
Nadměrné	<1500

Tab. 3: Porovnání paletizačních systémů

Paletizační systém	Nejlehčí	Lehké	Středně těžké	Těžší	Těžké	Nadměrné
Erowa Robot Six	x	x	x	x	x	
Erowa Robot Dynamic 500	x	x	x	x	x	
Erowa Robot Easy250	x	x	x			
Erowa Robot Compact 80	x	x				
DMG Ph Cell	x	x	x			
DMG Ph 150	x	x	x			
DMG RPS 4	x	x	x	x	x	x
Viceloader	x	x				
Midaco pallet-cart changer	x	x				
DMG RPS 3	x	x	x	x	x	
Toyoda pallet pool	x	x	x			
ZeroClamp Zerobot 100P	x	x				
Midaco pool systém	x					
Liebherr RLS					x	x

5 Vlastní návrh automatizace vykládání a zakládání obrobků do MCV 1100 5X

V následujících odstavcích se zabývám možnými variantami zakládání obrobků do MCV 1100 5X. Limitujícím faktorem je otočný stůl, který omezuje pracovní prostor v obráběcím stroji. V zadání je požadavek na výměnu obrobků z boku stroje, to je ale v tomto případě obtížné. Manipulátor by musel zakládat a vykládat z boku přes otočný stůl. Poměrně



Obr. 76: Otočný stůl MCV 1100 5X [23]



Obr. 77: Založení otočného stolu z boku [upraveno z 23]

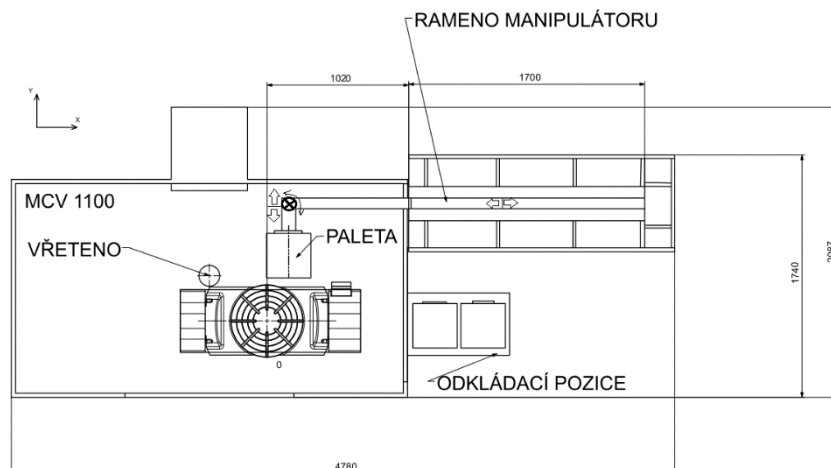
malý pracovní prostor omezuje rozměry obráběného kusu. Je třeba také zamezit kolizi obrobku s vřetenem či nástrojem. Dle mého názoru je tento relativně malý stroj s otočným stolem nevhodný pro manipulaci vysokých, těžkých či středně těžkých obrobků z boku.

5.1 Kinematické návrhy pro MCV 1100 5X

Při výběru návrhů pro další zpracování, byly zváženy různé varianty umožňující automatickou výměnu obrobků pro obráběcí stroj. Omezujícím faktorem je komplikovaný přístup k otočnému stolu. Navrhované varianty využívají různých typů manipulátorů a zásobníků.

5.1.1 Nakládka z boku teleskopickým ramenem

Tento koncept používá zásobník typu odkládací místa, které jsou řazeny lineárně vedle sebe. Upnutí palety by zde nejlépe bylo realizované uchopovačem typu RCS 5. Upnutí palety je prováděno pomocí systémů nulového bodu. Pro realizaci tohoto řešení bude potřeba rozšířit boční dveře ve stroji MCV 1100 5X, aby zde byl prostor pro rameno manipulátoru pro

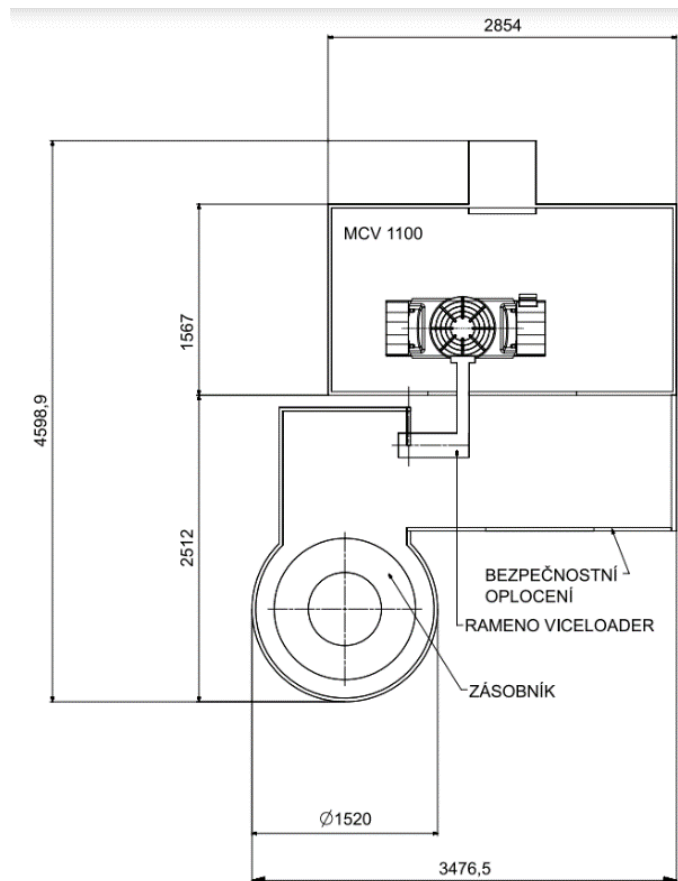


Obr. 78: Vyložení dle Erowa řešení. Zdvih osy X dle modelu dr. T. Krannicha (700 mm).

nakládku. Teoreticky jsme schopni odkládací místa stavět do pater pro zvětšení počtu úložných míst. Předností tohoto řešení je možnost manipulace z boku. Nevýhodou tohoto řešení je nízký počet odkládacích míst a nutný zásah do konstrukce krytování stroje MCV 1100 5X. Dalším problémem je nedostatek místa pro manipulaci s paletou uvnitř stroje a její založení do otočného stolu. Kvůli teleskopickému ramenu nejsme bohužel schopni obsluhovat větší množství odkládacích pozic.

5.1.2 Aplikace inspirací Viceloaderem

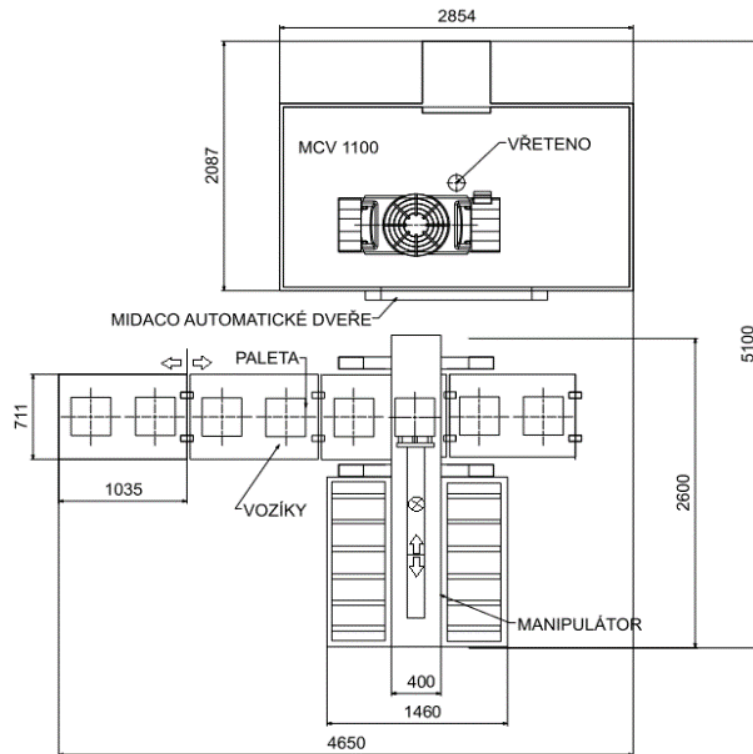
Při inspiraci strojem Viceloader bychom získali velký manipulační prostor před strojem MCV 1100 5X. Otočné rameno s otočným stolem nabízí velký počet odkládacích míst. Nabrání palety dojde jejím zvednutím. Uchopení provedeme vidlicovým uchopovačem. Výhodou tohoto řešení je snadné a flexibilní přemístění manipulátoru se zásobníkem, dále je to velký počet pozic v zásobníku. Nevýhodou se může zdát nosnost tohoto zařízení. Stroj viceloader umožňuje manipulaci s obrobky o hmotnostech v rozmezí 80-120 kg. Pro naši aplikaci bychom se pokoušeli rameno dimenzovat ideálně pro 400 kg [29].



Obr. 79: Návrh využívající aplikaci Viceloader

5.1.3 Aplikace s inspirací u MIDACO Automatic Pallet Changer for 5 – Axis

Tento koncept se jeví zajímavě z důvodu zdánlivě nekonečného zásobníku palet. Výhodou tohoto řešení je univerzálnost, jednoduché řešení a snadné přemístění manipulátoru pro manuální provoz. Obrobky se pohybují na vozíčkách. Pro pohon je třeba navrhnout osu pro zvednutí palety a následné zasunutí do stroje. Uchopení by mohlo být realizováno vidlicovým uchopovačem či systémem uchopení pomocí čepu. Potenciálním problémem může být pohon vozíků, při požadavku hmotnosti palety s obrobkem 400 kg. Těžký obrobek s paletou by mohl mít za následek špatné vedení vozíku s malým počtem obrobků. Firma Midaco má tento zásobník navržený pro obrobky s hmotností 68 kg. Pro naši aplikaci bychom museli vozík dimenzovat na 400 kg [19].

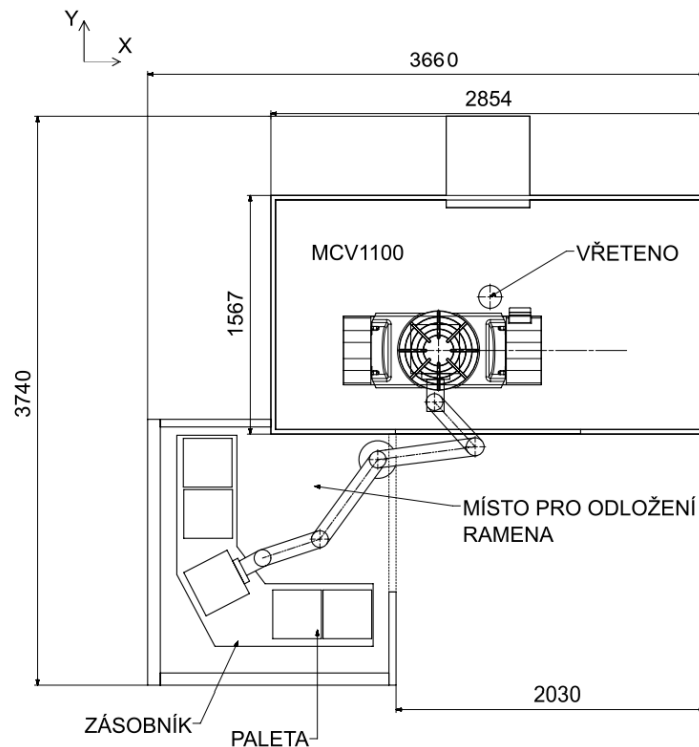


Obr. 80: Midaco automatic pallet changer

5.1.4 Aplikace s inspirací u ZEROBOT 100 V

Při inspiraci strojem ZEROBOT 100V se jeví příznivě kombinace dvoukloubového manipulátoru se zásobníkem typu odkládací místa. Oproti Viceloaderu jsou zástavbové prostory zásobníku menší. Nevýhodou se může jevit nízká hmotnost obrobku. U AVO tohoto druhu je maximální hmotnost manipulovatelného obrobku 100 kg [28].

Pro využití této koncepce potřebujeme zvětšit únosnost našeho manipulátoru na 400 kg. Zásobník je možné stavět do pater pro zvětšení počtu úložných míst. Výhodou je volný manipulační prostor před strojem s odstaveným manipulátorem.

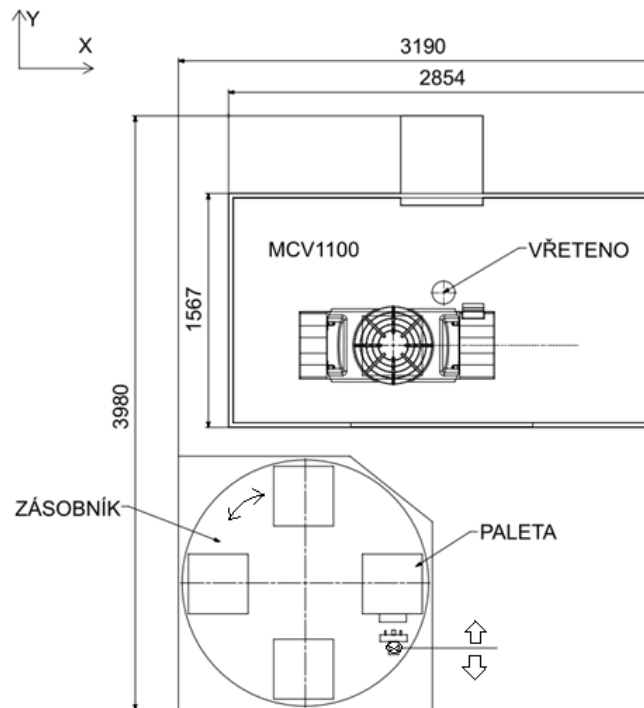


Obr. 81: Dvouramenný manipulátor

5.1.5 Inspirace strojem Erowa Robot Easy 250

Mezi výhody této konstrukce patří jednoduchost a využití stejného manipulátoru jako u varianty s vozíky. Nemuseli bychom také zasahovat do konstrukce samotného CNC stroje, protože výměna obrobků probíhá prostorem hlavních dveří stroje.

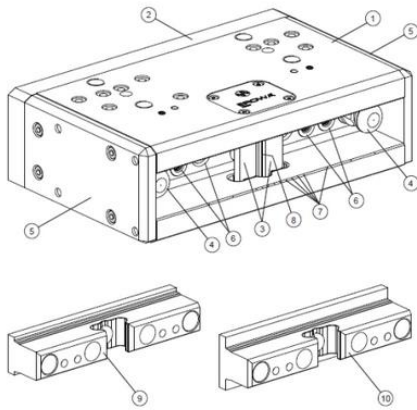
Nevýhodou je to, že manipulátor se zásobníkem se nachází před strojem. Přístup ke stroji kvůli sražení hrany rámu manipulátoru je možný, budeme se ale snažit umístit manipulátor co nejvíce ke kraji, pro zvýšení prostoru před strojem. Otočný stůl nabízí možnost výměny rozměrných obrobků s vyššími hmotnostmi.



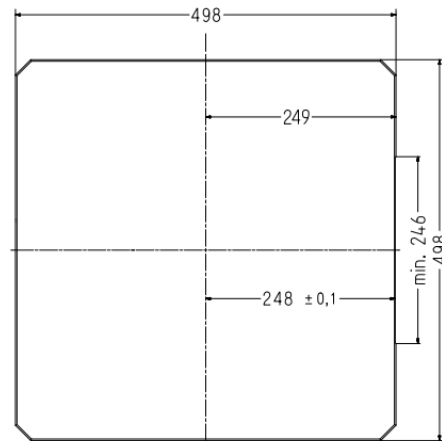
Obr. 82: Inspirace dle Erowy Robot Easy 250

5.2 Vybrané dílčí komponenty pro navrhované AVO

Pro uchopení palety s obrobkem jsem zvolil uchopovač firmy Erowa WGS-500. Maximální hmotnost obrobku na paletě je 500 kg. Spojení uchopovače s paletou je realizováno pomocí linky, který se zasune do uchopovače. Sevření či rozevření je ovládáno pneumaticky. Pomocí trnu dojde k přitáhnutí a sevření palety.



Obr. 83: WGS-500 [15]



Obr. 84: Erowa MTS [3]

Jako paletu jsem pro svůj návrh zvolil výrobek Erowa MTS 498 x 498 mm. Tato paleta se dodává v neobrobeném stavu, a tudíž je vhodná pro uložení dodaného přípravku firmy Kovosvit MAS. Rozměry palety jsou voleny tak, abychom na ní mohli upnout přípravek s obrobkem a aby v otočném stole mohl probíhat rotační pohyb palety [15].

Upínač jsem zvolil systém Erowa MTS vzhledem k jeho kompatibilitě s paletami Erowa. Tento systém využívá upnutí pomocí nulového bodu.



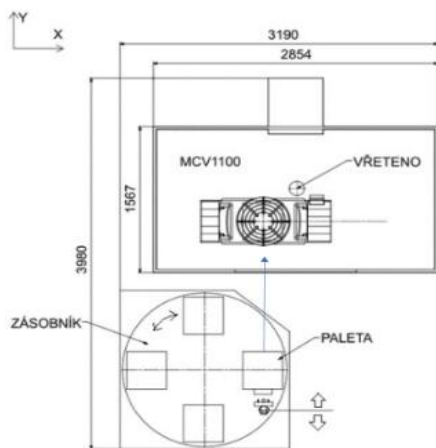
Obr. 85: Erowa MTS [3]

5.3 Vybrané varianty ke zpracování

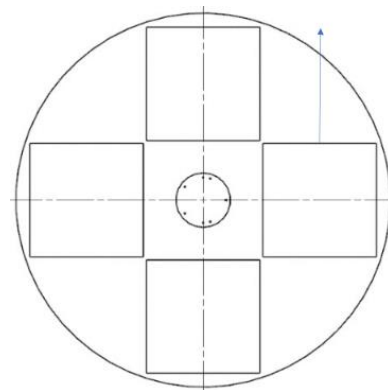
V dalším průběhu práce jsem se rozhodl dále rozpracovávat variantu s vozíky (viz. Obr. 79) a variantu s inspirací dle Erowa Robot easy 250 (viz. Obr. 78). Společným znakem těchto dvou variant je společný manipulátor, který zvedne paletu ze zásobníku a dopraví ji do stroje CNC. Varianty s kompletní realizací výměny z boku jsem zavrhl, protože otočný stůl značně ztěžuje výměnu obrobku s ohledem na jeho požadovanou hmotnost 350 kg. Kompromisem je tedy návrh automatizace, která bude realizována prostorem hlavních dveří MCV1100 5X. Mezi obráběcím strojem a zařízením AVO bude prostor pro obsluhu o šířce 400 mm. Samostatná část manipulátoru může být použita v obou zařízeních. Lze ji snadno svést z navrhovaného rámu zařízení.

5.4 Počet palet na otočném stole

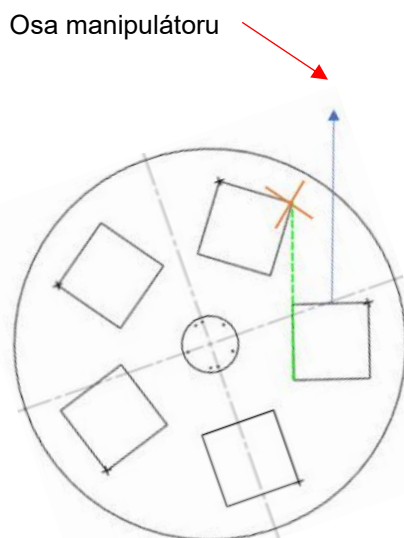
Při stanovení počtu a polohy palet na obráběcím stole je nutné vzít v úvahu jejich rozměry.



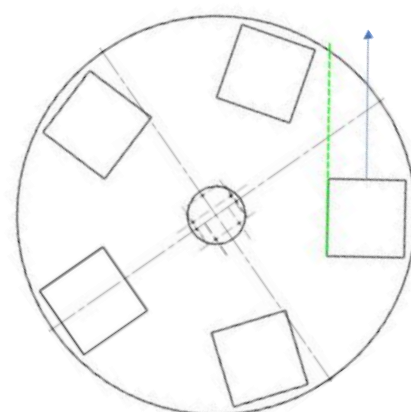
Obr. 86: Schematicky znázorněné umístění otočného stolu a uchopení palety



Obr. 87: Čtyři palety 498 x 498 mm na otočném stole s průměrem 1650 mm

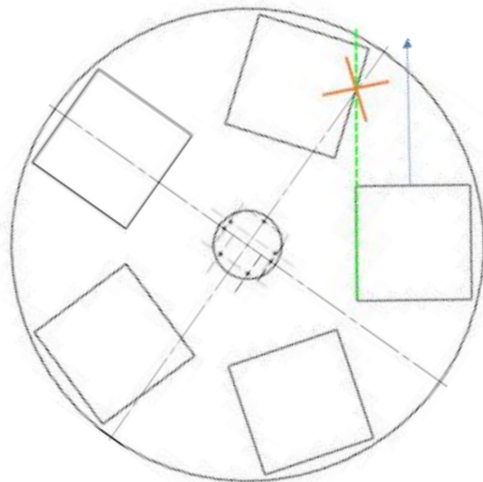


Obr. 88: Pět palet 320 x 320 mm na otočném stole s průměrem 1650 mm

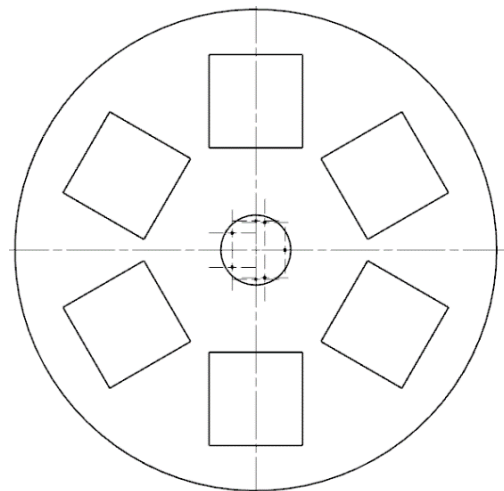


Obr. 89: Pět palet 320 x 320 mm na otočném stole s průměrem 1650 mm umístěných na větším poloměru

Transport palety vyžaduje dostatečný prostor pro průchod palety. Průměr otočného stolu volím 1650 mm, protože se na něj dají umístit 4 palety 498 x 498 mm. Při použití palety 320 x 320 mm se zvýší kapacita stolu na 5 pozic se stejným průměrem otočného stolu. Aby nedošlo ke kolizi s další paletou, je nutné zvolit vhodný poloměr umístění (viz Obr. 88). Nevhodné jsou varianty s pěti paletami 400 x 400 mm (viz Obr.89) a s šesti paletami 320 x 320 mm (viz Obr.90). Další možností je synchronizovat otáčení stolu s lineárním pohybem palety. Toto řešení by však bylo technicky náročné.



Obr. 90: Pět palet 400 x 400 mm na otočném stole s průměrem 1650 mm

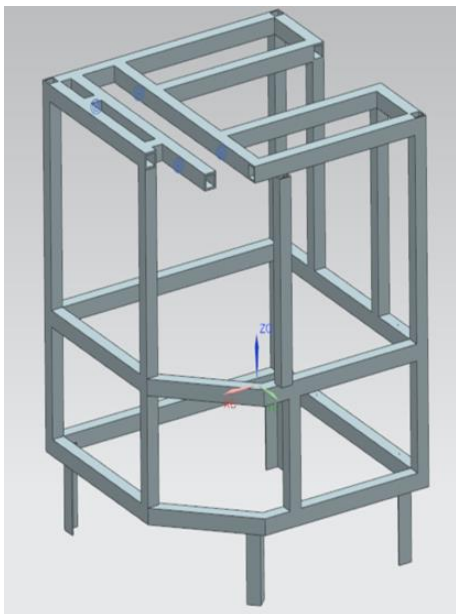


Obr. 91: Šest palet 320 x 320 mm na stole s průměrem 1650 mm

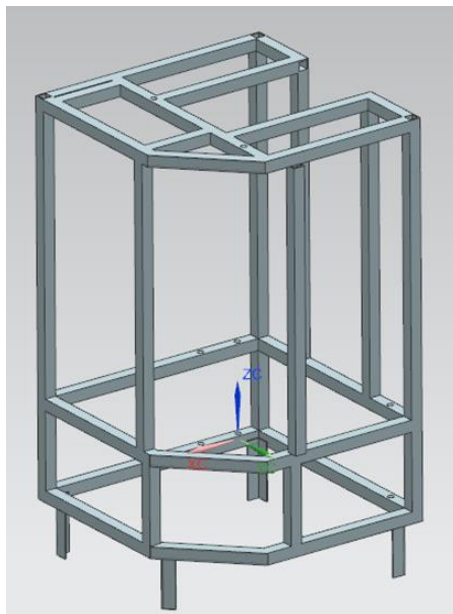
S ohledem na rozměry a hmotnost obrobku volím pro svůj návrh variantu čtyř palet 498 x 498 mm, tyto palety maximálně využijí pracovní prostor otočného stolu ve stroji CNC.

5.5 Rám zařízení AVO

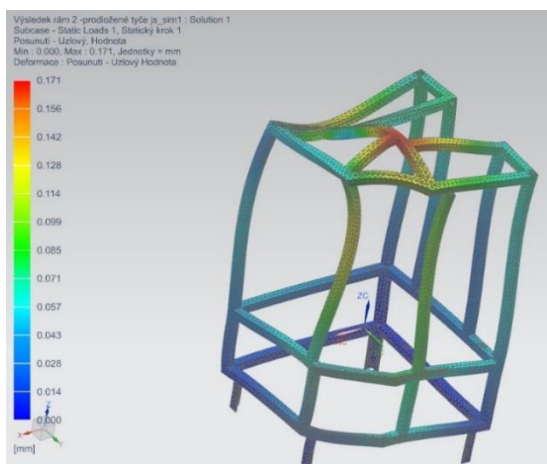
Při návrhu zařízení pracuji se dvěma typy rámu: uzavřeným a otevřeným. Pro návrh budu uvažovat 3 druhy profilů, 50 x 50 x 10 mm, 60 x 60 x 10 mm a 80 x 80 x 10 mm. Uzavřený rám musí být vyšší, aby se do něj vešel manipulátor zařízení. Otevřený rám může být nižší, protože se manipulátor nemusí vejít pod úroveň horních profilů. Při MKP výpočtu, provedeném v NX Siemens jsem použil rám, který byl po poskládání z jednotlivých profilů konvertován do jedné celistvé součásti. V bodech uložení závěsných tyčí jsem umístil reakční síly, které by zde byly při uložení 600 kg na konci vysunutého manipulátoru.



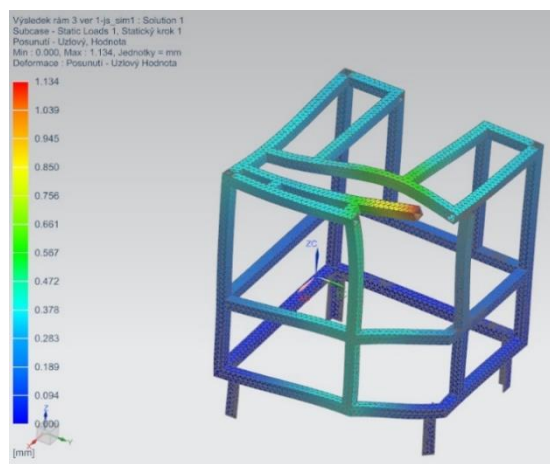
Obr. 92: Otevřený rám



Obr. 93: Uzavřený rám

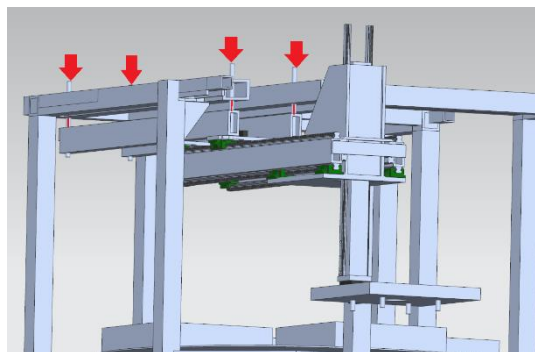


Obr. 94: MKP simulace-uzavřený rám z profilů 80 x 80 x 10 mm při maximálním vysunutí teleskopického manipulátoru

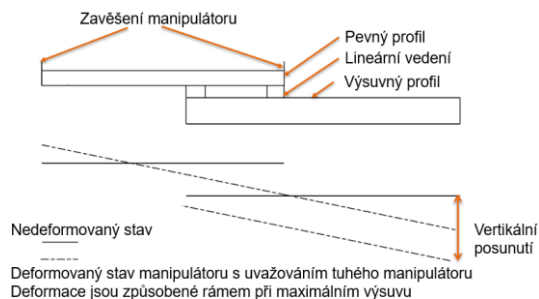


Obr. 95: MKP simulace-otevřený rám z profilů 80 x 80 x 10 mm při maximálním vysunutí teleskopického manipulátoru

Manipulátor je v rámu upevněn pomocí závěsných tyčí. Závěsné tyče umožňují potřebné lehké doseřízení teleskopického manipulátoru.



Obr. 96: Závěšení teleskopického výsuvného manipulátoru pomocí čtyř závitových tyčí



Obr. 97: Deformace manipulátoru

Tab. 4: Deformace otevřeného rámu

Otevřený rám	[mm]
80 x 80 x 10 mm	1,6
60 x 60 x 10 mm	2,19
50 x 50 x 10 mm	3,5
rozdíl % (80 a 60)	27
rozdíl % (60 a 50)	37

Tab. 5: Deformace uzavřeného rámu

Uzavřený rám	[mm]
80 x 80 mm	0,95
60 x 60 mm	1,85
50 x 50 mm	3,26
rozdíl % (80 a 60)	49
rozdíl % (60 a 50)	43

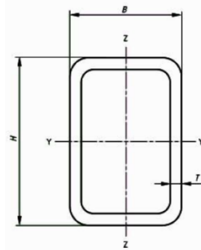
Při výběru rámu je důležité, jaké deformace jsme schopni akceptovat a kompenzovat závěsnými tyčemi. Z materiálního hlediska je tedy otevřený rám výhodnější. U otevřených rámu je procentuální rozdíl velikostí deformací mezi jednotlivými profily průměrně 30 %. U uzavřených rámu je tento procentuální rozdíl mezi jednotlivými profily průměrně 45 %. Bylo by vhodné, aby zařízení AVO nepřesahovalo výškovými rozměry MCV 1100 5X. Pro svůj návrh volím rám otevřený konstruovaný z profilů 80 x 80 x 10 mm. Závěsné tyče se budou nastavovat na místě a regulace bude v řádech desetin milimetrů.

5.6 Volba profilu pro výsuvný teleskop

Teleskopický manipulátor je zavěšen na čtyřech závitových tyčích. Horní profil jsem zvolil 80 x 80 x 10 mm. Dolní profil dimenzuji tak, aby průhyb byl při maximální vysunutí co nejmenší. Minimální deformace jsou důležité pro správné usazení palety na středící čepy a uchopení palety. Při volbě výsuvného profilu se zaměřím na profily, které mají dominantní rozměr ve směru Z. Ten nejvíce ovlivňuje svislý posuv na konci teleskopického manipulátoru. Při tvorbě modelu jsem uvažoval pouze simulaci jednoho nosníku, protože teleskopický manipulátor je symetrický. Simulace proběhla v programu Ansys 2021R1. Ve výpočtovém modelu byl horní nepohyblivý rám vetknutý ve dvou kruhových plochách (což simulovalo zavěšení manipulátoru v rámu stroje). Lineární vedení bylo nahrazeno maticí tuhostí, pomocí které jsme mohli vytvořit simulaci spojení kolejničky lineárního vedení s vozíkem lineárního vedení. Chování manipulátoru nás zajímá v nekritičtějších místě, a to je při maximálním výsuvu.

Výpočtový model teleskopického manipulátoru

Každá kolejnice je opatřena dvěma lineárními vozíky. Vzdálenost vetknutí (závěsných tyčí) je 1300 mm. Při výpočtech jsem volil různé vzdálenosti vozíků, vzdálenost vozíků je třeba

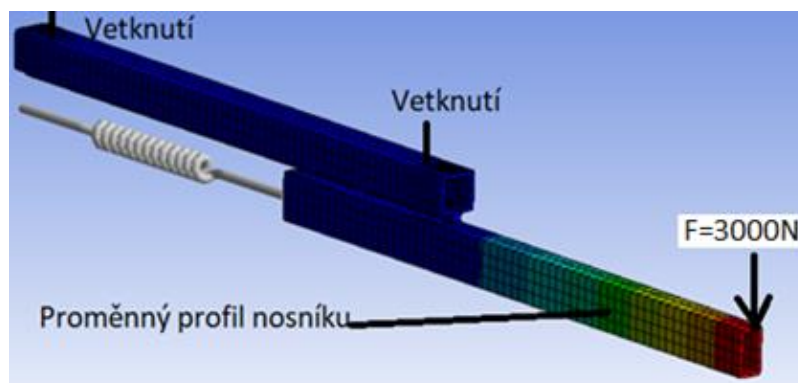


H (mm)	B (mm)	T (mm)
100	50	10
120	50	10
140	80	10

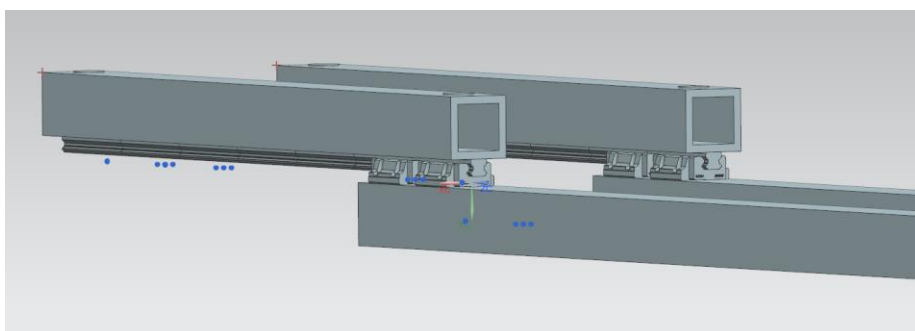
Obr. 98: Uvažované rozměry profilů

zvolit optimální. Při příliš velké vzdálenosti bychom sice dosáhli nejmenších průhybů na konci manipulátoru, ale mohlo by dojít k nedostatečnému výsuvu manipulátoru, a tudíž nesplnění výměny palety na požadovanou vzdálenost. Při velmi malé vzdálenosti vozíků by došlo k nepřijatelným vertikálním posuvům na konci manipulátoru.

V případě nevyhovujících hodnot jsem další výpočty pro danou vzdálenost již neprováděl (viz vzdálenost vozíků 25 mm).



Obr. 99: Znáornění nosníku



Obr. 100: Kolejnice s lineárními vozíky

Deformace nosníku bez zatížení při maximálním výsuvu

V tabulce (Tab. 6) jsou uvedeny vypočítané průhyby konce nosníku v závislosti na vzdálenosti vozíků bez zatížení. Údaje jsou v mm.

Tab. 6: Deformace nosníku bez zatížení při maximálním výsuvu

profil (mm)	vzdálenost vozíků (mm)					
	25	200	250	300	330	350
100 x 50 x 10	6,46	3,70	2,70	2,30	2,10	2,08
120 x 50 x 10			1,74	1,67	1,54	
140 x 80 x 10			1,27	1,16	1,13	

Deformace nosníku při maximálním vysunutí a při zatížení 3 000 N na konci

V tabulce (Tab. 7) jsou uvedeny vypočítané průhyby konce nosníku v závislosti na vzdálenosti vozíků při maximálním zatížení. Údaje jsou v mm.

Tab. 7: Deformace nosníku při maximálním zatížení a výsuvu

profil (mm)	vzdálenost vozíků (mm)					
	25	200	250	300	330	350
100 x 50 x 10	1,99	0,86	0,82	0,77	0,71	0,64
120 x 50 x 10			0,53	0,48	0,47	
140 x 80 x 10			0,39	0,37	0,35	

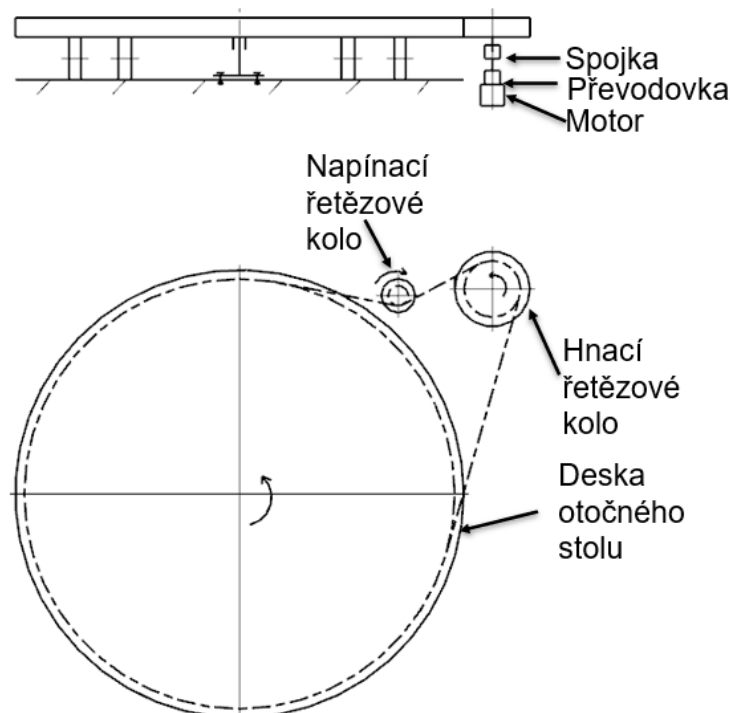
Pro svůj návrh volím 2 profily pro výsuvný manipulátor 140 x 80 x 10 mm a vzdálenost vozíků 330 mm.

5.7 Kombinace rámu a teleskopického manipulátoru

Pro konstrukci AVO jsem zvolil otevřený rám z profilů 80 x 80 x 10 mm, v němž bude zavěšený manipulátor, skládající se z pevné nepohyblivé části tvořené profilem 80 x 80 x 10 mm a z pohyblivé části s výsuvným profilem 140 x 8 x 10 mm. Nejrizikovější okamžik nastává při ukládání palety do stroje CNC (konkrétně při ukládání středících čepů palety do upínače). Středící čepy mají oblý náběh s poloměrem 3 mm, který navede čep do pouzdra upínače.

5.8 Návrh otočného stolu

Hlavní částí otočného stolu je hliníková deska, na které jsou připevněna pouzdra, do kterých zapadnou středící čepy palety. Na otočném stole se nacházejí 4 palety v pozicích pootočených o 90°. Pro pohon otočného stolu jsem z důvodu jednoduchosti zvolil řetězový převod. Otočný stůl (hnané řetězové kolo) je poháněn hnacím řetězovým kolem. Pro zajištění napnutí řetězu je v odlehčené větvi řetězového převodu umístěno napínací řetězové kolo. Pohon otočného stolu je zajištěn asynchronním motorem, který je v páru s planetovou převodovkou. Tento pohon je přes pružnou spojku spojen s hnací hřídelí. Deska otočného stolu se otáčí po trati plastových koleček a je přišroubována ke středové ose. Středová osa je uložena ve dvouřadém naklápěcím ložisku, které se nachází v tubusu. Ložisko jsem zvolil naklápěcí s možností naklopení z důvodu deformací desky otočného stolu. Podpěrná kolečka se středovým tubusem jsou upevněna na rámu stroje tvořeného v této části profily typu U.



Obr. 101: Návrh otočného stolu

5.8.1 Účinnost převodu

Vstupní parametry pro výpočet:

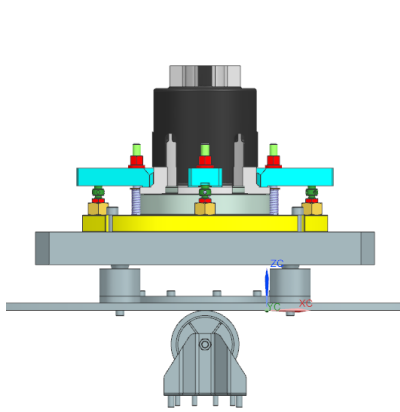
$\eta_{\text{řet}} = 0,97$	účinnost řetězového převodu
$\eta_{\text{kul}} = 0,98$	účinnost kuličkového ložiska
$\eta_{\text{uhl}} = 0,95$	účinnost planetové převodovky

Celková účinnost

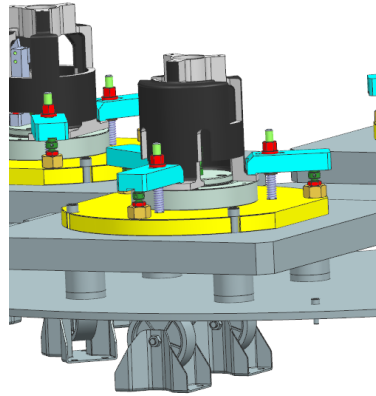
$$\eta_c = \eta_{\text{řet}} \cdot \eta_{\text{kul}} \cdot \eta_{\text{uhl}} = 0,903 \quad (1)$$

5.8.2 Valivý odpor koleček

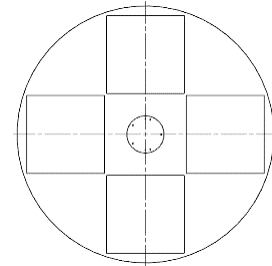
Při návrhu pohonu otočného stolu je potřeba vzít v úvahu valivý odpor otáčení koleček. Navrhovaný otočný stůl bude plně osazen čtyřmi paletami s maximální zadanou hmotností palety a obrobku (celkem 400 kg). Tento valivý odpor musíme při roztáčení stolu překonat.



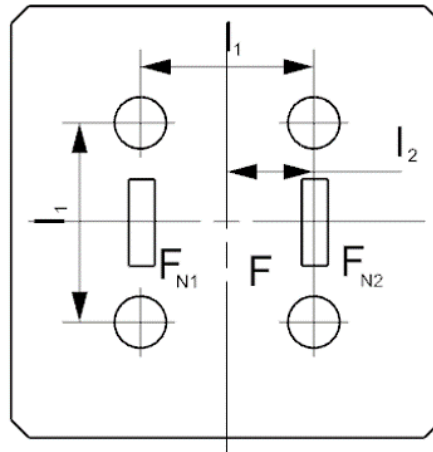
Obr. 103: Pouzdra čepů s kolečky



Obr. 104: Stůl s dvěma řadami koleček



Obr. 105: Rozložení palet na otočném stole



Obr. 102: Síly působící na kolečka

Vstupní parametry pro výpočet:

$$l_1 = 0,2 \text{ m}$$

vzdálenost pouzder čepů

$$l_2 = 0,1 \text{ m}$$

polovina vzdálenosti pouzder čepů

$$m_4 = 400 \text{ kg}$$

hmotnost obrobku s paletou a upínačem

$$F = 3\,924,0 \text{ kg}$$

normálová síla obrobku na kolečka

Výpočet normálové síly na kolečko

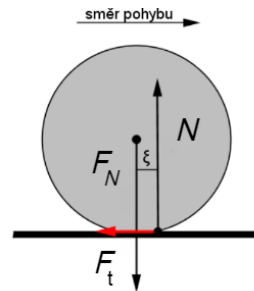
$$F - F_{N1} - F_{N2} = 0 \quad (2)$$

$$F_{N1} \cdot l_1 - F \cdot l_2 = 0 \quad (3)$$

$$F_{N1} = F_{N2} = \frac{F \cdot l_2}{l_1} = \frac{3\,924 \cdot 0,1}{0,2} = 1\,962 \text{ N} \quad (4)$$

Vstupní parametry pro výpočet:

$F_{N1} = 1\,962\text{ N}$	normálová síla na kolečko č. 1
$F_{N2} = 1\,962\text{ N}$	normálová síla na kolečko č. 2
$r_k = 0,05\text{ m}$	poloměr kolečka
$\xi = 0,002$	součinitel valivého tření
$r_1 = 0,64\text{ m}$	vzdálenost F_{t1} od středu otáčení
$r_2 = 0,44\text{ m}$	vzdálenost F_{t2} od středu otáčení



Obr. 106: Třecí síla

Třecí síla proti otáčení kolečka

$$F_{t1} = F_{t2} = F_{N1} \cdot \xi / r_k = 1\,962 \cdot 0,002 / 0,05 = 78,48\text{ N} \quad (5)$$

Celkový valivý odpor koleček ($n = 4$)

$$M_{k1} = n \cdot (F_{t1} \cdot r_1 + F_{t2} \cdot r_2) \quad (6)$$

$$M_{k1} = 4 \cdot (78,48 \cdot 0,64 + 78,48 \cdot 0,44) = 339,03\text{ Nm} \quad (7)$$

5.8.3 Krouticí moment určený z dynamických účinků

Další důležitý výpočet se týká krouticího momentu z dynamických účinků, který potřebujeme překonat při uvádění stolu do pohybu z důvodu velké hmotnosti plně naloženého otočného stolu.

Momenty jsou určeny pomocí programu NX 12 z fyzických vlastností modelu.

$J_s = 19,725 \cdot 10^{-6}\text{ kg} \cdot \text{m}^2$	moment setrvačnosti desky stolu
$J_o = 109,35\text{ kg} \cdot \text{m}^2$	moment setrvačnosti obrobku
$J_{o4} = 437,4\text{ kg} \cdot \text{m}^2$	moment setrvačnosti čtyř obrobků
$J_h = 0,028\text{ kg} \cdot \text{m}^2$	moment setrvačnosti hřídele desky
$J_r = 0,000\,8\text{ kg} \cdot \text{m}^2$	moment setrvačnosti rotoru motoru
$J_{uhl} = 0,00068\text{ kg} \cdot \text{m}^2$	moment setrvačnosti planetové převodovky
$J_{s2} = 0,003\text{ kg} \cdot \text{m}^2$	moment setrvačnosti hřídele hnacího řetězového kola
$\varepsilon_s = 0,6\text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$	úhlové zrychlení stolu
$i_{př1} = 10$	převodový poměr převodovky
$i_{řet.p} = 9,46$	převodový poměr řetězového převodu

Celkový převodový poměr

$$i_c = i_{př1} \cdot i_{řet,p} = 10 \cdot 9,464 = 94,64 \quad (8)$$

Pro úhlové zrychlení motoru platí

$$\varepsilon_m = \varepsilon_s \cdot i_c = 0,6 \cdot 94,64 = 56,79 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2} \quad (9)$$

Redukovaný moment setrvačnosti

$$J_{rm} = J_r + J_{uhl} + \frac{J_s + J_h + J_{o4}}{i_c^2} \quad (10)$$

$$J_{rm} = 0,0008 + 0,00068 + \frac{19,725 \cdot 10^{-6} + 0,028 + 437,4}{94,64^2} \quad (11)$$

$$J_{rm} = 0,050 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (12)$$

Rozběhový moment motoru

$$M_m = J_{rm} \cdot \varepsilon_m \cdot \frac{1}{\eta_c} = 0,050 \cdot 56,79 \cdot \frac{1}{0,903} = 3,14 \text{ Nm} \quad (13)$$

Moment potřebný pro rozběh

$$M_{roz} = M_m + \frac{M_{k1}}{i_c} = 3,14 + \frac{339,03}{94,64} = 6,72 \text{ Nm} \quad (14)$$

Potřebné otáčky motoru

$$n_m = n_2 \cdot i_c = 0,125 \cdot 94,64 = 11,83 \text{ ot/s} = 709,8 \text{ ot/min} \quad (15)$$

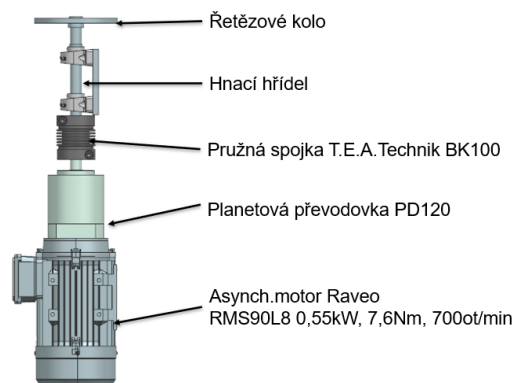
Na základě vypočítaných hodnot volím pro svůj návrh motor asynchronní RMS90L8 0,55kW, 7,6Nm, 710ot/min s planetovou převodovkou Planetroll PD120 s převodovým poměrem $i=10$. Jako spojku volím výrobek firmy T.E.A. Technik BK100. Jedná se o pružnou spojku pro spojení hnací hřídele s převodovkou.



Obr. 107: Zvolený motor [36]

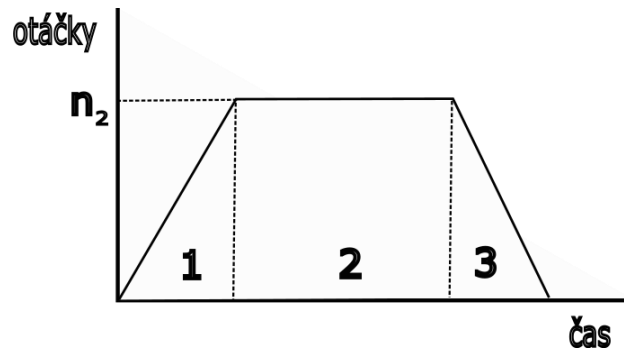


Obr. 108: Zvolená spojka [36]



Obr. 109: Spojení motor převodovka

5.8.4 Doba otočení obrobku o 90°



Obr. 110: Průběh otáček stolu v čase

Při výpočtu doby otáčení otočného stolu si musíme průběh doby otáčení rozdělit na zrychlovací část, dobu při chodu na konstantních otáčkách a zpomalovací fázi.

Fáze č. 1 – zrychlení stolu

Výpočet doby, po kterou osa zrychluje na otáčky n_2

Vstupní parametry pro výpočet:

$\varepsilon_s = 0,6 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$	úhlové zrychlení otočného stolu
$n_2 = 0,125 \text{ ot} \cdot \text{s}^{-1}$	otáčky otočného stolu
$r = 0,825 \text{ m}$	poloměr otočného stolu

$$t_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_2}{\varepsilon_s} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,125}{0,6} = 1,31 \text{ s} \quad (16)$$

úhel otočení

$$\varphi_1 = 0,5 \cdot \varepsilon_s \cdot t_1^2 = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 1,31^2 = 0,51 \text{ rad} = 29,22^\circ \quad (17)$$

Fáze č. 2 – otáčení stolu konstantními otáčkami

Úhel φ_2 , o který se otočí stůl ve fázi č. 2

$$\varphi_2 = 90 - 2 \cdot 29,22 = 31,56^\circ = 0,55 \text{ rad} \quad (18)$$

Úhlová rychlost

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_2}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 7,5}{60} = 0,79 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (19)$$

Obvodová rychlost

$$v = \omega \cdot r = 0,79 \cdot 0,825 = 0,65 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (20)$$

Doba chodu na otáčkách

$$t_2 = \frac{r \cdot \varphi}{v} = \frac{0,825 \cdot 0,55}{0,65} = 0,70 \text{ s} \quad (21)$$

Fáze č. 3 – zpomalení stolu

$$t_3 = t_1$$

čas, po který stůl zpomaluje

Doba otočení o 90°

$$t_{90} = t_1 + t_2 + t_3 = 1,31 + 1,31 + 0,70 = 3,32 \text{ s} \quad (22)$$

Doba chodu na otáčkách n_2 při otočení stolu o 360°

$$\varphi_c = 360^\circ - 2 \cdot 29,22^\circ = 301,56^\circ = 5,26 \text{ rad} \quad (23)$$

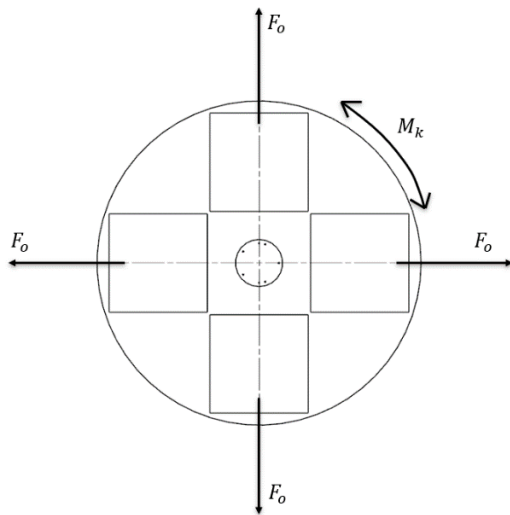
$$t_c = \frac{r \cdot \varphi_c}{v} = \frac{0,825 \cdot 5,26}{0,65} = 6,68 \text{ s} \quad (24)$$

Doba celkového otočení stolu o 360°

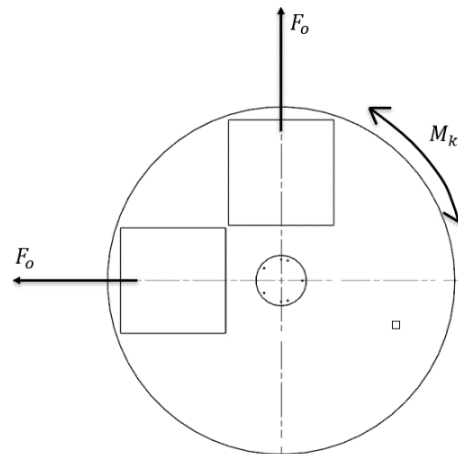
$$t_{360} = t_1 + t_2 + t_c = 1,31 + 1,31 + 6,68 = 9,3 \text{ s} \quad (25)$$

5.8.5 Hřídel otočného stolu

Středové uložení desky otočného stolu je namáháno pouze ohybovým zatížením odstředivé síly.



Obr. 111: Znárodnění odstředivých sil



Obr. 112: Znárodnění odstředivých sil

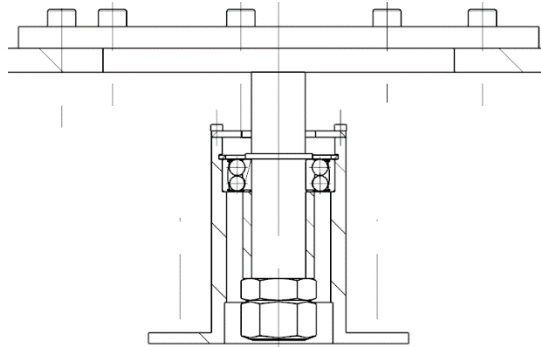


Obr. 113: Závislost odstředivé síly na obvodové rychlosti obrobku

Středovou hřídel dimenzujeme na přenos M_k a namáhání odstředivou silou.

Návrh hřídele otočného stolu

Hřídel otočného stolu je uložena v dvouřadém naklápěcím ložisku SKF 1205 ETN9. Toto ložisko jsem zvolil z důvodu možnosti naklápění, které bude způsobováno deformacemi desky otočného stolu. Hřídel se nachází v tubusu, který je k rámu stroje připevněn šrouby. Ložisko je v tubusu axiálně zajištěno pojistným kroužkem a z druhé strany osazením. Hřídel je namáhána pouze ohybovým napětím od odstředivé síly palet s obrobky. Jelikož jsou otáčky otočného stolu malé, odstředivé síly nejsou tak velké.



Obr. 114: Hřídel otočného stolu

Základní dynamická únosnost	C	14,3 kN
Základní statická únosnost	C ₀	4 kN
Mezní únavové zatížení	P _u	0,204 kN
Referenční otáčky		28 000 r/min
Mezní otáčky		18 000 r/min
Přípustné úhlové naklopení	α	2,5 °
Výpočtový součinitel	k _r	0,04
Výpočtový součinitel	e	0,28
Výpočtový součinitel	Y ₀	2,50
Výpočtový součinitel	Y ₁	2,20
Výpočtový součinitel	Y ₂	3,50

Obr. 115: Parametry ložiska [upraveno z 21]

Vstupní hodnoty výpočtu:

$$\sigma_{do} = 105 \text{ MPa}$$

dovolené napětí v ohybu pro materiál 11 523

$$F_{od} = 178 \text{ N}$$

maximální odstředivá síla od palet s obrobkem o hmotnosti 400 kg při otáčkách ot. stolu 0,12 ot/min

$$M_{omax} = 8,44 \text{ Nm}$$

maximální ohybová napětí v hřídeli

Výpočet minimálního průměru hřídele

$$d_{ot} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{omax}}{\pi \cdot \sigma_{do}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 8,44}{\pi \cdot 105 \cdot 10^6}} = 0,009 \text{ 36 m} \quad (26)$$

Minimální průměr hřídele jsem zvolil 20 mm. Výpočty ložiska SKF 1205 ETN9 jsem neprováděl, protože se k mezním hodnotám otáček a únosností dalece nepřiblížím.

5.8.6 Hnací hřídel otočného stolu

Vstupní parametry pro výpočet:

$\tau_{dk} = 55 \text{ MPa}$	dovolené tečné napětí pro materiál 11 523
$M_{k(\text{motoru})} = 7,6 \text{ Nm}$	kroučící moment hnací hřídele
$i_p = 10$	převodový poměr převodovky
$p_D = 80 \text{ MPa}$	dovolené napětí v otlacení pro materiál 11 523
$D_s = 23 \text{ mm}$	střední roztečný průměr drážkování
$h = 2 \text{ mm}$	hloubka drážky
$K = 0,75$	korekční součinitel
$n_d = 6$	počet drážek

Výpočet momentu hnací hřídele otočného stolu a průměru hřídele

$$M_{k2} = i_p \cdot M_{k(\text{motoru})} = 10 \cdot 7,6 = 76 \text{ Nm} \quad (27)$$

$$d_{hm} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{k2}}{\pi \cdot \tau_{dk}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 76}{\pi \cdot 55 \cdot 10^6}} = 0,019 \text{ m} \quad (28)$$

Volím hřídel s nejmenším průměrem 25 mm.

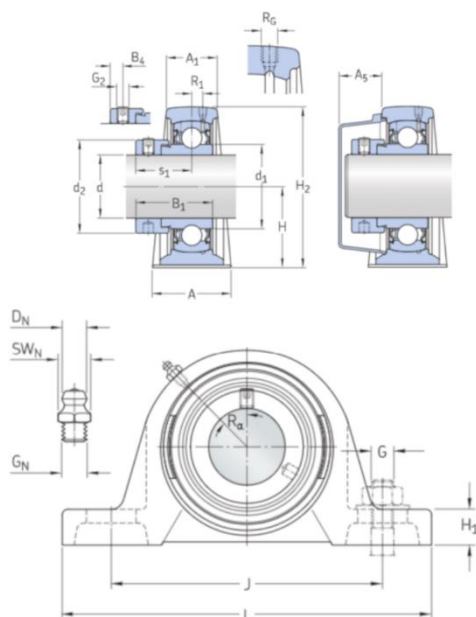
Výpočet délky drážkování

$$p = \frac{F}{S} = \frac{2 \cdot M_{k2}}{D_s \cdot l \cdot h \cdot K \cdot n_d} \leq p_D \quad (29)$$

$$l \geq \frac{2 \cdot M_{k2}}{D_s \cdot p_D \cdot h \cdot K \cdot n_d} \quad (30)$$

$$l \geq \frac{2 \cdot 76 \text{ 000}}{23 \cdot 80 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,75 \cdot 6} \quad (31)$$

$$l \geq 9,18 \text{ mm} \quad (32)$$



rozměry		
d	25 mm	Průměr díry
d1	≈33.74 mm	Průměr nákrčku vnitřního kroužku
d2	37.4 mm	Vnější průměr pojistného kroužku
A	36 mm	Šířka základny
A1	22 mm	Horní šířka
A5	20.5 mm	Šířka včetně koncového víka
B1	31 mm	Celková šířka ložiska
B4	4.75 mm	Vzdálenost od čela zajišťovacího zařízení ke středu závitů
H	36.5 mm	Výška osy kulové úložné plochy
H1	16 mm	Výška základny
H2	70 mm	Celková výška
J	102 mm	Vzdálenost mezi přípojovacími šrouby
J	max.110 mm	Vzdálenost mezi přípojovacími šrouby
J	min.94 mm	Vzdálenost mezi přípojovacími šrouby
L	130 mm	Celková délka
N	11.5 mm	Průměr díry pro přípojovací šroub
N1	19.5 mm	Délka díry pro přípojovací šroub
s1	23.5 mm	Vzdálenost od čela zajišťovacího

Obr. 116: Parametry ložiskového domku SY 25 FM [35]

Vstupní hřídel bude krouticí moment ze vstupní hřídele na řetězové kolo přenášet pomocí drážkového spojení rovnobokého 6x23 g7x26 a12x6 f9.

Uložení hnací hřídele volím ve stojatých ložiskových jednotkách kuličkových ložisek, které jsou připevněné na desku šrouby M10 a kolíky s průměrem 4 mm [35].

5.8.7 Návrh řetězového pohonu otočného stolu

Výpočty řetězového převodu jsou provedeny dle katalogu Řetězy Vam [40]. Deska otočného stolu má po obvodu zuby pro pohon řetězem.

Tab. 8: Doporučené počty zubů [34]

Počet zubů z_1	Použití pro	Počet zubů z_2	Použití pro
6 nebo 7	ručně ovládané převody	do 80	příznivé počty zubů
8 až 10	rychlost řetězu v do 1 m.s ⁻¹ při stejnoměrném zatížení	do 120	větší převodové poměry
11 až 13	rychlost řetězu v do 4 m.s ⁻¹ při stejnoměrném až míjivém zatížení	přes 120	velké převodové poměry
14 až 16	rychlost řetězu v do 7 m.s ⁻¹ při stejnoměrném až míjivém zatížení		
17 až 25	nejpříznivější počty zubů		

Dle doporučených hodnot počtu zubů hnacího kola volím tyto následující počty zubů. Počet zubů hnaného kola volím dle desky otočného stolu, konkrétně maximální počet zubů, který jsme na vnější průměr otočného stolu schopni vyrobit.

Zvolené počty zubů

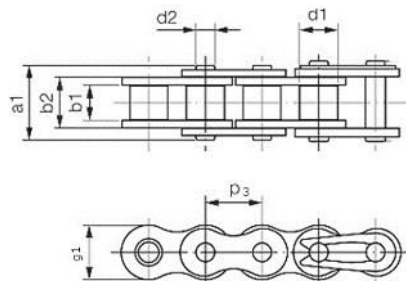
$$z_1 = 28 \quad \text{počet zubů hnacího kola}$$

$$z_2 = 265 \quad \text{počet zubů hnaného kola}$$

Zvolený typ řetězu

Válečkový řetěz standardní 1řadý DIN 8187 Označení: 12 B-1.

Materiál: zušlechtěná ocel



Obr. 117: Parametry řetězu [33]

V Tab. 9 jsou uvedeny výsledky výpočtů

Tab. 9: Výsledky výpočtů

		Hnací kolo	Hnané kolo
d_s	mm	170,14	1606,95
d_f	mm	157,95	1594,76
$r_{i \min}$	mm	6,1	6,1
$r_{e \min}$	mm	43,45	386,72
α_{\max}	°	136,79	139,66
$r_{i \max}$	mm	6,25	6,25
$r_{e \max}$	mm	93,08	6798,31
α_{\min}	°	116,79	119,66
d_1	mm		
d_3	mm		
$d_{a \min}$	mm	176,18	1612,98
$d_{a \max}$	mm	181,89	1618,69
d_g	mm	143,47	1580,28
f	mm	13,34	13,34
p_t	mm	-	
r_x	mm	18,11	18,11
b_a	mm	1,21	1,21
b_1	mm	11,68	11,68
b_{f1}	mm	11,1	11,1

NÁZEV PARAMETRU	Zn	VZOREC PRO VÝPOČET
průměr roztečné kružnice	d	$d = \frac{p}{\sin \frac{180^\circ}{z}}$
průměr patní kružnice	d_f	$d_f = d - 2r_f$
Pro mezeru s nejmenší šířkou		
1. Poloměr dna zubní mezery	$r_{i \min}$	$r_{i \min} = 0,505 \cdot d_f \cdot (d_s)$
2. Poloměr boku zubů	$r_{e \min}$	$r_{e \min} = 0,12 \cdot d_f \cdot (d_s) \cdot (z+2)$
3. Úhel otevíření	α_{\max}	$\alpha_{\max} = 140^\circ - \frac{90^\circ}{z}$
Pro mezeru s největší šířkou		
1. Poloměr dna zubní mezery	$r_{i \max}$	$r_{i \max} = 0,505 \cdot d_f \cdot (d_s) + 0,069 \sqrt[3]{d_f \cdot (d_s)}$
2. Poloměr boku zubů	$r_{e \max}$	$r_{e \max} = 0,008 \cdot d_f \cdot (d_s) \cdot (z^2+180)$
3. Úhel otevíření	α_{\min}	$\alpha_{\min} = 120^\circ - \frac{90^\circ}{z}$
průměr válečku	d_t	
průměr pouzdra	d_s	
průměr hlavové kružnice	d_h	$d_{h \min} = d + 0,5 \cdot d_f \cdot (d_s)$ $d_{h \max} = d + 1,25 \cdot p - d_f \cdot (d_s)$

Obr. 119: Vzorce pro výpočet řetězu [40]

NÁZEV PARAMETRU	Zn	VZOREC PRO VÝPOČET	
největší průměr věnce	d_g	$d_g = d - 2f$	
rozdíl poloměru rozteč. kružnice a věnce	f	$f = 0,7p$ pro řetězy normální $f = 0,4p$ pro řetězy s dlouhou roztečí	
vzdálenost mezi řadami u víceřadého řetězu	p_t	podle údajů tabulek katalogu	
poloměr zaoblení zubu	r_x	$r_x = 1,5 \cdot d_f \cdot (d_s)$	
hodnota zaoblení zubu	b_a	$b_a = (0,1 \div 0,15) \cdot d_f \cdot (d_s)$	
vnitřní šířka řetězu	b_1	podle údajů tabulek katalogu	
šířka zubu řetězového kola		rozteč řetězu	
		$p \leq 12,7$	$p > 12,7$
jednořadého	b_{11}	0,93 b_a	0,95 b_a
dvouřadého		0,91 b_a	0,93 b_a
třířadého		0,88 b_a	0,93 b_a
šířka věnce řetězového kola			
dvouřadého	b_{2D}	0,91 $b_a + p$	0,93 $b_a + p$
třířadého	b_{3D}	0,91 $b_a + 2p$	0,93 $b_a + 2p$

Obr. 118: Vzorce pro výpočet řetězového kola [40]

Vstupní parametry pro výpočet:

$a_{os} = 1\,000\text{ mm}$	(předběžná) osová vzdálenost řetězových kol
$v_{os} = 0,65\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	obvodová rychlost řetězu
$p_3 = 19,050\text{ mm}$	rozteč článků řetězu
$b_1 = 11,68\text{ mm}$	vnitřní šířka
$d_1 = 12,07\text{ mm}$	průměr válečku
$d_2 = 5,72\text{ mm}$	průměr čepu
$g_1 = 16,13\text{ mm}$	rozměr řetězu
$a_1 = 22,7\text{ mm}$	rozměr řetězu
$Q = 0,91\text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$	hmotnost 1 m řetězu
$Y = 1,8$	součinitel rázů
$F_b = 32\,300\text{ N}$	zatížení odpovídající mezi pevnosti řetězu
$I_1 = 0,97$	součinitel tření
$I_2 = 0,6$	součinitel mazání
$p_m = 24\text{ MPa}$	měrný tlak v kloubu řetězu
$F_k = 0,83\text{ N}$	koeficient F_k
$N = 0,55\text{ kW}$	přenášený výkon
$F_{předep} = 323\text{ N}$	předepínací síla

Součinitel C

$$C = \left(\frac{z_2 - z_1}{2 \cdot \pi}\right)^2 = \left(\frac{265 - 28}{2 \cdot \pi}\right)^2 = 1\,422,78 \quad (33)$$

Počet článků řetězu

$$x = 2 \cdot \frac{a_{os}}{p_3} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{C \cdot p_3}{a_{os}} \quad (34)$$

$$x = 2 \cdot \frac{1\,000}{19,05} + \frac{265 + 28}{2} + \frac{1\,422,78 \cdot 19,05}{1\,000} \quad (35)$$

$$x = 278,6 \rightarrow 279 \quad (36)$$

Skutečná osová vzdálenost řetězových kol

$$a_{os} = \frac{p_3}{8} \cdot \left[2 \cdot x - z_1 - z_2 + \sqrt{(2 \cdot x - z_1 - z_2)^2 - F_k \cdot (z_2 - z_1)^2}\right] \quad (37)$$

$$a_{os} = \frac{19,05}{8} \cdot \left[2 \cdot 279 - 265 - 28 + \sqrt{(2 \cdot 279 - 265 - 28)^2 - 0,83 \cdot (265 - 28)^2}\right] \quad (38)$$

$$a_{os} = 996,9\text{ mm} \quad (39)$$

Tažná síla

$$F_{pt} = \frac{1000 \cdot N}{v_{os}} = \frac{1000 \cdot 0,55}{0,65} = 846,15\text{ N} \quad (40)$$

Odstředivá síla na řetězovém kole

$$G = Q \cdot v_{os}^2 = 0,91 \cdot 0,65^2 = 0,38 \text{ N} \quad (41)$$

Stanovení síly celkového zatížení řetězu

$$F_C = F_{pt} + G + F_{předep} \quad (42)$$

$$F_C = 846,15 + 0,38 + 323 = 1\,169,53 \text{ N} \quad (43)$$

Stanovení statického bezpečnostního koeficientu

$$\gamma_{stat} = \frac{F_b}{F_C} \geq 7 \quad (44)$$

$$\gamma_{stat} = \frac{32\,300}{1\,169,53} = 27,6 \geq 7 \quad (45)$$

Stanovení dynamického bezpečnostního koeficientu

$$\gamma_{dyn} = \frac{F_b}{F_C \cdot Y} \geq 5 \quad (46)$$

$$\gamma_{dyn} = \frac{32\,300}{1\,169,53 \cdot 1,8} \geq 5 \quad (47)$$

$$\gamma_{dyn} = 15,34 \geq 5 \quad (48)$$

Stanovení dovoleného tlaku v kloubech řetězu

$$p_{DOV} = p_m \cdot I_1 \cdot I_2 = 24 \cdot 0,97 \cdot 0,6 = 13,97 \text{ MPa} \quad (49)$$

Stanovení výpočtového tlaku

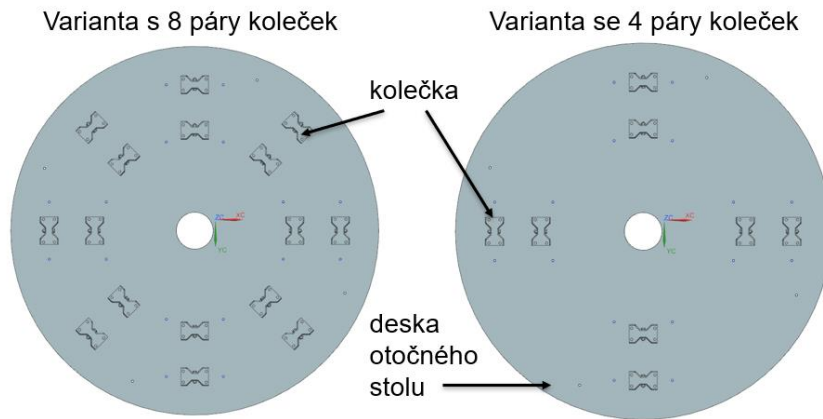
$$p_v = \frac{F_C}{d_1 \cdot b_1} = \frac{1\,169,53}{12,07 \cdot 11,68} = 8,30 \text{ MPa} \quad (50)$$

$$p_v \leq p_{DOV} \quad (51)$$

$$8,30 \leq 13,97 \quad (52)$$

Volím válečkový řetěz standardní 1řady DIN 8187 s 289 články. Počet článků je vyšší než vypočtená hodnota. Kvůli riziku „svlečení“ řetězu musíme tento převod vybavit napínacím řetězovým kolem, které bude v odlehčené větvi. Při použití napínacího kola bude mít řetěz o 10 článků víc. Řetěz je pro pohon otočného stolu vhodný a vyhovuje pro přenášený výkon.

Volba počtu podpěr a materiálu desky stolu



Obr. 120: Volba počtu podpěr desky stolu

Deska otočného stolu nesoucí palety se pohybuje okolo své osy a je podepřena kolečky (které jsou otočné) pro zaručení otáčení stolu. Nejdříve jsem zvažoval variantu pouze se 4 páry koleček po 90 stupních, po nichž se bude otáčet deska stolu. Při otáčení by ale pravděpodobně došlo k „vysvléknutí řetězu“. Proto jsem musel přidat ještě další 4 páry pro stabilnější otáčení desky otočného stolu. Jako materiál desky stolu volím hliník. Ocelová deska by byla 3x těžší a průhyb na konci hliníkové desky je dostačující pro „nevysvléknutí“ řetězu. Riziková se u varianty se 4 páry koleček jeví fáze, kdy se paleta pohybuje mezi páry koleček, a tudíž zde vzniká největší průhyb.

$$v_{\text{ř}} = 0,68 \text{ mm}$$

vůle řetězu mezi řetězovým kolem a řetězem

$$u = 0,29 \text{ mm}$$

maximální deformace konce desky stolu

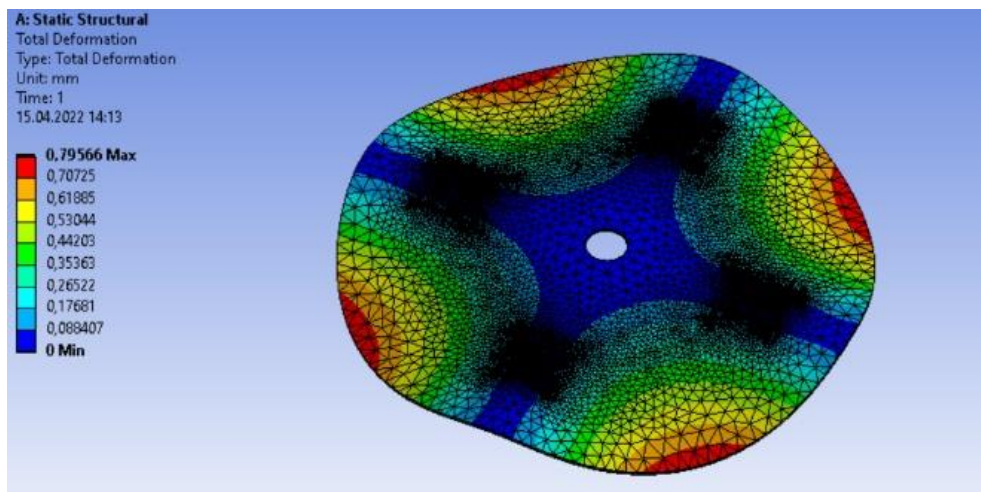
$$v_{\text{ř}} \geq 2 \cdot u \quad (53)$$

$$0,68 \geq 2 \cdot 0,29 \quad (54)$$

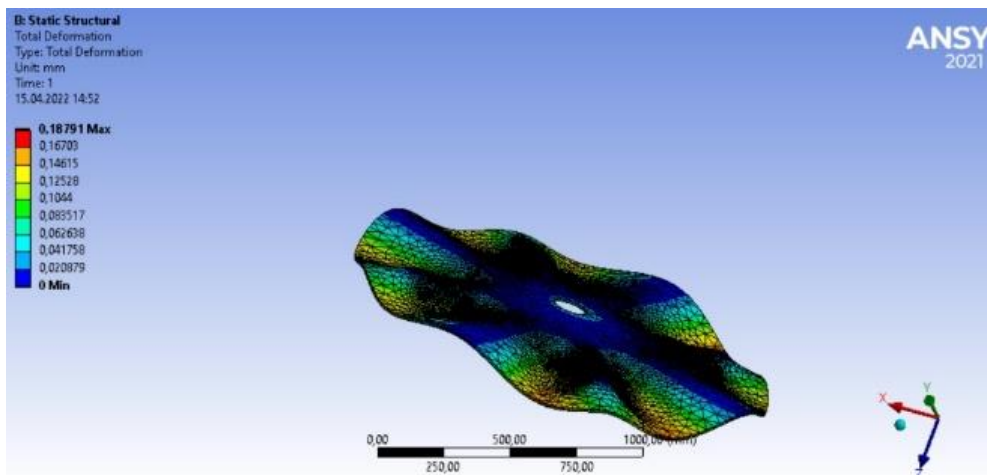
$$0,68 \geq 0,58 \quad (55)$$

Hodnota parametru VYHOVUJE

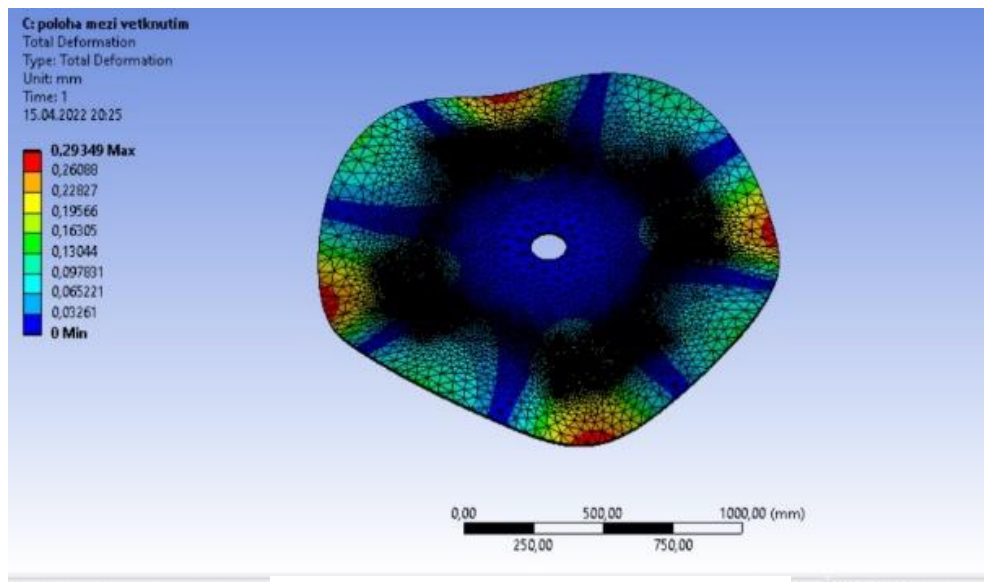
Ze simulací vychází, že je potřeba desku stolu uložit na 8 párů koleček. Deska stolu může být hliníková. Deformace hliníkové desky jsou v normě. Vůle mezi řetězem a řetězovým kolem umožňuje deformace otočného stolu, ke kterým jsem došel v rámci výpočtu MKP.



Obr. 121: Deska stolu se 4 páry koleček



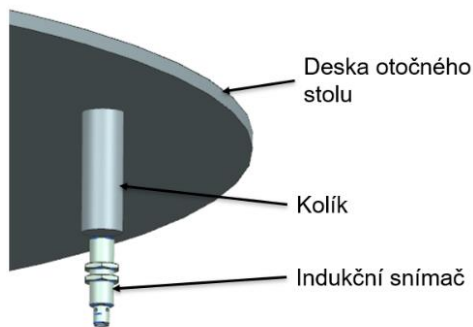
Obr. 122: Deska stolu s 8 páry koleček



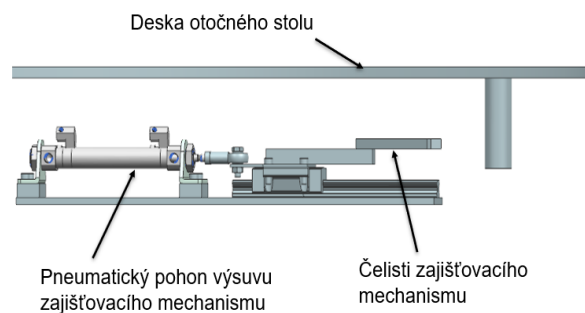
Obr. 123: Deska stolu s 8 páry koleček, v poloze břemene, které se nachází mezi dvěma polohami koleček

5.8.8 Polohování otočného stolu

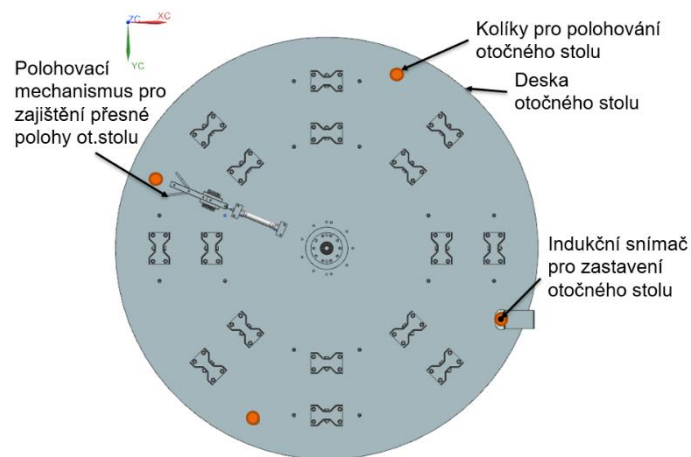
Polohování otočného stolu je zajištěno systémem kolíků, indukčních snímačů polohy a mechanismu. Ten zajišťuje a aretuje polohu palety ve správném místě pro její transport do obráběcího stroje. Deska otočného stolu disponuje 4 kolíky, které jsou upevněné zespodu. Při otáčení stolu jsou tyto kolíky zdrojem sepnutí indukčních snímačů. Kolík slouží při kontaktu s indukčním snímačem pro okamžité zastavení stolu (koncový snímač) s následným přitlačení kolíku polohovacím mechanismem. V tomto stavu je provedeno otočení otočného stolu s následnou možností funkce dalšího transportu palety s obrobkem.



Obr. 124: Kolík s indukčním snímačem



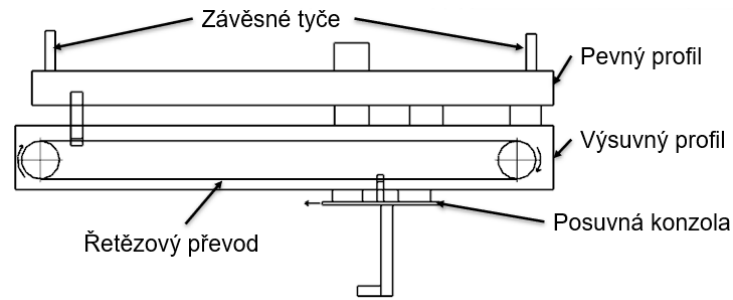
Obr. 125: Zajišťovací mechanismus



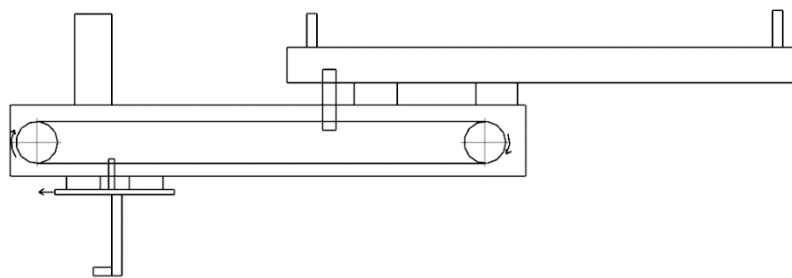
Obr. 126: Polohy prvků na otočném stole

5.9 Návrh teleskopického manipulátoru

Srdcem AVO je teleskopický manipulátor, který zajišťuje výměnu palet s obrobky z otočného

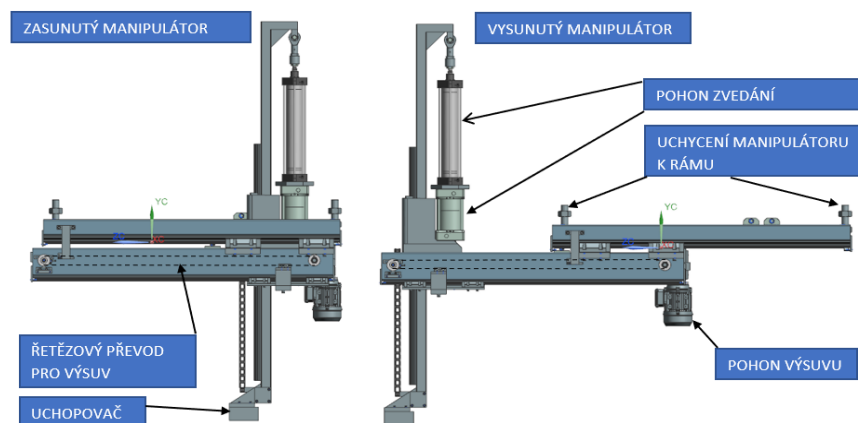


Obr. 127: Schéma teleskopického manipulátoru



Obr. 128: Vysunutý teleskopický manipulátor

stolu do obráběcího stroje. Manipulátor je celek, který je zavěšen do rámu stroje pomocí 4 závěsných tyčí, kterými jsme schopni ho výškově regulovat. Pevná nepohyblivá část manipulátoru je profil 80 x 80 x 10 mm na němž se nachází lineární vedení HGR 45R s lineárními vozíky HGW 45C. Po tomto vedení se vysouvá svařenec složený z profilů 140 x 80 x 10 mm. V tomto výsuvném profilu je umístěn pohon výsuvu. Po výsuvném svařenci se pohybuje konzola se zvedacím zařízením. Konzola se pohybuje po vedení HGR 25R s valivými hnízdy HGW 25C. Výsuv konzoly je spojen s výsuvem výsuvného svařence přes řetězový převod. Konzola je s řetězem spojena přes unašeč a řetěz je napevno spojen s nepohyblivými horními profily. Pohon zajišťuje asynchronní motor spojený se šnekovou převodovkou. Hnací řetězové kolo je poháněno průchozí hřídelí, která zajišťuje symetrický výsuv manipulátoru. Řetězový převod se nachází na obou stranách manipulátoru.



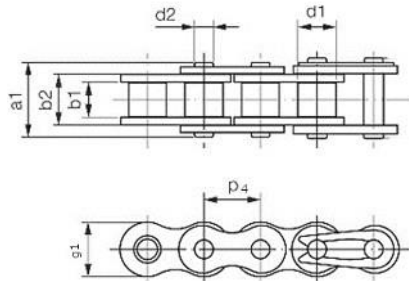
Obr. 129: Polohy teleskopického manipulátoru

5.9.1 Návrh řetězového převodu

Výpočty řetězového převodu provedeny dle katalogu Řetězy Vam [40].

Zvolený typ řetězu

Válečkový řetěz standardní 1řady DIN 8187 Označení: 10 B-1. Materiál: zušlechťená ocel



Obr. 130: Parametry řetězu [33]

Zvolené počty zubů.

$$z_{1M} = 10$$

počet zubů hnacího kola manipulátoru

$$z_{2M} = 10$$

počet zubů hnaného kola manipulátoru

Výpočty provádím dle vzorců uvedených na Obr. 124 a Obr. 125.

Tab. 10: Tabulka s vypočtenými hodnotami

		Hnací kolo	Hnané kolo
d	mm	51,4	51,4
d_f	mm	41,1	41,1
$r_{i \min}$	mm	5,1	5,1
$r_{e \min}$	mm	14,6	14,6
α_{\max}	°	131,0	131,0
$r_{i \max}$	mm	5,3	5,3
$r_{e \max}$	mm	22,8	0,0
α_{\min}	°	111,0	111,0
d_1	mm	10,16	10,16
d_3	mm		
$d_{a \min}$	mm	56,5	56,5
$d_{a \max}$	mm	61,1	61,1
d_g	mm	29,1	29,1
f	mm	11,1	11,1
p_t	mm	-	
r_x	mm	15,2	15,2
b_a	mm	0,0	0,0
b_1	mm	0,0	0,0
b_{f1}	mm	9,2	9,2

Vstupní parametry pro výpočet:

$a_{om} = 1\,320\text{ mm}$	předběžná osová vzdálenost
$v_{om} = 0,7\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	obvodová rychlost řetězu
$p_4 = 15,875\text{ mm}$	rozteč článků řetězu
$b_1 = 9,65\text{ mm}$	vnitřní šířka
$d_1 = 10,16\text{ mm}$	průměr válečku řetězu
$d_2 = 5,08\text{ mm}$	průměr čepu řetězu
$g_1 = 14,73\text{ mm}$	rozměr řetězu
$a_1 = 19,6\text{ mm}$	rozměr řetězu
$F_b = 27\,400\text{ N}$	pevnost při přetržení
$Q = 0,91\text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$	hmotnost 1 m řetězu
$Y = 1,8$	součinitel rázů
$I_1 = 0,75$	součinitel tření
$I_2 = 0,6$	součinitel mazání
$p_m = 25\text{ MPa}$	měrný tlak v kloubu řetězu
$N = 0,37\text{ kW}$	přenášený výkon
$F_{předep} = 274\text{ N}$	předepínací síla
$F_k = 0\text{ N}$	koeficient F_k

Součinitel C

$$C = \left(\frac{z_{2M} - z_{1M}}{2 \cdot \pi} \right)^2 = \left(\frac{10 - 10}{2 \cdot \pi} \right)^2 = 0 \quad (56)$$

Počet článků řetězu

$$x = 2 \cdot \frac{a_{om}}{p_m} + \frac{z_{1M} + z_{2M}}{2} + \frac{C \cdot p_m}{a_{om}} \quad (57)$$

$$x = 2 \cdot \frac{1320}{15,875} + \frac{10 + 10}{2} + \frac{0 \cdot 15,875}{1320} \quad (58)$$

$$x = 176,3 \rightarrow 177 \quad (59)$$

Vzdálenost os řetězových kol

$$a_{om} = \frac{p}{8} \cdot \left[2 \cdot x - z_{1M} - z_{2M} + \sqrt{(2 \cdot x - z_{1M} - z_{2M})^2 - F_k \cdot (z_{2M} - z_{1M})^2} \right] \quad (60)$$

$$a_{om} = \frac{15,875}{8} \cdot \left[2 \cdot 177 - 10 - 10 + \sqrt{(2 \cdot 177 - 10 - 10)^2 - 0 \cdot (10 - 10)^2} \right] \quad (61)$$

$$a_{om} = 1\,325,56\text{ mm} \quad (62)$$

Tažná síla na řetězovém kole

$$F_{pt} = \frac{1000 \cdot N}{v_{om}} = \frac{1000 \cdot 0,185}{0,6} = 264,29 \text{ N} \quad (63)$$

Odstředivá síla na řetězovém kole

$$G = Q \cdot v_{om}^2 = 0,91 \cdot 0,6^2 = 0,33 \text{ N} \quad (64)$$

Stanovení celkového zatížení řetězu

$$F_c = F_{pt} + G + F_{předep} \quad (65)$$

$$F_c = 264,29 + 0,33 + 274 = 538,62 \text{ N} \quad (66)$$

Stanovení statického bezpečnostního koeficientu

$$\gamma_{stat} = \frac{F_b}{F_c} \geq 7 \quad (67)$$

$$\gamma_{stat} = \frac{27\,400}{538,62} \geq 7 \quad (68)$$

$$\gamma_{stat} = 50,87 \geq 7 \quad (69)$$

Stanovení dynamického bezpečnostního koeficientu

$$\gamma_{dyn} = \frac{F_b}{F_c \cdot Y} \geq 5 \quad (70)$$

$$\gamma_{dyn} = \frac{27\,400}{538,62 \cdot 1,8} \geq 5 \quad (71)$$

$$\gamma_{dyn} = 28,26 \geq 5 \quad (72)$$

Stanovení dovoleného tlaku v kloubech řetězu

$$p_{DOV} = p_m \cdot I_1 \cdot I_2 = 25 \cdot 0,75 \cdot 0,6 = 11,25 \text{ MPa} \quad (73)$$

Stanovení výpočtového tlaku

$$p_v = \frac{F_c}{d_1 \cdot b_1} = \frac{538,62}{10,16 \cdot 9,65} = 5,94 \text{ MPa} \quad (74)$$

$$p_v \leq p_{DOV} \quad (75)$$

$$5,49 \leq 11,25 \quad (76)$$

Hodnoty parametrů VYHOVUJÍ

Posuvová síla

Vstupní parametry pro výpočet:

$m_{vč} = 650 \text{ kg}$	hmotnost výsuvných částí
$f = 0,003$	kuličkové vedení
$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	gravitační zrychlení
$a_{vm} = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	zrychlení pohybu výsuvu
$\eta = 0,94$	Účinnost převodu
$d_M = 0,051 \text{ m}$	průměr řetězového kola
$k = 4$	bezpečnostní koeficient

Výpočet posuvné síly

$$F_p = \frac{m_{vč} \cdot g \cdot f}{\eta} + \frac{m_{vč} \cdot a_{vm}}{\eta} = \frac{650 \cdot 9,81 \cdot 0,003}{0,94} + \frac{650 \cdot 2}{0,94} = 1403,33 \text{ N} \quad (77)$$

Kroutící moment

$$M_{k3} = F_p \cdot \frac{d_M}{2} = 1403,33 \cdot \frac{0,051}{2} = 35,78 \text{ Nm} \quad (78)$$

Žádaný konstrukční kroutící moment

$$M_z = k \cdot M_{k3} = 4 \cdot 35,78 = 143,14 \text{ Nm} \quad (79)$$

Maximální rychlost pastorku

Vstupní parametry pro výpočet:

$n_p = 6\,000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$	otáčky pastorku
$v_p = 0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	obvodová rychlost pastorku
$i_{př2} = 20$	převodový poměr převodovky
$v_{po} = 20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$	rychlost posuvu

Vstupní otáčky

$$n_{max} = \frac{v_p \cdot 19\,100}{d_M} = \frac{0,7 \cdot 19100}{51} = 262,16 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1} \quad (80)$$

$$n_1 = n_{max} \cdot i_{př2} = 262,16 \cdot 20 = 5\,243,2 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1} \quad (81)$$

Vstupní moment

$$M_{kv} = \frac{M_z}{i_{př2}} = \frac{143,14}{20} = 7,16 \text{ Nm} \quad (82)$$

Úhlové zrychlení pastorku

$$\omega_p = \frac{2 \cdot a_v}{d_M} = \frac{2 \cdot 2}{0,051} = 78,43 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (83)$$

Úhlové zrychlení motoru

$$\omega_m = i_{př2} \cdot \omega_p = 20 \cdot 78,43 = 1\,568,6 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (84)$$

Otáčky

$$n_2 = \frac{v_{po}}{\pi \cdot d_M} = \frac{20}{\pi \cdot 0,051} = 124,83 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1} \quad (85)$$

Ideální převodový poměr

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{2\,780}{124,83} = 22,27 \rightarrow 20 \quad (86)$$

Statický moment motoru

$$M_{k4} = \frac{m_{vč} \cdot g \cdot f \cdot \frac{d_M}{2}}{\eta \cdot i} = \frac{650 \cdot 9,81 \cdot 0,003 \cdot \frac{0,051}{2}}{0,94 \cdot 20} = 0,025 \text{ Nm} \quad (87)$$

Redukovaný moment setrvačnosti

Vstupní parametry pro výpočet:

$J_p = 0,000\ 047\ kg \cdot m^2$	moment setrvačnosti převodovky
$J_{ph} = 0,211\ kg \cdot m^2$	moment setrvačnosti posuvových hmot
$J_m = 0,000\ 136\ kg \cdot m^2$	moment setrvačnosti motoru
$J_{ř1} = 0,000\ 095\ kg \cdot m^2$	moment setrvačnosti řetězového kola č. 1
$J_{ř2} = 0,000\ 092\ kg \cdot m^2$	moment setrvačnosti řetězového kola č. 2
$J_h = 0,000\ 132\ kg \cdot m^2$	moment setrvačnosti hřídele
$J_{dist} = 0,000\ 066\ kg \cdot m^2$	moment setrvačnosti distanční trubky na hřídeli

Redukovaný moment setrvačnosti

$$J_{red} = J_m + J_p + \frac{J_{ph} + J_{pa} + 2 \cdot J_{ř1} + 2 \cdot J_{ř2} + J_{hříd} + J_{dist}}{i^2} \quad (88)$$

$$J_{red} = 0,000\ 136 + 0,000\ 047 + \frac{0,211 + 0,000\ 273 + 2 \cdot 0,000\ 095 + 2 \cdot 0,000\ 092 + 0,000\ 132 + 0,000\ 066}{20^2} \quad (89)$$

$$J_{red} = 0,000\ 71\ kg \cdot m^2 \quad (90)$$

Celkový potřebný moment motoru

$$M_{kc} = \frac{J_{red} \cdot \omega_m}{\eta} + M_{k4} = \frac{0,000\ 71 \cdot 1\ 568,6}{0,94} + 0,025 = 1,21\ Nm \quad (91)$$

Výkon potřebný

$$P = \frac{M_{kc} \cdot n}{9\ 550} = \frac{1,21 \cdot 2\ 780}{9\ 550} = 0,35\ kW \quad (92)$$

Volení motor

Asynchronní motor volím 2polový RAVEO RMY7112 s parametry

$$P = 0,37\ kW, M_k = 1,27\ Nm, n = 2\ 780\ ot \cdot min^{-1}$$

Převodovku jsem zvolil šnekovou od firmy Transtecno CM063 s převodovým poměrem $i = 20$.

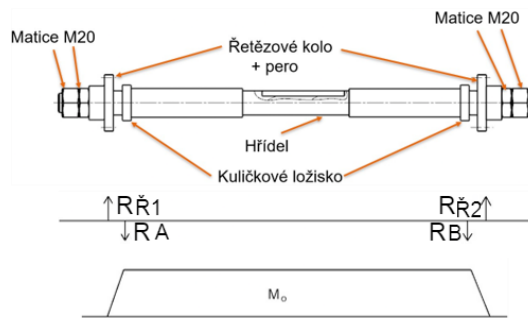


Obr. 131: Volený motor [36]



Obr. 132: Převodovka Transtecno CM063, $i = 20$ [36]

5.9.2 Návrh hnací hřídele



Obr. 133: Hnací hřídel

Propojení šnekové převodovky s přenosem kroutícího momentu na řetězové kola probíhá přes průchozí hřídel. Hřídel je uchycena ve dvou kuličkových ložiskách SKF 61904 - 2RS. Na obou koncích jsou řetězová kola, která jsou s hřídelí spojena pomocí těsných per a zajištěny maticemi. Šneková převodovka je s hřídelí spojena přes těsné pero.

Vstupní hodnoty výpočtů:

$M_{k5} = 1,27 \text{ Nm}$	moment motoru
$i_{př2} = 20$	převodový poměr převodovky
$J_{dist} = 0,000\ 066 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$	moment setrvačnosti distanční trubky na hřídeli
$R_{Ř1} = 616,66 \text{ N}$	radiální síla v řetězovém kole 1
$R_{Ř2} = 616,66 \text{ N}$	radiální síla v řetězovém kole 2
$R_A = 616,66 \text{ N}$	radiální síla v kul. ložisku 1
$R_B = 616,66 \text{ N}$	radiální síla v kul. ložisku 1
$M_{omax} = 20,66 \text{ Nm}$	maximální ohybové napětí
$\alpha_B = 0,8$	Bachův opravný součinitel

Kroutící moment hřídele

$$M_{k6} = i_{př2} \cdot M_{k5} = 20 \cdot 1,27 = 25,4 \text{ Nm} \quad (93)$$

Redukovaný ohybový moment

$$\begin{aligned} M_{o\ RED} &= \sqrt{M_{omax}^2 + 0,75 \cdot (\alpha_B \cdot M_{k6})^2} \\ &= \sqrt{20,66^2 + 0,75 \cdot (0,8 \cdot 25,4)^2} = 27,14 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (94)$$

Minimální průměr hřídele

$$d_4 = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{o\ RED}}{\pi \cdot \sigma_{oDOV}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 27,14}{\pi \cdot 105 \cdot 10^6}} = 0,013\ 8 \text{ m} \quad (95)$$

Vypočtený minimální průměr hřídele je menší než průchozí otvor šnekové převodovky pro spojení s hřídelí a proto vyhovuje. Minimální průměr hřídele je 20 mm.

5.9.3 Kontrolní spojení hnací hřídele s řetězovým kolem pomocí per

Pro spojení řetězového kola s hnací hřídelí volím těsné PERO 8 x 7 x 20 ČSN 02 2562

Vstupní hodnoty výpočtů:

$M_{k7} = 12,7 \text{ Nm}$	kroučící moment hnací hřídele manipulátoru
$l_p = 20 \text{ mm}$	délka těsného pera
$t_n = 4,1 \text{ mm}$	hloubka drážky v náboji
$d_5 = 0,020 \text{ m}$	průměr hřídele
$p_{DOV} = 120 \text{ MPa}$	dovolené napětí v otlacení

Z dovoleného otlacení kontroluji délku těsného pera

$$p = \frac{2 \cdot M_{k7}}{t_n \cdot l_p \cdot d_5} \leq p_{DOV} \quad (96)$$

$$l \geq \frac{2 \cdot M_{k7}}{t_n \cdot p_{DOV} \cdot d_5} \geq \frac{2 \cdot 12,7}{0,0041 \cdot 120 \cdot 10^6 \cdot 0,020} \geq 0,00258 \text{ m} \quad (97)$$

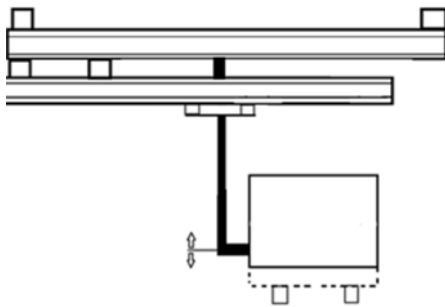
Spojení hřídele s řetězovým kolem pomocí těsného pera VYHOVUJE

5.9.4 Návrh zvedání obrobku

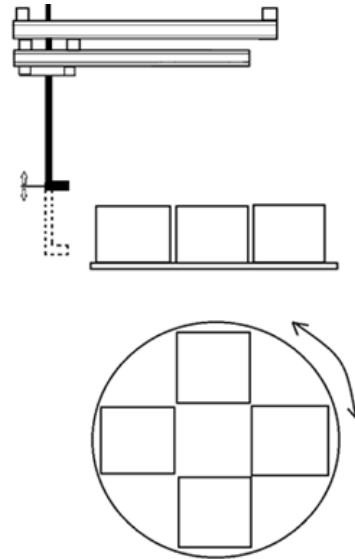
Při návrhu pohonu zvedání je potřeba se uvědomit, že manipulátor nabírá paletu z kraje otočného stolu (viz. Obr 85). Zvedací mechanismus tedy musí umožnit dosažení 2 poloh. První poloha je při zvednutí palety z otočného stolu do výšky 100 mm nad pouzdra středících čepů palety. V této vertikální poloze dojde k přenesení palety do stroje. Druhá poloha je důležité dosáhnout pro protočení otočného stolu. Uchopovač v dolní poloze brání při protočení palet, tudíž je nezbytné jeho vyjetí nad palety s obrobky. Toho dosáhneme protiběžným výsuvem obou pístů. Zvedací mechanismus tedy bude tvořen dvěma pneumatickými písty. Další variantou, kterou jsem zvažoval byl jeden pneumatický píst s možností zastavení pomocí brzdy v definované poloze (konkrétně se jednalo o písty od značky SMC řady CNS). Od tohoto řešení jsem ale upustil, jelikož se mi varianta s dvěma písty zdála z pohledu dosažení koncových poloh spolehlivější. Dosažení polohy u vhodnější varianty nastane výsuvem pneumatického válce nadoraz. Písty jsou spojeny přes desku pomocí šroubů.

Pneumatický válec pro zdvih palety s obrobkem

Pro zvednutí obrobku s paletou z otočného stolu je potřeba dimenzovat pneumatický válec, který zvedne paletu o 100 mm a dále ji teleskopický manipulátor založí do obráběcího stroje a usadí na středící čepy.



Obr. 134: Znárodnění pneumatického válce pro zdvih břemene



Obr. 135: Pneumatický válec pro zdvih bez břemene

Vstupní parametry pro výpočet:

$m_1 = 500 \text{ kg}$	celková hmotnost vertikálně výsuvných částí s paletou a obrobkem
$m_2 = 100 \text{ kg}$	celková hmotnost vertikálně výsuvných částí bez palety s obrobkem
$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	gravitační zrychlení
$a_v = 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	zrychlení válce

Potřebná síla pneumatického válce

$$F = m_1 \cdot (g + a_v) = 500 \cdot (9,81 + 0,3) = 5\,055 \text{ N} \quad (98)$$

Dle katalogu Parker [26] použijte pneumatický válec s velikostí síly rovnou minimálně 1,5násobku vypočítané hodnoty.

Potřebná teoretická síla

$$F_p = 1,5 \cdot F = 1,5 \cdot 5\,055 = 7\,582,5 \text{ N} \quad (99)$$

Pro svůj návrh volím pneumatický válec Parker P1D-T125FS-0100 dle ISO 15552 s pracovním tlakem 7 bar a teoretickou silou 8 027 N (Průměr pístu 125 mm, průměr pístnice 32 mm).

Pneumatický válec pro zdvih bez palety s obrobkem

Pro protočení otočného stolu je třeba zvednout uchopovač nad obrobky na otočném stole. Pro tento účel navrhuji pneumatický píst. Pro zvednutí by byl možný pneumatický válec s menšími silami a rozměry (průměr pístu, průměr pístnice). Tento píst však musí přenést zatížení od zvedání s plně naloženou paletou, tudíž musíme válec zvolit tak, aby nedošlo ke vzpěru.

Potřebná síla válce

$$F = m_2 \cdot (g + a_v) = 100 \cdot (9,81 + 0,3) = 1\,011 \text{ N} \quad (100)$$

Dle katalogu Parker [26] použijte pneumatický válec s velikostí síly rovnou minimálně 1,5násobku vypočítané hodnoty.

Potřebná teoretická síla

$$F_p = 1,5 \cdot F = 1,5 \cdot 1\,011 = 1\,516,5 \text{ N} \quad (101)$$

Pro svůj návrh volím pneumatický válec Parker P1D-T080MS-0400 dle ISO15552 s pracovním tlakem 7 bar a teoretickou silou 2 721 N (průměr pístu 80 mm, průměr pístnice 25 mm).

Kontrola pneumatického válce na vzpěr

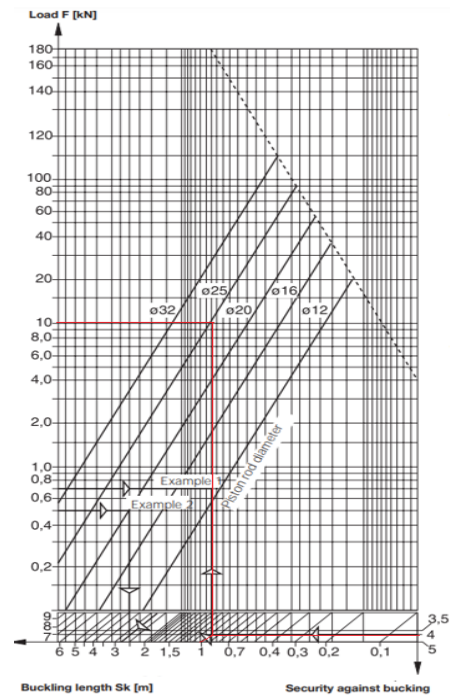
Nejslabším místem sestavy dvou válců je píst s menším průměrem pístnice, což je píst 80/25 mm. Pro výpočet vzpěru je nejdříve potřeba určit vzdálenost SK (vzpěrnou délku), kterou určíme dle obrázku níže.

Buckling Possibilities of Piston Rods



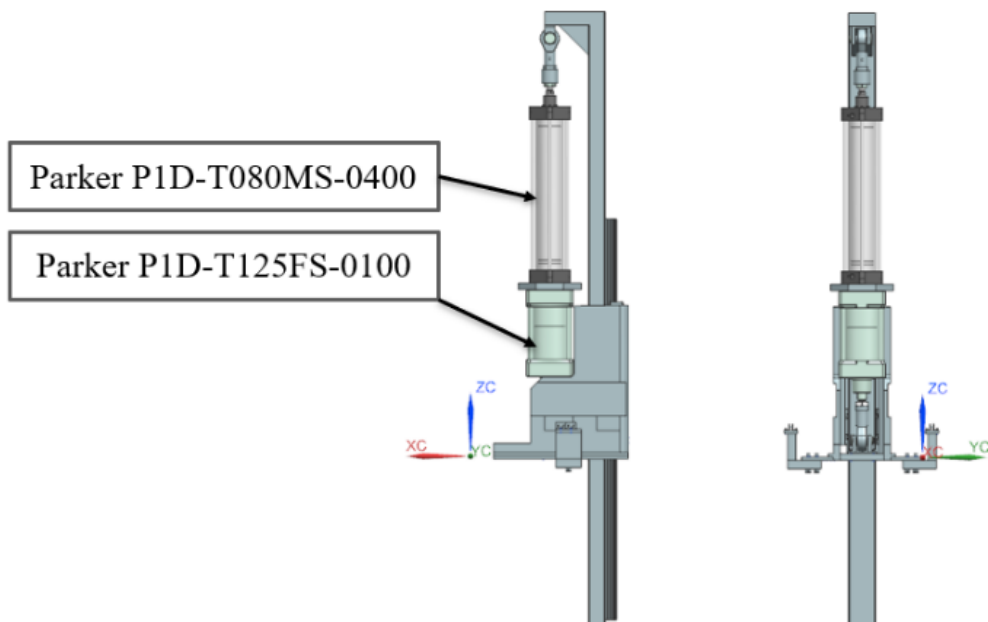
Obr. 136: Vzpěrná délka [26]

Graf na Obr. 137 vyjadřuje vztah vzpěrné délky (Buckling length), bezpečnosti proti vzpěru (Security against buckling) a zatížení (Load F). Píst 125/32 mm proti vzpěru není třeba kontrolovat, protože průměr pístnice 32 mm je dostačující. Graf má na levé vertikální stupnici vynesené dovolené zatížení pístnice. Vpravo na vertikální stupnici jsou obsaženy bezpečnosti proti vzpěru. Na horizontální stupnici se nachází vzpěrné délky určené dle katalogu Parker [26]. Šikmé čáry nám vyjadřují průměry pístnic. Kontrolu pístu začínám od bezpečnosti proti vzpěru protnutím námi určené vzpěrné délky. Následně se vertikálně posunu ke zvolenému průměru pístnice. Hodnota zatížení, která je ve stejné úrovni jako již zmíněný průsečík, nám uvádí dovolené zatížení pístnice. SK pístu 80/25 mm je 1 014 mm a bezpečnost proti vzpěru volím 4 [26]. Z grafu jsem určil minimální průměr pístnice 25 mm, průměr 20 mm by byl hraniční při zvedání palety s obrobkem o 400 kg. Kontrolovaný píst VYHOVUJE



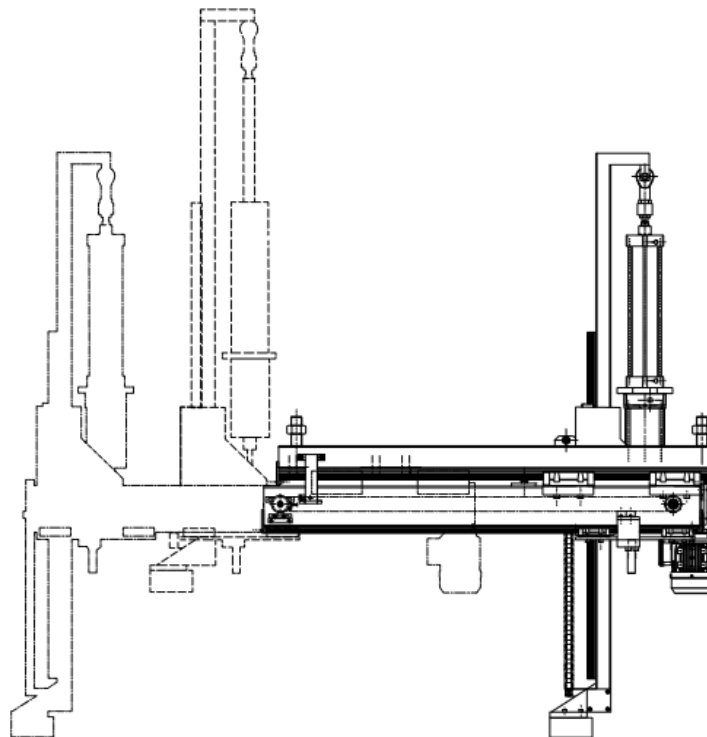
Obr. 137: Graf pro kontrolu pneumatického pístu na vzpěr [26]

Konzola s pneumatickými písty a manipulátor



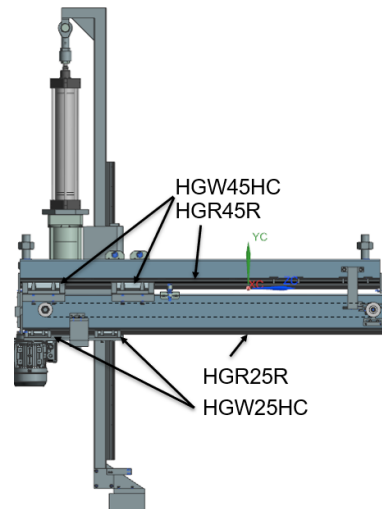
Obr. 138: Zvolené písty v posuvné konzole

Pneumatické písty jsou k sobě připojeny přes připojovací desku. Výsuv pístů probíhá protiběžně. Píst je spojen s vertikálně výsuvným ramenem manipulátoru přes čep a sférické oko. Dolní píst je spojen s konzolou také přes čep a sférické oko. Oba pneumatické písty jsou osazeny snímači polohy pístů v koncových polohách od firmy Balluff, které jsou připevněny na táhla pneumatického válce.



Obr. 139: Znázornění výsuvu a poloh pneumatických válců

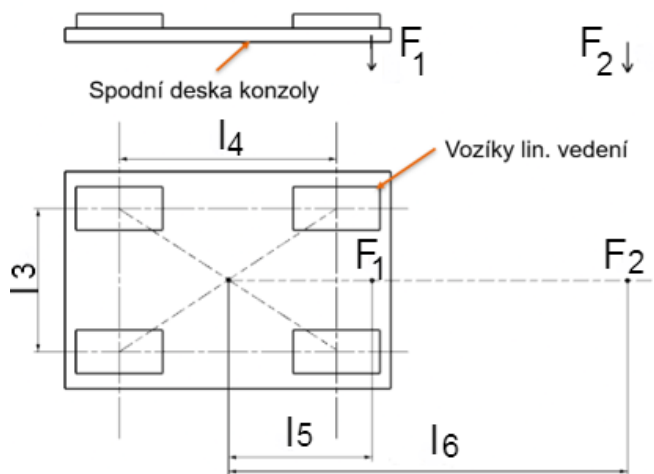
5.10 Návrh lineárního vedení



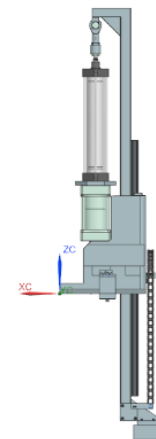
Obr. 140: Návrh lineárního vedení

5.10.1 Kontrola lineárního vedení pro pohyb konzoly

Pro pohyb posuvné konzoly bylo vybráno lineární vedení od firmy HIWIN. To se skládá ze dvou kolejnic HGR25R, které jsou přišroubovány zesepodu k výsuvným profilům, a čtyř vozíků lineárního vedení HGW25HC, které jsou přišroubovány k posuvné konzole.



Obr. 141: Vozíky lineárního vedení



Obr. 142: Lineární vedení

Vstupní hodnoty pro výpočty:

$m_3 = 167 \text{ kg}$	hmotnost konzoly
$m_4 = 400 \text{ kg}$	hmotnost palety s obrobkem
$l_3 = 0,28 \text{ m}$	vzdálenost vozíků
$l_4 = 0,327 \text{ m}$	vzdálenost vozíků
$l_5 = 0,079 \text{ m}$	vzdálenost působíště F_1 od těžiště lin. vozíků
$l_6 = 0,760 \text{ m}$	vzdálenost působíště F_2 od těžiště lin. vozíků
$f_w = 1,2$	faktor zatížení
$f_h = 1$	faktor tvrdosti



$f_t = 1$	faktor teploty
$a_{v2} = 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	zrychlení palety s obrobkem
$C_0 = 49\,440 \text{ N}$	statická únosnost
$M_y = 880 \text{ Nm}$	přípustný statický moment
$C_{dyn} = 32\,750 \text{ N}$	dynamická únosnost
$s_z = 1,47 \text{ m}$	ujetá vzdálenost při jednom cyklu
$c = 5$	počet cyklů za hodinu
$f_{sl} > 3$	statická konstrukční bezpečnost

Velikost gravitační síly konzoly

$$F_1 = m_3 \cdot g = 167 \cdot 9,81 = 1\,638,27 \text{ N} \quad (102)$$

Velikost gravitační síly palety s obrobkem

$$F_2 = m_4 \cdot g = 400 \cdot 9,81 = 3\,924 \text{ N} \quad (103)$$

Velikost akcelerační síly palety s obrobkem

$$F_{2z} = m_2 \cdot a_{v2} = 400 \cdot 0,3 = 120 \text{ N} \quad (104)$$

Maximální zatížení vozíků

$$\begin{aligned} P_c = P_1 = P_2 = P_3 = P_4 &= \frac{F_1}{4} + \frac{F_2}{4} + \frac{F_1 \cdot l_5}{2 \cdot l_3} + \frac{F_2 \cdot l_6}{2 \cdot l_3} + \frac{F_{2z} \cdot l_6}{2 \cdot l_3} \\ &= \frac{1\,638,27}{4} + \frac{3\,924}{4} + \frac{3\,924 \cdot 0,076}{2 \cdot 0,28} \\ &\quad + \frac{1\,638,27 \cdot 0,079}{2 \cdot 0,28} + \frac{120 \cdot 0,76}{2 \cdot 0,28} = 7\,095,52 \text{ N} \end{aligned} \quad (105)$$

Statická konstrukční bezpečnost

$$f_{sl} = \frac{C_0}{P_c} = \frac{49\,440}{7\,095,52} = 6,97 > 3 \quad (106)$$

Ekvivalentní statický moment

$$\begin{aligned} M &= \frac{F_1}{4} \cdot l_6 + \frac{F_2}{4} \cdot l_5 + \frac{F_{2z}}{4} \cdot l_5 \\ &= \frac{1\,638,27}{4} \cdot 0,76 + \frac{3\,924}{4} \cdot 0,079 + \frac{120}{4} \cdot 0,079 \\ &= 391,14 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (107)$$

Faktor statické bezpečnosti při zatěžování krutem

$$f_{sm} = \frac{M_y}{M} = \frac{880}{391,14} = 2,25 > 1,25 \quad (108)$$

Jmenovitá životnost lineárního vedení

$$\begin{aligned} L &= \left(\frac{f_h \cdot f_t \cdot C_{dyn}}{f_w \cdot P_c} \right)^3 \cdot 50\,000 = \left(\frac{1 \cdot 1 \cdot 32\,750}{1,2 \cdot 7\,095,52} \right)^3 \cdot 50\,000 \\ &= 2\,845\,165,24 \text{ m} \end{aligned} \quad (109)$$

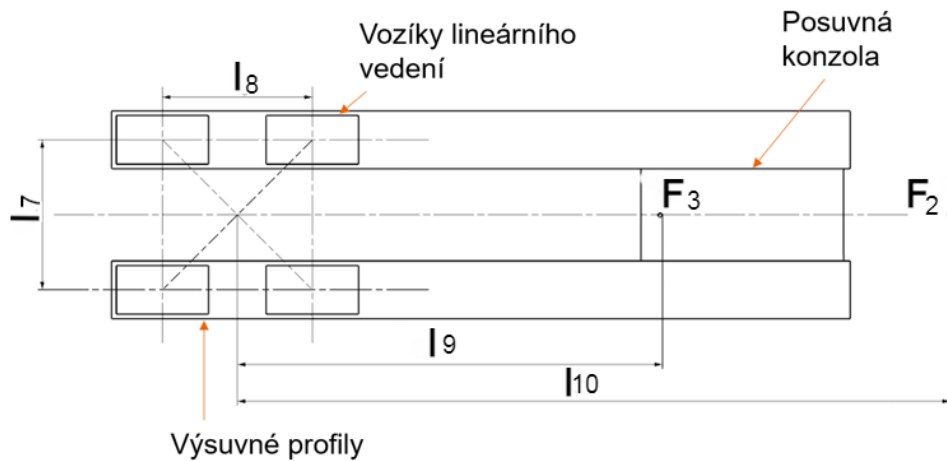
Životnost přepočtená dle cyklů za hodinu

$$L_r = \frac{L}{8760 \cdot s_z \cdot c} = \frac{2\,845\,165,24}{8760 \cdot 1,47 \cdot 5} = 44,19 \text{ roků} \quad (110)$$

Životnost je větší než 5 let, tudíž vyhovuje. Lineární vedení jsem volil takové, aby přeneslo zatížení palety s obrobkem o 400 kg.

5.10.2 Kontrola lineárního vedení pro výsuv profilů s konzolou

Pro výsuv výsuvných profilů bylo vybráno lineární vedení od firmy HIWIN. To se skládá ze dvou kolejnic HGR45R, které jsou upevněny zesponu k nepohyblivým profilům, a čtyř vozíků lineárního vedení HGW45HC, které jsou přišroubovány svrchu na výsuvné profily.



Obr. 143: Schéma lineárního vedení

Vstupní hodnoty výpočtů:

$m_5 = 339 \text{ kg}$	hmotnost výsuvného teleskopu
$m_4 = 400 \text{ kg}$	hmotnost palety s obrobkem
$l_7 = 0,280 \text{ m}$	vzdálenost vozíků lin. vedení
$l_8 = 0,330 \text{ m}$	vzdálenost vozíků lin. vedení
$l_9 = 0,879 \text{ m}$	vzdálenost působíště F_3 od těžiště lin. vozíků
$l_{10} = 1,716 \text{ m}$	vzdálenost působíště F_2 od těžiště lin. vozíků
$f_w = 1,2$	faktor zatížení
$f_h = 1$	faktor tvrdosti
$f_t = 1$	faktor teploty
$a_{v2} = 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	zrychlení palety s obrobkem
$C_0 = 207\,000 \text{ N}$	statická únosnost
$M_y = 4070 \text{ Nm}$	přípustný statický moment
$C_{dyn} = 94\,540 \text{ N}$	dynamická únosnost
$s_z = 0,92 \text{ m}$	ujetá vzdálenost při jednom cyklu
$c = 5$	počet cyklů za hodinu
$f_{sl} > 3$	statická konstrukční bezpečnost

Velikost gravitační síly výsuvného teleskopu

$$F_3 = m_5 \cdot g = 339 \cdot 9,81 = 3\,325,59 \text{ N} \quad (111)$$

Velikost gravitační síly palety s obrobkem

$$F_2 = m_4 \cdot g = 400 \cdot 9,81 = 3\,924 \text{ N} \quad (112)$$

Velikost akcelerační síly palety s obrobkem

$$F_{2z} = m_4 \cdot a_{v2} = 400 \cdot 0,3 = 120 \text{ N} \quad (113)$$

Maximální zatížení vozíků

$$\begin{aligned} P_c = P_1 = P_2 = P_3 = P_4 &= \frac{F_3}{4} + \frac{F_2}{4} + \frac{F_3}{2 \cdot l_8} + \frac{F_2 \cdot l_{10}}{2 \cdot l_8} + \frac{F_{2z} \cdot l_{10}}{2 \cdot l_8} = \\ &= \frac{3\,325,59}{4} + \frac{3\,924}{4} + \frac{3\,924 \cdot 1,716}{2 \cdot 0,33} \\ &+ \frac{3\,325 \cdot 0,879}{2 \cdot 0,33} + \frac{120 \cdot 1,716}{2 \cdot 0,33} = 16\,755,88 \text{ N} \end{aligned} \quad (114)$$

Statická konstrukční bezpečnost

$$f_{st} = \frac{C_0}{P_c} = \frac{207\,000}{16\,755,88} = 12,4 > 3 \quad (115)$$

Hodnota parametru VYHOVUJE

Ekvivalentní statický moment

$$\begin{aligned} M &= \frac{F_3}{4} \cdot l_9 + \frac{F_2}{4} \cdot l_{10} + \frac{F_{2z}}{4} \cdot l_{10} \\ &= \frac{3\,325,59}{4} \cdot 0,879 + \frac{3\,924}{4} \cdot 1,716 + \frac{120}{4} \\ &\cdot 1,716 = 2\,465,67 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (116)$$

Faktor statické bezpečnosti při zatěžování krutem

$$f_{sm} = \frac{M_y}{M} = \frac{4070}{2\,465,67} = 1,65 > 1,25 \quad (117)$$

Hodnota parametru VYHOVUJE

Jmenovitá životnost

$$\begin{aligned} L &= \left(\frac{f_h \cdot f_t \cdot C_{dyn}}{f_w \cdot P} \right)^3 \cdot 50\,000 = \left(\frac{1 \cdot 1 \cdot 94\,540}{1,2 \cdot 16\,755,88} \right)^3 \cdot 50\,000 \\ &= 5\,197\,222,81 \text{ m} \end{aligned} \quad (118)$$

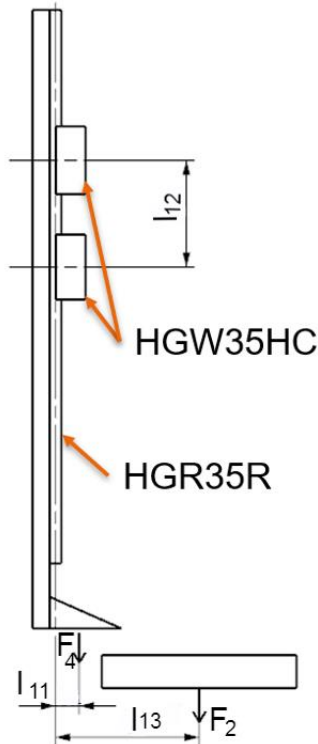
Životnost přepočtená dle cyklů za hodinu

$$L_r = \frac{L}{8\,760 \cdot s_z \cdot c} = \frac{5\,197\,222,81}{8\,760 \cdot 0,92 \cdot 5} = 128,98 \text{ roků} \quad (119)$$

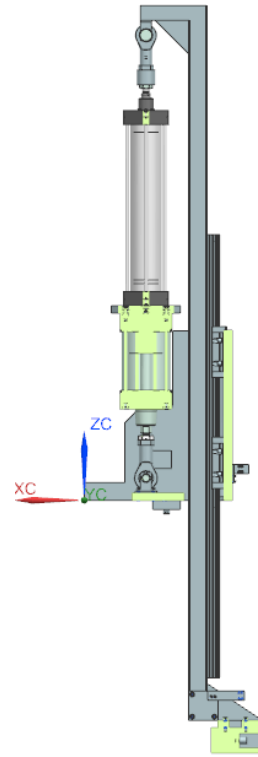
Životnost je větší než 5 let, tudíž vyhovuje. Lineární vedení jsem volil takové, aby přeneslo zatížení palety s obrobkem o 400 kg. Z pohledu životnosti se může zdát, že je vedení značně předdimenzované, důležité je přenést velký klopný moment při maximálním výsuvu manipulátoru.

5.10.3 Kontrola lineárního vedení pro vertikální výsuv ramene s uchopovačem

Pro vertikální výsuv bylo vybráno lineární vedení od firmy HIWIN. To se skládá ze dvou kolejnic HGR35R, které jsou přišroubovány k výsuvnému ramenu, a dvou vozíků lineárního vedení HGW35HC, které jsou přišroubovány k posuvné konzole.



Obr. 144: Lineární vedení



Obr. 145: Lineární vedení

Vstupní hodnoty pro výpočty:

$m_7 = 68 \text{ kg}$	hmotnost výsuvného ramene
$m_4 = 400 \text{ kg}$	hmotnost palety s obrobkem
$l_{11} = 0,0095 \text{ m}$	vzdálenost působíště F_4 od těžiště lin. vozíků
$l_{12} = 0,204 \text{ m}$	vzdálenost vozíků lin. vedení
$l_{13} = 0,370 \text{ m}$	vzdálenost působíště F_2 od těžiště lin. vozíků
$f_w = 1,2$	faktor zatížení
$f_h = 1$	faktor tvrdosti
$f_t = 1$	faktor teploty
$a_{v2} = 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	zrychlení palety s obrobkem
$C_0 = 136\,310 \text{ N}$	statická únosnost
$M_y = 2\,080 \text{ Nm}$	přípustný statický moment
$C_{dyn} = 60\,210 \text{ N}$	dynamická únosnost
$s_z = 0,5 \text{ m}$	ujetá vzdálenost při jednom cyklu
$c = 5$	počet cyklů za hodinu
$f_{sl} > 3$	statická konstrukční bezpečnost

Velikost gravitační síly výsuvného ramene

$$F_4 = m_7 \cdot g = 68 \cdot 9,81 = 667,08 \text{ N} \quad (120)$$

Velikost gravitační síly palety s obrobkem

$$F_2 = m_4 \cdot g = 400 \cdot 9,81 = 3924 \text{ N} \quad (121)$$

Velikost akcelerační síly palety s obrobkem

$$F_{2z} = m_4 \cdot a_{v2} = 400 \cdot 0,3 = 120 \text{ N} \quad (122)$$

Maximální zatížení vozíků

$$\begin{aligned} P_c = P_1 = P_2 = P_3 = P_4 &= \frac{F_4 \cdot l_{11}}{2 \cdot l_{12}} + \frac{F_2 \cdot l_{13}}{2 \cdot l_{12}} + \frac{F_{2z} \cdot l_{13}}{2 \cdot l_{12}} = \\ &= \frac{667,08 \cdot 0,0095}{2 \cdot 0,204} + \frac{3924 \cdot 0,370}{2 \cdot 0,204} \\ &+ \frac{120 \cdot 0,370}{2 \cdot 0,204} = 3666,56 \text{ N} \end{aligned} \quad (123)$$

Statická konstrukční bezpečnost

$$f_{sl} = \frac{C_0}{P_c} = \frac{136310}{3682,89} = 37,12 > 3 \quad (124)$$

Hodnota parametru VYHOVUJE

Ekvivalentní statický moment

$$\begin{aligned} M &= \frac{F_4}{2} \cdot l_{11} + \frac{F_2}{2} \cdot l_{13} + \frac{F_{2z}}{2} \cdot l_{13} \\ &= \frac{667,08}{2} \cdot 0,0095 + \frac{3924}{2} \cdot 0,370 + \frac{120}{2} \\ &\cdot 0,370 = 751,31 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (125)$$

Faktor statické bezpečnosti při zatěžování krutem

$$f_{sm} = \frac{M_y}{M} = \frac{2080}{751,31} = 2,77 > 1,25 \quad (126)$$

Hodnota parametru VYHOVUJE

Jmenovitá životnost

$$\begin{aligned} L &= \left(\frac{f_h \cdot f_t \cdot C_{dyn}}{f_w \cdot P_c} \right)^3 \cdot 50000 = \left(\frac{1 \cdot 1 \cdot 60210}{1,2 \cdot 3682,89} \right)^3 \cdot 50000 \\ &= 126434590,1 \text{ m} \end{aligned} \quad (127)$$

Životnost přepočtená dle cyklů za hodinu

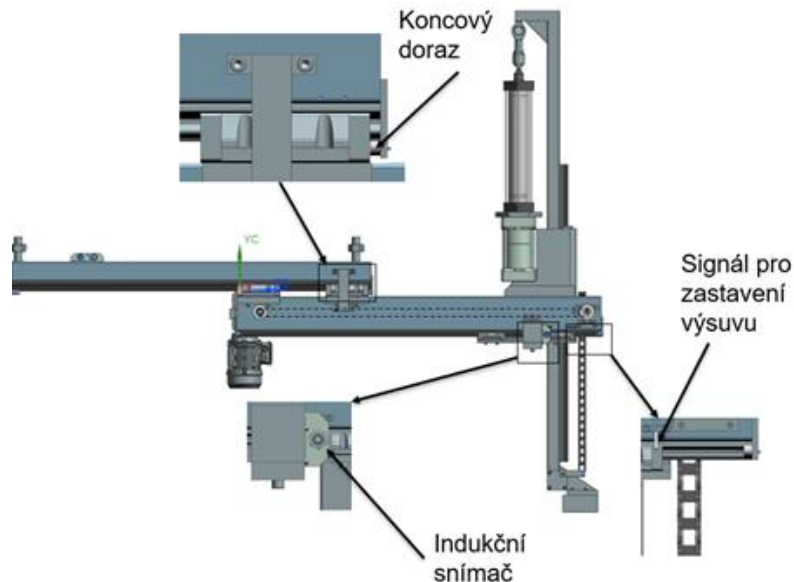
$$L_r = \frac{L}{8760 \cdot s_z \cdot c} = \frac{126434590,1}{8760 \cdot 0,5 \cdot 5} = 5773,27 \text{ roků} \quad (128)$$

Životnost je větší než 5 let, tudíž vyhovuje. Lineární vedení jsem volil takové, aby přeneslo zatížení palety s obrobkem o 400 kg. Z pohledu životnosti se může zdát, že je vedení značně předimenzované, důležité je přenést velký klopný moment při maximálním zatížení palety s obrobkem.

5.11 Polohování manipulátoru

Zaručení správného polohování manipulátoru v různých režimech je zajištěno pomocí skupiny indukčních snímačů. Tyto snímače zajišťují při kontaktu s příslušným protikusem impuls pro frekvenční měnič motoru ke změně chodu pohonu výsuvu manipulátoru.

5.11.1 Dosažení polohy uchopovače pro posazení palety do upínače v obráběcím stroji

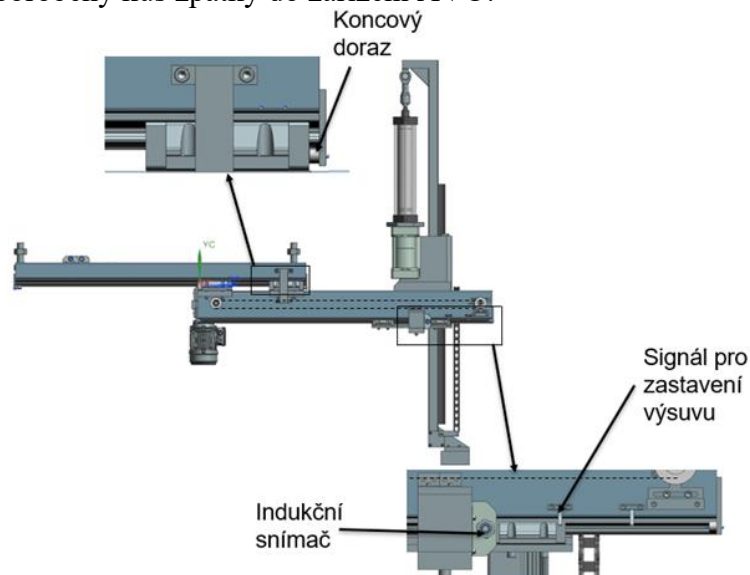


Obr. 146: Posazení palety do upínače

Při naložení palety s obrobkem do upínače se manipulátor zastaví v koncové poloze, ve které jsou gumové dorazy na konci výsuvného teleskopu. Postupné zpomalování konzoly začne při vyslání signálu, když indukční snímač detekuje plechový protikus. V této poloze může dojít k posazení palety do upínače.

5.11.2 Dosažení polohy uchopovače pro nabrání palety z obráběcího stroje

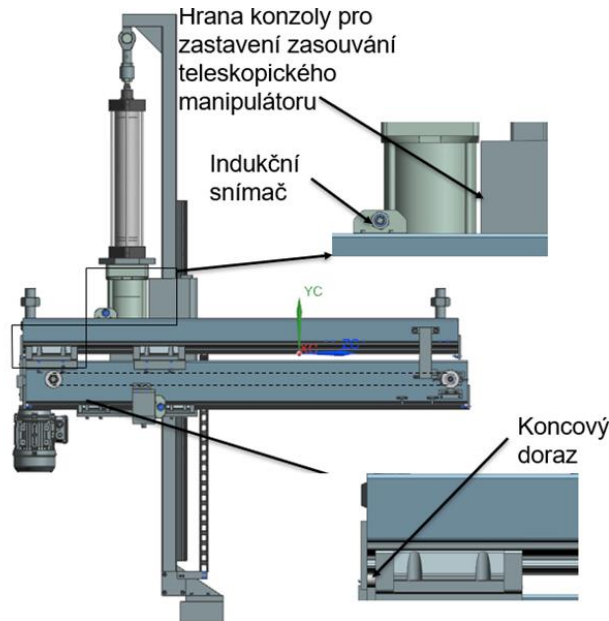
Pro nabrání palety s obrobkem z upínače se konzola zastaví v koncové poloze, ve které jsou gumové dorazy na konci výsuvného teleskopu. Koncová poloha je detekována snímačem při jeho kontaktu s plechovým protikusem. V této poloze může dojít k nabrání palety pro její výměnu za neobrobený kus zpátky do zařízení AVO.



Obr. 147: Nabírání palety ze stroje

5.11.3 Dosažení polohy uchopovače před nabráním palety v systému AVO

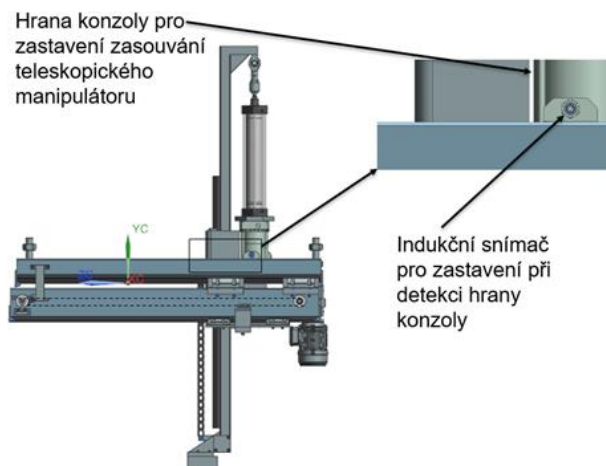
Pro naložení palety s obrobkem v systému AVO se manipulátor zastaví v koncové poloze, ve které jsou gumové dorazy na konci opačném výsuvného teleskopu. Zastavení pohybu začne při vyslání signálu, když indukční snímač detekuje hranu konzoly jako protikus. V této poloze může dojít k nabrání palety a jejím následném zdvihu z otočného stolu. Před zvednutím palety manipulátor přisune uchopovač a uchopí link palety.



Obr. 148: Dosažení polohy uchopovače před nabráním palety

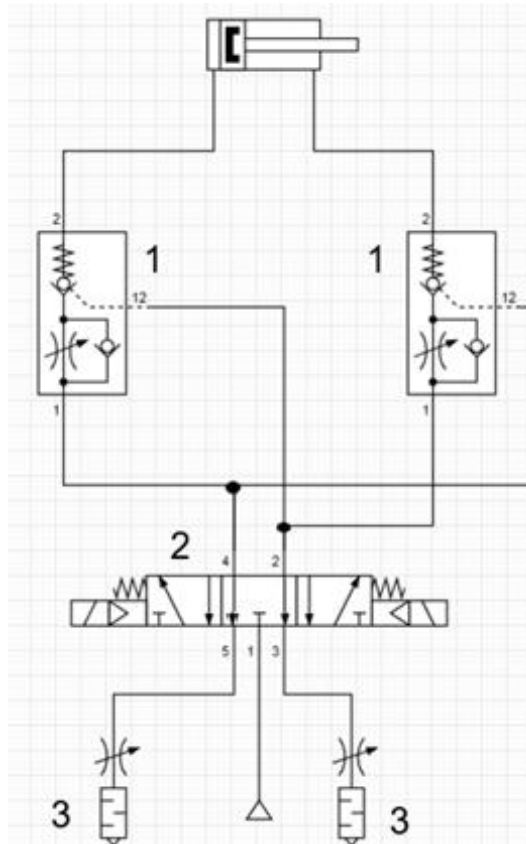
5.11.4 Dosažení polohy uchopovače před usazením palety do systému AVO

Pro usazení palety s obrobkem do otočného stolu se manipulátor zastaví v koncové poloze, která je definována kontaktem snímače s konzolou. V této poloze může dojít k posazení palety na otočný stůl.



Obr. 149: Dosažení polohy uchopovače před usazením palety

5.12 Pneumatické schéma ovládání výsuvů pneumatických válců zvedání palety a zajištění polohování otočného stolu



Obr. 150: Pneumatické schéma ovládání výsuvu válců

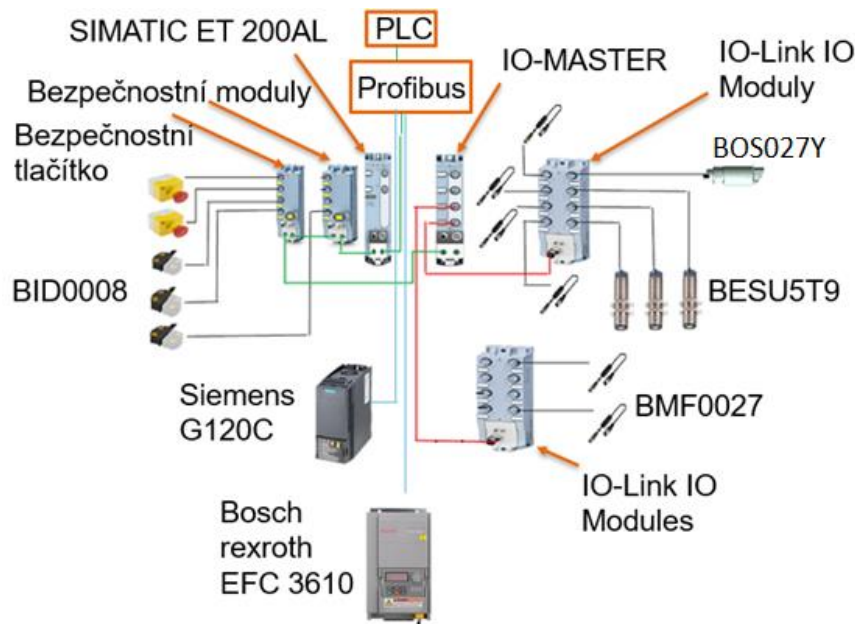
Tab. 11: Volené pneumatické prvky

Číslo	Název	Označení	Počet
1	Pneumatický zámek	FESTO VFOF-LE-BAH-G14-Q8	6
2	5/3 rozvaděč	FESTO MDH-5/3E-D-1-M12-C	3
3	Odvzdušňovací ventil	FESTO AMTE-M-LH-G14	6

Rozvaděč jsem zvolil od firmy FESTO MDH-5/3E-D-1-M12-C, jedná se o rozvaděč typu 5 cest a 3 polohy s přestavováním elektrickým. Pneumatický zámek FESTO VFOF-LE-BAH-G14-Q8 zajišťuje regulaci rychlosti výsuvu pneumatického válce a zajišťuje bezpečnost. Tyto obvody jsou v AVO třikrát.

5.13 Komunikace senzorů

Navržené zařízení AVO nedisponuje vlastním PLC, ale je napojeno na PLC CNC stroje. Toto řešení jsem zvolil z důvodu, že systém automatické výměny výrobků bude vždy pracovat s obráběcím strojem. Sensorika, bezpečnostní prvky a frekvenční měniče jsou připojeny do přidruženého rozvaděče SIMATIC ET 200AL, který je spojený s PLC stroje CNC přes komunikaci Profibus. K SIMATIC ET 200AL jsou připojeny různé moduly. Bezpečnostní prvky jsou zapojeny do bezpečnostního modulu F-DI 4+F-DQ 2x24VDC/2A. Sensory a frekvenční měniče jsou zapojené do IO-Masteru, který je propojený do přidruženého



Obr. 151: Schéma zapojení senzorů a frekvenčních měničů

rozvaděče.

Senzorika využívá komunikace pomocí IO-link. Veškerá zařízení (senzory) jsou zapojena do IO-link masteru běžným průmyslovým standardizovaným kabelem. IO-link využívá point-point komunikačního protokolu. To znamená, že funguje jako obousměrná komunikace. Údaje lze ze zařízení nejen vyčítat, ale také je vzdáleně jednoduše nahrávat. Sensory mohou snadno komunikovat mezi sebou a například snadno detekovat vadný senzor.

Nový senzor není potřeba ručně konfigurovat, parametry senzoru lze stáhnout přes IO-Link dle původních senzorů. Jako bezpečnostní senzor byl zvolen od firmy Balluff BID0008. Jedná se o bezkontaktní bezpečnostní snímač pro zajištění ochranných dveří či vstupů do stroje. Pro detekci obrobku s paletou na místě k přenesení do CNC jsem zvolil jednocestnou optickou závorku firmy Balluff BOS027Y. Pro detekci koncových poloh jsem pneumatické válce vybavil magnetickými snímači firmy Balluff BMF0027. Poloha pístu je snímána bezdotykově přes stěnu válce. Jako senzor polohy byl vybrán indukční snímač výrobce Balluff a to produkt Balluff BESU5T9 pro dosáhnutí koncových poloh jak na teleskopickém manipulátoru či otočném stole. Pro zaručení bezpečnosti a možnosti nouzové zastavení jsem vybral tlačítko od firmy Schneider XALK178F. Pro ovládání motorů jsou zvoleny frekvenční měniče, které komunikují přes PROFIBUS. Frekvenční měnič Siemens G120C slouží pro ovládání pohonu otočného stolu. Frekvenční měnič Bosch Rexroth EFC3610 je použit pro ovládání pohonu teleskopického manipulátoru.

Tab. 12: Volené prvky senzoričky

Název	Označení	Počet
Nouzové tlačítko	SchneiderXALK178F	2
Indukční snímač	Balluff BESU5T9	3
Optoelektronický snímač	Balluff BOS027Y	1
Zámek dveří	Balluff BID0008	3
Senzor polohy pístu	Balluff BMF0027	6
Frekvenční měnič	Siemens G120C	1
Frekvenční měnič	Bosch rexroth EFC3610	1

5.14 Manipulace se zařízením AVO

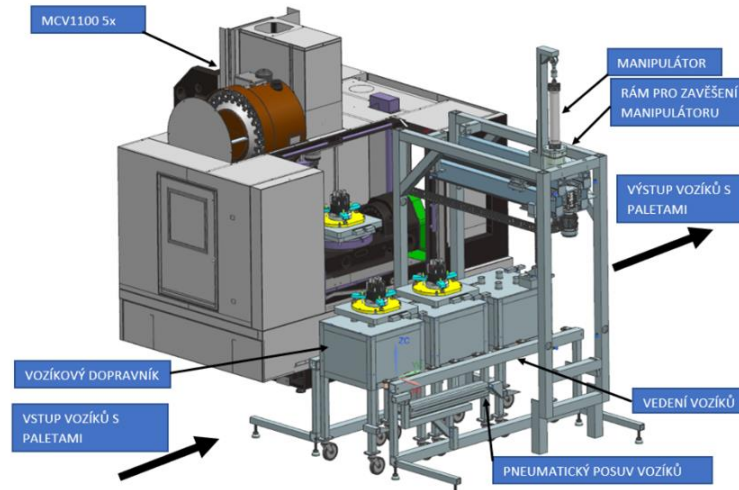
Manipulace se strojem bude prováděna vysokozdvizným vozíkem. Tuto variantu jsem zvolil kvůli velké hmotnosti zařízení AVO. Variantu manipulace pomocí závěsných ok jsem zavrhl, protože hmotnosti ve stroji nejsou umístěny rovnoměrně a pravděpodobně by došlo při zvedání k naklonění AVO s jeho následným možným poškozením. Transport vysokozdvizným vozíkem bude jednodušší.


Obr. 152: Manipulace se strojem

5.15 Vizualizace sestav

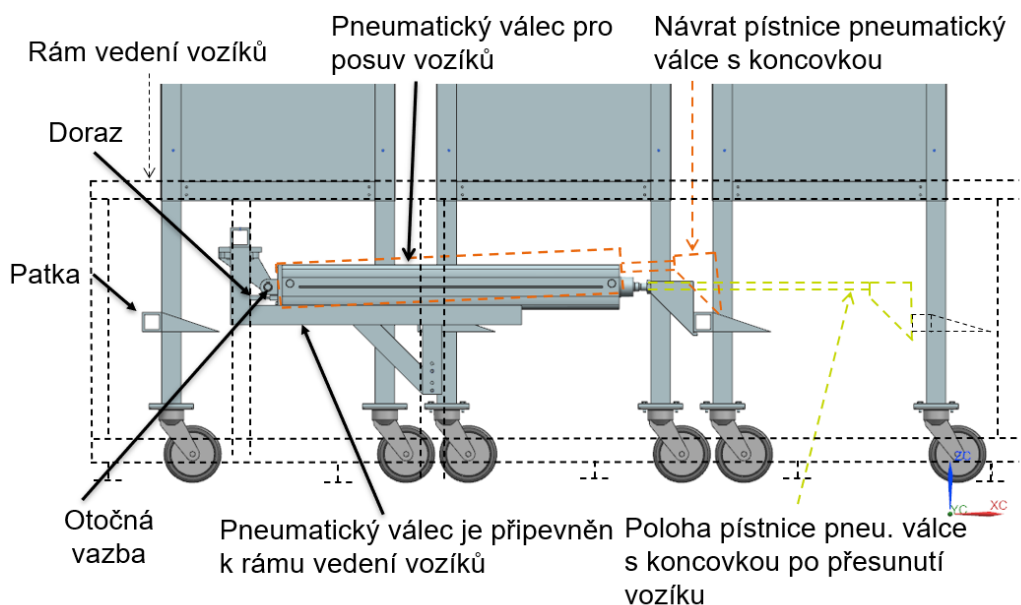
Sestava MCV 1100 5X se zařízením AVO využívajícím vozíkový dopravník.

Zařízení AVO (viz Obr. 153) je tvořeno rámem a zásobníkem palet. V rámu je zavěšený manipulátor, který provádí výměnu palet s obrobky. Zásobník palet je tvořen vozíky, které se pohybují ve vedení. Vedení je vyrobeno ze svařeného rámu, na kterém jsou připevněna kolečka pro styk s boční stranou vozíků a jejich pohyb ve správné poloze k manipulátoru. Vozíky jsou spojeny pomocí rychloupínačů. Pohyb vozíků je zajištěn pneumatickým válcem, který při jednom pracovním cyklu vymění paletu s neobrobeným dílem za již opracovaný.



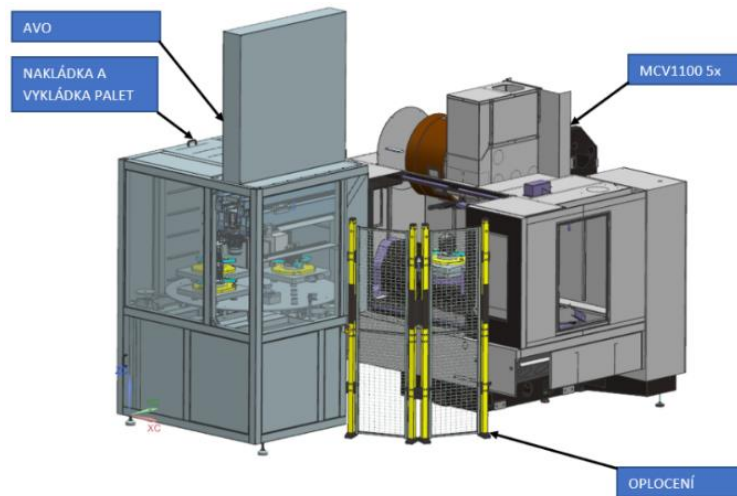
Obr. 153: Sestava MCV 1100 5X se zařízením AVO využívajícím vozíkový dopravník

Postranní rámy vedení vozíků jsou na obou stranách vozíkového vláčku. Na jednom z rámců je upevněn pneumatický válec pro přesun vozíků. Na každém vozíku je z boku připevněna trojúhelníková patka. Pístnice pneumatického válce je opatřena koncovkou, pomocí které píst tlačí prostřednictvím patky vozíkový vláček vpřed. Při zpětném pohybu pístnice se koncovka posune po nakloněné rovině patky a zapadne před ní. Po zasunutí pístnice a provedení výměny palet manipulátorem je pohon vozíků znovu schopný výměny již obrobeného dílce za neobrobený. Vodorovná poloha je zajištěna dorazem na v zadní části pístu.



Obr. 154: Mechanismus posunu vozíků

Sestava MCV 1100 5X se zařízením AVO využívajícím otočný stůl



Obr. 155: Sestava MCV 1100 5X se zařízením AVO využívajícího otočného stolu

Na Obr. 155 je znázorněna sestava obráběcího stroje MCV 1100 5X a navrženého zařízení AVO. Z vizualizace je patrné, že obsluha na stroji může pracovat i v případě, že je zařízení AVO mimo provoz. Mezi strojem a zařízením je dostatečná vzdálenost 400 mm. Pokud je zařízení AVO v provozu, je manipulační prostor chráněn oplocením.

6 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout zařízení pro automatickou výměnu obrobků (AVO) na paletách pro obráběcí centrum MCV 1100 5X. Zařízení se skládá z rámu s manipulátorem a vhodného zásobníku palet. Mělo by umožňovat snadný přechod z automatického režimu do režimu odstavení AVO a následně samostatnou práci obsluhy na stroji. Z rešeršní části vyplynulo, že zařízení AVO pro požadovanou hmotnost 400 kg jsou na trhu v menším počtu. Pro danou hmotnost je vhodné využít technologické palety. Kvůli omezenému prostoru v otočném stole je žádoucí použít uchopovač, který bude úchop palety provádět z otevřené části otočného stolu. Pro upnutí palety ve stroji CNC je ideální použít upínač pomocí nulového bodu, který umožňuje snadnou a rychlou výměnu palet. Z navržených konceptů v rešeršní části jsem se rozhodl pracovat na dvou variantách. První využívá zásobník s vozíky a druhá otočný zásobník.

V rámci první varianty jsem vytvořil předběžný návrh zařízení AVO využívajícího vozíkový dopravník (viz Obr. 153). Výhodou tohoto řešení je snadná manipulovatelnost se soustavou vozíků. Řešení je však vhodné pouze pro menší hmotnosti obrobků, manipulace s těžkými obrobky je pro obsluhu namáhavá. Proto jsem se rozhodl tento návrh po zvážení všech hledisek dále nerozvíjet.

AVO se zásobníkem typu otočný stůl je koncept, který jsem se rozhodl zpracovat podrobně (viz Obr. 155). Pro obráběcí operaci jsem vybral paletu firmy Erowa MTS 498 x 498 mm, která je vhodná pro upevnění na otočném stole obráběcího centra. Snahou návrhu automatizace je maximálně využít potenciál obráběcího stroje MCV 1100 5X. Navržené zařízení využívá teleskopický manipulátor, který svým velkým dosahem umožňuje obsluze samostatně pracovat na stroji CNC. Výškové nastavení je možné regulovat stavitelnými patkami. Výsuv teleskopického manipulátoru je poháněn asynchronním motorem ($P = 0,37 \text{ kW}$, $n = 2780 \text{ ot/min}$, $M_k = 1,27 \text{ Nm}$) přes řetězový převod. Zdvih palety je zajištěn dvěma pneumatickými válci Parker dle ISO 15552 (první s průměrem pístu $D = 400 \text{ mm}$ druhý s průměrem pístu $D = 100 \text{ mm}$). Otočný stůl je poháněn asynchronním motorem ($P = 0,55 \text{ kW}$, $n = 710 \text{ ot/min}$, $M_k = 7,6 \text{ Nm}$) z hnacího řetězového kola na desku otočného stolu řetězovým převodem. Řízení chodu zařízení AVO je zajišťováno pomocí PLC výrobního stroje. Krytování je zajištěno plexisklovými tabulemi a hliníkovými plechovými kryty. Nakládka a vykládka palet probíhá v zadní části zařízení pomocí dostupného manipulačního vybavení výrobní haly, nejlépe pomocí jeřábu či kolaborativního robota. Rozměry systému AVO jsou 1 760 x 1 760 x 3 832 mm. Zařízení bylo navrženo tak, aby mohlo spolupracovat i s dalšími obráběcími stroji firmy Kovosvit MAS, jako je například CNC stroj MCU 450.

Navržené zařízení AVO bohužel nesplňuje požadavek na výměnu palet z boku. Manipulace s požadovaným obrobkem v kombinaci s obtížně přístupným otočným stolem mi původní zadání zkomplikovalo.

Seznamy

Seznam použité literatury

- [1] MCV 1000 [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcv-1000-p8.html#files>
- [2] MCV 800 [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <http://www.masmachinetools.com/mcv-800-quick>
- [3] Erowa [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.erowa.com/en/solutions/sr/workpieceholding>
- [4] Youtube. EROWA Heavy PowerChuck-HPC [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=rexy0suLKwM>
- [5] Youtube. Stark SPEEDY Classic Zero Point Clamps by Roemheld [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=jRixwmaszNQ>
- [6] Schunk-Vero S [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/domovska-stranka/vero-s-nse3/#c36791
- [7] ČERVENKA, Jaroslav, Ivan DIVIŠ a Tomáš KRANNICH. Systémy AVN, AVO a třískové hospodářství. In: TRENDY PO EMO MILANO 2015. Praha: Společnost pro obráběcí stroje, 2016, s. 221-228. ISBN 978-80-904077-8-7
- [8] MAREK, Jiří, et al. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. 1. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1
- [9] Schunk [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/upinaci-technika/series/magnos-mfrs/
- [10] Youtube. SCHUNK MAGNOS MFR [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=mV_6qlFMTKo
- [11] Power Grip Zero point [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: https://hugepdf.com/download/power-grip-zero-point-clamping-system_pdf
- [12] Norelem [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.norelem.com/cz/cs/Produkty/P%C5%99ehled-v%C3%BDrobk%C5%AF/Pru%C5%BEn%C3%BD-syst%C3%A9m-normalizovan%C3%BDch-d%C3%ADl%C5%AF/01000-Z%C3%A1kladn%C3%AD-prvky-Desky-Kotou%C4%8De-Profil-UP%C3%ADnac%C3%AD-%C3%BAhel%C3%ADky-UP%C3%ADnac%C3%AD-kostky/Desky/01148-Palety-%C5%A1ed%C3%A1litina-s-T-dr%C3%A1%C5%BEkami.html>
- [13] Kipp [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Sale/Palety/Palety-s-rastrov%C3%BDmi-otvory.html>
- [14] Kipp [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/UP%C3%ADnac%C3%AD-technika/Sv%C4%9Br%C3%A1k-up%C3%ADnac%C3%AD-technika/5os%C3%A9-up%C3%ADna%C4%8De-KIPPflexX/5os%C3%A9-up%C3%ADna%C4%8De-KIPPflexX-up%C3%ADnac%C3%AD-%C4%8Delisti-hladk%C3%A9.html>
- [15] Erowa [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.erowa.com/en/solutions/sr/automation>

- [16] DMG [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/automatizace/manipulace-s-paletami/kotoucovy-zasobnikovy-system/ph>
- [17] Youtube.DMC 340 U with RPS 4 Automation [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=r9slHF8FgAk>
- [18] Toyoda [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.toyoda.com/automation-solutions/pallet-automation/pallet-pools>
- [19] Midaco [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.midaco-corp.com/sc.38/automatic-multi-pallet-changer-for-5-axis/>
- [20] Liebherr [online]. [cit. 2021-10-18]. Dostupné z: <https://www.liebherr.com/en/int/products/gear-technology-and-automation-systems/automation-systems/pallet-handling-systems/rotary-loading-systems/rotation-systems.html#lightbox>
- [21] KUKA Roboter GmbH-KUKA KR5 ARC-Specifications,2016 URL http://www.kuka-robotics.com/res/sps/48ec812b-1b29-4789-8ac2-598aff70abc0_Spez_KR_5_arc_en.pdf
- [22] VOITH [online]. [cit. 2011-05-24]. Dostupný z http://www.voithturbo.com/hirth-coupling_publications.php
- [23] MCV1000-úprava formy [online]. [cit. 2021-11-11]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=n3-q1nb5anI>
- [24] Erowa UPC Pallet ER-107472 compatible 320 x 320 x 40 [online]. [cit. 2021-11-11]. Dostupné z: <https://rapidholdingsystems.com/product/erowa-compatible-er-107472-upc-pallet-320-x-320-x-40/>
- [25] Multiple Clamping Workholding Systems [online]. [cit. 2021-11-11]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/suaveengg/multiple-clamping-workholding-systems.html> [26] 2008 FIRST MCV-1100 CNC Vertical Machining Center [online]. [cit. 2021-11-11]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ySNzqTvxpT0>
- [26] RS Components [online]. [cit. 2022-07-25]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com>
- [27] Midaco [online]. [cit. 2021-11-11]. Dostupné z: <https://www.midaco-corp.com/pd.2443/automatic-pallet-cart-changer/>
- [28] Kipp [online]. [cit. 2021-11-11]. Dostupné z: <https://www.zeroclamp.com/en/automation-2/>
- [29] Viceloader [online]. [cit. 2021-11-11]. Dostupné z: <https://www.viceloader.cz/>
- [30] Rem-technik[online] [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://www.rem-technik.cz/pohyb-pohony-prevody/prevodovky/pohon-s-ozubenym-hrebenem/system-pridavneho-pastorku-zv-a-hrebenu-844.html>
- [31] Hiwin. [cit. 2022-01-16]. Dostupné z: <https://www.hiwin.com/>
- [32] MM Průmyslové spektrum. Praha: Vogel Publishing, 1997. ISSN 12122572.
- [33] Haberkorn.cz [online]. [cit. 2022-07-14]. Dostupné z: <https://eshop.haberkorn.cz/valeckovy-retez-standardni-1-rady-din-8187.html>
- [34] KŘÍŽ, Rudolf. STROJNICKÉ TABULKY 2. POHONY: Hřídele, ozubené převody, řetězové a řemenové převody,1997,214 s

- [35] In: Skf.com [online]. [cit. 2022-07-14]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/productinfo/productid-SY%2025%20FM>
- [36] Raveo.cz [online]. [cit. 2022-07-14]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/motory>
- [37] KOPECKÝ, Miroslav a Jaromír HOUŠA. Základy stavby výrobních strojů. Praha: ČVUT, 1986.
- [38] KOLÍBAL, Z. at al. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: VUTIUM, 2016. 788 p. ISBN:978-80-214-4828-5
- [39] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN:978-80-7361-111-8
- [40] Řetězy Vamberk [online]. [cit. 2022-07-25]. Dostupné z: <https://www.retezy-vam.com>
- [41] Multi pallet pool. In: [online]. [cit. 2022-07-25]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/pp/>
- [42] Držák skla. In: <https://umakov.cz> [online]. [cit. 2022-07-27]. Dostupné z: <https://umakov.cz/drzak-skla-5fb0563e78da73001c987e09#Parametry>

Seznam obrázků

Obr. 1: Obráběcí stroj se zařízením automatické výměny obrobků (AVO) [upraveno z 41].	14
Obr. 2: Obráběcí centrum MCV 1100 5X [1]	16
Obr. 3: Otočný sklopný stůl MCV 1100 5X [1]	16
Obr. 4 : Rozměry otočného sklopného stolu [1]	17
Obr. 5: Struktura AVO [7]	18
Obr. 6: Paleta s T-drážkami firmy Norelem [12]	18
Obr. 7: Paleta s rastrem firmy Kipp [13]	19
Obr. 8: UPC Pallet [24]	19
Obr. 9: Erowa UPC [24]	19
Obr. 10: Paleta Halder [25]	19
Obr. 11: Paleta Erowa MTS [24]	20
Obr. 12: Upínač KiPPflexX [14]	20
Obr. 13: Regálový zásobník obráběcího centra Erowa Robot Compact 80 [15]	21
Obr. 14: Zásobník obráběcího centra DMG PH 150[16]	21
Obr. 15: Zásobník obráběcího centra Liebherr Rls [20]	22
Obr. 16: Zásobník konceptu Toyota pallet pool storage system [18]	22
Obr. 17: Válečkový dopravník Midaco pool system [19]	22
Obr. 18: Zásobovací místo obráběcího centra Toyota [18]	22
Obr. 19: Vozík s obrobkem firmy Midaco [27]	23
Obr. 20: Otočný patrový zásobník Viceloader [29]	23
Obr. 21: Teleskopický manipulátor	24
Obr. 22: Manipulátor s otočným ramenem [21]	24
Obr. 23: Manipulátor s otočným ramenem na kolejničích [21]	24
Obr. 24: 6tiosý robot [21]	25
Obr. 25: Manipulátor se dvěma klouby	25
Obr. 26: Čep s pomocnými kolíky [15]	25
Obr. 27: Uchopení RCS 5[15]	25

Obr. 28: Rozměry uchopení WGC-500 [15]	26
Obr. 29: WGS-500 automation [15]	26
Obr. 30: Erowa gripper fork [15].....	26
Obr. 31: Liebherr RLS [20]	26
Obr. 32: Liebherr RLS [20]	26
Obr. 33: Erowa UPC [3]	27
Obr. 34: Erowa MTS [3]	27
Obr. 35: Erowa Heavy PowerChuck [3].....	28
Obr. 36: Erowa Heavy PowerChuck [4].....	28
Obr. 37: PowerGrip zero point [11].....	28
Obr. 38: PowerGrip – uvolněno [11].....	28
Obr. 39: PowerGrip - sevřeno [11].....	28
Obr. 40: Vero-S [6].....	29
Obr. 41: Vero S 2 [7].....	29
Obr. 42: NSL3 400 [6].....	29
Obr. 43: Schunk Magnos MFRS [9].....	29
Obr. 44: Schunk Magnost MFRS [10]	29
Obr. 45: Hirthovo ozubení [22]	30
Obr. 46: Erowa Robot Six [15].....	30
Obr. 47: Erowa Robot Dynamic 500 [15]	31
Obr. 48: Erowa Robot Easy 250 [15]	31
Obr. 49: Erowa Robot Easy 250 [15]	31
Obr. 50: Odkládací pozice Erowa Robot Easy 250 [15]	31
Obr. 51: Erowa Compact 80 [15]	32
Obr. 52: Erowa robot Compact 80 [15].....	32
Obr. 53: DMG PH 150 [16].....	32
Obr. 54: DMG PH 150 [16].....	32
Obr. 55: DMG PH Cell [16]	33
Obr. 56: DMG PH Cell [16]	33
Obr. 57: DMG RPS4 [17].....	33
Obr. 58: RPS3 aplicacion [23]	34
Obr. 59: RPS3 [23]	34
Obr. 60: Toyoda [18].....	34
Obr. 61: Toyoda pallet pool storage system [18]	34
Obr. 62: Midaco automatic pallet-cart changer [27]	35
Obr. 63: Midaco pallet-cart changer [27]	35
Obr. 64: ZeroClamp Zerobot 100P [28]	36
Obr. 65: Zerobot 100V [28].....	36
Obr. 66: ZeroClamp automation [28]	36
Obr. 67: ZeroClamp automation [28]	36
Obr. 68: Viceloader se strojem MAS MCV 800Q [29].....	37
Obr. 69: Viceloader [29].....	37
Obr. 70: Viceloader rameno [29].....	37
Obr. 71: Viceloader uspořádání [29]	38
Obr. 72: Midaco pool system [19].....	38
Obr. 73: Midaco pool systém [19].....	38
Obr. 74: Liebherr Rls [20]	39
Obr. 75: Liebherr RLS800 [20]	39
Obr. 76: Otočný stůl MCV 1100 5X [23].....	41

Obr. 77: Založení otočného stolu z boku [upraveno z 23]	41
Obr. 78: Vyložení dle Erowa řešení. Zdvih osy X dle modelu dr. T. Krannicha (700 mm) ..	41
Obr. 79: Návrh využívající aplikaci Viceloader	42
Obr. 80: Midaco automatic pallet changer	43
Obr. 81: Dvouramenný manipulátor	43
Obr. 82: Inspirace dle Erowy Robot Easy 250	44
Obr. 83: WGS-500 [15]	45
Obr. 84: Erowa MTS [3]	45
Obr. 85: Erowa MTS [3]	45
Obr. 86: Schematicky znázorněné umístění otočného stolu a uchopení palety	46
Obr. 87: Čtyři palety 498 x 498 mm na otočném stole s průměrem 1650 mm	46
Obr. 88: Pět palet 320 x 320 mm na otočném stole s průměrem 1650 mm	46
Obr. 89: Pět palet 320 x 320 mm na otočném stole s průměrem 1650 mm umístěných na větším poloměru	46
Obr. 90: Pět palet 400 x 400 mm na otočném stole s průměrem 1650 mm	47
Obr. 91: Šest palet 320 x 320 mm na stole s průměrem 1650 mm	47
Obr. 92: Otevřený rám	48
Obr. 93: Uzavřený rám	48
Obr. 94: MKP simulace-uzavřený rám z profilů 80 x 80 x 10 mm při maximálním vysunutí teleskopického manipulátoru	48
Obr. 95: MKP simulace-otevřený rám z profilů 80 x 80 x 10 mm při maximálním vysunutí teleskopického manipulátoru	48
Obr. 96: Zavěšení teleskopického výsuvného manipulátoru pomocí čtyř závitových tyčí	49
Obr. 97: Deformace manipulátoru	49
Obr. 98: Uvažované rozměry profilů	50
Obr. 99: Znázornění nosníku	50
Obr. 100: Kolejnice s lineárními vozíky	50
Obr. 101: Návrh otočného stolu	52
Obr. 102: Síly působící na kolečka	53
Obr. 103: Pouzdra čepů s kolečky	53
Obr. 104: Stůl s dvěma řadami koleček	53
Obr. 105: Rozložení palet na otočném stole	53
Obr. 106: Třecí síla	54
Obr. 107: Zvolený motor [36]	55
Obr. 108: Zvolená spojka [36]	55
Obr. 109: Spojení motor převodovka	55
Obr. 110: Průběh otáček stolu v čase	56
Obr. 111: Znázornění odstředivých sil	57
Obr. 112: Znázornění odstředivých sil	57
Obr. 113: Závislost odstředivé síly na obvodové rychlosti obrobku	57
Obr. 114: Hřídel otočného stolu	58
Obr. 115: Parametry ložiska [upraveno z 21]	58
Obr. 116: Parametry ložiskového domku SY 25 FM [35]	59
Obr. 117: Parametry řetězu [33]	60
Obr. 118: Vzorce pro výpočet řetězového kola [40]	61
Obr. 119: Vzorce pro výpočet řetězu [40]	61
Obr. 120: Volba počtu podpěr desky stolu	64
Obr. 121: Deska stolu se 4 páry koleček	64
Obr. 122: Deska stolu s 8 páry koleček	65

Obr. 123: Deska stolu s 8 páry koleček, v poloze břemene, které se nachází mezi dvěma polohami koleček.....	65
Obr. 124: Kolík s indukčním snímačem.....	66
Obr. 125: Zajišťovací mechanismus.....	66
Obr. 126: Polohy prvků na otočném stole.....	66
Obr. 127: Schéma teleskopického manipulátoru.....	67
Obr. 128: Vysunutý teleskopický manipulátor.....	67
Obr. 129: Polohy teleskopického manipulátoru.....	67
Obr. 130: Parametry řetězu [33].....	68
Obr. 131: Volený motor [36].....	72
Obr. 132: Převodovka Transtecno CM063, $i = 20$ [36].....	72
Obr. 133: Hnací hřídel.....	73
Obr. 134: Znázornění pneumatického válce pro zdvih břemene.....	75
Obr. 135: Pneumatický válec pro zdvih bez břemene.....	75
Obr. 136: Vzpěrná délka [26].....	76
Obr. 137: Graf pro kontrolu pneumatického pístu na vzpěr [26].....	76
Obr. 138: Zvolené písty v posuvné konzole.....	77
Obr. 139: Znázornění výsuvu a poloh pneumatických válců.....	77
Obr. 140: Návrh lineárního vedení.....	78
Obr. 141: Vozíky lineárního vedení.....	78
Obr. 142: Lineární vedení.....	78
Obr. 143: Schéma lineárního vedení.....	80
Obr. 144: Lineární vedení.....	82
Obr. 145: Lineární vedení.....	82
Obr. 146: Posazení palety do upínače.....	84
Obr. 147: Nabírání palety ze stroje.....	84
Obr. 148: Dosažení polohy uchopovače před nabráním palety.....	85
Obr. 149: Dosažení polohy uchopovače před usazením palety.....	85
Obr. 150: Pneumatické schéma ovládní výsuvu válců.....	86
Obr. 151: Schéma zapojení senzorů a frekvenčních měničů.....	87
Obr. 152: Manipulace se strojem.....	88
Obr. 153: Sestava MCV 1100 5X se zařízením AVO využívajícím vozíkový dopravník.....	89
Obr. 154: Mechanismus posunu vozíků.....	89
Obr. 155: Sestava MCV 1100 5X se zařízením AVO využívajícího otočného stolu.....	90

Seznam tabulek

Tab. 1: Vybrané technické parametry MCV 1100 5X [upraveno z 1].....	17
Tab. 2: Rozdělení obrobků dle hmotnosti.....	40
Tab. 3: Porovnání paletizačních systémů.....	40
Tab. 4: Deformace otevřeného rámu.....	49
Tab. 5: Deformace uzavřeného rámu.....	49
Tab. 6: Deformace nosníku bez zatížení při maximálním výsuvu.....	51
Tab. 7: Deformace nosníku při maximálním zatížení a výsuvu.....	51
Tab. 8: Doporučené počty zubů [34].....	60
Tab. 9: Výsledky výpočtů.....	61
Tab. 10: Tabulka s vypočtenými hodnotami.....	68
Tab. 11: Volené pneumatické prvky.....	86
Tab. 12: Volené prvky sensoriky.....	88

Seznam použitého softwaru

- Microsoft office 365
- Siemens NX 12
- Ansys 2021 R1

Seznam příloh

Seznam textových příloh

- Příloha 1 – Krytování zařízení AVO
- Příloha 2 – Doba výsuvu teleskopického manipulátoru

Seznam elektronických příloh

- Text práce (.pdf)
- 3D modely:
 - 3D model hlavní sestavy DP-V-Sm (.stp)
- Výkresy:
 - Hlavní sestava Zařízení AVO č.v.: DP-V-S (.pdf)
 - Podsestava Manipulátoru č.v.: DP-V-S2 (.pdf)
 - Podsestava Polohování č.v.: DP-V-S3 (.pdf)
 - Podsestava Sestava pracoviště č.v.: DP-V-S4 (.pdf)

Seznam výkresové dokumentace

- Výkresy:
 - Hlavní sestava Zařízení AVO č.v.: DP-V-S
 - Podsestava Manipulátoru č.v.: DP-V-S2
 - Podsestava Polohování č.v.: DP-V-S3
 - Podsestava Sestava pracoviště č.v.: DP-V-S



FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Diplomová práce

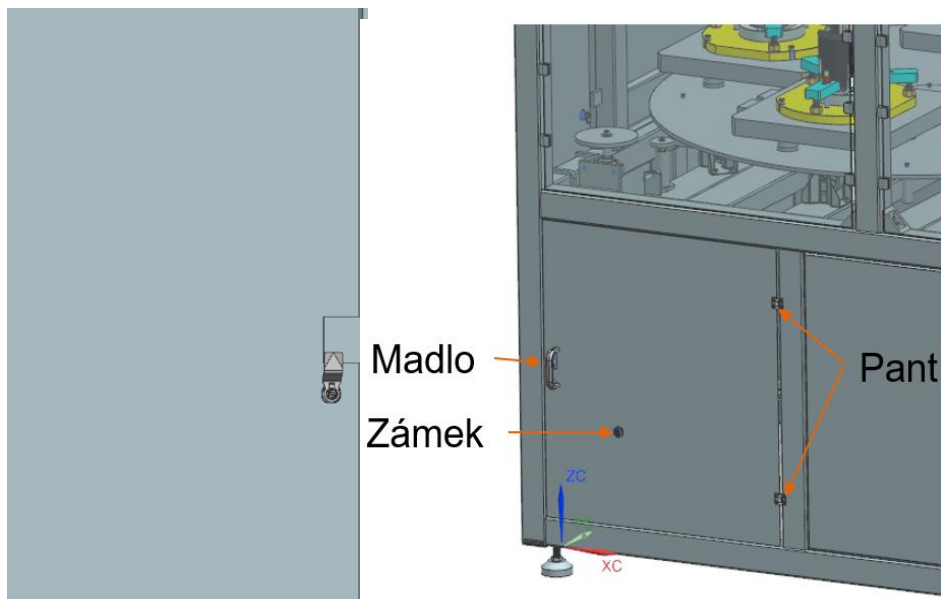
Automatická výměna obrobků pro obráběcí stroje MCV 1100 5X

Přílohy

Příloha 1: Krytování zařízení AVO

Přístupové dveře k pohonu otočného stolu a pneumatickému obvodu

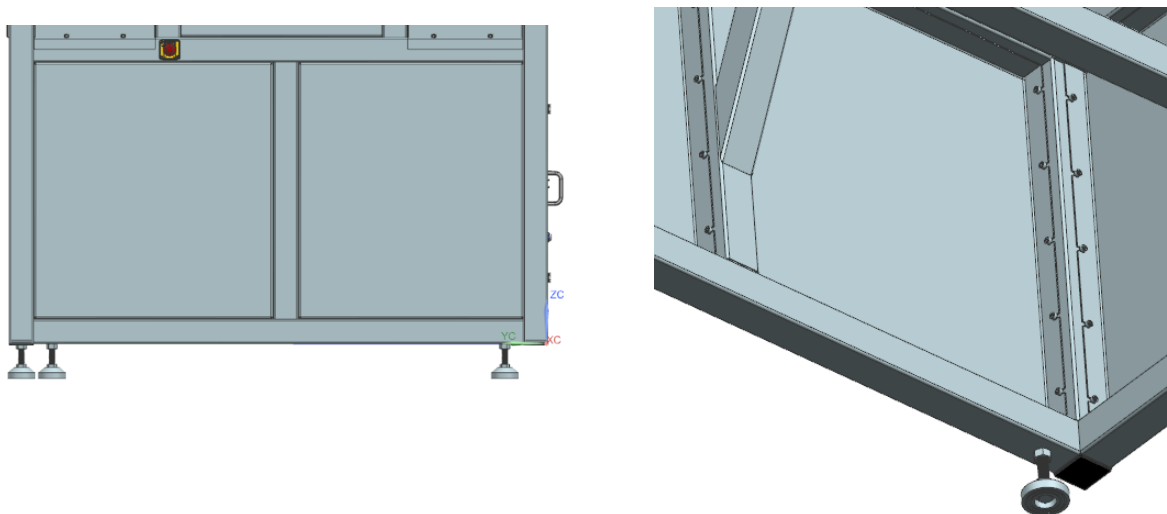
K přístupu do spodní části AVO slouží dveře, které se otevírají pomocí madla. K zajištění dveří slouží západková zamykatelná uzávěra.



Obr. P1: Přístup do dolní části AVO

Krytování dolní části stroje

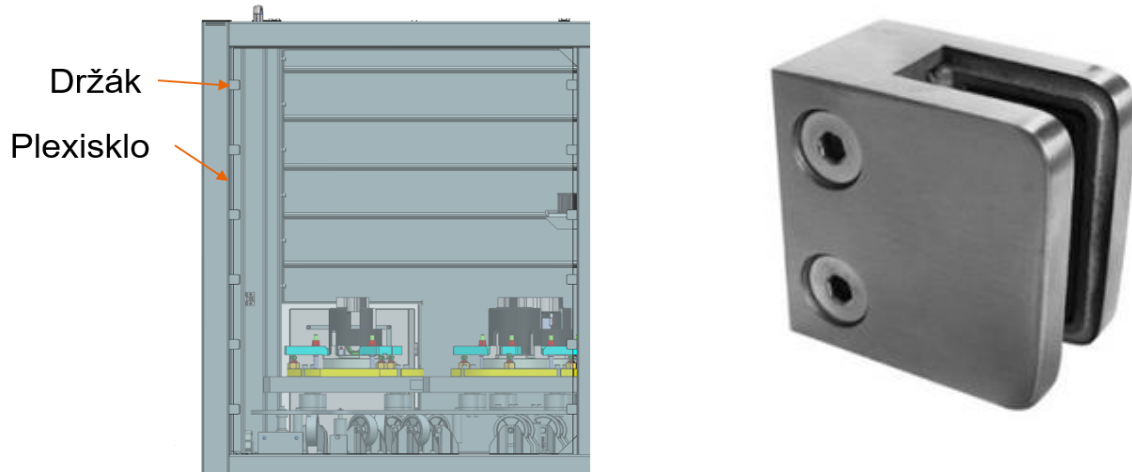
V spodní části stroje je krytování tvořeno hliníkovými nástrčnými kryty, které lze z vnitřku připevnit šrouby.



Obr. P2: Krytování dolní části AVO

Boční krytování pomocí tabulí z plexiskla

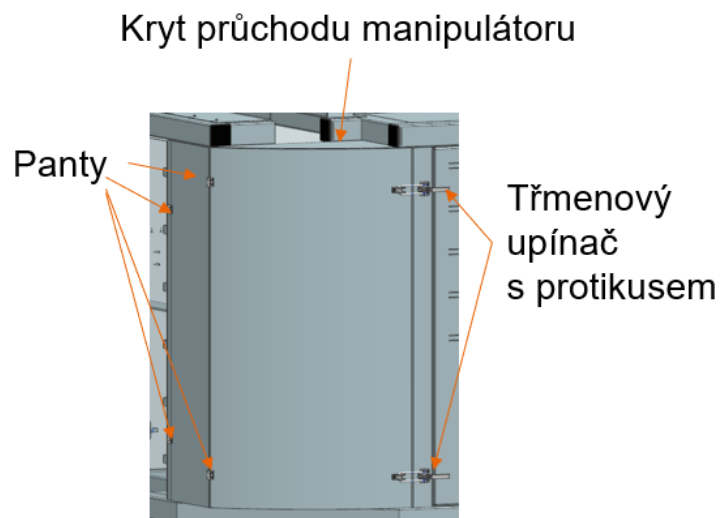
Uchycení tabulí je realizováno pomocí držáků skla, které jsou připevněny k rámu šrouby.



Obr. P3: Boční krytování pomocí tabulí z plexiskla[42]

Přístupové dveře pro manipulátor

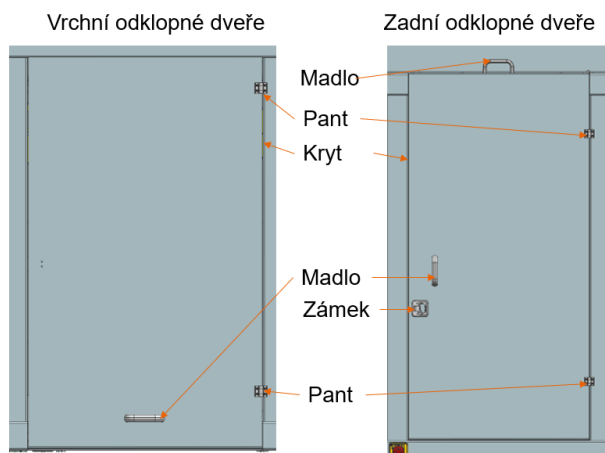
Pro zakrytí systému AVO v nečinnosti je průchod manipulátoru zakrytý krytem. Tento kryt se skládá z hliníkových plechů, které jsou k rámu stroje připevněny pomocí pantů. Kryt je zajištěn třmenovým upínačem s protikusem.



Obr. P4: Krytování přístupu k manipulátoru

Přístupové dveře pro nakládání palet s obrobky

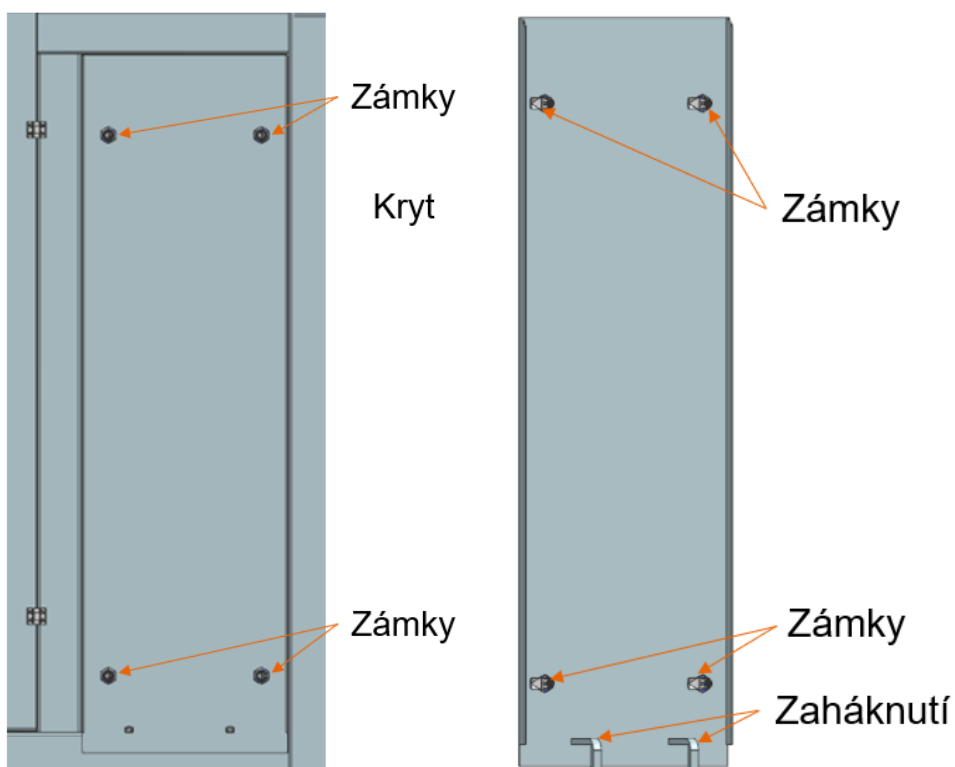
Pro nakládku palet s obrobky jsou v zadní a horní části zařízení AVO umístěné přístupové dveře. Zadní dveře jsou opatřeny panty a zámekem.



Obr. P5: Přístup k nakládání a vykládání palet

Zadní nasazovací kryty

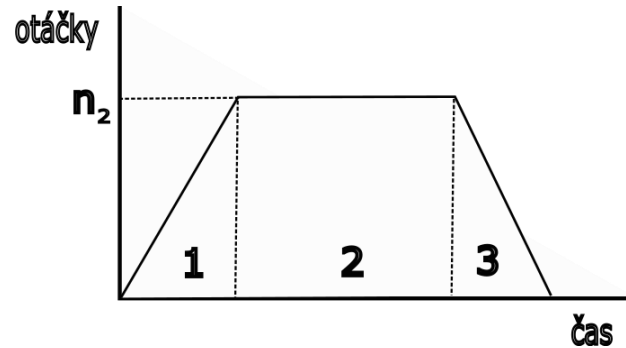
Pro zakrytování zadní strany jsou použity snadno odnímatelné plechy, které jsou v dolní části opatřeny háčky. Pro zajištění slouží zámky.



Obr.P9: Boční krytování

Příloha 2: Doba výsuvu teleskopického manipulátoru

Doba výsuvu teleskopu



Obr.P7: Průběh otáček stolu v čase

Při výpočtu doby výsuvu teleskopického manipulátoru si musíme průběh doby otáčení rozdělit na zrychlovací část, dobu při chodu na konstantních otáčkách a zpomalovací fázi.

Fáze č. 1 – teleskopu

Výpočet doby, po kterou osa zrychluje na otáčky n_2

Vstupní parametry pro výpočet:

$\varepsilon_s = 78,4 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$	úhlové zrychlení otočného stolu
$n_2 = 2,32 \text{ ot} \cdot \text{s}^{-1}$	otáčky otočného stolu
$r = 0,051 \text{ m}$	poloměr otočného stolu

$$t_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_2}{\varepsilon_s} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 2,32}{78,4} = 0,186 \text{ s}$$

úhel otočení

$$\varphi_1 = 0,5 \cdot \varepsilon_s \cdot t_1^2 = 0,5 \cdot 78,4 \cdot 0,186^2 = 1,356 \text{ rad} = 77,69^\circ$$

Fáze č. 2 – posun teleskopického manipulátoru při konstantních otáčkách

$\varphi_u = 4\,280,8 \text{ rad}$	Počet otáček potřebných pro přejezd konzoly z polohy z AVO do obráběcího stroje
$n_2 = 2,32 \text{ ot} \cdot \text{s}^{-1}$	otáčky otočného stolu
$r = 0,051 \text{ m}$	poloměr otočného stolu

Úhel φ_2 , o který se otočí stůl ve fázi č. 2

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= \varphi_u - 4 \cdot \varphi_1 = \\ \varphi_2 &= 4240,8 - 6 \cdot 77,69 = 3\,774,66^\circ = 65,88 \text{ rad} \end{aligned}$$

Úhlová rychlost

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_2}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 139,2}{60} = 14,58 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

Obvodová rychlost

$$v = \omega \cdot r = 14,58 \cdot 0,051 = 0,74 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Doba chodu na otáčkách

$$t_2 = \frac{r \cdot \varphi}{v} = \frac{0,051 \cdot 65,88}{0,74} = 4,54 \text{ s}$$

Fáze č. 3 – teleskopického manipulátoru

$$t_3 = 5 \cdot t_1$$

čas, po který stůl zpomaluje

$$t_c = t_1 + t_2 + t_3 = 0,186 + 4,72 + 0,93 = 5,83 \text{ s}$$

Pro zpomalování konzoly uvažují 5 x delší dobu zpomalování než její zrychlování. To mi zajistí postupné zpomalení a správný dojezd do koncové polohy.