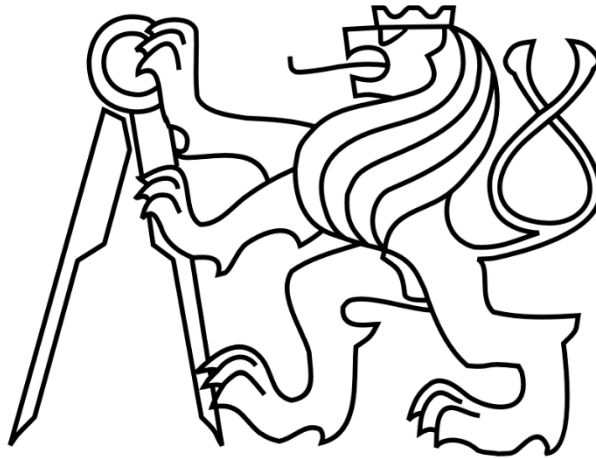


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Bakalářská práce

Automatická výměna obrobku pro MCV frézovací stroje

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Landa** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **484752**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Automatická výměna obrobku pro MCV frézovací stroje

Název bakalářské práce anglicky:

Automatic workpiece change for MCV milling machines

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Pro obráběcí stroje řady MCV navrhnete automatizaci výměny obrobků (AVO) na paletách. AVO bude umožňovat přístup do pracovního prostoru stroje. Maximální velikost obrobku průměr 500, výška 400 mm, maximální hmotnost 350kg; Osnova práce: Stav řešené problematiky, ověřit vhodnost kinematiky SCARA a manipulátoru VICELoader. Provést koncepční návrh manipulátoru s návrhem pohybových os. Navrhnout vhodný zásobník palet a jednoduchý způsob uchopování palety. Koncepčně navrhnout pracoviště AVO s obráběcím strojem - 3D model; Rozsah grafické části: potřebné sestavné výkresy; Rozsah textové části: 40 – 60 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] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 9788025479803; [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) bakalářské práce:

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

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **29.03.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25.07.2022**

Platnost zadání bakalářské 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

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

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

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

V Praze dne 25.7.2022

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Tomášovi Krannichovi, Ph.D. za odborné, ochotné a velice trpělivé vedení mé bakalářské práce a za věnovaný čas a podporu. Déle poděkování zaslouží ostatní pracovníci ústavu Výrobních strojů a zařízení a ústav mechaniky za nezbytnou podporu při řešení mechanismu manipulátoru.

Na závěr bych rád poděkoval i své rodině a přátelům nejenom za podporu a nekonečnou trpělivost během celého studia na vysoké škole.

Anotace

Autor:	Tomáš Landa
Název BP:	Automatická výměna obrobku pro MCV frézovací stroje
Rozsah práce:	76 str., 100 obr., 9 tab.
Školní rok vyhotovení:	2021/2022
Škola:	ČVUT v Praze – Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 – ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Tomáš Krannich, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Eduard Stach, Ph.D.
Zadavatel:	ČVUT v Praze – FS
Využití:	Automatické pracoviště výměny obrobku
Klíčová slova:	automatizace, obrobek, manipulátor, zásobník obrobků
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá koncepčním návrhem pracoviště automatické výměny obrobků u strojů řady MCV. Byla navržena konstrukce paralelogramu, včetně výpočtového modelu v programu MATLAB. Manipulátor je zabudován k zásobníku s kapacitou čtyř palet.

Annotation

Author:	Tomáš Landa
Title of bachelor thesis:	Automatic workpiece change for MCV milling machines
Extent:	76 p., 100 fig., 9 tab.
Academic year:	2021/2022
University:	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135
Supervisor:	Ing. Tomáš Krannich, Ph.D.
Consultant:	Ing. Eduard Stach, Ph.D.
Submitter of the Theme:	ČVUT in Prague – FS
Application:	Automated workpiece exchange workplace
Keywords:	automation, workpiece, manipulator, workpiece storage
Annotation:	Bachelor thesis is focused on the conceptual design of an automated workpiece exchange in MCV line machines The structure of parallelogram was design and include MATLAB calculation model. The manipulator is integrated to a workpiece storage with capacity of four pallets.



Obsah

Přehled použitých veličin a jednotek	9
Seznam použitých zkratk	10
1 Úvod	11
2 Motivace	12
3 Cíl práce	13
4 Řada strojů MCV Kovošvit MAS	14
4.1. MCV 1100 5x	14
4.1.1. Vnější rozměry MCV 1100 5x	15
5 Stav řešené problematiky	16
5.1. Technologické palety	17
5.1.1. Upínání obrobků na palety	17
5.1.2. Upínání palety k manipulátoru	17
5.1.3. Upínání palety do stroje	18
5.1.4. Výrobci palet a upínacích systémů nulového bodu	18
5.2. Manipulátory	22
5.2.1. Jednoučelové manipulátory	22
5.2.2. Portálové zakladače	23
5.2.3. SCARA	24
5.2.4. Robotická ramena	24
5.3. Zásobníky palet	25
5.3.1. Lineární	25
5.3.2. Kotoučové	26
5.4. Výrobci	27
5.4.1. DMG MORI	27
5.4.1. DOOSAN	28
5.4.2. EROWA	29
5.4.3. GROB	30
5.4.4. HAAS	31
5.4.5. HERMLE	31
5.4.6. HWACHEON	32
5.4.7. INDUMATIK	33
5.4.8. MAZAK	33
5.4.9. MIDACO	34



5.4.10. OKUMA.....	35
5.4.11. SPINNER	36
5.4.12. TANNO VICELOADER	36
5.4.13. ZEROCLAMP.....	36
5.5. Shrnutí řešerše.....	38
6 Varianty AVO.....	39
6.1. Boční zakládání.....	39
6.1.1. Návrh řešení bočního zakládání	40
6.2. SCARA	42
6.3. PARALELOGRAM.....	44
6.4. Shrnutí variant řešení AVO.....	45
7 Vlastní řešení konstrukce paralelogramu	46
7.1. Kinematika a kinematické vazby.....	47
7.2. Matematický model a výpočty	48
7.2.1. Táhla paralelogramu	51
7.2.2. Čepy.....	52
7.2.3. Kontrolní výpočty MKP	53
7.3. Upínání palety do CNC stroje	56
7.4. Návrh pohonů	57
7.4.1. Pohon paralelogramu.....	57
7.4.2. Výškové nastavení (osa y)	59
7.4.3. Rotace manipulátoru	59
7.4.4. Součinnost pohonů (superpozice).....	60
7.5. Pracovní cyklus	61
7.6. Konstrukce	63
7.6.1. Táhla	63
7.6.2. Uchyacení pístu	64
7.6.3. Rozhraní pro manipulaci s paletami	64
7.7. Zásobník palet.....	65
7.8. Zástavbové rozměry	67
8 Závěr	69
Seznam obrázků	71
Seznam tabulek	74
Seznam příloh.....	74
Seznam použité literatury.....	75



Přehled použitých veličin a jednotek

F	[N]	síla
R	[N]	reakce (síla)
F_p	[N]	síla v pístu
β	[°]	úhel natočení pístu
l_{fp}	[mm]	vzdálenost pístu od horní hřídele
α	[°]	úhel natočení táhel
l	[mm]	délka ramen
W_o	[mm ⁴]	průřezový modul v ohybu
B	[mm]	vnější šířka profilu
H	[mm]	vnější výška profilu
b	[mm]	vnitřní šířka profilu
h	[mm]	vnitřní výška profilu
σ_o	[MPa]	napětí v ohybu
M_o	[Nmm]	ohybový moment
σ	[MPa]	normálové napětí
S	[mm ²]	plocha
M	[Nmm]	moment
I	[kg/mm ²]	kvadratický moment setrvačnosti
α_{rot}	[rad/s ²]	úhlové zrychlení
τ	[MPa]	napětí ve smyku
Re	[MPa]	mez kluzu v tahu
k	[-]	bezpečnost
p	[MPa]	tlak



t	[s]	čas
V	[mm ³]	objem
Q	[l/min]	objemový průtok

Seznam použitých zkratk

CNC	Computer Numeric Control
MCV	Vertical Machining Center
AVO	Automatická Výměna Obrobků
SCARA	Selective Compliance Articulated Robot Arm
AVP	Automatická Výměna Palet
MKP	Metoda Konečných Prvků



1 Úvod

Při běžném procesu výroby nastává po dokončení frézovacího cyklu práce pro operátora, který musí zastavit stroj, otevřít pracovní prostor a manuálně očistit a vyjmout výrobek. Před založením nového polotovaru je často nutné čelisti svěráku vyčistit. Následuje správné upnutí nového polotovaru a spuštění dalšího pracovního cyklu stroje. S postupným vývojem techniky je snaha tyto vedlejší časy, kdy stroj stojí a nevyrábí, snížit na minimum. Zde přichází na řadu automatizace, která přenáší všechny vyjmenované činnosti na spolehlivý základní stroj. V případě paletizace pak odpadá nutnost čistit čelisti svěráku, neboť výrobek je již připraven na technologické paletě. [1]

Automatická výměna obrobků je dalším stupněm automatizace CNC strojů po automatické výměně nástrojů, která v dnešní době tvoří zavedený standard. Automatická výměna obrobků umožňuje plánovanou výrobu a v ideálním případě i nepřetržitý provoz obráběcích strojů. Automatickou výměnu obrobků, lze realizovat přímou manipulací obrobku nebo upnutím obrobku na nosný prvek např. paletu. Obě řešení mají své výhody a nevýhody. Přímá manipulace například klade vyšší požadavky na celkovou přesnost zakládání a upínání. Paletová automatizace umožňuje připravit obrobek na paletu v průběhu práce CNC stroje na jiném obrobku, a tak zkrátit vedlejší časy způsobené upínáním a středěním na minimum. [1]



2 Motivace

Hlavním podnětem práce je doplnění stroje MCV 1100 5x na Obr. 1, který je vybaven pěti řízeným osami a automatickou výměnou nástrojů, o automatickou výměnu obrobků pro dosažení plně automatického provozu. [2]



Obr. 1: Kovosvit MAS MCV 1100 5x [2]

Hlavní parametry stroje [2]:

- Zdvih osy: X / Y / Z = 880/650/550 mm
- Průměr desky otočného stolu: 520 mm
- Maximální zatížení stolu: 400 Kg
- Otáčky vřetene: 12 000 / 15 000 min⁻¹



3 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je prozkoumat možnosti automatizace výměny obrobků u vertikálních CNC obráběcích strojů řady MCV od firmy Kovosvit MAS.

Úkoly práce:

- Zjistit možnosti automatizace výměny obrobků, které se hodí pro automatizaci řady MCV.
- Návrh vhodné kinematiky.
- Tvorba matematického modelu manipulátoru pro zjištění reakcí ve vazbách.
- Návrh upínání a středění.
- Návrh pohonu vybrané osy manipulátoru.




Konstrukční koncepční návrh automatizovaného pracoviště musí zohledňovat řadu kritérií:

- Na vybrané variantě manipulátoru ověřit nosnost 400 kg vycházející z dovolené zatížení stolu MCV 1100 5x.
- AVO musí umožňovat plně automatický a plně manuální režim.
- Zásobník obrobků, který respektuje požadavek na nenarušení přístupu do obráběcího stroje.

4 Řada strojů MCV Kovosvit MAS

Řada CNC frézovacích strojů MCV se vyznačuje hlavní vertikální osou vřetene. Nejčastější konfigurací jsou tři ovládané osy a obdélníkový stůl. Číslo za zkratkou MCV označuje velikost pracovního prostoru v ose x, resp. pracovní posuv této osy. Na příkladu CNC s označením MCV 750 má pracovní posuv osy x 750 mm a velikost stolu v této ose dosahuje 1000 mm. Tab. 1 uvádí příklady strojů MCV včetně jejich základních specifikací. [2]

Tab. 1: Příklady CNC strojů z řady MCV

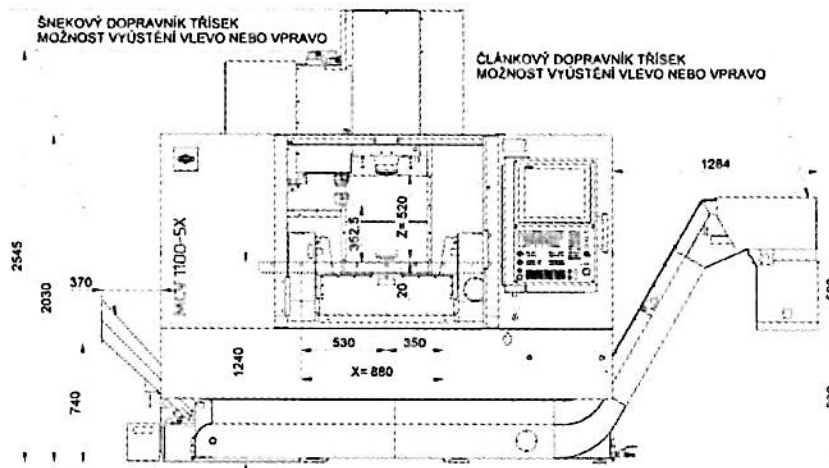
MCV 750	MCV 1100 QUICK	MCV 2200
 <p>Obr. 2: MCV 750 [2]</p>	 <p>Obr. 3: MCV 1100 QUICK [2]</p>	 <p>Obr. 4: MCV 2200 [2]</p>
Rozměry: X / Y / Z 750 / 500 / 500 mm Max. plocha stolu: 1 000 x 640 mm Max. zatížení stolu: 650 Kg	Rozměry: X / Y / Z 1 100 / 650 / 750 mm Max. plocha stolu: 1 300 x 650 mm Max. zatížení stolu: 1 250 Kg	Rozměry: X / Y / Z 2 220 / 860 / 860 mm Max. plocha stolu: 2 400 x 850 mm Max. zatížení stolu: 3 500 Kg

4.1. MCV 1100 5x

Výjimku v řadě MCV tvoří stroj MCV 1100 5x. Tento stroj není vybaven obdélníkovým stolem, ale kolébkou s rotační deskou (stolem). Kolébka přidává další dvě ovládatelné osy. CNC MCV 1100 5x je tedy schopné obrábění v pěti osách. Bohužel kolébka tvoří překážku pro AVO a z tohoto důvodu byl stroj MCV 1100 5x zvolen pro řešení automatizace (zakládání do tohoto stroje, bude nejsložitější) a zároveň je zde předpoklad, že automatizace bude s minimálními úpravami použitelná i pro ostatní stroje řady MCV. [2]

4.1.1. Vnější rozměry MCV 1100 5x

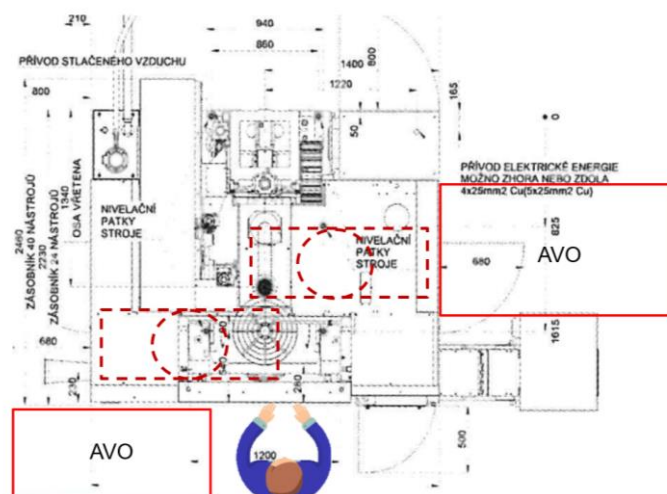
Na Obr. 5 jsou uvedené vnější rozměry MCV 1100 5x, při pohledu na čelo stroje. [2]



Obr. 5: Vnější rozměry MCV 1100 5x [2]

Přístup do stroje

CNC stroj MCV 1100 5x nabízí celkem tři vstupní dveře do pracovního prostoru. Hlavní jsou pojezdové přední dveře, které je možné osadit automatickým ovládáním a zároveň představují největší vstupní prostor. Další dvojice dveří se nachází na stranách stroje. Dveře na levém boku, bohužel nelze pro AVO využít z důvodu již instalované automatické výměny nástrojů. Levé dveře tak slouží pouze pro obsluhu zásobníku nástrojů. Pro zakládání obrobků je tedy dále možné použít pravé boční dveře. Na Obr. 6 jsou vyznačeny místa, kde je možné umístit AVO s minimálním zásahem do prostoru pro obsluhu. [2]



Obr. 6: Vhodné umístění AVO [2]

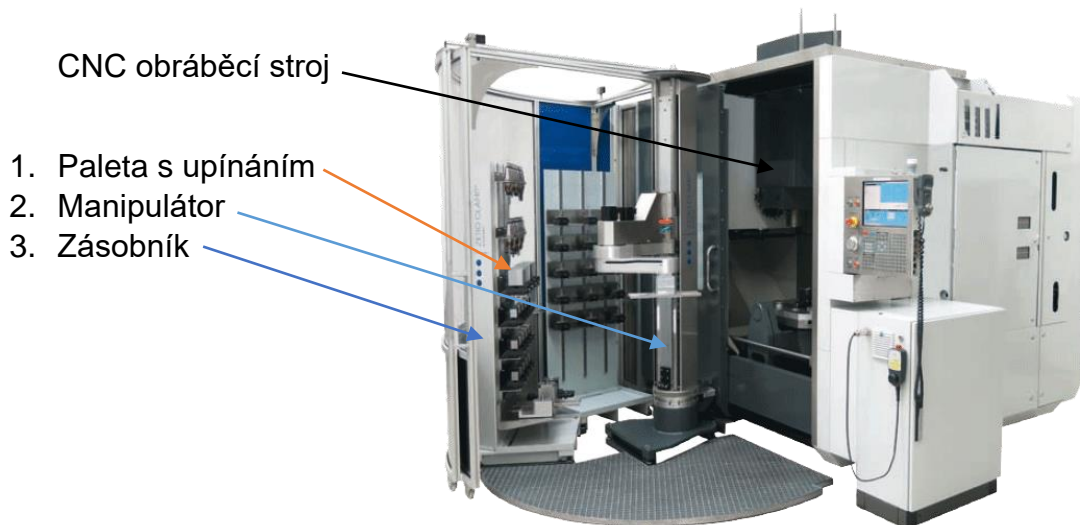
5 Stav řešené problematiky

Tato rešerše k bakalářské práci se zaměřuje na výměnu obrobků úzce specializovanou na výměnu palet.

Paletová výměna obrobků umožňuje realizovat přípravu polotovaru určeného pro obrábění na obráběcí stroji mimo jeho pracovní prostor, čímž dochází ke snížení vedlejších časů, zejména při upínání složitějších dílců. Pro bezobslužný provoz je nutné paletu a stůl stroje vybavit přípravkem pro upnutí palety a definovat v souřadném systému referenční bod. [1]

Automatická výměna palet může probíhat přímo v CNC stroji, například pomocí rotačního dvojstolu, případně mimo stroj pomocí přídatné jednotky, přičemž je možná i kombinace, kdy je paleta s připraveným polotovarem nasazena na volnou pozici stolu stroje a po dokončení obráběcího cyklu dochází k téměř okamžité výměně. Přídatná jednotka může být integrována přímo do stroje během výroby, či později připojena mimo jakožto retrofit. [1]

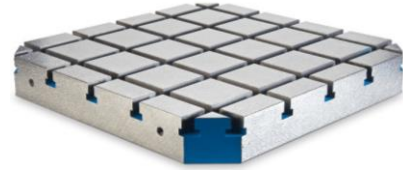
Následující Obr. 7 představuje vzorové pracoviště vybavené automatickou paletovou výměnou s manipulátorem, který není základní součástí CNC stroje.



Obr. 7: Pracoviště s automatizací ZEROBOT 100-P [3]

5.1. Technologické palety

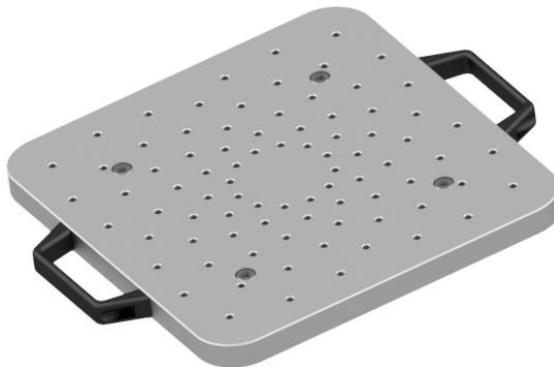
Jedná se o speciálně upravené palety určené pro technologii automatické výměny. Palety slouží ve výrobním procesu jakožto nosiče obrobků. Paleta ve stroji nahrazuje běžný stůl obráběcího stroje. Požadavek na kvalitu provedení, životnost a rozměrovou stálost zvyšuje cenu technologických palet, tudíž je snaha vyrábět palety v normalizovaných velikostech a provedeních. Na trhu se nachází široká škála tvarů a velikostí palet, na Obr. 8 se nachází paleta s T drážkami. [4], [5]



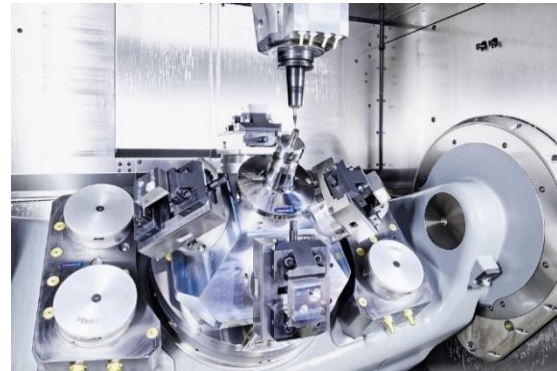
Obr. 8: Technologická paleta s T drážkami [6]

5.1.1. Upínání obrobků na palety

Jediná paleta dovoluje upnutí velmi různorodých obrobků za pomoci rozličných přípravků a upínek. K tomuto účelu se na vrchní straně desky užívá systému T drážek, závitových, případně lícovaných otvorů. Paleta s lícovanými otvory se nachází na Obr. 9. [1], [5]



Obr. 9: Paleta českého výrobce VTECH [6]



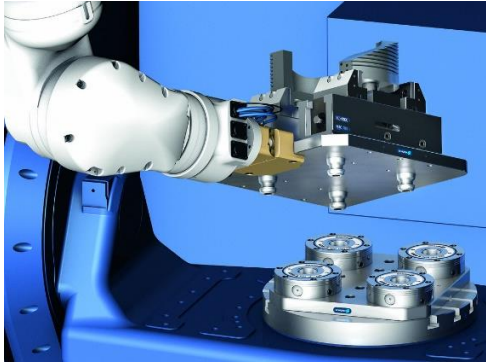
Obr. 10: Upínací pyramida SCHUNK [4]

Upínací věže a pyramidy na Obr. 10, představují moderní způsob upnutí více obrobků současně, čímž snižují vedlejší časy výroby. Na obrázku se nachází upínací pyramida od společnosti SCHUNK. [4], [7]

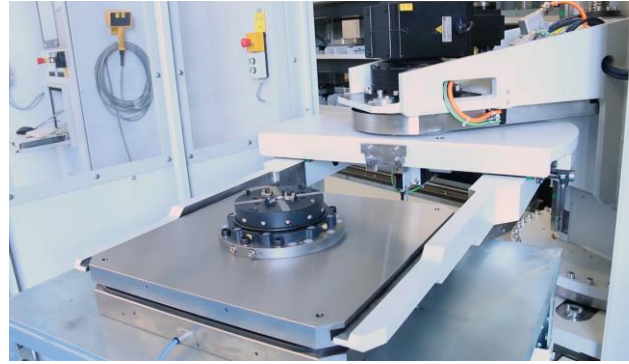
5.1.2. Upínání palety k manipulátoru

Ruční manipulace palet je zajišťována madly pro snadné a jisté přenášení. Těžké palety jsou vybaveny možností připnutí k jeřábu. [5]

Palety určené pro automatickou manipulaci jsou vybaveny upínáním, jenž se nachází typicky na čele palety a slouží k snadnému a rychlému ustavení palety s manipulátorem na Obr. 11. Další variantou řešení je systém kolejnic na spodní straně palety, případně vyfrézované drážky do bočních stran palety na Obr. 12. [1], [5]



Obr. 11: Modul SCHUNK NSR [8]



Obr. 12: EROWA LOADMASTER [9]

5.1.3. Upínání palety do stroje

Pro přesnou, rychlou a spolehlivou automatizaci výrobního procesu je nutné zajistit dokonalé upnutí palety do stroje při každém pracovním cyklu. Velice rozšířený způsob upínání představuje systém nulového bodu. Systém upíná paletu za pomoci čepů a upínacích mechanismů. Při upínání je pomocí kuželových děr dosaženo přesné usazení čepů. Příklad upínání do nulového bodu palety a upínací věže SCHUNK zobrazen na obrázku č. 13. [4], [8]



Obr. 13: Upínací věž SCHUNK [8]

5.1.4. Výrobci palet a upínacích systémů nulového bodu

Výrobou palet a upínacích zařízení se zabývá celá řada firem. Vybraní výrobci využívají systém upnutí palety do nulového bodu.

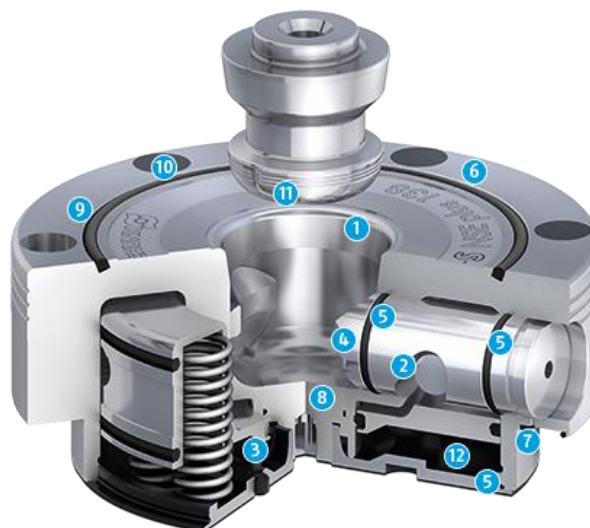
SCHUNK

Společnost SCHUNK představuje naprostou špičku v segmentu upínání obrobků. Portfolio firmy čítá řadu systémů i pro automatickou výměnu palet. Upínače pro systém upnutí do nulového bodu nesou obchodní značku VERO-S na Obr. 13. [8]



Obr. 14: SCHUNK VERO-S [8]

Systém VERO-S na Obr. 14 umožňuje snížení doby nastavení až o 90 % a je určen pro tři až pětiosá obráběcí centra, pro upínání obrobků, palet, upínacích věží pomocí jednoho nebo více upínacích čepů. Polohování je zajištěno pomocí krátkého kužele, čímž je dosaženo přesnosti výměny <math><0,005\text{ mm}</math>. Na Obr. 15 se nachází detail mechanismu upínacího hnízda VERO-S. [8]



Obr. 15: Konstrukce SCHUNK VERO-S [8]

Klíčové prvky konstrukce upínače:

- 1: Vysoce přesné středění krátkým kuželem
- 4: Velké povrchy pístů pro přenos přídržných sil
- 5: Kompletní utěsnění systému
- 6: Velký povrch pro maximální tuhost spojení
- 9: Ploché těsnění pro ochranu před třískami a chladicí emulzí

EROWA

Výrobce komplexního řešení automatizace EROWA nabízí palety a upínací systémy s mnohaletou tradicí. Výběr tří systému na Obr. 16. [9]

- HIGH PRECISION CHUCKS
 - Špičkové upínání s opakovatelností 0,001 mm.
 - Upínání o síle až 20kN.
- MODULAR TOOLING SYSTEM (MTS)
 - Opakovatelnost 0,003 mm.

- UNIVERSAL POWER CHUCK
 - Opakovatelnost 0,002 mm.



Obr. 16: EROWA HIGH PRECISION CHUCKS / MTS / UPC [9]

GARANT ZEROCLAMP

Přesné upínání do nulového bodu. Pro odblokování čepu je nutné připojení stlačeného vzduchu o tlaku 6 barů. Opakovatelnost upnutí dosahuje odchylky méně než 0,025 mm. Všechny součásti upínače jsou vyrobeny z nerezové oceli. V řezu upínacího hnízda na Obr. 17 je vidět upínací mechanismus s pružinou. [10]



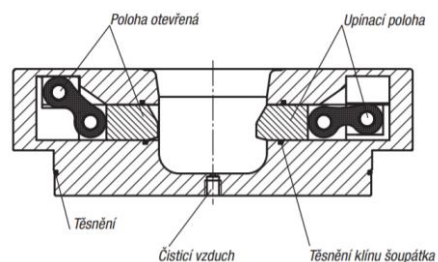
Obr. 17: GARANT ZEROCLAMP [10]

KIPP

Společnost KIPP nabízí komplexní řešení paletizace. Základové desky, palety, upínací věže a pyramidy, včetně systému upínání do nulového bodu pod obchodní značkou UNI LOCK Obr. 18 a schéma na Obr. 19. Modulární systém pro upínání palet, přípravků, svěráků či přímo obrobků, umožňuje okamžitou výměnu s definovaným nulovým bodem a opakovatelností nižší než 0,005 mm. Systém je vybaven vyfukováním prostoru upínače, které zajišťuje přesné upnutí za jakýkoliv podmínek. [11]



Obr. 18: KIPP UNI LOCK [9]



Obr. 19: Schéma KIPP UNI LOCK [9]

V-TECH

Mezi výrobce systémů upínání do nulového bodu patří i česká firma V-TECH. Svůj modulární upínací systém nabízí pod označením ZEPO-v na Obr. 20, jedná se o samosvorné pneumaticky ovládané upínače s upínací silou až 24kN, při pracovním tlaku 8 barů. Opakovatelnost upnutí je menší než 0,005 mm. V nabídce firmy se nachází řešení pro manuální i automatizovanou výměnu palet. [7]



Obr. 20: Upínače ZEPO-v [7]

Shrnutí upínacích systémů nulového bodu

Z Tab. 2 je patrné, že nejvyšší upínací síly dosahují systémy VERO-S od společnosti SCHUNK a UNI-LOCK výrobce KIPP. Při porovnání vnitřních stavby těchto dvou upínačů je patrný značný rozdíl, který se bude odrážet hlavně v počáteční investici do zařízení. VERO-S patří do skupiny mechanicky složitých upínačů, naopak UNI-LOCK patří mezi kinematicky jednoduché mechanismy. Z pohledu nejlepší opakovatelnosti vychází nejlépe systém EROWA HIGH PRECISION CHUCKS s přesností jednoho mikrometru, jenž nabízí rovněž velkou upínací sílu.

Tab. 2: Systémy upínání do nulového bodu [7], [8], [9], [10], [11]

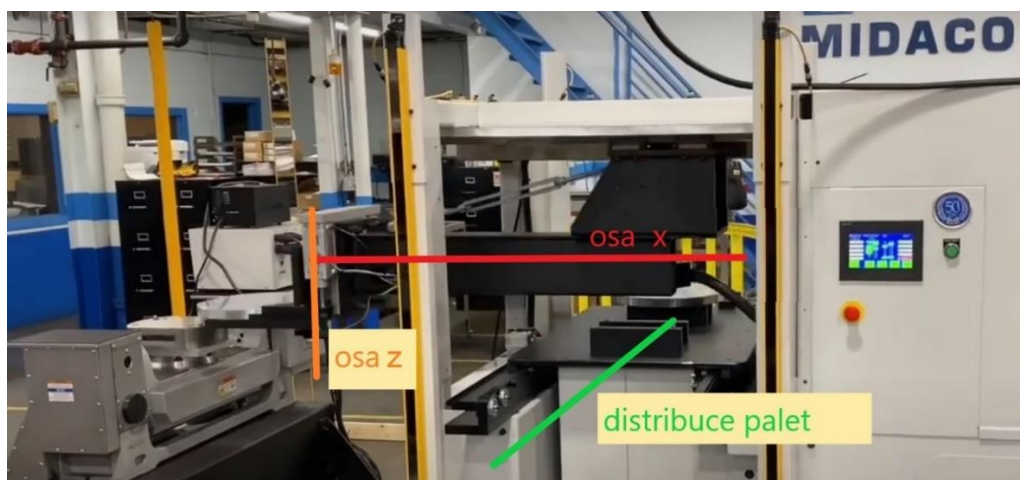
Výrobce (TYP)	Upínací síla [kN]	Opakovatelnost [mm]	Upínací elementy	Ovládání
SCHUNK VERO-S	75	0,005	Pružiny + upínací lišta	Pneumaticky
EROWA HPC	50	0,001	Pružiny + kuličky	Pneumaticky
EROWA MTS	20	0,003	Pružiny + kuličky	Pneumaticky
EROWA UPC	20	0,002	Pružiny + kuličky	Pneumaticky
GARANT ZEROCLAMP	40	0,025	Pružiny + upínací lišta	Pneumaticky
KIPP UNI-LOCK	75	0,005	Šoupátko	Pneumaticky
V-TECH	24	0,005	Pružiny + kuličky	Pneumaticky

5.2. Manipulátory

Manipulátory dle svého názvu slouží k manipulaci s obrobkem do a z pracovního prostoru stroje. V současné praxi automatické výměny obrobků se ve velké míře uplatňují jednoúčelové manipulátory, portálové zakladače, případně robotická 6osá ramena. [5], [12], [13],

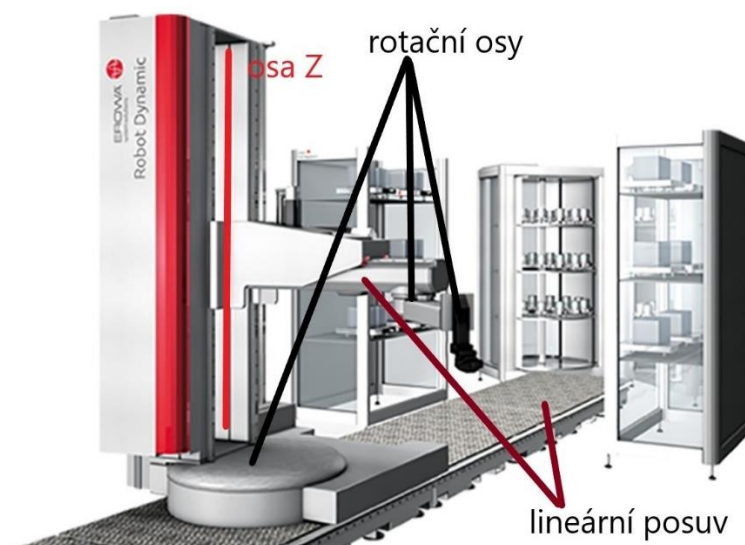
5.2.1. Jednoúčelové manipulátory

Tyto manipulátory jsou určeny pro konání jednoduchého pohybu v cyklech za pomoci minimálního počtu os. Nejjednodušší manipulátory, které vyrábí například firma MIDACO, mají pouze dvě lineární osy na výsuv a zdvih palety, příklad na Obr. 21. [14]



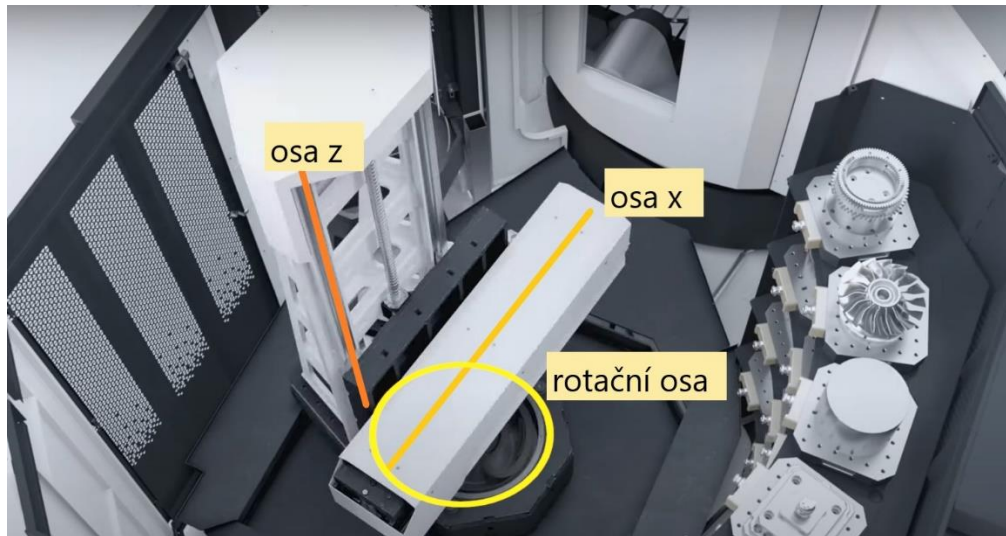
Obr. 21: MIDACO PALLET CARTS [14]

Pro velké lineární zásobníky se využívají kolejové dráhy, po kterých se pohybují jednoduché manipulátory s lineárním vedením pro těžké obrobky na Obr. 22, případně mechanicky složitější manipulátory s nižší nosností. [1], [9]



Obr. 22: EROWA ROBOT DYNAMIC [9]

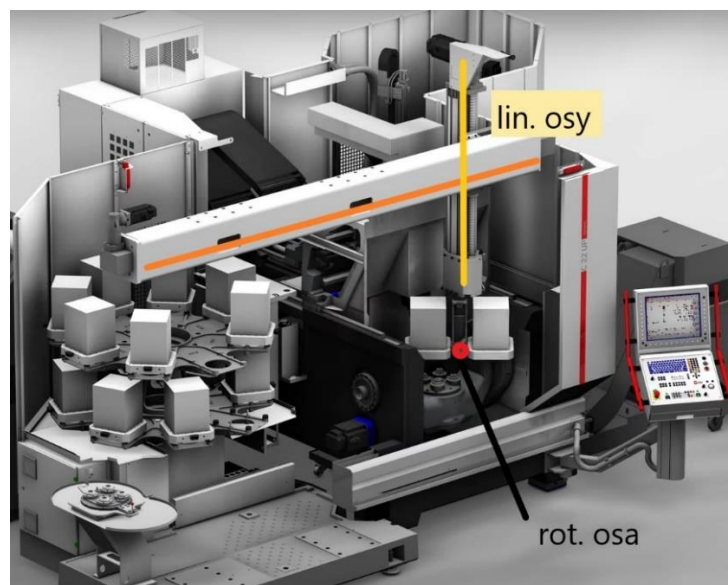
Další skupinu jednoúčelových manipulátorů tvoří ramena s rotací a výsuvem. Jednotka na Obr. 23 je vybavena rotační osou pro natočení manipulátoru k pozici v zásobníku a dvěma posuvnými v osách X a Z pro vyložení a výškovou manipulaci s paletou. [5], [15]



Obr. 23: DMG MORI PH CELL [15]

5.2.2. Portálové zakladače

Portálové zakladače využívá ve svých řešení automatické výměny palet jen velmi málo výrobců. Výhodou portálového zakladače může být neomezení přístupu do stroje, či jeho integrace přímo ve stroji. Naopak nevýhoda řešení spočívá ve velké složitosti konstrukce a malé nosnosti manipulátoru. Portálový zakladač využívá pro svůj systém automatické výměny palet firma HERMLE model PW 150, který se nachází na Obr. 24. [5], [12], [16]



Obr. 24: HERMLE PW 150 [16]

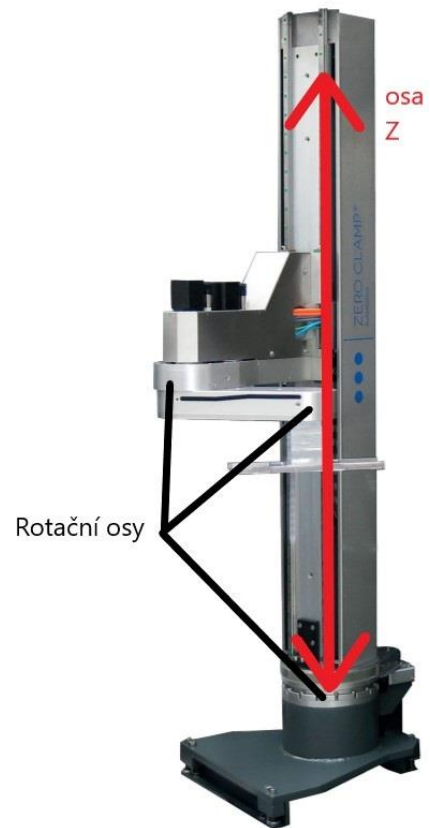
System na obrázku se skládá z rotačního vícepatrového zásobníku, portálového zakladače a CNC obráběcího stroje HERMLE C22 U. Portálový zakladač je vybaven dlouhým lineárním vedením v ose X, které je integrováno do konstrukce CNC stroje, horizontální osou Y a rotačně uloženou hlavou pro uchopení dvou palet současně. Uspořádání nenarušuje přístup obsluhy do obráběcího prostoru stroje. [12], [16]

5.2.3. SCARA

Pro automatickou výměnu obrobků, respektive palet, je možné využít i robotický manipulátor typu SCARA. Řešení představuje výhodu v nezhoršeném přístupu k obráběcímu stroji. Další výhodou může být využití kolaborativního režimu, kdy lze manipulátor využít k ruční manipulaci s paletou. Manipulátory tohoto typu jsou vhodnější spíše pro malé obrobky. Společnost Kovosvit MAS se již v minulosti řešením automatizace pomocí robotů SCARA zabývala. Na Obr. 25 se nachází SCARA manipulátor ZEROBOT. [3], [13]

5.2.4. Robotická ramena

Robotická ramena v dnešní době nacházejí uplatnění v řadě průmyslových i stavebních odvětví. V průmyslu jsou nejčastěji využívány pro svařování a montáž. V těchto činnostech je nutná velmi vysoká míra polohovatelnosti a dosahu manipulace. Proto není s podivem, že jsou vhodná i pro automatickou výměnu obrobků v CNC strojích, kde jsou vhodná pro kusové zakládání obrobků. Vhodné je spojení robotického ramene se strojovým viděním, tato kooperace umožňuje manipulaci s nezaříděnými výrobky, typicky CNC soustruhy. V oblasti automatické výměny palet nejsou vhodným řešením, v porovnání s jednoúčelovými manipulátory, zejména kvůli vysoké pořizovací ceně, množství pohybových os a nákladnému servisu. Na Obr. 26 se nachází mobilní řešení automatizace s robotickým ramenem. [1], [3], [5], [13], [17]



Obr. 25: ZEROBOT 100-P [3]



Obr. 26: HURCO PROFEEDER [15]

5.3. Zásobníky palet

Zásobníky se využívají pro uchování palet s výrobky a polotovary. Zásobníky umožňují nepřetržitý provoz CNC strojů. Jejich kapacita závisí na požadavcích zákazníka a variabilitě systému, dále se odvíjí od použitých palet a jejich velikosti. Typy zásobníků lze snadno rozdělit do následujících kategorií. [1], [5], [13], [17]

5.3.1. Lineární

Lineární zásobníky lze dále rozdělit do základních kategorií jednopatrových a vícepatrových. [5], [17]

Jednopatrové jsou vhodné pro nejtěžší a nejrozměrnější obrobky. Často využívají manipulátory s jednoduchou kinematikou či kolejové manipulátory. Příklad od firmy DMG MORI na Obr. 27 představuje manipulaci s velkým obrobkem a přímým zakládáním do pracovního prostoru stroje po kolejovém lineárním vedení. [15]

Víceúrovňové lineární zásobníky jsou často vybaveny přímým zakládáním palet do pozic, bez nutnosti zásahu manipulátoru. Jsou vhodné spíše pro malé a střední obrobky. Na Obr. 28 se nachází pohled do stroje INDUMATIK. [19]



Obr. 27: DMG MORI LPP [15]



Obr. 28: INDUMATIK [19]

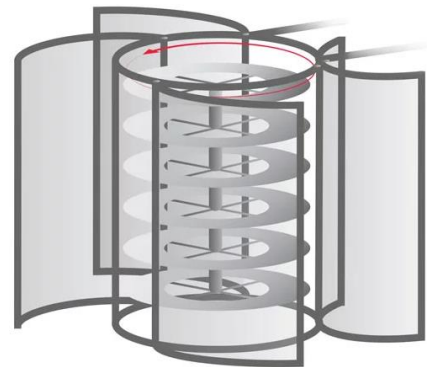
5.3.2. Kotoučové

Kotoučové zásobníky se dále dělí na pohyblivé a nepohyblivé. Oba typy mohou být více patrové. [5], [17]

Rotační pohyblivé zásobníky jsou vybaveny akčním členem, který otáčí celým zásobníkem včetně palet. Jsou určeny pro malé až střední obrobky. Rotační pohon zásobníku snižuje požadavek na počet os manipulátoru. Obr. 29 znázorňuje rotační kotoučový zásobník EROWA EASY 800 a zásobník automatizace Viceloader na Obr. 30. [9], [13], [20]



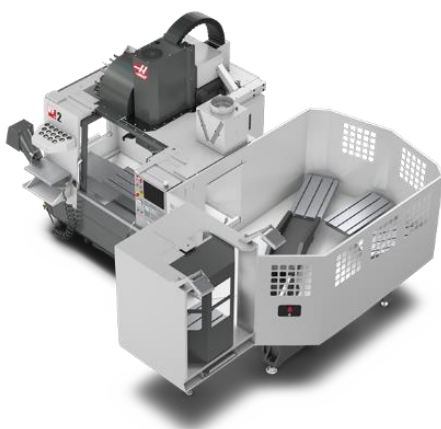
Obr. 29: Zásobník EROWA EASY 800 [9]



Obr. 30: Zásobník Viceloader [20]

Nepohyblivé rotační zásobníky jsou vhodné pro střední až velké obrobky. Jednoduchá konstrukce kotoučového nepohyblivá zásobníku na Obr. 31 od výrobce HAAS. [5], [21]

Řešení v podobě vícepatrového nerotačního kotoučového zásobníku se v praxi vyskytuje nejčastěji. Předností je malá zástavbová půdorysná plocha společně s vysokou variabilitou pro uložení malých a středních obrobků. Na Obr. 32 je pohled do stroje HWACHEON HMP. [22]



Obr. 31: HAAS VF-2 [21]



Obr. 32: HWACHEON HMP [22]

5.4. Výrobci

Automatickou výrobou obrobků a palet se v posledních letech zabývají velké společnosti na výrobu CNC obráběcích strojů. Firmy DMG MORI, GROB, HAAS, DOOSAN jsou zástupci kategorie výrobce CNC strojů a řešení jejich automatizace. Další skupina firem se soustředí na vývoj automatizace nejenom CNC strojů, příkladem EROWA, INDUMATIK, ZERO CLAMP, MIDACO. V rámci rešerše bakalářské práce byla vytvořena přehledná tabulka výrobců a jejich řešení dané problematiky. Vybrané části tabulky jsou zformátovány a umístěny mezi přílohami bakalářské práce. [3], [9], [14], [15], [16], [21]

5.4.1. DMG MORI

Společnost DMG MORI nabízí širokou škálu variant automatické výměny obrobků. V jejím výrobním programu se nacházejí stroje pro automatickou výměnu samotných obrobků, a především stroje pro paletovou automatizaci. Vyjmenované systémy jsou řazeny dle maximální přípustné manipulační hmotnosti obrobků. [15]

Řada AWC

Řada AWC je určena pro manipulaci s nejmenšími a nejlehčími obrobky. Používá kotoučový zásobník a manipulátor ve formě otočného ramena s výsuvem. V běžné řadě je možná maximální hmotnost obrobku 25 kg, v případě stroje na míru, dosahuje maximální přípustná hmotnost obrobku až 80 kg. Kapacita zásobníku AWC 25 umožňuje využití 2 pozic pro maximální velikosti obrobku 300 x 300 mm, případně 6 pozic při objemově menších obrobkách. AWC 6 při maximální hmotnosti obrobku 6 kg disponuje až 15 paletovými pozicemi. [15]

Řada PH

Modelová řada PH společnosti DMG MORI se dále dělí na sérii PH 10, PH 150 a PH Cell. [15]

Variantě PH Cell dovoluje statický kotoučový zásobník ve spojení s rotačním výsuvným ramenem uložení palet ve 40 pozicích s maximální hmotností obrobku včetně palety 300 kg. Standardně systém pojme materiál o maximálním průměru

500 mm s výškou 500 mm, přičemž zásobník umožňuje uložení různých velikostí palet zároveň. Na Obr. 33 se nachází systém PH Cell. [15]



Obr. 33: DMG MORI PH CELL [15]

PH 10, PH 150 využívají koncepci rotačního kotoučového zásobníku a lineárního výsuvného ramene manipulátoru. Dle číselného označení PH 10 operuje s výrobky do hmotnosti 10 kg a průměru 156 mm, které se dají

uskladnit v celkem 99 pozicích. PH 150 s kapacitou od 4 do 24 palet a maximální nosností 250 kg. [15]

Řada LPP, CPP

Paletové systémy pro největší obrobky a zatížení. Lineární paletový zásobník systému LPP, jehož maximální kapacita se odvíjí od přání zákazníka, potažmo velikosti výrobních prostor, je schopen uložení téměř jakéhokoliv dílce či polotovaru. Manipulátor na kolejích umožňuje přepravu těžkých a objemných obrobků. Vrcholová řada LPP 250 se pyšní maximální hmotností výrobku 10 000 kg, který může být uložen na paletě 2 500 x 2 500 mm. Řada CPP představuje kompaktní řešení pro obrobky do 3000 kg na paletách 1000 x 1000 mm. [15]

Autonomní vozík PH-AGV

Velmi netradiční a originální způsob automatické výměny palet, představuje kolaborativní autonomní vozítko PH-AGV na Obr. 34. Na vývoji se kromě DMG MORI podílela společnost Jungheinrich, která je čelním výrobcem paletových a vysokozdvíhových vozíků i další manipulační techniky. Vysoce variabilní řešení, využívá ke skladování palet s obrobky regály a nenarušuje volný přístup k obráběcímu stroji. Samozřejmě je možnost obsluhy několika center zároveň, včetně snadného rozšíření o další stroje a skladovací zásobníky. V závislosti na zvolené konfiguraci systém pojme obrobky o maximálním průměru 1350 mm a hmotnosti až 4 000 kg. [15]



Obr. 34: DMG MORI PH-AGV [15]

5.4.1. DOOSAN

Řešení společnosti DOOSAN na Obr. 35 se zaměřuje zejména na velké a těžké obrobky. Víceúrovňový lineární zásobník ve spojení s kolejovým manipulátorem nabízí dostupnou nosnost 2 000 kg, kapacitu zásobníku 8 až 72 pozic. Vysoká flexibilita dovoluje obsluhu až sedmi strojů současně. Do zásobníku lze vložit paletu o rozměrech 1250 x 1250 mm, která pojme obrobek průměru 1 450 mm. [23]



Obr. 35: DOOSAN [23]

5.4.2. EROWA

Jak již bylo popsáno v úvodu této kapitoly společnost EROWA se zaměřuje na automatizaci CNC obráběcích center. Společnost nabízí širokou škálu řešení upínání obrobků a paletizace. [9]

EROWA COMPACT

Stroj s malým zástavbovým prostorem na Obr. 36, jenž dle zvolené konfigurace umožňuje obsluhu až dvou strojů současně. Variabilní zásobník lze využít kromě úschovy připravených palet s obrobky, také pro uložení nástrojů a jejich automatizovanou výměnu. Maximální hmotnost obrobku 80 kg. [9]



Obr. 36: EROWA COMPACT 80 [9]

EROWA ROBOT MULTI

Úzký a vysoký design ve spojení s rotačním ramenem a kotoučovým zásobníkem na Obr. 37, jenž lze naplnit paletami a nástroji v celkem 270 pozicích, činí z ROBOT MULTI ideální řešení pro velkosériovou výrobu malých součástek. V případě potřeby je možné do zásobníku naložit palety o velikosti 320 x 320 mm a hmotnosti obrobku 80 kg. Možnost obsluhy dvou strojů současně. [9]



Obr. 37: EROWA ROBOT MULTI [9]

EROWA LEONARDO

Patrový zásobník pojme až 32 palet 320 x 320 mm, maximální velikost palety činí 500 x 500 mm. Předností systému je rameno s dlouhým výsuvem až 1565 mm v ose X, které umožňuje zakládání i do velkých CNC strojů. Obsluha dvou strojů současně. Integrovaná nakládací stanice. Čtvercový půdorys stroje dosahuje 2 x 2 m na Obr. 38. [9]



Obr. 38: EROWA LEONARDO [9]

EROWA EASY

Řada s přídomkem EASY na Obr. 39 označuje stroje pro paletovou výměnu s rotačním pohyblivým zásobníkem a ramenem s lineárním výsuvem.



Pojmenování EASY 250 a EASY 800 označuje maximální nosnost manipulátoru v kg. Rameno manipulátoru je v klidové pozici uloženo uprostřed zásobníku, díky tomu systém zabírá malý prostor. [9]



Obr. 39: EROWA EASY 250, EROWA EASY 800 [9]

EROWA DYNAMIC

Řada strojů DYNAMIC na Obr. 40 představuje kolejové manipulátory s lineárními zásobníky s nosností 150, 250 a 500 kg, zároveň umožňuje obsluhu více strojů současně. Koncepte dovoluje prakticky neomezený počet skladovacích pozic. [9]



Obr. 40: EROWA DYNAMIC 150L, 250, 500 [9]

EROWA LOADMASTER

Pro manipulaci s těžkými obrobky do hmotnosti až 4 000 kg manipulátor je vybaven čelistmi s nastavením rozteče pro uchycení malých a velkých palet, bez nutnosti výměny upínače. [9]

5.4.3. GROB

Výrobce CNC frézovacích center GROB nabízí pro své stroje řešení automatické, jak v podobě paletové, tak i kusové výměny obrobků. Z paletové automatizace nabízí nejčastější varianty s lineárním a kotoučovým zásobníkem palet. [24]

PSS-R LIGHT

Kotoučový systém pod označením PSS-R Light nabízí rotační zásobník vybavený ramenem s výsuvem, jehož maximální kapacita umožňuje 8–10 palet do hmotnosti 300 kg. PSS-R Light disponuje velmi malou plochou zástavby. [24]

PSS-R

PSS-R bez přídomku LIGHT je vybavený statickým kotoučovým zásobníkem na Obr. 41. Otočný stůl se schopností naložit dvě palety současně zkracuje čas cyklu výměny palety na minimum. [24]



Obr. 41: GROB PSS-R [24]



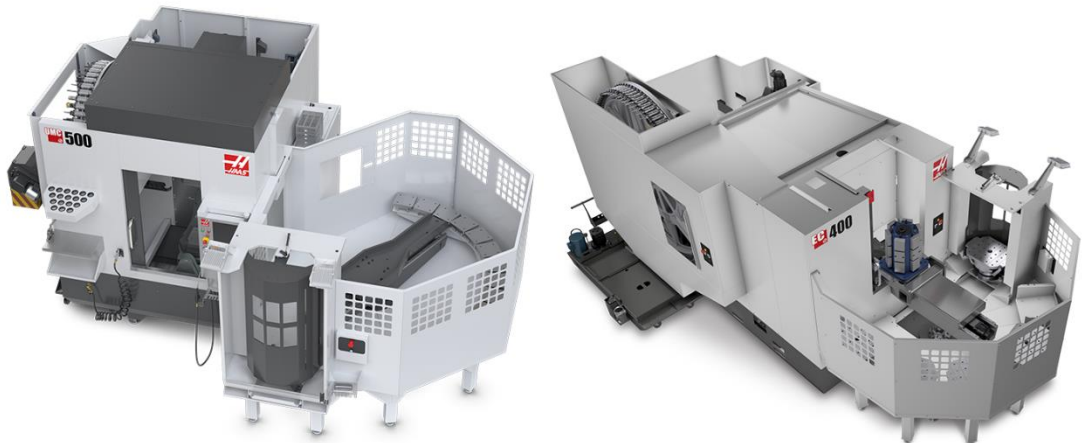
Obr. 42: GROB PSS-L [24]

PSS-L

Lineární paletový zásobník PSS-L na Obr. 42 uloží 21 palet. Vysoká modularita umožňuje obsluhu až pěti center zároveň. Manipulátor na kolejkách přepravuje palety rozměru 630 x 630 mm s obrobkem o průměru 900 mm. [24]

5.4.4. HAAS

Americký výrobce HAAS na Obr. 43 nabízí řešení automatické výměny obrobků pro své CNC stroje za pomoci robotů či jednoúčelových manipulátorů. Paletová automatizace je rozdělena dle kapacity zásobníků a vhodnosti systému pro danou řadu CNC strojů. [21]



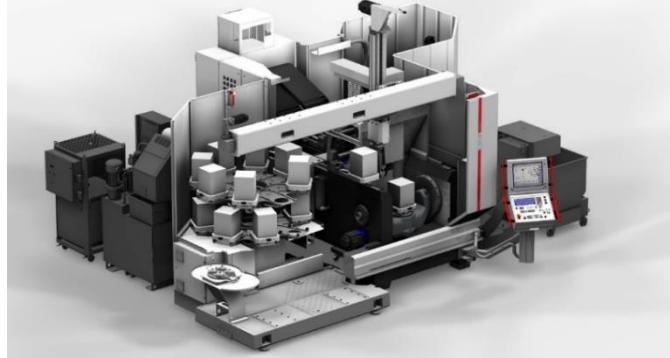
Obr. 43: HAAS 16-SPP / 8-SPP [21]

5.4.5. HERMLE

Nabízí širokou škálu automatizačních řešení svých CNC obráběcích center. Dle použitého manipulátoru dělí řešení na buňky s jednoúčelovými manipulátory, portálové zakladače, případně robotizovaná pracoviště. [16]

PALLET CHANGER PW 100, PW 150

Kotoučový zásobník ve spojení s portálovým zakladačem na Obr. 44, umožňuje zakládání palet do hmotnosti 150 kg bez omezení přístupu do pracovního prostoru stroje. [16]



Obr. 44: HERMLE PALLET CHANGER PW 150 [16]

PALLET CHANGER PW 850, PW 2000, PW 3000

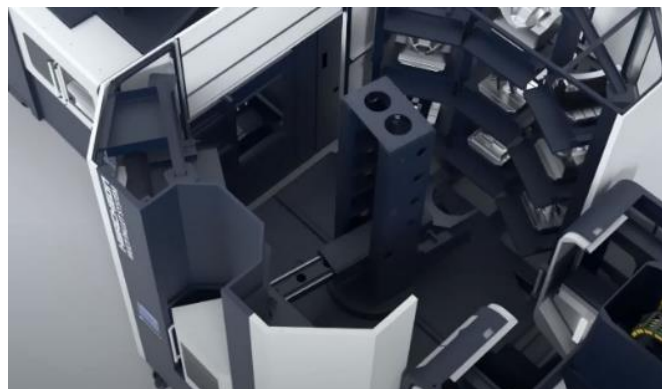
Systémy, které se liší způsobem zakládání, velikostí zásobníku a nosností od 850 do 3000 kg. [16]

HS FLEX, HS FLEX HEAVY

Paletový systém HS FLEX umožňuje manipulaci s paletami do velikosti 500 x 400 mm při zatížení 450 kg. K rotačnímu lineárnímu manipulátoru je možné připojit až dva zásobníkové moduly, každý s kapacitou až 25 míst. HS FLEX HEAVY se liší svou nosností (až 1200 kg) a kapacitou zásobníkového modulu (maximálně 9 míst). Rozdílná je i velikost palet v systému. Nejmenší paleta 500 x 500 mm největší 800 x 630 mm. Díky nastavitelnému zásobníku je možné uložit i nadměrné obrobky přesahující velikost palety. [16]

5.4.6. HWACHEON

Řešení paletizace od společnosti HWACHEON je založeno na tradičním způsobu AVP, kdy obrobky a polotovary jsou uloženy v kotoučovém výměníku a o manipulaci se stará rotační manipulátor s výsuvem na Obr. 45. Systém díky robustní konstrukci dokáže pojmout polotovary o hmotnosti 2 000 kg na paletě o velikosti 800 x 800 mm. [22]



Obr. 45: HWACHEON HMP [22]

5.4.7. INDUMATIK

INDUMATIK pod hlavičkou společnosti INDUNORM nabízí tři produktové řady svých systému automatické výměny palet. [19]

INDUMATIK 150

Lineární zásobníkový systém s kolejovým manipulátorem na Obr. 46, který je schopen manipulace s paletami o velikosti 630 x 630 mm. [19]



Obr. 46: INDUMATIK 150 [19]

INDUMATIK LIGHT

Zásobník stroje pojme maximálně 120 kg obrobky. Kinematicky je stroj řešen otočným manipulátorem ve spojení s lineárním zásobníkem. V základní variantě, při hmotnosti obrobku 8 kg, lze obsadit 50 pozic. Systém umožňuje současnou obsluhu více strojů současně. [19]

INDUMATIK ULTRALIGHT

UL100 je založen na kotoučovém zásobníku o kapacitě 6 až 90 palet o hmotnosti maximálně 100 kg a neotočném rameni s výsuvem. UL300 pojme 8 palet o hmotnosti 300 kg. [19]

5.4.8. MAZAK

MAZAK jakožto jeden z čelních výrobců CNC frézovacích center nabízí celou řadu systému automatické výměny obrobku. Z paletové výměny nabízí dvě řady, systém MPP a PALLTECH. [25]

MAZAK MPP

Z paletové výměny nabízí tradiční řešení v podobě systému MPP na Obr. 47, kotoučového zásobníku obsluhovaného rotačním ramenem s výsuvem. Nosnost dosahuje 700 kg a palety lze uložit až na 16, respektive 18 pozicích. Inzerovaná přednost systému spočívá v kompaktních rozměrech zastavěné plochy. [25]



Obr. 47: MAZAK MPP [25]

MAZAK PALLETECH

Další řešení automatické výměny palet z dílny MAZAK se nazývá PALLETECH. Vysoce variabilní lineární zásobníkový systém s kolejovým manipulátorem na Obr. 48, nabízí maximální hmotnost obrobku až 7 500 kg. Zásobník ve své nejvyšší konfiguraci dovoluje 240 skladovacích pozic. Možnost využití palet 1 250 x 1 250 mm spolu s předchozími parametry řadí systém PALLETECH mezi špičku. [25]



Obr. 48: MAZAK PALLETECH [25]

5.4.9. MIDACO

Systémy automatické výměny palet od americké společnosti MIDACO jsou založeny zejména na jednoduchosti. Výrobce již řadu let nabízí řešení pro snadnou manuální výměnu obrobků na paletách a strojní automatizace procesu je tak rozšířením portfolia společnosti. [14]

MIDACO MPC

Velice kompaktní řešení založené na dopravníku kruhových palet na Obr. 49. Manipulaci zajišťuje velice jednoduché rameno opatřené pouze osou X a Z. Kapacita zásobníku činí 19 kruhových palet o průměru 250 mm a maximální hmotnosti 34 kg. Výhodou systému je jeho snadná manipulace mezi různými frézovacími stroji. [14]



Obr. 49: MIDACO MPC [14]



Obr. 50: MIDACO PALLET CARTS [14]

MIDACO PALLET CARTS

Netradiční řešení zásobníku u této paletové výměny, jak již název napovídá, je založeno na vozíkách. Vozíky umožňují spojení pomocí čepů do libovolně dlouhého řetězu na Obr. 50. Každý vozík má kapacitu 2 palet o průměru 380 mm. Manipulátor podobně jako MPC má pouze dvě osy a umožňuje zakládání palet až do hmotnosti 68 kg. [14]

5.4.10. OKUMA

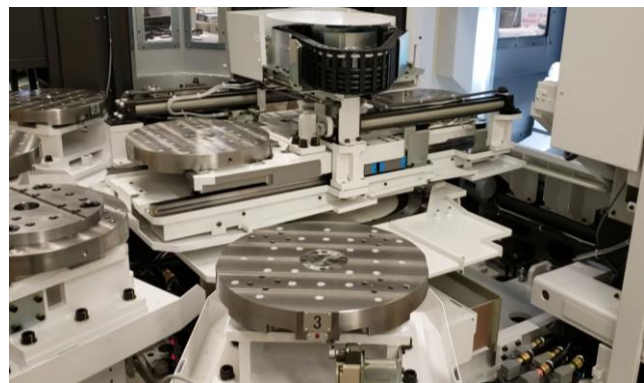
Společnost OKUMA nabízí širokou škálu automatizačních řešení pro své CNC obráběcí stroje. V nabídce firmy se nachází kusová manipulace s obrobky, robotizovaná pracoviště, management skladových zásob a samozřejmě i je paletová automatizace. [26]

TOWER APC

Třípatrový zásobník na Obr. 51 dokáže pojmout paletu o průměru až 800 mm. Celková kapacita dosahuje 21 palet při průměru palety 400 mm. Manipulaci palet zajišťuje otočné rameno s výsuvem. [26]



Obr. 51: OKUMA TOWER APC [26]



Obr. 52: OKUMA 6-PALLET MPC [26]

6-PALLET APC

Dle názvu je zásobník na Obr. 52 v základní verzi schopen pojmout 6 palet o velikosti až 800 mm v průměru. Vyšší řada nabízí kapacitu až 12 paletových pozic. Systém je vybaven rotačním dvojestolem. [26]

5.4.11. SPINNER

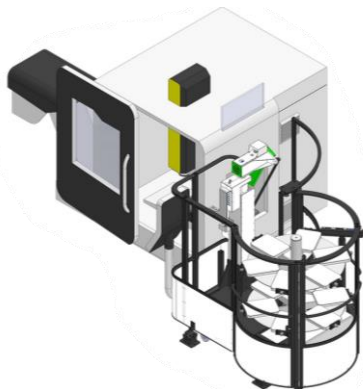
Také výrobce CNC frézovacích strojů SPINNER nabízí pro svoje stroje řešení v podobě paletové a robotické kusové výměny obrobků na Obr. 53. Paletová výměna je založena na rotačním kotoučovém zásobníku a ramenu s výsuvem. [27]



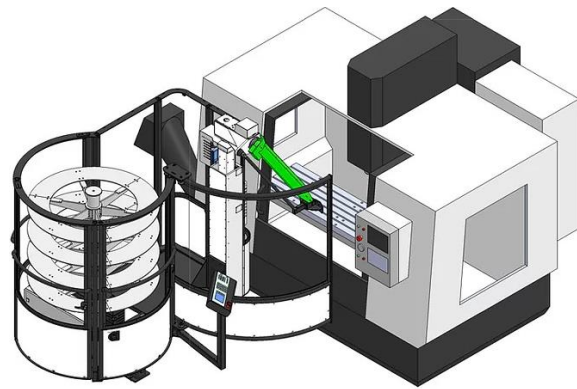
Obr. 53: SPINNER [27]

5.4.12. TANNO VICELoader

Český výrobce, který nabízí univerzální řešení automatické výměny palet. Systém kombinuje vícepatrový rotační kotoučový zásobník a kyvné robotické rameno na Obr. 54 a Obr. 55. Zásobník typicky pojme až 90 kusů palet o velikosti 125 x 200 mm, případně 20 palet 400 x 400 mm. Užité zatížení manipulátoru dosahuje 120 kg. Systém nabízí možnost zakládání do stroje z přední části případně z boku. Zejména zakládání z boku stroje představuje velkou výhodu pro obsluhu, neboť není omezen přístup do obráběcího prostoru. Další předností systému je jeho mobilita, kdy může být vždy využit u stroje kde je nejvíc zapotřebí a každý stroj tak nemusí být vybaven vlastní automatizací. [20]



Obr. 54: TANNO VICELoader (boční zakládání) [20]



Obr. 55: TANNO VICELoader (přední zakládání) [20]

5.4.13. ZEROCLAMP

Robot typu SCARA, který dokáže manipulovat s paletami do hmotnosti 100 kg a velikosti 650 x 320 mm. V případě, že zařízení není v činnosti, nedochází k omezení přístupu do pracovního prostoru. Předností systému je možnost intuitivního způsobu učení pozic palet ve snadno nastavitelném zásobníku. [3]

ZEROBOT 100-P

Verze ZEROBOT 100-P na Obr. 56 je založena na systému variabilních zásobníků, které je možné snadno naplnit mimo pracovní prostor manipulátoru



a naplněné je založit do pohotovostní pozice pomocí paletového vozíku. Do zásobníku lze uložit až 400 obrobků a celkem využít tři zásobníky pro dosažení maximálního počtu 1200 obrobků. [3]



Obr. 56: ZEROBOT 100-P [3]

ZEROBOT 100-V

Verze ZEROBOT 100-V Obr. 57 je mobilní a snadno přemístitelná mezi několika CNC stroji za pomoci paletového vozíku. Lineární zásobník je otočný a dovoluje zakládání během pracovního procesu. [3]



Obr. 57: ZEROBOT 100-V [3]



5.5. Shrnutí řešerše

Automatickou výměnu obrobků v dnešní době nabízí valná většina výrobců CNC strojů. Nejčastěji nabízí řešení na míru ke svým obráběcím strojům. Na trhu však existují výrobci, kteří navrhují univerzální řešení, a to jak pomocí jednoúčelových manipulátorů, tak pomocí integrace průmyslových robotů. Takto robotizovaná pracoviště se často stávají součástí složitějších výrobních celků. [12], [13]

Technologické palety, speciálně upravené pro technologii automatické výměny obrobků se vyrábějí v širokém spektru velikostí a provedení. Jedním z nejčastějších provedení je čtvercový, případně kruhový půdorys palety. Vysoké požadavky na kvalitu zpracování a trvanlivost palety zvyšují jejich cenu a tím pádem prodražují počáteční investici. Naproti tomu výroba, ve které je implementován systém automatické výměny palet, dosahuje vysoké produktivity a v ideálním případě splňuje parametry pro nepřetržitý provoz obráběcího stroje. [1], [5]

Obrobek se na paletu nejčastěji upíná pomocí T drážek. Paleta se tak stává univerzálním nosičem širokého spektra tvarů a velikostí obrobků. Systém nulového bodu zajišťuje přesné, jednoduché a rychlé ustavení palety ve stroji. Díky přesně definovanému referenčnímu bodu může obrábění začít ihned po vložení palety do stroje. Důležitým prvkem palety je rozhraní, kterým lze s paletou manipulovat. Velmi časté rozhraní, se skládá z čepu na paletě a upínacím rozhraním na manipulátoru. Dalším typem je drážka v paletě a vidlice na manipulátoru, často stavitelná pro uchopení více typů a rozměrů palet. [4], [17]

Zásobníky využívané pro uskladnění palet s obrobky se dělí do dvou hlavních kategorií, které lze dále dělit například podle počtu pater. První kategorií jsou lineární zásobníky. Do druhé kategorie patří kotoučové zásobníky. Typ použitého zásobníku zásadním způsobem předurčuje druh jednoúčelového manipulátoru. Pro rotační kotoučové zásobníky, které dokážou připravit paletu do osy pohybu ramene manipulátoru je dostačující jednoduché rameno s výsuvem. V případě lineárních zásobníků či kotoučových nepohyblivých je nutný manipulátor s alespoň jednou rotační osou. [5], [17]

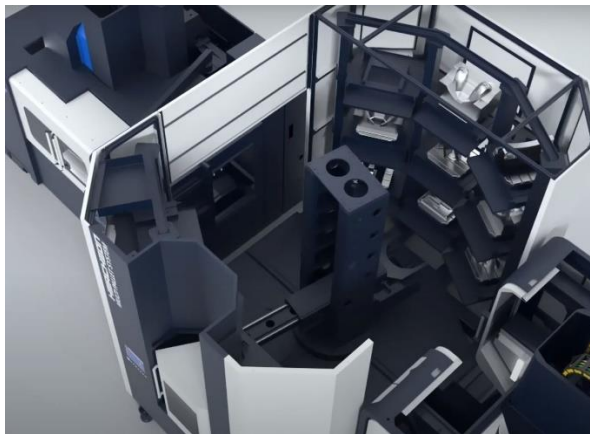
6 Varianty AVO

Pro toto komplikované řešení zakládání obrobků do kolébky MCV z rozsáhlé rešerše vyplynuly různé způsoby zakládání. Prvním způsobem je zakládání z boku stroje dle vlastního návrhu. Druhou koncepcí založenou na manipulátoru SCARA inspirovanou manipulátorem ZEROBOT. Druhou variantou je paralelogram inspirovaný automatizací Viceloader. Obě řešení spojuje stejný nedostatek, pro náš případ, a tím je nosnost hluboko pod hodnotou 400 kg.

6.1. Boční zakládání

Dveře umístěné na boční straně CNC stroje se nabízejí pro možnou boční zakládku obrobků. Velkou výhodou má toto řešení zejména z pohledu zcela nenarušeného přístupu do obráběcího prostoru stroje pro lidskou obsluhu.

Boční zakládání, dle průzkumu trhu, využívá celá řada firem, především u integrované automatické výměny obrobků přímo ve stroji. Boční zakládání využívá u řady strojů i automatizace Viceloader. Na Obr. 58 je uveden příklad v podobě volitelné automatizace pro stroje firmy HWACHEON, umožňující obsluhu až dvou strojů současně bočním přístupem do obráběcího prostoru.

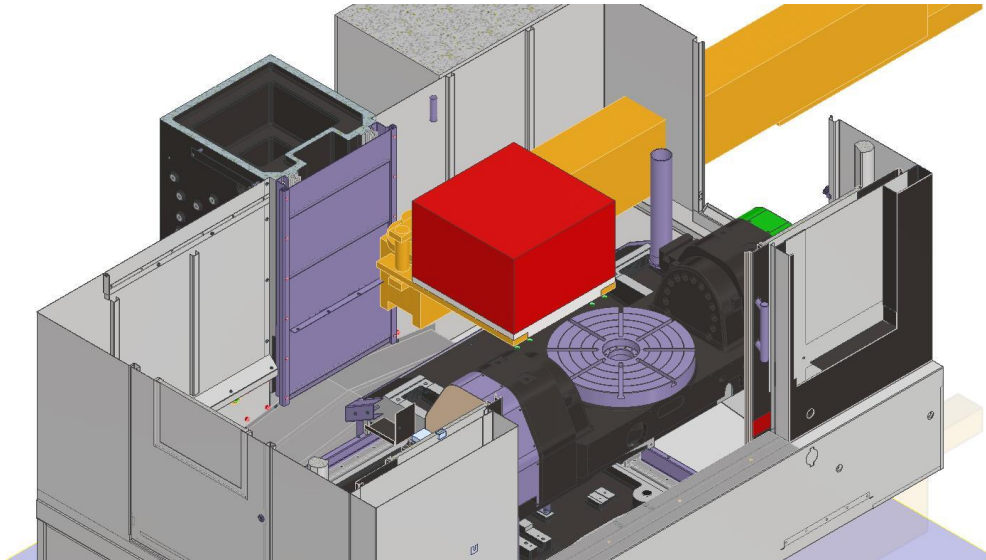


Obr. 58: Boční zakládání HWACHEON [22]

Komplikace u MCV 1100 5x spočívá v obtížném zakládání do kolébky, kdy je možné využít přístupu pouze zezadu nebo zepředu. Manipulátor je tedy nutné sestavit z většího počtu os, případně využít vzájemných pohybů manipulátoru a stolu stroje. Další komplikace představuje velké vyložení těžkého obrobku. Výsledný ohyb pro různá zatížení palety tedy bude nutné kompenzovat přidáním další osy nebo jiným konstrukčně náročným způsobem.

6.1.1. Návrh řešení bočního zakládání

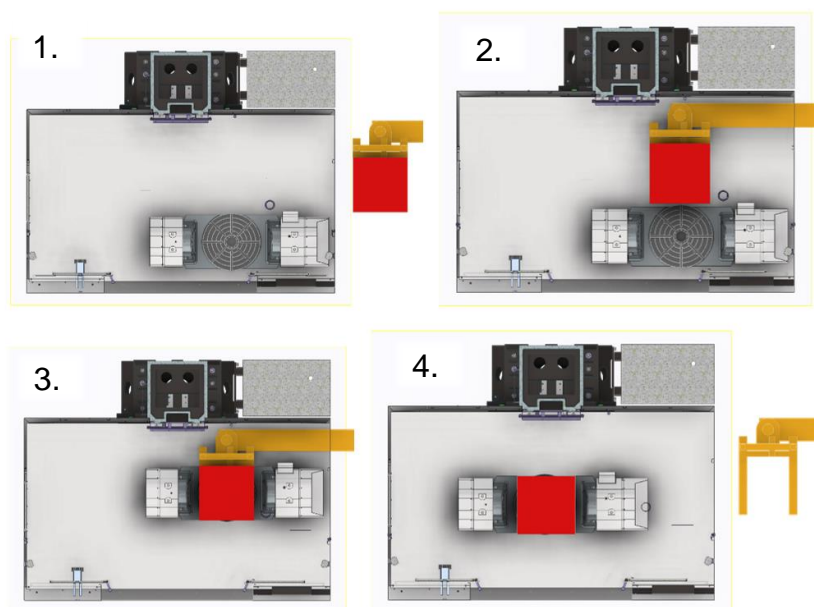
Z Obr. 59 navrhovaného koncepčního řešení je jasně patrné, že pro variantu bočního zakládání by bylo nutné upravit současné krytování stroje, značně zvětšit a osadit boční dveře automatikou. Společně s úpravou krytu stroje, by bylo nutné přemístit elektro skříň a vedení kabelů do kolébky. Řešení bočního zakládání je realizovatelné.



Obr. 59: Návrh koncepce bočního zakládání

Zakládání součinností manipulátoru a CNC stroje

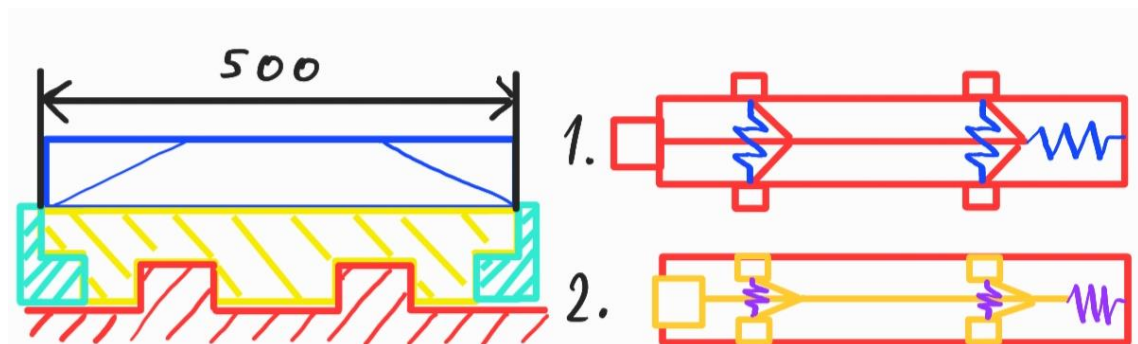
Při vzájemných pohybech stroje a manipulátoru by zakládání probíhalo následujícím způsobem uvedeným na Obr. 60. Manipulátor najede do předem zvolené pozice uvnitř obráběcího prostoru stroje a kolébka následně vlastním pohybem uchopí paletu s obrobkem.



Obr. 60: Průběh bočního zakládání

Konstrukce vlastního upínacího zařízení bočního zakládání

Pro boční zakládání by bylo vhodné využít vlastní upínací zařízení založené na dvou kolejnicích s náběžnou hranou na Obr. 61. Nejobtížnějším prvkem vlastního řešení je způsob pevného upnutí palety na kolébce. Jedním z možných řešení je automatické mechanické upínání pomocí pružin, jehož návrh se nachází na následujícím obrázku. Hlavním problémem konstrukce je nutnost detailního návrhu síly pružin a pozic čepů pro spolehlivé upnutí palety ve stroji. Návrh vlastního řešení upínání tak představuje oproti komerčně dostupným variantám riziko, které by bylo nutné minimalizovat důkladným testováním.



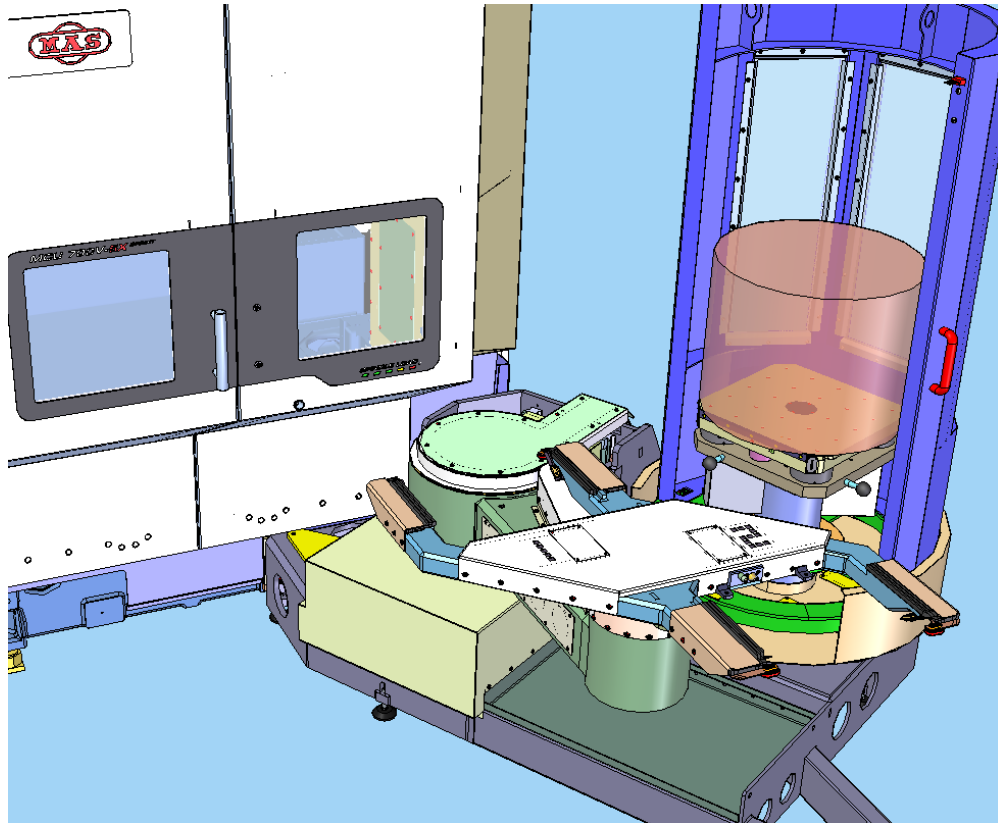
Obr. 61: Návrh konstrukce upínacího zařízení

Druhou jednodušší variantou z pohledu návrhu a konstrukce, jsou strojem elektricky ovládané čepy. Tyto čepy by byly vysunuty po založení palety do stroje a zajistili by dostatečné upnutí při obráběcích operacích. Bohužel se opět jedná o řešení na míru vyžadující rozsáhlé testování.

Třetí variantou je využití systému upínání do nulového bodu. Toto řešení je komerčně běžně užívané a jelikož by jeho použití vyžadovalo osazení manipulátoru další řízenou osou, došlo by zároveň k vyřešení problematiky ohybu ramene manipulátoru.

6.2. SCARA

Při rešerši provedené ve firmě Kovosvit MAS bylo nalezeno, již odzkoušené řešení zakládání obrobků pomocí sériového robotu do stroje vybaveného kolébkou. Jak je z Obr. 62 patrné pro danou hmotnost je nutná velmi robustní konstrukce a komplikací pro případné rozšíření je i chybějící vertikální osa.



Obr. 62: SCARA manipulátor Kovosvit MAS [2]

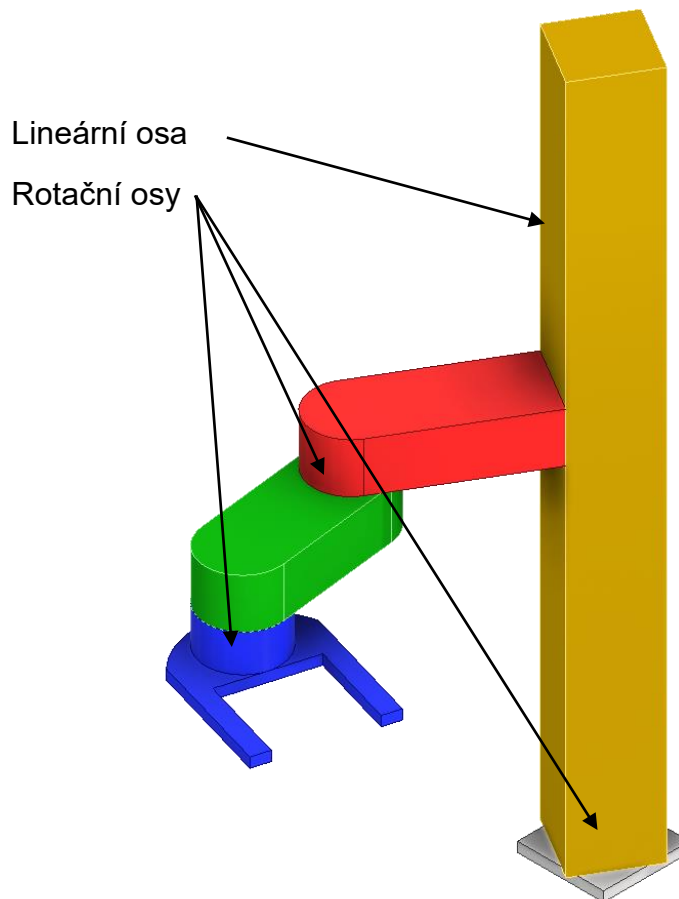
Paletová výměna SCARA firmy Kovosvit MAS se skládá z manipulátoru a jednoho odkládacího místa. Odkládací místo vyniká snadnou manipulací s obrobkem (například pomocí jeřábu). Parametry manipulátoru uvedeny v Tab. 3.

Tab. 3: Parametry SCARA Kovosvit MAS [2]

Maximální výška obrobku	500 mm
Rozměr upínací plochy palety	500 x 500 mm
Maximální zatížení palety	400 kg
Výška palety nad podlahou	1000 mm
Požadovaný zástavbový prostor	6300 x 5200 x 3600 mm

Vlastní řešení založené na Zeroclamp Zerobot

Jak již bylo uvedeno SCARA manipulátor Zerobot je pro velmi nízké hmotnosti (50 kg). Pro manipulaci se 350 kg obrobkem, by byly nutné velmi velké zásahy do celé konstrukce a vyvstává otázka, zda je takové řešení realizovatelné. Komplikací realizace SCARA manipulátoru by byla také cena pohonů.



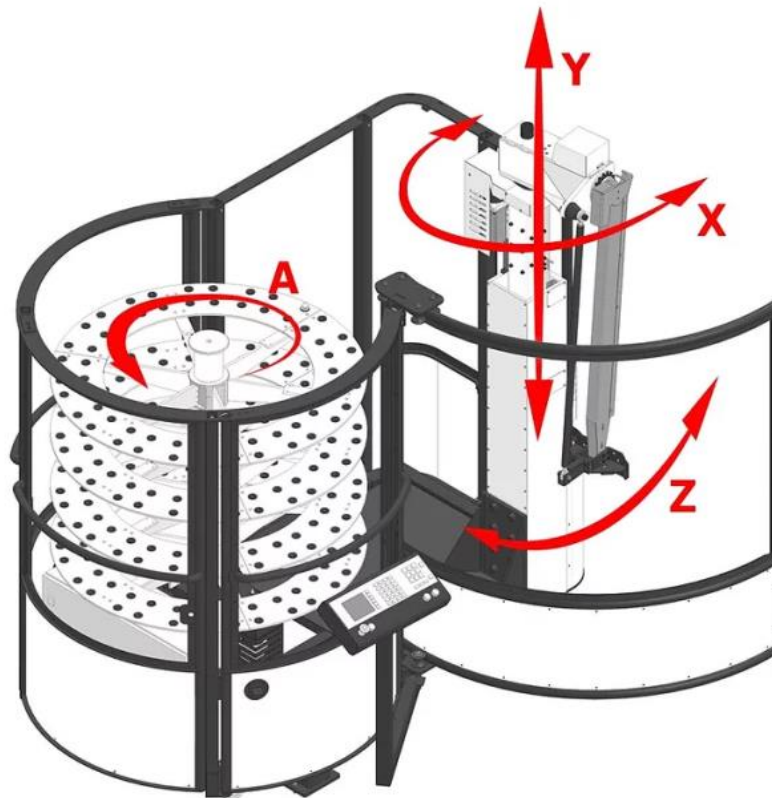
Obr. 63: Návrh vlastního řešení SCARA manipulátoru

Návrh vlastní konstrukce manipulátoru na Obr. 63 inspirované řešením automatizace Zerobot disponuje 4 osami (3 rotační, 1 posuvná). Problémem je sériovost os, kdy se chyby přesnosti na jednotlivých pohonech sčítají a výsledná odchylka může dosahovat vysokých hodnot i přes velmi kvalitní, přesné a drahé pohony jednotlivých os. Z těchto důvodů, a také protože již byl SCARA manipulátor firmou Kovosvit MAS řešen, není tato koncepce dále rozpracovávána.

6.3. PARALELOGRAM

Vlastní řešení manipulátoru, inspirované řešením od české firmy TANNO a jejich automatizace Viceloader. Základní kinematickou strukturou tohoto manipulátoru je paralelogram, který umožňuje snadný výsuv rozhraní pomocí servopohonu umístěného v horní konzole. Limitem řešení firmy Viceloader je nosnost pouze 130 kg, které je pro náš případ nedostatečné.

Obr. 64 názorně ilustruje pohyblivé osy automatizace Viceloader a rotační kotoučový zásobník s velkou kapacitou obrobků.



Obr. 64: Kinematika TANNO Viceloader [20]



6.4. Shrnutí variant řešení AVO

Z následující tabulky jsou patrné výhody a nevýhody jednotlivých řešení. Pro náš požadavek je vhodný zejména paralelogram, neboť nevyžaduje úpravu stroje a je použitelný i pro další modely MCV. Dále vyhovuje svými malými zástavbovými rozměry a vysokou přesností zakládání. Nevýhodou je složitější řízení a konstrukce. Tab. 4 uvádí přehled zvažovaných variant a jejich parametrů.

Tab. 4: Přehledová tabulka variant

Typ Zakládání	Počet řízených os	Přesnost	Složitost konstrukce	Úprava stroje MCV	Zástavbové rozměry	Řízení
Boční zakládání	1 (+2) (T-T-R)	Vysoká	Jednoduchá	ANO	Střední	Závislý systém
SCARA	3 (R-R-R)	Nízká	Jednoduchá	NE	Velké	Jednoduchý systém
Paralelogram	3 (R -R-T)	Vysoká	Střední	NE	Malé	Složitý nezávislý systém

BOČNÍ

Boční zakládání je realizovatelné, bohužel na trhu není dostupný upínač umožňující jednoduchý způsob upnutí. Dále značné úpravy stroje a malá univerzálnost řešení vylučují tuto variantu z dalšího řešení.

SCARA

Problémem sériového robotu je vysoká cena jednotlivých pohonů a nutnost masivní konstrukce jednotlivých os. Dle parametrů uvedených v tabulce je patrná nízká přesnost a tuhost tohoto řešení. I tato koncepce je vyloučena z dalšího řešení.

PARALELOGRAM

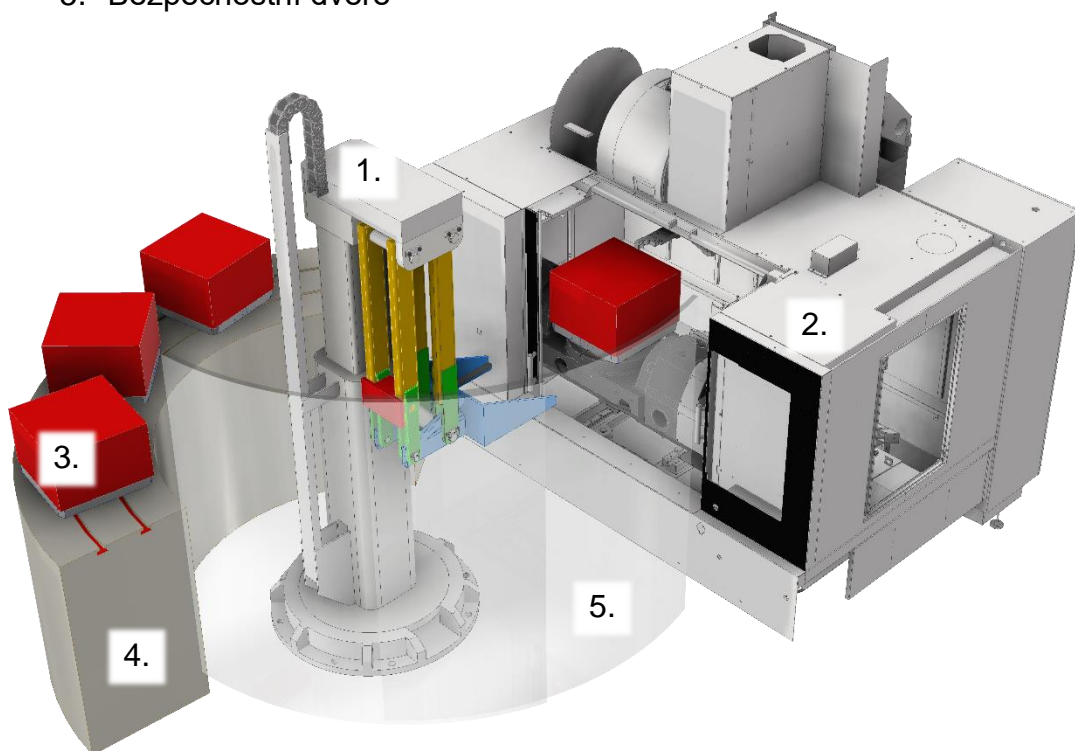
Inovativní myšlenka představená na strojírenském veletrhu v Brně. Koncepce paralelogramu byla zvolena pro bližší rozpracování v rozsahu bakalářské práce. Podnětem řešení této koncepce je prozkoumání limitů a hranic konstrukce, s motivací pro zvýšení nosnosti až na požadovaných 400 kg.

7 Vlastní řešení konstrukce paralelogramu

Pro dosažení automatického provozu při zakládání obrobků do CNC stroje musíme využít manipulátor, který bude schopný vyjmout obrobek ze zásobníku a následně jej vložit do připraveného upínacího rozhraní v pracovním prostoru stroje. Řešení je založeno na nosném prvku v podobě palety, na kterou je následně upnut obrobek. Tato varianta umožňuje připravit polotovary k obrábění mimo prostor stroje a tím snížit vedlejší časy při výrobě na minimum. Požadavek na velikost palety vychází z průměru stolu kolébky stroje 500 mm. Pro účely koncepčního návrhu byla zvolena paleta od výrobce EROWA s rozměry 498 x 498 mm.

Na Obr. 65 se nachází pohled na pracoviště AVO.

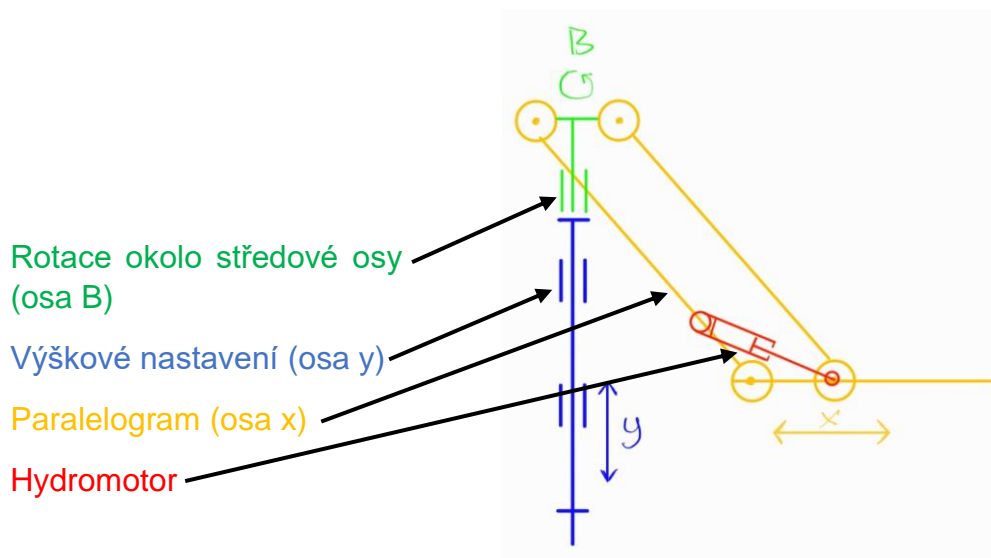
1. Manipulátor
2. MCV 1100 5x
3. Paleta s obrobkem
4. Zásobník
5. Bezpečnostní dveře



Obr. 65: Vlastní řešení pracoviště AVO

7.1. Kinematika a kinematické vazby

Počet a typ jednotlivých os manipulátoru se odvíjí hlavně od použitého typu zásobníku. Z rešerše je jasně patrné, že nejmenší zástavbový prostor vyžadují systémy s kotoučovým zásobníkem, a proto byl zvolen pro vlastní řešení. Z kotoučového zásobníku vychází požadavek na manipulátor, který musí být schopen rotace, aby dokázal dosáhnout na všechny pozice v zásobníku. Pro uchopení palety s obrobkem a následné založení do obráběcího prostoru je taktéž nutný výsuv rozhraní manipulátoru v horizontálním směru. Požadavek na třetí pohybovou osu je vynucen samotnou kinematikou paralelogramu a způsobem upínání palety do systému nulového bodu. Při výsuvu rozhraní dochází současně k jeho zvedání. Z tohoto důvodu je při snaze o pohyb rozhraní čistě v ose x nutné mít k dispozici výškové nastavení manipulátoru. Minimální doporučené zdvihy os jsou uvedeny v Tab. 5.



Obr. 66: Kinematika manipulátoru

Na Obr. 66 je žlutou barvou označený paralelogram, jehož úkolem je výsuv rozhraní. Zapojení celkem 4 táhel dovoluje vyšší zatížení. Pro výsuv byl zvolen lineární aktuátor v podobě hydraulického pístu s minimálním výsuvem 140 mm. Při vysouvání rozhraní dochází k současnému zvedání v ose y .

Modře vyznačená osa y složená z lineárního pojezdu a kuličkového šroubu s minimálním zdvihem 500 mm.

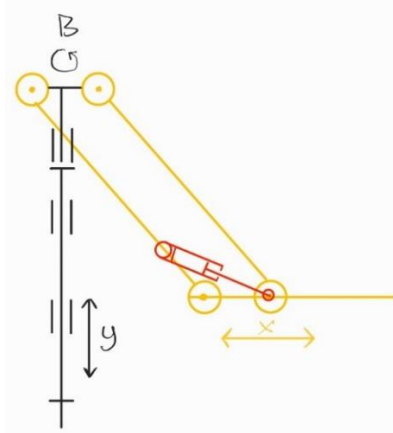
Zelenou barvou je vyznačena rotační osa. Hlavním požadavkem je dostatečný krouticí moment při plném zatížení a taktéž minimální rozsah rotace 270°.

Tab. 5: Doporučené rozsahy os manipulátoru

Označení osy	Osa x	Osa y	Osa B	Hydromotor
Rozsah	0-970 mm	0-500 mm	0-270*	0-140 mm

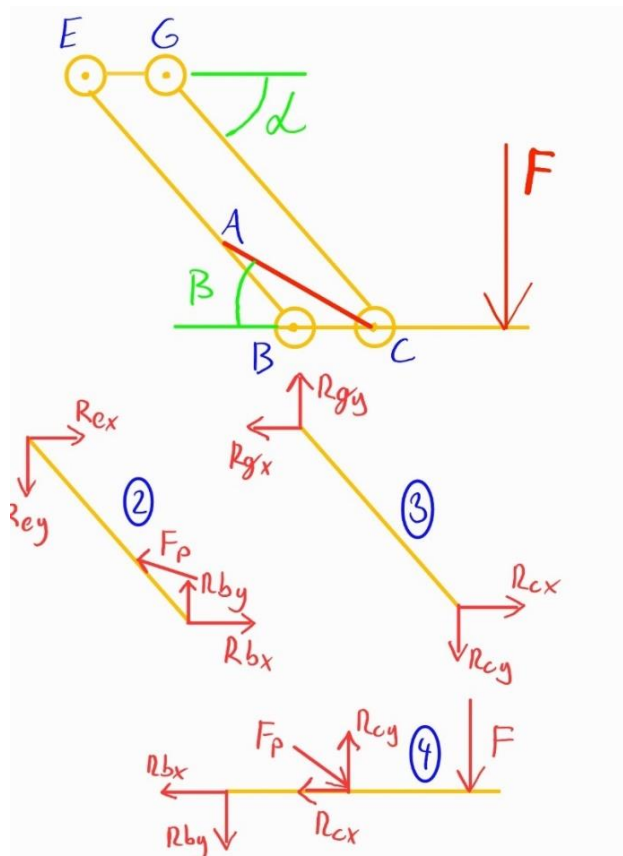
7.2. Matematický model a výpočty

Pro pochopení a vyčíslení všech reakcí v manipulátoru byl sestaven matematický model. Uvolnění a následné vložení rovnovážných rovnic do programu MATLAB, poskytlo odpovědi na otázky zatížení táhel, kluzných ložisek a čepů v průběhu vysouvání rozhraní manipulátoru. Výsledky následně posloužili k předběžnému návrhu součástí dle pevnostních požadavků.



Obr. 67: Řešená osa (paralelogram)

Práce se soustřeďuje pouze na výpočet osy paralelogramu, která je na Obr. 67 označena žlutou barvou. Obr. 68 zobrazuje uvolnění osy.



Obr. 68: Uvolnění paralelogramu pro matematický model

Rovnovážné rovnice:

Těleso 2:

$$\sum F_{ix} = 0: R_{ex} + R_{bx} - F_p \cdot \cos(\beta) = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_{iy} = 0: -R_{ey} + R_{by} + F_p \cdot \sin(\beta) = 0 \quad (2)$$

$$\sum M_{ia} = 0: F_p \cdot l_{fp} \cdot (\cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) - \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta)) + R_{bx} \cdot l \cdot \sin(\alpha) + R_{by} \cdot l \cdot \cos(\alpha) = 0 \quad (3)$$

Těleso 3:

$$\sum F_{ix} = 0: -R_{gx} + R_{cx} = 0 \quad (4)$$

$$\sum F_{iy} = 0: R_{gy} - R_{cy} = 0 \quad (5)$$

$$\sum M_{ia} = 0: R_{cx} \cdot l \cdot \sin(\alpha) - R_{cy} \cdot l \cdot \cos(\alpha) = 0 \quad (6)$$

Těleso 4:

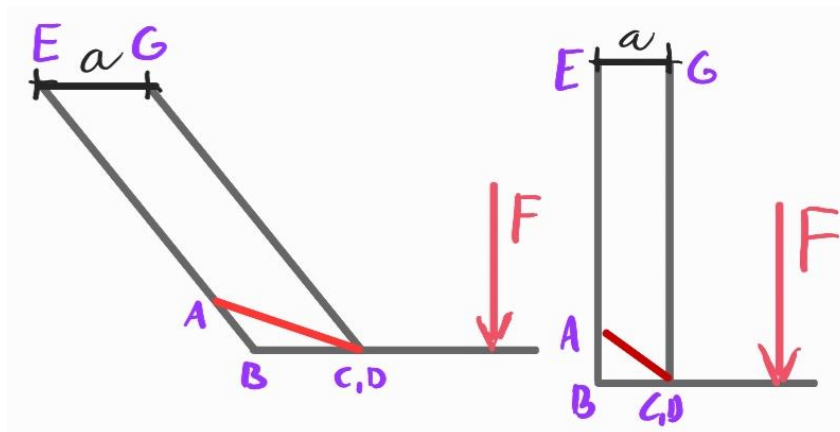
$$\sum F_{ix} = 0: -R_{bx} - R_{cx} + F_p \cdot \cos(\alpha) = 0 \quad (7)$$

$$\sum F_{iy} = 0: -R_{by} + R_{cy} - F_p \cdot \sin(\beta) = 0 \quad (8)$$

$$\sum M_{ia} = 0: R_{by} \cdot a = 0 \quad (9)$$

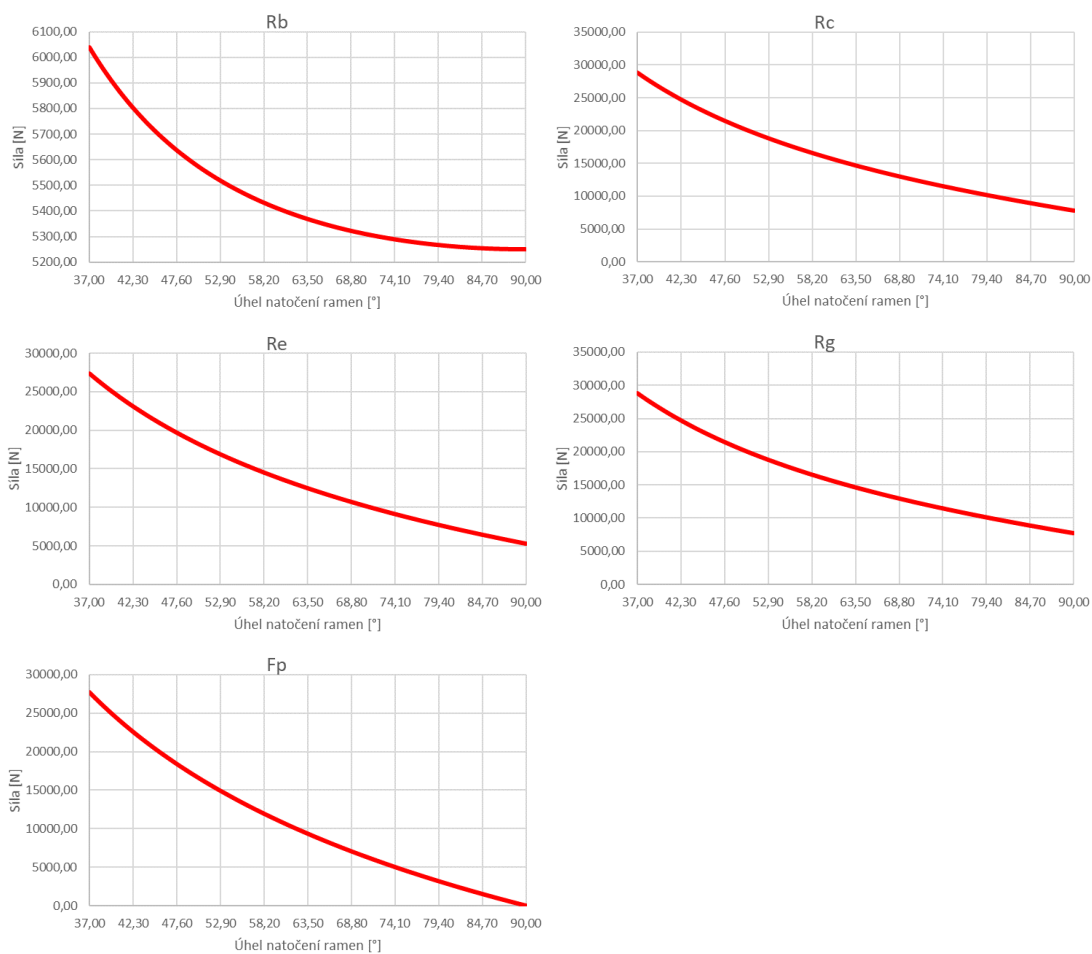
Klíčovým parametrem, na kterém jsou závislé reakce v uložení je vzdálenost vyložení rozraní manipulátoru. Vyložení lze popsat vzdáleností v ose x, která je zároveň přímo úměrná úhlu natočení ramen α . Následující grafy představují průběh reakcí, přičemž úhel $\alpha=37^\circ$ značí plně vysunutě rozhraní. Grafy končí úhlem 90° , při kterém je rozhraní plně zasunuto.

Nejdůležitější jsou výsledky v Tab. 6 pro dvě kritické polohy manipulátoru na Obr. 69. Největšího zatížení je dosaženo při plném vysunutí rozhraní s paletou a obrobkem. Druhá pozice vychází při úhlu sklopení táhel α na 90° , v tuto chvíli dochází k odlehčení pístu a celá soustava je v rovnováze, a tedy bez nutnosti zásahu vnějších sil. Kompletní výsledky jsou uvedeny v přílohách bakalářské práce. Úloha je řešena pomocí symetrie, tzn. že uvedené reakce v tabulce platí pro jednu dvojici táhel, kromě síly v pístu uvedené ve skutečné velikosti.



Obr. 69: Významné polohy manipulátoru

Výstupem z programu MATLAB jsou grafy na Obr. 70 průběhu reakcí v celé délce vysunutí vztaženému k úhlu natočení ramen.



Obr. 70: Grafy průběhu reakcí v uložení

Tab. 6: Přehled reakcí pro významné polohy

Pozice	Úhel Táhel	Síla v pístu	Reakce v horním uložení		Reakce ve spodním uložení	
			Táhló A (Vazba E)	Táhló B (Vazba G)	Táhló A (Vazba B)	Táhló B (Vazba C)
Plné vyložení	37°	55 398 N	27 371 N	28 802 N	6 040 N	28 802 N
Svislé táhlá	90°	0 N	5 250 N	7 750 N	5 250 N	7 750 N



7.2.1. Táhla paralelogramu

Pro statickou kontrolu táhel paralelogramu byla zvolena krajní poloha při plném vysunutí. V této poloze jsou táhla nejvíce namáhána. Při sestavování matematického modelu byla zanedbána vlastní hmotnost součástí, dle následujících výpočtů tedy táhla vychází úmyslně předimenzovaná.

Zvolený profil táhel ČSN EN 10219-2 160 x 80 x 8

$$W_o(x-x) = \frac{B * H^3 - b * h^3}{6 * H} = \frac{60 * 120^3 - 44 * 104^3}{6 * 120} = 75\,258 \text{ mm}^4 \quad (10)$$

$$W_o(y-y) = \frac{H * B^3 - h * b^3}{6 * B} = \frac{120 * 60^3 - 104 * 44^3}{6 * 60} = 47\,391 \text{ mm}^4 \quad (11)$$

Ohyb táhel A

Jde o míjivé zatížení a materiál pro výpočet silnostěnného profilu je 11 373. $\sigma_{o(dov)} = 70 \text{ MPa}$, strojnické tabulky [28] str. 54

$$\begin{aligned} Mo(max) &= Rex * lfp * \sin(\alpha) - Rey * lfp * \cos(\alpha) \\ &= 22670,74 * 900 * \sin(37) - 14583,63 * 900 * \cos(37) \\ &= 1\,796\,930 \text{ Nmm} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\sigma_o = \frac{Mo(max)}{W_o(x-x)} = \frac{1\,796\,930}{75\,258} = 23,9 \text{ MPa} < 70 \text{ MPa} \quad (13)$$

Tahové namáhání táhel B

Dvojice táhel B je zatížena pouze tahem (jedná se o binární člen).

$\sigma_{(dov)} = 70 \text{ MPa}$, strojnické tabulky [28] str. 54

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{R}{(B * H - b * h)} = \frac{28802}{(60 * 120 - 44 * 104)} = 11 \text{ MPa} < 70 \text{ MPa} \quad (14)$$

Zatížení od zrychlení

Z pohledu působení setrvačných sil při pohybu manipulátoru, je nejvýznamnější rotace při plném zatížení. Při rotaci manipulátoru okolo osy y, dochází k velmi výrazným setrvačným účinkům na celou sestavu.

Z 3D modelu získáno $I = 72\,194\,059,486 \text{ kg/mm}^2$

$$M = I * \alpha = 72\,194\,059,486 * 0,099483767 = 7\,182\,137 \text{ Nmm} \quad (15)$$

$$M_{Táhl o} = \frac{M}{n_{táhel}} = \frac{7\,182\,137}{4} = 1\,795\,535 \text{ Nmm} \quad (16)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{Táhl o}}{W_o(y-y)} = \frac{1\,795\,535}{47\,391} = 38 \text{ MPa} < 70 \text{ MPa} \quad (17)$$

Navržené profily vyhovují pevnostním výpočtům. Veškeré výpočty jsou v příloze bakalářské práce ve formě výpočtového sešitu programu Excel.



7.2.2. Čepy

Namáhání čepů lze uvažovat jako symetrické. Zatížení je míjivé.

Ohyb čepu

Materiál čepu 11 500 $\sigma_{Do} = 150 \text{ MPa}$, strojnické tabulky [28] str. 54

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} = \frac{\frac{R * l_{\xi}}{4}}{\frac{\pi * d_{\check{c}}^3}{32}} \leq \sigma_{Do} \quad (18)$$

Táhlo A:
$$\sigma_A = \frac{\frac{6040 * 80}{4}}{\frac{\pi * 35^3}{32}} = 11 \text{ MPa} < 150 \text{ MPa} \quad (19)$$

Táhlo B:
$$\sigma_B = \frac{\frac{28802 * 80}{4}}{\frac{\pi * 50^3}{32}} = 47 \text{ MPa} < 150 \text{ MPa} \quad (20)$$

Střih

Materiál čepu 11 500 $\tau_{DS} = 85 \text{ MPa}$, strojnické tabulky [28] str. 54

$$\tau = \frac{F}{2 * S} = \frac{R}{2 * (\frac{\pi * d^2}{4})} \leq \tau_{DS} \quad (21)$$

Táhlo A:
$$\tau_A = \frac{6040}{2 * (\frac{\pi * 35^2}{4})} = 3 \text{ MPa} < 85 \text{ MPa} \quad (22)$$

Táhlo B:
$$\tau_B = \frac{28802}{2 * (\frac{\pi * 50^2}{4})} = 7,5 \text{ MPa} < 85 \text{ MPa} \quad (23)$$

Kontrola podmínky HMM

Materiál čepu 11 500 $Re = 290 \text{ MPa}$, strojnické tabulky [28] str. 54
 $k = 2$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} \leq \sigma_{RED} = \frac{Re}{k} = \frac{290}{2} = 145 \text{ MPa} \quad (24)$$

Táhlo A:
$$\sqrt{11^2 + 3 * 3^2} = 12,2 \text{ MPa} < 145 \text{ MPa} \quad (25)$$

Táhlo B:
$$\sqrt{47^2 + 3 * 7,5^2} = 49 \text{ MPa} < 145 \text{ MPa} \quad (26)$$

Otlačení

Materiál čepu 11 500 $p_d = 90 \text{ MPa}$, strojnické tabulky [28] str. 54

$$p = \frac{F}{S} = \frac{R}{d * t} \leq p_d \quad (27)$$

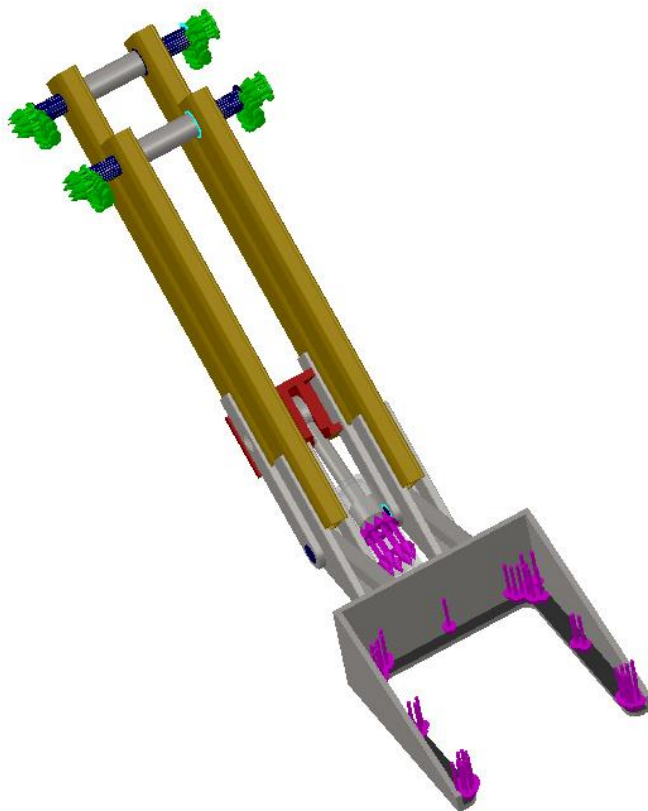
Táhlo A:
$$p = \frac{6040}{35 * 20} = 9 \text{ MPa} < 90 \text{ MPa} \quad (28)$$

Táhlo B:
$$p = \frac{28802}{50 * 20} = 29 \text{ MPa} < 90 \text{ MPa} \quad (29)$$

7.2.3. Kontrolní výpočty MKP

Pro ověření výsledků a optimalizaci struktury manipulátoru byla provedena MKP analýza v programu SOLIDWORKS 2019. Kompletní výsledky se nachází v příloze bakalářské práce.

Obr. 71 znázorňuje vstupní zatížení a vazby pro výpočet. Na vidlici rozhraní působí síla 5000 N odpovídající hmotnosti palety s obrobkem a vlastní tíže rozhraní a pístu. V pístu je zavedena síla 55 398 N, která odpovídá plnému vyložení s 400 kg obrobkem. Soustava je pevně uložena na koncích horních hřídelí a všechny vnitřní vazby jsou definovány jako čepové s rotací a pojistným kroužkem. Síť pro výpočet je složena celkem z 72 500 elementů.

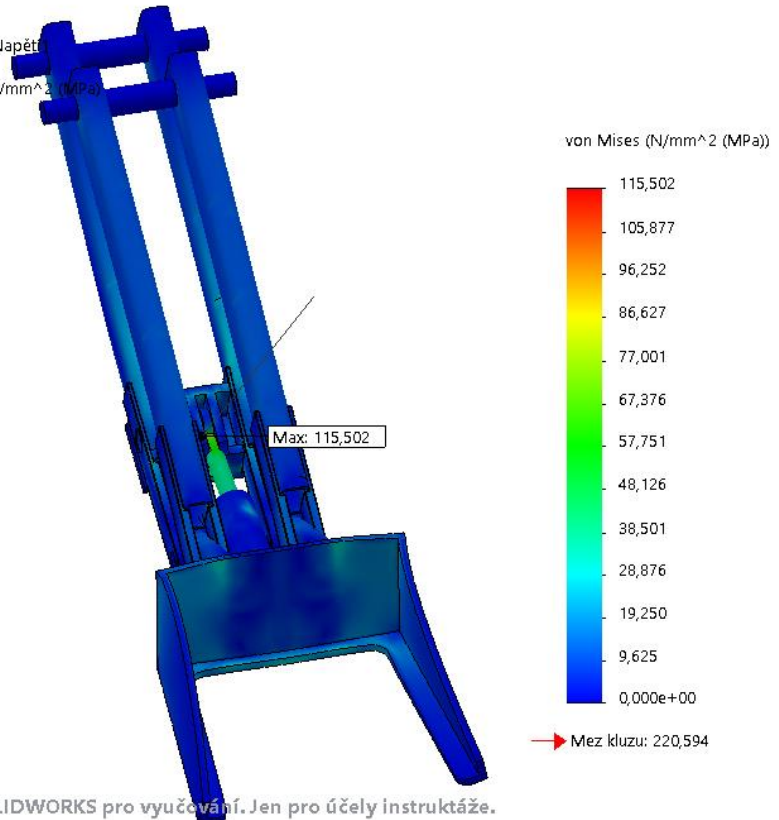


Obr. 71: Vstupní model MKP

Obr. 72 představuje statickou kontrolu paralelogramu při plném vysunutí a zatížení. Napětí dosahuje ve špičce 116 MPa, průměrně se pohybuje přibližně v rozmezí 20 až 60 MPa. Při použití plechů z oceli třídy 11 523 se jedná o dovolené zatížení. Na Obr. 73 je znázorněno posunutí konstrukce vlivem zatížení.

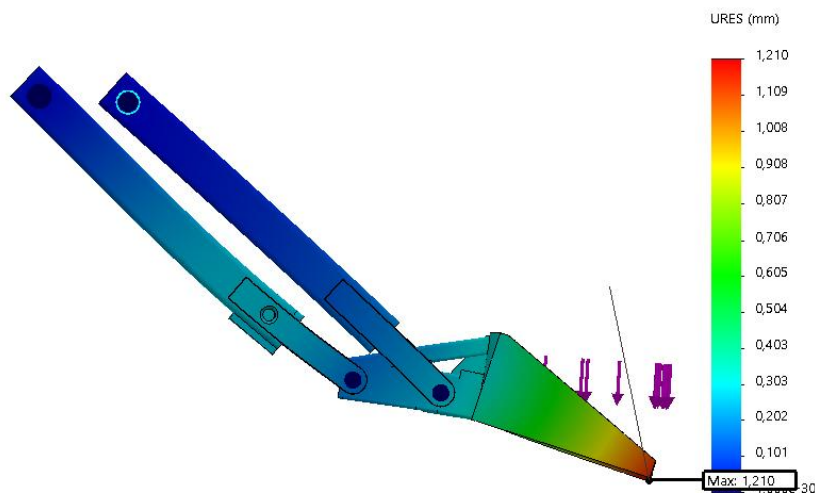


Název modelu: V55_MKPV8
Název studie: Statická analýza 1(-Výchozí-)
Typ obrázku: Statická analýza uzlové napětí Napětí
Měřítko deformace: 163,057
Globální hodnota: 0,000999584 až 115,502 N/mm² (MPa)



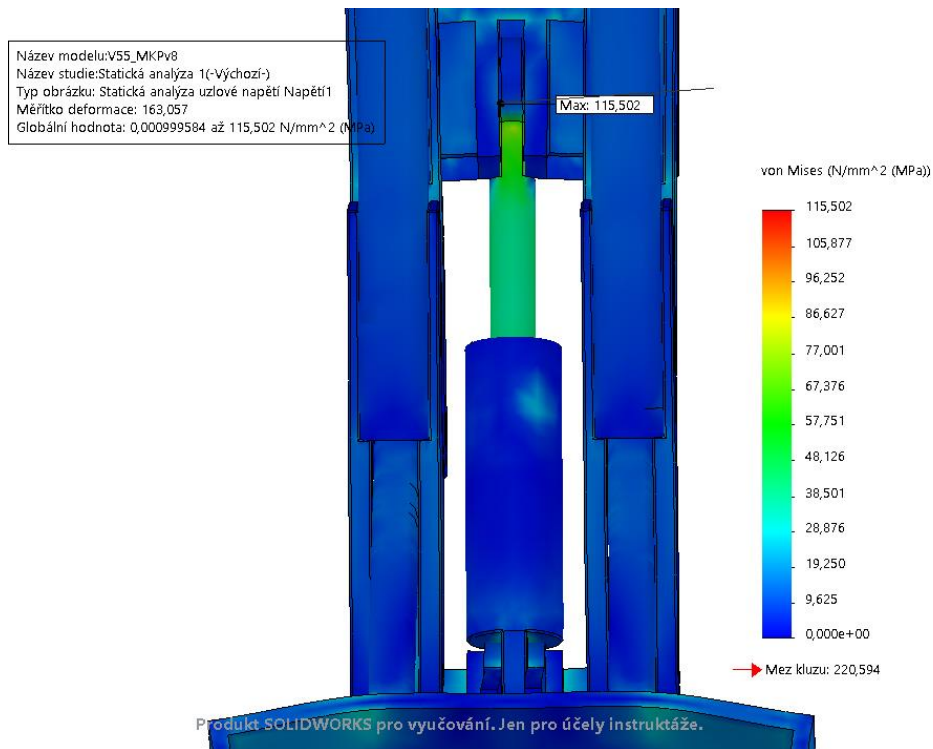
Obr. 72: Výsledek MKP – von Mises

Název modelu: V55_MKPV8
Název studie: Statická analýza 1(-Výchozí-)
Typ obrázku: Statické posunutí Posunutí1
Měřítko deformace: 163,057



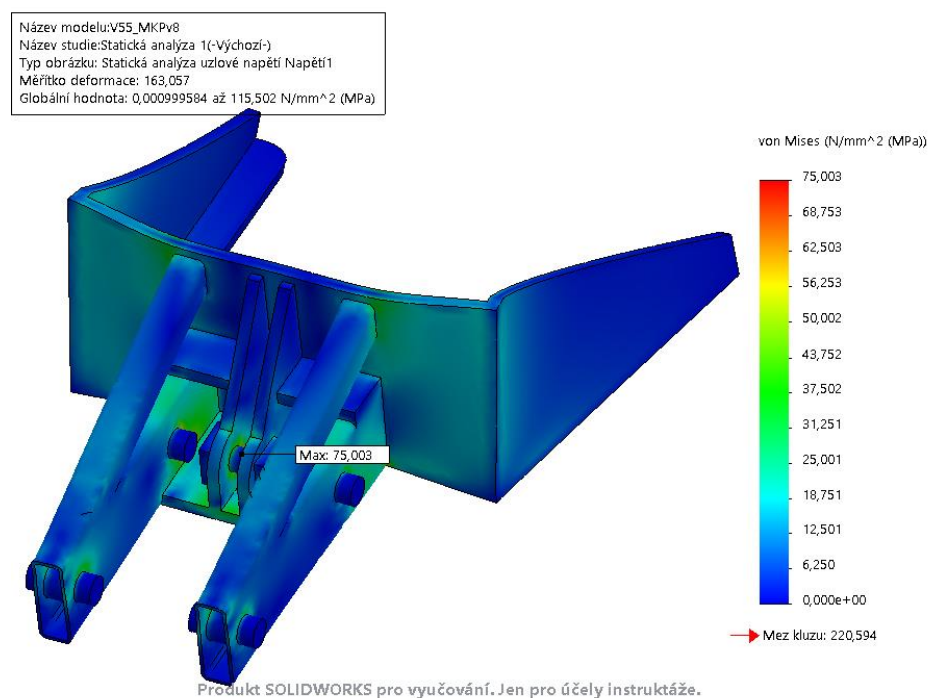
Obr. 73: Posunutí zatížené konstrukce (MKP)

Dle očekávání je nejvíce z celé konstrukce paralelogramu zatížena pístnice přenášející cca. 56 000 N na Obr. 74.



Obr. 74: Výsledek MKP – von Mises (detail)

Napětí v rozhraní manipulátoru na Obr. 75 se pohybuje okolo 40 MPa. Maximální hodnota 75 MPa je dosažena v uložení čepu pístu.

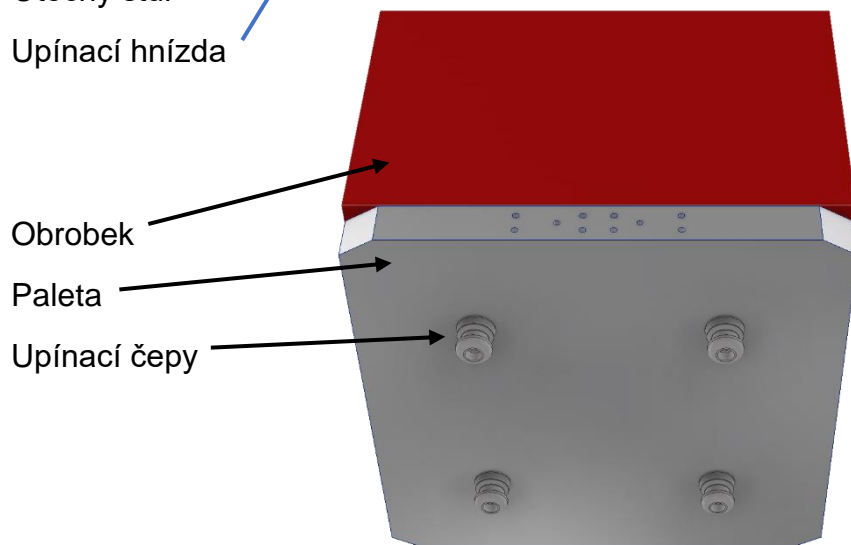
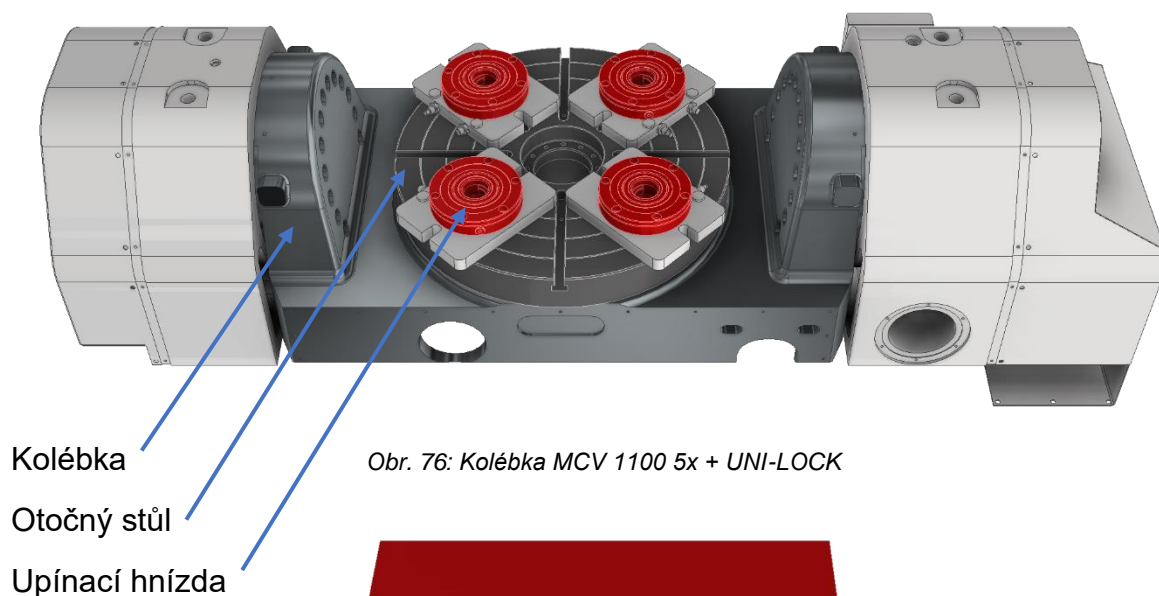


Obr. 75: MKP analýza rozhraní

7.3. Upínání palety do CNC stroje

Pro upínání a středění palety na stůl kolébky bylo navrženo řešení systémem nulového bodu, které poskytuje řadu výhod. Z rešerše byl konkrétně vybrán systém UNI-LOCK výrobce KIPP na Obr. 76. Tento systém poskytuje velice dobrou opakovatelnost a upínací sílu viz. Tabulka 2.

K použití systému upínání do nulového bodu je potřeba uvést informaci ohledně zmenšení užitečného obráběcího prostoru. S tím souvisí snížení maximální výšky obrobku přibližně o 100 mm.



Obr. 77: Osazená paleta EROWA + čepy UNI-LOCK

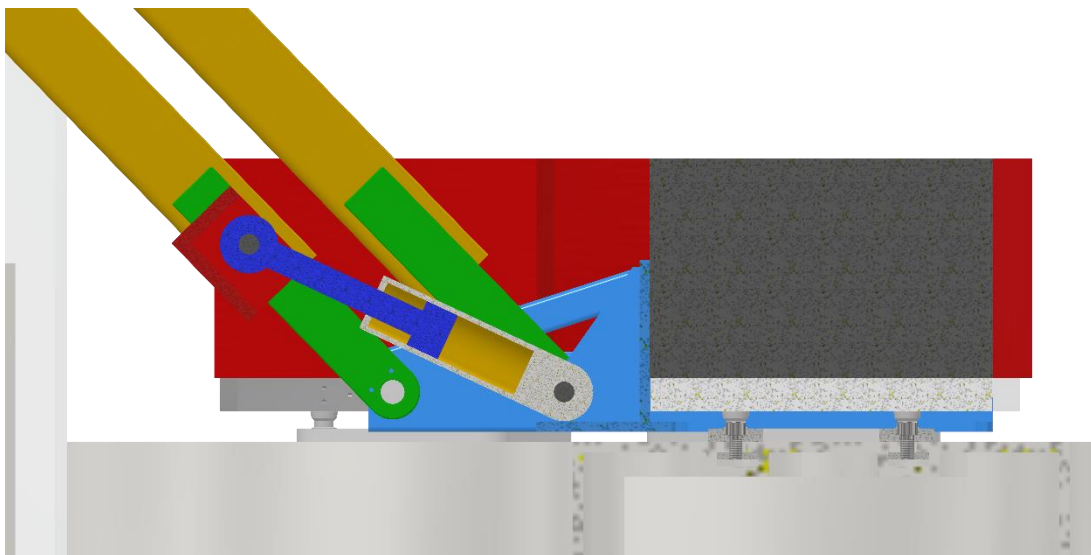
Stůl kolébky je opatřen čtyřmi upínacími hnízdy a paleta na Obr. 77 čepy v rozteči 250 x 250 mm. Velkou výhodou tvoří upínací čepy i v rámci ustalování palety v zásobníku, pro který byl navržen speciální přípravek, jehož popis se nachází v následující kapitole věnované zásobníku palet.

7.4. Návrh pohonů

Manipulátor je nutné osadit třemi pohony. Každému pohonu náleží jedna osa manipulátoru. Jedná se o výsuv rozhraní, výškové nastavení a rotace okolo hlavní osy. Podrobněji řešena je osa paralelogramu. Zbývající osy jsou pouze koncepčně navrženy.

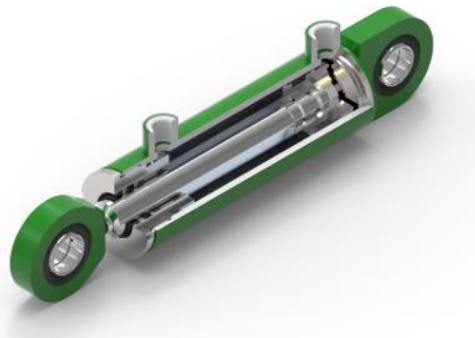
7.4.1. Pohon paralelogramu

Řešení hlavního pohybu manipulátoru a sice vysouvání upínacího rozhraní lze velmi zjednodušit vhodným umístěním lineárního pohonu, jenž bude zajišťovat přímočarý vratný pohyb konstantní rychlostí v optimálním případě oběma směry, bez ohledu na zatížení. Pro tento pohyb bylo uvažováno řešení pomocí pneumatického motoru, neboť využití stlačeného vzduchu by ulehčovalo jeho implementaci v pohonu, stlačený vzduch je běžně u CNC center zaveden. Bohužel toto řešení s sebou přináší komplikace v podobě složitého řízení rychlosti pohybu při různém zatížení a s tím spojený problém kooperace činnosti jednotlivých os. Další komplikací by zřejmě byly velké rozměry pneumatického válce. Z těchto důvodů bylo od pneumatického řešení upuštěno a hlavní zájem se přesunul na použití hydraulického motoru s konstantní rychlostí zdvihu, jenž umožní lepší koordinaci pohybů manipulátoru. Hydraulika přináší výhody v podobě plynulého chodu a snadné regulace. Hydraulická varianta řešení zároveň snižuje finanční náklady, neboť cena za velký pneumotor převyšuje náklady na pořízení hydromotoru včetně generátoru. Pohon se nachází v koncové části ramen paralelogramu na Obr. 78 u rozhraní manipulátoru. Tato pozice zajišťuje vhodné rozložení reakčních sil, bohužel na úkor zvýšení hmotnosti koncové části mechanismu a z toho vycházejícího většího ohybového momentu a setrvačných účinků.



Obr. 78: Výsuv rozhraní pomocí hydraulického pístu

Pro pohon výsuvu byl zvolen píst ZH1 českého výrobce Hydraulics na Obr. 79. Zdvih pístu je 140 mm, průměr 70 mm. Doporučený provozní tlak se pohybuje v rozmezí 16–20 MPa a maximální rychlost do 0,5 m/s. S výběrem pístu souvisí výběr hydraulických hadic. Pro naše řešení byla zvolena hadice 2SC-DN10-8000-DKOS-M22x1.5 s důležitými parametry: vnější průměr 18,5 mm, poloměr ohybu 90 mm. [29]

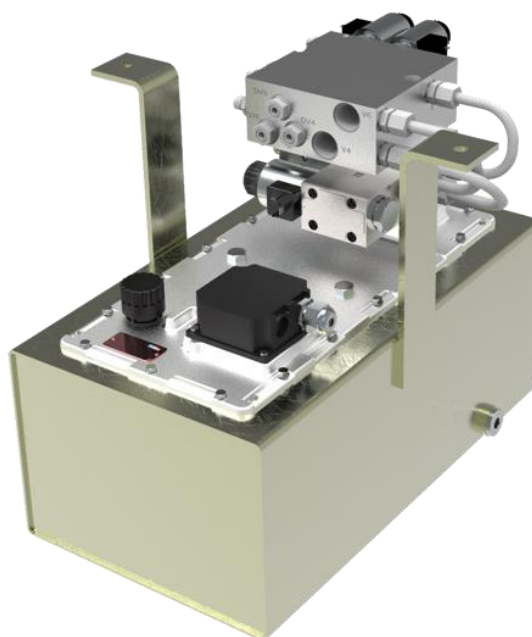


Obr. 79: Hydromotor ZH1 [29]

Pro pohon hydraulického pístu byl z důvodu snížení zástavbových rozměrů a dostatečného výkonu pro naše požadavky zvolen agregát firmy Argo-Hytos SPA 1 na Obr. 80. Hlavní parametry agregátu jsou uvedeny v Tab. 7.

Tab. 7: Parametry hydraulického agregátu [30]

Hydrogenerátor SPA01-48/18.M-10-1-0/002400			
Průtok	5,9 l/min	Objem nádrže	10 l
Pracovní tlak	20 MPa	Typ čerpadla	Zubové



Obr. 80: Agregát SPA 1 [30]

Výpočet času výsuvu pístu při plném průtoku čerpadla 5,9 l/min.

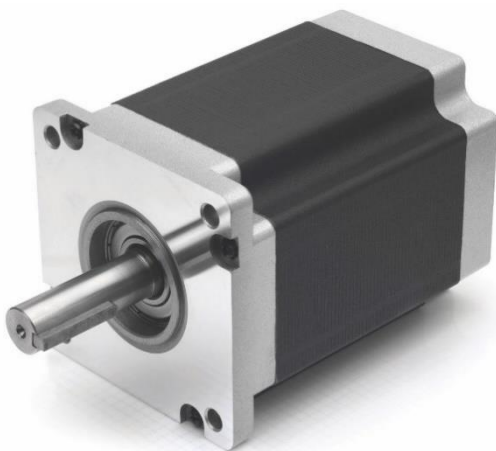
$$t = \frac{6 * V}{100000 * Q} = \frac{6 * \frac{\pi * d^2}{4} * Z}{100000 * Q} = \frac{6 * \frac{\pi * 70^2}{2} * 140}{100000 * 5,9} = 5,5 \text{ s} \quad (30)$$

7.4.2. Výškové nastavení (osa y)

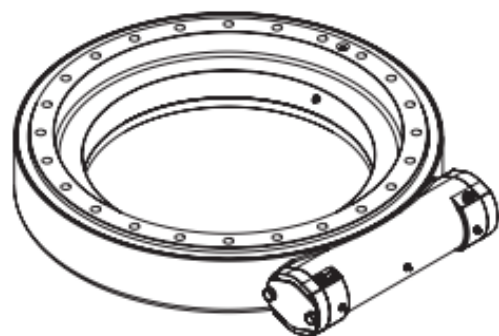
V rámci předběžného návrhu pohonu pro osu y byl zvolen kuličkový šroub v kombinaci s krokovým motorem pro přesné polohování. Krokový motor lze umístit do spodní části základny nebo na horní konzoli manipulátoru. Pro manipulaci do hmotnosti 1000 kg (obrobek + vlastní tíha manipulátoru) je nasnadě využít krokový motor standardu NEMA 42 na Obr. 81 a kuličkový šroub alespoň o průměru 50 mm. Dále musí být pohon z pohledu bezpečnosti opatřen brzdou. V Tab. 8 jsou uvedeny hlavní parametry krokového motoru. [31], [32]

Tab. 8: Parametry předběžně navrženého motoru NEMA 42 [31]

Typové označení NEMA	Přidrž. mom. (Nm)	Délka kroku (A)	Proud (A)	Rozměry (mm)	Hřídel (mm)
ST11018M6504-A42	21	1,8°	6,5	110x110x150	Ø19,5x53,85



Obr. 81: Krokový motor NEMA 42 [31]



Obr. 82: Rotační pohon [33]

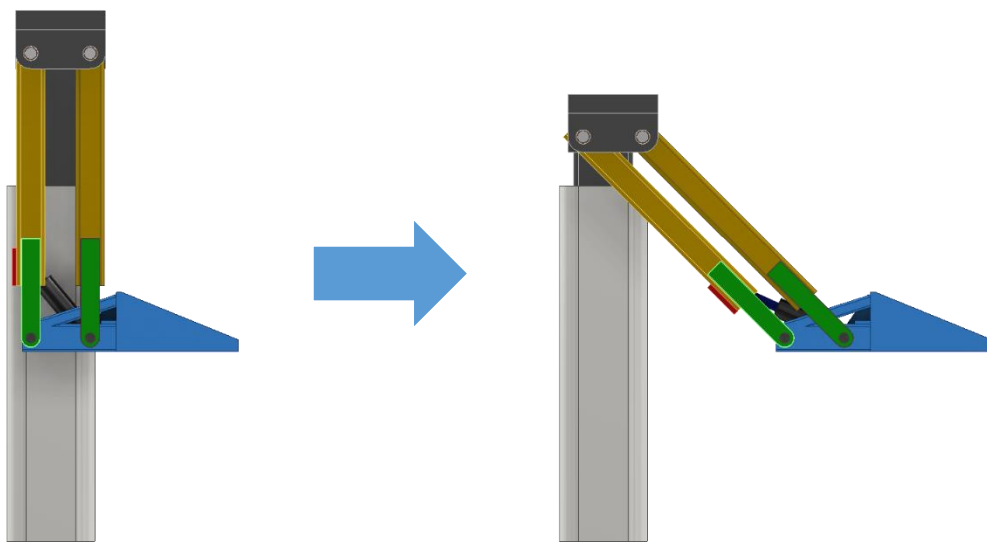
7.4.3. Rotace manipulátoru

Předběžný návrh pohonu rotace manipulátoru je založen na použití elektrického motoru a rotačního pohonu na Obr. 82. Pro přenos kroutícího momentu z motoru na pohon lze využít řetězový nebo řemenový převod. Rotaci lze řídit koncovými spínači, nebo pomocí odměřování. [33]

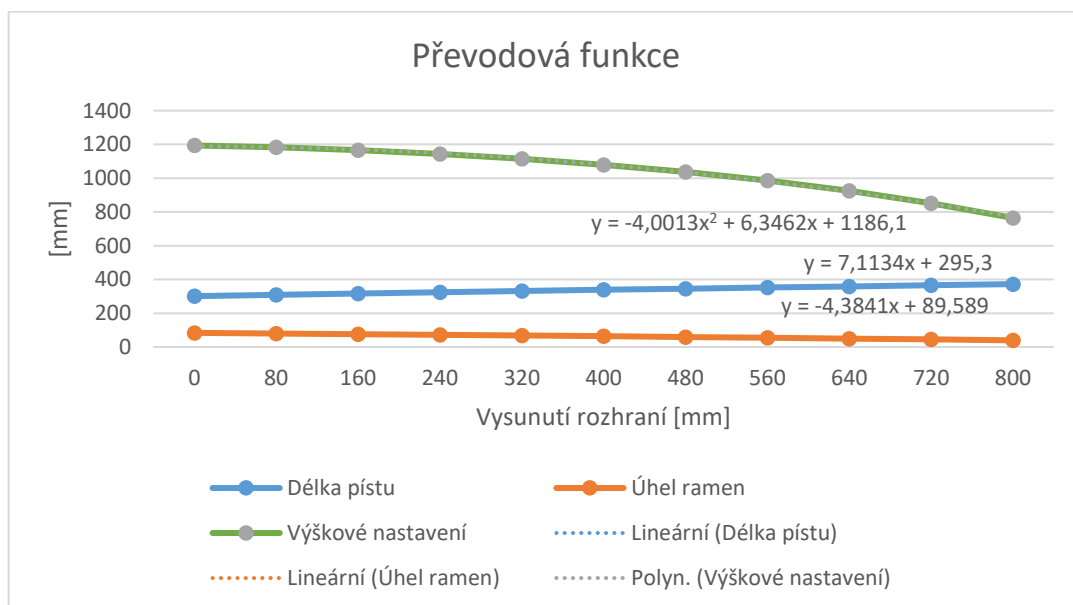
Umístění pohonu bylo nejprve zvažováno na horní konzoli táhla. Při návrhu energetického řetězu se objevili potíže v obtížné realizaci a bylo nutné přemístit pohon do spodní části manipulátoru. Výhodou tohoto řešení je například snížení hmotnosti pohyblivé části manipulátoru.

7.4.4. Součinnost pohonů (superpozice)

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, při vysouvání rozhraní je nutné zajistit současný pohyb v ose y, pro dosažení vysouvání bez změny výšky rozhraní nad podlahou. Výsuv rozhraní při stejné výšce je zobrazen na Obr. 83. Tato operace bude vyžadovat složitější řízení pohonu osy y, na základě odměřování výsuvu hydraulického pístu. Odměřování pístu lze provádět například pomocí rotačního měřidla umístěného v ložiskách, nebo za pomoci hydromotoru jenž je vybaven přímým odměřováním. Hydromotory vybavené přímým odměřováním jsou velmi drahé. Levnější variantou je lineární měřidlo umístěné vně pístu, které zajistí stejnou funkci. Následující graf představuje převodovou funkci závislosti výškového nastavení na vysunutí pístu.



Obr. 83: Změna výšky při vysunutí

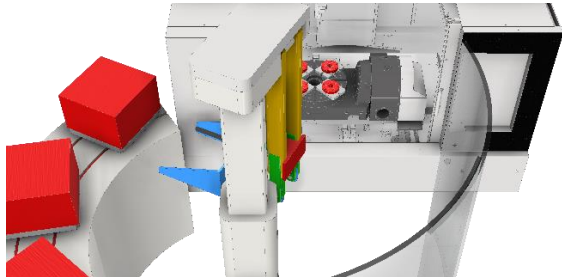
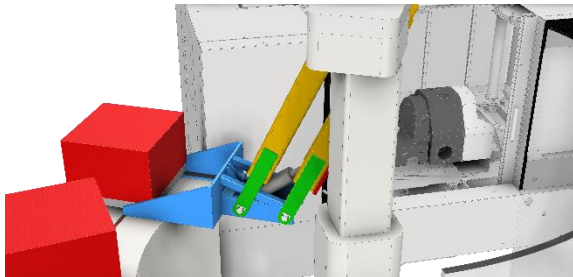
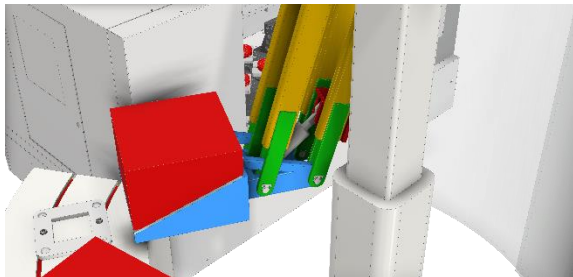


Obr. 84: Graf převodové funkce

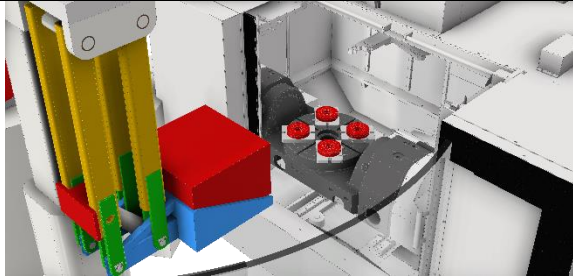
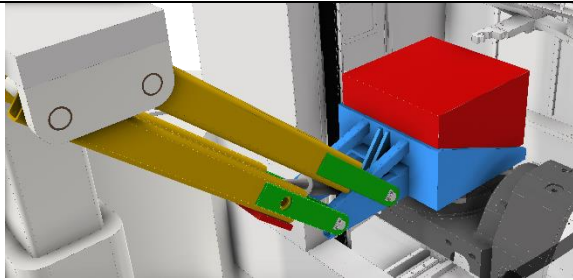
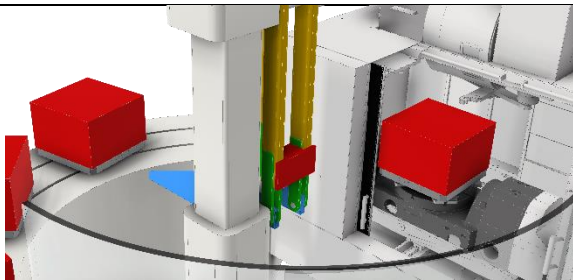
7.5. Pracovní cyklus

Pracovnímu cyklu stroje předchází založení, alespoň jedné palety do zásobníku a uzavření bezpečnostních dveří do koncového spínače umístěného na CNC stroji. V Tab. 9 je uveden cyklus krok po kroku.

Tab. 9: Pracovní cyklus manipulátoru

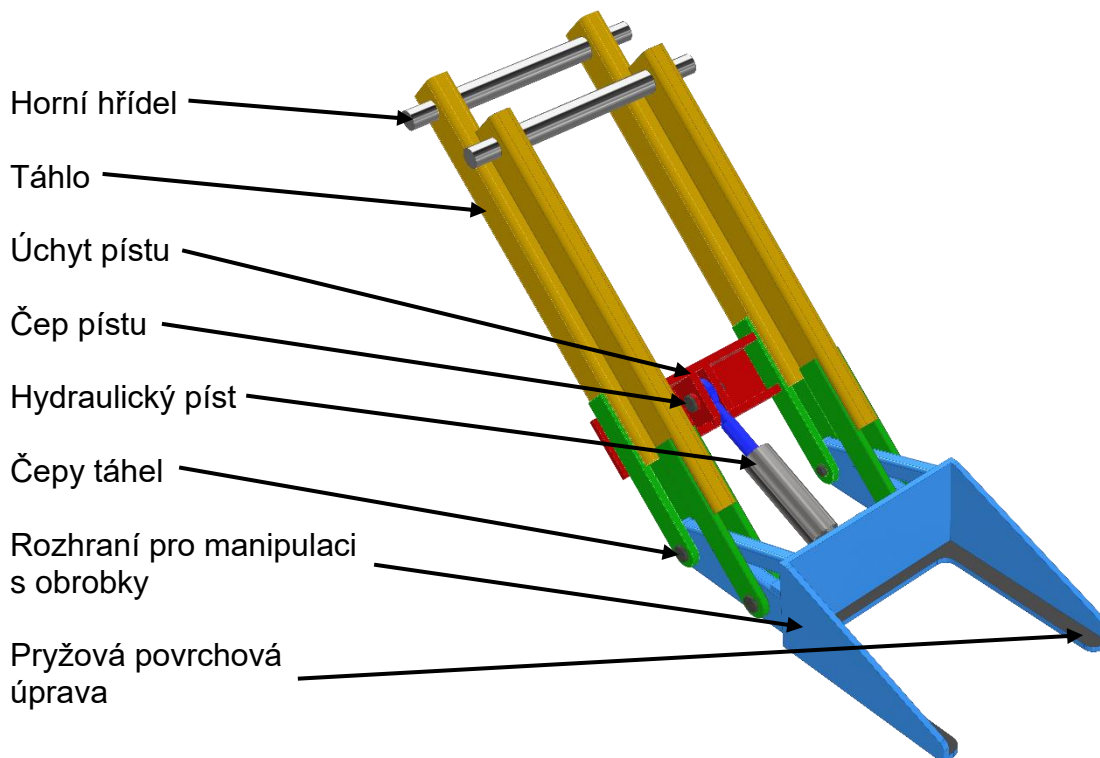
č.	Čas kroku	Popis	Obrázek
1	5 s	Nejprve dojde k aktivaci výškového nastavení manipulátoru, který se vysune na úroveň zásobníku. Rotací se dále zajistí, přesné natočení rozhraní manipulátoru oproti požadované pozici s paletou.	 <p>Obr. 85: Počáteční pozice cyklu</p>
2	6 s	Následně začíná výsuv hydromotoru za současného klesání paralelogramu pomocí kuličkového šroubu, čímž je zajištěn vodorovný výsuv rozhraní. Po dosažení cílové pozice a zastavení všech pohybů, dojde k nadzdvihnutí palety z pozice v zásobníku. Od této chvíle je paleta uchopena manipulátorem.	 <p>Obr. 86: Nabírání palety</p>
3	10 s	Hydromotor se začne zasouvat a při tomto pohybu zvedá kuličkový šroub celou sestavu vzhůru, čímž opět udržuje rozhraní s paletou ve stejné výšce. Po dosažení transportní pozice je zahájena rotace manipulátoru.	 <p>Obr. 87: Manipulace s paletou</p>



4	20 s	Rotace je ukončena koncovým spínačem zajišťujícím přesné natočení vůči stolu stroje.	 <p data-bbox="879 504 1321 533"><i>Obr. 88: Dosažení koncové polohy rotace</i></p>
5	8 s	Proces výsuvu rozhraní se opakuje s tím rozdílem, že po dosažení dostatečného výsuvu, dojde k poklesu v ose y a upnutí palety upínacím hnízdem ve stroji.	 <p data-bbox="916 833 1289 862"><i>Obr. 89: Zakládání palety do stroje</i></p>
6	15 s	Po dokončení zakládání se manipulátor vrátí do základní pozice, dle obrázku.	 <p data-bbox="900 1162 1305 1191"><i>Obr. 90: Výchozí poloha manipulátoru</i></p>

7.6. Konstrukce

Z matematického modelu a provedených výpočtů byla získána vstupní data pro návrh členů konstrukce manipulátoru na Obr. 91. Hlavní materiály navržené pro konstrukci plechů a zakázkových dílů jsou oceli třídy 11 523. Dle katalogu Ferona pro normalizované profily byla zvolena třída oceli 11 378. [34]

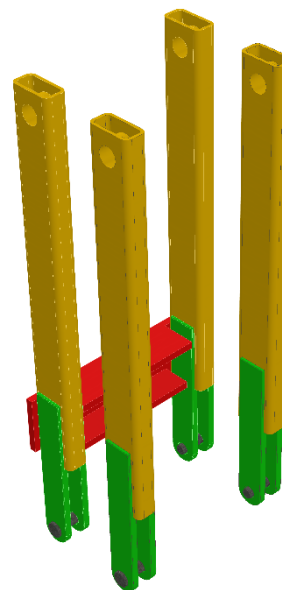


Obr. 91: Konstrukce paralelogramu

7.6.1. Táhla

Pro navržený paralelogram jsou typické dvě spřažená táhla na Obr. 92. Z důvodu zvýšení nosnosti manipulátoru jsou zdvojená, což představuje i jeden z rozdílů oproti konstrukci Viceloader s nosností 130 kg. Uložení táhel je realizováno ve spodní části pomocí čepů. V horní části jsou dvojice táhel spojeny pomocí hřídelů. Hřídel je následně uložena na koncích v bronzových kluzných pouzdrech.

Na obrázku je detail sestavy čtyř táhel paralelogramu. Hlavním konstrukčním prvkem táhel je normalizovaný silnostěnný profil (na obrázku žlutě) o rozměrech 160 x 160 x 8 mm, poskytující dostatečnou tuhost. Pro uchycení táhel k rozhraní manipulátoru slouží plechy z oceli 11 523 o tloušťce 20 mm. Zadní táhla se od přední dvojice liší přidáním uchycením pístu. [34]



Obr. 92: Táhla paralelogramu

7.6.2. Uchycení pístu

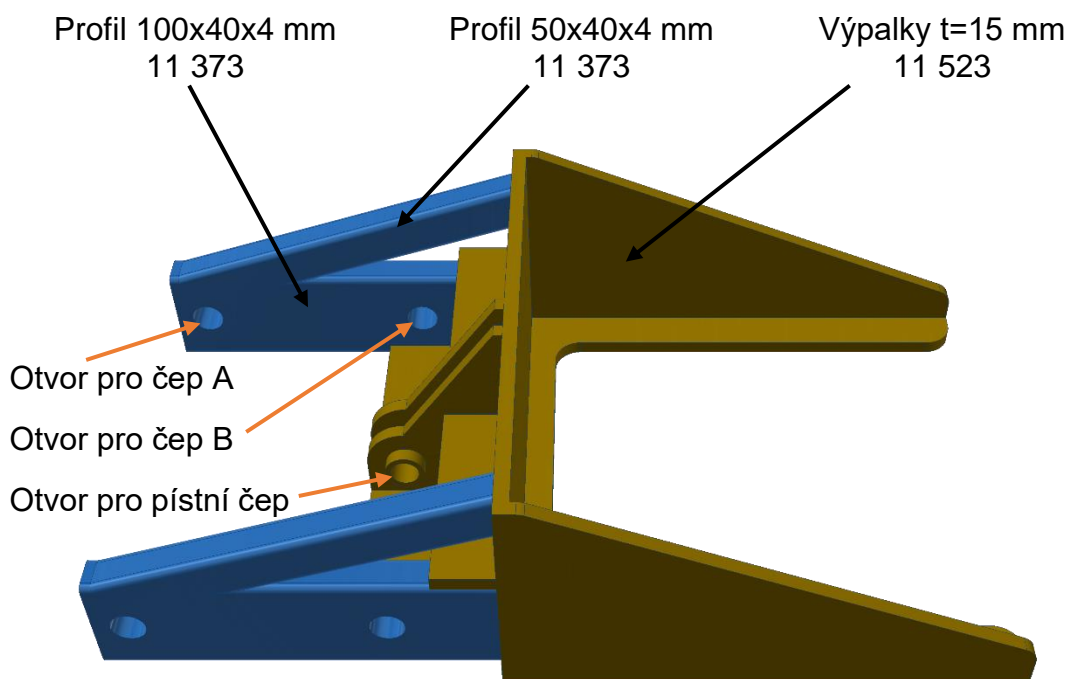
Konstrukce uložení pístu na Obr. 93, je složená z plechu o tloušťky 20 mm, pro přenos značných sil pístu.



Obr. 93: Svařenec uchycení pístu

7.6.3. Rozhraní pro manipulaci s paletami

Jedním z požadavků zadání je i návrh jednoduchého způsobu uchopování palety s obrobkem. Pro řešení tohoto úkolu bylo navrženo rozhraní v podobě vidlice na Obr. 94, která se zasouvá přímo pod paletu, a tudíž nevyžaduje žádné úpravy palety.



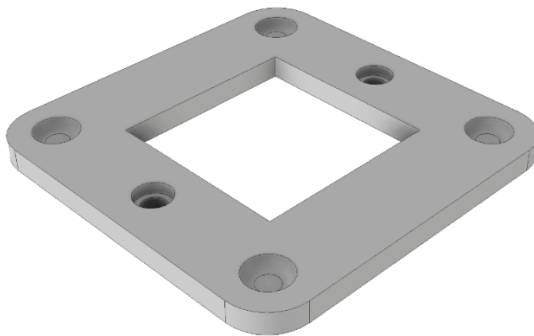
Obr. 94: Rozhraní pro manipulaci s paletou

Na obrázku jsou jasně patrné jednotlivé části, ze kterých se vidlice skládá. Odstíny žluté barvy jsou označeny výpalky z plechu o tloušťce 15 mm. Modrá barva odpovídá normalizovaným profilům. Pro zajištění pozice palety na vidlici rozhraní bude dostačující, díky značné hmotnosti obrobku v kombinaci s malými rychlostmi manipulace, opatřit stykovou plochu rozhraní s paletou pryží. [34]

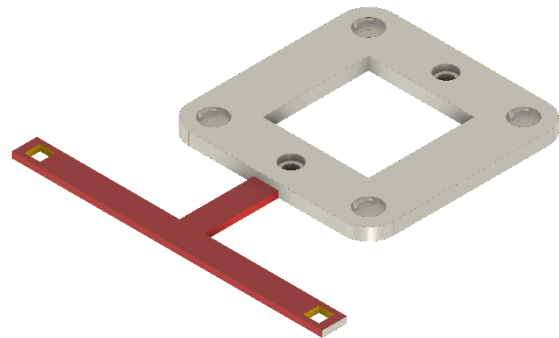
7.7. Zásobník palet

Jako zásobník byl navržen kotoučový, prozatím jednopatrový zásobník na Obr. 97 se snadnou možností zvýšení počtu pater. Na jednom patře je možné umístit 4 palety o maximálním rozměru 500 x 500 mm. V případě potřeby lze snadno zásobník rozšířit minimálně o jedno až dvě patra, a to za předpokladu dodržení podmínky snadného zakládání nových palet pomocí jeřábu, jenž je možné vyřešit následujícími dvěma způsoby. Prvním způsobem je umístění dalších pater na pojezdy umožňující vysunutí. Při vysunutí níže položených pater tak dojde k jejich odkrytí a možnosti snadného založení. Druhou variantu představuje využití manipulátoru pro přesun palet z horního patra do nižších. Proces zakládání více palet, než je kapacita patra horního, se skládá z vložení palety do pozice na vrchním patře a přesunu této palety pomocí manipulátoru do pozice nižší. Tímto dojde k výraznému prodloužení času zakládání. Výhodou je fakt, že tento proces lze provádět během práce CNC stroje na jiném obrobku, za předpokladu ponechání volné pozice v zásobníku pro zpracováváný obrobek. Překládka palet manipulátorem vychází konstrukčně i cenově výhodněji pro řešení problematiky většího počtu pater (pozic) zásobníku.

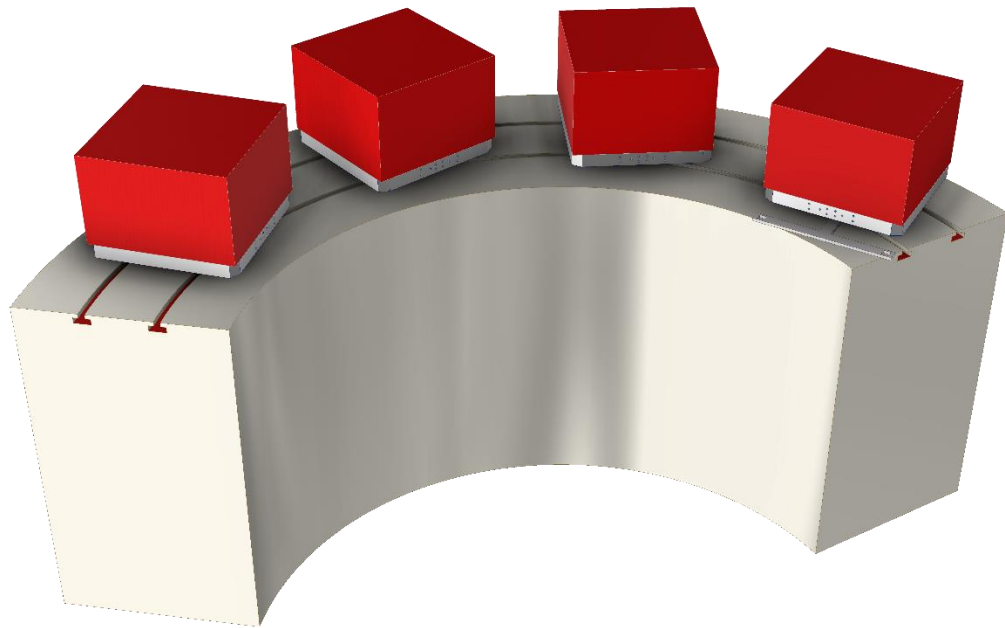
Pozicování palet v zásobníku se provádí pomocí přípravků dle vlastního návrhu na Obr. 95, který je možné libovolně přesouvat pomocí T drážek v zásobníku na Obr. 98. Zásobník tedy umožňuje flexibilně měnit počet a umístění jednotlivých paletových pozic. Pro získání souřadnic polohy palet byl navržen speciální prvek pro nasnímání koncovými spínači umístěnými na konci vidlice rozhraní. Osazení dvěma spínači zajistí přesné odečtení pozice palety na Obr. 96.



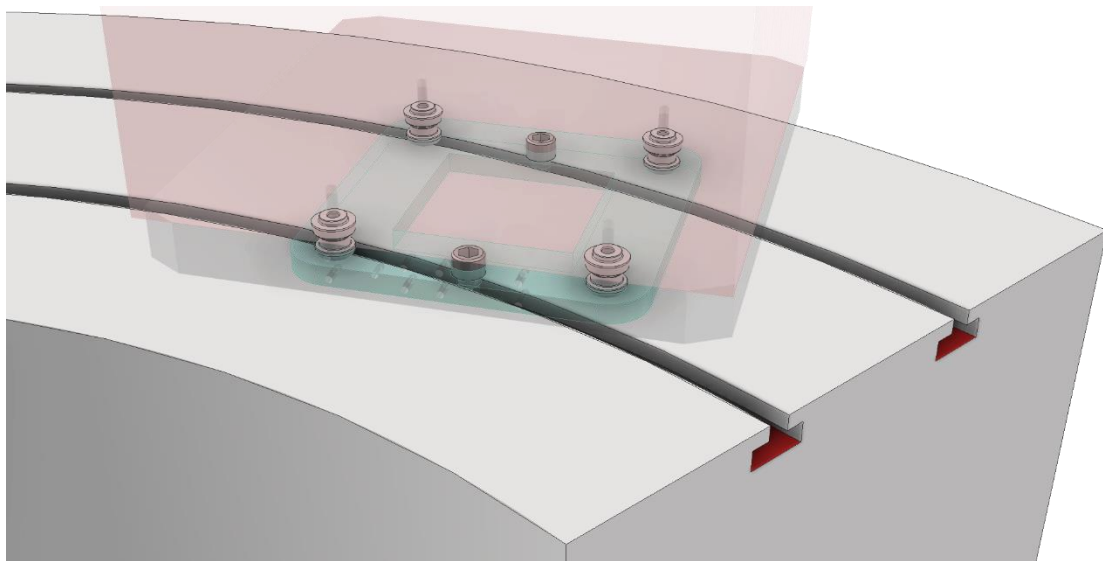
Obr. 95: Přípravek na paletu do zásobníku



Obr. 96: Přípravek pro odměření pozice palety



Obr. 97: Zásobník palet

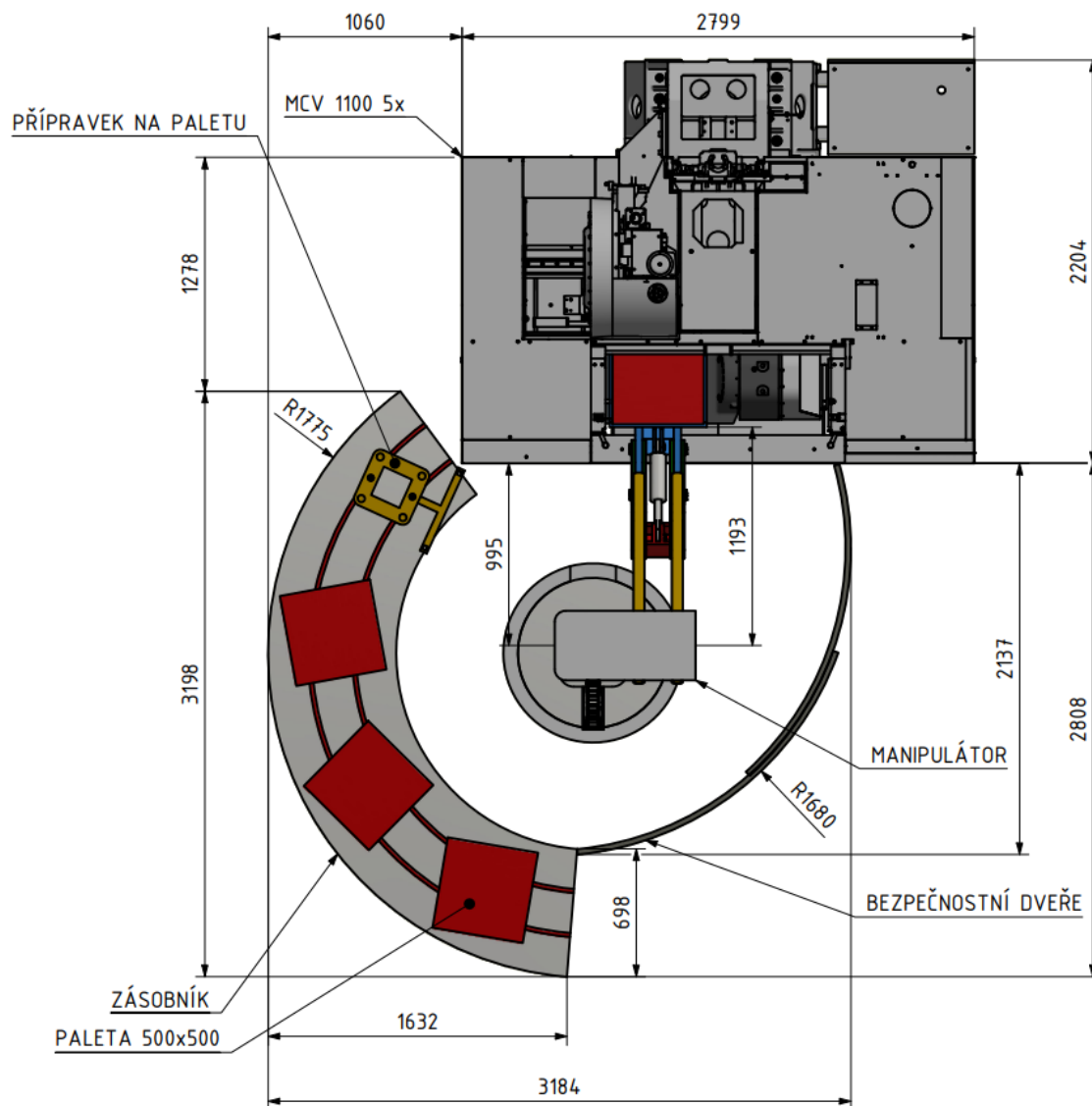


Obr. 98: Detail zásobníku

7.8. Zástavbové rozměry

Automatický režim

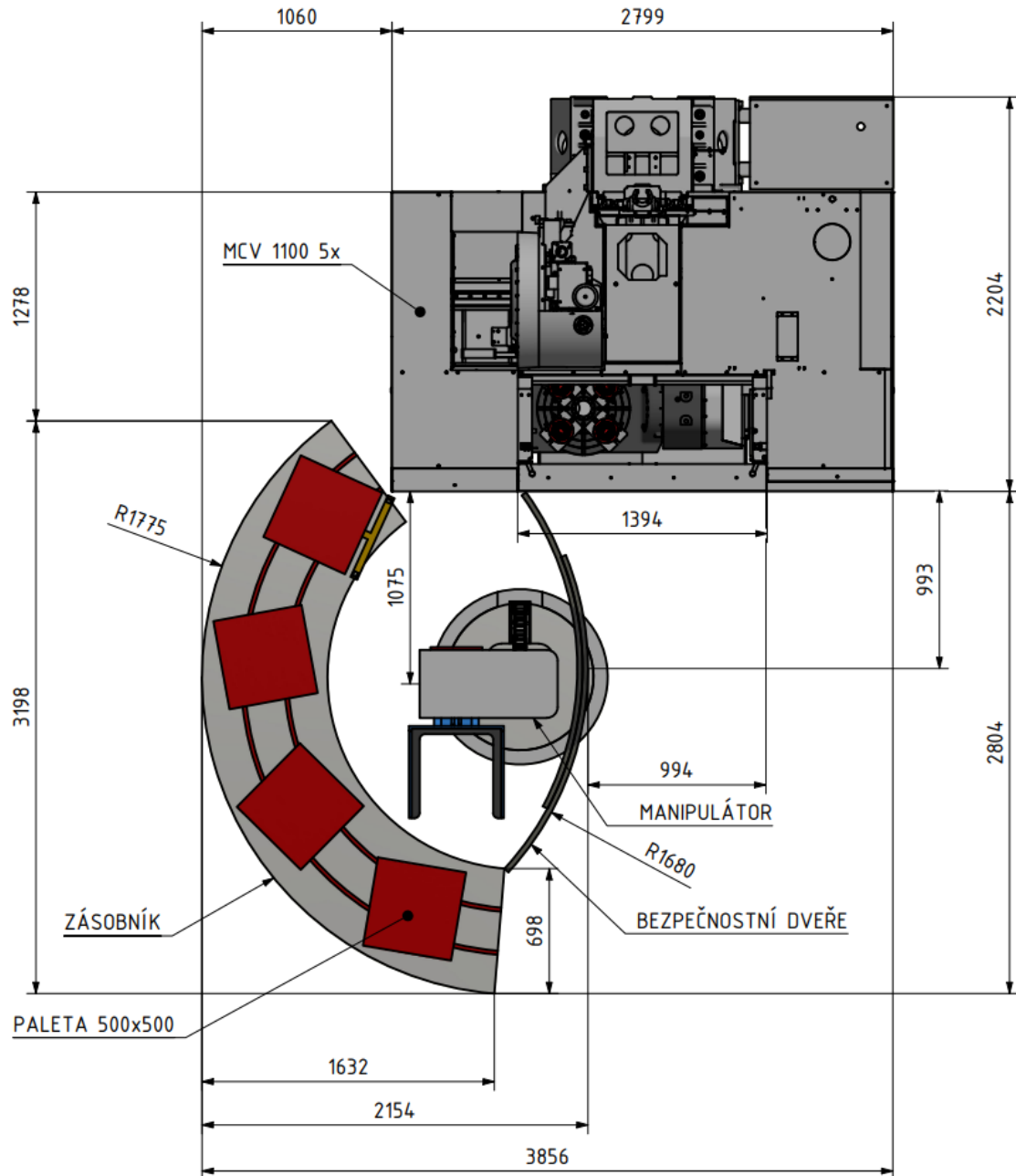
Automatický režim na Obr. 99 je stav, kdy je manipulátor v provozu a dochází k automatickému zakládání obrobků do stroje nebo jejich manipulaci.



Obr. 99: Zástavbové rozměry (automatický režim)

Manuální režim

Jako manuální je naopak označován režim, kdy je operátorovi CNC stroje umožněn přístup do obráběcího prostoru a bezpečnostní dveře manipulátoru jsou zajištěny na Obr. 100.



Obr. 100: Zástavbové rozměry (manuální režim)



8 Závěr

V první části bakalářské práce byla zpracována rešerše dostupných řešení paletové automatizace. V rámci rešerše vznikla podrobná tabulka parametrů současných koncepcí. Z rešerše byly dále vybrány tři kinematické varianty manipulátoru. Při dalším průzkumu bylo zjištěno, že SCARA manipulátor firma Kovosvit MAS již v minulosti zpracovávala. Další varianta bočního zakládání je velmi komplikovaná z důvodu nutnosti zakládání do kolébky MCV 1100 5x. Pro vlastní řešení byla vybrána varianta manipulátoru s paralelogramem. Jedná se o novou koncepci, jenž je patentovaná firmou Tanno Engineering s.r.o.

Toto zařízení se skládá ze třech pohybových os. V práci je zpracována osa zajišťující výsuv rozhraní – paralelogram. Za pohon této osy byl zvolen přímočarý hydromotor. Na základě potřebného vyložení manipulátoru byla navržena délka táhel a mezní úhel natočení. K největším silovým účinkům dochází při plném vyložení maximální zátěže. Tímto byla určena okrajová podmínka pro návrhový výpočet konstrukce táhel a spočtena potřebná síla pro pohyb realizovaný přímočarým hydromotorem. Následovalo sestavení matematického modelu, který byl dále řešen pomocí programu MATLAB. Výstupem numerického řešení jsou reakce ve všech čepových uloženích a potřebná síla přímočarého hydromotoru pro dosažení rovnováhy při plném vysunutí. Z výpočtu byl navržen přímočarý hydromotor o průměru 70 mm se zdvihem 140 mm poháněný hydraulickým agregátem o výkonu 3kW, pracovním tlakem 20 MPa a maximálním průtokem 5,9 l/min.

Konstrukci táhel v pozdější fázi optimalizované pomocí MKP tvoří silnostěnný profil 120 x 60 x 8 mm a plechy tloušťky 20 mm. Osová vzdálenost mezi horním a spodním čepem táhla je 1200 mm. Plné vyložení rozhraní s krajním úhlem naklopení táhel 37° dosahuje 960 mm. Během výsuvu rozhraní dochází současně k jeho zvedání. Výškový rozdíl mezi zasunutým a plně vysunutým rozhraním dosahuje 480 mm. Tato hodnota představuje výchozí parametr pro návrh výškové osy, jejíž zdvih musí dosahovat nejméně 500 mm, a to z důvodu nutné kompenzace výškového posunutí při snaze o výsuv rozhraní pouze v ose x. Po dalším prodloužení osy y lze uvažovat rozšíření zásobníku o další úroveň. Zásobník byl navržen pro kapacitu minimálně 4 palet o rozměru 500 x 500 mm s možností přidání další palety. Díky navrženému přípravku a T-drážkám v zásobníku je zajištěna snadná změna pozic a počet palet. Tvar zásobníku společně s navrženými bezpečnostními dveřmi dovoluje snadnou změnu pracovního režimu z automatického na plně manuální a respektuje požadavek přístupu do pracovního prostoru.

Rozhraní manipulátoru, je navrženo pro zatížení 400 kg a umožňuje manipulaci s obrobkem o hmotnosti 350 kg a zbývajících 50 kg tak náleží pro paletu a upínače. Konstrukce rozhraní se z velké části skládá z plechů oceli třídy 11 523 o tloušťce 15 mm. Díky vidlici je možná manipulace s širokým spektrem tvarů palet bez nutnosti osazení upínacího rozhraní nebo jejich úprav. Zvolená paleta a systém upínání do nulového bodu zmenšuje pracovní prostor stroje.



Z původní velikosti výšky pracovního prostoru 550 mm zbývá po odečtení palety a upínacích hnízd přibližně 450 mm.

S pomocí výsledků získaných během řešení lze přibližně stanovit čas cyklu zakládání obrobků do stroje, který se dle výchozí pozice palety v zásobníku pohybuje od 40 do 60 sekund.



Seznam obrázků

Obr. 1: Kovošvit MAS MCV 1100 5x [2]	12
Obr. 2: MCV 750 [2]	14
Obr. 3: MCV 1100 QUICK [2]	14
Obr. 4: MCV 2200 [2]	14
Obr. 5: Vnější rozměry MCV 1100 5x [2]	15
Obr. 6: Vhodné umístění AVO [2]	15
Obr. 7: Pracoviště s automatizací ZEROBOT 100-P [3]	16
Obr. 8: Technologická paleta s T drážkami [6]	17
Obr. 9: Paleta českého výrobce VTECH [6]	17
Obr. 10: Upínací pyramida SCHUNK [4]	17
Obr. 11: Modul SCHUNK NSR [8]	18
Obr. 12: EROWA LOADMASTER [9]	18
Obr. 13: Upínací věž SCHUNK [8]	18
Obr. 14: SCHUNK VERO-S [8]	19
Obr. 15: Konstrukce SCHUNK VERO-S [8]	19
Obr. 16: EROWA HIGH PRECISION CHUCKS / MTS / UPC [9]	20
Obr. 17: GARANT ZEROCLAMP [10]	20
Obr. 18: KIPP UNI LOCK [9]	20
Obr. 19: Schéma KIPP UNI LOCK [9]	20
Obr. 20: Upínače ZEPO-v [7]	21
Obr. 21: MIDACO PALLET CARTS [14]	22
Obr. 22: EROWA ROBOT DYNAMIC [9]	22
Obr. 23: DMG MORI PH CELL [15]	23
Obr. 24: HERMLE PW 150 [16]	23
Obr. 25: ZEROBOT 100-P [3]	24
Obr. 26: HURCO PROFEEDER [15]	25
Obr. 27: DMG MORI LPP [15]	25
Obr. 28: INDUMATIK [19]	25
Obr. 29: Zásobník EROWA EASY 800 [9]	26
Obr. 30: Zásobník Viceloader [20]	26
Obr. 31: HAAS VF-2 [21]	26
Obr. 32: HWACHEON HMP [22]	26
Obr. 33: DMG MORI PH CELL [15]	27
Obr. 34: DMG MORI PH-AGV [15]	28
Obr. 35: DOOSAN [23]	28
Obr. 36: EROWA COMPACT 80 [9]	29
Obr. 37: EROWA ROBOT MULTI [9]	29
Obr. 38: EROWA LEONARDO [9]	29
Obr. 39: EROWA EASY 250, EROWA EASY 800 [9]	30
Obr. 40: EROWA DYNAMIC 150L, 250, 500 [9]	30
Obr. 41: GROB PSS-R [24]	31
Obr. 42: GROB PSS-L [24]	31
Obr. 43: HAAS 16-SPP / 8-SPP [21]	31
Obr. 44: HERMLE PALLET CHANGER PW 150 [16]	32



Obr. 45: HWACHEON HMP [22]	32
Obr. 46: INDUMATIK 150 [19].....	33
Obr. 47: MAZAK MPP [25]	34
Obr. 48: MAZAK PALLETECH [25].....	34
Obr. 49: MIDACO MPC [14]	35
Obr. 50: MIDACO PALLET CARTS [14]	35
Obr. 51: OKUMA TOWER APC [26]	35
Obr. 52: OKUMA 6-PALLET MPC [26].....	35
Obr. 53: SPINNER [27]	36
Obr. 54: TANNO VICELoader (boční zakládání) [20]	36
Obr. 55: TANNO VICELoader (přední zakládání) [20].....	36
Obr. 56: ZEROBOT 100-P [3]	37
Obr. 57: ZEROBOT 100-V [3]	37
Obr. 58: Boční zakládání HWACHEON [22].....	39
Obr. 59: Návrh koncepce bočního zakládání	40
Obr. 60: Průběh bočního zakládání.....	40
Obr. 61: Návrh konstrukce upínacího zařízení	41
Obr. 62: SCARA manipulátor Kovosvit MAS [2]	42
Obr. 63: Návrh vlastního řešení SCARA manipulátoru	43
Obr. 64: Kinematika TANNO Viceloder [20]	44
Obr. 65: Vlastní řešení pracoviště AVO	46
Obr. 66: Kinematika manipulátoru	47
Obr. 67: Řešená osa (paralelogram).....	48
Obr. 68: Uvolnění paralelogramu pro matematický model	48
Obr. 69: Významné polohy manipulátoru	49
Obr. 70: Grafy průběhu reakcí v uložení	50
Obr. 71: Vstupní model MKP.....	53
Obr. 72: Výsledek MKP – von Mises.....	54
Obr. 73: Posunutí zatížené konstrukce (MKP)	54
Obr. 74: Výsledek MKP – von Mises (detail).....	55
Obr. 75: MKP analýza rozhraní	55
Obr. 76: Kolébka MCV 1100 5x + UNI-LOCK	56
Obr. 77: Osazená paleta EROWA + čepy UNI-LOCK.....	56
Obr. 78: Výsuv rozhraní pomocí hydraulického pístu.....	57
Obr. 79: Hydromotor ZH1 [29].....	58
Obr. 80: Agregát SPA 1 [30].....	58
Obr. 81: Krokový motor NEMA 42 [31]	59
Obr. 82: Rotační pohon [33]	59
Obr. 83: Změna výšky při vysunutí.....	60
Obr. 84: Graf převodové funkce	60
Obr. 85: Počáteční pozice cyklu.....	61
Obr. 86: Nabírání palety	61
Obr. 87: Manipulace s paletou	61
Obr. 88: Dosažení koncové polohy rotace	62
Obr. 89: Zakládání palety do stroje	62
Obr. 90: Výchozí poloha manipulátoru	62



Obr. 91: Konstrukce paralelogramu	63
Obr. 92: Táhla paralelogramu	63
Obr. 93: Svařenec uchycení pístu	64
Obr. 94: Rozhraní pro manipulaci s paletou	64
Obr. 95: Přípravek na paletu do zásobníku	65
Obr. 96: Přípravek pro odměření pozice palety	65
Obr. 97: Zásobník palet.....	66
Obr. 98: Detail zásobníku.....	66
Obr. 99: Zástavbové rozměry (automatický režim).....	67
Obr. 100: Zástavbové rozměry (manuální režim)	68



Seznam tabulek

Tab. 1: Příklady CNC strojů z řady MCV	14
Tab. 2: Systémy upínání do nulového bodu [7], [8], [9], [10], [11]	21
Tab. 3: Parametry SCARA Kovořvit MAS [2]	42
Tab. 4: Přehledová tabulka variant	45
Tab. 5: Doporučené rozsahy os manipulátoru	47
Tab. 6: Přehled reakcí pro významné polohy	50
Tab. 7: Parametry hydraulického agregátu [30]	58
Tab. 8: Parametry předběžně navrženého motoru NEMA 42 [31]	59
Tab. 9: Pracovní cyklus manipulátoru	61

Seznam příloh

Textové přílohy

- Příloha 1: Přehledová tabulka výrobců
- Příloha 2: Výsledkový list MATLAB
- Příloha 3: Výsledky analýzy MKP SOLIDWORKS 2019

Výkresová dokumentace

- Výkres BP-TL-01 (PRACOVNÍŠTĚ AVO)
- Kusovník BP-TL-01-K
- Výkres BP-TL-02 (KONCEPČNÍ NÁVRH MANIPULÁTORU)
- Kusovník BP-TL-02-K
- Výkres BP-TL-03 (UPÍNACÍ ROZHRANÍ NA OTOČNÉM STOLE)
- Kusovník BP-TL-03-K



Seznam použité literatury

- [1] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [2] KOVOSVIT MAS, a.s. [online]. [cit. 2021-10-01]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/>
- [3] ZeroClamp GmbH [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.zeroclamp.com/>
- [4] PRUDILOVÁ, Gabriela. Tajemné obráběcí věže a pyramidy. MM Průmyslové spektrum [online]. 2021, 2021(5) [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/tajemne-obrabeci-veze-a-pyramidy>
- [5] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1
- [6] JASH Precision Tools Ltd. [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.jashmetrology.com/products/pallet-sub-table/>
- [7] V-Tech s.r.o. [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <http://v-techsro.cz/>
- [8] SCHUNK GmbH & Co. KG [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs
- [9] EROWA LTD [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.erowa.com/en>
- [10] Hoffmann Group: Garant ZeroClamp [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: [https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/oblasti-pouziti-upinaci-technika/garant-zeroclamp/e/118406/](https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/oblasti-pouziti/upinaci-technika/garant-zeroclamp/e/118406/)
- [11] HEINRICH KIPP WERK GmbH & Co. KG [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/>
- [12] KOPECKÝ, Miloslav a Jaromír HOUŠA, *Základy stavby výrobních strojů*. Praha: České vysoké učení technické, 1986.
- [13] KOLÍBAL, Z. et al. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: VUTIUM, 2016. 788 p. ISBN: 978-80-214-4828-5
- [14] Midaco Corporation [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.midaco-corp.com/>
- [15] DMG MORI Czech s.r.o. [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/>
- [16] Maschinenfabrik Berthold Hermle AG [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.hermle.cz>



- [17] STACH, Eduard, Ivan DIVIŠ a Jan HUDEC. Systémy AVN, AVO a třískové hospodářství. In: Obráběcí stroje a technologie na EMO Milano 2009. Praha: Společnost pro obráběcí stroje, s. 149-157.
- [18] HURCO Werkzeugmaschinen GmbH [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.hurco.com/en-us/products/automation>
- [19] Indunorm Bewegungstechnik GmbH [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.indunorm.eu/>
- [20] TANNO ENGINEERING S.R.O. [online]. [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: <https://www.viceloader.cz/>
- [21] Haas Automation, Inc [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.haascnc.com/>
- [22] HWACHEON Machinery Europe GmbH [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.hwacheon-europe.com/en>
- [23] Doosan Machine Tools Co., Ltd. [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.doosanmachinetools.us/>
- [24] GROB-WERKE GmbH & Co. KG [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.grobgroup.com/en/>
- [25] Yamazaki Mazak UK Ltd. [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/>
- [26] OKUMA AMERICA CORPORATION [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.okuma.com/>
- [27] SPINNER Werkzeugmaschinenfabrik GmbH [online]. [cit. 2021-12-22]. Dostupné z: <https://www.spinner.eu.com/>
- [28] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [29] HYDRAULICS s.r.o. [online]. [cit. 2022-06-01]. Dostupné z: <https://www.hydraulics.cz/>
- [30] ARGO-HYTOS s.r.o. [online]. [cit. 2022-07-01]. Dostupné z: <https://www.argo-hytos.com/cz.html>
- [31] M B M Technik, spol. s r. o. [online]. [cit. 2022-07-01]. Dostupné z: <https://www.mbmtechnik.cz/>
- [32] HIWIN s.r.o. [online]. [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/>
- [33] Matis s.r.o. [online]. [cit. 2022-07-20]. Dostupné z: <https://www.matis.cz/>
- [34] Feron, a.s. [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/>