

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

Návrh plně automatizované výrobní buňky

2020

Jan Šmaus

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šmaus** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **475001**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Návrh plně automatizované výrobní buňky**

Název bakalářské práce anglicky:

**Design of a fully automated production cell**

Pokyny pro vypracování:

Návrh plně automatizované výrobní buňky pro obsluhu frézovacího centra MCV 1016 Quick. Obrobky o přibližné hmotnosti 300 kg budou upevněny na paletě. Zásobník palet musí obsahovat minimálně osm pozic.; Osnova práce: 1. Úvod 2. Rešerše 3. Návrh konceptů 4. Volba optimálních konceptů a komponent 5. Návrh konstruovaných součástí 6. Zhodnocení; Rozsah grafické části: koncepční 3D model automatizované výrobní buňky, výkres sestavy nebo podsestavy, výrobní výkres vybraného dílce.; Rozsah textové části: 40 – 60 stran.

Seznam doporučené literatury:

Houša, J.: Stavba výrobních strojů II. ČVUT, Praha, 1994.; MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0. Praha: MM publishing, 2018. MM speciál. ISBN 978-80-906310-8-3.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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


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

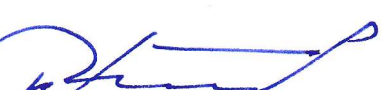
Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **19.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2020**

  
Ing. Eduard Stach, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

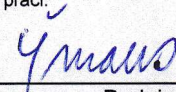
  
Ing. Matěj Sulitka, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
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

# Prohlášení

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

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

V Praze dne do 19.7.2020

.....

podpis

# Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Eduardu Stachovi, Ph.D. za odborné a ochotné vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během celého studia a za technické rady mé matky. Poděkování také patří mé přítelkyni za psychickou podporu.

# Anotace

Autor:	Jan Šmaus
Název:	Návrh plně automatizované výrobní buňky
Rozsah práce:	74 str., 38 obr., 7 tab.
Školní rok vyhotovení:	2020
Škola:	ČVUT v Praze – Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí práce:	Ing. Eduard Stach, Ph.D.
Zadavatel:	KOVOSVIT MAS Machine Tools, a.s.
Využití:	Automatizace obsluhy obráběcího centra MCV 1016 Quick
Klíčová slova:	automatizace, výrobní buňka, manipulátor, výměna obrobku, obráběcí centrum, paletizační výroba
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá návrhem automatizované výrobní buňky pro obsluhu obráběcího centra MCV 1016 Quick. Na základě provedené rešerše byly navrženy koncepty uspořádání buňky a zvoleny vhodné komponenty. Stěžejní částí práce je konstrukční návrh manipulátoru pro obsluhu celé buňky.

# Annotation

Author:	Jan Šmaus
Title:	Design of a fully automated production cell
Extent:	74 p., 38 fig., 7 tab.
Academic year:	2020
University:	CTU in Prague – Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135 – Department of Production Machines and Equipment
Supervisor:	Ing. Eduard Stach, Ph.D.
Submitter of the Theme:	KOVOSVIT MAS Machine Tools, a.s.
Application:	Automation operation for machining centre MCV 1016 Quick
Key words:	automation, production cell, manipulator, workpiece replacement, machining centre, palletizing production
Annotation:	The thesis deals with the design of an automated production cell for the operation of the machining centre MCV 1016 Quick. Based on a research, concepts of cell were designed, and suitable components were selected. The main part of the thesis is the design of the manipulator for operating the whole cell.



$f_{nv}$	-	koeficient životnosti vertikální osy
$f_S$	-	faktor bezpečnosti ložiska
$f_{SL}$	-	statická konstrukční bezpečnost vozíků
$f_t$	-	faktor teploty lineárního vedení
$f_w$	-	faktor zatížení lineárního vedení
$F_{0a}$	KN	axiální statické zatížení ložiska
$F_{0q}$	KN	ekvivalentní axiální zatížení ložiska
$F_{0r}$	KN	radiální statické zatížení ložiska
$F_{1ř}$	N	síla v zatížené větvi řemenu
$F_{2aBh}$	N	dovolené axiální zatížení výstupní hřídele horiz. přev.
$F_{2aBv}$	N	dovolené axiální zatížení výstupní hřídele vert. přev.
$F_{2rBh}$	N	dovolené radiální zatížení výstupní hřídele horiz. přev.
$F_{2rB}$	N	dovolené radiální zatížení výstupní hřídele vert. přev.
$F_{2ř}$	N	síla v odlehčené větvi řemenu
$F_{ah}$	N	axiální síla horizontálního pastorku
$F_{av}$	N	axiální síla vertikálního pastorku
$F_g$	N	gravitační síla na konci smykadla
$F_{gb}$	N	gravitační síla vertikální osy bez obrobku
$F_{gv}$	N	gravitační síla vertikální osy
$F_{oř}$	N	předpětí řemenu
$F_{pv}$	N	požadovaná síla pneumatického válce
$F_{pv6}$	N	síla pneumatického válce při 6 barech a pohybu vzad
$F_{rh}$	N	radiální síla horizontálního pastorku
$F_{rmaxr}$	N	dovolená síla na výstupní hřídel elektromotoru rotační osy
$F_{rř}$	N	celková radiální síla na hřídel od řemenu
$F_{rv}$	N	radiální síla vertikálního pastorku
$F_{sv}$	N	setrvačná síla vertikální osy
$F_{th}$	N	tečná síla horizontálního pastorku
$F_{uh}$	N	posuvová síla
$F_{uř}$	N	tahová síla řemenu
$F_{uTab1}$	N	dovolená posuvná síla
$F_{uTab2}$	N	dovolená posuvná síla



$F_{uv}$	N	posuvná síla
$F_{u\ zul/per1}$	N	dovolená zkorigovaná posuvová síla
$F_{u\ zul/per2}$	N	dovolená zkorigovaná posuvná síla
$g$	m/s <sup>2</sup>	gravitační zrychlení
$i'_h$	-	předběžný převodový poměr horizontální převodovky
$i_h$	-	převodový poměr horizontální převodovky
$i_r$	-	převodový poměr řemenového převodu
$i_v$	-	převodový poměr vertikální převodovky
$I_{cr}$	kg.m <sup>2</sup>	celkový moment setrvačnosti rotační osy
$J_z$	m <sup>4</sup>	kvadratický moment průřezu
$k_F$	-	faktor dynamické únosnosti ložiska
$K_{Ah}$	-	koeficient zatížení horizontální osy
$K_{Av}$	-	koeficient zatížení vertikální osy
$K_s = 1$		koeficient počtu cyklů za hodinu
$l$	m	vzdálenost mezi body B a C
$L_h$	hod	dynamická únosnost
$L_{KH\beta h}$	-	koeficient rozložení zatížení horizontální osy
$L_{KH\beta v}$	-	koeficient rozložení zatížení vertikální osy
$L_r$	-	minimální životnost vedení
$L_{\ddot{r}}$	mm	délka řemenu
$m_{cv}$	kg	hmotnost sestavy vertikální osy
$m_h$	kg	manipulovaná hmotnost pohonem horizontální osy
$m_o(x)$	-	jednotkový ohybový moment v poli 1
$m_o(x')$	-	jednotkový ohybový moment v poli 2
$m_v$	kg	manipulovaná hmotnost pohonem vertikální osy
$M_{0k}$	kNm	statický klopný moment
$M_{0q}$	kNm	ekvivalentní momentové zatížení ložiska
$M_{kr}$	Nm	kroucí moment rotační osy
$M_{mr}$	Nm	požadovaný minimální moment elektromotoru rotační osy
$M_{Nr}$	Nm	jmenovitý kroucí moment elektromotoru rotační osy
$M_o(x)$	Nm	ohybový moment v poli 1
$M_o(x')$	Nm	ohybový moment v poli 2
$n$	min <sup>-1</sup>	otáčky ložiska

$n_{1Nh}$	$\text{min}^{-1}$	nominální vstupní otáčky horizontální převodovky
$n_{1Nv}$	$\text{min}^{-1}$	nominální vstupní otáčky vertikální převodovky
$n_{1ř}$	$\text{min}^{-1}$	otáčky malé řemenice / motoru
$n_{2ah}$	$\text{min}^{-1}$	akcelerační otáčky horizontální převodovky
$n_{2dh}$	$\text{min}^{-1}$	brzdné otáčky horizontální převodovky
$n_{2mh}$	$\text{min}^{-1}$	výstupní otáčky horizontální převodovky
$n_{2m}$	$\text{min}^{-1}$	výstupní otáčky vertikální převodovky
$n_{2Nh}$	$\text{min}^{-1}$	nominální otáčky horizontální převodovky
$n_{2Nv}$	$\text{min}^{-1}$	nominální otáčky vertikální převodovky
$n_{2ř}$	$\text{min}^{-1}$	otáčky velké řemenice
$n_{mh}$	$\text{min}^{-1}$	otáčky elektromotoru horizontální osy
$n_{mv}$	$\text{min}^{-1}$	otáčky elektromotoru vertikální osy
$n_{prac.h}$	$\text{min}^{-1}$	otáčky horizontálního pastorku
$p_2$	bar	požadovaný tlak v pneumatickém válci
$P$	N	zatížení vozíku lineárního vedení
$P_{1minh}$	kW	minimální výkon elektromotoru horizontální osy
$P_{1minv}$	kW	minimální výkon elektromotoru vertikální osy
$P_{1h}$	kW	výkon elektromotoru horizontální osy
$P_{1v}$	kW	výkon elektromotoru vertikální osy
$P_{axial}$	kN	ekvivalentní dynamické zatížení ložiska
$P_{Nminr}$	kW	minimální výkon elektromotoru rotační osy
$P_{Nr}$	kW	jmenovitý krouticí moment elektromotoru rotační osy
$P_r$	kW	potřebný výkon pro otáčení rotační osy
$r_{Ay}$	-	reakce na jednotkovou sílu v podpoře A smykadla
$r_{xT}$	m	vzdálenost těžiště v ose x
$r_{xV}$	m	vzdálenost působíště síly pneumatického válce v ose x
$R_{Ax}$	N	reakce v podpoře A smykadla ve směru x
$R_{Ay}$	N	reakce v podpoře A smykadla ve směru y
$R_{By}$	N	reakce v podpoře B smykadla ve směru y
$S_z$	m	ujetá vzdálenost vedení na jeden cyklus
$S_{Bh}$	-	koeficient bezpečnosti horizontální osy
$S_{Bv}$	-	koeficient bezpečnosti vertikální osy
$t_{ah}$	s	čas zrychlení horizontální osy

$t_{ar}$	s	čas zrychlení rotační osy
$t_{av}$	s	čas zrychlení vertikální osy
$t_{dh}$	s	čas brzdění horizontální osy
$t_{ch}$	s	čas konstantní rychlosti horizontální osy
$t_{cv}$	s	čas konstantní rychlosti vertikální osy
$T_{2ah}$	Nm	akcelerační moment horizontální převodovky
$T_{2Bh}$	Nm	maximální akcelerační moment horizontální převodovky
$T_{2Bv}$	Nm	maximální akcelerační moment vertikální převodovky
$T_{2ch}$	Nm	pracovní moment horizontální převodovky
$T_{2dh}$	Nm	brzdňý moment horizontální převodovky
$T_{2maxh}$	Nm	maximální rozběhový moment horizontální převodovky
$T_{2max}$	Nm	maximální rozběhový moment vertikální převodovky
$T_{2mh}$	Nm	hlavní výstupní moment horizontální převodovky
$T_{2mv}$	Nm	hlavní výstupní moment vertikální převodovky
$T_{2Nh}$	Nm	jmenovitý výstupní moment horizontální převodovky
$T_{2Nv}$	Nm	jmenovitý výstupní moment vertikální převodovky
$T_{mBh}$	Nm	maximální výstupní moment horizontálního elektromotoru
$T_{mBv}$	Nm	maximální výstupní moment vertikálního elektromotoru
$v_c$	mm	podmínka pro průhyb smykadla
$v_h$	m/s	rychlost pohybu horizontální osy
$v_v$	m/s	rychlost pohybu vertikální osy
$x_0$	-	osová přestavitelnost pro napínání řemene
$y_0$	-	osová přestavitelnost pro nasazení řemene
$z_{1ř}$	-	počet zubů malé řemenice
$z_{ř}$	-	počet zubů komponent řemenového převodu
$\alpha$	°	úhel záběru
$\alpha_r$	rad/s <sup>2</sup>	úhlové zrychlení rotační osy
$\beta$	°	úhel sklonu zubů
$\beta_{ř}$	°	úhel opásání řemenice
$\epsilon$	-	parametr excentricity zatížení
$\eta_p$	-	účinnost převodovky
$\eta_{ř}$	-	účinnost řemenového převodu
$\mu_h$	-	koeficient tření horizontální osy

$\mu_v$	-	koeficient tření vertikální osy
$\omega_r$	rad/s	úhlová rychlost rotační osy



## Obsah

1.	Úvod .....	15
2.	Cíl práce .....	16
3.	Technologická charakteristika .....	17
4.	Současný stav problematiky .....	20
4.1.	Výrobci AVB .....	21
4.1.1.	DMG WH Flex .....	21
4.1.2.	Okuma – plně automatizovaná výrobní buňka .....	22
4.1.3.	ANCA – Txcell Linear .....	23
4.1.4.	Machine building – Machine MRB .....	24
4.1.5.	Mazak – PALLETECH .....	24
4.1.6.	Mazak – MPP Systém .....	26
4.1.7.	LIEBHERR – rotační nakládací systém .....	27
4.1.8.	Mazak – iSMART Factory .....	28
4.1.9.	NILES-SIMMONS – AVB .....	29
4.1.10.	PIETRO CARNAGHI – Pallet Systems .....	30
4.2.	Hlavní komponenty AVB .....	32
4.2.1.	Manipulátor .....	32
4.2.2.	Skladování palet .....	35
4.2.3.	Palety a upínání .....	35
4.3.	Shrnutí řešerše .....	39
5.	Návrh AVB .....	40
5.1.	Návrh konceptů AVB .....	40
5.2.	Volba optimálních konceptů a komponent .....	43
5.2.1.	Volba konceptu AVB .....	43
5.2.2.	Volba upínacího paletového systému .....	44
5.2.3.	Volba zbylých komponent .....	45



5.3. Konstrukce manipulátoru .....	46
5.3.1. Popis funkce .....	46
5.3.2. Smykadlo .....	47
5.3.3. Efektor .....	49
5.3.4. Horizontální osa .....	50
5.3.5. Vertikální osa .....	54
5.3.6. Rotační osa .....	59
5.3.7. Mazání .....	64
5.4. Zásobník palet .....	64
6. Závěr .....	66
Seznam použité literatury .....	69
Seznam obrázků .....	73
Seznam tabulek .....	74
Seznam použitého softwaru .....	74
Seznam příloh .....	74



# 1. Úvod

Při řešení zadané problematiky je důležité rozeznávat pojem automatický výrobní systém a automatická výrobní buňka. Automatický výrobní systém se skládá z implementace lidských pracovníků, manipulačních technologií s materiálem a automatizační techniky do uceleného procesu. Funkcí tohoto celku je pak provádět jednu nebo více operací za cílem montáže nebo výroby produktu z výchozího materiálu pod kontrolou počítače. Tento systém vykazuje následující vlastnosti: flexibilitu v transportu, zpracování a manipulaci dílů, a to vše s vysokým stupněm automatizace. [1] [2] [3]

Výrobní buňku lze popsat jako uzavřený proces, ve kterém lze vyrábět skupinu produktů, které mají podobné vlastnosti (tvar, hmotnost, zákazníka atd.). Vstupem do procesu je většinou polotovár a výstupem bývá hotový nebo rozpracovaný kus. Rozšířením technologie na automatizovanou výrobní buňku (AVB) přidává do procesu další požadavky. Především schopnost buňky pracovat bez zásahu lidské obsluhy po dobu delší než jeden pracovní cyklus a provádět operaci s maximální možnou opakovatelností. Práce člověka v tomto systému spočívá především v přípravě programu a následně ve výměně materiálu a údržbě celého zařízení. [2] [4] [5] [6]



## 2. Cíl práce

Cílem bakalářské práce je navrhnout a vytvořit automatickou výrobní buňku pro obsluhu obráběcího centra MCV 1016 QUICK. Hlavní parametr pro AVB je hmotnost obrobku, která činí 300 kg. Tento obrobek je upnut na technologické paletě.

Vlastní řešení bude obsahovat návrh a volbu konceptu AVB. Následně budou zvoleny nebo konstruovány jednotlivé komponenty AVB. Výstupem práce bude 3D model celkové sestavy AVB a výkresová dokumentace určených částí.

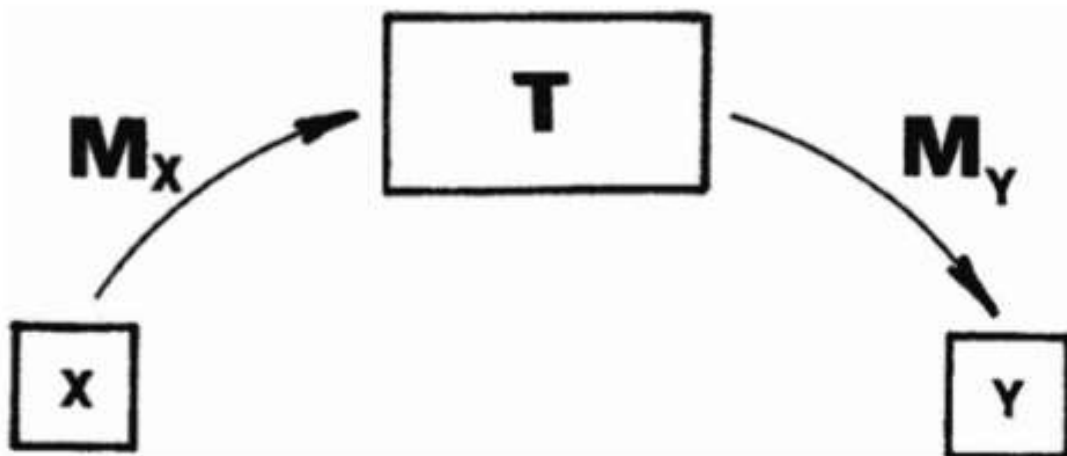
Postup zpracování bakalářské práce:

1. provedení rešerše problematiky AVB
2. zhodnocení rešerše
3. sestavení celkového konceptu AVB
4. volba nejvhodnějšího konceptu a dalších komponent AVB
5. konstrukční návrh nenakupovaných komponent
6. tvorba 3D modelu
7. závěr



### 3. Technologická charakteristika

Automatizovanou výrobní buňku lze rozdělit na tři základní oddíly (Obr. 1). Transport, který musí zajistit tok materiálu v buňce. Skladování pro zachycení momentálně nezpracovávaných dílů. Technologická operace, která může představovat například obrábění, rozměrovou kontrolu dílů, aplikace povlaků atd. Příklad uspořádání AVB je na Obr. 2. [4] [5] [6] [7]



Obr. 1 Elementární struktura automatizovaného pracoviště [8]

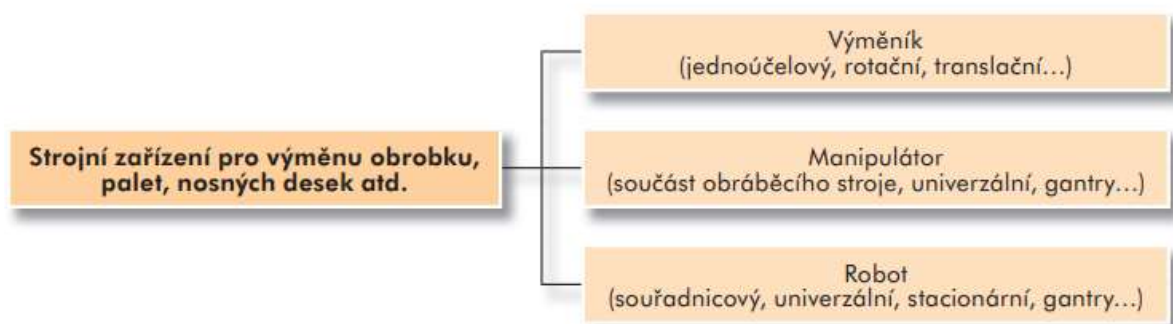
(*X = vstupní zásobník,  $M_x$  = manipulace ze vstupu do technologické operace, T = technologická operace,  $M_y$  = manipulace z tech. operace do výstupu, Y = výstupní zásobník*)

Celý proces je pak řízen řídicím programem, který ovládá jednotlivé operace. Tyto operace lze rozdělit na dvě základní skupiny. Operace hlavní, to jsou ty operace, při kterých dochází ke změně vstupních geometrických, fyzikálních nebo chemických vlastností na výstupní vlastnosti polotovaru. Druhou skupinou jsou pak operace pomocné, do kterých patří především manipulace s dílem. [5]



Obr. 2 Příklad automatické výrobní buňky [9]

Transport objektů v nejjednodušším případě zajišťují dopravníky (pásové, řetězové, válečkové atd.), ty mohou sloužit také jako krátkodobé zásobníky materiálu. Dopravníky jsou spolehlivé, jednoduché a poměrně levné. Na druhou stranu nezvládají složitější manipulaci s dílem, a tak se ve většině aplikací používají v kombinaci se strojním zařízením určeným k manipulaci. Strojní zařízení určené k manipulaci lze rozdělit do třech základních kategorií viz Obr. 3. Hlavním faktorem při volbě manipulačního zařízení je splnění požadované funkce za co nejnižší pořizovací náklady. Konkrétní příklady manipulačních zařízení jsou uvedeny v dalších kapitolách práce. [4]



Obr. 3 Rozdělení manipulačních zařízení [10]

Ke skladování materiálu v AVB se používají zásobníky. Ty jsou buď pasivní, nebo aktivní. Pasivní zásobníky nemají vlastní pohon a jsou tedy závislé na dalším zařízení nebo pracovníkovi. Materiál je do své pozice přesouván gravitační silou, nebo musí být správně umístěn jiným zařízením. Aktivní zásobníky disponují určitým typem pohonu



a jejich hlavní výhodou je, že spolupracují s manipulačním zařízením, které díky tomu může být jednodušší. [5] [8]

Typ technologické operace určuje většinu parametrů AVB. Typické operace, kde používáme AVB, jsou třískové obrábění, tváření, svařování, povrchové úpravy, montáž a kontrola kvality.

Důvodem zakomponování AVB do výroby je především:

- zkrácení všech nevýrobních časů
- schopnost pracovat 24/7
- zlepšovat kvalitu výroby
- vyšší bezpečnost práce pro obsluhu stroje
- sběr dat s následnou úpravou výrobní operace
- aplikace v místech, kde nemůže pracovat člověk

Na AVB jsou kladeny následující požadavky:

- materiálový tok bez přerušení výroby
- uspořádat jednotlivé technologie v buňce tak, aby se minimalizoval transport výrobku
- co nejkratší čas výměny výrobku ze zásobníku do stroje a naopak
- mít výrobní takt buňky dle zákaznického taktu
- pokud je to možné, zásobovat buňku zvenku
- maximální možné využití gravitační síly
- musí mít vysokou životnost a spolehlivost
- vždy dbát na bezpečnost práce

Při dodržení všech požadavků by se AVB mohla zdát jako dokonalý výrobní nástroj. Tyto klady jsou ovšem na druhé straně vyváženy zápory:

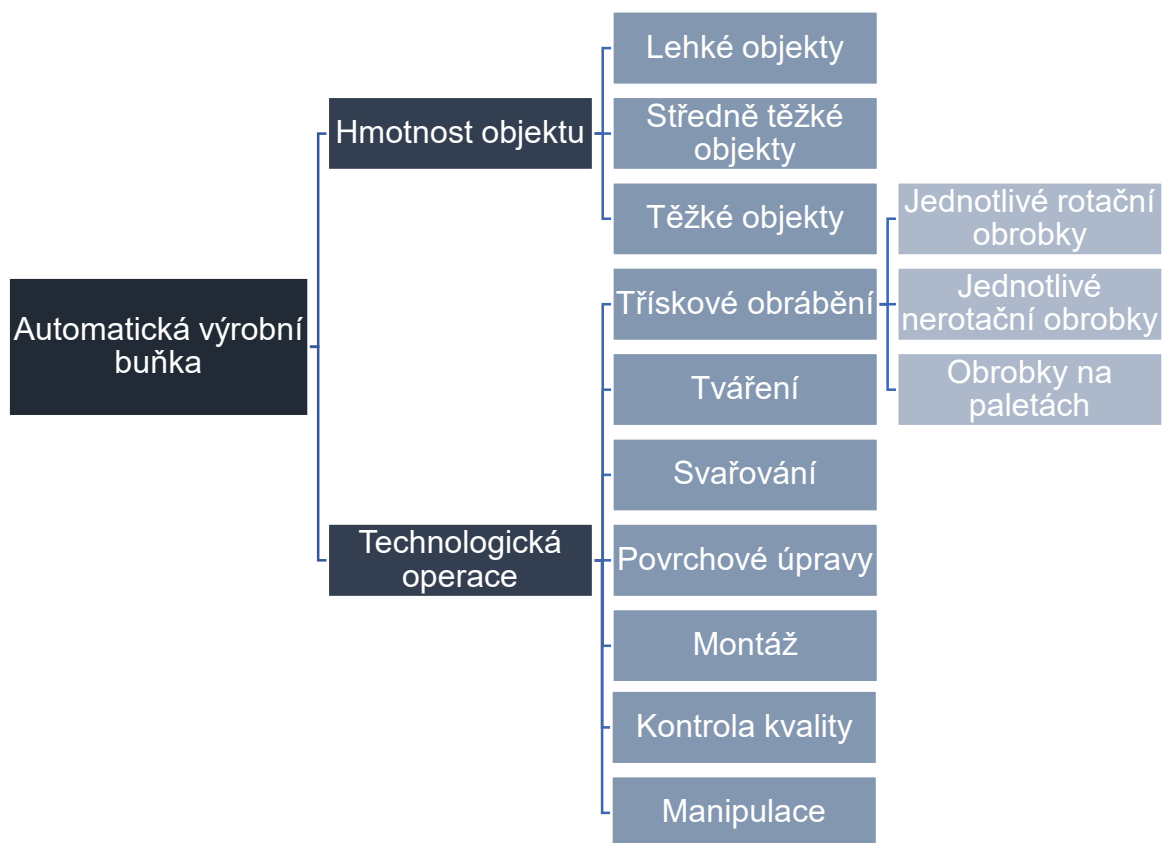
- vysoká počáteční investice
- nutná kontrola na měřicím stroji (robot nepozná zmetek pouhým pohledem)
- zastavění podlahové plochy okolo stroje

[4] [11] [12] [13] [14]

## 4. Současný stav problematiky

S rozvojem Průmyslu 4.0 se v Česku i zahraničí rozvíjí poptávka po automatizaci výroby. Jedním z článků automatizované výroby je automatizovaná výrobní buňka. Při průzkumu trhu je patrné, že se firmy původně specializované na výrobní stroje snaží své produkty rozšířit o technologii AVB, a nabídnout tak zákazníkům přidanou hodnotu spojenou s touto technologií.

AVB se v základě dají dělit dle hmotnosti objektu a technologické operace, na kterou jsou aplikovány (Obr. 4).



Obr. 4 Rozdělení výrobních buněk



## 4.1. Výrobci AVB

Systém AVB je málokdy dodáván samostatně. Většina firem nabízející AVB se primárně zabývá konstrukcí obráběcích strojů. Přidáním automatizované výroby tak zvyšují svojí konkurenceschopnost a využitelnost jednotlivých strojů.

### 4.1.1. DMG WH Flex

WH Flex je jedním z nejpokrokovějších řešení AVB. Buňka spojuje automatizaci a digitalizaci výrobního procesu v duchu Průmyslu 4.0. Její hlavní výhodou je míra flexibility a modulárnosti. K manipulaci s obrobky je použit šestiosý angulární robot od firmy KUKA. V případě požadavku zákazníka může robot zakládat do stroje obrobky na paletách i obrobky samotné, čehož docílí výměnou efektoru přímo v buňce. Firma DMG nabízí více konfigurací uspořádání layoutu, její limit je devět strojů a obrobky nebo palety do 500 kg. V buňce je použit statický zásobník a zároveň paletový otočný stůl pro rychlé zařazení obrobku do výrobní fronty. Buňka dokáže automaticky vyhodnocovat priority výroby, a dávat tak přednost výrobkům s vyšší prioritou. K buňce je dále softwarová nástavba označovaná jako „Digital Twin“. Jedná se o technologii digitálního dvojčete skutečné konfigurace buňky, kterou lze před instalací skutečné buňky uvést do virtuálního provozu a simulovat všechny procesy. DMG uvádí, že tento přístup zvyšuje kvalitu systému a snižuje až 80 % času, který by byl jinak potřebný pro uvedení buňky do provozu. [15]

WH FLEX BASIC CONFIGURATION (Obr. 5):

- zastavěná plocha: 4520 x 4115 mm (bez strojů)
- maximální manipulační hmotnost: 60 kg
- poloměr působení robota: 2429 mm
- základní otočný zásobník pro palety s pěti policemi
- základní zásobník určený pro palety o max. velikosti 800 x 600 mm

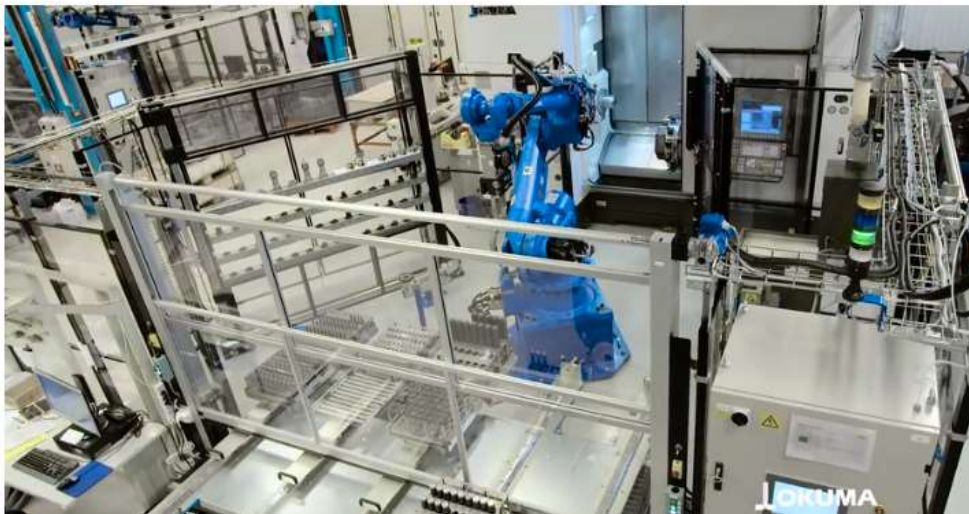


Obr. 5 WH FLEX BASIC CONFIGURATION (1 = ochranný kryt se servisními dveřmi, 2 = ovládání buňky pomocí dotykového panelu HMI, 3 = paletový zásobník, 4 = otočný paletový stůl, 5 = jednotný modulární kryt, 7 = robot KUKA KR60) [15]

#### 4.1.2. Okuma – plně automatizovaná výrobní buňka

Řešení AVB od firmy Okuma představuje implementaci obráběcího stroje Okuma Multus U3000 do robotické buňky, která je schopna pracovat zcela bezobslužně. Manipulace je zajištěna šestiosým angulárním robotem od firmy Yaskawa, který zajišťuje výměnu obrobku, nástroje, upínacího zařízení ve vřetenu i koníku. Tyto vlastnosti umožňují plně využít možnosti robota, a pokrýt tak počáteční investice. Jak je patrné z Obr. 6, všechny komponenty, se kterými robot pracuje, jsou rozmístěny co nejbližší a jsou snadno přístupné ze vnějšku pro případnou manuální výměnu. Hlavice robota je osazena dvěma úchopnými čelistmi, které šetří vedlejší nevyrobní čas, jelikož je možné

jedněmi čelistmi obrobek vyjmout a druhými založit bez nutnosti vracení se robotem zpět do zásobníku. [16]



Obr. 6 Okuma – plně automatizovaná výrobní buňka [16]

#### 4.1.3. ANCA – Txcell Linear

Výrobní buňka od firmy ANCA kombinuje výkonnou brusku TX7 Linear a šestiosého robota FANUC M-20iA. Robot zajišťuje automatickou výměnu broušených nástrojů a také výměnu brusných kotoučů do průměru 300 mm a délky 400 mm, což poskytuje značné rozměrové možnosti při výrobě. Robot dále může zajistit výměnu brusných kol za koncové mlýny, lešticí kartáče, odjehlovací kartáče nebo vřetenové urychlovače. Robota lze dále využít pro měření dílů, leptání laserem a mytí dílů, což významně rozšiřuje možnosti stroje. Celá AVB je velmi kompaktní a oproti ostatním konkurentům je zde dbáno i na design viz Obr. 7. [17] [18]



Obr. 7 ANCA – Txcell Linear [17]

#### 4.1.4. Machine building – Machine MRB

Jedná se o AVB, která má přednost především ve své modulárnosti a snadné implementaci robotického pracoviště do provozu. Díky rozsáhlému portfoliu jednotlivých komponent buňky, které si firma vyrábí sama, je snadno přizpůsobitelná pro požadavky zákazníka. Výrobní buňky, stavěné ze systému machine modulars (Obr. 8), jsou vzájemně kompatibilní a jednoduše modulární, díky čemuž se mohou upravovat dle aktuálních požadavků výroby, čímž šetří čas i náklady. V katalogu firma uvádí, že buňka může obsáhnout technologie svařování, montáže, lakování, obsluhovat nahřívací/vytvrzovací komoru, kontrolu a měření dílů a manipulaci s výrobkem celým procesem výroby. [19] [20]



Obr. 8 machine building – Machine MRB [19]

#### 4.1.5. Mazak – PALLETECH

Systém PALLETECH je základní nabízený systém od firmy Mazak pro zavedení automatické výroby v oblasti obráběcích strojů. PALLETECH je kompatibilní se všemi horizontálními obráběcími centry a většinou vertikálních a 5–osých obráběcích center od firmy Mazak. Základní varianta disponuje jedním obráběcím centrem a jednopatrovým zásobníkem obsluhovaným paletizační jednotkou. Zásobník lze rozšiřovat velmi snadno horizontálně a v případě potřeby lze rozšířit i vertikálně až do tří pater. PALLETECH



pojme až 16 strojů, 240 palet a až 8 nakládacích stanic. Limity ve velikosti obrobku jsou dány především obráběcím centrem, které systém obsluhuje. Na Obr. 9 je kombinace s obráběcím centrem HCN-5000II. Paleta má rozměr 500x500 mm a může nést obrobek o hmotnosti až 700 kg. Celý systém je modulární, a tak se snadno přizpůsobí požadavkům výroby a objemu ve všech provozech i v případě postupného navyšování dodávek. Jednotlivé modulární komponenty jsou na Obr. 10. Buňka je řízena pomocí softwaru PALLETECH Manufacturing Cell. Obsluha buňky může pomocí softwaru monitorovat celý proces výroby, měnit plán výroby za provozu, sledovat živostnost/opotřebení nástrojů a zadávat pokyny operátorům u stroje. [21] [22] [23]



Obr. 9 Mazak – PALLETECH HCN5000II [23]



Obr. 10 Mazak – komponenty systému PALLETECH [22]

#### 4.1.6. Mazak – MPP Systém

MPP Systém od firmy Mazak se vyznačuje velice kompaktním řešením viz Obr. 11. Zásobník palet je rozmístěn kruhově přímo u obráběcího centra, což zajišťuje rychlé a stabilní zásobování stroje. Manipulaci s paletami zajišťuje jednoúčelový manipulátor, který disponuje dvěma osami posuvnými a jednou rotační. MPP Systém je možné propojit s obráběcími centry řady VARIAXIS i-600, VARIAXIS i-700, HCN-4000 a HCN-5000. U obráběcích center řady VARIAXIS i je v základní konfiguraci 6 palet a jde navýšit až na počet 18 palet. U řady HCN je základní varianta s 10 paletami a dá se rozšířit na 16 palet. Při konfiguraci s největším obráběcím centrem HCN-5000 systém pojme palety s obrobky až do průměru 800 mm a výšky 1000 mm o celkové hmotnosti 500 kg. Kapacita zásobníku se rozšiřuje stavebnicovou konstrukcí především horizontálním směrem. Všechny varianty dokáže obsluhovat stejný manipulátor (Obr. 12). Rozšíření rozsahu manipulátoru je řešeno pomocí přidání vertikálního vedení. Do stroje je zachován přístup pro obsluhu, a tak lze vyrábět i kusové obrobky. MPP Systém je ideální pro automatizaci výroby pro menší podniky s předpokladem navýšení výroby nebo v případě vysokých nároků na malou zástavbu podlahové plochy, která činí o 40 % méně než při použití horizontálního zásobníku v systému Mazak PALLETECH. [24] [25] [26]



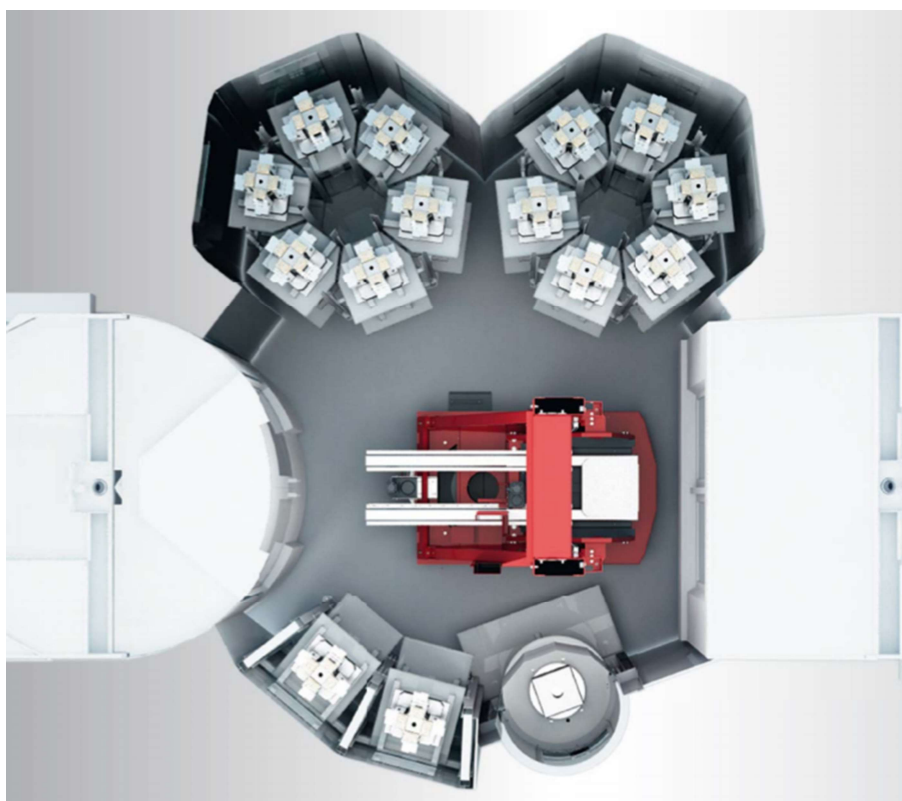
Obr. 11 Mazak – MPP Systém s obráběcím centrem VARIAXIS i-600 [26]



Obr. 12 Mazak MPP Systém – detail manipulátoru [26]

#### 4.1.7. LIEBHERR – rotační nakládací systém

Paletizační systém PHS doplněný o manipulátor řady RLS (blíže popsán v kapitole 4.2.1) nabízí velký počet pozic zásobníku na zastavěnou podlahovou plochu viz Obr. 13. AVB může obsluhovat dvě obráběcí centra najednou s maximálním počtem 33 palet v zásobníku. Při kombinaci s manipulátorem RLS800 je maximální hmotnost palety s obrobkem 800 kg, respektive 1500 kg při použití manipulátoru RSL1500. Díky modulární koncepci je možné AVB osadit velikostí zásobníku dle potřeb zákazníka. Pozice pro jednotlivé palety jsou uzpůsobeny i pro věžové upínací přípravy o rozměru až 1300x1400 mm. [27]



Obr. 13 LIEBHERR – rotační nakládací systém [27]

#### 4.1.8. Mazak – iSMART Factory

Dalším zástupcem AVB je iSMART Factory od firmy Mazak. Firma prezentuje velmi komplexní řešení, které použila ve svém závodě v japonském Oguchi. Buňka využívá paletizační systém pro obrábění těžkých obrobků až o hmotnosti 1200 kg. AVB disponuje vysokým stupněm automatizace, jelikož dokáže obrobek upnout na paletu, obrobít díl v obráběcím centru a následně obrobek z palety sundat. Díky těmto vlastnostem odpadá nutnost obrobky upínat/sundávat z palet mimo buňku a z buňky vychází rovnou hotový kus. Paletizační pracoviště (Obr. 14) dokáže upínat více druhů obrobků, a díky tomu značně zvyšuje svoji využitelnost. Manipulaci s obrobkem při upínání zajišťuje šestiosý angulární robot FANUC M-2000iA/1200, který patří mezi největší roboty pro manipulaci. Následné upnutí obrobku pomocí přípravků a šroubů na paletu zajišťuje menší robot FANUC M-710. Z paletizačního pracoviště je obrobek i s paletou přesouván dále v procesu pomocí paletizační jednotky, která se pohybuje po lineárním vedení a obsluhuje tři obráběcí centra HCN-12800 od firmy Mazak (Obr. 15). Po obrobení paletizační jednotka vyjme paletu ze stroje a buď ji uloží do sedmnáctimístného zásobníku, nebo ji převezde do paletizačního pracoviště, kde se opět pomocí robota sundá obrobek z palety. V celém výrobním procesu je aplikována technologie SmartBox a protokol MTConnect, který sbírá data a zajišťuje komunikaci

mezi jednotlivými stroji. Firma uvádí, že díky aplikaci těchto technologií do výroby bylo zaznamenáno dvojciferné zvýšení produktivity. [28] [29] [30]



Obr. 14 Mazak – iSMART Factory – Paletizační pracoviště [28]



Obr. 15 Mazak – iSMART Factory – AVB [28]

#### 4.1.9. NILES-SIMMONS – AVB

NSH je firma sídlící v Německu. Zabývá se výrobou, údržbou a návrhem výrobních strojů pro železniční kola. Firma reaguje na požadavky trhu a snaží se své stroje automatizovat. Jedním z představovaných řešení je AVB pro obrábění železničních kol. Řešení celé buňky je zajímavé především z hlediska velikosti polotovarů. Jedno železniční kolo, se kterým manipuluje automatický gantr, může vážit až 1100 kg. Díky použití tohoto typu manipulátoru je i při obsluze čtyř obráběcích strojů

zastavěna jen malá část podlahové plochy (Obr. 16). Firma nabízí možnost do buňky implementovat technologii obrábění, měření i testování kol. Jednotlivé buňky jsou vždy konstruovány na zakázku dle požadavků zákazníka. Značnou výhodou je rozsáhlá nabídka firmy, která zahrnuje jednotlivé výrobní i kontrolní stroje, a tedy celý výrobní proces je zařízen od jednoho dodavatele. [31] [32]



Obr. 16 Příklad AVB od firmy NILES-SIMMONS [32]

#### 4.1.10. PIETRO CARNAGHI – Pallet Systems

Pietro Carnaghi je italská firma zabývající se především velkými vertikálními soustruhy od průměrů 1 000 až do 18 000 mm. Automatizované buňky s takto velkými obrobky musí řešit výměnu obrobků jinak než běžnými roboty. Firma Pietro Carnaghi představuje řešení manipulace s obrobky pomocí rotační kyvadlové jednotky a hydraulického vedení. Obrobky jsou upevněny na paletách, které mají zároveň funkci sklíčovadla. Rotační kyvadlová jednotka dokáže obsluhovat jeden nebo více strojů. Základní verze nabízí systém pro výměnu dvou palet a je možné buňku rozšířit až pro 16 palet viz Obr. 17. Při použití dvou palet se také nabízí řešení výměny obrobků pomocí otočného stolu (Obr. 18), který však dokáže pracovat pouze po dobu dvou cyklů. Maximální možný průměr palet pro automatické buňky je 2 000 mm. Transport zajištěný tímto systémem je levnější než použití robota pro manipulaci s těžkými obrobky. Na druhou stranu nevýhoda spočívá v zastavění značné části podlahové plochy a složité konstrukci palet, které musí sloužit i jako sklíčovadlo. [33]



Obr. 17 PIETRO CARNAGHI – konfigurace 16 palet a 4 stroje [33]



Obr. 18 PIETRO CARNAGHI – struktura AVB [33]



## 4.2. Hlavní komponenty AVB

Popis jednotlivých komponent AVB bude zaměřen na ty komponenty, které splňují parametry zadání BP. Hlavní kritéria jsou:

- hmotnost obrobku 300 kg
- paletový systém výroby
- rozměry obrobku cca 400x400x400 mm dle procentuální výplně objemu
- obsluha jednoho stroje MCV 1016 Quick
- počet palet v zásobníku minimálně 8

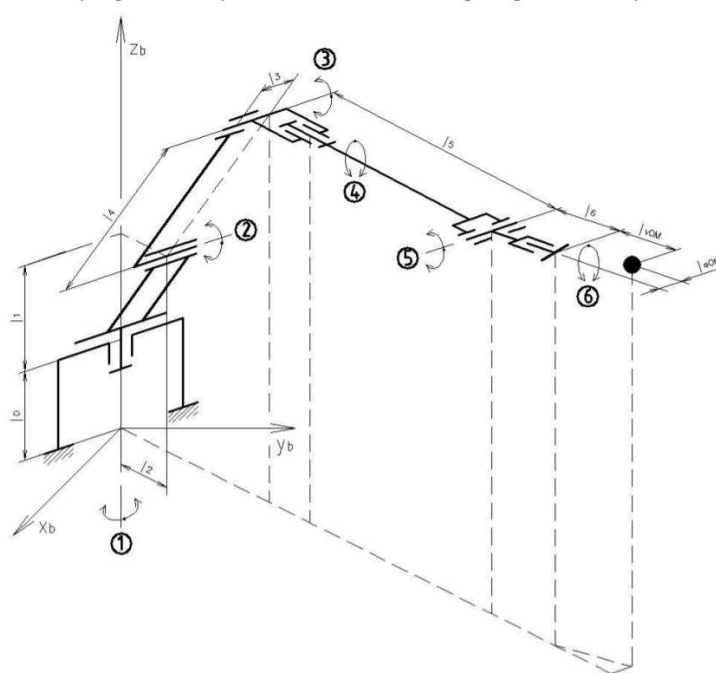
### 4.2.1. Manipulátor

Manipulace v AVB je nejdůležitější částí procesu. V praxi se v zásadě používají tři typy manipulací s obrobkem. První je šestiosý angulární robot, anebo jednoúčelový manipulátor, který je použit ve většině aplikací od firmy MAZAK. Třetí možností je gantry robot, ale ten je zastoupen výrazně méně a většinou se používá při bezpaletové výrobě. V případě volby angulárního robota je na trhu poměrně široká nabídka, ale roboti s nosností nad 300 kg patří do kategorie velkých robotů s vysokou pořizovací cenou, a tedy jejich použití je diskutabilní. Naopak jednoúčelové manipulátory si i při manipulaci s takto těžkými obrobky zachovávají kompaktní rozměry a jejich pořizovací cena není tak vysoká. Nevýhodou je ovšem jejich dostupnost. Při volbě manipulátoru se musí brát v potaz také hmotnost palety a uchopovacího efektoru.

- **Angulární robot**

Jedná se o nejrozšířenější typ robotů v průmyslu. Tito roboti pracují pouze s rotačními členy viz Obr. 19. Pracovní prostor robota je kulový vrchlík. Hlavní výhodou použití angulárních robotů je jejich flexibilita. Výhodné použití je tedy při časté změně výroby, kdy se roboti dají snadno přeprogramovat. [34]





Obr. 19 Kinematická struktura angulárního robota [34]

Většina výrobců má širokou nabídku robotů. Mezi výrobci se liší pouze konkrétní parametry. Pro srovnání je uvedena parametrová tabulka (Tab. 1) angulárních robotů od firmy FANUC, ABB a KUKA pro manipulaci s břemenem o hmotnosti cca 450 kg (obrobek, paleta a efektor).

Tab. 1 Porovnání angulárních robotů FANUC, ABB a KUKA [35] [36] [37]

Robot	FANUC M-900iB/700	ABB IRB 7600- 500/2.55	KUKA KR 500 R2830
Nosnost [kg]	700	500	500
Dosah [mm]	2832	2550	2826
Opakovatelnost [mm]	$\pm 0,1$	$\pm 0,08$	$\pm 0,08$
Hmotnost [kg]	2800	2400	2385
Instalační plocha [mm]	1009 x 814	1020 x 950	1050 x 1050

- EROWA–Robot Dynamic 500

Firma EROWA nabízí ve svém portfoliu jednoúčelové manipulátory pro manipulaci s paletami. Manipulátor Robot Dynamic 500 (Obr. 20) má nosnost 500 kg a dokáže manipulovat s objektem o rozměrech až 800x800x500 mm. Manipulátor se může otáčet o  $\pm 225^\circ$ , rameno má dosah ve směru osy x 1500 mm a vertikální rozsah v ose z je 1520 mm. Manipulátor má sloupovou konstrukci a dokáže tak obsluhovat vícepatrový zásobník. Velkou výhodou je možnost přidání lineární pojezdové kolejnice až o délce 20 m, a tak manipulátor dokáže obsluhovat více obráběcích stojů s více

zásobníky. Manipulátor dokáže měnit uchopovací hlavice pro různé velikosti palet v jedné výrobní buňce. Firma EROWA dále nabízí veškerý potřebný sortiment pro automatickou výměnu palet. [38]



*Obr. 20 EROWA Robot Dynamic 500 (1 = paletový zásobník, 2 = zásobník pro menší palety a uchopovací hlavice, 3 = lineární kolejnice, 4 = obrobek, 5 = výsuvné rameno, 6 = rotační osa C, 7 = horizontální osa Z) [38]*

- **LIEBHERR–RLS 800**

Tento jednoúčelový manipulátor disponuje cylindrickou pohybovou strukturou. Kolem manipulátoru jsou zásobníky rozestavěny ve stejné vzdálenosti, a tak není potřeba rozsah manipulátoru rozšiřovat o třetí pohybovou osu. Technické údaje manipulátoru jsou uvedeny v Tab. 2. K manipulaci s paletami využívá manipulátor pasivní efektor, který nabírá palety pohybem vertikální osy vzhůru. Pohon vertikální a horizontální osy zajišťuje ozubený hřeben a pastorek. Rotační pohyb je řešen pomocí pastorku a ozubeného věnce. [39]

Tab. 2 Technické údaje manipulátoru Liebherr–RLS 800 [39]

Transport load max.	800 kg
Workpiece diameter max.	800 mm
Rotational speed lift module max.	60 °/s
Acceleration lift module max.	60.00 °/s <sup>2</sup>
Travel speed lift module (Z) max.	30 m/min
Acceleration lift module (Z) max.	0.5 m/s <sup>2</sup>
Travel speed telescope (Y), loaded max.	42 m/min
Travel speed telescope (Y), unloaded max.	42 m/min
Acceleration telescope (Y), loaded max.	0.5 m/s <sup>2</sup>
Acceleration telescope (Y), unloaded max.	2.00 m/s <sup>2</sup>
Control	Siemens
Cell control	SOFLEX PCS

#### 4.2.2. Skladování palet

Pro skladování palet se používají pasivní zásobníky většinou policové konstrukce. Pokud je obrobek příliš těžký, je zásobník pouze v jedné úrovni. V AVB s obrobky o 300 kg lze stále výhodně využít víceúrovňové zásobníky pro zmenšení zastavěné plochy. Zásobníky se konstruuji tak, aby bylo snadné rozšířit jejich kapacitu.

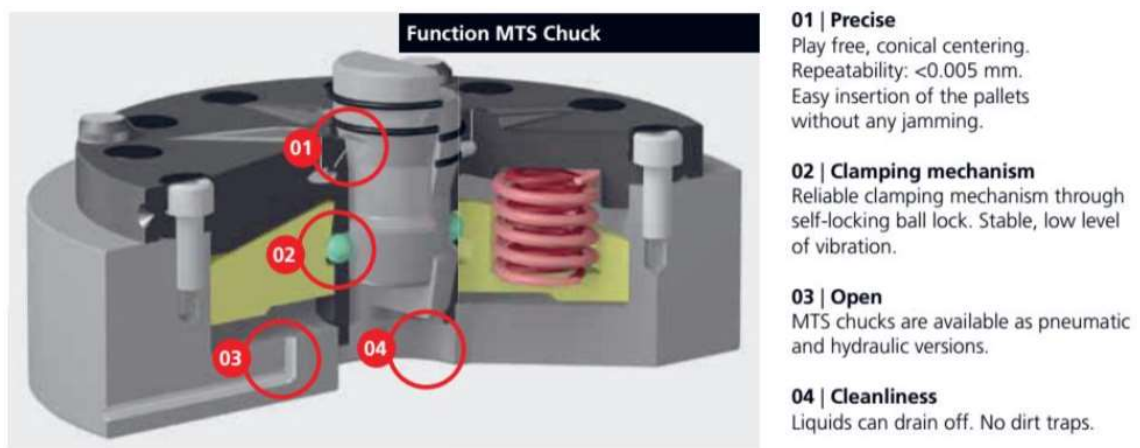
#### 4.2.3. Palety a upínání

Použití technologické palety v AVO se zavádí především v aplikacích, kde musíme manipulovat s většími obrobky. Prakticky se jedná o způsob přenesení pracovního stolu mimo jeho pracovní prostor. Palety musí vykazovat především vysokou tuhost, životnost a přesnost. Hlavním aspektem při výběru palety je provedení její upínací části. Palety lze rozdělit na:

- hladké – univerzální provedení obsahující další přípravy, které drží obrobek
- s T drážkami – nejpoužívanější typ, univerzální pro různé tvary obrobků, obrobky upnuty pomocí upínek, zvětšuje tloušťku palety
- se závitovými otvory – jednoduché ustavení obrobků pomocí šroubů, zmenšuje tuhost palety, špatná údržba
- magnetické – přístup z pěti stran obrobku na jedno ustavení, rychlé přepnutí, rovnoměrně rozmístěná upínací síla, upnutí nedeformuje obrobek, lze upnout jen obrobek s plochou stranou, nevhodné pro hrubování nebo dlouhé obrábění, jelikož zachytává špony, nutnost napájet paletu

- vakuové – rychlé upnutí, upnutí bez deformací, upne i neferomagnetické materiály, upnutí plochých obrobků nebo obrobků s plochým dnem, nutnost mít paletu připojenou k vakuové jednotce [40] [41]

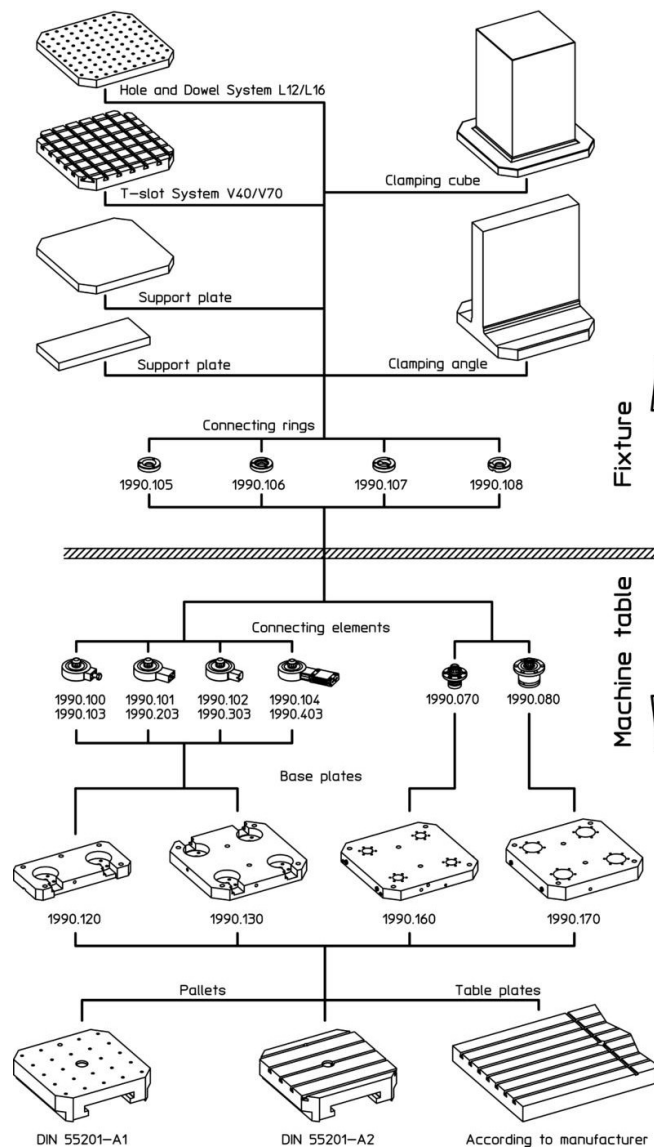
Při použití paletového systému v AVB palety zpravidla obsahují upínací čepy nebo otvory. Upínací protikus je ustaven v základní desce, která je upnuta na stůl stroje. Tento systém upínání se označuje jako „zero point clamping systém“. Mechanismus upnutí se liší dle výrobce, ale většina systémů pracuje na principu mechanického upnutí pomocí kuličky, která je na svém místě přitlačována pružinou a pro uvolnění se použije síla média, která přetlačí pružinu a paletu uvolní (Obr. 21). Ovládání upínání je zajištěné pneumaticky, hydraulicky nebo elektricky. [42] [38]



Obr. 21 Průřezový diagram upínacího systému EROWA MTS [38]

- **HALDER – Zero-Point upínací systém**

Jedná se o systém rychlé výměny obrobku ve stroji pro zkrácení nevýrobních časů. Palety jsou upínány vždy ve stejném referenčním bodě s vysokou opakovatelností. Firma HALDER nabízí systém s konstrukcí „zdola nahoru“, což znamená, že ve stroji je upínací čep a v paletě upínací otvor. Upínací síla je až 30 kN. Upínání lze ovládat mechanicky, pneumaticky nebo hydraulicky. Systém je vhodný pro použití na všech strojích. Systém se skládá z palety s obrobkem, která obsahuje upínací kroužek. Na stole stroje je upnuta základní deska a v ní jsou ovládané upínací čepy. Detailnější skladba systému viz Obr. 22. [43]



Obr. 22 Diagram upínacích komponentů firmy HALDER [43]

- EROWA – paletizační systém

Řešení od firmy EROWA funguje na stejném principu jako výše zmíněný systém od firmy HALDER. Rozdíl je především v opačné geometrii. V základní desce je umístěn upínací kroužek a upínací čep je připevněn na paletě viz Obr. 21. Řada MTS 2.0 disponuje upínacím mechanismem, který zajišťuje samouzamykatelné upnutí pomocí keramické kuličky s upínací silou 20 kN. Výrobce garantuje opakovatelnost upnutí pod 0,003 mm. Řada MTS 2.0 se liší od řady MTS tím, že disponuje senzorem polohy, který kontroluje uvolnění upnutí a zabraňuje tak poškození systému při nedostatečném uvolnění. Díky průchozímu upínacímu kroužku je velmi snadná údržba a kroužek se nezanáší. [38]

- SCHUNK – paletizační systém

Firma SCHUNK má velmi širokou nabídku produktů pro paletizační systémy. Velkou výhodou systému od firmy SCHUNK je modulárnost systému, který nabízí více než 1000 variant upnutí obrobku. Firma SCHUNK nabízí konfiguraci, kdy je upínací kroužek upnut na základní desce ve stroji, ale také systém s obráceným uložením, kdy je v základní desce upínací čep viz Obr. 23. Speciálně pro automatickou výrobu firma doporučuje systém s upínacím čepem ve stroji a kroužkem na paletě. Velkou výhodou oproti řešení od firmy HALDER je její bezúdržbový provoz. Na obvodu upínacích čepů jsou drážky pro proud stlačeného vzduchu, který automaticky čistí pracovní prostor. Opakovatelnost upnutí je pod 0,005 mm a upínací síla 5 až 15 kN při aktivování funkce turbo. Výhodou tohoto provedení je velmi ploché provedení, díky čemuž zůstává maximální pracovní prostor stroje pro obrábění. Geometrie prvků zajišťuje správné upnutí i při úklonu a výstřednosti palety. Jako speciální systém upínání nabízí firma elektromechanické řešení, které je velmi energeticky nenáročné a při porovnání s pneumatickými systémy snižuje náklady na upínání až o 90 %. [41]



Obr. 23 Průřezový diagram upínacího systému NSA plus od f. SCHUNK (1 = vysoce přesné středění krátkého kuželu, 2 = patentový systém dvojitého zdvihu, 3 = funkce turbo, 4 = velké povrchy pro přenos sil, 5 = kompletně uzavřený systém, 6 = podpora pro vyšší tuhost, 7 = krytky šroubů, 8 = zvedání při otevírání modulů, 9 = monitorování kontaktu, 10 = vstupní poloměry modulů, 11 = flexibilní píst, 12 = pneumatický systém) [41]



### 4.3. Shrnutí rešerše

AVB lze rozdělit na tři základní oddíly: transport, skladování a technologickou operaci. Hlavním parametrem, který ovlivňuje všechny tyto části, je hmotnost polotovaru.

Skladování obrobků je ve většině AVB zajištěno pasivními skříňovými zásobníky. Rotační obrobky o menších hmotnostech lze skladovat a následně s nimi manipulovat přímo bez použití dalších prvků. Nerotační obrobky se upevňují na technologické palety pro usnadnění manipulace s různými tvary. Výhodou palet při skladování je jejich stálý rozměr i při změně obrobku, a tedy zásobník může pojmout různé obrobky bez nutnosti přestavby. Zásobníky se konstruují pokud možno do více pater, aby zabraly co nejméně podlahové plochy.

Transport polotvarů zajišťují manipulatory. Z provedené rešerše je vidět zřejmý trend pro zavádění univerzálních angulárních robotů, které však přestávají mít výhodu uplatnění s rostoucí hmotností obrobků. Pro těžké obrobky se tedy často používají jednoúčelové manipulatory v podobě paletizační jednotky, která má různou kombinaci pohybových os. Poslední používanou variantou je gantry robot. Jeho výhodou je široký rozsah manipulovaných hmotností, ale obsluhovaný stroj musí mít přístup ze shora.

Technologická operace je většinou vstupním parametrem pro AVB, a tedy ostatní komponenty se jí podřizují. V dnešní době se firmy snaží kombinovat do jedné AVB více technologických operací, aby se zvýšila míra automatizace výroby. AVB je aplikováno především v oblasti obrábění, svařování, tváření a v poslední době velmi stoupá rozšíření v oblasti montáže.

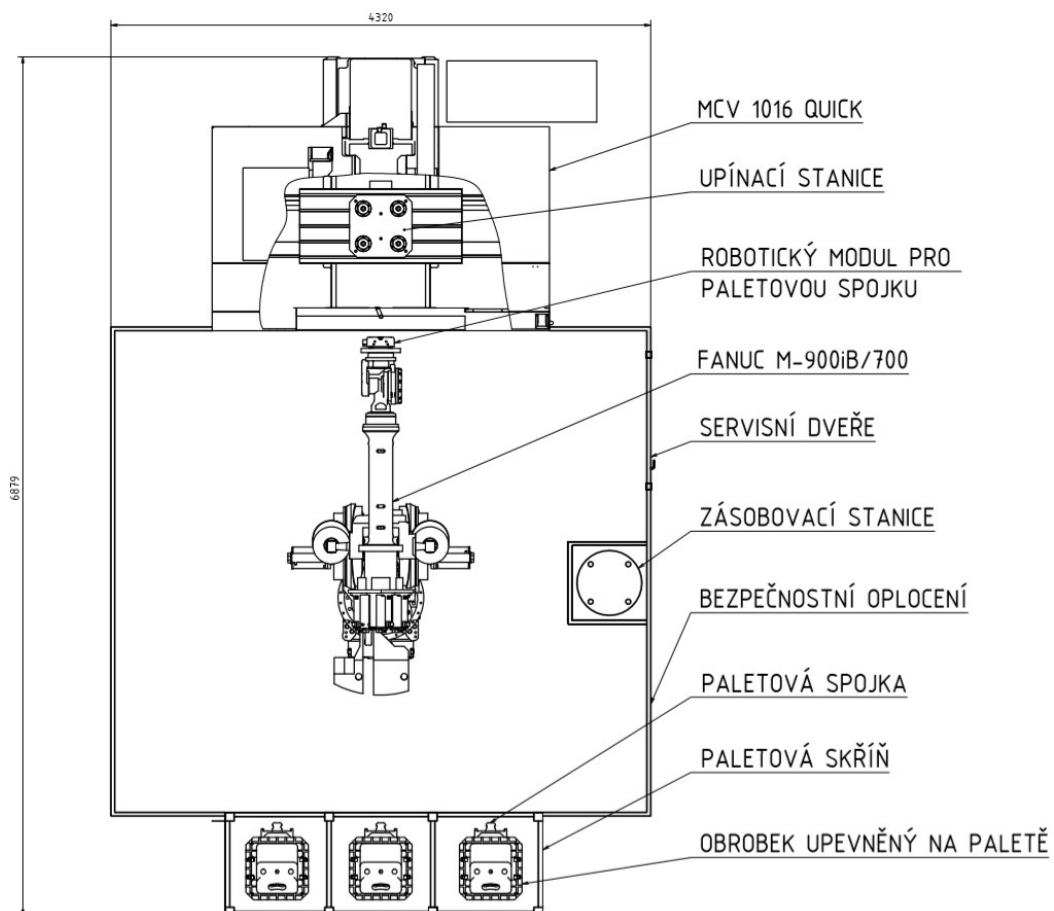
## 5. Návrh AVB

V této kapitole je popsán návrh vlastního řešení AVB. Nejprve byl proveden návrh několika koncepčních variant, z nichž byla jedna vybrána a detailněji zpracována. Dále bude ve vlastním řešení popsán návrh a kontrola nejdůležitějších částí AVB a doplněna o detailní schémata.

### 5.1. Návrh konceptů AVB

Při návrhu AVB bylo nutné sestavit základní strukturu pracoviště, kde hlavní rozdíl mezi návrhy tvoří použitý typ manipulátoru. Jednotlivé koncepty byly navrženy na základě znalostí z podrobné rešerše a s ohledem na zadání práce.

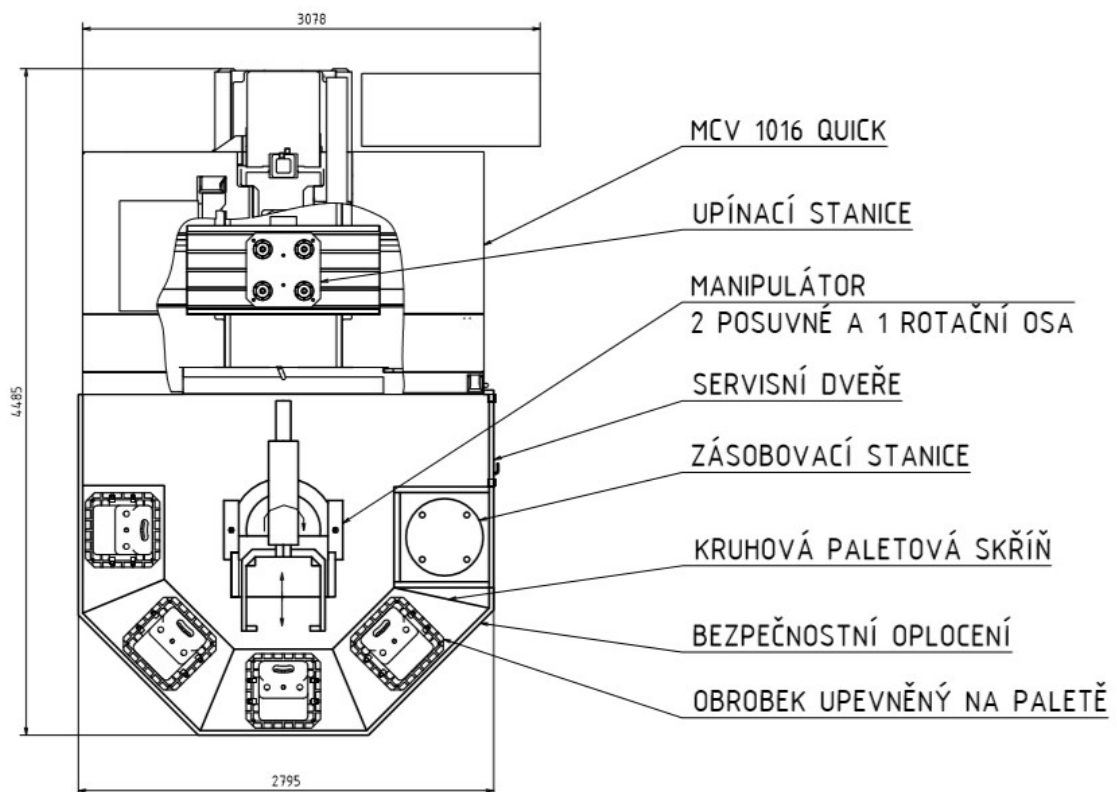
- První varianta (Obr. 24) používá k manipulaci s paletou angulárního robota. V této variantě může být zásobník až třípatrový a lze snadno rozšiřovat jeho kapacitu. Rozsah robota lze rozšířit přidáním lineárního pojezdu a obsluhovat tak více strojů. K uchopení palety slouží paletová spojka. Jedná se o čep, který je upevněný na paletě a jako protikus slouží upínací kroužek na rameni robota.



Obr. 24 Aplikace angulárního robota

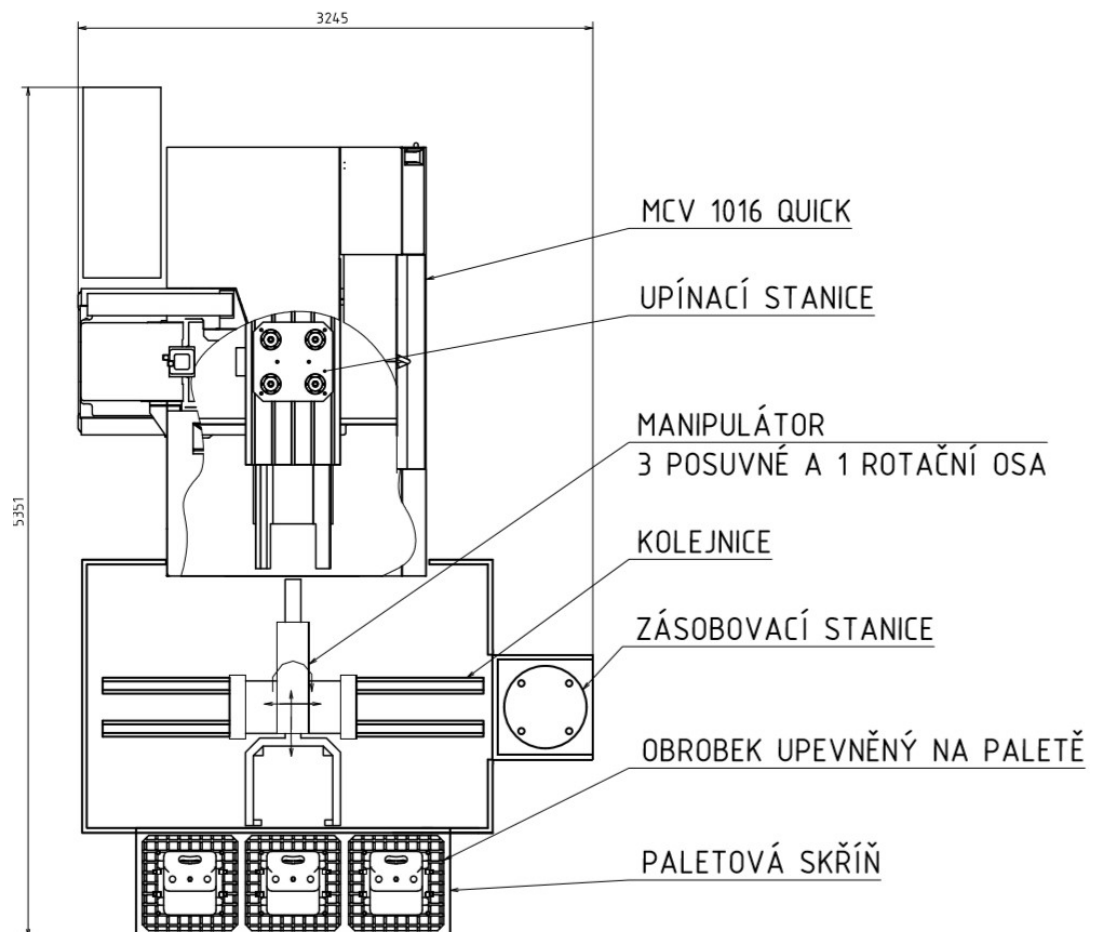


- Další navržená varianta (Obr. 25) disponuje jednoúčelovým manipulátorem s cylindrickou pohybovou strukturou. V této variantě jsou jednotlivé pozice v zásobníku rozmístěny o stejný poloměr od středu otáčení manipulátoru a díky tomu pro manipulaci s paletou stačí pouze tři pohybové osy. Rozšíření zásobníku je v tomto uspořádání značně omezeno, stejně tak i počet obsluhovaných strojů. Efektor manipulátoru je pasivní a k nadzvednutí palety slouží pohyb vertikální osy.



Obr. 25 Jednoúčelový manipulátor pohybové osy  $x$ ,  $y$ ,  $\phi$

- Poslední koncepční řešení (Obr. 26) využívá pro založení taktéž jednoúčelový manipulátor, který má oproti druhé variantě rozšířené pole působnosti o lineární pojezd. Díky tomuto rozšíření dokáže manipulátor snadno obsluhovat více stojů a stejně tak i velké množství pozic v zásobníku. Efektor je totožný jako u druhé navržené varianty.



Obr. 26 Jednoúčelový manipulátor pohybové osy  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $\phi$

- U všech navržených variant lze zakládat polotovary dvěma stroji, nebo po odstranění krytování lze polotovary zakládat z boku stroje viz Obr. 26 a zachovat tak přístup do pracovního prostoru pro obsluhu. Vnější zásobování buňky je u všech variant řešeno stejně, a to přes zásobovací stanici. Prakticky se jedná o pozici zásobníku, ke které má přístup jak manipulátor, tak i obsluha buňky.



## 5.2. Volba optimálních konceptů a komponent

Výběr konceptů a komponent je okomentován v následujících kapitolách. V případě komplexnější volby je text doplněn o metodu vícekritériálního rozhodování. Při použití této metody se ke každé variantě volí kritéria pro hodnocení a určí se jejich váha. Následně se jednotlivá kritéria obodují a zvolí se ta s nejvíce body.

### 5.2.1. Volba konceptu AVB

Nejvíce bodů v rozhodovací tabulce (Tab. 3) získala varianta s jednoúčelovým manipulátorem, který má dvě osy posuvné a jednu osu rotační a zakládání palet je provedeno z boku stroje. Tento výsledek potvrzuje předběžné úvahy, jelikož jeho potenciální cena je nejnižší a zastavěná plocha je značně menší než v návrhu s angulárním robotem. Dále pak koncept zaručuje rozšiřitelnost výroby, která je však omezena na 3 stroje. Jak je patrné z Tab. 3, přístup do stroje pro obsluhu je pro menší objemy výroby zásadní a přidává konceptu velkou výhodu oproti variantám se zakládáním dveřmi. Při zakládání předními dveřmi se stroj stává prakticky nepoužitelný pro běžnou kusovou výrobu. Kapacita zásobníku je další důležitý parametr, ve kterém je zvolená varianta sice nejhorší, ale stále splňuje zadání práce pro naskladnění osmi palet. Posledním kritériem je modularita celé buňky. Nejlépe toto kritérium splňuje varianta s angulárním robotem, která se dá snadno přestavět pro jiný typ polotovarů. Váha tohoto kritéria je ovšem nižší z důvodu absence tohoto požadavku v zadání.

Tab. 3 Výběr celkové koncepce AVB

Kritérium	Potenciální cena	Zastavěná plocha	Kapacita zásobníku	Přístup do stroje pro obsluhu	Modularita	Hodnocení
Váha kritéria	1	0,85	0,7	0,7	0,65	–
angulární robot	1,5	1,5	4	0	3	7,525
angulární robot – boční zakládání	1,5	1	4	2	3	8,5
manipulátor osy x, y, z, $\varphi$	3	3	3	0	2	8,95
manipulátor osy x, y, z, $\varphi$ – boční zakládání	3	2	3	2	2	9,5
manipulátor osy x, y, $\varphi$	5	3	2	0	1	9,6
manipulátor osy x, y, $\varphi$ – boční zakládání	5	2	2	2	1	10,15

### 5.2.2. Volba upínacího paletového systému

Další komponenta, která je součástí ABV, je upínací paletový systém. Volba je provedena mezi čtyřmi variantami. Hlavní kritérium je opět potenciální cena. Z tohoto kritéria vychází nejlépe varianta od firmy EROWA – MTS 2.0. Druhým nejdůležitějším kritériem je při volbě upínacího systému jeho bezúdržbovost. EROWA – MTS 2.0. používá průchozí upínací kroužky, díky čemuž případné nečistoty propadnou a nehromadí se na upínací ploše. Toto kritérium nejlépe splňují varianty od firmy Schunk, které při výměně palety odfukují stlačeným vzduchem nečistoty z prostoru upínací desky. K upnutí většina systémů používá stlačený vzduch, který je snadno přístupný ve všech provozech. Řešení od firmy Halder však používá k upnutí hydraulickou kapalinu, a proto by bylo jeho použití složitější. Na přesnost upnutí a upínací sílu není v zadání kladen speciální důraz, proto má toto kritérium nižší váhu. Jednotlivá kritéria jsou ohodnocena v Tab. 4.

Tab. 4 Výběr upínacího paletového systému

Kritérium	Potenciální cena	Bezúdržbovost	Upínací médium	Přesnost upnutí	Upínací síla	Hodnocení
Váha kritéria	1	0,8	0,8	0,7	0,7	–
EROWA – MTS 2.0	4	2	3	3	2	11,5
SCHUNK – NSA plus	2	4	3	1	2	9,7
SCHUNK – NSE-A3	2	4	3	1	3	10,4
HALDER – Zero-Point	3	1	1	2	3	8,1

### 5.2.3. Volba zbylých komponent

Zbylé komponenty AVB nemají tak komplexní vlastnosti a budou zvoleny pouze na základě potenciální ceny a splnění zadaných parametrů. Prvním takto zvoleným komponentem je technologická paleta Halder EH 1100.700. Paleta má na horní straně T drážky pro snadné a univerzální uchycení různých obrobků.

Dalším zvoleným komponentem je bezpečnostní oplocení X-Guard od firmy Haberkorn. V této řadě je možné volit oplocení z ocelových plechů, nebo z ocelového pletiva. V této aplikaci je voleno ocelové pletivo z důvodu nižší ceny a jednodušší manipulace a montáže. Nevýhodou je pouze to, že z důvodu bezpečnosti musí být toto pletivo vzdálené minimálně 200 mm od pohyblivých částí, a tedy zvětšuje zastavěnou plochu celé buňky. V případě požadavku zákazníka na minimalizování zastavěné plochy lze pletivo snadno zaměnit za ocelové plechy.

### 5.3. Konstrukce manipulátoru

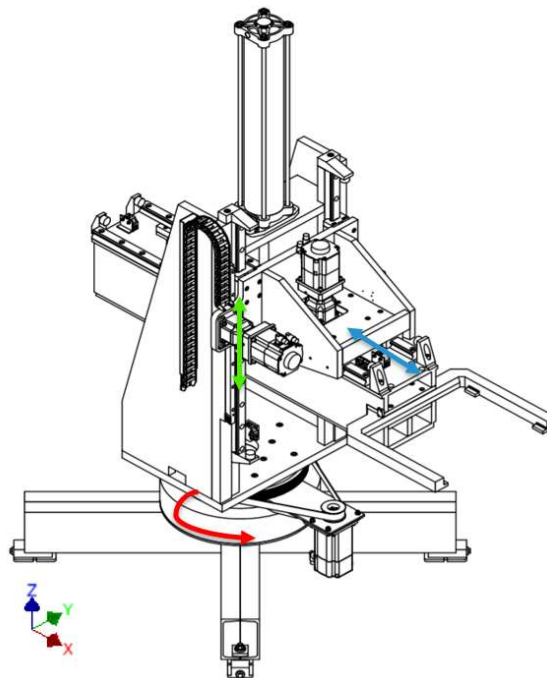
Hlavním komponentem celé AVB je manipulátor v tomto případně konstruovaný. Vstupní parametry pro návrh jednotlivých konstrukčních uzlů manipulátoru vychází ze zadání práce a provedené rešerše viz kapitola 4.2.1. Vstupní parametry – rychlosti a zrychlení jednotlivých os jsou voleny tak, aby odpovídaly parametrům konkurenčních manipulátorů.

Tab. 5 Vstupní parametry navrženého manipulátoru

maximální hmotnost obrobku	300 kg
rychlost pohybu horizontální osy	0,69 m/s
zrychlení horizontální osy	1,15 m/s <sup>2</sup>
rychlost pohybu vertikální osy	0,52 m/s
zrychlení vertikální osy	0,52 m/s <sup>2</sup>
úhlová rychlost rotační osy	1,05 rad/s
úhlové zrychlení rotační osy	1,05 rad/s <sup>2</sup>

#### 5.3.1. Popis funkce

Manipulátor disponuje cylindrickou pohybovou strukturou, tedy má dvě osy posuvné (modrá a zelená šipka viz Obr. 27) a jednu rotační (červená šipka viz Obr. 27). Jeho pracovní prostor je válcový prstenec. Manipulátor je pevně umístěn uprostřed buňky a všechny pozice zásobníku jsou vzdáleny o stejný poloměr. Průběh založení palety do stroje je následující: Manipulátor se nastaví do požadované výšky a na úhlovou pozici palety, kterou bude zakládat. Následně pohybem horizontální osy efektor zajede pod paletu a pohybem vertikální osy vzhůru paletu uvolní z odkládacího prstence. Horizontální osa zajede zpět na minimální výsuv a rotační osa začne s manipulátorem otáčet na úhlovou pozici upínací stanice ve stroji. Během otáčení se zároveň nastaví vertikální osa na požadovanou výšku. Po vysunutí horizontální osy na pozici upínací stanice sjede paleta pohybem vertikální osy do upínacích prstenců. Upínací stanice automaticky upne paletu a manipulátor se vrátí do původní pozice mimo stroj. Následuje automatický obráběcí proces. Po dokončení obrábění manipulátor vrátí paletu do zásobníku stejným způsobem, jako ji zakládal.



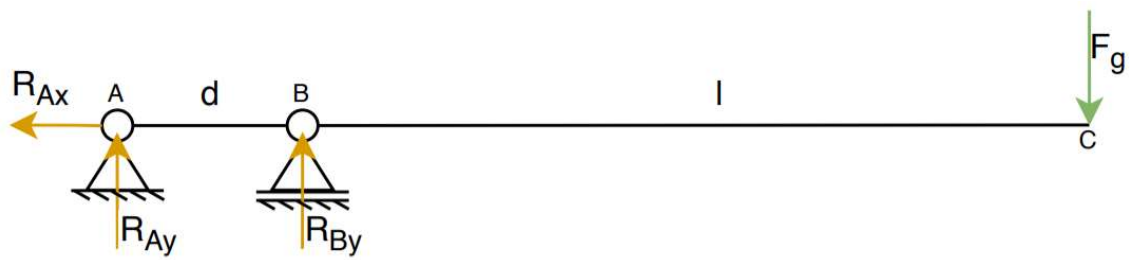
Obr. 27 Pohybové osy manipulátoru

### 5.3.2. Smykadlo

Rám horizontální osy tvoří svařovaný nosník dutého obdélníkového průřezu. Obdélník je vytvořen svařením čtyř plechů koutovými svary. Pro účel kontroly průřezu bylo smykadlo převedeno na zjednodušený model nosníku na dvou podporách a na převislém konci zatíženého silou (viz Obr. 28), která odpovídá gravitační síle obrobku, palety, efektoru a efektorového lůžka. Na smykadlo bude dále působit také setrvačná síla od rychloposuvu vertikální osy. Tuto sílu lze ovšem zanedbat, jelikož při pohybu v blízkosti upínací stanice, kdy je potřeba splnit podmínku průhybu, je zrychlení vertikální osy zhruba třetinové oproti rychloposuvu (cca 0,2 m/s<sup>2</sup>). Podmínkou pro kontrolu průřezu smykadla byl stanoven průhyb na konci nosníku (bod C), který nesmí přesáhnout 0,1 mm. Tato podmínka vychází z požadavku upínací stanice na přesnost polohování upínacích čepů vůči upínací stanici ve stroji.

Vstupní parametry pro výpočet:

$F_g = 4865,76 \text{ N}$	gravitační síla na konci smykadla
$l = 1,59 \text{ m}$	vzdálenost mezi body B a C
$d = 0,25 \text{ m}$	vzdálenost mezi body A a B
$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$	modul pružnosti v tahu
$J_z = 3,97 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$	kvadratický moment průřezu
$v_c < 0,1 \text{ mm}$	podmínka pro průhyb smykadla



Obr. 28 Výpočtový model smykadla

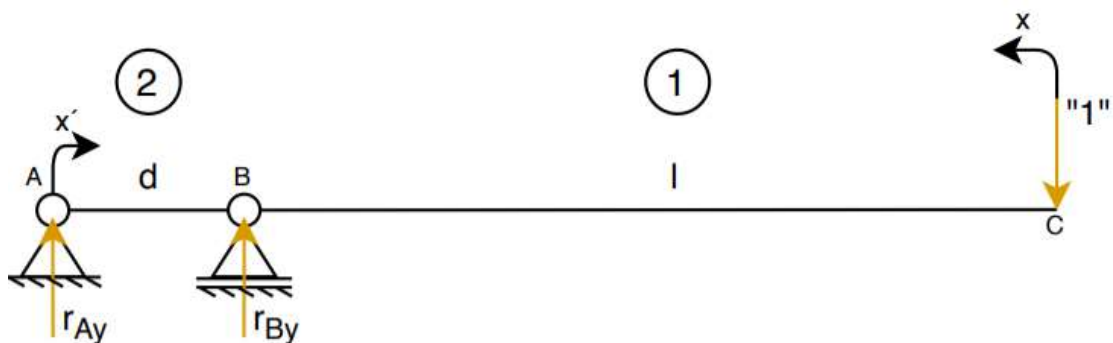
Jako první bylo provedeno uvolnění nosníku.

$$x: R_{Ax} = 0 \quad (1)$$

$$y: R_{Ay} + R_{By} - F_g = 0 \quad (2)$$

$$M_B: -R_{Ay} \cdot d - F_g \cdot l = 0 \Rightarrow R_{Ay} = -F_g \cdot \frac{l}{d} \quad (3)$$

Průhyb nosníku v bodě C bude vypočten pomocí Mohrova integrálu. Do bodu C se umístí jednotková síla a nosník se rozdělí na dvě pole viz Obr. 29. Pro každé pole se stanoví  $M_o(x)$  a  $m_o(x)$ .



Obr. 29 Náhradní schéma s jednotkovou silou

Ze schématu vyplývá,

$$r_{Ay} = -\frac{l}{d} \quad (4)$$

a tedy ohybové momenty v poli 1 pro  $x \in \langle 0; l \rangle$  jsou

$$M_o(x) = -F_g \cdot x \quad (5)$$

$$m_o(x) = -1 \cdot x \quad (6)$$



a v poli 2 pro  $x' \in < 0; d >$

$$M_o(x') = R_{Ay} \cdot x' \quad (7)$$

$$m_o(x') = -\frac{l}{d} \cdot x' \quad (8)$$

Dosazením do rovnice

$$v_i = \frac{1}{E} \cdot \int_{(l)} \frac{M_o(x)}{J_z(x)} \cdot m_{oi}(x) \cdot dx \quad (9)$$

a po úpravě vychází velikost průhybu v místě C

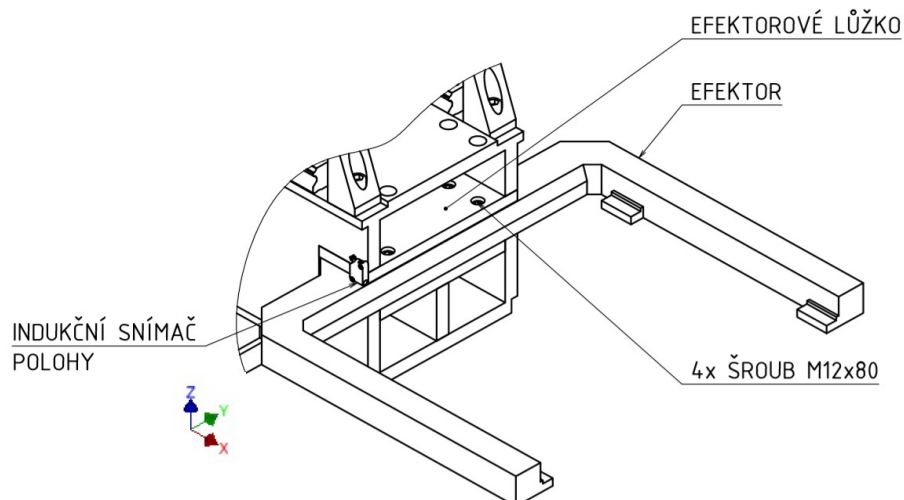
$$v_c = \frac{F_g}{E \cdot J_z} \cdot \left( \frac{l^3}{3} + \frac{l^2 \cdot d}{3} \right) = \frac{4865,76}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 3,97 \cdot 10^{-4}} \cdot \left( \frac{1,56^3}{3} + \frac{1,56^2 \cdot 0,25}{3} \right) = \quad (10)$$

$$= 0,000088 \text{ m} < 0,0001 \text{ m}$$

→ VYHOVUJE

### 5.3.3. Efektor

Pro nabírání palety je zvolen co nejjednodušší princip efektoru. Efektor neobsahuje žádnou pohyblivou část a nabírání palet zajišťuje pohyb vertikální osy vzhůru. Efektor vidlicovitého tvaru (Obr. 30) má na vnitřní straně obdélníkové výstupky, které jsou přesně obrobeny na rozměr palety. Efektor je přišroubován pomocí šroubů s válcovou hlavou M12x80 k efektorovému lůžku, která je přivařena ke smykadlu. Lůžko zachytává klopný moment od obrobku, díky čemuž jsou šrouby namáhány pouze odstředivou silou při pohybu horizontální osy. Šrouby byly navrženy dle normy VDI 2230. Při změně rozměru palety je možné efektor snadno vyměnit a tím značně rozšířit využitelnost celého manipulátoru. Informaci o tom, zda je v efektoru uchopena paleta, zajišťuje indukční snímač polohy.

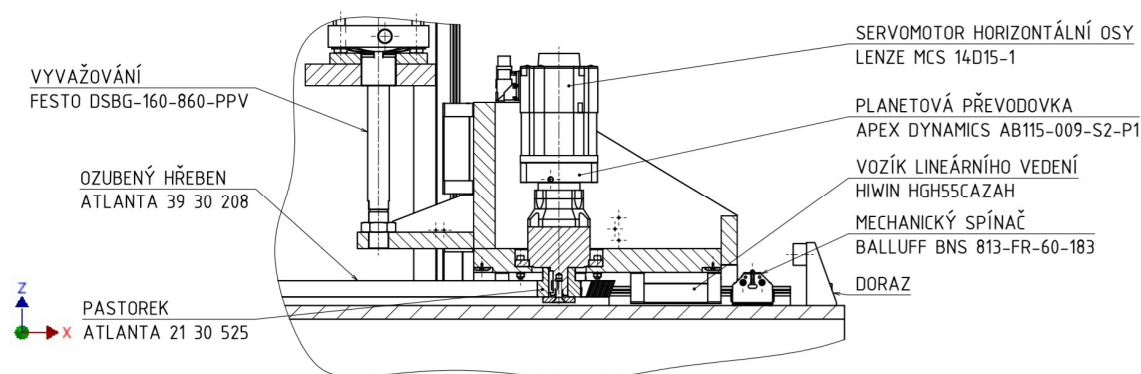


Obr. 30 Detail efektoru

### 5.3.4. Horizontální osa

Spojení a pojezd mezi smykadlem a příčnickem zajišťují dvě kolejnice HGR55R přišroubované ke smykadlu a čtyři vozíky HGH55CA namontované k příčnicku, obojí od firmy HIWIN. Tyto komponenty jsou součástí řady HG. Tato řada obsahuje jako valivý element čtyři řady kuliček. Díky uspořádání kuliček pod 45° dokáže vedení zachytit zatížení ve všech směrech. Lineární vedení je použito i pro vertikální osu, která je zatížena více, a z důvodu snížení počtu náhradních dílů je pro horizontální osu volen stejný typ. Návrh vedení je tedy uveden v kapitole 5.3.5. [44]

Pohon osy zajišťuje synchronní servomotor LENZE MCS14D15, který přes planetovou převodovku APEX Dynamics AB115-009-S2-P1 pohání ozubený pastorek ATLANTA 21 30 525 se šikmými zuby. Pastorek spolu zabírá s ozubeným hřebenem ATLANTA 39 30 208. Motor obsahuje zabudovaný enkodér, který má dostatečnou přesnost polohování, a není tedy nutné použít jiné odměřování.



Obr. 31 Řez pohonem horizontální osy

Návrh všech komponent je proveden dle katalogu od dodavatelů viz níže.

Vstupní parametry pro výpočet:

$m_h = 955,9 \text{ kg}$	manipulovaná hmotnost
$v_h = 0,69 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	rychlost pohybu horizontální osy
$t_{ah} = 0,6 \text{ s}$	čas zrychlení horizontální osy
$t_{ch} = 1,45 \text{ s}$	čas konstantní rychlosti
$F_{u \text{ zul/per1}} > F_{uh}$	podmínka únosnosti hřebenu
$P_{1minh} < P_{1h}$	podmínka pro výkon motoru
$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	gravitační zrychlení

Pro další výpočet je nutné určit koeficienty pro hřeben a pastorek. Dle doporučení výrobce pro tuto konkrétní aplikaci se volí koeficienty následovně:

$K_{Ah} = 1,5$	koeficient zatížení
$f_{nh} = 0,95$	koeficient životnosti
$S_{Bh} = 1,3$	koeficient bezpečnosti
$\mu_h = 0,05$	koeficient tření
$L_{KH\beta h} = 1,2$	koeficient rozložení zatížení

Zrychlení osy:

$$a_h = \frac{v_h}{t_{ah}} = \frac{0,69}{0,6} = 1,15 \frac{m}{s^2} \quad (11)$$

Posuvová síla:

$$F_{uh} = \frac{m_h \cdot g \cdot \mu_h + m_h \cdot a_h}{1000} = \frac{955,9 \cdot 9,81 \cdot 0,05 + 955,9 \cdot 1,15}{1000} = 1,57 \text{ kN} \quad (12)$$

Pro účel kontroly bude tato síla porovnána s tabulkovou hodnotou sníženou o koeficienty. Pro kombinaci ozubeného hřebenu ATLANTA 39 30 208 z materiálu 42CrMo4, který byl zakalen a temperován, a pastorku ATLANTA 21 30 525 z materiálu C45 po indukčním kalení je  $F_{uTab1} = 7,5 \text{ kN}$ . Tato kombinace je volena z důvodu úspor, jelikož umožňuje použití stejných komponent i u vertikální osy.

$$F_{u\text{zul/per}1} = \frac{F_{uTab1}}{K_{Ah} \cdot S_{Bh} \cdot f_{nh} \cdot L_{KH\beta h}} = \frac{7,5}{1,5 \cdot 1,3 \cdot 0,95 \cdot 1,2} = 3,37 \text{ kN} > F_{uh} = 1,57 \text{ kN} \quad (13)$$

→ VYHOVUJE

Následuje volba motoru a převodovky. Z katalogu byl určen roztečný průměr pastorku  $d_h = 79,58 \text{ mm}$ .

$$T_{2ch} = F_{uh} \cdot \frac{d_h}{2} = 1568,15 \cdot \frac{79,58 \cdot 10^{-3}}{2} = 62,4 \text{ Nm} \quad (14)$$

$$n_{prac.} = n_c = \frac{v}{d \cdot \pi} \cdot 60000 = \frac{0,69}{79,58 \cdot \pi} \cdot 60000 = 165,59 \text{ min}^{-1} \quad (15)$$

Pro výpočet převodového poměru je potřeba znát otáčky motoru. Zvolený elektromotor LENZE MCS14D15 má otáčky  $n_{mh} = 1500 \text{ min}^{-1}$ , výkon  $P_{1h} = 1,45 \text{ kW}$  a maximální výstupní moment  $T_{mB} = 29 \text{ Nm}$ .

$$i'_h = \frac{n_{mh}}{n_{prac.h}} = \frac{1500}{165,59} = 9,06 \quad (16)$$



Pro toto převodové číslo byla zvolena planetová převodovka APEX DYNAMICS AB115–009–S2–P1 s následujícími parametry:

$T_{2Nh} = 230 \text{ Nm}$	jmenovitý výstupní moment
$T_{2Bh} = 414 \text{ Nm}$	maximální moment
$i_h = 9$	převodový poměr
$\eta_p = 0,94$	účinnost převodovky
$K_s = 1$	koeficient počtu cyklů za hodinu
$n_{1Nh} = 4000 \text{ min}^{-1}$	nominální vstupní otáčky
$F_{2rBh} = 6700 \text{ N}$	maximální povolené radiální zatížení na výstupní hřídeli
$F_{2aBh} = 3350 \text{ N}$	maximální povolené axiální zatížení na výstupní hřídeli
$T_{2mh} < T_{2Nh}$	podmínka pro výstupní moment
$T_{2maxh} < T_{2Bh}$	podmínka pro maximální rozběhový moment
$n_{2Nh} > n_{2mh}$	podmínka pro výstupní otáčky
$F_{rh} < F_{2rBh}$	podmínka pro radiální zatížení na výstupní hřídeli
$F_{ah} < F_{2aBh}$	podmínka pro axiální zatížení na výstupní hřídeli

Následuje kontrola zvolené převodovky. Jako první se vypočte akcelerační a brzdny moment:

$$T_{2ah} = T_{2dh} = 2 \cdot T_{2ch} = 2 \cdot 62,4 = 124,8 \text{ Nm} \quad (17)$$

Akcelerační a brzdny otáčky:

$$n_{2ah} = n_{2dh} = 0,5 \cdot n_{ch} = 0,5 \cdot 165,59 = 82,80 \text{ min}^{-1} \quad (18)$$

Za předpokladu, že  $t_{ah} = t_{dh}$  lze dosadit do rovnice pro výpočet hlavního výstupního momentu:

$$T_{2mh} = \sqrt[3]{\frac{n_{2ah} \cdot t_{ah} \cdot T_{2ah}^3 + n_{prac.h} \cdot t_{ch} \cdot T_{2ch}^3 + n_{2dh} \cdot t_{dh} \cdot T_{2dh}^3}{n_{2ah} \cdot t_{ah} + n_{2ch} \cdot t_{ch} + n_{2dh} \cdot t_{dh}}} \quad (19)$$

$$T_{2mh} = \sqrt[3]{\frac{82,8 \cdot 0,6 \cdot 124,8^3 + 165,59 \cdot 1,45 \cdot 62,4^3 + 82,8 \cdot 0,6 \cdot 124,8^3}{82,8 \cdot 0,6 + 165,59 \cdot 1,45 + 82,8 \cdot 0,6}} = 90,48 \text{ Nm} < T_{2N}$$

$$= 230 \text{ Nm}$$

→ VYHOVUJE

Pro maximální rozběhový moment platí rovnice:

$$T_{2maxh} = T_{mBh} \cdot i_h \cdot K_s \cdot \eta = 29 \cdot 9 \cdot 1 \cdot 0,94 = 245,34 < T_{2Bh} = 414 \text{ Nm} \quad (20)$$

→ VYHOVUJE

Následuje kontrola výstupních otáček:

$$n_{2mh} = \frac{n_{2ah} \cdot t_{ah} + n_{prac.h} \cdot t_{ch} + n_{2dh} \cdot t_{dh}}{t_{ah} + t_{ch} + t_{dh}} \quad (21)$$
$$n_{2mh} = \frac{82,8 \cdot 0,6 + 165,59 \cdot 1,45 + 82,8 \cdot 0,6}{0,6 + 1,45 + 0,6} = 128,09 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{2Nh} = \frac{n_{1Nh}}{i_h} = \frac{4000}{9} = 444,44 \text{ min}^{-1} > n_{2m} = 128,09 \text{ min}^{-1} \quad (22)$$

→ VYHOVUJE

Poslední parametr, který musí převodovka splňovat, je maximální zatížení na výstupní hřídeli v radiálním a axiálním směru. Pro tento výpočet je potřeba znát parametry ozubení:

$$\alpha = 20^\circ \quad \text{úhel záběru}$$

$$\beta = 19,53^\circ \quad \text{úhel sklonu zubů}$$

$$F_{th} = \frac{2 \cdot T_{2ch}}{d_h} = \frac{2 \cdot 62,4}{79,58 \cdot 10^{-3}} = 1568,15 \text{ N} \quad (23)$$

$$F_{rh} = F_{th} \cdot \frac{\text{tg } \alpha}{\cos \beta} = 1568,15 \cdot \frac{\text{tg } 20^\circ}{\cos 19,53^\circ} = 605,6 \text{ N} < F_{2rBh} = 6700 \text{ N} \quad (24)$$

→ VYHOVUJE

$$F_{ah} = F_{th} \cdot \text{tg } \beta = 1568,15 \cdot \text{tg } 19,53^\circ = 556,18 \text{ N} < F_{2aBh} = 3350 \text{ N} \quad (25)$$

→ VYHOVUJE

Převodovka splňuje všechny kontrolní parametry a je tedy vhodné jí použít. Většina parametrů vyšla s vyšší bezpečností a bylo by vhodné zvolit převodovku menší, ovšem pro požadovaný převodový poměr  $i = 9$  menší převodovky výrobce nenabízí.

Motor musí splnit podmínku, aby jeho výstupní výkon byl vyšší než potřebný vstupní moment převodovky:

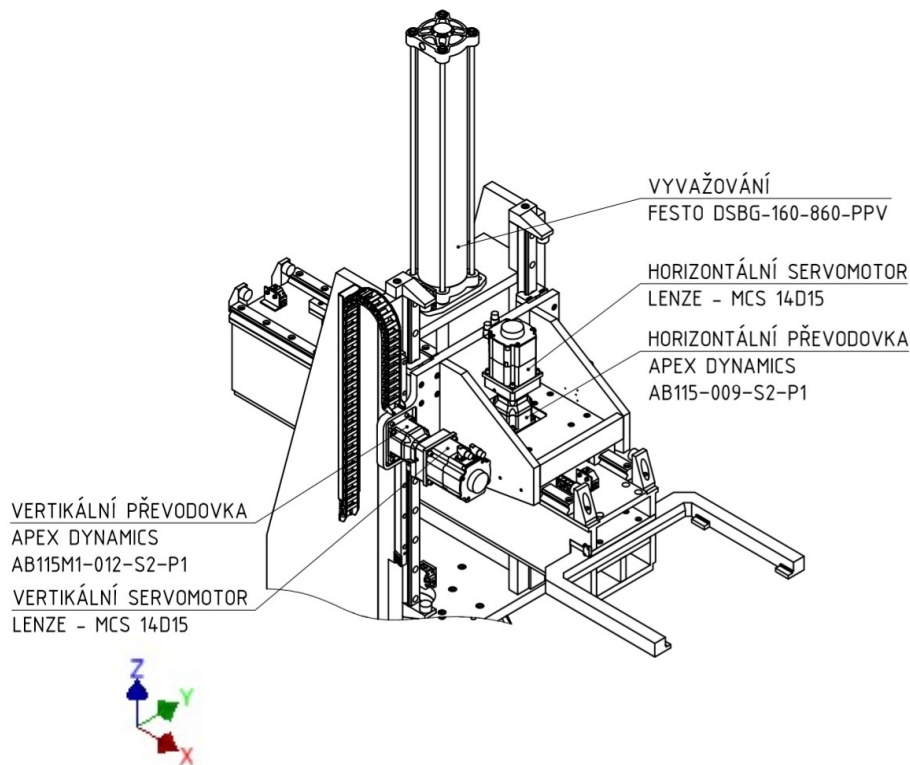
$$P_{1minh} = \frac{T_{2ch} \cdot n_{prac.h}}{9550 \cdot \eta_p} = \frac{62,4 \cdot 165,59}{9550 \cdot 0,94} = 1,15 \text{ kW} < P_{1h} = 1,45 \text{ kW} \quad (26)$$

→ VYHOVUJE

Všechny komponenty pohonu horizontální osy splnily požadované kontroly a mohou být použity tak, jak byly navrženy.

### 5.3.5. Vertikální osa

Vertikální osa se skládá ze stejné kombinace pohonů a lineárního vedení jako osa horizontální. Rozložení jednotlivých komponent vertikální osy viz Obr. 32.

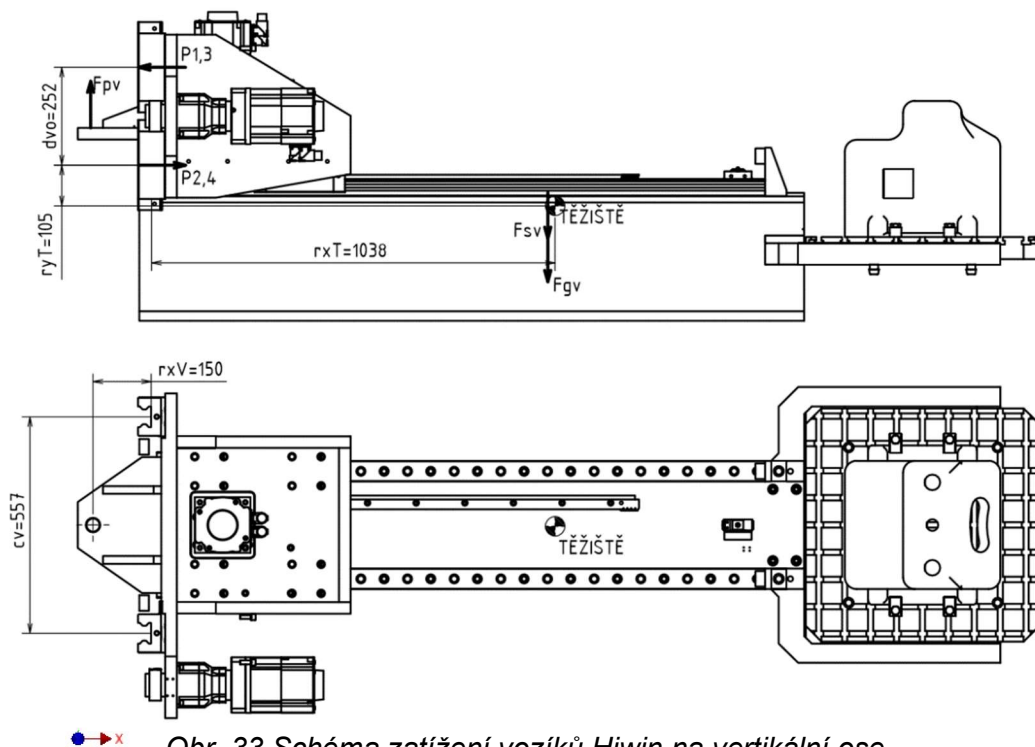


Obr. 32 Detail vertikální osy

- **Návrh lineárního vedení**

Pojezdový element, zajišťující vedení vertikální osy, je kombinace dvou kolejnic HGR55R a čtyř vozíků HGH55CA, obojí od firmy HIWIN. Kolejnice jsou namontovány na sloupy manipulátoru a vozíky k příčníku, obojí pomocí šroubů. Způsob montáže je možné řešit několika způsoby. V případě manipulátoru, kde je vedení vystaveno bočním silám od odstředivých sil, je vhodné zvolit montáž kolejnic s referenční hranou a svěrným členem. V této variantě jsou obě kolejnice a jedna řada vozíků pevně sevřena a druhá řada vozíků je volná.

Pro návrh vedení je třeba určit maximální zatížení vozíků. Na Obr. 33 je znázorněna nejhorší kombinace, která může v pohybu manipulátoru nastat. Jedná se o kombinaci gravitační síly, síly pneumatického válce a setrvačné síly vzniklé při brzdění vertikální osy. Setrvačná síla od pohybu horizontální osy a odstředivá síla od rotace rotační osy jsou při tomto pohybu nulové. Radiální síla vzniklá od zabírání ozubeného pastorku s hřebenem se ve výpočtu neuvažuje, jelikož její působíště je téměř v ose vozíků a oproti ostatním silám je její velikost zanedbatelná. Vliv vyosení těžiště v rovině z je minimální a nebude ve výpočtu uvažováno.



Obr. 33 Schéma zatížení vozíků Hiwin na vertikální ose

Vstupní parametry pro výpočet:

$m_{cv} = 1222,9 \text{ kg}$	hmotnost sestavy vertikální osy
$F_{pv} = 10003,75 \text{ N}$	síla pneumatického válce
$r_{xT} = 1,022 \text{ m}$	vzdálenost těžiště v ose x
$r_{xV} = 1,022 \text{ m}$	vzdálenost působíště síly pneumatického válce v ose x
$d_{vo} = 0,25 \text{ m}$	rozteč vozíků
$a_v = 0,52 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	brzdné zrychlení vertikální osy
$C_0 = 148330 \text{ N}$	statická únosnost
$C_{dyn} = 114440 \text{ N}$	dynamická únosnost
$c = 5$	počet cyklů za hodinu
$s_z = 1,2 \text{ m}$	ujetá vzdálenost vedení na jeden cyklus
$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	gravitační zrychlení
$f_{SL} > 3$	statická konstrukční bezpečnost
$L_r > 5 \text{ let}$	minimální životnost vedení

Nejprve je třeba určit zátěžné síly:

$$F_{gv} = m_{cv} \cdot g = 1222,1 \cdot 9,81 = 11996,65 \text{ N} \quad (27)$$

$$F_{sv} = m_{cv} \cdot a_v = 1222,1 \cdot 0,52 = 635,91 \text{ N} \quad (28)$$

Následně se vypočte maximální zatížení jednotlivých vozíků:

$$P = P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \frac{F_{gv} \cdot r_{xT} + F_{sv} \cdot r_{xT} + F_{pv} \cdot r_{xV}}{2 \cdot d_{vo}} \quad (29)$$

$$P = \frac{11996,6 \cdot 1,022 + 635,91 \cdot 1,022 + 10003,75 \cdot 0,15}{2 \cdot 0,25} = 28822,07 \text{ N} \quad (30)$$

Statická konstrukční bezpečnost:

$$f_{SL} = \frac{C_0}{P} = \frac{148330}{28822,07} = 5,15 > 3 \quad (31)$$

→ VYHOVUJE

Při výpočtu není uvažováno kritické zatížení v případě stop stavu manipulátoru. Z provedeného výpočtu ovšem vychází statické bezpečnosti o 70 % více, než je minimální. Lze tedy vyhodnotit vedení jako vyhovující i v případě stop stavu.

Druhý kontrolní parametr při návrhu je životnost vedení. Před samotným výpočtem je třeba určit následující faktory:



$f_h = 1$  faktor tvrdosti

$f_t = 1$  faktor teploty

$f_w = 2$  faktor zatížení

$$L = \left( \frac{f_h \cdot f_t \cdot C_{dyn}}{f_w \cdot P} \right)^3 \cdot 50000 = \left( \frac{1 \cdot 1 \cdot 114440}{2 \cdot 28822,07} \right)^3 \cdot 50000 = 391235,29 \text{ m} \quad (32)$$

Jelikož se manipulátor nevyužívá nepřetržitě pouze pro založení a vyložení obrobků ze stroje, je životnost vedení přepočtena dle počtu cyklů za hodinu:

$$L_r = \frac{L}{8760 \cdot s_z \cdot c} = \frac{392127,57}{8760 \cdot 1,2 \cdot 5} = 7,44 \text{ let} > 5 \text{ let} \quad (33)$$

→ VYHOVUJE

### • Návrh pohonu vertikální osy

Z důvodu vysokého zatížení od gravitační síly, která by působila na pohon vertikální osy, je pro snížení tohoto zatížení použito vyvažování pomocí pneumatického válce DSBG–160–860–PPV od firmy Festo.

Pro výpočet potřebné síly válce je nutné znát hmotnost bez a s obrobkem. Následně se určí střední hmotnost zatížení, při kterém bude potřebný nejmenší výkon motoru bez ohledu na pracovní režim.

Vstupní parametry pro výpočet:

$F_{gv} = 11996,65 \text{ N}$  gravitační síla s obrobkem

$F_{gb} = 8010,85 \text{ N}$  gravitační síla bez obrobku

$F_{pv6} = 11310 \text{ N}$  síla pneumatického válce při 6 barech a pohybu vzad

Požadovaná síla pneumatického válce:

$$F_{pv} = \frac{F_{gv} + F_{gb}}{2} = \frac{11996,65 + 8010,85}{2} = 10003,75 \text{ N} \quad (34)$$

Tuto požadovanou sílu je potřeba nastavit snížením tlaku přiváděného vzduchu:

$$p_2 = \frac{6 \cdot F_{pv}}{F_{pv6}} = \frac{6 \cdot 10003,75}{11310} = 5,31 \text{ bar} \quad (35)$$

K pohybu vertikální osy slouží identický pohon jako pohon vertikální osy. Kontrola komponent pohonu má tedy stejný postup viz kapitola 5.3.4. Navržené komponenty pohonu, které budou kontrolovány:

LENZE MCS14D15	synchronní servomotor
APEX Dynamics AB115M1-012-S2-P1	planetová převodovka
ATLANTA 21 30 525	ozubený pastorek se šikmými zuby
ATLANTA 39 30 208	ozubený hřeben se šikmými zuby

**Tab. 6 Kontrola vertikálního pohonu**

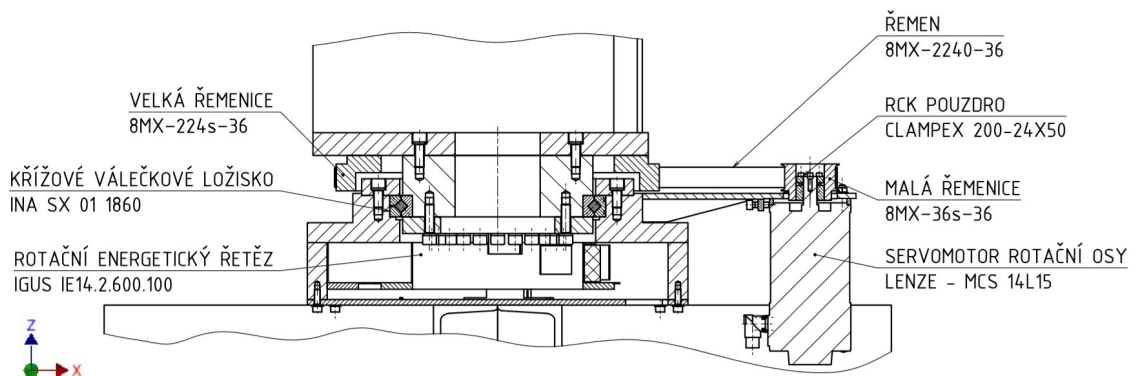
Vstupní parametry		Výstupní parametry		Kontrolní podmínky
$m_v$	222,05 kg	$F_{u\text{ zul/perv}}$	2,53 kN	$F_{u\text{ zul/perv}} > F_{uv}$
$v_v$	0,52 m/s	$F_{uv}$	2,29 kN	
$t_{av}$	1,00 s	$T_{2mv}$	137,17 Nm	$T_{2mv} < T_{2Nv}$
$t_{cv}$	1,92 s	$T_{2maxv}$	327,12 min <sup>-1</sup>	$T_{2maxv} < T_{2bv}$
$g$	9,81 m/s <sup>2</sup>	$n_{2mv}$	92,99 min <sup>-1</sup>	$n_{2Nv} > n_{2mv}$
$K_{av}$	2,00	$n_{2Nv}$	333,33 min <sup>-1</sup>	
$f_{nv}$	0,95	$F_{rv}$	885,83 N	$F_{rv} < F_{2rBv}$
$S_{Bv}$	1,30	$F_{av}$	813,62 N	$F_{av} < F_{2aBv}$
$\mu_v$	0,05	$P_{1minv}$	1,27 kW	$P_{1minv} < P_{1v}$
$L_{KH\beta v}$	1,20			
$F_{uTabv}$	7,50 kN			
$d_v$	79,58 mm			
$n_{mv}$	1500,00 min <sup>-1</sup>			
$P_{1v}$	1,45 kW			
$T_{mBv}$	29,00 Nm			
$T_{2Nv}$	290,00 Nm			
$T_{2Bv}$	522,00 Nm			
$i_v$	12,00			
$\eta_p$	0,94			
$K_s$	1,00			
+				
$n_{1Nv}$	400,00 min <sup>-1</sup>			
$F_{2rBv}$	6700,00 N			
$F_{2aBv}$	3350,00 N			
$\alpha$	20,00 °			
$\beta$	19,53 °			

Z Tab. 6 vyplývá, že všechny kontrolní podmínky navržený pohon splňuje a je vhodné ho použít. Stejně jako u horizontální osy vychází převodovka s vyšší bezpečností, ale výrobce nenabízí menší s požadovaným převodovým poměrem  $i = 12$ .

Navržený motor obsahuje zabudovaný enkodér, který disponuje dostatečnou přesností polohování.

### 5.3.6. Rotační osa

Pohon rotační osy (Obr. 34) zajišťuje synchronní servomotor LENZE MCS14L15. Na výstupní hřídeli motoru je válcové svěrné pouzdro CLAMPEX 200–24X50, které je samostředící a přenáší krouticí moment na malou ozubenou řemenici 8MX–36S–36, ta přes ozubený řemen 8MX–280S–36 pohání velkou řemenici 8MX–224S–36, vše od firmy Gates. Velká řemenice následně přenáší krouticí moment pomocí šroubového spoje do rámu manipulátoru. Při polohování manipulátoru na požadovanou úhlovou polohu by mohlo docházet k vibracím. Tento jev je eliminován při návrhu řemen tím, že je volen řemen trojnásobné šířky, než by byl použit při zanedbání těchto vibrací. Motor stejně jako u ostatních os obsahuje enkodér, který má dostatečnou přesnost polohování a není tedy nutné použít jiné odměřování.



Obr. 34 Řez rotační osou

Návrh řemenového převodu byl proveden pomocí výpočetního softwaru MITCalc.

Vstupní parametry pro výpočet:

$I_{cr} = 2861,11 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  celkový moment setrvačnosti rotační osy

$\alpha_r = 1,05 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$  úhlové zrychlení rotační osy

$n_{1ř} = 15000 \text{ min}^{-1}$  otáčky malé řemenice / motoru

$n_{2ř} = 10 \text{ min}^{-1}$  otáčky velké řemenice

$t_{ar} = 1 \text{ s}$  čas zrychlení rotační osy

$\omega_r = 1,05 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$  úhlová rychlost rotační osy

$i_r = 150$  převodový poměr řemenového převodu

$\eta_{ř} = 0,97$  účinnost řemenového převodu



$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$  gravitační zrychlení

Dále je třeba určit přenášený výkon:

$$M_{kr} = \alpha_r \cdot I_{cr} = 1,05 \cdot 2861,11 = 2996,14 Nm \quad (36)$$

$$P_r = \frac{M_{kr} \cdot n_{zř}}{9550} = \frac{2996,14 \cdot 10}{9550} = 3,14 kW \quad (37)$$

Následuje zadání těchto parametrů do výpočetního softwaru a volba zbylých parametrů v prostředí MITCalc:

A	typ hnacího stroje – s malou nerovnoměrností
D	typ hnaného stroje – se střední nerovnoměrností
C	denní zatížení provozu – více než 16 hodin
8MX (PolyChain GT2)	typ řemen
$B_{ř} = 36 mm$	šířka řemene
$z_{1ř} = 36$	počet zubů malé řemenice
$C_{ř} = 550 mm$	požadovaná osová vzdálenost

Výsledky výpočtu a rozměry komponent převodu viz Tab. 7.

**Tab. 7 Výsledky výpočtu řemenového převodu**

		Řemenice 1	Řemenice 2	Řemen	Jednotky
<b>Koeficienty</b>					
součinitel provozního zatížení	$c_2$	1,70			
součinitel zrychlení	$c_3$	0,00			
součinitel délky řemene	$c_5$	1,26			
součinitel šířky řemene	$c_6$	3,00			
součinitel počtu zubů v záběru	$c_1$	1,00			
součinitel převodového poměru	$c_7$	0,47			
úhel opásání řemenice	$\beta_f$	128,17	231,83		[°]
<b>Osová přestavitelnost</b>					
pro napínání řemene	$x_o$	0,80			[mm]
pro nasazení řemene	$y_o$	2,80			[mm]
<b>Výpočet pracovních sil</b>					
tahová síla	$F_{uf}$	436			[N]
předpětí	$F_{of}$	406			[N]
síla v zatížené větvi řemenu	$F_{1f}$	624			[N]
síla v odlehčené větvi řemenu	$F_{2f}$	188			[N]
celková radiální síla na hřídel	$F_{rf}$	754			[N]
<b>Rozměry komponent převodu</b>					
počet zubů	$z_f$	36	224	280	
vnější průměr	$D_p$	91,67	507,41		[mm]
šířka	$B_f$	42	42	36	[mm]
délka	$L_f$			2240	[mm]

Jako poslední je třeba zkontrolovat zvolený servomotor s jmenovitým výkonem  $P_{Nr} = 3,6 \text{ kW}$ , jmenovitým krouticím momentem  $M_{Nr} = 23 \text{ Nm}$  a dovolenou radiální sílu na výstupní hřídel  $F_{rmaxr} = 880 \text{ N}$ . Tyto hodnoty musí být vyšší než hodnoty vypočtené:

$$P_{N \text{ min}r} = \frac{P_r}{\eta_{\dot{\gamma}}} = \frac{3,14}{0,97} = 3,23 \text{ kW} < P_N = 3,6 \text{ kW} \quad (38)$$

→ VYHOVUJE

$$M_{mr} = \frac{M_{kr}}{i_r \cdot \eta_{\dot{\gamma}}} = \frac{2996,14}{150 \cdot 0,97} = 20,59 \text{ Nm} < M_{Nr} = 23 \text{ Nm} \quad (39)$$

→ VYHOVUJE

$$F_{rr} = 754 \text{ N} < F_{rmaxr} = 880 \text{ N} \quad (40)$$

→ VYHOVUJE

- Návrh ložiska

Z důvodu komplexního zatížení rotační osy je voleno křížové válečkové ložisko. Toto ložisko díky ortogonálnímu uspořádání válečků vyniká únosností v axiálním a radiálním směru. Zároveň je schopné zachytit vysoký klopný moment, který vzniká především při maximálním vysunutí smykadla. Ložisko dále disponuje vysokou tuhostí a přesností i při kombinaci všech zatíženích.

Vstupní parametry pro návrh ložiska:

$F_{0a} = 20,85 \text{ kN}$	axiální statické zatížení
$F_{0r} = 1,66 \text{ kN}$	radiální statické zatížení
$M_{0k} = 17,26 \text{ kNm}$	statický klopný moment
$D_M = 340 \text{ mm}$	předběžný roztečný průměr ložiska
$f_A = 1,5$	faktor aplikace
$f_S = 1,6$	faktor bezpečnosti

Před výpočtem ekvivalentních zatíženích působících na ložisko je nutné určit faktor statického radiálního zatížení:

$$\epsilon = \frac{2000 \cdot M_{0k}}{F_{0a} \cdot D_M} = \frac{2000 \cdot 17,26}{20,85 \cdot 340} = 4,87 \quad (41)$$

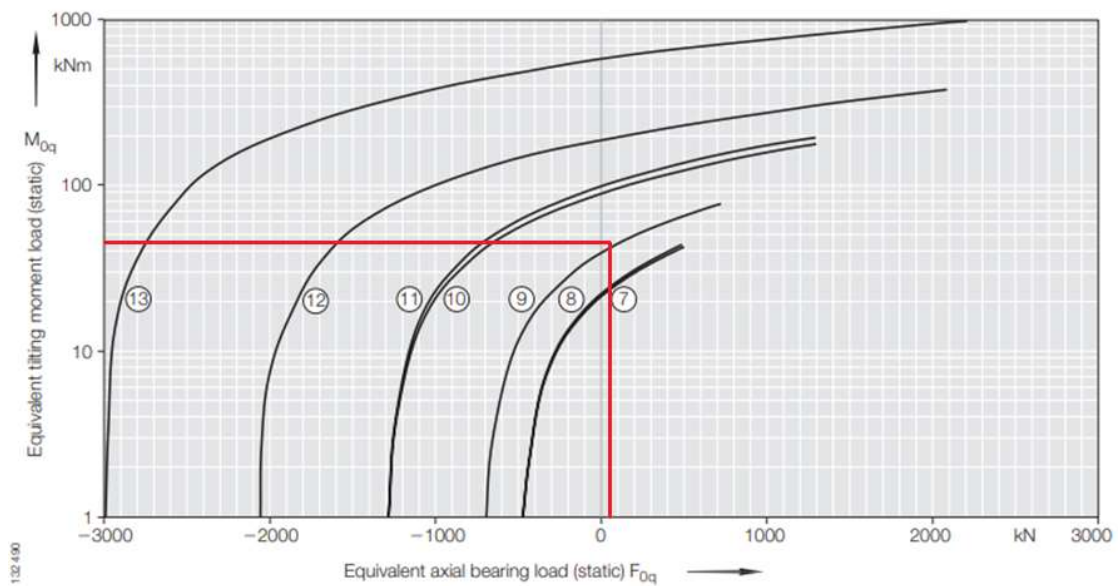
$$\frac{F_{0r}}{F_{0a}} = \frac{1,66}{20,85} = 0,08 \quad (42)$$

Na základě těchto parametrů je z grafu určen faktor statického radiálního zatížení  $f_{0r} = 1,1$ . Následně jsou přepočteny zatížení na ekvivalentní hodnoty:

$$F_{0q} = F_{0a} \cdot f_A \cdot f_S \cdot f_{0r} = 20,85 \cdot 1,5 \cdot 1,6 \cdot 1,1 = 55,04 \text{ kN} \quad (43)$$

$$M_{0q} = M_{0k} \cdot f_A \cdot f_S \cdot f_{0r} = 17,26 \cdot 1,5 \cdot 1,6 \cdot 1,1 = 45,57 \text{ kNm} \quad (44)$$

Z Obr. 35 se zvolí na základě vypočtených ekvivalentních zatíženích křivka číslo 10, která odpovídá ložisku SX 01 1860 s roztečným průměrem válcového prvku  $D_M = 340 \text{ mm}$  (splněn předpoklad vstupního parametru).



Obr. 35 Graf limitního ekvivalentního zatížení ložiska

Následně je nutné zkontrolovat životnost ložiska.

Vstupní parametry pro kontrolu:

$k_F = 7,2$  faktor dynamické únosnosti

$C_a = 245 \text{ kN}$  radiální statické zatížení

$n = 10 \text{ min}^{-1}$  otáčky ložiska

$L_h > 50000 \text{ hod}$  podmínka dynamické únosnosti

Zatížení se přepočte na ekvivalentní dynamické zatížení a následně se určí životnost ložiska:

$$P_{axial} = k_F \cdot F_{0a} = 7,2 \cdot 20,85 = 150,11 \text{ kN} \quad (45)$$

$$L_h = \frac{16666}{n} \cdot \left( \frac{C_a}{P_{axial}} \right)^p = \frac{16666}{10} \cdot \left( \frac{245}{150,11} \right)^{\frac{10}{3}} = 74534,59 \text{ hod} > 50000 \text{ hod} \quad (46)$$

→ VYHOVUJE

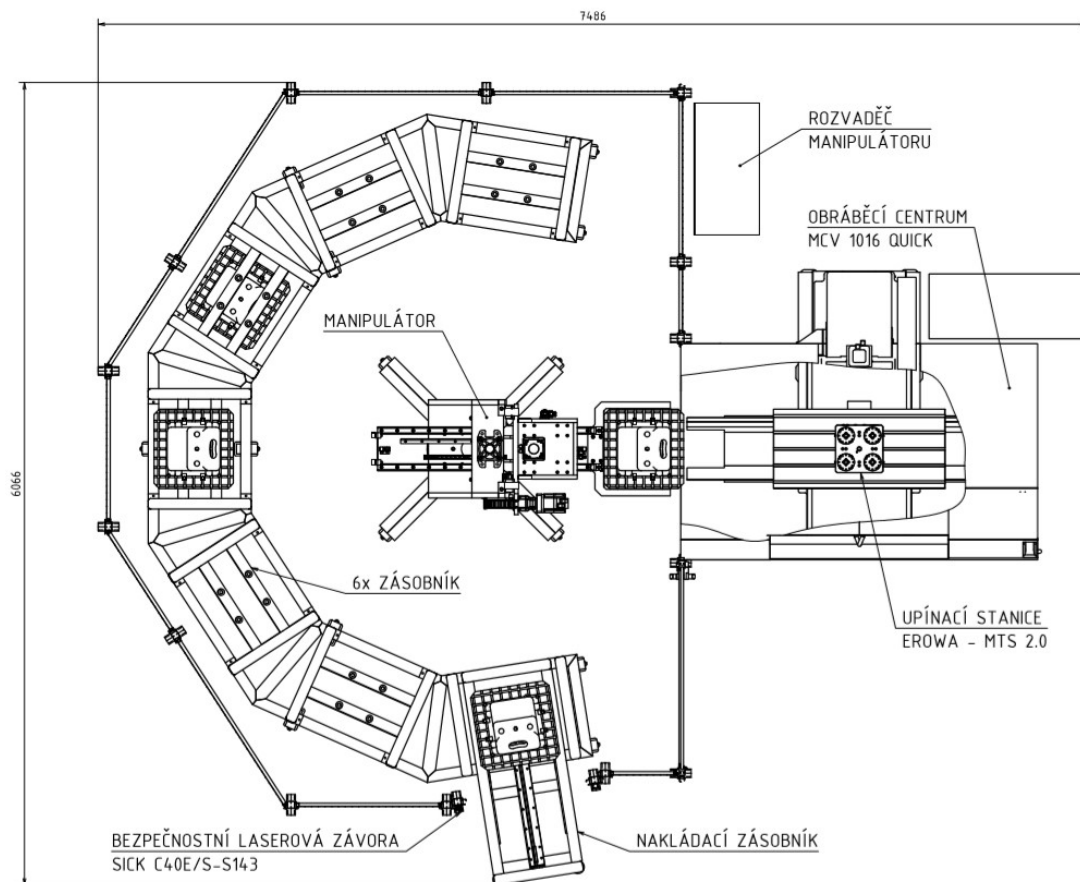
### 5.3.7. Mazání

Ke správnému chodu pohybových částí manipulátoru je nutné aktivní mazání. Především je nutné mazat ozubené hřebeny a vozíky lineárních vedení. Mazání vozíků je možné provádět pasivně bez použití mazací pumpy, ovšem za předpokladu častějšího ručního domazání. Zvolená pumpa ETP5WZ-ACCCC+924 od firmy SKF disponuje zásobníkem maziva o objemu 80 cm<sup>3</sup>. Toto množství vystačí při běžném provozu na dobu šesti měsíců. Náplní pumpy je mazivo MICROLUBE GB 0 od firmy Klüber. Toto mazivo doporučuje výrobce ozubených hřebenu a zároveň i výrobce lineárních vedení. Pumpa má pět výstupních ventilů, které se dají nastavit na rozdílné dávkování. K aplikaci maziva na hřebeny slouží mazací kartáč, který je upevněn na pevné pozici a pohybem hřebenu je mazivo kontinuálně dávkováno.

### 5.4. Zásobník palet

Zásobník je svařenec ze čtvercových trubek 80x80x8 – ISO 10799–2. V každém zásobníku mohou být uloženy dva obrobky nad sebou. K ustavení na pozici se použijí upínací čepy zesponu palety. Protikusem je na zásobníku upevněný plastový kroužek rozmístěn ve stejné vzdálenosti jako upínací kroužky ve stroji. Všechny pozice zásobníku jsou vzdáleny na stejném poloměru od osy rotace manipulátoru po 33°. Ke zjednodušení vyrovnávání při montáži jsou všechny zásobníky umístěny na svařovaném rámu z U profilů 220 – ČSN 42 5570. K ustavení a vyrovnání rámu složí patky BW–Fixators RK I. Výměnu obrobků zajišťuje nakládací stanice se dvěma pracovními pozicemi (Obr. 36). V první pozici mimo buňku vymění obsluha obrobek za nový bez nutnosti manipulace s paletou. Následně se pomocí bez pístnicového válce Festo DLGF-G-32-1000-PPSA přesune paleta do vnitřku buňky a manipulátor ji umístí na volnou pozici v zásobníku. Z důvodu bezpečnosti při práci na nakládací stanici je vstupní otvor do buňky opatřen bezpečnostní laserovou závorou C40E/S-S143 od firmy SICK. Tato závara v případě detekování cizího objektu v prostoru buňky zastaví chod manipulátoru.





Obr. 36 Půdorys uspořádání zásobníku

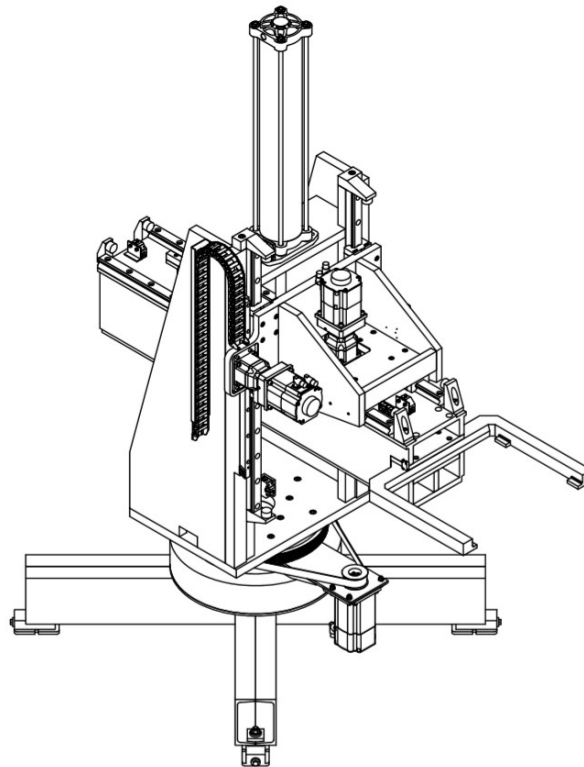
## 6. Závěr

Z provedené rešerše AVB vyplynulo několik možných variant pro založení obrobku na technologické paletě o hmotnosti 300 kg. Jednou z používaných variant pro zakládání obrobků na paletách je použití angulárního robota, ten však s rostoucí hmotností obrobku ztrácí na konkurenceschopnosti a jeho použití vůči jednoúčelovému manipulátoru je diskutabilní. Gantry robot pro obsluhu AVB je využíván velmi sporadicky, a to pouze v těch aplikacích, kde se plně využijí všechny jeho přednosti a zároveň obsluhovaná technologie umožňuje zakládání polotovaru shora.

Prvním krokem při návrhu AVB bylo sestavení několika konceptů struktury celé buňky. Hlavním rozdílem mezi koncepty byl použitý manipulátor. Na základě určených kritérií byl zvolen jako nejvhodnější koncept s manipulátorem s cylindrickou pohybovou strukturou, který má dvě osy posuvné a jednu rotační. Dále byly zvoleny nakupované komponenty buňky, a to paleta Halder EH 1100.800, upínací systém Erowa MTS 2.0 a bezpečnostní oplocení X-Guard od firmy Haberkorn. Ostatní komponenty byly konstruovány.

Hlavním konstruovaným prvkem celé AVB je manipulátor (Obr. 37). Pohon vertikální osy zajišťuje synchronní servomotor Lenze MCS14D15, který přes planetovou převodovku AB115-009-S2-P1 od firmy Apex Dynamics pohání ozubený pastorek ATLANTA 21 30 525 se šikmými zuby. Pastorek spolu zabírá s ozubeným hřebenem ATLANTA 39 30 208. Stejný typ pohonu je použit i pro vertikální osu. Pro snížení potřebné velikosti servomotoru je navrženo vyvažování pomocí pneumatického válce Festo DSBG-160-860-PPV. Díky vyvažování se povedlo zatížení snížit na podobné hodnoty jako u horizontální osy, a proto jsou s výhodou voleny stejné komponenty pouze se změnou planetové převodovky na model AB115M1-012-S2-P1. Pohon rotační osy zajišťuje synchronní servomotor Lenze MCS14L15, který pohání ozubený řemenový převod typu 8MX. Další důležité navrhované komponenty manipulátoru byly lineární vedení a ložisko rotační osy. Z provedeného výpočtu bylo zvoleno kuličkové lineární vedení od firmy Hiwin, které se skládá z kolejnic HGR55R a vozíků HGH55CA. Vedení bylo dimenzováno pro vertikální osu, která je zatížena více, a následně bylo toto vedení použito i u horizontální osy z důvodu snížení počtu náhradních dílů. Pro uložení rotační osy je použito křížové válečkové ložisko INA SX 01 1860. K manipulaci s paletami slouží jednoduchý pasivní efektor, který je vyměnitelný v případě změny rozměrů palety, a to přibližně v rozsahu 350 až 600 mm. U všech těchto komponentů byla provedena kontrola

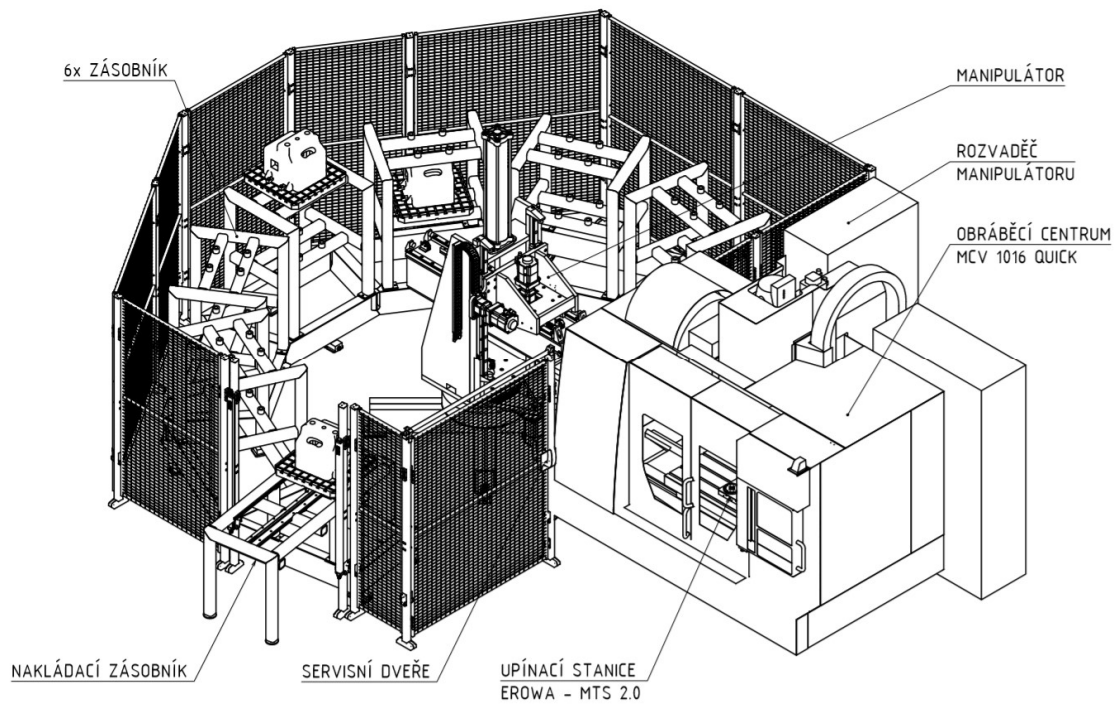
dle pokynů výrobců a všechny tyto kontroly vyhovují stanoveným podmínkám viz předchozí kapitoly.



Obr. 37 Navržený manipulátor

Druhým konstruovaným komponentem AVB byl zásobník palet. Ten je navrhnout jako dvoupatrový svařenec z jeklů 80x80x8. Jednotlivé zásobníky jsou zkompletovány do celku na jedné svařované konstrukci z U profilů. Celková kapacita zásobníku je 12 pozic, a tedy převyšuje minimální požadavek ze zadání práce. Při montáži celé buňky je zásobník vyrovnáván vůči manipulátoru jako celek, což má za následek značné ušetření času. Pro zařazení obrobku do procesu výroby je využita nakládací stanice, která má dvě polohy, a to mimo buňku, kde obsluha upevňuje obrobek na paletu a druhá pozice vevnitř buňky, ze které manipulátor přesune paletu na volnou pozici zásobníku.

Následně byly všechny komponenty v programu Autodesk Inventor 2019 sestaveny do celkové sestavy viz Obr. 38. Jako grafický výstup práce jsou v přílohách výrobní výkres příčnicku a výkres podsestavy horizontální osy.



*Obr. 38 Celková sestava navržené AVB*

V dnešní vysoké konkurenci v oblasti výrobních strojů je rozšíření portfolia o prvky automatizované výroby velkou konkurenční výhodou, především pokud je tento systém zákazníkovi nabízen jako celek v podobě AVB od jednoho dodavatele. Navrhnutá AVB tuto vlastnost přidává k obráběcímu centru MCV 1016 Quick.



## Seznam použité literatury

- [1] SWAMIDASS, P. M. *Encyclopedia of production and manufacturing management*. Boston, MA: Springer, 2000. ISBN 978-0-7923-8630-8.
- [2] *Unit 12 Automated Manufacturing Systems* [online]. [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: [http://www.nuigalway.ie/staff-sites/david\\_osullivan/documents/unit\\_12\\_automated\\_manufacturing\\_systems.pdf](http://www.nuigalway.ie/staff-sites/david_osullivan/documents/unit_12_automated_manufacturing_systems.pdf)
- [3] MAREK, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů IV*. Praha: MM publishing, 2018. ISBN 978-80-906310-8-3.
- [4] ADAMEC, J. *Technologie automatizovaných výrob*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-0871-4.
- [5] TALÁCKO, J. *Automatizace výrobních zařízení*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02160-2.
- [6] *Svět produktivity* [online]. [cit. 2019-10-13]. Dostupné z: <https://www.svetproduktivity.cz/slovník/Bunky.htm>
- [7] HOUŠA, J. *Stavba výrobních strojů II*. Praha: ČVUT, 1994.
- [8] ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ A ZAŘÍZENÍ. *Učební text - Automatizace výrobních strojů a zařízení*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008.
- [9] *UNISIG* [online]. [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: <https://www.unisig.com/news-and-events/technical-articles/full-auto-barrel-automation-cell>
- [10] MM Průmyslové spektrum. *Automatická výměna obrobku* [online]. 2014 (speciál), 274-276 [cit. 2019-12-18]. Dostupné z: [https://www.mmspektrum.com/content/file/CNC\\_ukazky\\_Cz/3.6.pdf](https://www.mmspektrum.com/content/file/CNC_ukazky_Cz/3.6.pdf)
- [11] *QM profi* [online]. [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: [https://www.qmprofi.cz/33/obecne-zasady-pri-projektovani-vyrobnich-bunek-uniqueidgOkE4NvrWuOKaQDKuox\\_Z2HrjXtOzO7KI31khMfqWNI/](https://www.qmprofi.cz/33/obecne-zasady-pri-projektovani-vyrobnich-bunek-uniqueidgOkE4NvrWuOKaQDKuox_Z2HrjXtOzO7KI31khMfqWNI/)



- [12] *Projektování výrobních buněk* [online]. INNOVATIONS, A. O. P. A. ed. [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: [https://www.e-api.cz/wcd/docs/vzdelavani/cespi-xvii/blok-5/projektovnmontnchbunk\\_2015-03-29\\_tiskupravene.pdf](https://www.e-api.cz/wcd/docs/vzdelavani/cespi-xvii/blok-5/projektovnmontnchbunk_2015-03-29_tiskupravene.pdf)
- [13] *Connell industries* [online]. [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: [https://connell-ind.com/CaseStudies/What\\_Are\\_Automated\\_Manufacturing\\_Systems](https://connell-ind.com/CaseStudies/What_Are_Automated_Manufacturing_Systems)
- [14] BENEŠ, P. *Automatizace a automatizační technika 1: Systémové pojetí automatizace*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2012. ISBN 80-7226-246-7.
- [15] *DMG MORI* [online]. [cit. 2019-11-02]. Dostupné z: <https://en.dmgmori.com/news-and-media/magazine/technology-excellence-02-2019/wh-flex>
- [16] *IndustryArena* [online]. [cit. 2019-11-02]. Dostupné z: <https://en.industryarena.com/okuma/tv/okuma-fully-automated-production-cell--4576.html>
- [17] *ANCA CNC Machines* [online]. [cit. 2019-11-02]. Dostupné z: <https://machines.anca.com/Products/Machines/TXcell.aspx>
- [18] OTAKAR, H. PETR, K. JAN, K. a JIŘÍ, S. Brusky pro práci naplocho i nakulato. In: *Trendy po EMO Hannover a MSV Brno 2017*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2018, s. 65. ISBN 978-80-01-06406-1.
- [19] *machine building* [online]. [cit. 2019-11-03]. Dostupné z: <http://www.machinebuilding.cz/>
- [20] MACHINE BUILDING. *Vývoj, robotizace, automatizace a dopravníky*. 2019.
- [21] *Mazak USA* [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.mazakusa.com/machines/process/pallettech/>
- [22] YouTube. *Palletech system : High productivity automation system* [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=SMEYBC20ymE>. Kanál uživatele Yamazaki Mazak Corporation [English]
- [23] *Misan* [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <http://www.misan.cz/clanky/2008-10-14-pruzny-vyrobni-system-mazak-pallettech/>



- [24] *Mazak USA* [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.mazakusa.com/news-events/news-releases/mazaks-mpp-system-adds-compact-automation-to-the-hcn-5000/>
- [25] *Mazak EU* [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/cs/machines/hcn-5000/>
- [26] YouTube. *MPP (Multi-Pallet Pool) System* [online]. [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=mjpbnBApuhc>. Kanál uživatele Mazak North America
- [27] LIEBHERR [online]. *Rotationsladesystem RLS 800/1500*. 2019 [cit. 2020]. Dostupné z: [https://fswm.at/media/files/RLS\\_800-1500\\_de\\_web-\(2\).pdf](https://fswm.at/media/files/RLS_800-1500_de_web-(2).pdf)
- [28] YouTube. *Mazak iSMART Factory in Oguchi, Japan* [online]. [cit. 2019-11-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=OqDL3jsdUB4&list=WL&index=2&t=219s>. Kanál uživatele Mazak North America
- [29] *FANUC* [online]. [cit. 2019-11-17]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-sortimentu-robot%C5%AF>
- [30] *AMERICAN MACHINIST* [online]. [cit. 2019-11-17]. Dostupné z: <https://www.americanmachinist.com/automation-and-robotics/mazak-adds-another-plant-its-smart-network>
- [31] *Simmons Machine Tool Corporation* [online]. [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://smtgroup.com/en/railway-wheel-shop-equipment/automation>
- [32] NILES-SIMMONS. *Vertical Machining Centers*.
- [33] *PIETRO CARNAGHI* [online]. [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: [https://www.pietrocarnaghi.it/en/13/pallet-systems.html#zoom\[gallery1\]/0/](https://www.pietrocarnaghi.it/en/13/pallet-systems.html#zoom[gallery1]/0/)
- [34] SKAŘUPA, J. *Roboty a manipulátory*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2613-4.
- [35] *FANUC* [online]. *Datasheet M-900iB-700*. 2019 [cit. 2019]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-m-900/m-900ib-700>



- [36] ABB [online]. *Product specification - IRB 7600*. 2019 [cit. 2019]. Dostupné z: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC023934-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=M2004&Action=Launch>
- [37] KUKA [online]. *KR 500 R2830*. 2019 [cit. 2019]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-500-fortec>
- [38] EROWA AG [online]. *General Catalog*. 2019 [cit. 2019-12-07]. Dostupné z: [https://issuu.com/erowa/docs/erowa\\_general\\_catalog\\_2012\\_e?e=1382557/2681140](https://issuu.com/erowa/docs/erowa_general_catalog_2012_e?e=1382557/2681140)
- [39] *Liebherr* [online]. [cit. 2020-10-05]. Dostupné z: <https://www.liebherr.com/int/cs/cze/%C4%8Desk%C3%A1-republika/produkty/obr%C3%A1b%C4%9B%C3%AD-stroje-a-automatiza%C4%8Dn%C3%AD-syst%C3%A9my/obr%C3%A1b%C4%9B%C3%AD-stroje-a-automatiza%C4%8Dn%C3%AD-syst%C3%A9my.html>
- [40] MAREK, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Vyd. 2. Praha: MM publishing, 2014. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [41] *SCHUNK* [online]. [cit. 2019-12-07]. Dostupné z: [https://schunk.com/cz\\_cs/upinaci-technika/category/upinaci-technika/obrabeci-centrum/](https://schunk.com/cz_cs/upinaci-technika/category/upinaci-technika/obrabeci-centrum/)
- [42] *SCHUNK* [online]. [cit. 2019-12-07]. Dostupné z: [https://schunk.com/cz\\_cs/domovska-stranka/vero-s/](https://schunk.com/cz_cs/domovska-stranka/vero-s/)
- [43] *HALDER* [online]. [cit. 2019-12-07]. Dostupné z: [https://www.halder.com/eng\\_at/Products/Workholding-Systems/Zero-Point-Clamping-Systems](https://www.halder.com/eng_at/Products/Workholding-Systems/Zero-Point-Clamping-Systems)
- [44] HIWIN S.R.O. [online]. *lineární vedení*. 2018 [cit. 2020]. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/cz/download>
- [45] *FANUC* [online]. [cit. 2019-11-02]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/il/en/customer-cases/continuous-production-machine>
- [46] *OMRON* [online]. [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: <https://industrial.omron.cz/cs/solutions/packaging/packaging-machine-automation-solutions>



## Seznam obrázků

Obr. 1 Elementární struktura automatizovaného pracoviště [8] .....	17
Obr. 2 Příklad automatické výrobní buňky [9] .....	18
Obr. 3 Rozdělení manipulačních zařízení [10] .....	18
Obr. 4 Rozdělení výrobních buněk .....	20
Obr. 5 WH FLEX BASIC CONFIGURATION [15] .....	22
Obr. 6 Okuma – plně automatizovaná výrobní buňka [16] .....	23
Obr. 7 ANCA – Txcell Linear [17] .....	23
Obr. 8 machine building – Machine MRB [19].....	24
Obr. 9 Mazak – PALLETECH HCN5000II [23].....	25
Obr. 10 Mazak – komponenty systému PALLETECH [22] .....	26
Obr. 11 Mazak – MPP Systém s obráběcím centrem VARIAXIS i-600 [26] .....	27
Obr. 12 Mazak MPP Systém – detail manipulátoru [26].....	27
Obr. 13 LIEBHERR – rotační nakládací systém [27].....	28
Obr. 14 Mazak – iSMART Factory – Paletizační pracoviště [28].....	29
Obr. 15 Mazak – iSMART Factory – AVB [28].....	29
Obr. 16 Příklad AVB od firmy NILES-SIMMONS [32] .....	30
Obr. 17 PIETRO CARNAGHI – konfigurace 16 palet a 4 stroje [33] .....	31
Obr. 18 PIETRO CARNAGHI – struktura AVB [33].....	31
Obr. 19 Kinematická struktura angulárního robota [34].....	33
Obr. 20 EROWA Robot Dynamic 500 [38].....	34
Obr. 21 Průřezový diagram upínacího systému EROWA MTS [38] .....	36
Obr. 22 Diagram upínacích komponentů firmy HALDER [43] .....	37
Obr. 23 Průřezový diagram upínacího systému NSA plus od f. SCHUNK [41].....	38
Obr. 24 Aplikace angulárního robota .....	40
Obr. 25 Jednoúčelový manipulátor pohybové osy x, y, $\varphi$ .....	41
Obr. 26 Jednoúčelový manipulátor pohybové osy x, y, z, $\varphi$ .....	42
Obr. 27 Pohybové osy manipulátoru .....	47
Obr. 28 Výpočtový model smykadla .....	48
Obr. 29 Náhradní schéma s jednotkovou silou .....	48
Obr. 30 Detail efektoru .....	49
Obr. 31 Řez pohonem horizontální osy .....	50
Obr. 32 Detail vertikální osy .....	54
Obr. 33 Schéma zatížení vozíků Hiwin na vertikální ose .....	55



Obr. 34 Řez rotační osou .....	59
Obr. 35 Graf limitního ekvivalentního zatížení ložiska .....	63
Obr. 36 Půdorys uspořádání zásobníku .....	65
Obr. 37 Navržený manipulátor.....	67
Obr. 38 Celková sestava navržené AVB.....	68

## Seznam tabulek

Tab. 1 Porovnání angulárních robotů FANUC, ABB a KUKA [35] [36] [37] .....	33
Tab. 2 Technické údaje manipulátoru Liebherr–RLS 800 [39] .....	35
Tab. 3 Výběr celkové koncepce AVB .....	44
Tab. 4 Výběr upínacího paletového systému.....	45
Tab. 5 Vstupní parametry navrženého manipulátoru .....	46
Tab. 6 Kontrola vertikálního pohonu.....	58
Tab. 7 Výsledky výpočtu řemenového převodu .....	61

## Seznam použitého softwaru

- Office 365 ProPlus
- Autodesk Inventor Professional 2019

## Seznam příloh

### Seznam elektronických příloh

- Text práce (.pdf)
- 3D modely:
  - 3D model celé sestavy AVB BP–00 (.stp)
  - 3D model sestavy manipulátoru BP–01–00 (.stp)
- Výkresy:
  - podsestava horizontální osy č. v.: BP–01–01–00 (.pdf)
  - výkres pro svaření příčnicku č. v.: BP–01–01–02–01 (.pdf)
  - výkres obrobení příčnicku č. v.: BP–01–01–02–02 (.pdf)

### Seznam výkresové dokumentace

BP–01–01–00	Podsestava horizontální osy manipulátoru
BP–01–01–02–01	Výkres pro svaření příčnicku
BP–01–01–02–02	Výkres obrobení příčnicku