

Bakalárska práca



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra kybernetiky

Vývoj robotické buňky pro manipulaci s plastovými rourami

Lukáš Hajdúšek

Odbor: Kybernetika a robotika

Zameranie: Robotika

Školiteľ: Ing. Vladimír Smutný, Ph.D.
Máj 2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: Lukáš Hajdůšek
Studijní program: Kybernetika a robotika (bakalářský)
Obor: Robotika
Název tématu: Vývoj robotické buňky pro manipulaci s plastovými rourami

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se se zadáním úlohy.
2. Seznamte se s prostředky, které by bylo možno použít pro její řešení.
3. Navrhněte koncepci robotické buňky, vyberte prvky k její realizaci.
4. Koncepčně navrhněte potřebné mechanické prvky.
5. Buňku sestavte, oživte a naprogramujte.
6. Výsledek zhodnoťte.

Seznam odborné literatury:

- [1] Shimon Y. Nof, editor: Handbook of Industrial Robotics. John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 2nd edition, 1999.
- [2] Bruno Siciliano and Oussama Khatib: Handbook of Robotics. Springer, 2008.
- [3] Firemní literatura firem Kuka, Sick, Siemens, Reiku

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Vladimír Smutný, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2016/2017

L.S.

prof. Dr. Ing. Jan Kybic
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 3. 12. 2015

Podakovanie

Moje podakovanie patrí Ing. Vladimírovi Smutnému, Ph.D. za odbornú pomoc, podnetné pripomienky, metodické vedenie a cenné rady pri vypracovávaní mojej bakalárskej práce.

Prehlásenie

Prehlasujem, že som predloženú prácu vypracoval samostatne, a že som uviedol všetky použité informačné zdroje v súlade s Metodickým pokynom o dodržiavaní etických princípov pri príprave vysokoškolských záverečných prác.

V Prahe dňa 27. mája 2016

Podpis autora práce:

Abstrakt

Cieľom tejto bakalárskej práce je návrh a realizácia robotickej bunky spolu s konceptným riešením priemyselného manipulátora. Robotická bunka obsahuje priemyselného robota so 6 osami a dopravníkový systém. Úlohou priemyselného robota je nahradiť operátora výroby, pri balení hotových výrobkov do baliacich vozíkov. Výrobky sú polyvinylchloridové kanalizačné rúry v priemeroch 110 až 160 milimetrov a v intervale dĺžok 1 až 5 metrov.

Kľúčové slová: priemyselný manipulátor, koncepcia riešenia, manipulácia s dlhými predmetmi, balenie PVC rúr

Školiteľ: Ing. Vladimír Smutný, Ph.D.

Abstract

The aim of bachelor thesis is the design and realization of robotic cell, as well as conceptual solution of industrial robot. Robotic cell consist of a 6 axis industrial robot and conveyor system. The task of industrial robot is to replace production operator in the process of packaging finished products to packaging trolleys. Products are PVC sewage pipes in diameters from 110 millimeters to 160 millimeters and in length from 1 meter to 5 meters.

Keywords: industrial robot, conceptual solution, handling of long objects, packing of PVC pipes

Obsah

1 Úvod	1	5 Zhodnotenie	73
2 Konceptné riešenie	3	6 Záver	75
2.1 Analýza	3	A Literatúra	77
2.1.1 Výrobná linka	3	B KUKA KR 150-2	81
2.1.2 Výrobky	6	C Graf manipulovateľnosti	83
2.1.3 Hmotnosti a momenty výrobkov	9	D Obsah elektronickej prílohy	
2.1.4 Výrobné cykly	12	(CD)	85
2.1.5 Potrebná manipulácia	18		
2.2 Návrh riešenia	22		
3 Technické prostriedky	25		
3.1 Dopravníky a ostatné súčasti ...	25		
3.2 Manipulátor	29		
3.2.1 Požiadavky	29		
3.2.2 Pracovný priestor	30		
3.2.3 Rýchlosti pohybov	33		
3.2.4 Nosnosť a momenty	35		
3.2.5 Výber manipulátora	35		
3.2.6 Umiestnenie a poloha	38		
3.3 Nástroj	40		
3.3.1 Požiadavky	40		
3.3.2 Tvar a koncept	41		
3.3.3 Vákuum	42		
3.3.4 Senzory	46		
3.3.5 Pneumatika	47		
3.3.6 Vyhodenie	49		
3.4 Robotická bunka	54		
3.4.1 Tok materiálu	55		
3.4.2 Pracovný režim bunky	56		
3.4.3 Obsluha bunky	56		
3.4.4 Bezpečnosť	58		
3.4.5 Elektrické rozvádzače	60		
4 Programové riešenie	67		
4.1 Pojmy	67		
4.2 Programové vybavenie manipulátora	69		
4.3 Programové vybavenie PLC ...	71		
4.4 Programové prepojenie	72		

Obrázky

2.1 Kompletná výrobná linka [21] ..	3	3.16 Prispôsobenie manipulátora pre výpočet	39
2.2 Technológia tvarovania suchého spoja	4	3.17 Konečné umiestnenie dopravníka a palety vzhľadom k manipulátorovi	40
2.3 Balenie pomocou paletizéra [17] .	5	3.18 Principiálne umiestnenie objektov	41
2.4 Schématické znázornenie danej linky [22]	6	3.19 6. osa manipulátora	41
2.5 Význam rozmerov.Na obrázku DN 160 SN8	7	3.20 Teoretická sila držania	43
2.6 Význam rozmerov. Na obrázku DN 160 SN8	8	3.21 Teoretická sila držania	44
2.7 Hrubostenný, dutý valec [13] ...	10	3.22 Vákuové ejektory	45
2.8 Schéma výrobnej linky [22]	18	3.23 Zapojenie sacích prísavok	45
2.9 Paleta DN 110 1000 SN4	19	3.24 Princíp snímania prítomnosti rúry	46
2.10 Prekrytie rúr	19	3.25 Princíp snímania vzdialenosti .	46
2.11 DN 110 1000 SN4 posuvy	20	3.26 Vyhotovenie kontrolnej časti snímania	48
2.12 Paleta s rúrami DN 160	20	3.27 Snaha rúry o pohyb	48
2.13 Vyhotovenie palety	21	3.28 Zobrazenie kolízie zábrany pri pokladaní	49
2.14 Napojenie robotickej bunky na výrobnú linku	22	3.29 Vyhotovenie podporného systému	49
2.15 Detailný bočný pohľad rozloženia	23	3.30 Vyhotovenie nástroja	50
2.16 Detailný pohľad rozloženia. Pôdoris	23	3.31 Tvar a vypracovanie nástroja .	51
3.1 Rozloženie dopravníkových pásov	25	3.32 Ochranný modul	52
3.2 Pozícia dopravníkov vzhľadom k robotovi a hrdlovaciemu automatu	26	3.33 Vyhotovenie nástroja	53
3.3 Režimy dopravníka DP1	27	3.34 Vyhotovenie modulu	53
3.4 Rozoznávajúce dĺžok rúr	28	3.35 Test nástroja	53
3.5 Princíp uloženia a snímania senzora	28	3.36 Robotická bunka	55
3.6 Rozloženie senzorov v prepravnom systéme	29	3.37 Tok materiálu	55
3.7 Rez pracovnej obálky	31	3.38 Porovnanie rizika pri manipulácii na palete 1 a 2	57
3.8 Rez pracovnej obálky, pohľad zhora	31	3.39 Bezpečnostné prvky bunky ...	59
3.9 Pracovné obálky	31	3.40 Bezpečnostné svetelné zábrany	60
3.10 Paleta a dopravník v pracovnej obálke	32	3.41 Modulárny systém rozvádzačov	61
3.11 Rez pracovnej obálky, bočný pohľad	34	3.42 Riadiaca jednotka KR C2 [10]	62
3.12 Poloha ťažísk	36	3.43 Zapojený rozvádzača R1	63
3.13 Dynamické zaťaženie jednotlivých osí [12]	37	3.44 Riadiaca jednotka R2	63
3.14 Statické zaťaženie jednotlivých osí [12]	38	3.45 Pohľad na R2E1	64
3.15 Medze pre hýbanie	38	3.46 Rozmiestnenie externých jednotiek	64
		4.1 Obrazovka módu automat [29] .	71
		C.1 Manipulovateľnosť manipulátora	84

Tabuľky

2.1 Tabuľka kruhových tuhostí podľa STN EN ISO	6
2.2 Tabuľka závislostí hmotností rúr na ich kruhovej tuhosti	7
2.3 Rozmery jednotlivých dĺžok rúr..	8
2.4 Princíp označovania jednotlivých druhov výrobkov	9
2.5 Nominálne hodnoty hmotnosti rúr	9
2.6 Momenty zotrvačnosti pre DN 110 SN4	11
2.7 Momenty zotrvačnosti pre DN 125 SN4	11
2.8 Momenty zotrvačnosti pre DN 160 SN4	11
2.9 Momenty zotrvačnosti pre DN 110 SN8	12
2.10 Momenty zotrvačnosti pre DN 160 SN8	12
2.11 Rýchlosť vytlačania rúr v metroch za jednu minútu	13
2.12 Potrebné časy na výrobu jednej rúry daného typu	14
2.13 Možné kombinácie vyrabaných rozmerov súčasne	15
2.14 Kombinácie výroby vzhľadom k rozmeru DN 110 SN4	15
2.15 Kombinácie výroby vzhľadom k rozmeru DN 125 SN4	16
2.16 Kombinácie výroby vzhľadom k rozmeru DN 160 SN4	16
2.17 Kombinácie výroby vzhľadom k rozmeru DN 110 SN8	17
2.18 Kombinácie výroby vzhľadom k rozmeru DN 160 SN8	17
2.19 Jednotlivé paletizačné údaje...	21
3.1 Rozmery baliaceho priestoru/ palety	32
3.2 Približne odhadované časy	34
3.3 Celkové momenty zotrvačnosti rúry DN 160 SN8 a nástroju	35
3.4 Porovnanie nadimenzovaných parametrov s parametrami udávanými výrobcom	36
3.5 Hodnoty zadané do výpočtu ...	37
3.6 Označenie úkonov	57
3.7 Tabuľka prepojenia I/O rozvádzača R1	65
4.1 Počítanie polohy rúry	70
B.1 Špecifikácia manipulátoru	81



Kapitola 1

Úvod

Hlavným cieľom tejto práce bolo vyvinúť robotickú bunku, ktorá by dokázala svojou činnosťou nahradiť ľudskú prácu pri procese balenia výrobkov. Výrobky sú rúry s priemerom od 110 do 160 mm, dĺžkou od 1000 do 5000 mm a hmotnosťou od 1.29 do 13.8 kg. Balenie PVC rúr je cyklická činnosť, ktorá nevyžaduje hlbšie poznatky, a súčasne je fyzicky náročná pre človeka. Z uvedených dôvodov je dobrou voľbou pre nahradenie ľudskej práce strojom.

Priemyselný manipulátor je v základe iba vykonávateľom pohybov, preto bolo treba vyvinúť a koncepčne prispôbiť nástroj manipulátora vzhľadom na tvar a rozmery výrobku. Úloha nie je náročná na presnosť a výkon manipulátora, a preto z dôvodu úspory financií a zvýšenia výhodnosti projektu som zvolil manipulátor, ktorý už v minulosti bol použitý v inej robotickú bunke. Ďalším dôvodom pre toto rozhodnutie bola ekologická stránka, keďže spolu s rastúcim číslom aplikovaných manipulátorov stúpajú aj čísla vyradených (opotrebovaných) manipulátorov. Tieto sú následne skupované odbornými firmami, ktoré ich repasujú, a tým posúvajú na ďalšie využitie.

Cieľom je navrhnuť, zostaviť a uviesť do prevádzky robotickú bunku pre konkrétneho zákazníka.

Zároveň má táto práca slúžiť ako šablóna pre moje budúce štúdium v magisterskom programe, v ktorom by som chcel pracovať na podstatnom zdokonalení programového vybavenia bunky, a jej ekonomickej efektivity z hľadiska úspory elektrickej energie z vykonávaných pohybov.

Kapitola 2

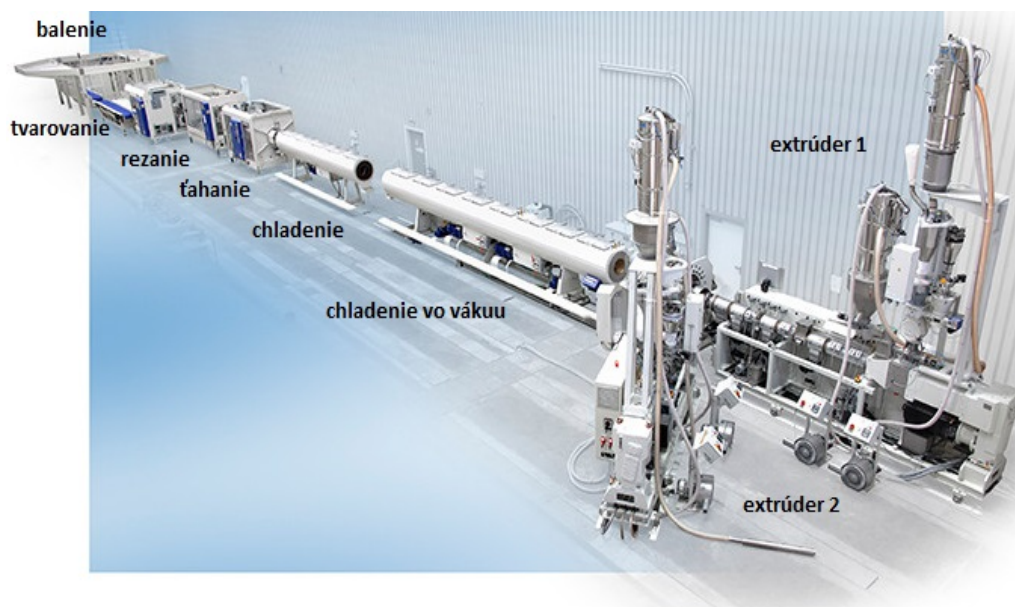
Koncepčné riešenie

2.1 Analýza

Pre správne riešenie a vyhodnotenie zadanej úlohy bolo potrebné urobiť kompletnú analýzu technologického postupu pri výrobe výrobkov, a tiež materiálové vyhotovenie výrobku, ktoré sa v konečnom dôsledku odrazia pri manipulácii.

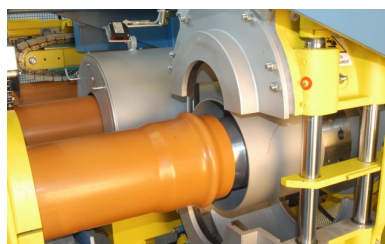
2.1.1 Výrobná linka

- Základným pojmom pri výrobe plastových potrubí je extrúzia. Stroj, ktorý vykonáva túto činnosť, sa nazýva extrúder. Extrúder tvorí zo sypkej zmesi PVC roztavený materiál, ktorý sa ďalej spracováva v prídavných strojoch.



Obrázok 2.1: Kompletná výrobná linka [21]

- Obrázok 2.1 zobrazuje kompletnú výrobnú linku pre troj-vrstvové polyvinylchloridové kanalizačné rúry. Táto linka pozostáva z:
 - Extrúder 1, ktorý vytláča hlavnú strednú vrstvu rúry (vysvetlené v nasledujúcej sekcii).
 - Extrúder 2, ktorý vytláča vnútornú a vonkajšiu vrstvu rúry.
 - Chladienie vo vákuu zaručuje ochladenie roztaveného materialu a dokonalé vytvorenie kruhového prierezu rúry.
 - Chladienie, ktoré slúži k dochladeniu resp. k urýchleniu výrobného procesu.
 - Ťahanie zaručuje stálú rýchlosť odberu materiálu z výtlačnej hlavy.
 - Rezanie na jednotlivé stavebné dĺžky produkovaných rúr.
 - Tvarovanie slúži na vytvorenie hrdla resp. zväčšenie priemeru na jednom konci rúry.
 - Balenie je spôsob balenia rúr ponúkaný výrobcom technológie.



(a) : Tvarovací nástroj [41]



(b) : Hrdlovací automat [14]

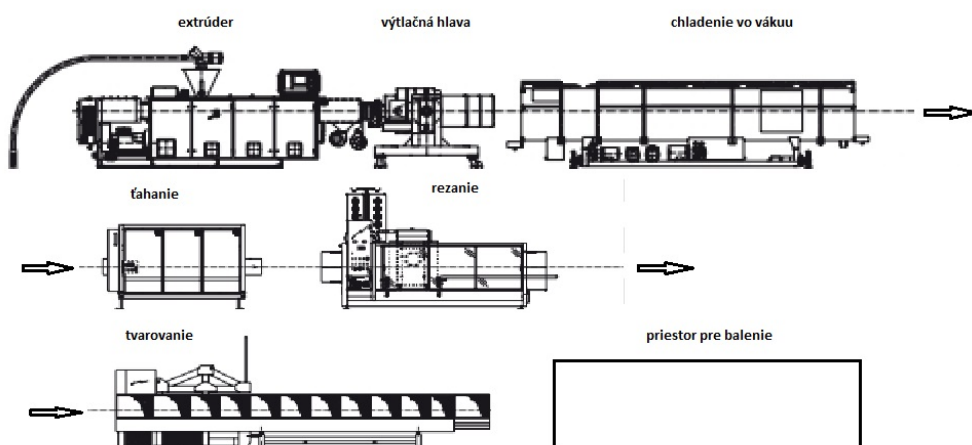
Obrázok 2.2: Technológia tvarovania suchého spoja

- Tvarovanie rúr je zabezpečené hrdlovacím automatom 2.2. Tvarovanie spočíva vo vyformovaní konca rúry do tvaru "hrdla", ktoré v sebe obsahuje tesnenie. Takto upravený koniec rúry je vhodný na spájanie dvoch rúr, kedy sa do vytvarovaného konca zasunie nevytvarovaná časť ďalšej rúry. Tým vznikne vodotesný tzv. suchý spoj. Hrdlovací automat stanovuje hornú hranicu rýchlosti produkcie rúr. To znamená, že produkcia nesmie byť vyššia ako kapacita tvarovania hrdlovacieho automatu, čo priamo súvisí s balením a s cyklami robotickkej bunky.



Obrázok 2.3: Balenie pomocou paletizéra [17]

- Technológia vhodná na balenie už existuje, a je možné ju vidieť na obrázku 2.3, avšak jej hlavnou nevýhodou je, že je spôsobilá baliť súčasne len jeden rozmer vyrábaných rúr. Môj zákazník požaduje balenie dvoch rozmerov súčasne, preto by museli byť tieto paletizéry dva, umiestnené sériovo za sebou. Ďalším podstatným mínusom je vysoká obstarávacía cena za novú jednotku, čo je spôsobené veľmi nízkym počtom renomovaných výrobcov tejto technológie. Zákazníková výrobná prevádzka pozostáva zo šiestich výrobných liniek. Iba u jednej výrobnej linky je použitý paletizér daného typu. Dôvodom sú vyššie spomínané faktory. U ďalších výrobných liniek je balenie zaobstarávané ľudskou prácou. Tu vznikol podnet pre vytvorenie robotickej bunky pre jednu z výrobných liniek.
- Vyššie spomínaná výrobná linka je kompletná, avšak reálna linka nemusí obsahovať všetky súčasti. Schématické znázornenie linky a priestor, kde bude realizovaný projekt manipulácie, je zobrazený na obrázku 2.4.
- Schéma výrobnej linky a jej jednotlivé súčasti sú umiestnené v rade za sebou (sériovo) a nasledujú sprava smerom nadol. Priestor v ktorom bude vykonávaná manipulácia je označený obdĺžnikom.



Obrázok 2.4: Schématické znázornenie danej linky [22]

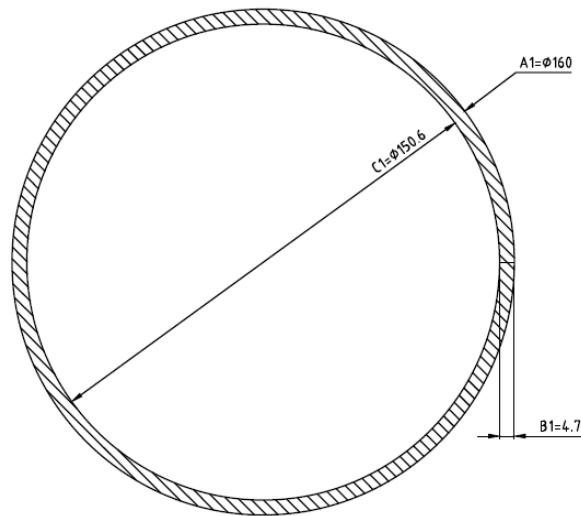
2.1.2 Výrobky

- Základným delením výrobkov je priemer rúry a jej kruhová tuhosť. Delenie kruhových tuhostí môžeme vidieť v nasledujúcej tabuľke 2.1. Všetky údaje o výrobkoch zmienené v texte, mi poskytol zákazník.

Označenie	SN4	SN8
Trieda zataženia	Normálne zataženie	Vysoké zataženie
Kruhová tuhosť [kN/m^2]	4	8
Smerodatné normy	STN EN 1401	STN EN 1401

Tabuľka 2.1: Tabuľka kruhových tuhostí podľa STN EN ISO

- Od kruhovej tuhosti je závislá hrúbka steny a tým aj celková hmotnosť rúry. Popisuje tabuľka 2.1 a obrázok 2.5. Kde rozmer A1 je priemer rúry, B1 je hrúbka steny, C1 je vnútorný priemer rúry.

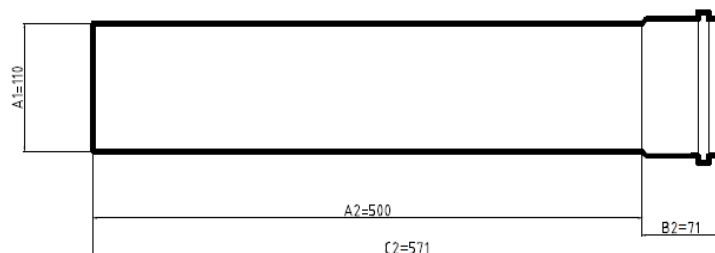


Obrázok 2.5: Význam rozmerov. Na obrázku DN 160 SN8

Označenie	Rozmer A1 [mm]	Rozmer B1 [mm]	Dĺžková hustota ρ [kg/m]
DN 110 SN4	110	3.2	1.20
DN 125 SN4	125	3.2	1.38
DN 160 SN4	160	4.0	2.15
DN 110 SN8	110	3.2	1.60
DN 160 SN8	160	4.7	2.70

Tabuľka 2.2: Tabuľka závislostí hmotností rúr na ich kruhovej tuhosti

- Dĺžky jednotlivých rúr majú označenia: 500, 1000, 2000, 3000, 5000. Tieto označenia vyjadrujú pevnú stavebnú dĺžku (rozmer A2 2.3), ktorá však nie je celkovou dĺžkou rúry. Rozmer B2 je časť rúry, ktorá bola tvarovaná hrdlovacím automatom 2.2. Na obrázku 2.6 a tabuľke 2.3 sú rozpísané jednotlivé dĺžky podľa priemeru rúry 2.2. Dĺžky nie sú závislé na kruhovej tuhosti z tabuľky 2.1



Obrázok 2.6: Význam rozmerov. Na obrázku DN 160 SN8

Názov	Dĺžka A2 [mm]	Dĺžka B2 [mm]	Dĺžka C2 [mm]
DN 110 500	500	71	571
DN 110 1000	1000	71	1071
DN 110 2000	2000	71	2071
DN 110 3000	3000	71	3071
DN 110 5000	5000	71	5071
DN 125 500	500	83	583
DN 125 1000	1000	83	1083
DN 125 2000	2000	83	2083
DN 125 3000	3000	83	3083
DN 125 5000	5000	83	5083
DN 160 500	500	95	595
DN 160 1000	1000	95	1095
DN 160 2000	2000	95	2095
DN 160 3000	3000	95	3095
DN 160 5000	5000	95	5095

Tabuľka 2.3: Rozmery jednotlivých dĺžok rúr

- Na základe tabuliek 2.1, 2.2,2.3 dospejeme ku konečnému označeniu výrobku. Toto označenie bude v tvare:

- DN(medzera)priemer(medzera)dĺžka(medzera)tuhosť.

V prípade, že nebude záležať na kruhovej tuhosti tak v tvare:

- DN(medzera)priemer(medzera)dĺžka.

Systém označovania je popísaný v nasledujúcej tabuľke:

	Priemer	Dĺžka	Tuhosť
		500	
	110	1000	SN8
DN	125	2000	
	160	3000	SN4
		5000	

Tabuľka 2.4: Princíp označovania jednotlivých druhov výrobkov

2.1.3 Hmotnosti a momenty výrobkov

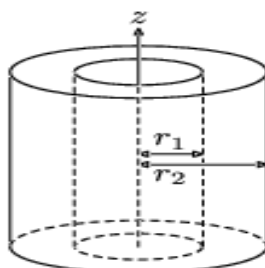
- V tejto podsekcii sa budem zaoberať hmotnosťami a momentmi zotrvačnosti rúr. Tieto údaje sú dôležité z hľadiska výberu manipulátora.
- Pri výpočte hmotností použijem dĺžku rúry C2 a hmotnosť daného priemeru na jednotku metra (viz.2.3 a 2.6). Nasledujúci výpočet počíta s rúrou DN 110 1000 SN4:

$$m_r = \frac{\rho}{1000}(C2) = \frac{1.20}{1000}(1071) = 1.29 \quad [kg], \quad (2.1)$$

Typ	m_r [kg]	Typ	m_r [kg]
DN 110 500 SN4	0.69	DN 110 500 SN4	0.91
DN 110 1000 SN4	1.29	DN 110 1000 SN8	1.71
DN 110 2000 SN4	2.49	DN 110 2000 SN8	3.31
DN 110 3000 SN4	3.69	DN 110 3000 SN8	4.91
DN 110 5000 SN4	6.09	DN 110 5000 SN8	8.19
DN 125 500 SN4	0.80	DN 160 500 SN8	1.61
DN 125 1000 SN4	1.49	DN 160 1000 SN8	2.96
DN 125 2000 SN4	2.87	DN 160 2000 SN8	5.66
DN 125 3000 SN4	4.25	DN 160 3000 SN8	8.36
DN 125 5000 SN4	7.01	DN 160 5000 SN8	13.76
DN 160 500 SN4	1.28		
DN 160 1000 SN4	2.35		
DN 160 2000 SN4	4.50		
DN 160 3000 SN4	6.65		
DN 160 5000 SN4	10.95		

Tabuľka 2.5: Nominálne hodnoty hmotnosti rúr

- V tabuľke 2.5 sú váhy konečného výrobku vypočítané podľa rovnice 2.1. Keďže pri manipulácii je potrebné niektoré rúry otáčať, potrebujeme skúmať ich otáčavý pohyb. Moment zotrvačnosti I závisí od tvaru, hmotnosti telesa a od osi otáčania. Pri počítaní momentu zotrvačnosti použijeme vzťah pre dutý, hrubostenný valec (viz. 2.7). Zanedbám pritom väčší priemer vyformovaného konca rúry, avšak budem počítať s plnou dĺžkou rúry C2.



Obrázok 2.7: Hrubostenný, dutý valec [13]

- Výpočet momentu zotrvačnosti

$$r_1 = \frac{\frac{A1}{2} - (B1)}{1000} \quad [m] \quad (2.2)$$

- V rovnici 2.2 som vypočítal vnútorný polomer a následne previedol do základných jednotiek

$$r_2 = \frac{A1}{2} \quad [m] \quad (2.3)$$

- Podobne tak v rovnici 2.3 som vypočítal vonkajší polomer. Výška valca je $h = C2$ a hmotnosť telesa je celková hmotnosť rúry z tabuľky 2.5, čiže $m = m_r$. Moment zotrvačnosti okolo osi x, y označíme ako I_x, I_y :

$$I_x = I_y = \frac{1}{12} m [3(r_1^2 + r_2^2) + h^2] \quad [kgm^2] \quad (2.4)$$

$$I_x = I_y = \frac{1}{12} m_r \left[3 \left(\left(\frac{\frac{A1}{2} - (B1)}{1000} \right)^2 + \left(\frac{\frac{A1}{2}}{1000} \right)^2 \right) + \left(\frac{C2}{1000} \right)^2 \right] \quad [kgm^2] \quad (2.5)$$

- Príklad výpočtu pre DN 110 1000 SN4:

$$I_x = I_y = \frac{1}{12} 1.29 \left[3 \left(\left(\frac{\frac{110}{2} - (3.2)}{1000} \right)^2 + \left(\frac{\frac{110}{2}}{1000} \right)^2 \right) + \left(\frac{1071}{1000} \right)^2 \right] = 0.0197 \quad [kgm^2] \quad (2.6)$$

- Moment zotrvačnosti okolo osi z označíme ako I_z :

$$I_z = \frac{1}{2} m [3(r_1^2 + r_2^2)] \quad [kgm^2] \quad (2.7)$$

$$I_z = \frac{1}{2} m_r \left[3 \left(\left(\frac{\frac{A1}{2} - (B1)}{1000} \right)^2 + \left(\frac{\frac{A1}{2}}{1000} \right)^2 \right) \right] \quad [kgm^2] \quad (2.8)$$

- Príklad výpočtu I_z pre DN 110 1000 SN4:

$$I_z = \frac{1}{2} 1.29 \left[3 \left(\left(\frac{110}{2} - 3.2 \right)^2 + \left(\frac{110}{2} \right)^2 \right) \right] = 0.0020 \quad [kgm^2] \quad (2.9)$$

- Vypočítané momenty zotrvačnosti výrobku majú podstatný vplyv na pohonné ústrojenstvo manipulátora. Momenty všetkých výrobkov sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

DN 110 SN4	$I_x, I_y [kgm^2]$	$I_z [kgm^2]$
500	0.02	0.002
1000	0.125	0.004
2000	0.894	0.007
3000	2.905	0.011
5000	13.059	0.017

Tabuľka 2.6: Momenty zotrvačnosti pre DN 110 SN4

DN 125 SN4	$I_x, I_y [kgm^2]$	$I_z [kgm^2]$
500	0.024	0.003
1000	0.148	0.006
2000	1.043	0.011
3000	3.374	0.016
5000	15.106	0.026

Tabuľka 2.7: Momenty zotrvačnosti pre DN 125 SN4

DN 160 SN4	$I_x, I_y [kgm^2]$	$I_z [kgm^2]$
500	0.042	0.008
1000	0.242	0.014
2000	1.660	0.027
3000	5.329	0.040
5000	23.721	0.067

Tabuľka 2.8: Momenty zotrvačnosti pre DN 160 SN4

DN 110 SN8	I_x, I_y [kgm^2]	I_z [kgm^2]
500	0.026	0.003
1000	0.166	0.050
2000	1.188	0.009
3000	3.866	0.014
5000	17.391	0.023

Tabuľka 2.9: Momenty zotrvačnosti pre DN 110 SN8

DN 160 SN8	I_x, I_y [kgm^2]	I_z [kgm^2]
500	0.052	0.010
1000	0.305	0.018
2000	2.087	0.034
3000	6.699	0.050
5000	29.808	0.083

Tabuľka 2.10: Momenty zotrvačnosti pre DN 160 SN8

2.1.4 Výrobné cykly

- Pre správnu funkciu robotической bunky bolo potrebné vyčíslit výrobné cykly a zväžiť ich dlhodobý vývoj a zmeny. Faktory, ktoré ovplyvňujú výrobu treba rozdeliť na faktory ovplyvňujúce samotnú výrobu a faktory ovplyvňujúce robotickú bunku.
- Faktory ovplyvňujúce rýchlosť výroby:
 - Priemer vyrábanej rúry
 - Hrúbka steny rúry
 - Kruhová tuhosť
 - Zloženie receptúry materiálu
 - Rýchlosť hrdlovacieho automatu
 - Trhové požiadavky
- Faktory ovplyvňujúce množstvo a rýchlosť cyklov, ktoré priamo súvisia s robotickou bunkou:
 - Rýchlosť hrdlovacieho automatu
 - Princíp balenia hotových výrobkov
 - Dĺžky jednotlivých rúr
 - Kombinácie vyrábaných dĺžok rúr
 - Rýchlosť obsluhy robotической bunky

Typ	v_m [m/min]	v_n [m/min]
DN 110 SN4	2.4	2.8
DN 125 SN4	2.6	3
DN 160 SN4	2	2.2
DN 110 SN8	2.2	2.4
DN 160 SN8	1.8	2

Tabuľka 2.11: Rýchlosť vytlačania rúr v metroch za jednu minútu

- Použitím tabuľky 2.11 a tabuľky 2.3 dostaneme nasledujúci údaj pre rúru DN 110 1000 SN4:

$$t_c = \frac{C2}{v_n} = \frac{1071}{46.67} = 23.95 \cong 23 \quad [s], \quad (2.10)$$

- Kde t_c je čas, ktorý odpovedá vyrobeniu jedného kusu DN 110 SN4, resp. čas jedného výrobného cyklu. Časy výrobných cyklov sú zaokrúhlené na celé sekundy smerom nadol. Podľa rovnice 2.10 som prišiel k nasledujúcej tabuľke:

Typ	v_n [mm/s]	t_c [s]
DN 110 500 SN4	46.67	12.24
DN 110 1000 SN4	46.67	22.95
DN 110 2000 SN4	46.67	44.38
DN 110 3000 SN4	46.67	65.80
DN 110 5000 SN4	46.67	108.66
DN 125 500 SN4	50.00	11.66
DN 125 1000 SN4	50.00	21.66
DN 125 2000 SN4	50.00	41.66
DN 125 3000 SN4	50.00	61.66
DN 125 5000 SN4	50.00	101.66
DN 160 500 SN4	36.67	16.23
DN 160 1000 SN4	36.67	29.86
DN 160 2000 SN4	36.67	57.13
DN 160 3000 SN4	36.67	84.40
DN 160 5000SN4	36.67	138.94
DN 110 500 SN8	40.00	14.28
DN 110 1000 SN8	40.00	26.78
DN 110 2000 SN8	40.00	51.78
DN 110 3000 SN8	40.00	76.78
DN 110 5000 SN8	40.00	126.78
DN 160 500 SN8	33.34	17.85
DN 160 1000 SN8	33.34	32.84
DN 160 2000 SN8	33.34	62.84
DN 160 3000 SN8	33.34	92.83
DN 160 5000 SN8	33.34	152.82

Tabuľka 2.12: Potrebné časy na výrobu jednej rúry daného typu

- V tabuľke 2.12 sú časy potrebné k výrobe jednej rúry daného typu. Napríklad čas potrebný k výrobe jednej DN 110 2000 SN4 má hodnotu 44.38 sekundy. Avšak na výrobnéj linke je možnosť vyrábať viac rozmerov daného priemeru súčasne. Možné kombinácie výroby v nasledujúcej tabuľke:

Označenie kombinácie	1.rozmer	2.rozmer	3.rozmer
K1	500	500	5000
K2	500	500	3000
K3	500	2000	
K4	1000	5000	
K5	1000	3000	
K6	1000	2000	
K7	2000		
K8	3000		
K9	5000		

Tabuľka 2.13: Možné kombinácie vyrábaných rozmerov súčasne

- V tabuľke 2.13 môžeme vidieť kombinácie rozmerov. Napríklad kombinácia K1 znamená, že rezací stroj odpíli rozmer 500, potom rozmer 500 a nakoniec rozmer 5000. Následne sa cyklus opakuje. V tomto poradí prichádzajú rúry na tvarovanie (hrdlovací automat), z ktorého v rovnakom poradí odchádzajú k baleniu. Kombinácie môžeme vyčísliť vzhľadom na konkrétny priemer.

DN 110 SN4			
Kombinácia	t_c	t_c	t_c
K1	12.34	12.34	108.66
K2	12.34	12.34	65.80
K3	12.34	44.38	
K4	22.95	108.66	
K5	22.95	65.80	
K6	22.95	44.38	
K7	44.38		
K8	65.80		
K9	108.66		

Tabuľka 2.14: Kombinácie výroby vzhľadom k rozmeru DN 110 SN4

- Tabuľka 2.14 zobrazuje časy jednotlivých cyklov. Napríklad kombinácia K4 znamená:
 - Pre výrobnú linku jeden cyklus s dĺžkou trvania 131.61 sekundy. Rozmer 1000 a 5000.

- Pre manipulátor dva cykly, ktoré musia byť vykonané pod hranicu 131 sekúnd.
- V ďalších počtoch budem časy zaokrúhľovať na celé čísla. Nasledujúce tabuľky 2.15, 2.16, 2.17, 2.18, majú rovnaký význam ako tabuľka 2.14, s tým rozdielom, že sú vzhľadom k inému priemeru alebo kruhovej tuhosti.

DN 125 SN4			
Kombinácia	t_c	t_c	t_c
K1	11	11	101
K2	11	11	61
K3	11	41	
K4	21	101	
K5	21	61	
K6	2	41	
K7	41		
K8	61		
K9	101		

Tabuľka 2.15: Kombinácie výroby vzhľadom k rozmeru DN 125 SN4

DN 160 SN4			
Kombinácia	t_c	t_c	t_c
K1	16	16	138
K2	16	16	84
K3	16	57	
K4	21	138	
K5	29	84	
K6	29	57	
K7	57		
K8	84		
K9	138		

Tabuľka 2.16: Kombinácie výroby vzhľadom k rozmeru DN 160 SN4

DN 110 SN8			
Kombinácia	t_c	t_c	t_c
K1	14	14	126
K2	14	14	76
K3	14	51	
K4	21	126	
K5	26	76	
K6	26	51	
K7	51		
K8	76		
K9	126		

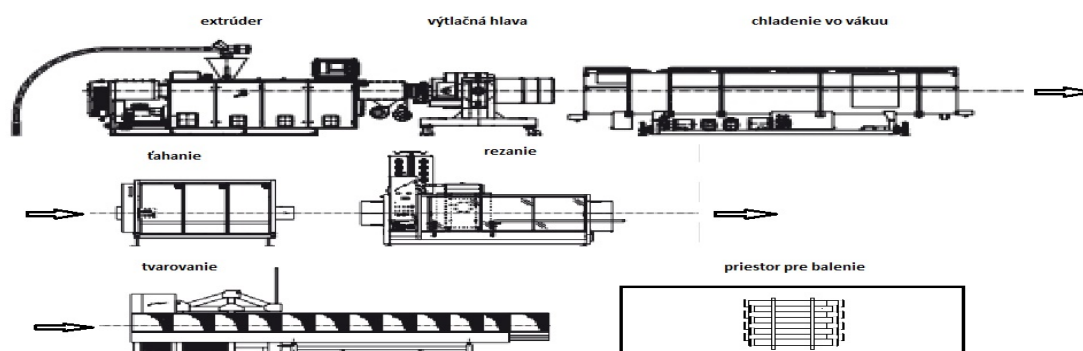
Tabuľka 2.17: Kombinácie výroby vzhľadom k rozmeru DN 110 SN8

DN 160 SN8			
Kombinácia	t_c	t_c	t_c
K1	17	17	152
K2	17	14	96
K3	17	62	
K4	21	152	
K5	32	92	
K6	32	62	
K7	62		
K8	92		
K9	152		

Tabuľka 2.18: Kombinácie výroby vzhľadom k rozmeru DN 160 SN8

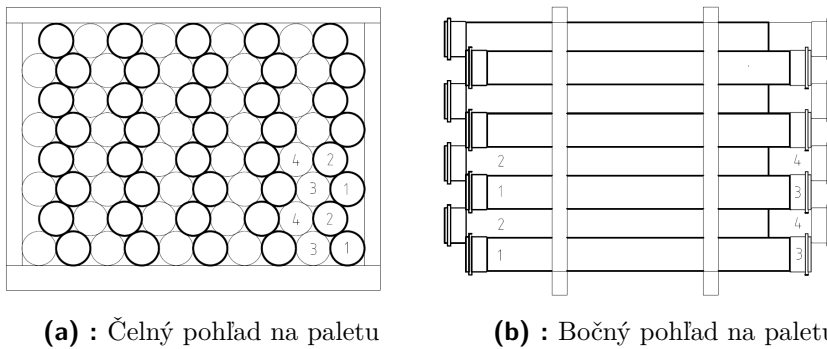
2.1.5 Potrebná manipulácia

- Manipulácia s rúrami spočíva v premiestnení rúry z tvarovania (hrdlovací automat) do zóny vyhradenej pre balenie. Názorne ukazuje nasledujúci obrázok 2.8.: Následne je potreba rúry zabaliť.



Obrázok 2.8: Schéma výrobnéj linky [22]

- Pri otázke manipulácie bolo potrebné zväžiť:
 - Princíp balenia hotových výrobkov.
 - Rozmery výrobnéj haly.
 - Rozmery bunky, ktoré je výrobná prevádzka schopná akceptovať.
 - Rozmery hotových palet, kde pojem paleta znamená balenie rúr o nasledujúcich množstvách:
 - 1 paleta rúr DN 110 obsahuje celkovo 76 kusov rúr.
 - 1 paleta rúr DN 125 obsahuje celkovo 60 kusov rúr.
 - 1 paleta rúr DN 160 obsahuje celkovo 33 kusov rúr.
- Princíp balenia hotových výrobkov vysvetlím na type DN 110. Balenie sa líši len v závislosti na priemere rúry. Pri balení rúr je najpodstatnejšie, aby sa vytvarované konce rúr neprekrývali a tým nedeformovali.

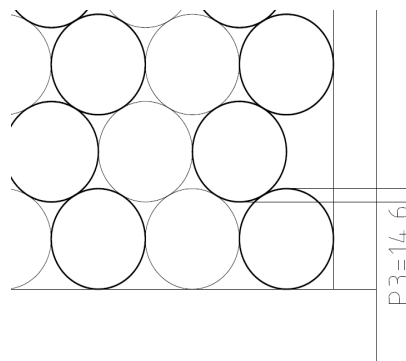


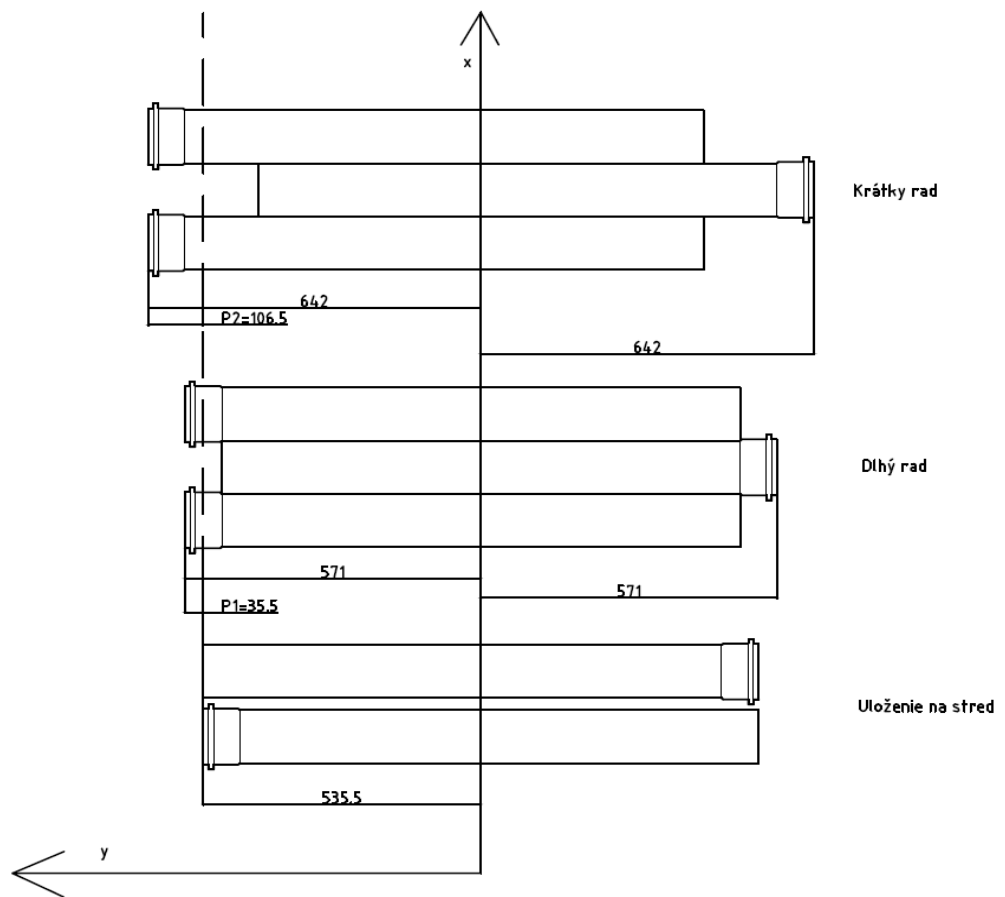
(a) : Čelný pohľad na paletu

(b) : Bočný pohľad na paletu

Obrázok 2.9: Paleta DN 110 1000 SN4

- Na obrázku 2.9 vidíme zabalenú paletu rúr. Vytvarované konce rúr (hrdlá) sú zvyraznené hrubšou čiarou. Zavediem pojem dlhý rad a krátky rad, kde dlhý rad znamená, že počet kusov v dlhom rade je o jeden väčší ako počet kusov v krátkom rade. Niektoré rúry sú očíslované pre lepšie pochopenie. Napríklad kombinácia 1-1 je jedna rúra. Jednotlivé hodnoty sú v tabuľke 2.19
- Na obrázku 2.10 a 2.11 je popísaný spôsob ukladania rúr a ďalší rozdiel medzi dlhým a krátkym radom. Hodnoty posunov $P1$, $P2$ a prekrytia $P3$ sú dôležité z hľadiska balenia a programového riešenia.

**Obrázok 2.10:** Prekrytie rúr

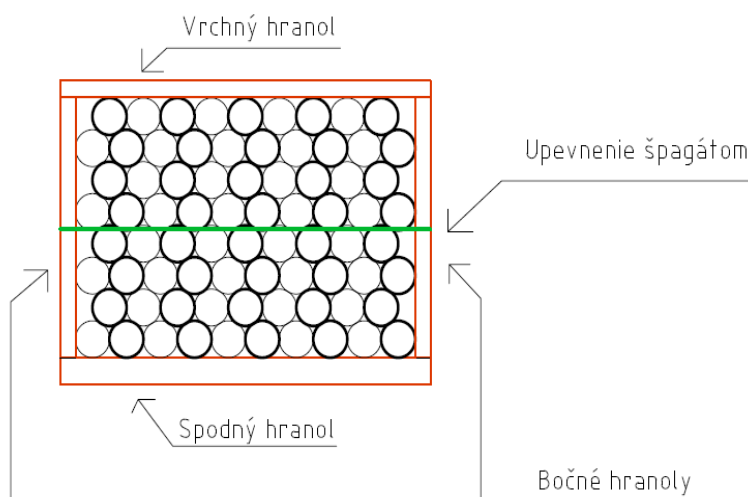


Obrázok 2.11: DN 110 1000 SN4 posuvy



Obrázok 2.12: Paleta s rúrami DN 160

- Rúry sú kladené do palety, ktorú tvoria drevenné hranoly. Hranoly sú spájané do tvaru obdĺžnika viz. obrázok 2.13. Jedna paleta rúr obsahuje celkovo dva obdĺžniky.
- Z dôvodu spevnenia a stability palety sa aplikuje spevňovací špagát viz 2.13 . Tento špagát sa viaže po určitom počte radov, ktoré sú špecifikované v tabuľke 2.19. Viazanie špagátu je vykonávané operátorom výroby.



Obrázok 2.13: Vyhotovenie palety

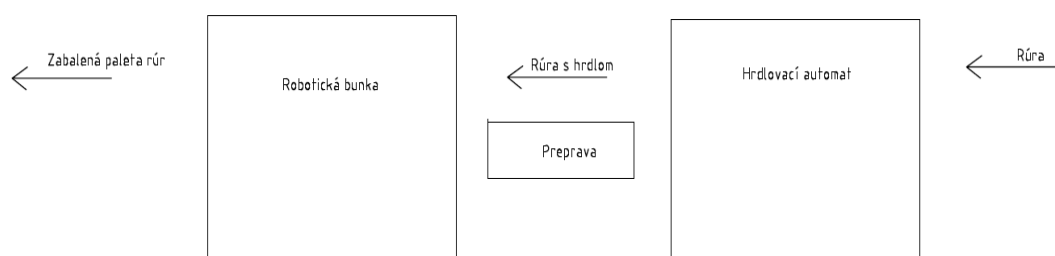
Dĺžka rúr	DN 110	DN 125	DN 160
Počet radov	8	7	5
Počet dlhých radov	4	4	3
Počet krátkych radov	4	3	2
Špagát na rad	4	4	2
Dlhý rad [ks]	10	9	7
Krátky rad [ks]	9	8	6
P1 [mm]	35.5	41.5	47.5
P2 [mm]	106.5	124.5	142.5
P3 [mm]	14.6	15	20

Tabuľka 2.19: Jednotlivé paletizačné údaje

- Požiadavkou továrne bolo, aby boli balené všetky priemery, kruhové tuhosti a nasledovné rozmery:
 - 1000
 - 2000
 - 3000
 - 5000
- Z toho vyplýva, že rúry s rozmerom 500 nebudú figurovať v činnosti robotической bunky a bude potrebné vyvinúť systém na ich vyčlenenie z výrobného cyklu.

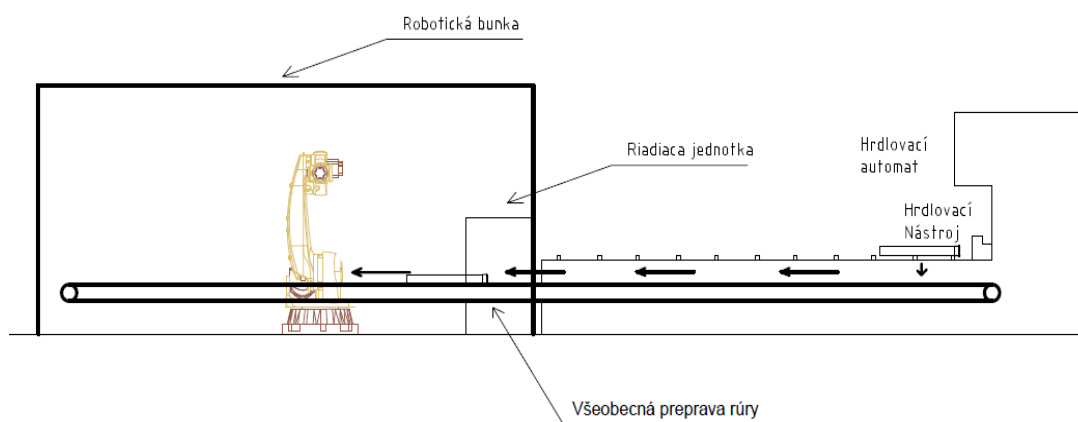
2.2 Návrh riešenia

- Pri návrhu riešenia som rozdelil úlohu na dve sekcie:
 - Preprava rúry z hrdlovacieho automatu do robotической bunky. Túto časť budem nazývať "preprava"(2.8)
 - Manipulácia a balenie rúry. Túto časť budem nazývať "robotická bunka".

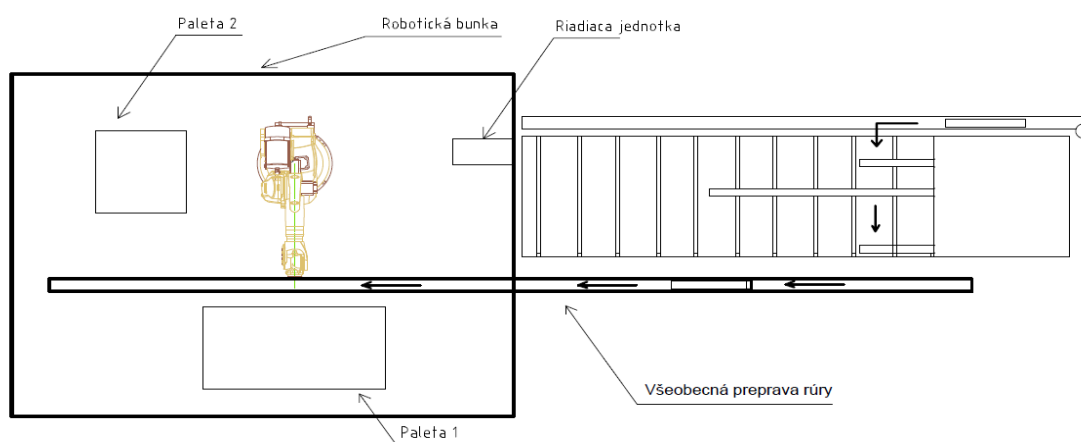


Obrázok 2.14: Napojenie robotической bunky na výrobnú linku

- Obrázok 2.14 predstavuje principiálne napojenie robotической bunky k výrobnej linke. Všeobecne sa tok materiálu značí zľava doprava, avšak zákazníkova linka ma presne opačnú orientáciu a tak pre lepšie pochopenie budem dodržiavať túto orientáciu. Detailnejší pohľad ponúka obrázok 2.15, na ktorom je zobrazený hrdlovací automat, systém dopravníkov a robotická bunka.



Obrázok 2.15: Detailný bočný pohľad rozloženia



Obrázok 2.16: Detailný pohľad rozloženia. Pôdoris

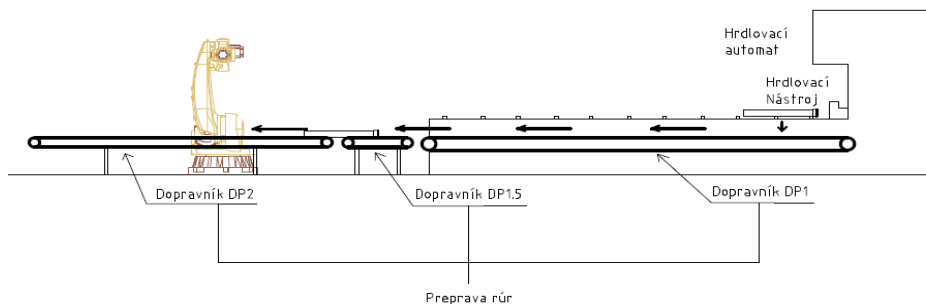
- Riadenie som rozdelil na dva celky:
 - Riadenie robotической bunky zaobstaráva riadiacia jednotka manipulátora.
 - Riadenie prepravy zaobstaráva prídavné PLC.
- Technické vyhotovenie:
 - Robotická bunka bude pozostávať zo 6-osého priemyselného manipulátora a dvoch zón balenia.
 - Prepravnú časť bude tvoriť systém dopravníkov.

Kapitola 3

Technické prostriedky

3.1 Dopravníky a ostatné súčasti

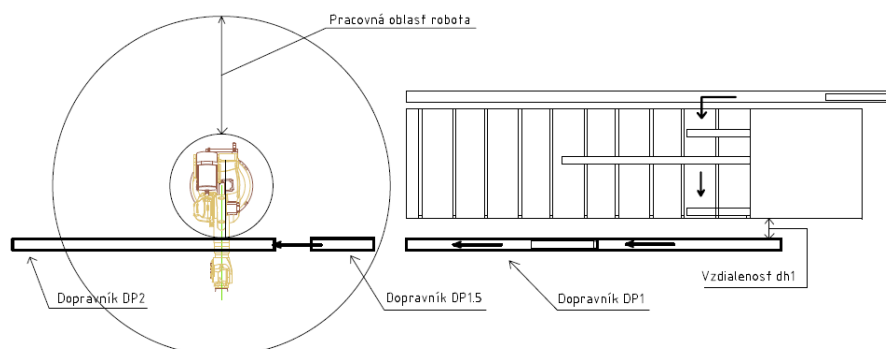
- K správnej funkcii robotickéj bunky bolo potreba vyriešiť dopravný systém, schopný dopraviť rúru do robotickéj bunky. Rozloženie dopravníkov podlieha možnostiam zákazníka, robotickéj bunke a pracovnému priestoru robota.



Obrázok 3.1: Rozloženie dopravníkových pásov

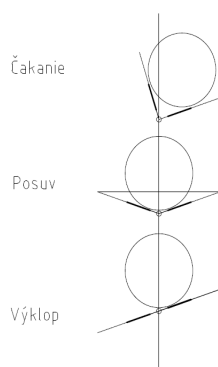
- Na obrázku 3.1 vidíme rozloženie dopravníkových pásov. Zavediem označenie DPx kde DP znamená že sa jedná o dopravník a x je poradie dopravníka značené v smere sprava doľava čiže v smere výroby.
 - Dopravník DP1 s dĺžkou 6000 mm. Pripevnený na hrdlovacom automate, trojfázový striedavý asynchrónny motor. Vyrobeneý výrobcom hrdlovacieho automatu.
 - Dopravník DP1.5 s dĺžkou 1000 mm, samostatne stojaci, jednofázový striedavý asynchrónny motor.

- Dopravník DP2 s dĺžkou 4190 mm. Samostatne stojaci, trojfázový striedavý asynchrónny motor.
- Je zrejmé, že v ideálnom prípade by sa dal nahradiť dopravník DP2 a DP1.5 jedným dopravníkom. Avšak v danej továrni dopravník DP2 a DP1.5 už boli nevyužitú a tak sa využili pre danú aplikáciu.



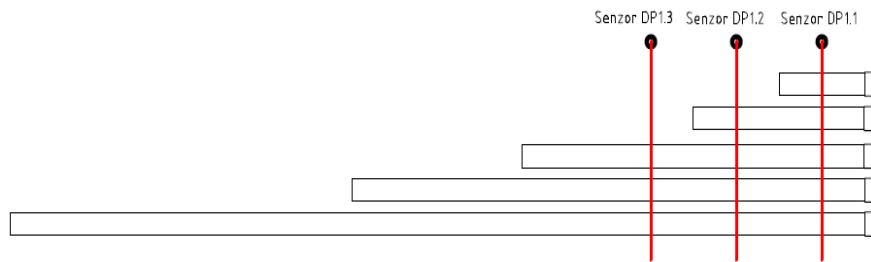
Obrázok 3.2: Pozícia dopravníkov vzhľadom k robotovi a hrdlovaciemu automatu

- Na obrázku 3.2 je zobrazený pohľad zhora. Priestor označený ako "pracovná oblasť robota" vyjadruje plochu pracovnej obálky manipulátora v najširšom mieste. Táto plocha sa líši podľa výberu manipulátora. Podstatným údajom je "vzdialenosť $dh1$ ". Táto vzdialenosť je závislá na pracovnej obálke robota a na výsledkoch hodnôt manipulovateľnosti.
- Bolo potrebné vyriešiť absenciu paletizácie rozmeru 500. Riešenie sa našlo pri dopravník DP1. Tento dopravník má tri režimy a to:
 - čakanie
 - posuv
 - výklop
- Obrázok 3.3 zobrazuje režimy, v ktorých sa dopravník môže nachádzať. Základná poloha je "čakanie". Režim, pri ktorom dopravník vykonáva pohyb objektu je "posuv". V polohe "výklop" dopravník prepustí rúru do strany. Poloha výklop je ideálna na odlúčenie rúr rozmeru 500, a preto bolo potrebné, aby systém/ dopravník vedel rozoznať rozmery rúr. Pri skúmaní výrobných kombinácii 2.13 si treba všimnúť, že môžeme rúry rozdeliť na tri skupiny:
 - 1. skupina: 500
 - 2. skupina: 1000
 - 3. skupina: 2000, 3000, 5000



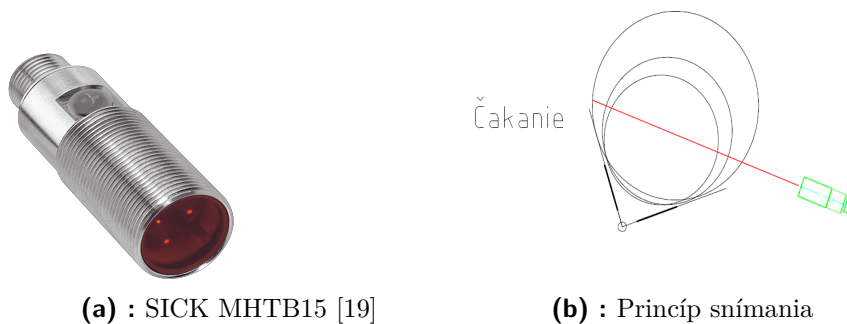
Obrázok 3.3: Režimy dopravníka DP1

- Zavediem označenie senzorov v tvare $DPx.y$, kde DP , znamená, že sa jedná o senzor súvisiaci s dopravníkmi, x znamená číslo dopravníka a y znamená poradové číslo senzora počítané sprava doľava v smere výrobnjej linky.
- Z tohoto predpokladu budem vychádzať pri navrhovaní senzorov na rozoznanie dĺžky rúry. Tak isto sa toto pozorovanie odrazí aj pri návrhu robotickej bunky. Dopravník musí vedieť rozoznať tri skupiny dĺžok, pričom prvú skupinu (500) musí vyklopiť a tým ju vylúčiť z procesu balenia a ďalšie dve poslať do robotickej bunky. Toto rozpoznanie som realizoval pomocou troch senzorov. Sensory sú rozmiestné tak, že ak prvý senzor DP1.1 detekuje objekt, znamená to, že daná rúra je rozmeru 500. V prípade že ak objekt detekujú DP1.1 a DP1.2 súčasne, znamená to rozmer 1000. V prípade, že detekujú objekt všetky tri rozpoznávacie senzory (DP1.1, DP1.2, DP1.3) tak je v dopravníku tretia skupina rozmerov. Princíp snímania zobrazuje obrázok 3.4



Obrázok 3.4: Rozoznávajúce dĺžok rúr

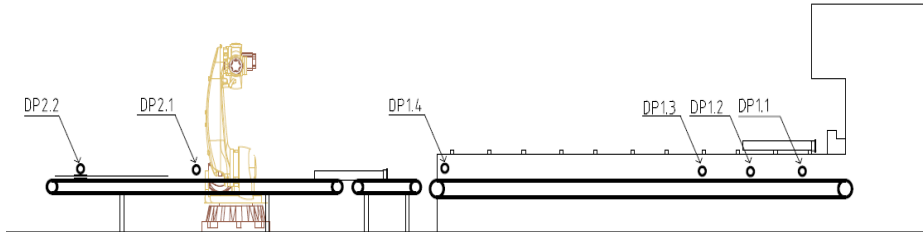
- Keďže cieľom zákazníka je minimalizovať prevádzkové náklady na opravy a výmeny súčiastok, bolo jeho požiadavkou používať (pokiaľ je to možné) rovnaké diely aké má zaužívané v iných strojoch. V tomto bode sa to týkalo aj foto-elektrických senzorov. Na základe toho bol použitý foto-elektrický senzor typu SICK MHTB15-P3367V. Senzor má nastaviteľnú snímaciu vzdialenosť 3 až 300 mm. Univerzálne ocelové púzdro (závitové, M18), PNP výstup, a typizovaný štvor-pinový konektor M12. Spomínané údaje pochádzajú z [40].



(a) : SICK MHTB15 [19]

(b) : Princíp snímania

Obrázok 3.5: Princíp uloženia a snímania senzora



Obrázok 3.6: Rozloženie senzorov v prepravnom systéme

- Na obrázku 3.6 môžeme vidieť všetky senzory, ktoré prepravný systém obsahuje. Sensory DP1.1, DP1.2, DP1.3 slúžia k rozpoznávaniu skupín rozmerov.
- Senzor DP1.4 má tri po sebe idúce funkcie. Na základe zdetekovania ľavého konca rúry (počas chodu dopravníku) riadiace PLC vie, že rúra sa blíži ku koncu DP1 a zapne DP1.5. Pokiaľ DP1.4 stále detekuje rúru, PLC vie, že rúra ešte neopustila DP1. Ak DP1.4 už nedetekuje rúru, PLC zastaví DP1.
- DP2.1 a DP2.2 sú "zastavovacie senzory". DP2.1 slúži na zastavenie 2. skupiny rozmerov, čiže rúra s rozmerom 1000. DP2.2 slúži na zastavenie 3. skupiny rozmerov. DP2.2 je uložený na posuvnom jazdci, vďaka ktorému je možno meniť polohu zastavenia rúry 3. skupiny (2000, 3000, 5000). Pri zmene vyrábanej dĺžky operátor výroby prestaví polohu snímača DP2.2 a tak prispôbí zastavovaciu vzdialenosť podľa dĺžky rúry 3. skupiny.

■ 3.2 Manipulátor

■ 3.2.1 Požiadavky

Pri výbere manipulátora som musel zvážiť:

- Požiadavky zákazníka.
- Tvar, hmotnosti a momenty zotrvačnosti výrobkov.
- Výrobné cykly, ktoré majú vplyv na rýchlosť manipulátora a jeho celkové namáhanie.
- Rozmery balenia výrobkov (palety) ovplyvňujúce hlavne pracovnú obálku manipulátora.
- Počiatočné investície.

- Dostupnosť daného typu manipulátora. Keďže som vyberal spomedzi použitých manipulátorov musel som hľadiť nielen nato, či manipulátor vyhovuje technicky, ale aj na jeho trhovú dostupnosť.
- Dostupnosť náhradných dielov. Bolo treba zvážiť aj tento faktor, pretože isté typy manipulátorov sú používané menej a naopak. Z toho vyplýva, že čím viac rozšírený typ manipulátora, tým je väčšia pravdepodobnosť väčšej dostupnosti náhradných dielov.

Keďže jednou z hlavných myšlienok bolo použiť použitý manipulátor treba spomenúť, že použité manipulátory sa dajú rozdeliť do dvoch cenových hladín.

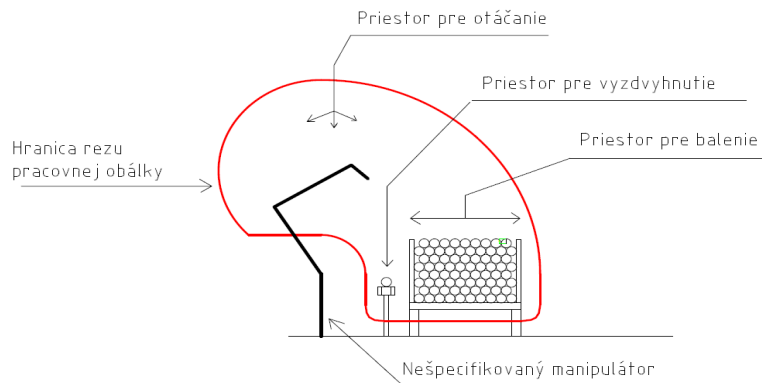
- Použité manipulátory, ktoré sú vyradené z iných robotických buniek a v tom stave sú na predaj.
- Použité manipulátory, ktoré sú vyradené a vykúpené firmami, ktoré ich renovujú. Následne ponúkané ako repasované roboty.

V tejto voľbe som staval na väčšiu pravdepodobnosť dlhšej životnosti, a preto som zvolil vyššiu cenovú hladinu, čiže robot repasovaný.

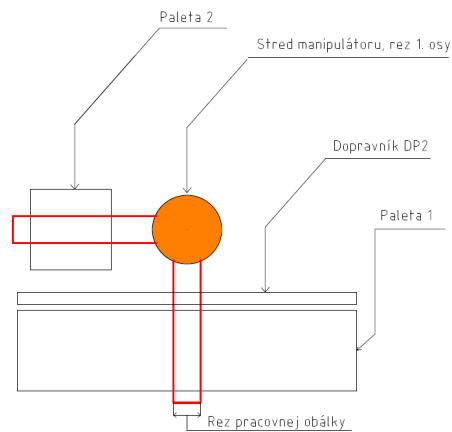
Výber výrobcu manipulátora nezohrával takmer žiadnu úlohu, avšak sú to isté aspekty ktoré môžu ovplyvniť výber. Jedným z nich je rozšírenosť manipulátorov. Ak zvážim automobilky v geografickej závislosti Česko-Slovenska, ako napríklad: Audi Győr (VW group), VW Bratislava (VW group), Škoda Mladá Boleslav (VW group), VW Dresden (VW group), Porsche Leipzig (VW group) a fakt, že VW group je európskym automobilovým lídrom, v ktorom sú preferované výrobky od spoločnosti KUKA Roboter GmbH s vlastným označením riadiacích jednotiek VKRC... (štandardné: KRC...). Po zvážení týchto aspektov spadá môj výber na manipulátor od spoločnosti KUKA Roboter GmbH. Musím však zdôrazniť, že uvedené informácie sú sčasti založené na subjektívnom pohľade a sčasti na informáciach, ktoré sú dostupné [30]. Samozrejme, dalo by sa toto skúmanie previesť presnejšie, však boli by k tomu potrebné interné štatistiky jednotlivých spoločností, čo však je asi nad rámec tejto práce a celkovo nad rámec projektu a významu.

■ 3.2.2 Pracovný priestor

Pracovný priestor je jeden z prvých faktorov pri výbere manipulátora. Pracovný priestor musí ponímať dopravníkový pás, balenie a musí byť koncipovaný tak, aby manipulátor bol schopný otáčať rúry nad sebou. Tento priestor pre otáčanie môžeme vidieť na obrázku 3.7.

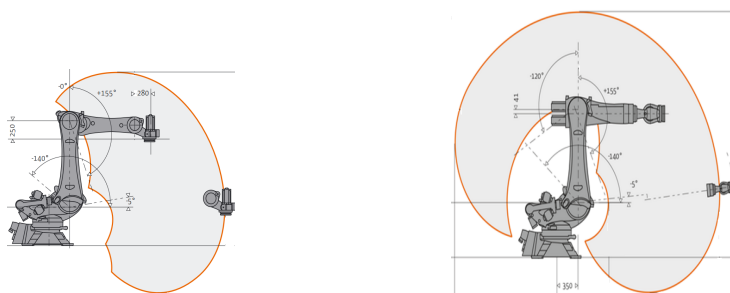


Obrázok 3.7: Rez pracovnej obálky



Obrázok 3.8: Rez pracovnej obálky, pohľad zhora

Na základe obrázku 2.16 vidíme, že rez pracovnej obálky, čiže pohľad zhora musí ponímať dve palety, čiže dve baliace zóny a dopravníkový pas DP2. Na obrázku 3.8 je zobrazený rez pracovnej obálky, na ktorom vidíme principiálne poňatie všetkých komponentov.

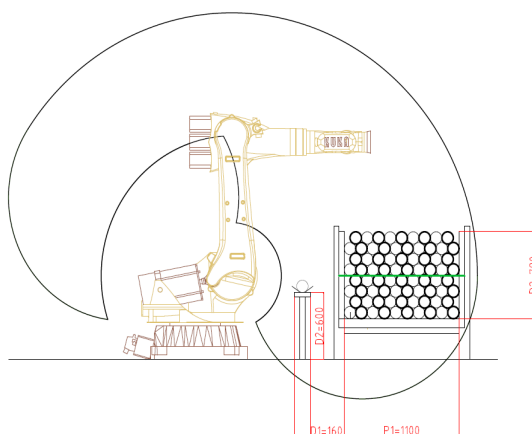


(a) : Paletizačný manipulátor[16]

(b) : Univerzálny manipulátor[15]

Obrázok 3.9: Pracovné obálky

Keďže sa jedná o proces balenia (paletizácie), naskytovala sa tu možnosť použiť paletizačný manipulátor. Paletizačné manipulátory sú prispôbené pre úlohy balenia. Tento typ manipulátora je zobrazený na obrázku 3.9 a. Rozdiel medzi univerzálnym a paletizačným manipulátorom je ten, že paletizačný manipulátor sa skladá zo 4 alebo 5 otočných ôs a univerzálny zo 6-tich ôs. Otáčanie rúry prebieha nad robotom. Pracovná obálka paletizačného manipulátora neponíma oblasť pre otáčanie rúry (nedokáže otáčať rúru nad sebou), čo môžeme vidieť pri porovnaní s univerzálnym na obrázku 3.9. Preto mojou voľbou je univerzálny manipulátor.



Obrázok 3.10: Paleta a dopravník v pracovnej obálke

Podstatou dimenzovania pracovnej obálky je jej schopnosť poňať všetky potrebné objekty a priestory pre manipuláciu. Na obrázku 3.10 vidíme, že v reze pracovnej obálky musí byť dopravníkový pás zobrazených rozmerov a paleta rúr. Na obrázku je zobrazená paleta rúr DN 110 1000 SN4. V závislosti na priemere rúry sa hodnoty P1 a P2 líšia. Ich hodnoty prislúchajúce danému rozmeru sú uvedené v tabuľke 3.1. Taktiež bolo potreba rátať aj s rozmerom baliaceho vozíka, ktorý je 1140 mm. Keďže výrobca udáva šírku rezu pracovného priestoru v jeho najširšom bode, počítal som s rezervou 250 mm. Takto stanovená minimálna šírka rezu pracovného priestoru má hodnotu 1550 mm.

Priemer DN	Šírka [mm]	Výška [mm]
110	1100	780
125	1125	780
160	1120	720

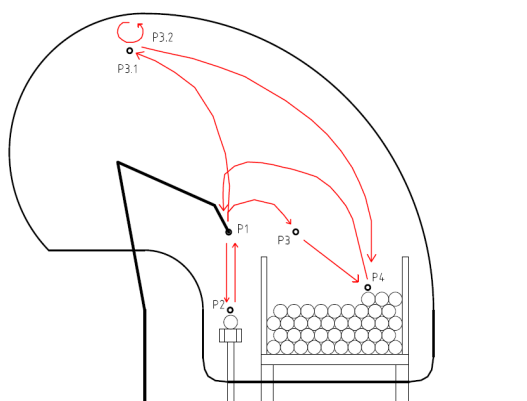
Tabuľka 3.1: Rozmery baliaceho priestoru/ palety

Požiadavkov zákazníka bolo, aby výška, v ktorej bude prebiehať otáčanie rúry mala minimálnu hodnotu 2500 mm. Bolo potrebné aby výška rezu pracovnej obálky spĺňala túto požiadavku.

■ 3.2.3 Rýchlosti pohybov

Je potrebné zaistiť zákazníkovi výrobné cykly a ich zvládnutie. V kapitole Výrobné cykly sú rozoberané výrobné cykly jednotlivých výrobkov. Principiálne rozdelím pohyby a činnosti manipulátora na jednotlivé úkony viz. obrázok 3.11:

- Nájazd z domovskej pozície na miesto uchopenia (z P1 do P2).
- Uchopenie.
- Nájazd do domovskej pozície (P1).
- Ak nie je potreba rúru otočiť o 180 stupňov, pokračuje nájazdom do pozície P3. Ak potrebujeme otočiť rúru, pokračujeme nasledovne:
 - Nájazd do pozície pre otáčanie (P3.1).
 - Otáčanie nástroja s rúrou (6. osi manipulátora, z P3.1 do P3.2).
- Nájazd do pozície danej rúry (P4).
- Pustenie.
- Návrat do východzej polohy (P1).



Obrázok 3.11: Rez pracovnej obálky, bočný pohľad

Zameril som sa na typ rúry s najmenšou hodnotou času jedného cyklu a to je DN 125 1000 SN4. Čas cyklu má hodnotu 21 sekúnd. Čas cyklu budem počítat s otočením, keďže je jasné, že bude o otočenie dlhší. Treba poznamenať, že

Úkon	Čas [s]
Nájazd do P2	2
Uchopenie	2
Nájazd do P1	2
Nájazd do 3.1	2
Otočenie do P3.2	2
Nájazd do P4	4
Položenie	2
Nájazd do P1	4

Tabuľka 3.2: Približne odhadované časy

tieto časy boli stanovené odhadom, pretože nájazdy do jednotlivých bodov sa dejú kontinuálne, a tým šetria čas potrebný k zrýchleniu a spomaleniu. Ďalším podstatným bodom je to, že čas 21 sekúnd pre DN 125 1000 SN4 je v kombinácii K6 (1000 a 2000) kde rúra DN 125 2000 SN4 má čas cyklu 41 sekúnd. Z toho vyplýva, že robot nemusí stihnúť zabaliť rúru 1000 za 21 sekúnd a rúru 2000 za 41 ale musí stihnúť zabaliť obe za 62 sekúnd, takže časy počítané v tabuľke 3.2 sú výrazne rýchlejšie ako v skutočnosti. Z tabuľky 3.2 vyplýva, že k otočeniu rúry mi ostávajú dve sekundy. V katalógových listoch priemyselných manipulátov sa rýchlosť jednotlivých ôs udáva v jednotkách $^{\circ}/s$ [7]. Potrebujeme otočiť rúru o 180° za čas 2 sekundy, takže uhlová rýchlosť:

$$\omega = \frac{180}{2} = 90 \quad [^{\circ}/s], \quad (3.1)$$

Z rovnice 3.1 vyplýva, že rýchlosť 6. osi manipulátora musí byť vyššia ako je

90 °/s. Ideálnou variantou pre dimenzovanie rýchlostí a celkový čas cyklov je použiť jeden z renomovaných software, avšak k licencovanej verzii programu sa mi počas návrhu nepodarilo dostať.

3.2.4 Nosnosť a momenty

Pri výbere manipulátora treba prihliadať na nosnosť manipulátora. Je potrebné, aby pri výbere manipulátora bol kladený dôraz na momenty zotrvačnosti a gravitačnú silu. Tieto faktory silne ovplyvňujú koncový bod manipulátora. Konečná nosnosť manipulátora najviac závisí na akcelerácii a krutiaceho momentu manipulátora [47]. Nosnosť rozdelím na nosnosť na konci 6. osi a nosnosť na 3. osi robota. Do nosnosti 6. osi patrí:

- Hmotnosť výrobku (viz. tabuľka 2.5)
- Hmotnosť nástroja (chapaďla). Odhadom stanovená na 30 kg

Hmotnosť prídavných zariadení na 3. osi som predbežne stanovil na 30kg. Z tabuľky môžeme vidieť, že najťažšia rúra (DN 160 5000 SN8) váži 13.76 kg a jej momenty zotrvačnosti (viz. 2.10) sú $I_x, I_y = 29.808 \text{kgm}^2$ a $I_z = 0.083 \text{kgm}^2$. Treba odhadom stanoviť rozmery a hmotnosť nástroja. Nástroj bude tvarom kváder vyhotovený z hliníčkovej zliatiny o šírke 300 mm, výške 20 mm a dĺžke 1000 mm a váhe s prídavnými komponentami 30 kg (váha samotného kvádra je 16.4 kg). Jeho momenty sú $I_h = 2.725 \text{kgm}^2$, $I_w = 2.725 \text{kgm}^2$, $I_d = 2.725 \text{kgm}^2$. Tieto momenty sčítame a dostaneme medzné hodnoty, pre ktoré musí byť manipulátor stavaný. Samozrejme ako človek v pozícii návrhára,

Typ	Hodnota [kgm^2]
$I_x + I_h$	32.533
$I_y + I_w$	32.309
$I_z + I_d$	0.1056

Tabuľka 3.3: Celkové momenty zotrvačnosti rúry DN 160 SN8 a nástroju

počítam s možnosťou, že váha rúry sa môže zväčšiť, tým by sa zväčšil jej celkový moment zotrvačnosti. Preto je potrebné aby manipulátor mal kapacitu na jednotlivých momentoch aspoň 60 kgm^2 .

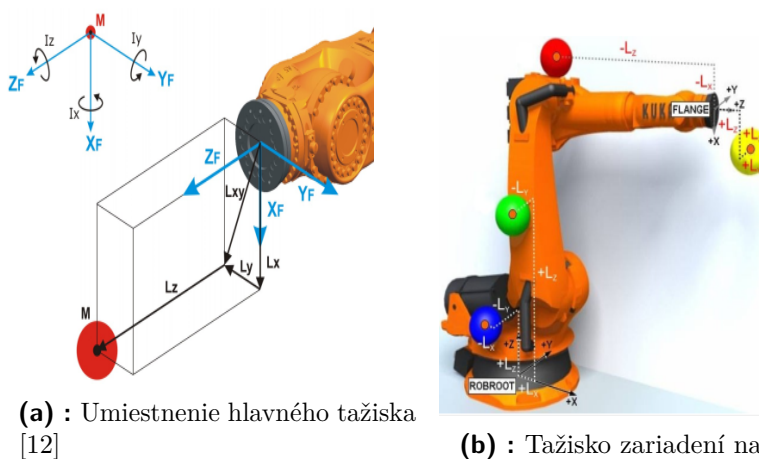
3.2.5 Výber manipulátora

Po zvážení všetkých spomínaných aspektov som vybral manipulátor typu KUKA KR 150-2 kontrolovaný riadacou jednotkou KR C2. Nasledujúca tabuľka uvádza porovnanie požadovaných a manipulátorom ponúkaných technických parametrov. Všetky nasledujúce parametre som získal zo zdrojov: [31], [7], [45].

Typ parametru	Dimenzovaná hodnota	Manipulátor
Moment zotrvačnosti $I_x + I_h$	32.533 kgm^2	75 kgm^2
Moment zotrvačnosti $I_y + I_w$	32.309 kgm^2	75 kgm^2
Moment zotrvačnosti $I_z + I_d$	0.1056 kgm^2	75 kgm^2
Šírka rezu prac. obálky	min. 1550 mm	1875 mm
Požadovaná výška prac. obálky	min. 2500 mm	min. 3100 mm
Rýchlosť 6. osy	90 °/s	238°/s

Tabuľka 3.4: Porovnanie nadimenzovaných parametrov s parametrami udávanými výrobcom

Výrobca odporúča použiť jeho voľne dostupný software (KUKA Load) pre kontrolu momentov zotrvačnosti a celkové zaťaženie robota, či už statické alebo dynamické. Do tejto kontroly zakomponujem medzné momenty spomínané v predchádzajúcej kapitole spolu s váhou výrobku a nástroja. Je potreba do týchto údajov zakomponovať aj váhu zariadení na 3. osi robota spolu s váhou energetického nosiča. Váhu energetického nosiča predbežne stanovím na 20 kg. Umiestnenie hlavného ťažiska stanovím pomocou obrázku 3.12 ako polovica priemeru rúry plus výška nástroja. Uvediem hlavné výsledky kontroli.

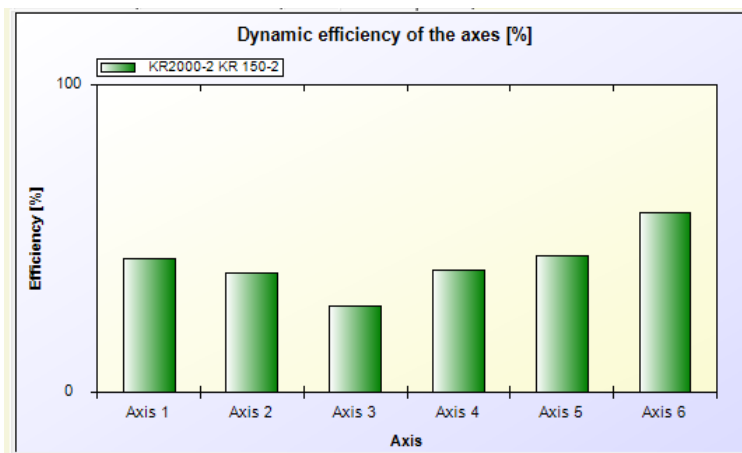


Obrázok 3.12: Poloha ťažísk

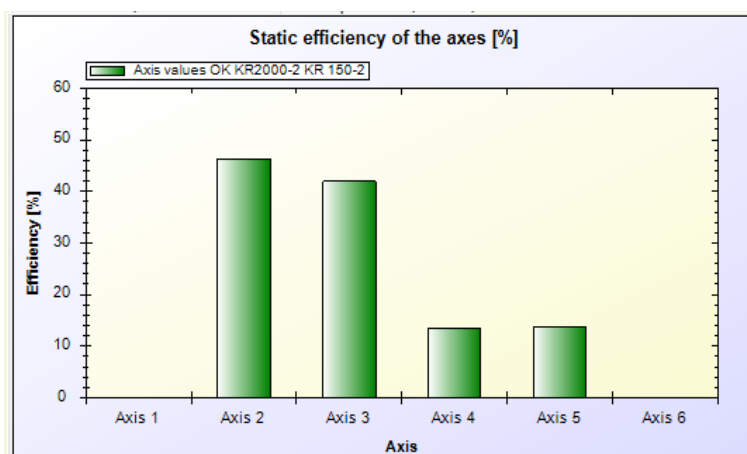
Parameter	Parameter v programe	Hodnota
$I_x + I_h$	I_x	32.533 kgm^2
$I_y + I_w$	I_z	32.309 kgm^2
$I_z + I_d$	I_y	0.1056 kgm^2
Hmotnosť rúry a nástroja	<i>Mass</i>	33.76 <i>kg</i>
Poloha	L_x	0 <i>mm</i>
Poloha	L_y	0 <i>mm</i>
Poloha	L_z	150 <i>mm</i>
Hmotnosť z. na 3. osi	<i>Mass</i>	30 <i>kg</i>
Poloha	L_x	-273 <i>mm</i>
Poloha	L_y	94 <i>mm</i>
Poloha	L_z	-1349 <i>mm</i>
Hmotnosť energetického nosiča	<i>Mass</i>	30 <i>kg</i>

Tabuľka 3.5: Hodnoty zadané do výpočtu

V prvom stĺpci tabuľky 3.5 sú parametre, ku ktorým som dospel pri dimenzovaní. V druhom stĺpci tabuľky sú označenia polí vo vyššie spomínanom programe, do ktorých boli vložené údaje z tretieho stĺpca tabuľky. Obrázok 3.13 zobrazuje dynamické namáhanie jednotlivých ôs robota pri danej záťaži. Obrázok 3.14 popisuje statické namáhanie, čiže namáhanie manipulátora v dobe, kedy je v nečinnosti pri danej záťaži.



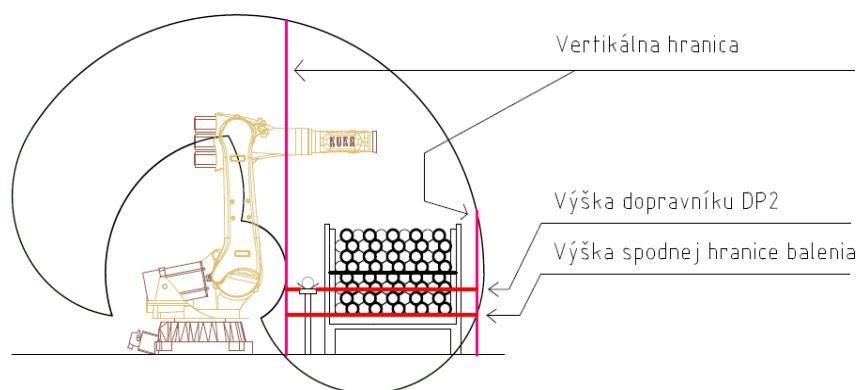
Obrázok 3.13: Dynamické zaťaženie jednotlivých osí [12]



Obrázok 3.14: Statické zaťaženie jednotlivých osí [12]

3.2.6 Umiestnenie a poloha

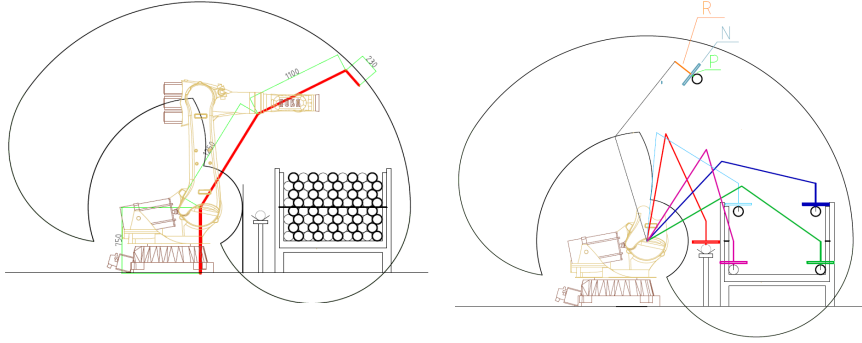
Keďže pracovný priestor manipulátora spĺňa požiadavky, bolo potrebné pokúsiť sa objekty, čo najefektívnejšie rozmiestniť v rámci daných možností. Jedným z daných parametrov bola výška dopravníka DP1 (pripevnený na hrdlovacom automate). Na základe tohoto faktu museli byť aj DP1.5 a DP2 v rovnakej výške (600 mm). Ďalším faktorom bola výška vozíka pre balenie rúr. Požiadavkou zadávateľa bolo zanechanie výšky vozíka a vozíka samotného (typizovaný rozmer v rámci továrne). Zanechanie výšky vozíka sa odrazí vo výške spodku prvého radu rúr. Táto výška má hodnotu 365 mm.



Obrázok 3.15: Medze pre hýbanie

Obrázok 3.15 zobrazuje hladinu po ktorej môžeme hýbať s dopravníkom, čiže jeho výšku, a hladinu, po ktorej sa môže hýbať s umiestnením paletovacieho vozíka. Pre danú úlohu som si spočítal manipulovateľnosť. Manipulovateľnosť

môžeme obmedziť na 3. osi manipulátora, ktoré najviac zohrávajú úlohu. Na obrázku 3.16 vidíme 1. rameno manipulátora o veľkosti 1250 mm, 2. rameno o veľkosti 1100 mm a 3. rameno o veľkosti 230 mm. Nepočítam s prvým otočným ramenom manipulátora. Označenie ramien začínam od druhej osy manipulátora.



(a) : Zjednodušený manipulátor

(b) : Jednotlivé polohy

Obrázok 3.16: Prispôsobenie manipulátora pre výpočet

Na obrázku 3.16 vidíme jednotlivé polohy, ktoré súvisia s manipulovateľnosťou. Značka P označuje dĺžku vákuovej prísavky, N označuje nástroj a R označuje 3. rameno robota. Tretie rameno robota bude pri paletizácii vždy v zvslej polohe, čo sa prejaví v tom, že jeho súradnica x bude zhodná s so súradnicou x rúry. Pre koncový bod manipulátora platí (koniec druhého ramena):

$$X = P_x + R_1 \cos(\theta_1) + R_2 \cos(\theta_2 + \theta_1) \quad (3.2)$$

$$Y = P_y + R_1 \sin(\theta_1) + R_2 \sin(\theta_2 + \theta_1) - R_3 - \frac{DN}{2} - P - N \quad (3.3)$$

Kde X, Y sú súradnice stredu rúry. P_x, P_y sú súradnice stredu otáčania prvého ramena, R_1, R_2, R_3 sú dĺžky ramien 1, 2 a 3. θ_1, θ_2 sú uhly, ktoré zoviera rameno 1 a 2. DN označuje priemer rúry.

Rovnice 3.2 a 3.3 popisujú základnú rovnicu pre dosiahnutie tretieho ramena.

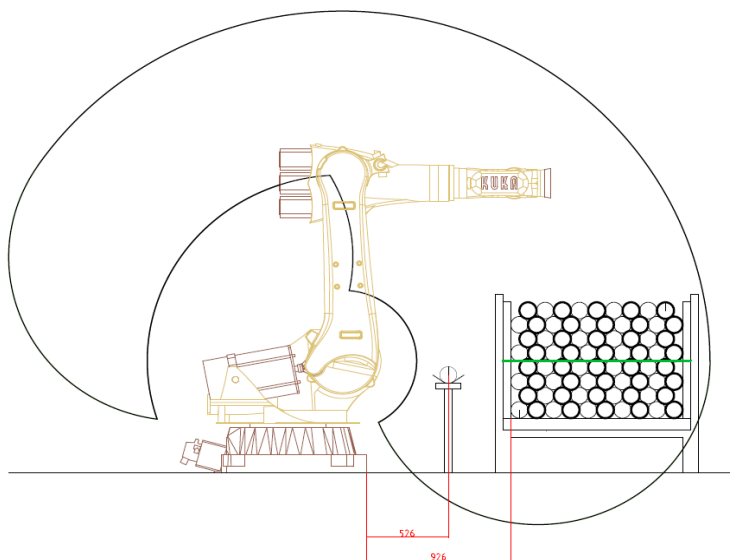
$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial X}{\partial \theta_1} & \frac{\partial X}{\partial \theta_2} \\ \frac{\partial Y}{\partial \theta_1} & \frac{\partial Y}{\partial \theta_2} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$J = \begin{bmatrix} R_1 \sin(\theta_1) - R_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) & -R_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ R_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) & R_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$D = \frac{1}{\text{cond}(J)} \quad (3.6)$$

Na základe grafu manipulovateľnosti (príloha, dodatok C, ??) som zvolil umiestnenie palety a dopravníkového pásu. Musím poznamenať, že toto rozmiestnenie je závislé na hodnotách manipulovateľnosti a hlavne na technologických požiadavkách jednotlivých objektov a požiadavkách zákazníka. V grafe (príloha, dodatok C) sú vyznačené dva body. Prvý bod zľava, je

bod na vrchu rúry stojacej na dopravníku. Bod sprava je bod ležiaci na rúre v palete, ktorá je prvá v rade a rad je posledný. Najpodstatnejšie údaje z týchto bodov sú x-ové súradnice. Tieto súradnice sú však vzhľadom k stredu otáčania prvého ramena. Tieto vzdialenosti som transformoval na vzdialenosti vzhľadom k základni robota. Vyznačené sú na obrázku 3.17. Pri inštalovaní robota na miesto som sa riadil pokynmi [44].



Obrázok 3.17: Konečné umiestnenie dopravníka a palety vzhľadom k manipulátorovi

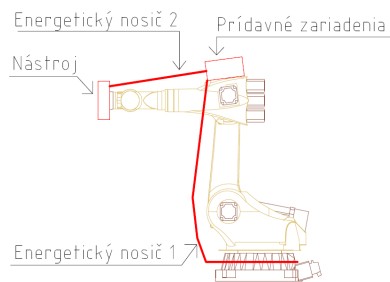
3.3 Nástroj

Všeobecne priemyselný manipulátor je len vykonávateľ pohybov. Na to, aby mohol niečo zdvihnúť, prilepiť, nanášať potrebuje nástroj. V mojom prípade musí byť nástroj vhodný na uchopovanie rúr. Na to, aby nástroj na šiestej osi manipulátora bol schopný pracovať, bolo potrebné koncepčne navrhnuť a následne vyhotoviť modul pripevnený na 3. osi manipulátora. Medzi 1. a 3. osou robota vytvoriť energetický nosič ktorý energeticky zásobuje modul na 3. osi robota a energetický modul medzi 3. osou a nástrojom, ktorý zásobuje nástroj.

3.3.1 Požiadavky

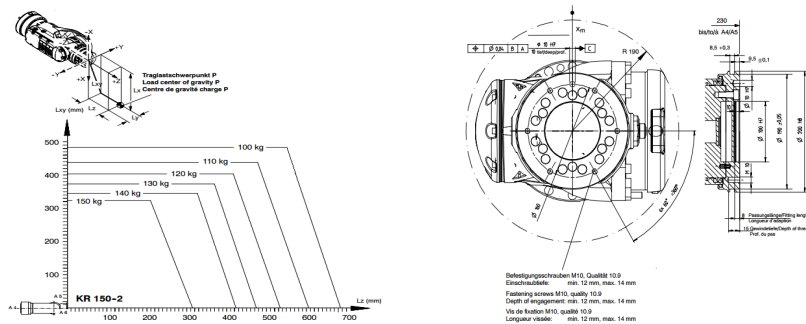
Keďže nástroj musí byť vhodný na proces paletizácie, bolo potrebné dodržať požiadavky:

- Tvar nástroja, vyhotovenie nástroja a celková váha nástroja. Bolo potrebné aby váha nástroja bola čo najnižšia a ťažisko rúry čo najbližšie k 6. osi robota viz. 3.19.



Obrázok 3.18: Princiálne umiestnenie objektov

- Vybrať vhodný spôsob ako uchopiť rúru. Spôsob, ktorý bude z dlhodobého hľadiska a hľadiska množstva cyklov čo najekonomickejší.
- Zvoliť správny pomer medzi vstupnou investíciou a odhadovanou životnosťou nástroja a jednotlivých komponentov.
- Koncept riešiť tak, aby bol vhodný pre všetky typy rúr.
- Ideálnou formou nástroja je nástroj nárazuvzdorný a odolný voči všetkým predvídateľným alebo nepredvídateľným vplyvom.
- Vytvoriť pomocou prídavných zariadení účinný nástroj pre kontrolu jednotlivých polôh rúry v palete.



(a) : Diagram nosnosti [9]

(b) : Miesto uchytenia nástroja [9]

Obrázok 3.19: 6. osa manipulátora

3.3.2 Tvar a koncept

- Tvar. Vzhľadom na tvar rúr, som zvolil kváder o dĺžke 1000 mm, šírke 300 mm, a hrúbke 20 mm. Vyhodenie je z hliníkovej ocele. Najlepší kompromis vzhľadom k váhe a pevnosti nástroja. Dĺžka sa odvíja od najmenej paletizovanej rúry.
- Uchopenie. Technológia, ktorou nástroj udrží rúru je na celom nástroji najdôležitejšia. Prešiel som všetky varianty týchto technológií. V ideálnom

prípade by uchopenie rúry bolo riešené mechanicky, avšak akékoľvek mechanické držanie rúry si vyžaduje postranné ramená atď. Tie by však pri pokladaní rúr zavádzali a bolo by nutné pustiť rúru z väčšej výšky ako je jej samotný priemer. Preto ako riešenie uchopenia som zvolil vákuové prísavky, vďaka ktorým je možné pokladať rúry z minimálnej výšky (výška vzhľadom k danej polohe).

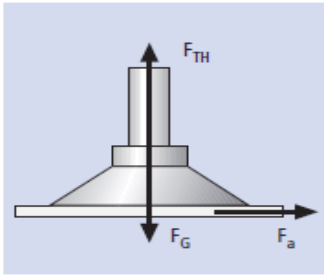
- Systém snímania rozdelím na dva podsystemy. 1. podsystem je snímanie prítomnosti respektíve kontrola prítomnosti rúry počas manipulácie. 2. podsystem je snímanie danej obsadenosti danej polohy. Význam druhého systému v praxi: Manipulátor sa chystá uložiť rúru s poradovým číslom 15 na pozíciu prislúchajúcu danej rúre. Prebehne kontrola pozície. V prípade, že je voľná manipulátor položí rúru na danú pozíciu. V prípade, že 2. podsystem zistí prítomnosť inej rúry, vypočíta si ďalšiu polohu. Proces sa opäť opakuje.
- Systém pre pridržanie rúry. Keďže pri otáčaní rúr (hlavne 3. skupina) naberie rúra moment hybnosti, ktorý sa pri zastavení otáčania prejaví v namáhaní prísaviek, bolo potrebné vyriešiť systém pre elimináciu tohoto momentu hybnosti a tým zvýšiť životnosť prísaviek.

3.3.3 Vákuum

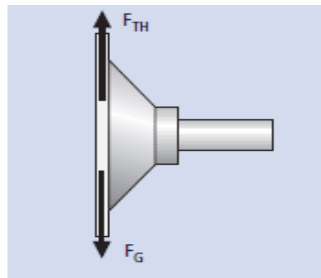
Držanie rúry treba rozdeliť na sacie prísavkym ktoré držia rúru na základe vákua a element, ktorý tvorí toto vákuum. V otázke prísaviek som sa riadil nasledujúcimi požiadavkami:

- Prísavky musia byť vhodné pre veľké a ťažké bremeno. Odolné voči bočnému namáhaniu s dlhou životnosťou.
- Tvar: podlhovastý oválny. Prispôsobné na držanie nerovného povrchu (kruhový povrch rúry).
- Dostatočná nosnosť.
- Keďže spektrum hmotností rúr je široké, mojím cieľom bolo rozdeliť systém držania rúry na viac podsystemov. Úlohou rozdelenia systému je šetrenie energie, a tým aj ekonomickú výhodnosť manipulátora, keďže sila potrebná pre držanie DN 160 5000 SN8 niekoľkokrát prekračuje silu potrebnú pre DN 110 1000 SN4 atď.

Z tabuľky 2.5 vyplýva, že najťažšou rúrou je DN 160 5000 SN8. Táto váha bude pri dimenzovaní nosnosti najpodstatnejšia. Budem predpokladať vyššiu váhu rúry a pre výpočet ju stanovím na 15 kg. Musím však zdôrazniť, že nasledujúce výpočty sú len okrajové, a mnou odhadované hodnoty. Keďže, téma vákua je po téme manipulátora druhá najdôležitejšia, všetky údaje boli konzultované a následne aj navrhované technickým pracovníkom pre vákuové systémy z firmy, ktorá je zastupením firmy SCHMALZ GmbH pre CZ a SK. Tak isto aj nasledujúce parametre a výpočty pochádzajú z [42] a [23].



(a) : Horizontálne [11]



(b) : Vertikálne [11]

Obrázok 3.20: Teoretická sila držania

$$F_{THh} = m\left(g + \frac{a}{\mu}\right)S \quad [N] \quad (3.7)$$

$$F_{THv} = \frac{m}{\mu}(g + a)S \quad [N] \quad (3.8)$$

Rovnica 3.7 ([43]) je výpočet teoretickej sily držania v horizontálnej polohe a rovnica 3.8 ([43]) je výpočet sily vo vertikálnej polohe. Kde F_{TH} je teoretická sila držania, m je hmotnosť držaného objektu, g je gravitačné zrýchlenie, a je zrýchlenie objektu, μ je koeficient trenia, S je bezpečnostný faktor. Dané rovnice vypočítam s nasledujúcimi parametrami: $m=20 \text{ kg}$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, $a = 5$ treba však poznamenať, že údaj zrýchlenia sa týka len doby, kým manipulátor zrýchli na danú rýchlosť, $\mu = 0.5$, odporúčaný bezpečnostný faktor výrobcom je 1.5 a vyššie, počítam s $S=2$. Dané údaje dosadím do rovníc 3.7 a 3.8:

$$F_{THh} = 594.3 \approx 600 \quad [N] \quad (3.9)$$

$$F_{THv} = 888.6 \approx 900 \quad [N] \quad (3.10)$$

$$F_s = \frac{F_{TH}}{n} \quad [N] \quad (3.11)$$

Hodnoty z rovníc 3.9 a 3.10 predstavujú silu, ktorú musí nástroj vyvinúť aby udržal rúru. Na základe vzťahu 3.11, kde n je počet prísavok, dostaneme saciu silu F_s ktorú musí daná prísavka generovať. Samozrejme musím počítať so sacou silou pre vertikálne držanie. Na základe týchto hodnôt boli vybrané sacie prísavky typu SCHMALZ FSGAO 140x65 VU1-72 G1/4-AG. Sacia sila pri -0.6 bar je 225 N čo vyhovuje požiadavkám, objem je 89 cm^3 . Vhodné pre zakrivené povrchy, vyznačujú sa veľmi dlhou životnosťou vďaka svojmu materiálu. V tejto oblasti som vyberal, pokiaľ možno, čo najlepšiu variantu na trhu. Pre porovnanie, porovnateľná prísavka má hodnotu cca. 50 EUR, vybraná prísavka je v hodnote cca. 150 EUR. Dĺžka 145 mm, šírka 65 mm

Pri výbere generátorov vákuua som sa riadil nasledujúcimi požiadavkami:

- Požiadavkou pri výbere generátorov vákuua, aby sa dal systém rozdeliť na podsystémy. To mi dalo rozmedzie z hladiska sacieho výkonu.



(a) : Sacia prísavka SCHMALZ FSGAO [11]

(b) : Generátor vákuua SCHMALZ SCPi [11]

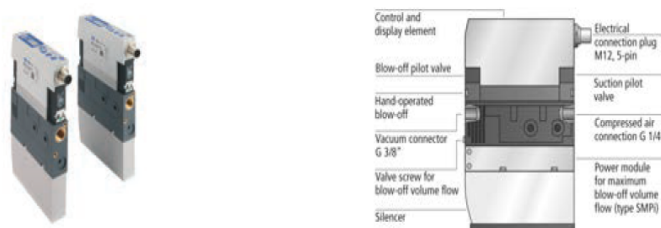
Obrázok 3.21: Teoretická sila držania

- Monitorovanie vákuua. Z hľadiska efektivity môžeme generátory rozdeliť na dve skupiny. Prvá skupina je taká, ktorá tvorí vákuum neustále, znamená to, že neustále spotrebovávajú stlačený vzduch. Táto skupina je lacnejšie, avšak pri svojej činnosti neustále spotrebovávajú stlačený vzduch, a tým sa stávajú ekonomicky nevýhodné. Druhá skupina vákuových generátorov spotrebováva stlačený vzduch len po dobu dosiahnutia prednastaveného vákuua. V pri dosiahnutí tejto hodnoty, prestanú spotrebovávať stlačený vzduch. V prípade, že hodnota vákuua spadne pod nastavenú hodnotu, generátor to zaznamená a spustí proces generovania vákuua a ponechá ho kým stúpne na zadanú hodnotu.
- Spätná väzba. Potreboval som, aby riadiaca skriňa dostala signál od vákuových generátorov o dosiahnutí prednastavenej hodnoty vákuua.
- Rýchle nasatie. Bolo potrebné, aby generátory boli dostatočne rýchle. V tabuľke 3.2 som predpokladal čas nasatia 2 sekundy.
- Generátory musia byť dimenzované na relatívne dlhšie časy manipulácie
- Odpustenie vákuua pomocou blow-off ventilu. To zaručí rýchle pustenie rúry.
- Ovládacie a napájacie napätie 24 VDC.
- Čo najvyššia životnosť.

Keď zvažím, že jedna prísavka má objem 89 cm^3 a rúra, ktorou je prepojený generátor a prísavka, má vnútorný priemer 9 mm a dĺžku odhadnem cca. na 5000 mm, dostanem objem rúry približne 320 cm^3 . Zvolím kombináciu dvoch sacích prísavok a jedného generátora. Z toho vyplýva, že generátor bude spojený jednou rúrou s dvoma prísavkami. Objem tohoto pod systému bude $\pm 500 \text{ cm}^3$. Sací výkon v $[\text{l}/\text{min}]$ generátora je $195 \text{ l}/\text{min}$ (pri stlačenom vzduchu o hodnote 4 až 7 barov). Po prepočítaní sacieho výkonu dostanem hodnotu $3250 \text{ cm}^3/\text{sec}$. Z tohoto údaju vidíme, že vytvorenie vákuua v dvoch prísavkách a prepojovacej rúre prebehne s určitou pod dimenzované 2 sekundy. Treba poznamenať, že sací výkon generátorov je dosť vysoký na zaručenie bezpečnej manipulácie.

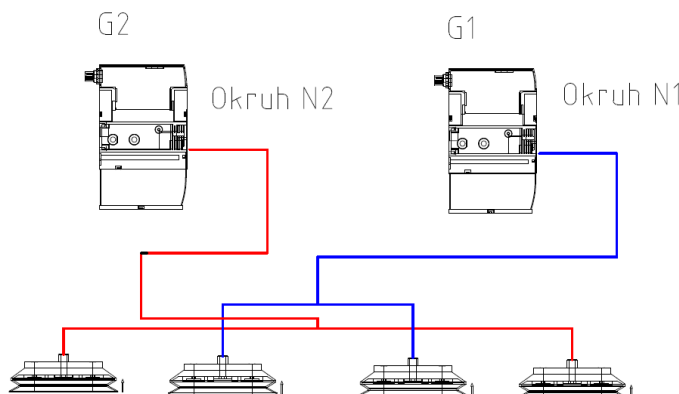
Konečný návrh je teda dva vákuové generátory a štyri prísavky rozdelené na dva podsystémy. Podsystém obsahuje vákuový generátor a dve sacie prísavky. Vákuové generátory typ: SCHMALZ SCPi 25 NO RD M12-5. Jeho výnimočnosťou je monitorovanie vakuu, šetrenie stlačeného vzduchu. Možnosť nastavenia hornej a dolnej hranice hodnoty vakuu. Dolná hranica slúži pre opätovné spustenie vakuu a šetrenie spúšťacieho ventilu pre generovanie (V prípade, že by nebola spodná a horná hranica, mohlo by sa stať, že spúšťanie generovania by sa dialo s príliš vysokou frekvenciou). Vhodné pre aplikácie vyžadujúce si rýchle uchopenie a pustenie výrobku. Jednoduché nastavenie hodnôt vakuu pomocou integrovaného HMI. Spätná väzba o vytvorení vakuu pri prvotnom uchopení. Sací výkon 195 l/min pri spotrebe stlačeného vzduchu 290 l/min pri tlaku 4 až 7 bar. Opäť som sa snažil v tejto otázke nájsť špičku dostupnú na trhu, pre porovnanie cena vákuových generátorov daného výkonu približne 200 EUR, približná cena vybraného typu približne 600 EUR.

Dané podsystémy som označil ako N1 a N2. Rozloženie prísaviek je prispôbené tak, aby v prípade krátkych a ľahkých rúr bolo možné ovládať len jeden z týchto systémov. Okruh N1 obsahuje generátor s označením G1 a N2 s G2 Prísavky okruhu N1. Zobrazené na obrázku 3.23.



(a) : Generátor SCPi 25 [11]

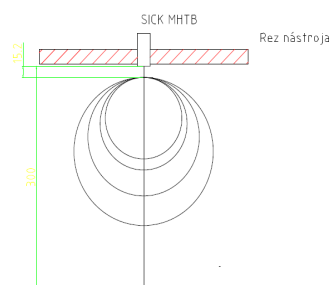
(b) : Popis generátoru [11]

Obrázok 3.22: Vákuové ejektory**Obrázok 3.23:** Zapojenie sacích prísavok

3.3.4 Sensory

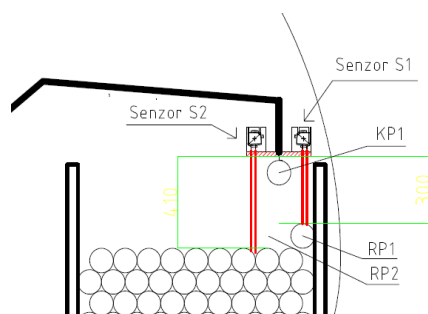
V tejto podsekcii rozoberiem senzory, ktoré prislúchajú nástroju manipulátora. Sensory rozdelím na časť, ktorá sníma prítomnosť rúry v nástroji počas manipulácie a na časť, ktorá kontroluje obsadenosť polohy pri manipulácii.

- Snímaciu časť, ktorá sa stára o kontrolu prítomnosti rúry počas manipulácie. Jedná sa o foto-elektrický snímač s relatívne krátkym dosahom. Krátky dosah senzoru by mal zaručiť rýchlu detekciu straty rúry. V tomto prípade opäť použijem senzor, ktorý je rozšírený u zákazníka a výborne sa hodí pre túto činnosť. Treba poznamenať, že riziko straty rúry počas manipulácie je veľmi malé vzhľadom na kapacitu a možnosti vákuového systému. Preto tu bol použitý štandardný snímač a nie bezpečnostný snímač. Typ SICK MHTB15-P3367V(3.5). Senzor má nastaviteľnú snímaciu vzdialenosť 3 až 300 mm, ktorá sa ideálne hodí pre túto aplikáciu viz. obrázok 3.24.



Obrázok 3.24: Princíp snímania prítomnosti rúry

- Snímaciu časť, ktorá sa stára o kontrolu danej polohy v palete. V ideálnom prípade by situácia, že vypočítaná poloha danej rúry bude obsadená nemala nastať. V prípade, že by táto situácia nastala, viedlo by to k zničeniu výrobkov a možnému poškodeniu nástroja. V tomto prípade som zvolil vzdialenostný senzor. Princíp snímania je kontrola vzdialenosti medzi nástrojom a danou polohou rúry. Princíp snímania je zobrazený



Obrázok 3.25: Princíp snímania vzdialenosti

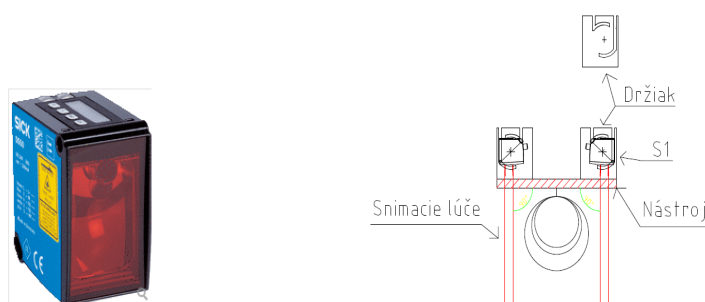
na obrázku 3.25. Vidíme, že senzor S1 nameral menšiu vzdialenosť ako senzor S2. Takto bude manipulátor rozoznávať či daná pozícia je voľná

alebo nie. V ideálnom prípade, by sa toto snímanie prevádzalo pomocou analógového signálu do riadiacej skrine manipulátora, kde by sa následne prepočítal na vhodné dĺžkové jednotky.

- Prvým problémom pri riešení tejto aplikácie bolo to, že riadiaca skriňa robota neobsahuje analógový modul na prevod analógového signálu zo senzoru. Preto som musel hľadať spôsob ako obísť túto možnosť. Najlepšou voľbou sa zdali byť senzory, ktoré obsahujú okrem analógových výstupov aj jeden releový výstup. Tento výstup sa aktivuje v prípade, že sa dosiahne hodnota vzdialenosti. Hodnota vzdialenosti sa nastavuje ručne pomocou rozhrania na senzore. Táto hodnota musí byť nastavená tak aby sa zhodovala s nastaveniami výšky snímacej polohy v programe manipulátora. Riešenie pomocou reléovej logiky mení prístup tohoto procesu k meraniu. Pokúsim sa opísať situáciu následovne. Manipulátor drží rúru s poradovým číslom 15. K rúre s poradovým číslom 15 si vypočíta jej polohu v palete (poloha RP1) a jej polohu, pri ktorej bude vykonaná kontrola polohy rúry (poloha KP1). Kontrolná poloha musí byť vyššie (smer osi z) a musí byť ďalej v smere von z pracovného priestoru (smer osy x). V polohe KP1 senzor S1 odmerá vzdialenosť medzi nástrojom a polohou RP1. Senzor S1 je nastavený, tak aby spínal výstup, keď nameraná hodnota je menšia ako 350 mm. V prípade, že by táto hodnota vyššia výstup ostane nezopnutý. Ak výstup senzoru je v polohe KP1 je zopnutý znamená to pre manipulátor, že poloha RP1 je obsadená a vypočíta si novú polohu a to RP2 a k nej prislúchajúcu kontrolnu pozíciu. Uvedené vzdialenosti sú len orientačné a uvedené kvôli lepšiemu pochopeniu funkcie.
- Bolo nutné použiť dva senzory jedného typu, keďže pri otáčaní rúry sa otáča aj nástroj. Funkcia sa nemení, akurát sa striedavo používa buď senzor S1, alebo senzor S2. Sensory sa nepoužívajú pri meraní súčasne.
- Pre túto aplikáciu sa hodí senzor typu SICK DS40-N21211, ktorý má jeden digitálny výstup na spínanie prednastavenej vzdialenosti. Rozsah merania 80 až 5000 mm, avšak v danej továrni boli na sklade dva snímače typu SICK DT50-P1123. Tento typ má analógové výstupy a jeden digitálny výstup. Jeho pracovné rozpätie je 200 až 20000 mm. Je fakt, že nie je úplne ideálny pre aplikáciu, avšak po konzultácii a odobrení technickým poradcom firmy SICK SK som sa rozhodol použiť ho a tým znížiť náklady na projekt. Musím poznamenať, že daná konfigurácia spĺňa vyššie popísanú funkčnosť kontroly pozície. Všetky technické informácie sú z [3], [2], [40]

■ 3.3.5 Pneumatika

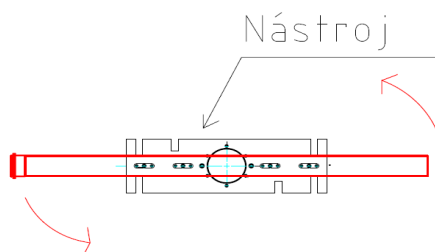
Keďže prídružný systém drží rúru dostatočnou silou, nebolo potrebné riešiť prídavné podporné systémy pre držanie rúry. V prípade, že rúru je potrebné pri manipulácii ototčiť naberá, pri otáčaní uhlovú rýchlosť, tým pádom aj moment hybnosti. Pri zastavení otáčania rúra má tendenciu sa točiť (viz.



(a) : SICK DT50-P1123 [18] (b) : Umiestnenie senzoru na nástroji

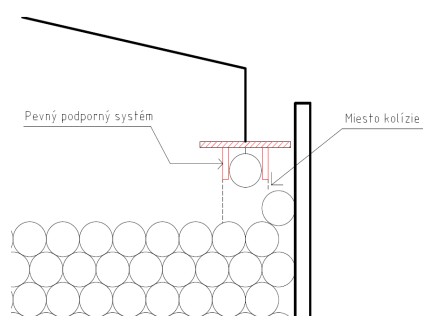
Obrázok 3.26: Vyhotovenie kontrolnej časti snímania

3.27) čo je spôsobené momentom hybnosti a momentom zotrvačnosti rúry. Treba však poznamenať, že pri rúrach dĺžky 1000, 2000 mm tento prípad je relatívne zanedbateľný. Pri dĺžkach 3000, 5000 je tento problém však väčší, avšak uhlová rýchlosť je veľmi malá. Preto bolo potrebné vymyslieť podporný systém na elimináciu tohoto problému. Jedná sa však len o podporný systém, ktorý má zmierniť namáhanie bočných stien sacích prísavok.



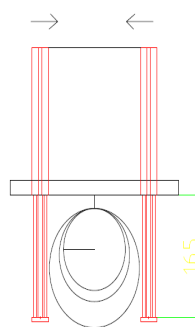
Obrázok 3.27: Snaha rúry o pohyb

- V ideálnom prípade by sa tento problém, dal riešiť pevnými zábranami, ktoré by dokázali plne čeliť a eliminovať problém. Toto riešenie nie je možné, keďže rúry pri paletizácii su v tesnej blízkosti a tieto zábrany by prekážali viz. 3.28.
- Keďže prípad kolízie mi nedovoľoval použiť pevné zábrany, zvolil som zábrany, ktoré by sa mohli vysunúť a pri pokladaní zasunúť. Ideálny prostriedok ako vyriešiť zasúvanie a vysúvanie je pohon pomocou pneumatických valcov. V prípade, že pneumatický valec je vyhotovený tak, že hlavný piest je pohonom bočných podporných vedení, mohli by byť pneumatické valce vykonávateľom pohonu a zároveň zábranou.



Obrázok 3.28: Zobrazenie kolízie zábrany pri pokladaní

- Je potrebné, aby sa valce prestavovali pri rôznych priemeroch rúr. Nástroj je prispôsobený tak aby valce zasadli na správne miesto v prípade, že sa bude jednať o jeden z troch rozmerov rúr viz. 3.26 b.
- Mojou výziou bolo vytvorenie nástroja, ktorý bude vhodný pre všetky priemery a dĺžky rúr. V tomto bode sa mi nepodarilo navrhnuť podporný systém, ktorý by bol vhodný pre všetky typy rúr, avšak priemer vyrábanej rúry sa mení s frekvenciou cca raz za 3 týždne.
- Samozrejme tento problém by sa dal vyriešiť efektívnejšie, avšak nastal by tu veľký nepomer investícia/význam. Z tohoto dôvodu boli použité valce typu NXDA 16/160 [25]. Priemer valca je 16 mm a výšuv je 160 mm. Ovládané pomocou solenoidového (24 VDC) ventilu, riadeného z riadiacej jednotky manipulátoru.



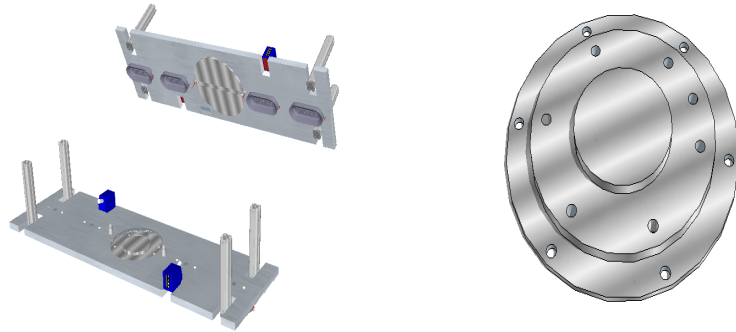
(a) : Valec s postranným vedením [4] **(b)** : Umiestnenie valcov na nástroji

Obrázok 3.29: Vyhotovenie podporného systému

3.3.6 Vyhotovenie

Po zvážení všetkých faktov uvádzaných v predchádzajúcich sekciách, som vytvoril tvar nástroja ktorý je zobrazený na obrázku 3.31, 3.30. Vidíme tam

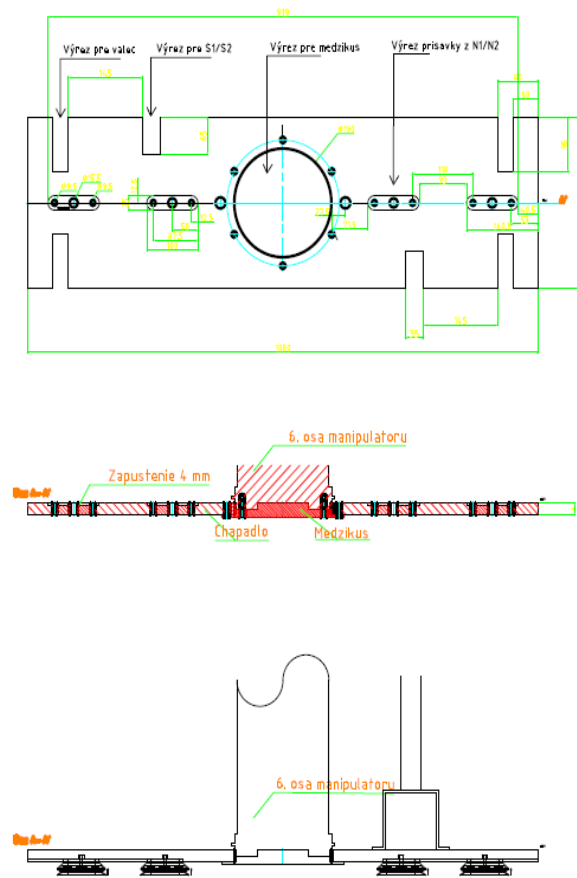
prispôsobené výrezy pre dané komponenty. Rozmiestnenie sacích prísaviek je prispôsobené každej dĺžke rúr.



(a) : Nástroj

(b) : Medzikus

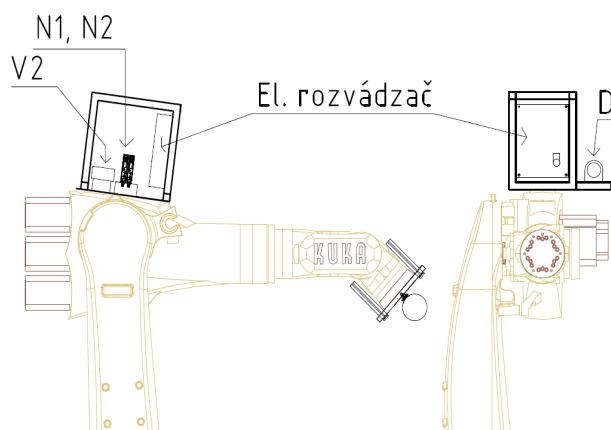
Obrázok 3.30: Vyhotovenie nástroja



Obrázok 3.31: Tvar a vypracovanie nástroja

- Bolo potreba zvážiť umiestnenie vákuových generátorov a ovládacieho ventilu zábran. N1 a N2 je možné umiestniť priamo na nástroj manipulatoru alebo do modulu na 3. ose manipulatoru. V prípade, že by boli umiestnené na nástroji robota tak by boli vystavené vyššiemu riziku poškodenia v prípade kolízie ale efektívnosť tvorby vákuua by sa zvýšila (kratší prepoj medzi N1/ N2 a prísavkami). V prípade, že by boli umiestnené v moduli, boli by chránené voči nárazom a prípadným kolíziám, avšak efektívnosť tvorby vákuua by klesla. Po vykonaní testov a zhodnotení výkonu N1/ N2 a názoru zákazníka, boli generátory umiestnené do modulu na 3. ose.
- Aby nástroj bol funkčný bolo potreba vyhotoviť modul na 3. ose robota. Tento modul som navrhol tak aby mohol obsahovať: solenoidový ventil V2 pre ovládanie výsuvných zábran, vákuové generátory N1 a N2, elektrický rozvádzač, v ktorom sú ovládacie a nájacie časti nástroja.
- Konštrukciu modulu som navrhol tak aby tvorila ochranu komponentov,

ktoré sú v ňom nainštalované. Ochrana je prispôsobená hlavne voči nárazu padajúcej rúry.

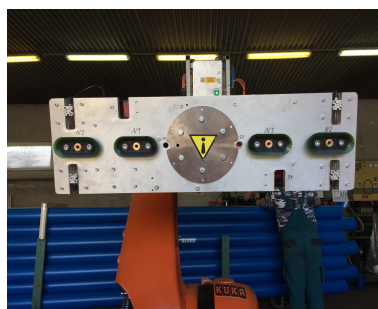


Obrázok 3.32: Ochranný modul

- Keďže na manipulátor boli nainštalované prídavné zariadenia ako je modul a nástroj, bolo potreba tieto jednotky prepojiť s riadiacov jednotkou manipulátoru. Toto prepojenie sa delí na viac častí:
 - Prepojenie z KR C2 do zadnej časti robota. Vodiče sú vedené po podlahe.
 - Vedenie zo zadnej časti robota do modulu. Toto vedenie musí byť spôsobilé pre torzné namáhanie.
 - Vedenie z modulu do nástroja. Toto vedenie je najviac namáhané. Musí byť koncipované tak aby v prípade nepredvídateľných situácií prispôsobilo svoju dĺžku.
- Energetický nosič medzi zadnou časťou robota a modulom, modulom a nástrojom som navrhol podľa firemných katalógov firmy REIKU GmbH [28], [27] a následne boli odobrené technikom firmy zastupujúcej REIKU v CZ. Zoznam mnou vybratých súčiastok je v elektronickej prílohe tejto práce. Dnešným dňom však na manipulátore tieto komponenty nie sú. Sú nahradené v podobnými komponentami s nižšou životnosťou. Dôvodom bola dlhá dodacia doba. V budúcnosti je naplánová výmena týchto je komponentov. Zvolil som dočasné riešenie aby som mohol odskúšať mnou navrhnuté princípy a komponenty na manipulátore.



(a) : Nástroj, pohľad z vrchu

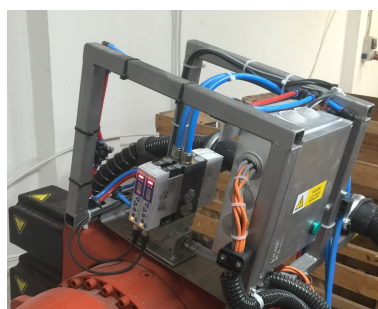


(b) : Nástroj, čelný pohľad

Obrázok 3.33: Vyhotovenie nástroja



(a) : Modul, čelný pohľad



(b) : Modul, bočný pohľad

Obrázok 3.34: Vyhotovenie modulu



Obrázok 3.35: Test nástroja

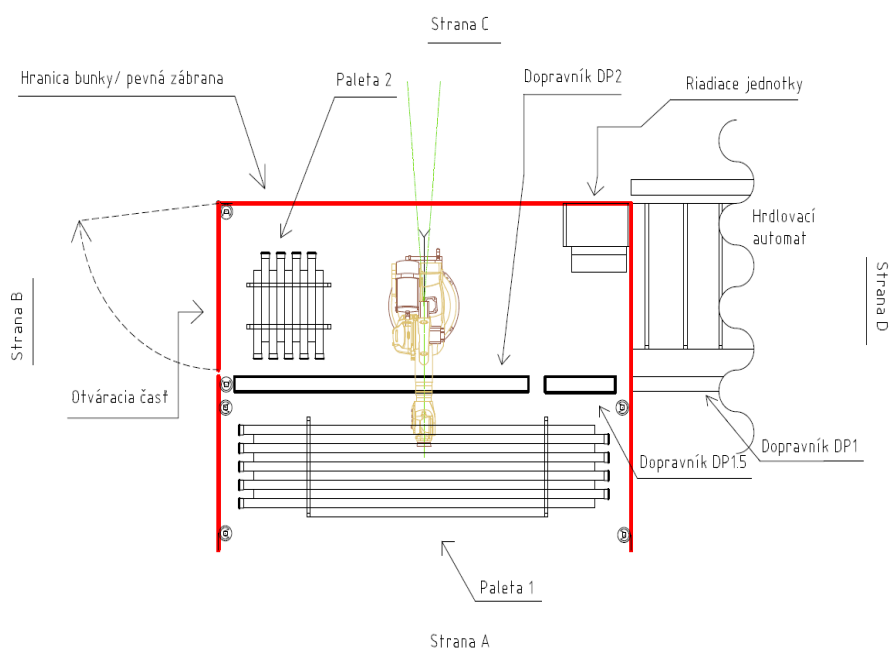
3.4 Robotická bunka

Pri tvorbe robotickej bunky bolo potrebné vyriešiť mnohé otázky a požiadavky.

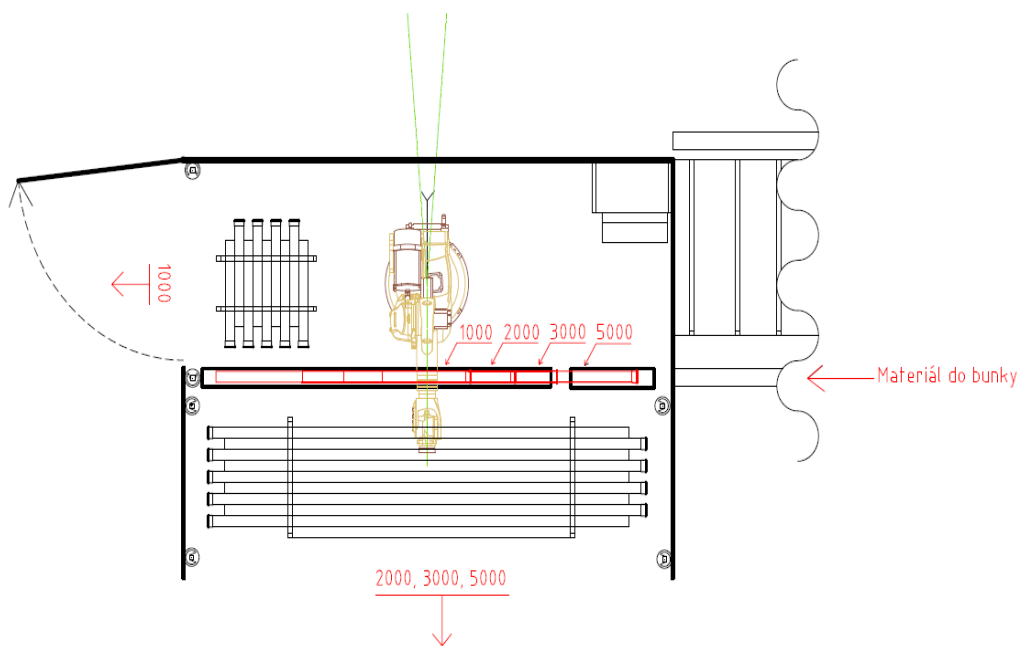
- Požiadavky zákazníka.
- Technologické požiadavky (rozmery jednotlivých komponentov, rozmery výrobkov atď.).
- Prispôbiť robotickú bunku potrebám výroby.
- Navrhnuť styk človeka s robotickou bunkou (obsluha).
- Navrhnuť ochranu človeka pred robotickou bunkou.

Rozmiestnenie palet (balení rúr) a dopravníka je už dané (rozobrané v predchádzajúcich kapitolách). Na základe požiadavky zákazníka je potrebné aby sa zabalené palety (vzhľadom k ich váhe a rozmerom) dali vyberať vysokozdvížným vozíkom. Táto požiadavka mi dáva prvé rysy robotickej bunky. Ďalšou požiadavkou, aby riadiace jednotky nijako nepresahovali robotickú bunku. Čo sa dá vyriešiť tak, že riadiaca jednotka bude na rozhraní bunky. Druhá riadiaca jednotka (dopravníky) bude zavesená na riadiacej jednotke robota. Jednotlivé strany robotickej bunky podľa obrázku 3.36

- Na obrázku 3.36 vidíme rozmiestnenie pevných zábran robotickej bunky. Strana A (viz. 3.36) je otvorená. Je to z dôvodu vyberania palety. Práve v tomto paletovacom vozíku sa balí tretia skupina dĺžok (2000, 3000, 5000). Preto táto strana musí byť spôsobilá na vyberanie palety s rúrami o dĺžke 5000. Keďže otváranie alebo posúvanie brány o celkovej dĺžke skoro 6000 mm nebolo v danej továrni možné, musí ostať tento priestor otvorený.
- Stranu B tvorí zdola pevná zábrana prechádzajúca do otváracej zábrany. Otváracia zábrana slúži pre obsluhu a vyberanie palety 2. skupiny rúr (1000).
- Strana C je po celej dĺžke tvorená pevnou konštrukciou. Na tejto strane je možný prístup do riadiacej jednotky KRC-2 a ku teach- pedantu, nie však do jednotky dopravníkov.
- Strana D je na obrázku uzavretá, čiže ju tvorí pevná zábrana. Táto zábrana môže byť po dĺžke hrdlovacieho automatu vynechaná keďže prístup obmedzuje práve hrdlovací automat, avšak z môjho pohľadu je lepšie ju tam nechať.



Obrázok 3.36: Robotická bunka



Obrázok 3.37: Tok materiálu

3.4.1 Tok materiálu

Tok materiálu je základným faktorom pri návrhu robotického bunky. V mojom prípade prítok materiálu tvorí samotná rúra. V robotického bunky je zabalená.

Odtok materialu z robotickej bunky je, že rúry opušťajú robotickú bunku vo forme palet. Na obrázku 3.37 vidíme, že rúry všetkých rozmerov zastavujú svojím stredom vzhľadom k robotovi. Tento princíp je dôležitý vzhľadom k riešeniu paletizácie vysvetlenom v obrázku 2.10.

- Rúry 3. skupiny sú balené do palety 1. Vyplýva to z tabuľky 2.13. Keďže tieto rúry zastanú stredom k manipulátoru tak rovnaký princíp balenia je aplikovateľný na všetky dĺžky 3. skupiny.
- Rúry 2. skupiny sú balené do palety číslo 2.

3.4.2 Pracovný režim bunky

Robotická bunka má 2 pracovné režimy. Tieto režimy vyplývajú z tabuľky kombinácii výroby 2.13. a to:

- Režim č. 1. Aktívna paleta je paleta č. 1. Tento režim nastane v momente keď, výrobná linka pracuje s kombináciami K1, K2, K3 (pripomínam, že rozmer 500 nie je zakomponovaný do činnosti bunky), K7, K8, K9.
- Režim č. 2. Aktívna je paleta 1 a paleta 2. Tento režim je v prípade, že kombinácie výrobných linky sú K4, K5, K6.

3.4.3 Obsluha bunky

Obsluha a bezpečnosť bunky sú pojmy, ktoré sa navzájom prekrývajú. Začnem s obsluhou bunky, ktorá je nasledovná (začínam od prázdnej palety):

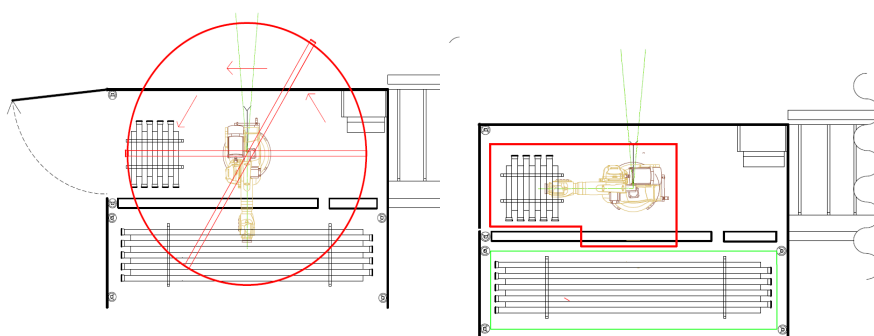
- Príprava palety 1 alebo palety 2. Tento úkon poníma vloženie drevených hranolov do baliacieho vozíka. V tomto úkone je potrebné, aby operátor výroby bol v priestore palety 1 alebo palety 2
- Uviazania prídržného špagátu na paletu 1 alebo paletu 2. Úkon nastáva po zabalení určitého počtu rúr viz. 2.19. Opäť je potrebné aby operátor výroby bol v priestore palety 1 alebo 2
- Vyvezenie palety 1 alebo 2. Úkon si vyžaduje priloženie vrchného dreveného hranola a jeho upevnenie ocelovou páskou. V tomto úkone je potrebné, aby operátor výroby bol v priestore pal. 1 alebo 2. Následne je paleta vyvezená vysokozdvížným vozíkom. Po tomto úkone je potreba vykonať prípravu palety.

Vyššie spomínané úkony sú závislé na sebe, avšak z pohľadu palety 1 a palety 2 sa dejú separátne a nezávisle na sebe. Zavediem označenie týchto úkonov:

V ideálnom prípade, pri každom z týchto úkonov by mal byť manipulátor zabrzdený. Mojm cieľom je, čo sa najviac priblížiť k čo najmenšiemu obmedzeniu paletizácie. Najlepšie by bolo, ak jeden z úkonov $U1.x$ neovplyvnil paletizáciu prebiehajúcu v paletu 2 a naopak. Avšak v tomto prípade musím

Označenie	Paleta [číslo]	Úkon
U1.1	1	príprava palety
U1.2	1	uviazanie špagátu
U1.3	1	vyvezenie palety
U2.1	2	príprava palety
U2.2	2	uviazanie špagátu
U2.3	2	vyvezenie palety

Tabuľka 3.6: Označenie úkonov



(a) : Paletizácia r. 5000

(b) : Paletizácia r. 1000

Obrázok 3.38: Porovnanie rizika pri manipulácii na palety 1 a 2

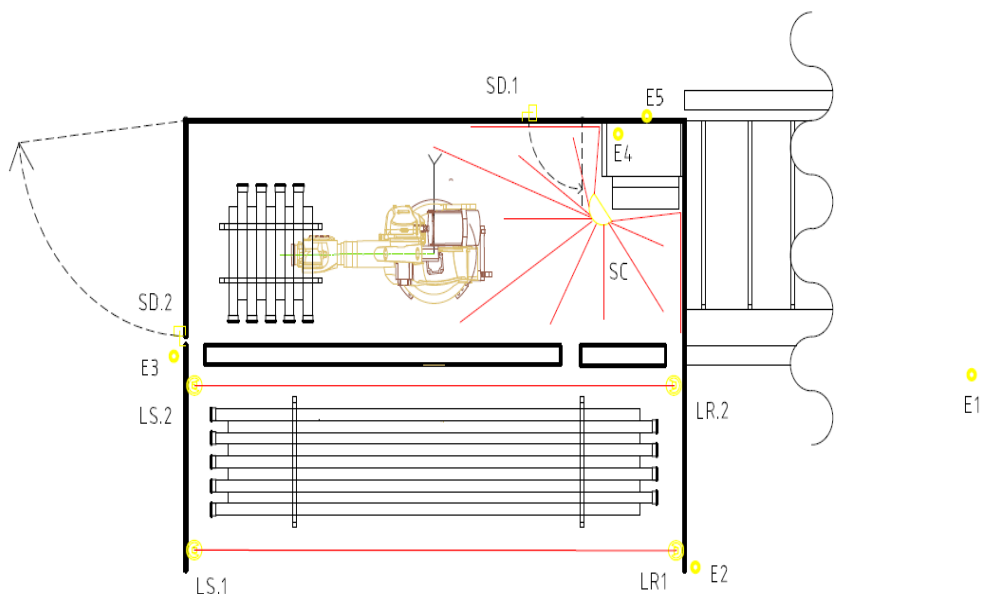
zvážiť riziko spojené s otáčaním rúr, ktoré v najdlhšej variante majú 5000 mm.

Ako je možné vidieť na obrázku 3.38 a, dráha otáčania rúry o dĺžke 5000 (počítame s najdlhšou variantou) zasahuje aj do oblasti palety 2. Na základe tohoto usudzujem, že pri úkonoch U2.1, U2.2 a U2.3 musí byť robotická bunka odstavená z dôvodu bezpečnosti operátorov, ktorí by sa mohli nachádzať pri vykonávaní úkonov (U2.1, U2.2 a U2.3) pod dráhou rúry skupiny 3. Tento faktor ovplyvnil aj rozhodnutie dať pre paletu 2 otváraciu bránu, aby nedošlo k situácii, že svetelné zábrany nebudu detekovať objekt ale človek bude v priestore palety 2. Naproti tomu pri úkonoch U1.1, U1.2 a U1.3 (obrázok 3.38 b) oblasť palety 2 ostáva relatívne nenarušená. Priestor potrebný pre manipuláciu s dĺžkou rúry 1000 mm nezasahuje do priestoru palety 1. Otáčanie rúry 1000 nemusí byť vykonávané tak, aby rúra bola vo vertikálnej pozícii. Preto pri úkonoch U1.1, U1.2 a U1.3 manipulátor nebude odstavený ale bude pokračovať v manipulácii len s rúrami o rozmere 1000. Samozrejmosťou je zabezpečenie toho, aby sa manipulátor nedostal do oblasti palety 1 a taktiež rýchlosti jednotlivých pohybov budú redukované.

3.4.4 Bezpečnosť

Keďže manipulátor má nosnosť 150 kg, váha je 1245 kg (samotný manipulátor) a pri týchto podmienkach dokáže prvé rameno vyvinúť moment o hodnote 45000 Nm bolo potrebné nepodceňovať otázku bezpečnosti.

- Základným prvkom je robotická bunka sama a jej koncepčné riešenie. Problémom pri tejto aplikácii bola dĺžka rúr a ich otáčanie. Pri 2. skupine rúr tento problém je priam zanedbateľný. Pri tretej skupine rúr však je tento problém rozsiahlejší. Avšak pri pohľade na obrázok 3.38 je vidieť, že hranice bunky boli koncipované tak, aby rúry 2000, 3000, 5000 v prípade nepredvídateľných okolností nepadli pod výškovú úroveň bunky. Zo strany A, B a D sa o to stará šírka bunky ktorá presahuje rozmery rúry. Zo strany C však rúra pri páde narazí na pevnú stenu bunky a tým nepadne pod úroveň 2000 mm nad úroveň podlahy. Treba však poznamenať že pohyb otáčania v prípade 3. skupiny rúry vykonávaných vo veľmi malých rýchlostiach. Tým môžeme tieto pády relatívne považovať za voľné pády. Pády pri ostatných pohyboch ostávajú v priestore bunky, a tým ich môžeme považovať za bezpečné.
- Ďalším prvkom bezpečnosti sú systémy vyvinuté pre túto úlohu. Základným delením týchto zariadení je rozdelenie a prienik dvoch noriem. Dané normy a rozdelenia citujem z ([24]). Veľmi okrajové rozdelenie:
 - Norma IEC 61496, ktorá klasifikuje štandardy pre opto-elektronické zabezpečovacie prístroje Pre túto úlohu podstatné: typ 2, 3, 4.
 - Norma EN ISO 13849-1, ktorá definuje výkonnostnú úroveň a požiadavky pre bezpečnostnú funkciu. Pre túto úlohu podstatné: level C, D, E.
 - 2C nižšia úroveň ochrany, 4E vyššia úroveň ochrany.
- Rozdelenie podľa miesta a rozsahu ochrany. Uvediem podstatné typy pre túto aplikáciu:
 - Jednostranná ochrana prístupu pred osobou
 - Jednostranná ochrana prístupu pred osobou/ rukou
 - Jednostranná ochrana prístupu pred rukou/ prstom
 - Ochrana prístupu osoby do stacionárneho priestoru.
- Ďalším prvkom bezpečnosti sú systémy vyvinuté pre túto úlohu:
 - Núdzové vypínače. Budem používať označenie E-stop
 - Svetelné brány a ich bezpečnostné relé. Typ 2 c a 4 e
 - Laserové skenery a ich bezpečnostné relé. Typ 3 d
 - Monitorovacie spínače dverí.

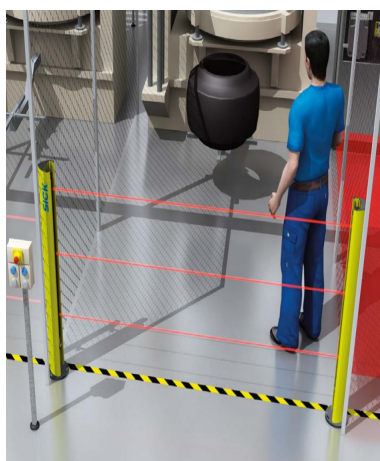


Obrázok 3.39: Bezpečnostné prvky bunky

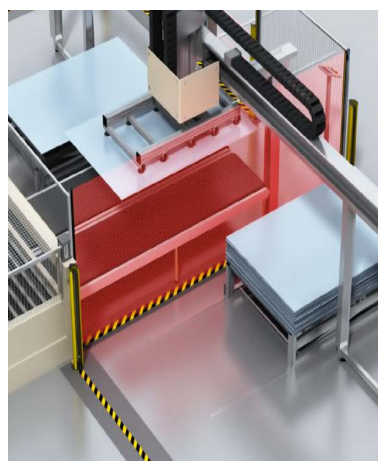
- Kde E1 až E4 sú núdzové vypínače. Typ SIEMENS 3SU1100-1HB20-1CH0. E5 je zabudovaný v teach-pedantu robota
- Pár LS1 a LR1 (LS je vysielač. LR prijímač). Typ SICK M40S-034010AR0 a M40E-034010IR0 (M4000) [8]. Tri svetelné nosníky (lúče) separované 400 mm od seba, stojan PU3H11-00000000 pre vysielač a prijímač, typ 4, level E, vzdialenosť od seba 0 až 70000 mm, jednostranná ochrana prístupu pred osobou. Vysoký typ ochrany z dôvodu častého pohybu ľudí. Nižší počet lúčov z dôvodu snímania prístupu osoby. Priestor snímania je až na okraji pracovného priestoru manipulátora. Princíp svetelných zábran je zobrazený na obrázku 3.40.
- Pár LS2 a LR2. Typ SICK C20S-150103A12 a C20E-150303A12 [26]. 80 svetelných nosníkov (lúčov). Stojan PU3H11-00000000 pre vysielač a prijímač. Výška chráneného priestoru je 1500 mm. Rozlíšenie 30 mm. Vzdialenosť od seba 0 až 6000mm. Jednostranná ochrana prístupu pred rukou/ prstom. Typ 2 level C. Tento typ už bol u zákazníka. Vyhovuje svojim rozlíšením a počtom lúčov. Sú k dispozícii stojany. Nižšia úroveň ochrany je vyhovujúca, z dôvodu, že v tomto priestore sa človek pri ukončení U1.1, U1.2, U1.3 zdržuje len minimálne. V prípade, že sa vyskytuje, je potrebné zaručiť, aby chránená area bola snímaná v dostatočnom rozlíšení. Princíp svetelných zábran je zobrazený na obrázku 3.40.
- Označenie SC je bezpečnostný laserový skener. Typ SICK S30-B3011BA. Uhol snímania je 270 stupňov. Dosah ochranej zóny je 3000 mm. Počet chránených plôch je maximálne 3. Rozlíšenie je konfigurovateľné. Táto

voľba sa nestretla s pozitívnou reakciou zákazníka, keďže význam tohoto skenera je ochrana priestoru okolo riadiacej jednotky. Prístup k tomuto priestoru vedie cez dvere chránené jednotkou SD.1. A v neposlednom rade je to veľký nepomer investície/ užitočnosti. Uďávam ho ako možnosť v ideálnych podmienkach. To platí aj o priestore v okolí palety 2 kde je opäť prístup chránený dvermi a jednotkou SD.2.

- SD.1 a SD.2 sú bezpečnostné spínače, ktoré majú za úlohu monitorovať dvere. Typ jednotky: SICK i12-SB213. Typ 2, 2 NC kontakty pre monitorovanie externou jednotkou. Princíp je ten, že na kraj dverí sa nainštaluje aktuátor. Po zatvorení dverí aktuátor zapadne do hlavnej jednotky. Tým sa spoja kontakty, ktoré ďalej vedú do externej monitorovacej jednotky. SD1 a SD2 budú zapojené do I/O jednotky manipulátora.



(a) : Sick M4000 [20]



(b) : Sick C2000 [20]

Obrázok 3.40: Bezpečnostné svetelné zábrany

3.4.5 Elektrické rozvádzače

Keďže moja pozícia mi nedovoľuje navrhovať a vyhotovovať elektrické zariadenia daného typu tak, aby boli použiteľné v reálnej praxi (absencia oficiálnej kvalifikácie), všetky úkony výkonnostnej časti skríň boli navrhnuté spolu s odborným pracovníkom (s potrebnou kvalifikáciou) zákazníckej firmy. Preto táto práca neobsahuje podrobné elektro-výkresy (taktiež nedisponujem licencovanou verziou použiteľnou pre komerčné účely) a budem uvádzať len moje nápady a návrhy. Mojou úlohou v tomto prípade bolo navrhnúť štruktúry, jednotlivé signály, vybrať hlavné súčiastky a celkovo rozvrhnúť rozvádzače tak aby dokázali spolupracovať a spĺňať požiadavky robotickéj bunky. Elektro-vyhotovenie budem deliť na:

- Rozvádzač manipulátora (KR C2). Nazývať ho budem R1. Všetky informácie ohľadom tejto jednotky pochádzajú z [46], [39], [37], [6], [1].

- Rozvádzač prepravného systému a robotickej bunky. Nazývať ho budem R2.
- Keďže rozvádzač R1 a R2 majú byť umiestnené v robotickej bunke (na požiadanie zákazníka) bolo potrebné vymyslieť ako z nich spraviť jeden modulárny rozvádzač. Riešením bolo zavesenie rozvádzača R2 na rozvádzač R1. Pri tomto úkone museli byť splnené všetky požiadavky a vzdialenosti týkajúce sa chladiaceho systému rozvádzača R1.(viz [46]). Taktiež bola požiadavka na zobrazovanie informácií z R1 na obrazovku. Obrazovku som umiestnil na rozvádzač R1, kde som navrhol ochrannú konštrukciu. Na obrázku 3.41 a môžeme vidieť čelný pohľad na rozvádzač R1. Táto strana rozvádzača bude dostupná z priestoru mimo robotickej bunky.



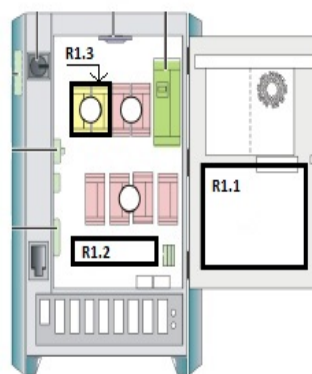
(a) : Čelný pohľad



(b) : Bočný pohľad na rozvádzače

Obrázok 3.41: Modulárny systém rozvádzačov

- Rozvádzač R1 je dodávaný spolu s manipulátorom, a preto bolo potrebné rešpektovať zásady práce s ním. Jeho zloženie vidíme na obrázku 3.42. Rozoberiem časti, ktoré sú pre nás dôležité. Priestor označený ako R1.1 je priestor určený pre inštaláciu prídavných zariadení. Priestor R1.2 je obsadený v závislosti od varianty jednotky KR C2. V tomto prípade sa jedná o štandardné vybavenie jednotky, a preto v tomto mieste je I/O jednotka slúžiaca pre pripojenie vstupov a výstupov do kontroléru. I/O jednotka je v tomto prevedení rozvádzača štandardne dodávaná, obsahuje 16 dig. vstupov a 16 dig. výstupov. I/O jednotka komunikuje s kontrolérom pomocou protokolu DeviceNet. V priestore R1.2 je miesto na uloženie svoriek. Priestor R1.3 je v prípade inej verzie rozvádzača obsadený servo-meničom pre prídavné osi robota. V našom prípade je tento priestor však voľný.



Obrázok 3.42: Riadiaca jednotka KR C2 [10]

- Keďže jednotka I/O obsahuje digitálne vstupy a výstupy, napätie bolo rozdelené na ovládacie a napájacie. Medzi I/O jednotkou a 24 VDC relé je ovládacie napätie a medzi 24 VDC relé a komponentom je napájacie napätie.
- Priestor R1.1 je obsadený zapojením bezpečnostného konektora dodávaného výrobcom, ktorý bolo potrebné podľa konfigurácie poprepájať [1]. Tento konektor obsahuje vstupy pre dvoj-kanálový systém núdzových vypínačov, systém pre monitorovanie dverí na bunke, a konfiguračné zapojenia. Všetky núdzové vypínače (E1 až E4) sú zapojené v sérii do vstupov konektoru X11(ESC-Safety board). Snímanie dverí si vyžaduje (výrobcom doporučené) bezpečnostné relé PILZ PST3 (použitie PST4, rovnaká funkcia). Jednotka PILZ PST4 sleduje dvere SD.1. Konfiguračné vstupy sú poprepájané vo svorkách k dosiahnutiu konfigurácie vhodnej pre náš účel. Ďalej môžeme vidieť relé (vhodné pre interface účely) typ 6.2 mm 24 VDC relay 1 C/O 6A 250VA ktoré slúžia na spínanie výstupov pre signalizačnú jednotku (optická jednotka WERMA), pre povely do R2. Do priestoru R1.1 ešte prídu bezpečnostné monitorovacie jednotky pre SD.2, LS/ LR 2 LS/ LR 1.
- Priestor R1.2 som použil pre prepojenie komponentov. Prepojenie sa týka I/O rozvádzaču R1 a komponentov v module a na nástroji. Spínanie je riešené v rozvádzači umiestnenom na module, kde je pomocou ovládacieho napätia spínané napájacie napätie.
- Keďže priestor R1.3 v našom prípade je voľný využil som ho pre umiestnenie napájacieho zdroja. Rozvádzač R1 ponúka užívateľovi napájanie, avšak po odporúčaní technika sme toto napätie radšej zaistili externým napájacím zdrojom. Vyberal som podľa [35], typ SIEMENS SITOP Single Phase PSU 100S 24V/5A. Rovnaký typ je použitý aj v rozvádzači R2.
- Rozvádzač R2 obsahuje PLC jednotku SIEMENS S7 1200 CPU 1214C AC/DC/Rly, verzia (6ES7 214-1BG40-0XB0) a rozširujúci modul SIE-



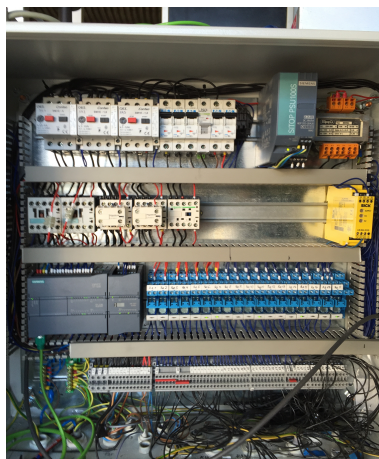
(a) : Pohľad na R1.2 a R1.3



(b) : Pohľad na R1.1

Obrázok 3.43: Zapojený rozvádzač R1

MENS S7 1200 SM 1223 DI8/DQ8 x relay, verzia (6ES7 223-1PH32-0XB0) [34], [33]. V skratke povedané PLC má 22 digitálnych vstupov a 18 relových výstupov. Aj keď PLC obsahuje relové výstupy, boli použité ďalšie externé relé. Napätie zo zdroja (rovnaký typ ako v R1) sa opäť rozdelilo na ovládacie a napájacie napätie. Budem používať označenie HMI: human machine interface. Rozhranie medzi PLC a operátorom je zaistené pomocou HMI typu SIEMENS KTP400 Basic color PN, verzia (6AV6 647-0AK11-3AX0). Komunikácia je zaistená protokolom PROFINET. V rozvádzači sú zaistené silové napájania pohonov dopravníkov (DP1- dva smery, DP1.5- jeden smer, DP2- dva smery) a napájanie ventilov pre ovládanie režimu dopravníka DP1. Núdzové vypínače E1 až E4 sú seriovo zapojené do PLC.

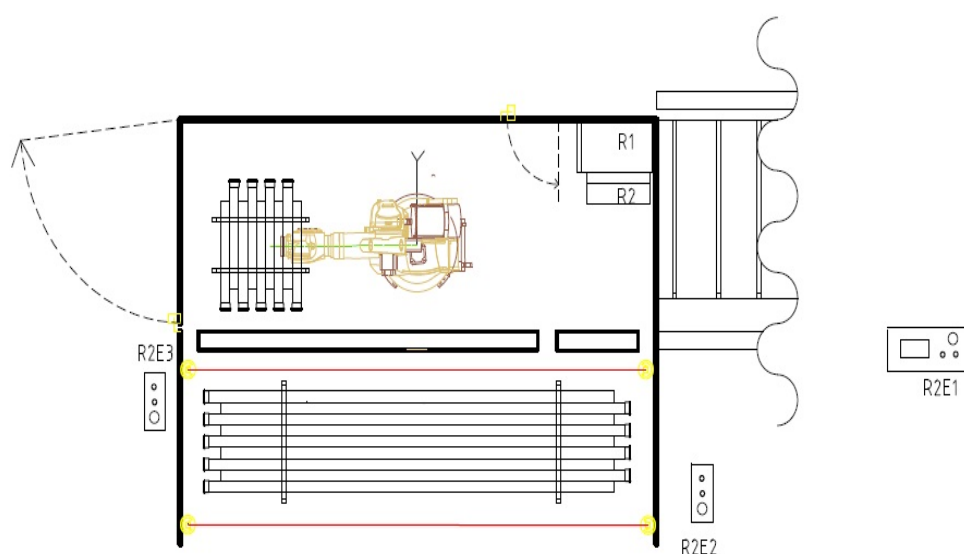
**Obrázok 3.44:** Riadiaca jednotka R2

- Na rozvádzač R2 sú napojené externé jednotky:

- Jednotka R2E1. Táto jednotka obsahuje HMI (KTP400), núdzový vypínač E1, prepínač vyklápania a jeden rezervný prepínač. Túto jednotku som navrhol pre jednoduchšie ovládanie keďže je umiestnená na hrdlovacom automate (najčastejší výskyt obsluhy). Význam prepínača vyklápanie je taký, že po jeho prepnutí dopravný systém prepne dopravník DP1 do režimu vyklápania nezávisle od ostatných stavov.
- R2E2 obsahuje vypínač E2, prepínač servis 1000, prepínač servis 5000.
- R2E3 obsahuje vypínač E3, prepínač servis 1000, prepínač servis 5000.



Obrázok 3.45: Pohľad na R2E1



Obrázok 3.46: Rozmiestnenie externých jednotiek

- Vstupy a výstupy ktoré obsahuje PLC sú dostupné v elektronickej prílohe.

Typ	Názov	Popis
IN	S1	signál zo senzoru S1
IN	S2	signál zo senzoru S2
IN	S3	signál zo senzoru S3
IN	N1.OK	signál z N1, vákuum ok
IN	N2.OK	signál z N1, vákuum ok
IN	POZ1	signál z PLC, rúra 1000 na pozícií
IN	POZ2	signál z PLC, rúra 1000 na pozícií
IN	Servis.1000	signál z PLC, Servis 1000
IN	Servis 5000	signál z PLC, Servis 1000
IN	AUTplc	signál z PLC, PLC v móde AUTOMAT
IN	ROZ1	signál z PLC, rozmer 1
IN	ROZ2	signál z PLC, rozmer 2
IN	ROZ3	signál z PLC, rozmer 3
IN	SD.2	signál z monitorovaciej jednotky SD.2
IN	L1	signál z monitorovaciej jednotky LS/ LR1
IN	L2	signál z monitorovaciej jednotky LS/ LR2
OUT	N1.N	signál pre N1 ku generovaniu vákua
OUT	N2.N	signál pre N2 ku generovaniu vákua
OUT	N1.O	signál pre N1 ku odpusteniu vákua
OUT	N2.O	signál pre N2 ku odpusteniu vákua
OUT	V2	signál pre ventil V2, zábrany
OUT	POZ.OK	signál pre PLC, pozícia je voľná
OUT	V1	signál pre ventil V1, hlavný prívod
OUT	Robot.Servis.1000	signál pre PLC, Robot Servis 1000
OUT	Robot.Servis.5000	signál pre PLC, Robot Servis 5000
OUT	Robot.ready	signál pre PLC, robot je pripravený
OUT	Green	signál pre svetelnú vežu, zelená
OUT	Orange	signál pre svetelnú vežu, oranžová
OUT	Blue	signál pre svetelnú vežu, modrá

Tabuľka 3.7: Tabuľka prepojenia I/O rozvádzača R1

Kapitola 4

Programové riešenie

Programové riešenie robotickej bunky som sa snažil koncipovať tak aby vyhovovalo danej aplikácii a požiadavkám zákazníka. Paradoxne vzhľadom na veľkosť tejto práce mi na programové riešenie zostalo najmenej času. Úspechom je, že sa mi podarilo vytvoriť základnú funkčnosť.

- V bezproblémovom chode robotickej bunky je dôležitá komunikácia medzi PLC a I/O manipulátora. Počet informácií, ktoré sú predmetom komunikácie nebol natoľko vysoký, aby sa nedal realizovať cez digitálne vstupy a výstupy. Samozrejme je tu aj ekonomický faktor, keďže tento typ komunikácie vychádzal v danej konfigurácii ako najlacnejší.
- Pri tvorení programov som sa snažil predvídať výnimočné situácie. Jedným z cieľov pri tvorení programov bolo vytvoriť systém odolný voči nerozumnému správaniu operátorov výroby. Ďalším z cieľov bolo, aby programy čo najviac chránili ľudí pracujúcich v okolí bunky.

4.1 Pojmy

Pre správne pochopenie programov by som chcel upresniť pojmy a niektoré súčasti dôležité pre chod programu. Začnem od módov:

- Manipulátor pracuje v móde AUT, ktorý je súčasťou vybavenia jednotky R1.
- Mógy v ktorých pracuje prepravný systém. AUTOMAT- automatický mód, MANUAL- manuálny mód, E-Stop- mód v prípade porušenia bezpečnostných podmienok. Tieto módy sú mnou navrhnuté a naprogramované v PLC. PLC sa po zapnutí napájania defaultne vždy nastaví do módu MANUAL. Operátor musí prepnúť PLC do AUTOMAT cez HMI.

Programové pojmy:

- Výklop, je stav kedy DP1 je v režime vyklápanie a každá rúra prepadne do zásobníka. Tento stav sa dá vyvolať cez HMI a prepínač vyklápanie na R2E1.

- Výklop 500. Stav, v ktorom je rúra 500 po zdetekovaní vyklopená do zásobníka.
- Výklop 1000. Obdobne ako u Výklop 500.
- Výklop 5000. Obdobne ako u Výklop 500.
- Pozícia 1000 je pozícia na DP2, z ktorej manipulátor odoberá rúry z 2. skupiny.
- Pozícia 5000 je pozícia na DP2, z ktorej manipulátor odoberá rúry z 3. skupiny.
- Detekovaná rúra 500 je stav, kedy PLC na DP1 (v čakacom režime dopravníka) detekuje rúru o rozmere 500.
- Detekovaná rúra 1000. Obdobne ako v predchádzajúcom prípade. Rúry rozmeru 1000.
- Detekovaná rúra 5000. Obdobne ako v predchádzajúcom prípade. Rúry rozmeru 5000.
- Preprava 1000 je stav, kedy prepravný systém dopraví rúru na pozíciu 1000.
- Preprava 5000 je stav, kedy prepravný systém dopraví rúru na pozíciu 5000.
- Pozícia voľná je stav, kedy Pozícia 1000 alebo 5000 je voľná a prepravný systém môže prepraviť do tejto pozície rúru.
- Čakanie je stav, kedy Pozícia 1000/ 5000 je obsadená rúrou. V tomto prípade prepravný systém nemôže prepaviť rúru na pozíciu, keďže je obsadená a čaká, kým manipulátor vyzdvihne rúru a oznámi, že pozícia je voľná
- Robot Servis 1000, je stav, ktorý je vyvolaný manipulátorom. Tento stav signalizuje, že treba vykonať jeden z úkonov U2.1 až U2.3 viz. tabuľka 3.6. V tomto stave PLC začne rúry rozmeru 1000 a rúry 3. skupiny vyklápať do zásobníku.
- Robot Servis 5000, obdobne ako v predchádzajúcom prípade (rúry 3. skupiny) s rozdielom, že rúry 2. skupiny sa ďalej prepravujú do robotickej bunky. Zdôvodnené v sekcii Obsluha bunky.
- Servis 1000 je stav, ktorý je vyvolaný PLC prostredníctvom HMI alebo prepínaču Servis 1000. Tento stav môže mať dva významy. Významy sa líšia podľa následnosti.
 - Ak je tento stav po stave Robot Servis 1000, tak slúži tento stav ako potvrdenie od operátora a následné ukončenie tohoto stavu (prepínač Servis 1000). Operátor prepne prepínač (potvrdí úkon viz

tab. 3.6), vykoná jeden z úkonov (prepínač je stále prepnutý). Po ukončení úkonu operátor prepne prepínač, a tým dá najavo, že úkon je vykonaný, a že sa už nenachádza v nebezpečnom priestore palety 2.

- Ak tento stav nastane počas paletizácie, znamená to, že operátor prepol prepínač Servis 1000. Zámer operátora je, že sa chce dostať do priestoru palety 2, a preto musí manipulátor adekvátne reagovať.
- Servis 5000. Obdobne ako pri Servis 1000 s použitím prepínaču Servis 5000 a priestoru palety 1.
- Robot ready je stav, kedy manipulátor je v automatickom móde a je pripravený na proces balenia. Tento stav nie je aktívny ak sú porušené bezpečnostné podmienky, alebo je manipulátor v inom mode ako AUT.
- AUTplc je stav PLC kedy je PLC v móde AUTOMAT.

4.2 Programové vybavenie manipulátora

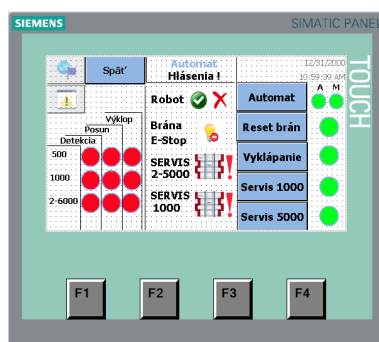
Program ktorý ovláda manipulátor sa programuje v jazyku KRL (KUKA Robot Language). Mojm hlavný zdrojom boli tieto manuály: [38], [37], [36], [5]. Musím však poznamenať, že z časových dôvodov programové vybavenie robota zatiaľ nedisponuje všetkými potrebnými programmi ako napríklad riešením balenia do priestoru palety 2, generovaním polôh pre kontrolu polohy rúry atď. Podstatou programu manipulátora je generovanie polôh rúr v paletе. Na to aby mohol danú rúru uložiť na vygenerované polohy musí manipulátor podľa programu vykonať isté kroky a prejsť istými bodmi. Pri tvorbe programu som rátal s tým, že proces balenia nie vždy musí začať prázdnu paletou. Z tohto dôvodu je dôležité, aby operátor výroby zadal počet rúr v paletie po zapnutí napájania, prepnutí do AUT, zapnutí motorov a spustení programu.

- Programy majú dva súbory. Súbor s príponou .src a .dat. Prvý prípad obsahuje kód a druhý prípad obsahuje špecifické dáta. Programové vybavenie manipulátora obsahuje: Hlavný program (Main) a podprogramy. Súbory s príponou .dat využijem pre nastavovanie off-setou používaných pri počítaní polôh. Napríklad off-sety pre rúry DN 160 5000 si zákazník jednoducho prepíše v prog160r5.dat.
- V danom usporiadaní programov bolo dôležité, aby si manipulátor pamätal počet rúr v paletе a na základe toho vedel generovať polohy. Avšak chcieť od operátora výroby aby spočítal napr. 59 rúr v paletе je v istom zmysle časovo náročné. Preto miesto počtu rúr v paletе je potrebné zadať do programu nasledujúce údaje: Priemer rúry, počet radov, počet rúr v rade. Tieto údaje musia byť deklarované v main.dat ako globálne (global) aby mohli podprogramy tieto premenné čítať a prepisovať. Tieto údaje je potrebné uchovať aj po výpadku napájania kontroléra. Tento problém je riešený tým, že R1 obsahuje akumulátory, ktoré napájajú kontrolér po výpadku napájania rozvádzača R1.

programy nie sú k dispozícii a to z dôvodu nefunkčnej CD mechaniky na kontroléry.

4.3 Programové vybavenie PLC

Dané PLC sa programuje vo vývojovom prostredí TIA portal V13. V tomto prostredí som vyvíjal program a užívateľské rozhranie (HMI). Program pozostáva z hlavného bloku a siedmich podblokov (Blok500, Blok1000, Blok5000, Manual, Konverzie, Rozmery). Všetky potrebné podklady k vyhotoveniu PLC sú v prílohe. Použité manuály: [32], [33]



Obrázok 4.1: Obrazovka módu automat [29]

- Užívateľské rozhranie som sa snažil tvoriť tak, aby bolo jednoduché, prehľadné a ľahko ovládateľné. Na obrázku 4.1 môžeme vidieť obrazovku módu automat. Ostatné obrazovky sú v elektronickej prílohe.
- Hlavný blok sa stará o snímanie informácií, ktoré dostáva z I/O jednotky robota a taktiež o detekciu rúr na DP1 a ich prepravu do robotической bunky. V prípade, že PLC detekuje rúru 500 je sprístupnený podblook Blok500. Rovnako tak v prípade rúr o rozmere 1000 (Blok1000) a rúr o dĺžke 2000, 3000, 5000 (Blok5000). Po odbavení rúry je blok uzavretý.
- Blok Konverzie sa stará o konverzie rozličných dátových typov. Napríklad operátor zadáva do HMI čas potrebný pre časovač. V HMI sa ukladá ako dĺžka a následne je potrebné zkonvertovať na dátový typ time, aby mohol byť dosadení do časovaču.
- Blok Manual sa zprístupní v prípade, že PLC je v móde MANUAL. Je sprostredkovateľom povolov z HMI na manuálne ovládanie jednotlivých prvkov prepravného systému.
- Blok500, Blok1000 a Blok5000 sú bloky, ktoré buď prepravujú rúru do robotической bunky alebo ju vyklapia.
- Blok Rozmery slúži na sprostredkovanie kombinácie výrobných dĺžok do rozvádzaču R1. Operátor výroby zadá požadovanú kombináciu výroby

cez HMI. Prostredníctvom tohoto bloku sa kombinácia pretransformuje do výstupov.

4.4 Programové prepojenie

Po spojení týchto dvoch programových riešení nastane nasledujúca situácia. Rúra výjde z hrdlovacieho automatu a padne na DP1. PLC zdetekuje, že sa jedná o rúru 500 a teda nastane stav výklop. Ďalšou zdetekovanou rúrou je rúra rozmeru 1000. PLC sa pozrie na stavy Pozícia voľná, Robot Servis 1000, Vyklápanie, bezpečnostné podmienky. Ak rúra splní všetky potrebné stavy pre stav Preprava 1000, rúra je prepravená do robotickej bunky. Po zastavení rúry na pozícii sa aktivuje stav Pozícia 1000 a Pozícia obsadená. Manipulátor vyzdvihne rúru a aktivuje stav Pozícia voľná, čo vyresetuje stavy Pozícia 1000 a Pozícia obsadená. Manipulátor zabalí rúru podľa pravidiel paletizácie a na konci cyklu zapne stav Robot Servis 1000 (odpovedajúci počet rúr v palete) a s ním aj optický signál. V tom čase dopadne ďalšia rúra 1000 na dopravník. PLC už vie, že robot aktivoval stav Robot Servis 1000 a rúru vyklopí do zásobníka. Následne je zdetekovaná rúra 5000. PLC vyhodnotí, že aj keď je aktívny stav Robot Servis 1000 ale stav Servis 1000 (potvrdenie operátora) nie je aktívny, takže bunka môže v priestore palety 1 pracovať. Následne rúru 5000 dopraví do robotickej bunky a manipulátor ju zabalí. Po príchode obsluhy, operátor prepne prepínač Servis 1000 a tým potvrdí, že ide vykonávať jeden z úkonov na paletu. Bezpečnostné systémy danej palety sú ignorované a keďže sa jedná o paletu 2 musí byť manipulátor odstavený. Po vykonaní prác na paletu 2, operátor prepne späť prepínač, tým sa deaktivuje stav Robot Servis 1000 a Servis 1000. Bezpečnostné systémy sú opäť aktivované a chod bunky je obnovený. Operátor výroby môže odstaviť tok materiálu do bunky, bez toho, aby si to riadiaca jednotka manipulátora zaznamenala. Tento stav sa dá doceliť pomocou HMI alebo prepínaču Vyklápanie na R2E1. Taktiež V prípade, že PLC stratí signál Robot ready, nastane konštantné vyklápanie rúr do zásobníku.

Kapitola 5

Zhodnotenie

Zhodnotenie tohoto projektu rozdelím na viac častí:

- Z pohľadu manipulátora a nástroja si myslím, že koncepčne a hlavne funkčne sa mi podarilo splniť očakávania. Zahŕňam sem výber a prispôbenie manipulátora a koncepciu nástroja. Pri výbere manipulátora som splnil požadované kritéria, manipulátor je funkčný a schopný prevádzky v týchto podmienkach.
- Návrh a koncept robotickkej bunky bol úspešný. Podarilo sa mi navrhnuť funkčný model. Jeho realizácia sa však nestihla v plnom rozsahu (chýba oploštenie bunky a niektoré bezpečnostné prvky). Treba však poznamenať, že inštalácia robotickkej bunky za plnej prevádzky výrobnéj linky nie je jednoduchá. V budúcnosti budem musieť voliť reálnejší časový plán.
- Oživiť a spustiť jednotlivé súčasti sa vzhľadom na aktuálny stav projektu podarilo.
- Programové riešenie. Túto časť by som zhodnotil ako uspokojujúcu a povedal by som, že je na dobrej ceste. Je pravdou, že si vyžaduje ešte veľké množstvo času a vývoja.
- Časť projektu, v ktorej som pracoval s reálnym rozpočtom, hodnotím ako veľmi pozitívnu. Výber použitého manipulátora je veľkou úsporou prostriedkov a zdá sa, že v aplikácií kde nie je potrebné plné nasadenie robota by mohol byť tento koncept správny a výhodný. Keď porovnam celkové náklady na komponenty (už zakúpené a v budúcnosti kúpené) dostávam sa približne na 50000 EUR (cena manipulátora je 15000 EUR). Porovnanie so strojom na balenie rúr z obrázku 2.3 je celkom obtiažne. Samostatne tento stroj stojí vrátane všetkého potrebného približne 90000 EUR. Problém je v tom, že tento stroj je schopný baliť rovnaký sortiment výrobkov ako manipulátor, avšak nedokáže baliť dva rozmery súčasne, čo pri pohľade na výrobné cykly a vyjadrenia zákazníka je veľkou nevýhodou. Je možnosť aby daný stroj zvládol balenie dvoch rozmerov, avšak dva stroje by museli byť sériovo za sebou. Robotická bunka síce nahradí človeka v tejto činnosti, avšak sama potrebuje obsluhu. Podľa informácií od zákazníka, celková cena práce je približne 8 EUR za hodinu. Pri skoro

nepretržitej prevádzke sa ročné náklady na jedného človeka dajú približne vyčíslit na 50000 EUR. V prípade, že by daný človek polovicu svojho pracovného času venoval obsluhu robotickej bunky a druhú polovicu by strávil obsluhou ďalších zariadení, dala by sa ročná úspora nákladov na prácu stanoviť na 20000 EUR. Treba však poznamenať, že vyčíslenie úspory, ktorú dosahuje robotická bunka si zaslúži hlbšiu a presnejšiu analýzu.

- Absencia licencovaných softvérov pre návrh aplikácií obsahujúcich priemyselný manipulátor výrazne spomalila vývoj tohto projektu. Taktiež som kládol dôraz, aby na tomto projekte neboli použité vývojové prostredia bez platnej licencie. To však zapríčinilo to, že táto práca neobsahuje niektoré dokumenty.



Kapitola 6

Záver

V rámci riešenia bakalárskej práce som analyzoval požiadavky na robotickú bunku. Vybral som vhodný manipulátor, PLC, bezpečnostné prvky a ďalšie komponenty. Navrhol som chápadlo, dopravníkový systém, elektrické zapojenie a programové vybavenie manipulátora a PLC. Chápadlo, elektrické rozvádzače a ďalšie súčasti som v spolupráci s pracovníkmi zákazníkovej firmy fyzicky vyrobil a bunku oživil. Priložené videá dokladujú úspešný výsledok.

V ďalšej práci plánujem doplniť softvér o ošetrovanie neštandardných situácií, skúmať a zvyšovať efektívnosť manipulátora, rozšíriť užívateľské rozhranie, doplniť bezpečnostné prvky.

Dlhodobým vypracovávaním tohto projektu a cennými radami od môjho školiteľa som získal mnoho užitočných poznatkov a informácií v danej problematike. Vďaka tomuto projektu som si uvedomil podstatný rozdiel medzi návrhom a následnou reálnou funkčnosťou.

Dodatok A

Literatúra

- [1] *CONTROL CABINET KR C2 connection/ periphery*, KUKA Roboter GmbH.
- [2] *Distance sensors*, SICK AG.
- [3] *Dx50-2 THE BEGINNING TO ENDLESS MEASUREMENT POSSIBILITIES*, SICK AG.
- [4] *Kompaktní válce ADVUL*, FESTO AG.
- [5] *KR C... system variables*, KUKA Roboter GmbH.
- [6] *KR C2 edition2005 e-plan*, KUKA Roboter GmbH.
- [7] *KUKA KR 150 Specification*, KUKA Roboter GmbH.
- [8] *M4000 standard and m4000 standard*, SICK AG.
- [9] *Obrázky 6. osy*, Spez KR 150-2, 180-2, 210-2, 240-2, KR 240-2 C, 270-2 de/en/fr.
- [10] *Obrázky kr c2*, KR C2 edition2005 Specification.
- [11] *Obrázky vákuovej techniky*, Vacuum Components Catalog 2013/ 2014,J. Schmalz GmbH.
- [12] *Obrázky výpočtu*, Prevzaté z KUKA.LOAD 5.0.
- [13] *Obrázok cylindra*, <https://sk.wikipedia.org>.
- [14] *Obrázok hrdlovacieho automatu*, <http://www.ipm-italy.it>.
- [15] *Obrázok kuka kr 180 r2500 extra*, <http://www.kuka-robotics.com>.
- [16] *Obrázok kuka kr quantec pa arctic*, <http://www.kuka-robotics.com>.
- [17] *Obrázok paletizéru*, <http://www.ipm-italy.it>.
- [18] *Obrázok senzoru sick dt50*, <https://www.sick.com>.
- [19] *Obrázok senzoru sick mhtb*, <https://www.sick.com>.

- [20] *Obrázok svetelných zábran*, <https://www.sick.com>.
- [21] *Obrázok výrobnéj linky*, <http://www.kraussmaffeiberstorff.com/en/pvc-pipelines.html>.
- [22] *Obrázok výrobnéj linky 2*, <http://www.extrudertechnologie.de/>.
- [23] *Operating instructions scpi/ smpi 30.30.01.00078*, J. SCHMALZ GmbH.
- [24] *Opto-electronic protective devices*, SICK AG, s. 3-30.
- [25] *Pneu valce nxda*, <https://www.landefeld.de>.
- [26] *Progress to a more economical solution. c2000/m2000 self-testing safety light grids*, SICK AG.
- [27] *REIKU alternative products for KUKA accessories*, REIKU GmbH.
- [28] *REIKU catalog*, REIKU GmbH.
- [29] *Rám obrazovky*, Siemens TIA Portal V13.
- [30] *Rozmiestnenie továrni*, <https://sk.wikipedia.org>.
- [31] *Series 2000 kr 150-2*, KUKA Roboter GmbH.
- [32] *SIMATIC S7-1200 easy book manual, a5e02486774-ag*, Siemens AG.
- [33] *SIMATIC S7-1200 programable controller system manual, a5e02486680-aj*, Siemens AG.
- [34] *SIMATIC S7-1200 siemens st 70 n · 2010*, Siemens AG.
- [35] *Sitop Power Supply, catalog kt10.1 edition 2015*, Siemens AG.
- [36] *SOFTWARE KR C... error messages/ troubleshooting release 5.2*, KUKA Systems Software (KSS), KUKA Roboter GmbH.
- [37] *SOFTWARE KR C2/ KR CR configuration release 5.2*, KUKA Systems Software (KSS), KUKA Roboter GmbH.
- [38] *SOFTWARE KR C2/ KR CR expert programing release 5.2*, KUKA Systems Software (KSS), KUKA Roboter GmbH.
- [39] *SOFTWARE KR C2/ KR CR start-up release 5.2*, KUKA Systems Software (KSS), KUKA Roboter GmbH.
- [40] *Technické údaje*, <https://www.sick.com>.
- [41] *Tvarovací nástroj*, <http://www.sica-italy.comx>.
- [42] *Vacuum components catalog 2013/ 2014*, J.SCHMALZ GmbH.
- [43] *Vacuum components catalog 2013/ 2014*, J.SCHMALZ GmbH, s. 48- 50.

- [44] *(V)KR 150, 180, 210 instalation, connection, exchange*, KUKA Roboter GmbH.
- [45] *(V)KR 150, 180, 210 technical data*, KUKA Roboter GmbH.
- [46] *KR C2 edition 2005 specification, 1.* (2010), KUKA Roboter GmbH.
- [47] Siciliano Bruno and Khatib Oussama, *Handbook of robotics*, c. 3.2.2.

Dodatok B

KUKA KR 150-2

Označenie	Hodnota	Jednotka
Nominálna nosnosť	150	[kg]
Prídavna nosnosť 1	50	[kg]
Prídavna nosnosť 2	100	[kg]
Maximálna distribuovaná nosnosť	500	[kg]
Rýchlosť 1. osi (pri zaťažení 150 kg)	110	[°/s]
Rýchlosť 2. osi (pri zaťažení 150 kg)	110	[°/s]
Rýchlosť 3. osi (pri zaťažení 150 kg)	100	[°/s]
Rýchlosť 4. osi (pri zaťažení 150 kg)	170	[°/s]
Rýchlosť 5. osi (pri zaťažení 150 kg)	170	[°/s]
Rýchlosť 6. osi (pri zaťažení 150 kg)	238	[°/s]
Rozmedzie pohybu osi 1	±185	[°]
Rozmedzie pohybu osi 2	+90,-61	[°]
Rozmedzie pohybu osi 3	+65,-209	[°]
Rozmedzie pohybu osi 4	±350	[°]
Rozmedzie pohybu osi 5	± 125	[°]
Rozmedzie pohybu osi 6	±350	[°]
Opakovateľnosť	± 0.15	[mm]
Objem pracovnej obálky	55	[m ³]
Celková váha	1245	[kg]
Inštalovaný motorový výkon	21.60	[kW]

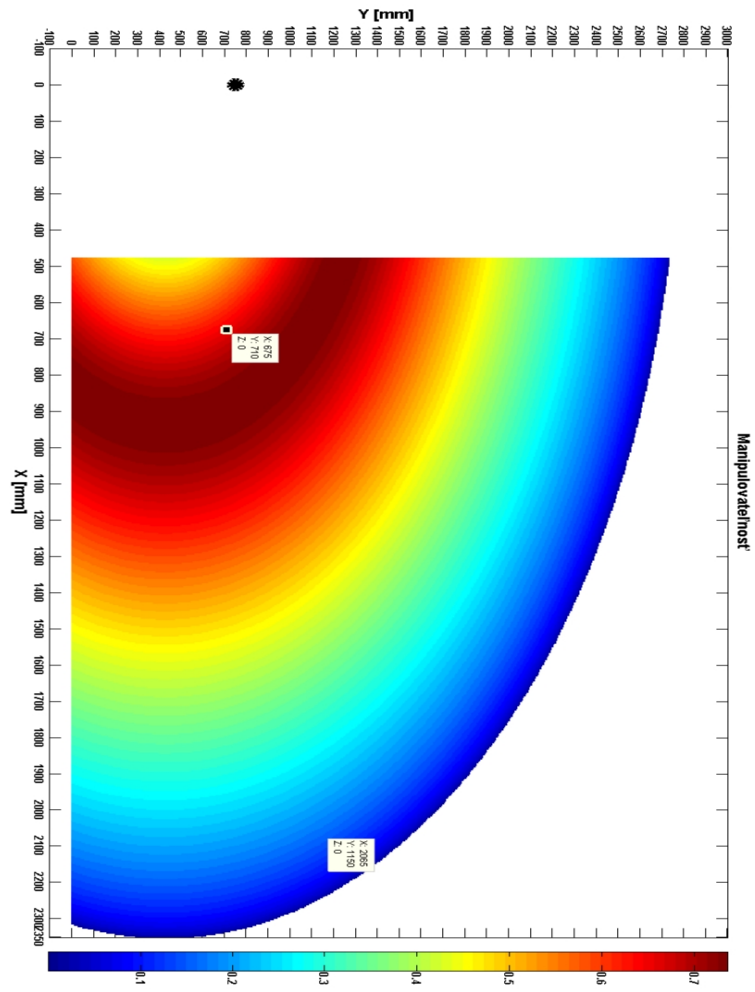
Tabuľka B.1: Špecifikácia manipulátoru



Dodatok C

Graf manipulovatlnosti

C. Graf manipulovatnosti



Obrázok C.1: Manipulovateľnosť manipulátoru



Dodatok D

Obsah elektronickej prílohy (CD)

- PLCprog
 - PLC
 - HMI
- Komponenty
- Media
 - Foto
 - Video
- PDF BP