



**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

F3

**Fakulta elektrotechnická
Katedra kybernetiky**

Diplomová práce

Vývoj robotickéj bunky pre manipuláciu a obrábanie plastových rúr

Bc. Lukáš Hajdúšek

Študijný program: Kybernetika a robotika

Odbor: Robotika

Január 2020

Vedúci práce: Ing. Vladimír Smutný, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hajdůšek** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **420287**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra kybernetiky**
Studijní program: **Kybernetika a robotika**
Studijní obor: **Robotika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Vývoj robotické buňky pro manipulaci a obrábění plastových rour

Název diplomové práce anglicky:

Design of Robotic Cell for Plastic Pipe Milling and Manipulation

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 doporučené 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.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Vladimír Smutný, Ph.D., robotické vnímání CIIRC

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

Datum zadání diplomové práce: **18.10.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **07.01.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2020**

Ing. Vladimír Smutný, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Tomáš Svoboda, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Řípka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Pod'akovanie / Prehlásenie

Pod'akovanie patrí Ing. Vladimírovi Smutnému, Ph.D. za odbornú pomoc, metodické vedenie, podnety, rady a povzbudzovanie pri vypracovávaní tejto práce.

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 7.1.2020

.....

Abstrakt / Abstract

Cielom tejto diplomovej práce je navrhnuť a zrealizovať priemyselnú robotickú bunku pre manipuláciu a jednoduché obrábanie výrobkov. Robotická bunka obsahuje priemyselný manipulátor a ďalšie automatizované výrobné zariadenia. Úlohou priemyselného robota je nahradenie operátorov vo výrobnom procese produktov pre potrubné systémy. Výrobkami sú PVC-U rúry rôznych veľkostí a vlastností.

Kľúčové slová: robotická bunka, robotická manipulácia, automatizácia.

The aim of the master thesis is the design and realization of industrial robotic cell for manipulation and simple milling of products. The robotic cell consists of industrial robot and other automated production components. The task of industrial robot is to replace operators in the manufacturing process of the products for piping systems. Products are PVC-U pipes in different sizes and properties.

Keywords: robotic cell, robotic manipulation, automation.

Obsah /

1 Úvod	1	3.5 Čistenie	31
2 Konceptčné riešenie	2	3.5.1 Elektronické vybavenie ..	33
2.1 Analýza	2	3.6 Dopravníky	33
2.1.1 Vstupné a výstupné výrobky	2	3.6.1 Dopravník 1	33
2.1.2 Výstupné výrobky S110 a S160	2	3.6.2 Dopravník 2	34
2.1.3 Výstupné výrobky P300, P545 a P720	5	3.6.3 Dopravník 3	35
2.1.4 Hmotnosti a momenty zotrvačnosti výrobkov	6	3.7 Chápadlo	36
2.1.5 Výrobné cykly	7	3.7.1 Požiadavky	36
2.1.6 Potrebné úkony	8	3.7.2 Priestorové obmedzenia ..	36
2.1.7 Dostupné technické prostriedky	8	3.7.3 Základné rozloženie chápadla	37
2.2 Návrh riešenia	11	3.7.4 Manipulácia	40
2.2.1 Tok materiálu	11	3.7.5 Vákuum	41
2.2.2 Operátor	13	3.7.6 Pomocná inštalácia	44
3 Technické prostriedky	14	3.7.7 Elektronické vybavenie ..	45
3.1 Vozík	14	3.7.8 Výsledok	46
3.1.1 Návrh z pohľadu prie- meru	14	3.8 Manipulátor	47
3.1.2 Návrh z pohľadu dĺžky rúr	16	3.8.1 Nosnosť a momenty	47
3.1.3 Elektronické vybavenie vozíka	17	3.8.2 Nástroje	49
3.1.4 Výsledok	18	3.9 Bezpečnosť	49
3.2 Píla	18	3.9.1 Ochranný plot	50
3.2.1 Základná funkcia	18	3.9.2 Materiálové otvory	52
3.2.2 Vykonané úpravy	19	3.9.3 Elektronické vybavenie ..	53
3.2.3 Princíp pílenia	22	3.10 Rozloženie	53
3.2.4 Meranie výsledných dĺžok	23	4 Programové riešenie	55
3.2.5 Elektronické vybavenie píly	24	4.1 Hlavné rozhranie robotickej bunky	55
3.3 Frézovací stôl	25	4.2 Architektúra	56
3.3.1 Princíp funkčnosti	25	4.3 Komunikácia KRC a PLC	60
3.3.2 Základné charakteristi- ky	25	4.4 Manipulátor	61
3.3.3 Uchopenie výrobku	26	4.4.1 Pracovný mód	61
3.3.4 Frézovanie	26	4.4.2 Rozhranie	62
3.3.5 Elektronické vybavenie frézy	28	4.4.3 Podprogramy a pre- menné	62
3.3.6 Výsledok	28	4.4.4 Súradnicové systémy	63
3.4 Pomocná fréza	29	4.4.5 Trajektórie	64
3.4.1 Elektronické vybavenie ..	31	4.4.6 Vozík	66
		4.4.7 Pílenie	68
		4.4.8 Obsluha FR2	72
		4.4.9 Obsluha pomocnej frézky	74
		4.4.10 Čistenie	76
		4.4.11 Nakladanie	76
		4.4.12 Obsluha krabíc	78
		4.5 PLC	80
		4.5.1 Vyhotovenie systému	80

4.5.2 Základné delenie PLC systému.....	81
4.5.3 PLC program	82
4.5.4 Vozík	83
4.5.5 Píla	83
4.5.6 Pomocné frézovacie za- riadenie FR1	83
4.5.7 Frézovací stôl FR2	84
4.5.8 Dopravník DP1	85
4.5.9 Dopravník DP2	85
4.5.10 Dopravník DP3	86
4.5.11 HMI	86
5 Záver	90
Literatúra	92
A Zoznam bodov	95
B Obsah elektronickej prílohy (DVD)	96

Tabuľky / Obrázky

2.1. Hodnoty parametrov rukávov ...4	2.1. Sieť potrubnej pošty3
2.2. Hodnoty parametrov prepojok ..5	2.3. Rozmery papierových krabíc (ložné rozmery).....4
2.3. Hmotnosti výrobkov6	2.4. Význam parametrov prepojok ...5
2.5. Súčasné a požadované výrobné cykly S110 a S160.....8	2.5. Detailnejší pohľad na zárezy.....6
2.6. Rozmery pracovnej obálky manipulátora 10	2.6. Momenty zotrvačnosti rúry7
3.1. Vlastnosti vozíka 15	2.7. Píliace zariadenie DEKUMA 50-250.....9
3.2. Výsledné dĺžky rúr 17	2.8. Píla DEKUMA 50-2509
3.3. Vstupy a výstupy týkajúce sa vozíka 18	2.9. Rez pracovnou obálkou ma- nipulátora 10
3.4. Programové označenia pries- torov píly 21	2.10. Frézovací stôl 11
3.5. Význam parametrov KF, K, D 23	2.11. Rozloženie bunky 11
3.6. Meranie narezaných dĺžok 24	2.12. Tok materiálu 12
3.7. Vstupy a výstupy PLC píly 24	3.1. Rozloženie vstupných rúr vo vozíku 15
3.8. stupy a výstupy hlavného PLC..... 24	3.2. Vozík v pracovnej obálke 15
3.9. Vstupy a výstupy riadenia manipulátora 24	3.3. Výsledný vozík. Konštrukč- ná časť podľa zakazníkových predstav a skúseností 16
3.10. Parametre frézovacieho stolu .. 25	3.4. Obmedzenie dĺžky rúr pílou a dopravníkmi 16
3.11. Vstupy a výstupy riadenia manipulátora 28	3.5. Obmedzenie dĺžky rúr pílou a dopravníkmi 17
3.12. Pomer výrobkov S110 a S160.. 29	3.6. Vyhotovenie vozíka 18
3.13. Hmotnosti prídavkov 30	3.7. Klúčové rozmery píly 19
3.14. Vstupy a výstupy pomocného zariadenia 31	3.8. Kruhový gripper 20
3.15. Základné rozmery kartáčov 32	3.9. Navrhnuté prsty pre S110 20
3.16. Vstupy a výstupy čistiaceho priestoru 33	3.10. Píla po úpravách 21
3.17. Vybavenie súvisiace s doprav- níkom 3 35	3.11. Výška píly 21
3.18. Programové označenia do- pravníkov 36	3.12. Princíp pílenia..... 23
3.19. Vlastnosti chápadla 40	3.13. Rozloženie pílených výrobkov S110 a S160 na rúre..... 23
3.20. Momenty zotrvačnosti nena- pílených rúr..... 40	3.14. Os lineárneho pohonu 26
3.21. Rozloženie prísavok na mani- pulované objekty 41	3.15. Prsty pre centrický gripper 26
3.22. Potrebná sacia sila vztiahnu- tá na jednu prísavku 42	3.16. Frézovanie prepojky 27
3.23. Vlastnosti prísavky..... 42	3.17. Frézovací nástroj 27
3.24. Vákuové okruhy 42	3.18. Frézovanie spojky 27
3.25. Zapojenie 43	3.19. Uhlová fréza 27
	3.20. Priestor pre zarovnanie rúr 28
	3.21. Fotka frézovania 29
	3.22. Orezanie prebytočného mate- riálu p z posledného výrobku .. 30
	3.23. Zarezanie hrany z výrobku 31
	3.24. Fréza použitá v tomto zaria- dení 31

3.26.	Rozmiestnenie vákuových komponentov v poradí zhora nadol.	43
3.27.	Vlastnosti generátora	44
3.28.	Hodnoty parametrov generátora	44
3.29.	Vlastnosti prídavných zariadení na 3. osi manipulátora....	45
3.30.	Vstupy a výstupy robotického chápadla.....	45
3.31.	Momenty a zotrvačnosti chápadla a uchopeného objektu ...	48
3.32.	Súradnicové systémy nástrojov	49
3.33.	Elektronické vybavenie.....	53
4.1.	Súradnicové systémy robotickej bunky	63
4.2.	Význam parametrov KF, K, D, DL	68
4.3.	Základné premenné polohovania. Premenné v mm	69
5.1.	Súčasné, požadované a dosiahnuté výrobné cykly výrobku S160.....	90
3.25.	Stôl určený na čistenie	32
3.26.	Finálna verzia čistenia vonkajšieho priemeru	33
3.27.	Miesto pre prechytenie výrobku	33
3.28.	Význam senzora na dopravníku 2	34
3.29.	Rozloženie dopravníkov	35
3.30.	Vytahovanie posledného výrobku S110+p	37
3.31.	Nástroj s vákuovou prísavkou v rúre	37
3.32.	Papierové krabice na balenie výrobku S110, S160	37
3.33.	Rozloženie chápadla vzhľadom na manipulované objekty .	39
3.34.	Rozloženie chápadla vzhľadom na manipulované objekty .	39
3.35.	Pohľad na výsledné robotické chápadlo	40
3.36.	Funkčnosť generátora	44
3.39.	Pomocná inštalácia na osi číslo 3	47
3.40.	Vyhotovené chápadlo.....	47
3.41.	Chápadlo spolu s najťažšou rúrou	48
3.42.	Význam parametrov	48
3.43.	Dynamická účinnosť jednotlivých osí	49
3.44.	Statická účinnosť jednotlivých osí	49
3.45.	Rozšírená pracovná obálka	51
3.46.	Rozšírená pracovná obálka, pôdorys	52
3.47.	Navrhnutý ochranný tunel pre dopravník DP1	52
3.48.	Vertikálne rozloženie	53
3.49.	Horizontálne rozloženie	54
4.1.	Hlavný panel	55
4.2.	Delenie na podprogramy	57
4.3.	Delenie na podprogramy v PLC.....	58
4.4.	Stav komponentov	58
4.5.	Rozhodnutia o činnostiach	59
4.6.	Príklad komunikácie	61
4.7.	Súradnicové systémy	63

4.8.	Pohyby v komponente	64
4.9.	Pohyby medzi komponentami .	65
4.10.	Množina tranzitných a kon- cových bodov	65
4.11.	Uchopovanie rúr	67
4.12.	Polohovanie rúry typu KF	70
4.13.	Polohovanie rúry typu K a D ..	71
4.14.	Odobratie výrobku	72
4.15.	Body tvoriace cestu v súrad- nicovom systéme <i>baseFR2</i>	74
4.16.	Výpočet približovacích bodov ..	75
4.17.	Pílenie	76
4.18.	Zarezanie hrany	76
4.19.	Cesty v priestore čistenia	77
4.20.	Princíp čistenia vonkajšieho priemeru	77
4.21.	Výsledné rozloženie bodov cesty	78
4.22.	Uchopenie prázdnej krabice ...	79
4.23.	Položenie prázdnej krabice	79
4.24.	Zarovnanie v <i>baseDP2</i> v smere osi <i>y</i>	79
4.25.	Zarovnanie v <i>baseDP2</i> v smere osi <i>x</i>	79
4.26.	Posunutie plnej krabice 1	80
4.27.	Posunutie plnej krabice 2	80
4.28.	Základná topológia	81
4.29.	Topológia siete PROFINET ...	81
4.30.	Rozhranie robotickej bunky ...	81
4.31.	Vyhotovenie systému	81
4.32.	Diagram delenia systému	82
4.33.	Princíp polôh pre S výrobok ...	84
4.34.	Princíp polôh pre P výrobok 1	85
4.35.	Princíp polôh pre P výrobok 2	85
4.36.	Základná obrazovka HMI	87
4.37.	Potvrdenie operátora po ot- vorení	88
4.38.	Potvrdenie operátora pri er- rore	88
4.39.	Receptúra v HMI	89
4.40.	Manuálny režim HMI	89
4.41.	Rozloženie obrazoviek	89
5.1.	Výsledná zrazená hrana	91

Kapitola 1

Úvod

Cielom tejto práce bolo koncepčne vyvinúť a následne zrealizovať robotickú bunku. Táto bunka slúži na výrobu doplnkových produktov k potrubným systémom. Vyrábané produkty sa dajú deliť na dva typy. Prvý typ je takzvaný rukáv, ktorý slúži na spojenie dvoch rúr. Druhý typ sú prepojky, ktoré slúžia na prepojenie dvoch systémov v priemyselných výmenníkoch tepla. Obidva typy sa vyrábajú vo viacerých typorozmeroch.

Primárnym vstupom pri výrobe týchto produktov sú rúry vyrobené procesom extrúzie. Tieto rúry sa v robotickej bunke narežú a ofrézujú do konečnej podoby. Následne sa očistia a zabalia. Prepojky vychádzajú z robotickej bunky osobitne, kdežto rukávy sa vkladajú do kartonových krabíc.

Pri vyvíjaní tejto buky je potrebné brať ohľad na dostupné výrobné zariadenia, ktoré je potrebné zapracovať do robotickej bunky, čo so sebou prináša určité obmedzenia a kompromisy pri návrhu. Taktiež sa brali do úvahy aj rozpočtové možnosti projektu a existujúce výrobné priestory.

Kapitola 2

Koncepčné riešenie

2.1 Analýza

Základným predpokladom na to, aby vytvorenie robotickej bunky bolo úspešné, je analýza výrobkov. Pri analýze som sa zameril na hmotnosti, rozmery, materiálove vlastnosti, výrobné cykly a množstvá.

2.1.1 Vstupné a výstupné výrobky

- Ako vstupné výrobky/suroviny do robotickej bunky sú rúry:
 - s vonkajším priemerom 114,6 mm a dĺžkou 1000 až 3000 mm pre výrobu S110,
 - s vonkajším priemerom 166,7 mm a dĺžkou 1000 až 3000 mm pre výrobu S160,
 - s vonkajším priemerom 110 mm a dĺžkou 1000 až 3000 mm pre výrobu P300 až P720.
- Podľa informácií zadávateľa, výrobok S110 a S160 sa produkuje niekoľko rokov. Naproti tomu výrobok P300 až P720 je vo fáze vývoja a bolo mi oznámené, že mne dodané parametre nie sú finálne. Pre robotickú bunku je prioritný výrobok S110 a S160.
- Dĺžku vstupných rúr treba nadimenzovať pre potreby robotickej bunky. Cieľom je získať čo najdlhšiu rúru, ku skráteniu cyklov robotickej bunky.
- Pre jednotlivé výstupné výrobky zavediem označenia. V prípade rukávov sa bude jednať o označenie:
 - S110, rukáv s vnútorným priemerom 110 mm a vonkajším priemerom 114,6 mm,
 - S160, rukáv s vnútorným priemerom 160 mm a vonkajším priemerom 166,7 mm.
- V prípade prepojok sú značenia:
 - P300, označenie pre prepojku o dĺžke 300 mm s vonkajším priemerom 110 mm,
 - P545, označenie pre prepojku o dĺžke 545 mm s vonkajším priemerom 110 mm,
 - P720, označenie pre prepojku o dĺžke 720 mm s vonkajším priemerom 110 mm.

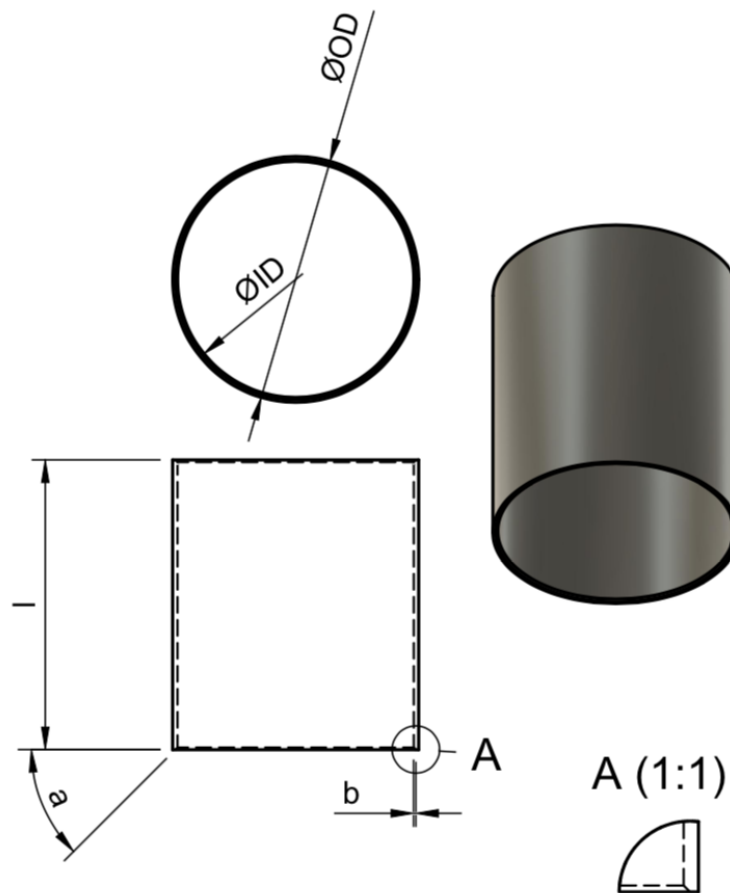
2.1.2 Výstupné výrobky S110 a S160

- Rukávy sa používajú na spojenie dvoch rúr v pneumatických poštových systémoch. Takéto systémy sa nachádzajú v nemocniciach, obchodných domoch, kasínach a iných priestoroch, kde je potrebná automatická preprava vo vnútri budovy. Prepravované médium sú napr. odberné skúmavky krvi, lieky alebo iný biologický materiál (nemocnice), peňažná hotovosť (kasína a obchodné domy).



Obrázok 2.1. Sieť potrubnej pošty [1]

- Na obrázku 2.1 môžeme vidieť sieť potrubnej pošty. Použité rukávy môžeme vidieť medzi rovnou časťou rúry (spodná časť obrázku) a oblúkom. Rúry a rukávy sa vyrábajú v rôznych farebných prevedeniach.
- Technické parametre rukávov sú zobrazené na obrázku 2.2 a vyčíslené v tabuľke 2.1.

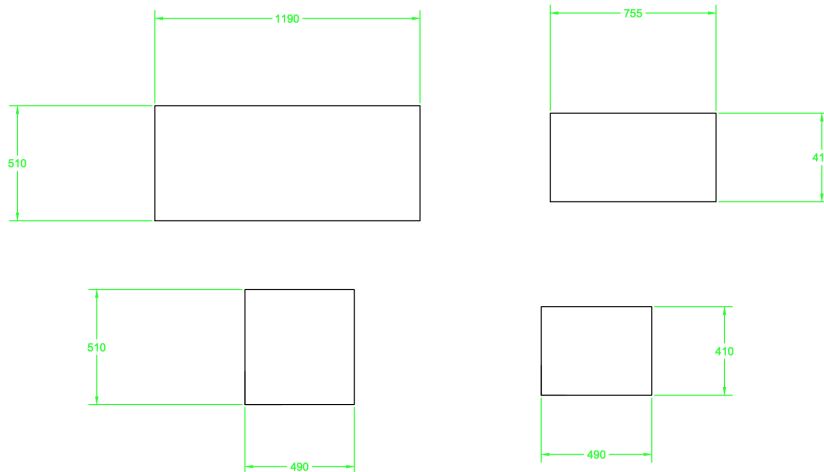


Obrázok 2.2. Význam parametrov rukávov

Parameter	Jednotka	S110	S160
OD	[mm]	114,6	166,7
ID	[mm]	$110_{-0}^{+0.5}$	$160_{-0}^{+0.5}$
l	[mm]	135 ± 1	150 ± 1
b	[mm]	$1_{-0}^{+0.5}$	1_{-0}^{+1}
a	[°]	45	45
množstvo	[ks/rok]	15000	50000
balenie	[ks/krabica]	114	60

Tabuľka 2.1. Hodnoty parametrov rukávov

- Počty vyrobených kusov za rok sú priemerné a odhadované hodnoty dodané zákazníkom.
- Parameter a a b v tabuľke 2.1 definuje veľkosť a uhol zrezania hrany na vnútornom priemere rukáva, čo je detailnejšie zobrazené na obrázku 2.2 (obrázok 2.2 a ostatné obrázky vytvorené v prostredí Fusion 360 [39]).
- Požiadavky na výrobky tohoto typu:
 - Hotový výrobok musí byť čistý, bez prachu a nečistôt po frézovaní a pílení.
 - Uprednostňuje sa samostaná operácia robotičkej bunky pred rýchlosťou práce robotičkej bunky.
 - Jeden operátor musí zvládnuť obsluhovať robotickú bunku.
 - Operátor pracuje na dennej báze (10 hodín) a je vhodné, aby pri konci svojej smeny robotickú bunku naložil a nechal pracovať pokiaľ bude mať suroviny.
 - Nižšie nároky na presnosť frézovania a dĺžku výrobku.
 - Výrobky sa musia baliť do papierových krábíc. Rozmery krábíc sú na obrázku 2.3 (obrázok 2.3 a ďalšie obrázky vytvorené v prostredí AutoCad [40]).



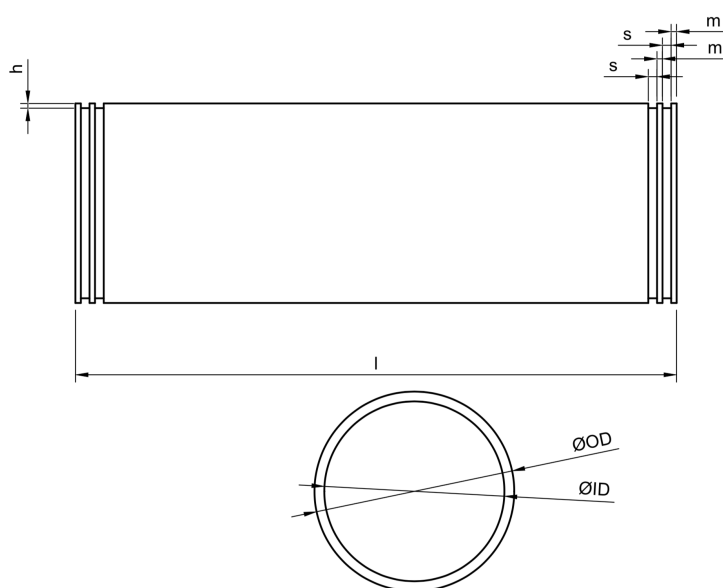
Obrázok 2.3. Rozmery papierových krábíc (ložné rozmery).

- Papierové krabice sú v rozloženom stave. Papierová krabica by mala absolvovať nasledujúci cyklus:
 - Operátor poskladá a zalepí papierovú krabicu.
 - Operátor vloží krabicu do robotičkej bunky.
 - Robot naplní krabicu výrobkami.

- Naplnená krabica putuje von z robotickej bunky.
- Na výstupe krabica absolvuje námatkovú kontrolu operátorom.
- Krabica je zalepená a expedovaná.

2.1.3 Výstupné výrobky P300, P545 a P720

- Prepojky sa budú používať na spojenie dvoch častí priemyselných výmenníkov tepla alebo ako súčasť membrán. Tak ako v predchádzajúcom prípade sa jedná primárne o rúry, ktoré sú opracovávané. Technické parametre popisuje obrázok 2.4 a tabuľka 2.2.



Obrázok 2.4. Význam parametrov prepojok

Parameter	Jednotka	P300	P545	P720
Vonkajší priemer OD	[mm]	$110_{-0}^{+0,4}$	$110_{-0}^{+0,4}$	$110_{-0}^{+0,4}$
Vnútorný priemer ID	[mm]	$99,2_{-0,4}^{+0,0}$	$99,2_{-0,4}^{+0}$	$99,2_{-0,4}^{+0}$
Dĺžka l	[mm]	$300_{-0,8}^{+1}$	$545_{-0,8}^{+1}$	$720_{-0,8}^{+1}$
Šírka zárezu s	[mm]	$4,5_{-0,2}^{+0,2}$	$4,5_{-0,2}^{+0,2}$	$4,5_{-0,2}^{+0,2}$
Odstup zárezov m	[mm]	$3_{-0,2}^{+0,2}$	$3_{-0,2}^{+0,2}$	$3_{-0,2}^{+0,2}$
Hĺbka zárezov h	[mm]	$2,75_{-0,25}^{+0,1}$	$2,75_{-0,25}^{+0,1}$	$2,75_{-0,25}^{+0,1}$
množstvo balenie	[ks/rok]	1000	1000	1000
	[ks]	1	1	1

Tabuľka 2.2. Hodnoty parametrov prepojok

- Hodnoty parametrov s , m a h sú v prípade všetkých typov prepojok rovnaké. Najdôležitejšou časťou prepojky sú drážky zobrazené na obrázku 2.5. Tieto drážky slúžia na osadenie EPDM tesnenia.
- Počet vyrobených kusov za rok sú odhadované hodnoty dodané zákazníkom.
- Výrobky P300, P545 a P720 sú vo fázy vývoja. Parametre sa upresňujú a prispôbujú podľa požiadaviek výroby a výrobných zariadení.



Obrázok 2.5. Detailnejší pohľad na zárezy

- Požiadavky na výrobky tohoto typu:
 - Hotový výrobok sa čistí a prezerá jednotlivo operátorom.
 - Uprednostňuje sa samostaná operácia robotickej bunky pred rýchlostou práce robotickej bunky.
 - Jeden operátor musí zvládnuť obsluhovať robotickú bunku.
 - Operátor pracuje na dennej báze (10 hodín) a je vhodné, aby pri konci svojej služby robotickú bunku naložil a nechal pracovať pokiaľ bude mať suroviny.
 - Vyššie nároky na presnosť frézovania a dĺžku výrobku.
 - Výrobky nie je potrebné baliť. Stačí ich vyexpedovať von z robotickej bunky.

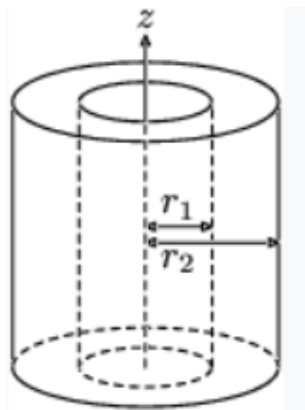
2.1.4 Hmotnosti a momenty zotrvačnosti výrobkov

- Je zrejmé, že v tejto aplikácii hmotnosti a momenty výrobkov nehrajú kľúčovú rolu. Avšak pre celkový pohľad na aplikáciu je dôležité poznať všetky fakty, ktoré ovplyvnia manipuláciu.

Parameter	Jednotka	S110	S160	P300	P545	P720
hmotnosť m	[kg]	0,173	0,401	0,843	1,531	2,023
dĺžková hmotnosť m_l	[kg/m]	1,280	2,670	2,810	2,810	2,810

Tabuľka 2.3. Hmotnosti výrobkov

- V tabuľke 2.3 sú zobrazené hmotnosti výrobkov, ktoré sa použijú pri výpočtoch momentov zotrvačnosti.
- V tabuľke 2.3 som zanedbal hmotnosť vyfrézovaného materiálu. Táto hmotnosť by nemala žiadny podstatný vplyv na návrh.
- Taktiež bola táto hmotnosť prepočítaná na jeden meter, čo mi poslúži pri návrhu dĺžky vstupných rúr.
- Momenty zotrvačnosti výrobkov vypočítame pomocou vzorca pre dutý hrubostenný valec. Rovnica (1) popisuje získanie vnútorného polomeru a prevedenie do základných jednotiek. Podobne tak rovnica (2) s vonkajším polomerom:



Obrázok 2.6. Momenty zotrvačnosti rúry. Obrázok z [23]

$$r_1 = \frac{ID}{2} \quad [m], \quad (1)$$

$$r_2 = \frac{OD}{2} \quad [m]. \quad (2)$$

- Následne je rovnica (1) a (2) dosadená do vzorca (3) pre výpočet momentu zotrvačnosti okolo osi x a y , kde m je hmotnosť a l je dĺžka výrobku. Obdobne tak aj v nasledujúcej rovnici pre výpočet momentu zotrvačnosti okolo osi z :

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

$$I_z = \frac{1}{2}m[3(r_1^2 + r_2^2)] \quad [kgm^2]. \quad (4)$$

- Príklad výpočtu pre produkt P300:

$$I_x = I_y = \frac{1}{12}0,843[3(0,0496^2 + 0,055^2) + 0,300^2] = 0,0075 \text{ kgm}^2, \quad (5)$$

$$I_z = \frac{1}{2}0,843[3(0,0496^2 + 0,055^2)] = 0,0069 \text{ kgm}^2. \quad (6)$$

Parameter	Jednotka	S110	S160	P300	P545	P720
I_x, I_y	[kgm ²]	0,0005	0,0021	0,0075	0,0400	0,0902
I_z	[kgm ²]	0,0016	0,0080	0,0069	0,0126	0,0166

Tabuľka 2.4. Momenty zotrvačnosti výrobkov

- Na základe rovníc (1) až (4) som dostal hodnoty momentov zobrazených v tabuľke 2.4.

2.1.5 Výrobné cykly

- Výrobné cykly sú závislé nielen na samotnej robotickej bunke, ale aj na vstupných rúrach:

- Vstupné rúry sa vyrábajú na extrúžnej výrobní linke.
- Extrúžne linky nie sú situované v rovnakej budove ako robotická bunka.
- Vyrobené vstupné rúry sú skladované v skladových priestoroch.

- Robotická bunka je samostatne pracujúca entita a nie je závislá na predradených alebo nadväzujúcich výrobných zariadeniach.

Stav	Súčasný	Súčasný	Požadovaný	Požadovaný
výrobok	S110	S160	S110	S160
množstvo za rok [ks/rok]	15000	50000	≈ 15000	≈ 50000
počet krabíc za 10 hodín [ks/10hod]	7	10	≥ 3.5	≥ 5
počet kusov za hodinu [ks/hod]	114	60	≥ 57	≥ 30
počet operátorov [ľudia]	2	2	1	1
výrobný cyklus [s]	45	60	≤ 90	≤ 120

Tabuľka 2.5. Súčasný a požadovaný výrobné cykly S110 a S160

- Tabuľka 2.5 uvádza súčasné a požadované výrobné cykly. Údaje o výrobných cykloch produktov P300 až P720 nie sú známe. Avšak samozrejme cieľom je dosiahnúť čo najkratší čas.
- Požiadavkou zákazníka bolo, aby výrobné cykly boli minimálne rovnaké resp. ideálne lepšie (v prepočte na jedného operátora).

2.1.6 Potrebné úkony

- Potrebné úkony, ktoré musí vstupná rúra absolvovať, aby sa stala výrobkom S110 a S160:
 - Vstupná rúra sa musí odpíliť na potrebnú dĺžku.
 - Odpílená rúra sa musí ofrézovať z oboch strán.
 - Ofrézovaná rúra sa musí očistiť.
 - Ofrézovaná rúra sa musí zabaliť do papierových krabíc (kartónov).
- Potrebné úkony, ktoré musí vstupná rúra absolvovať, aby sa stala výrobkom P300 až P720:
 - Vstupná rúra sa musí odpíliť na potrebnú dĺžku.
 - Odpílená rúra sa musí zarovnať, dopíliť na presnú dĺžku.
 - Do odpílenej rúry sa musia vyfrézovať drážky.
 - Ofrézovaná rúra sa musí vyvieť z robotičkej bunky dopravníkovým pásom.

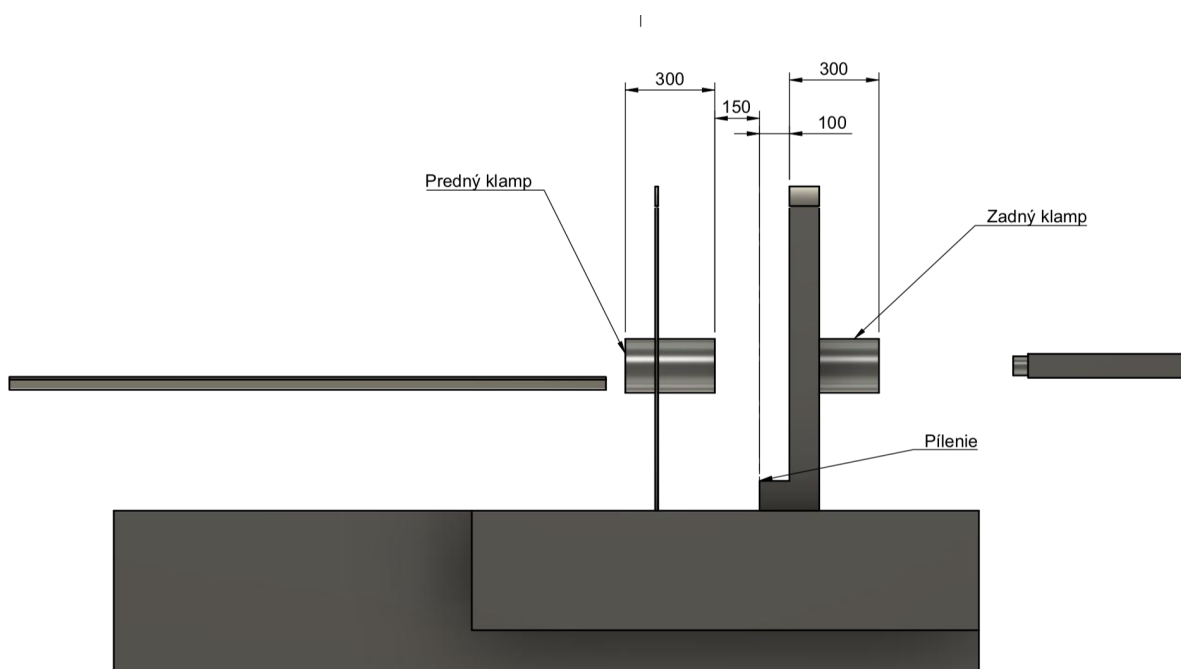
2.1.7 Dostupné technické prostriedky

- Robotická bunka sa bude musieť vyvíjať aj vzhľadom na výrobné technológie, ktoré zákazník má k dispozícii. To samozrejme prinesie určité obmedzenia a kompromisy.
- Existujúcim zariadením je píla DEKUMA určená na pílenie PVC rúr viz obrázok 2.7.
 - Podstatné vlastnosti píly:
 - Vhodná pre priemery 50 až 250 mm.
 - Píliace ústrojenstvo sa otáča okolo pílenej rúry.
 - Rýchlosť pílenia/otáčania je ovládaná pomocou frekvenčného meniča (motor pohonu).
 - Točenie pílového kotúča je zabezpečené samostatným motorom.
 - Prítlak pílového kotúča smerom do rúry je zabezpečený hydraulickým valcom.
 - Uchytenie rúry v píle je zabezpečené zatváracími klampami. Na obrázku 2.8 zobrazené ako predný a zadný klamp.

- Píla je samostatná jednotka so samostatným riadením. K dispozícii sú nasledovné signály (ON 24 VDC, OFF 0 VDC):
 - štyri digitálne vstupy,
 - štyri digitálne výstupy,
 - pílenie neaktívne (výstup PLC),
 - rýchlosť pílenia (4-20 mA, vstup frekvenčný menič).



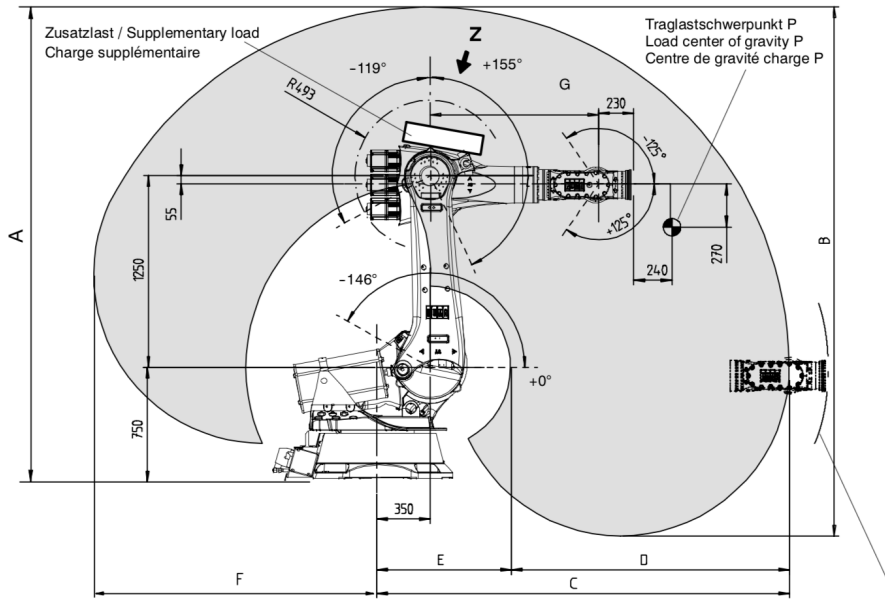
Obrázok 2.7. Píliace zariadenie DEKUMA 50-250



Obrázok 2.8. Píla DEKUMA 50-250

- Na obrázku 2.8 môžeme vidieť rozmery podstatné pre pílenie. Zľava je predný klamp (vstup do píly). Nasleduje rovina, v ktorej operuje píliaci kotúč (150 mm od predného klampu, na obrázku 2.8 zobrazené pomocou šípky *pílenie*). Nasleduje zadný klamp (výstup z píly).

- U zákazníka bol k dispozícii taktiež robot KUKA KR 150-2 s riadením KUKA KRC2 ed05. Tento manipulátor sa vyznačuje šiestimi osami, maximálna nosnosť je 150 kg. Pracovná obálka je popísaná v nasledujúcej tabuľke

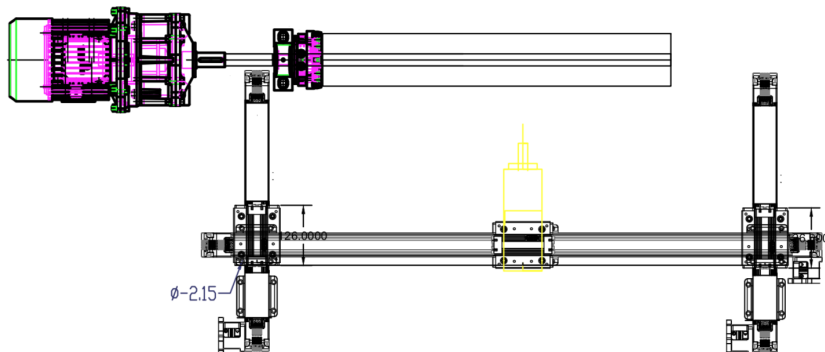


Obrázok 2.9. Rez pracovnou obálkou manipulátora [2]

Parameter	A	B	C	D	E	F	G
Rozmer [mm]	3100	3450	2700	1875	825	1788	1100

Tabuľka 2.6. Rozmery pracovnej obálky manipulátora

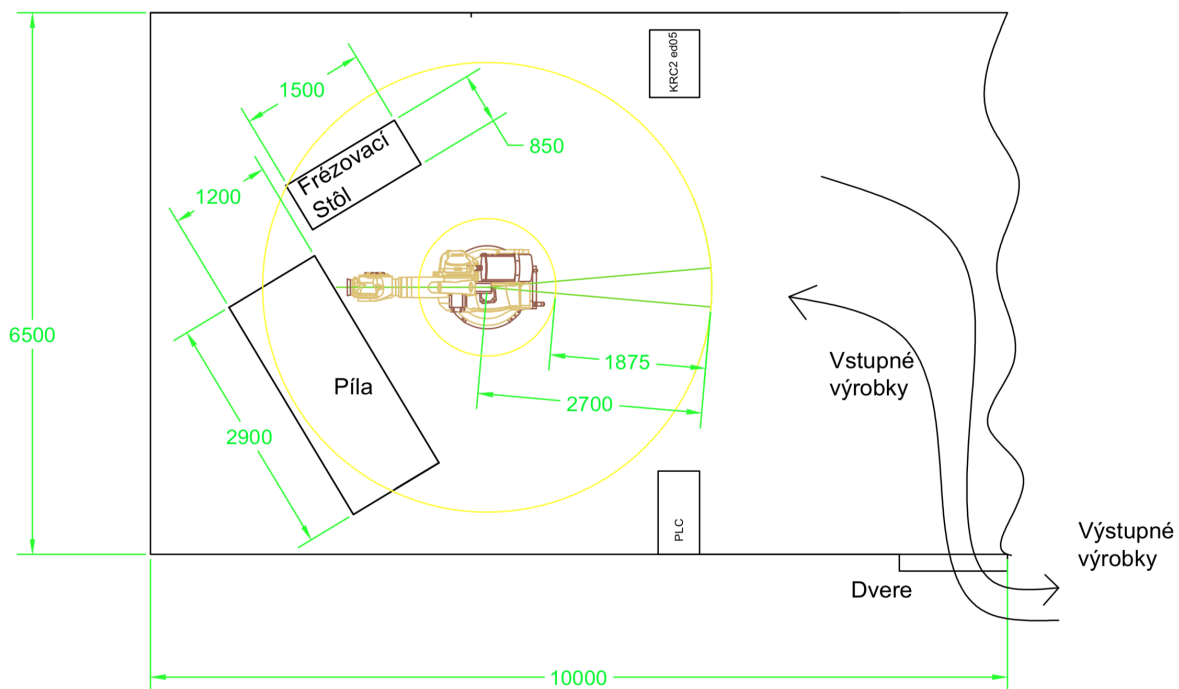
- Manipulátor je riadený pomocou jednotky KRC2 ed05, ktorá je vybavená komunikačnou kartou SIEMENS CP5613/14 (PROFIBUS, master/slave) a základné vstupy a výstupy robota sú ovládané cez slave jednotku komunikujúcu pomocou DeviceNet.
- Taktiež je k dispozícii u zákazníka vyrobený frézovací stôl, ktorý sa skladá z lineárnych pohonov (kde os x je v intervale 0 až 1300 mm a os y 0 až 300 mm) poháňanými motormi SIEMENS SIMOTICS 1FL6, otočnou hlavou SCHUNK PZB, ktorá sa otáča pomocou motora Motovario, a taktiež samochladiacou frézku. Princiálny pohľad na toto zoskupenie prináša nasledujúci obrázok 2.10:



Obrázok 2.10. Frézovací stôl

- Dopravníkový pás o dĺžke 6 metrov s ložnou šírkou 250 mm. Poháňaný asynchrónnym motorom.
- Pre robotickú bunku bolo vybrané miesto. Jedná sa o miestnosť o šírke 6,5, dĺžke 10 a výške 3 metre.

2.2 Návrh riešenia

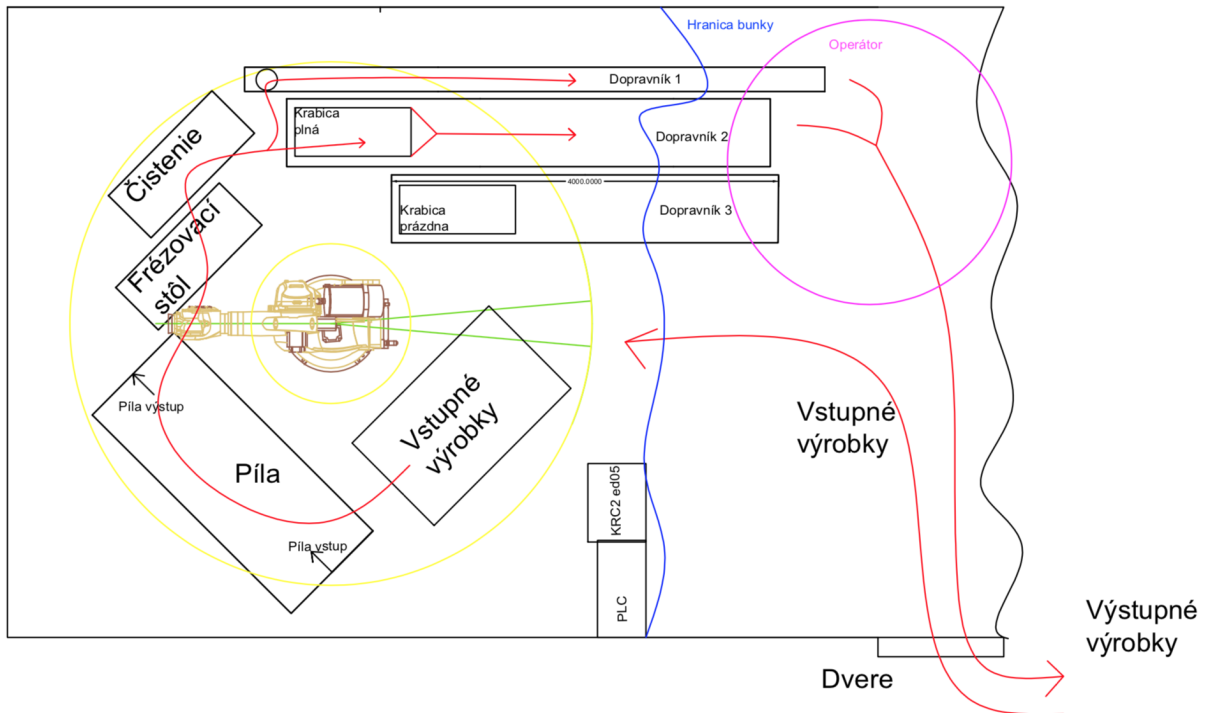
**Obrázok 2.11.** Rozloženie

- Na obrázku 2.11 môžeme vidieť jednotlivé prvky robotickej bunky, spomínané v predchádzajúcej kapitole, v reálnej veľkosti. Prvky sú osadené vo vyhradenej miestnosti.
 - Manipulátor a horizontálny rez pracovnej obálky v najširšom bode (žlté kružnice).
 - KRC2 ed05 riadiaca jednotka manipulátora.
 - Píla.
 - Štvorec označený ako PLC je plánovaná riadiaca jednotka robotickej bunky.
 - Frézovací stôl.

2.2.1 Tok materiálu

- Základným predpokladom dobrého návrhu je splniť nasledujúce požiadavky robotickej bunky:
 - Funkcionalita.
 - Čo najefektívnejšie rozloženie prvkov robotickej bunky. Zefektívniť pohyby manipulátora a s tým spojený tok materiálu.

- Časti (resp. vstupné a výstupné časti) robotickej bunky musia byť navrhnuté tak, aby uľahčili prácu operátora robotickej bunky.
- Prvky robotickej bunky musia byť rozmiestnené tak, aby sa dali v prípade porúch servisovať a čistiť.



Obrázok 2.12. Tok materiálu

- Návrh z pohľadu toku materiálu:
 - Je potrebné čo najlepšie využiť pracovnú obálku robota. Tok materiálu ovplyvňuje najviac os č. 1.
 - Píla má vstup a výstup (viz 2.12). Na vstupnej časti píly je priestor na odloženie nenapílenej rúry (cca 2 metre).
 - Robotická bunka je umiestnená v miestnosti, kde len jedna strana je otvorená (pravá strana). Vozík so vstupnými rúrami by mal byť umiestnený na pravej strane tak, aby po prekročení hranice robotickej bunky prešiel čo najmenšiu vzdialenosť (uľahčiť operátorovi prácu).
 - Keďže po frézovaní je potrebné výrobok očistiť a následne zabaliť, postupnosť prvkov sa doplní o frézovací stôl, priestor pre čistenie a následne baliaci priestor.
 - Rukávy S110 a S160 sa balia do kartonových krabíc. Takže potrebujem:
 - dopravník na vstup prázdnych krabíc do bunky,
 - dopravník na výstup plných krabíc z bunky.
 - Vyššie spomínané body mi dali postupnosť (viz 2.12, sprava) vozík s rúrami → vstupná strana píly → výstupná strana píly → frézovací stôl → čistenie → expedícia von z robotickej bunky.
 - Prázdna krabica príde na dopravníku. Robot si ju preloží na druhý dopravník, kde ju naloží výrobkami. Pre skrátenie trajektórie budú tieto dva dopravníky pri sebe.

- Prepojky P300, P545, P720 sa nebalia, je ich však potrebné vyviesť von z robotickej bunky. Pre tento účel potrebujem dopravník.
- Expedícia:
 - dopravník 1 slúži pre prepojky P300 až P720,
 - dopravník 2 slúži pre krabice naplnené rukávmi S110 alebo S160,
 - dopravník 3 slúži pre prázdne krabice.

■ 2.2.2 Operátor

- Návrh z pohľadu operátora:
 - Jednoduché rozhranie robotickej bunky skladajúce sa z rozhrania manipulátora a PLC.
 - Z pohľadu všeobecne rastúceho nedostatku operátorov je dôležité dbať na čo najlepšie rozhranie a najväčšie zjednodušenie práce operátora.
 - Splniť bezpečnostné požiadavky pracoviska vzhľadom na operátora.
 - Najfrekventovanejšou činnosťou operátora bude (predpoklad jeden až dvakrát denne):
 - Skladať a vkladať prázdne krabice (v prípade výrobkov S110 a S160).
 - Kontrolovať hotové výrobky a zatvárať plné krabice (v prípade S110 a S160).
 - Kontrolovať hotové výrobky.
 - Menej frekventovanou činnosťou (predpoklad jeden až dvakrát denne):
 - vtlačiť vozík s rúrami (vstupnými výrobkami) do robotickej bunky,
 - kontrolovať alebo meniť nastavenia robotickej bunky.
 - Na základe vyššie spomínaného, sú dopravníky 1 až 3 umiestnené pri sebe (zkrátenie potrebných pohybov operátora). Táto oblasť je na 2.12 zobrazená ako *operátor*.
 - Nasleduje brána do robotickej bunky pre vtlačenie vozíka so vstupnými výrobkami.
 - Nakoniec v pravom dolnom rohu oblasť pre nastavovanie robotickej bunky, ktorá sa skladá z:
 - riadiaca skriňa manipulátora + ovládač manipulátora,
 - riadiaca skriňa robotickej bunky + ovládacia obrazovka PLC.

Kapitola 3

Technické prostriedky

3.1 Vozík

- Vozík slúži na uloženie vstupných výrobkov (rúr). Počas extrúzneho procesu sa vyrobené rúry naložia do vozíkov a následne uskladnia. Operátor výroby si následne dovezie vozíky do miestnosti s robotickou bunkou a vtlačí vozík do robotickej bunky.
- Výrobné cykly robotickej bunky sú závislé na prísune vstupných surovín, preto je potrebné, aby frekvencia výmeny bola čo najnižšia a množstvo rúr vo vozíku čo najvyššie.
- Vozík bol navrhnutý s ohľadom na priestorové možnosti pri extrúzných výrobných linkách (šírka vozíka) a jeho výška bola zase navrhnutá tak, aby sa čo najviac využila výška skladových priestorov.

3.1.1 Návrh z pohľadu priemeru

- Vyššie spomínané body musia byť skĺbené s potrebami robotickej bunky. Najpodstatnejšiu úlohu v tomto prípade zohráva:
 - vonkajšie priemery rúr: 110 mm, 114,6 mm, 166,7 mm,
 - šírka rezu pracovnej obálky (viz tabuľka 2.6),
 - doporučená šírka vozíka vzhľadom na extrúzny proces: 1350 mm. Výška skladovacích priestorov: 4200 mm (z toho 300 mm pre manipuláciu).
- Z informácií vyplýva, že najčastejšie bude robotická bunka vyrábať práve výrobok S160. Preto začnem s návrhom vozíka pre vonkajší priemer rúry 166,7 mm.
- Vzhľadom na výšku skladovacích priestorov budem počítat s tromi vozíkmi uloženými na sebe

$$v = \frac{4200 - 300 - 3k - 3p}{3} \quad [mm], \quad (1)$$

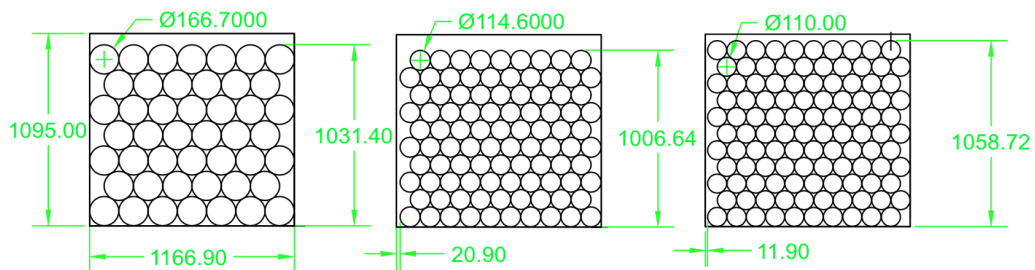
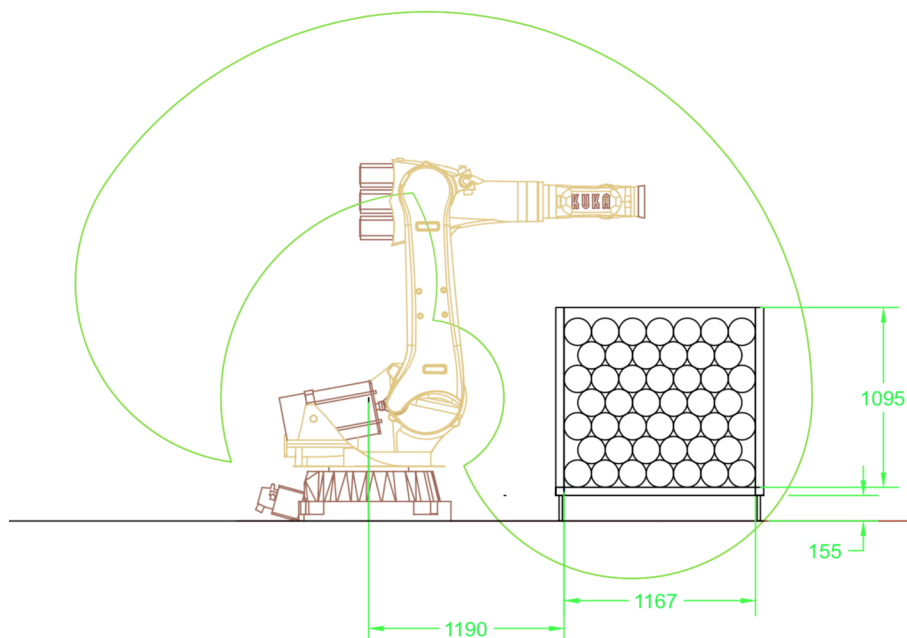
$$v = \frac{4200 - 300 - (3(155)) - 3(50)}{3} = 1095 \text{ mm}, \quad (2)$$

- kde v je efektívna výška ložného priestoru vozíku, k je výška kolečiek a p je výška profilu z ktorého je vozík vyrobený.
- Efektívna šírka ložného priestoru sa opiera o obmedzenie (1350 mm). Šírka bočných profilov je 100 mm. Efektívna šírka bude 1150 mm.

Parameter	Jednotka	S160	S110	P300 až P720
Vonkajší priemer OD	[mm]	166,7	114,6	110
Počet ks v dlhom rade	[ks]	7	10	10
Počet ks v krátkom rade	[ks]	6	9	0
Počet dlhých radov	-	4	5	11
Počet krátkych radov	-	3	5	0
Kapacita vozíka	[ks]	46	95	110

Tabuľka 3.1. Vlastnosti vozíka

- V tabuľke 3.1 uvádzam, že počet kusov v dlhom rade (S160) je 7. Efektívna šírka 1150/166, 7 = 6, 899 ks. V tomto bode mi bolo dovolené navýšiť šírku vozíka z 1350 mm na 1367 mm, a tým získať jednu rúru v dlhom rade navyše, čo v celkovom počte rúr vo vozíku spôsobí navýšenie z 39 na 46 kusov rúr. Efektívna šírka a výška vyobrazená na obrázku 3.1. V prípade rúr pre S110 a P300 až P720 sa do vozíka pridajú vymedzovacie profily na odstránenie nepresností. Efektívna šírka bola zaokrúhlená na 1167.
- Poloha vozíka bola navrhovaná podľa vzoru z mojej bakalárskej práci [4] viz obrázok 3.2.

**Obrázok 3.1.** Rozloženie vstupných rúr vo vozíku**Obrázok 3.2.** Vozík v pracovnej obálke

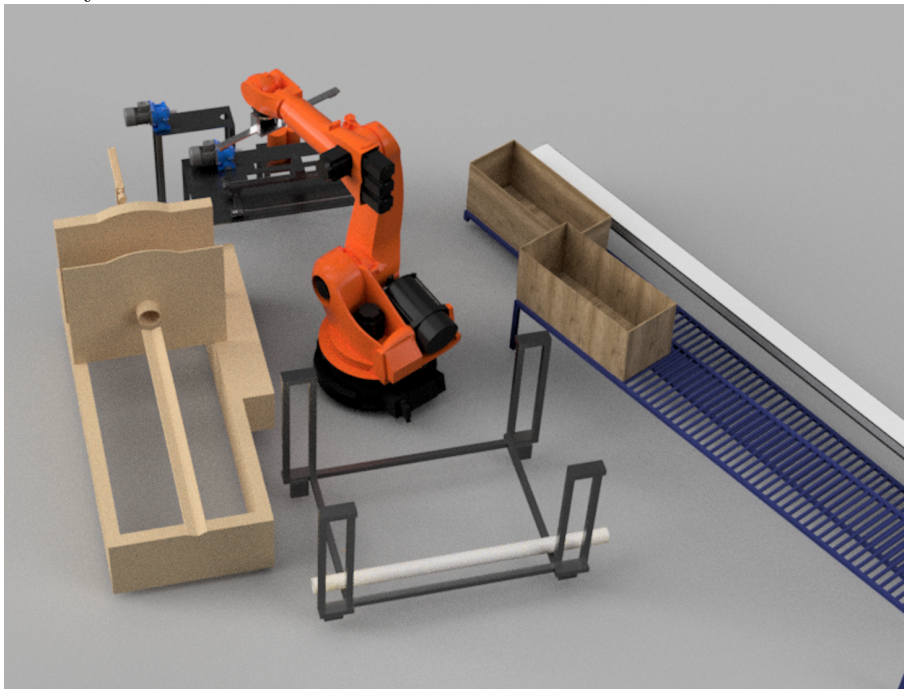


Obrázok 3.3. Výsledný vozík. Konštrukčná časť podľa zakazníkových predstáv a skúseností

- Samozrejme finálna podoba vozíkov je spravená tak, že ložná plocha nie je vodorovne. Význam je v zaručení toho, že rúry budú vždy na tej istej pozícii (napríklad keď zostanú posledné 3 rúry vo vozíku).

3.1.2 Návrh z pohľadu dĺžky rúr

- Pre minimalizáciu frekvencie výmeny vozíka a výrobných cyklov je primárnym zámerom mať čo najdlhšie vstupné rúry. Vstupné rúry sú k dispozícii v dĺžkach 1000 až 3000 mm pre všetky výrobky. Z pohľadu robotической bunky sú dĺžky rúry limitované okolným prostredím viz nasledujúci obrázok 3.4. V neposlednom rade je tu aj otvor/brána do robotической bunky. Rúry musia mať takú dĺžku, aby sa s vozíkom dalo dostať rýchlo a pohodlne do robotической bunky. Pokusom s reálnou rúrou a so zákaznikom na vybudovanej robotической bunke bola stanovená maximálna dĺžka rúry 2300 mm.



Obrázok 3.4. Obmedzenie dĺžky rúr pílou a dopravníkmi

- Výpočet dĺžky rúr zahrňuje nasledovné parametre. Parametre su do veľkej miery závislé na výrobku a píle. V prípade, že pílená rúra bude aj s prídavkom (pre S110

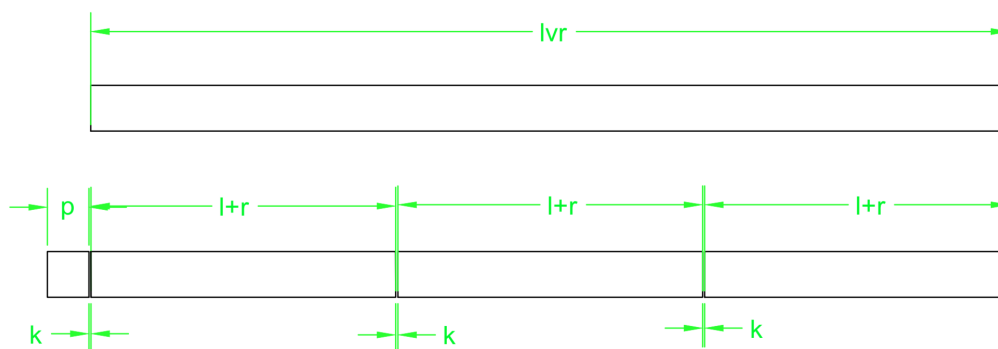
a S160):

$$l_{vr} = n(l + r) + (n - 1)(k) + p \quad [mm], \quad (3)$$

■ a pre prepojky P300 až P720 bez prídavku platí:

$$l_{vr} = n(l + r) + (n - 1)k \quad [mm], \quad (4)$$

■ kde n je počet narezaných kusov, l je dĺžka rúry, k je šírka rezného kotúča píly, r je rezerva a p je prídavok pre posledný kus. Význam rezervy r je ten, že v prípade prepojok P300 až P720 je potrebné dodržať väčšiu presnosť dĺžky. Z tohoto dôvodu sa v píle odpíliť dlhšie a následne sa do finálnej dĺžky ofrúzuju vo fríze. Význam prídavku p je vysvetlený na obrázku č. 3.13.



Obrázok 3.5. Obmedzenie dĺžky rúr pilou a dopravníkmi

Parameter	Jednotka	S160	S110	P300	P545	P720
Počet kusov výrobkov na rúru n	[ks]	14	16	7	4	3
Dĺžka rúry l	[mm]	150	135	300	545	720
Rezerva r	[mm]	0	0	5	5	5
Šírka kotúča k	[mm]	5	5	5	5	5
Prídavok p	[mm]	30	45	0	0	0
Výsledná dĺžka rúry l_{rv}	[mm]	2195	2280	2165	2215	2185
Kapacita vozíka l_{rv}	[ks]	46	95	110	110	110
Počet výrobkov na jeden vozík	[ks]	644	1760	770	440	330

Tabuľka 3.2. Výsledné dĺžky rúr

■ Ako je vidieť v tabuľke číslo 3.2, výsledné dĺžky rúr su menšie ako 2300 mm. Je potrebné nechať istú rezervu v prípade, že by sa počas životnosti napr. zmenila šírka rezného kotúča atď.

3.1.3 Elektronické vybavenie vozíka

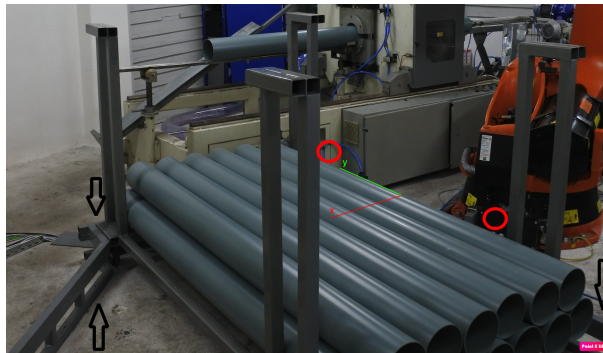
■ Je potrebné aby som v programovej časti mal známosť o tom, či vozík je na svojom mieste. V robotickej bunke je ocelový doraz. Operátor vtlačí vozík do tohoto dorazu. Tento doraz zaručí, že poloha vozíka bude vždy rovnaká. Môže sa stať, že dopravník nebude zatlačený do koncovej pozície dorazu. Z tohoto dôvodu som pridal dva koncové spínače, ktoré detekujú či je vozík v správnej polohe. Použil som štandardné koncové spínače SIEMENS SIRIUS 3SE5112-0CH50 s vyššou odolnosťou.

signál číslo	typ	význam	zdroj/cieľ
1	digitálny vstup	vozík na pozícii 1	hlavné PLC
2	digitálny vstup	vozík na pozícii 2	hlavné PLC

Tabuľka 3.3. Vstupy a výstupy týkajúce sa vozíka

3.1.4 Výsledok

- Osadil som vedenie. Toto vedenie zaručí, že operátor s vozíkom sa nedostane do iných miest v robotickej bunke, ako je potrebné. Počas vkladania vozíka má vedenie (na obrázku 3.6 vyznačené čiernymi šípkami) naviesť vozík do koncovej polohy. V koncovej polohe sa zopnú dva koncové spínače viz 3.3. Jeden slúži na to, aby som vedel detekovať, že vozík je na konci v smere osi y . Druhý senzor je umiestnený tak, aby bolo možné detekovať nulovú/koncovú pozíciu v smere osi x (snímače sú na obrázku 3.6 zobrazené červenou kružnicou).
- Spínače spolu s vozíkom a vedením sa ukázali ako plne funkčné.

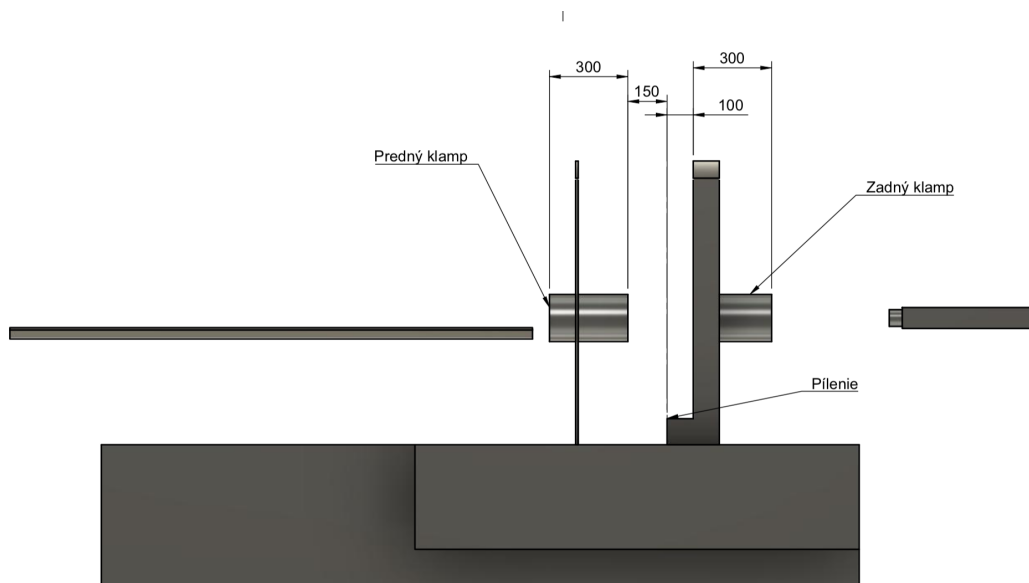


Obrázok 3.6. Vyhotovenie vozíka

3.2 Píla

3.2.1 Základná funkcia

- Podstatou píliaceho procesu pomocou tejto píly je napolohovanie rúry do správnej pozície. Polohovanie môže mať dve podoby. V prvom prípade sa jedná o polohovací pás, ktorý by automaticky napolohoval rúry do chcenej pozície. V druhom prípade môžeme automatické pásové polohovanie nahradiť robotom.
- Automatický polohovací pás by znížil výrobný cyklus robotickej bunky. Avšak problémom je rozmer klampu na vstupnej strane píly a celkové osadenie tohoto mechanizmu. Polohovanie robotom predlžuje výrobný cyklus robotickej bunky a taktiež znižuje životnosť prísaviek na nástroji robota. Treba však zobrať v úvahu presnosť a opakovateľnosť, ktorú udáva výrobca manipulátora [19], a taktiež vôľu vákuových prísaviek, ktorá nie je definovaná. Zadávateľ som upozornil na dané skutočnosti. Na základe požiadavky sa polohovanie rúry vykonáva pomocou manipulátora. V prípade, že dĺžky napílených rúr budú mimo tolerancie, bude pre polohovanie doplnený polohovací pás.



Obrázok 3.7. Klúčové rozmery píly

3.2.2 Vykonané úpravy

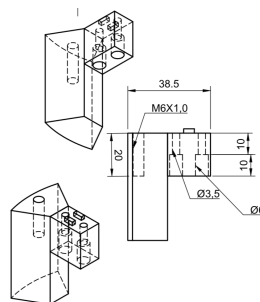
- Na vstupnej strane píly je podpora pre nenapílenú rúru. Takáto podpora na výstupnej strane chýbala, preto bola doplnená viz obrázok 3.10.
- Keďže proces pílenia vyžaduje polohovanie nenapílenej rúry v píle, bol pridaný priestor pre zarovnanie viz obrázok 3.10. Nedokážem zaručiť presnú polohu rúry vo vozíku. Po uchytení rúry z vozíka robot rúru zarovná v tomto priestore a následne rúru presunie do vstupnej podpory, kde rúru napolohuje.
- Rovina pílenia je vzdialená 100 mm od zadného klampu (viz 3.7) a dĺžka najkratšieho rukávu je 135 mm. Počas pílenia sú zadné klampy zatvorené. Počas zatvorených zadných klampov je odpílená rúra držaná klampami. Po skončení procesu pílenia (zadné klampy sa otvoria), je časť výrobku, ktorá je na klampoch (35 mm), prevážaná časťou (100 mm), ktorá visí vo vzduchu. Následne výrobok padne do útrov píliacej sústavy. Na základe tohoto faktu bolo pridané vyťahovacie ústrojenstvo (pneumatický piest na obr 3.7 na pravej strane vodorovne) s nasledujúcimi prvkami a vlastnosťami:
 - Výsuv pneumatického valca je ovládaný pomocou PLC píly. Vysunutie sa uskutočňuje v tom istom momente ako zatvorenie zadných klámp. Spätný chod je realizovaný v čase otvárania klámp. Pôvodný zámer bol realizovať vysúvanie a spätný chod pomocou oneskorení vzhľadom na klampy. Ukázalo sa však, že rýchlosť klámp je omnoho väčšia ako rýchlosť pneumatického valca a je efektívnejšie začať realizovať tieto pohyby v jednom čase.
 - Pneumatický piest je vybavený polohovými snímačmi (2 pozície). Tieto snímače sú privedené na vstup PLC píly a doprogramované tak, aby nedošlo ku kolízii.
 - Na konci pneumatického valca je pripojený kruhový trojprstý gripper SCHUNK 3.8 s tromi pneumatickými prstami navrhnutými pre rúru viz 3.9. Na obrázku 3.8 je gripper s prstami pre chytanie vonkajšieho priemeru. V našom prípade je gripper usposobený na chytanie vnútorného priemeru rúr. Uchopenie a pustenie gripperom je riadené pomocou PLC píly. Uchopenie gripperom nastane, keď pneumatický piest dosiahne koncovú polohu. K pusteniu výrobku gripperom

rom dôjde po zasunutí pneumatického valca (koncová pozícia spätného chodu). Gripper je vybavený polohovým snímačom pre snímanie koncovej polohy, čiže uchopené/pustené.

- Vzhľadom na to, že polohovanie pomocou manipulátora nemusí byť dostatočne presné, bol integrovaný koncový doraz do výstupného klampu. Doraz je realizovaný pomocou malého pneumatického piestu. Piest je ovládaný pomocou PLC píly. V prípade, že sú výstupné klampy otvorené a vyťahovací piest je v zasunutej pozícii, doraz je aktívny. V opačnom prípade je doraz zasunutý v klampe. Pre výrobok S110, S160 a P300 je doraz integrovaný do klampu (každý výrobok ma vlastný klamp). V prípade P545 a P720 musí byť doraz integrovaný vo výstupnej podpore.
- Predný a zadný klamp je ovládaný PLC píly. V prípade polohovania manipulátorom som potreboval, aby sa tieto klampy dali ovládať aj pomocou KRC. PLC píly nedisponovalo dostatkom vstupov a výstupov a bolo nekompatibilné s aktuálne dostupnými rozširujúcimi modulmi.
- Vstupný klamp je ovládaný len manipulátorom. Je potrebné, aby vstupný klamp bol neustále zatvorený. Otvorený je len v prípade, že manipulátor polohuje rúru.
- Výstupný klamp je ovládaný manipulátorom a PLC píly. Kvôli nedostatku vstupov a výstupov som zapojil výstupný klamp na dva pneumatické ventily spojené pneumatickou súčiastkou OR. Táto konfigurácia sa ukázala ako plne funkčná.

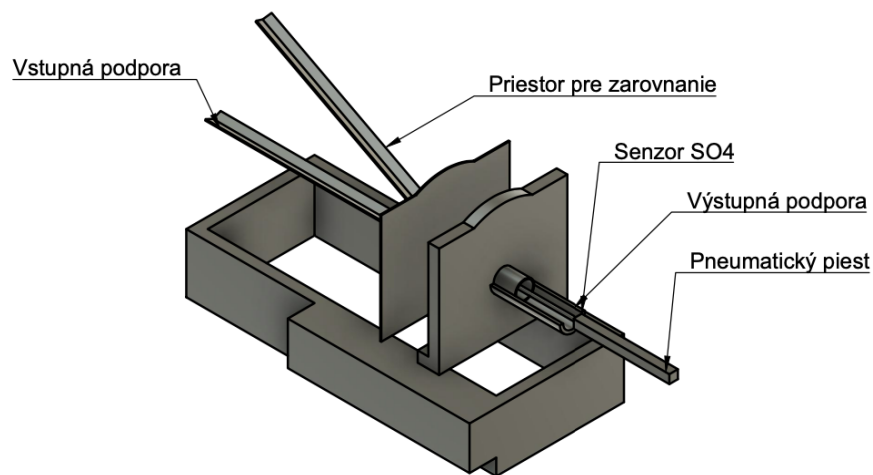


Obrázok 3.8. Kruhový gripper SCHUNK [3]



Obrázok 3.9. Navrhnuté prsty pre S110

- K píle bola pridaná výstupná podpora 3.10. Po zasunutí pneumatického piestu a pustení výrobku gripperom, ostane výrobok čakať na manipuláciu na tejto podpore.
- Na výstupnej podpore bol namontovaný fotoelektrický snímač SO4. Úlohou tohto senzora je detekcia, či odpílená rúra bola naozaj vytiahnutá z píly.

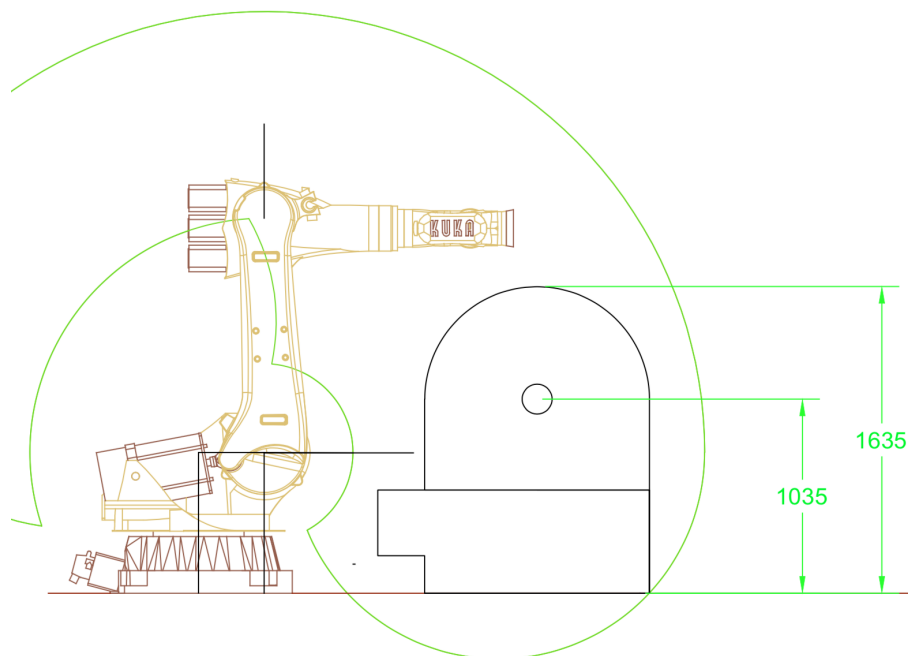


Obrázok 3.10. Píla po úpravách

- Pre programové riešenie zavádzam označenie jednotlivých častí respektíve priestorov na píle viz obrázok 3.10 a tabuľka číslo 3.4:

Význam	označenie
Vstupná podpora	cutterIn
Priestor pre zarovnanie	Z1
Výstupná podpora	cutterOut

Tabuľka 3.4. Programové označenia priestorov píly



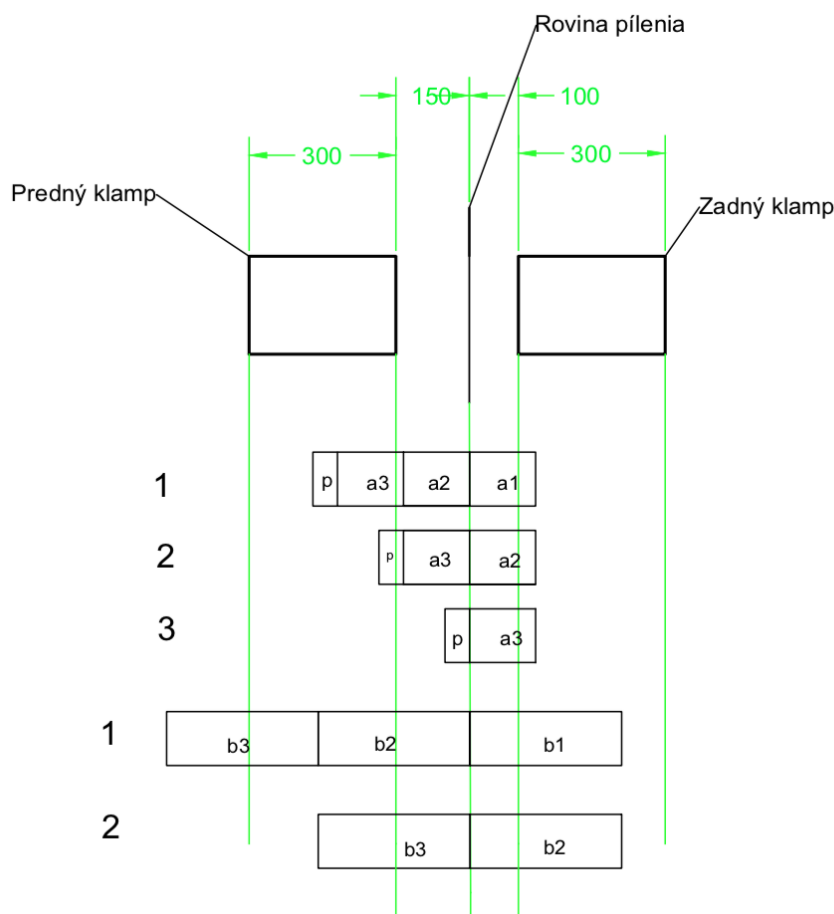
Obrázok 3.11. Výška píly

- V prípade píly sú najzaujímavejšie dva rozmery. Prvý rozmer je výška píly, pretože robot bude musieť absolvovať trajektóriu z jednej strany na druhú stranu píly. Z obrázku 3.11 je zrejmé, že trajektória bude musieť viesť nad pílou. Druhým rozmerom je výška osi klampov. Trajektória medzi dvoma prvkami bunky

by mala byť čo najkratšia. V ideálnom prípade by sa výška prvku A a prvku B mali rovnať. Na základe vyššie spomínaného, výška klampov je do istej miery dôležitá pre nastavenie výšok ďalších prvkov robotickej bunky.

3.2.3 Princíp pílenia

- Popis pílenia je vyobrazený na obrázku č. 3.12. Rukávy S110 a S160 reprezentuje a_1 až a_3 a prepojky P300 až P720 b_1 až b_3 . Číslice 1 až 3 predstavujú dĺžku rúry, ktorá sa skracuje pílením. V prípade rukávov je vidieť, že nenapílená rúra musí obsahovať prídavok p . Vďaka p je posledná vzorka a_3 počas pílenia držaná klampami (čo je predpoklad funkčnosti danej píly). Pílenie vzorky a_2 a a_3 môže mať dve podoby:
 - 1. možnosť: pílenie skončí pílením vzorky a_2 . Na obrázku reprezentuje túto možnosť hladina 2. Následne je pílenie výrobku a_3 realizované mimo píly.
 - 2. možnosť: vzorka a_3 je posunutá do zadnej klampy (výstupný klamp). Prídavok p počas pílenia padne do zberného koša píly. Nie je potreba realizovať pílenie mimo píly. Táto možnosť však prináša obmedzenie. Zberný kôš píly sa po niekoľkých rúrach naplní prídavkom p a operátor bude musieť tieto útroby vyčistiť. Naplnenosť koša je skrz piliny náročné detekovať. Bola snaha tento problém vyriešiť inak, avšak toto bolo jediné možné riešenie, ktoré technologický návrh výrobcu píly dovoľoval. Taktiež sa pomocou pokusov ukázalo, že držanie len jedným klampom (zadným/výstupným) prináša nepravidelný rez.



Obrázok 3.12. Princíp pílenia

- Na základe vyššie uvedených dôvodov sa pílenie S110 a S160 vykonáva možnosťou číslo 1. Vzorka a_2 je posledným výrobkom odpíleným pílou. Vzorka a_3 spolu s prídavkom p musí byť vytiahnutá zo vstupnej strany píly (predný klamp) a následne opracovaný na inom mieste. Na základe toho vzniká potreba vyvinúť ďalšiu stanicu robotickej bunky, kde sa prídavok p odpíli. Prídavky p firma následne zrecykluje a použije pre výrobu druhotriednych výrobkov.
- V prípade prepojok nie je potrebný žiadny prídavok. Rozdiel je v tom, že pri poslednom pílení musí robot vytiahnúť b_2 zo zadného klampu a b_3 z predného klampu.

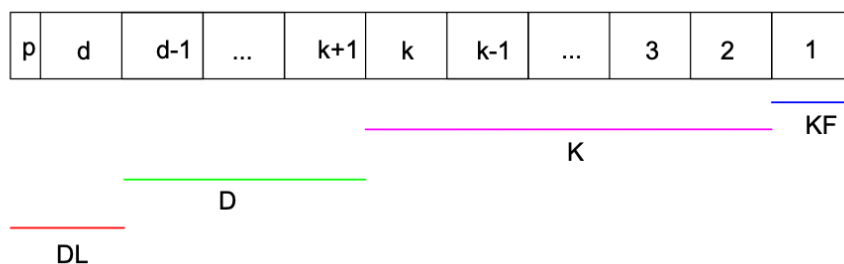
3.2.4 Meranie výsledných dĺžok

- Nasledujúce meranie bolo vykonané na výrobku S160. Polohovanie prebiehalo bez použitia dorazu. Polohovanie rúry má nasledujúce podoby:

Metóda polohovania	Miesto uchopenia	Strana robotického chápadla	Poradie pílených výrobkov
KF	vonkajší priemer	krátka	prvý
K	vonkajší priemer	krátka	druhý až k -tý
D	vnútorný priemer	dlhá	$k + 1$ až $d - 1$
DL	vnútorný priemer	dlhá	d

Tabuľka 3.5. Význam parametrov KF, K, D

- Robotické chápadlo uvádzané v tabuľke 3.5 má dve funkčné strany. Dlhú a krátku. Podrobnosti vysvetlené v nasledujúcich kapitolách. Význam parametrov KF, K, D je podrobnejšie vysvetlený v programovej časti. Parameter DL z obrázku 3.13 a tabuľky 3.5 sa v meraní vyčíslenom v tabuľke 3.6 neuvádza, pretože sa jedná o $a_3 + p$ z obrázku 3.12. Taktiež by som chcel spomenúť, že v čase písania tejto práce, bolo zarovnávacie miesto Z1 nesprávne upevnené na píle (vzhľadom na zarovnanie nenapílenej rúry). Správne upevnenie je na obrázku 3.10. Zadávatel potvrdil, že Z1 bude otočené.

**Obrázok 3.13.** Rozloženie pílených výrobkov S110 a S160 na rúre

- Meranie je zafaržené štandardnou neistotou typu B a rozšírenou neistotou U s koeficientom pokrytia rozšírenia $k = 2$. Vzorky pochádzajú z jednej rúry. V prípade vzorky č. 1 bolo použité polohovanie KF , čo je polohovanie, ktoré sa vyznačuje dvojnásobným chytením/pustením. Práve dvojnásobné chytenie a pustenie považujem za zdroj väčšej nepresnosti. V ostatných prípadoch sú nepresnosti menšie. Meranie uvedené v tabuľke 3.6 je informatívne. Použitím dorazu sa nepresnosti odstránili.

Vzorka	dĺžka [mm]	metóda polohovania
1	149.1 ±0,012	KF
2	150.23 ±0,012	K
3	150.55 ±0,012	K
4	150.6 ±0,012	K
5	150.27 ±0,012	K
6	150.44 ±0,012	K
7	150.28 ±0,012	K
8	150.09 ±0,012	K
9	150.13 ±0,012	K
10	149.95 ±0,012	D
11	149.81 ±0,012	D
12	149.5 ±0,012	D
13	150.2 ±0,012	D

Tabuľka 3.6. Meranie narezaných dĺžok

3.2.5 Elektronické vybavenie pily

- PLC pily pozostáva z pôvodných signálov a mnou pridaných signálov. V nasledujúcej tabuľke uvediem len pridané signály:

signál číslo	typ	význam	zdroj
1	digitálny vstup	vyťahovací piest v polohe 0	senzor
2	digitálny vstup	vyťahovací piest v polohe 1	senzor
3	digitálny vstup	použi vyťahovací piest	hlavné PLC
4	digitálny vstup	príkaz k píleniu	hlavné PLC
5	analogový vstup	rýchlosť pílenia	hlavné PLC
signál číslo	typ	význam	cieľ
6	digitálny výstup	piest do polohy 1	pneumatický ventil
7	digitálny výstup	centrický gripper do polohy 1	pneumatický ventil
8	digitálny výstup	doraz do polohy 1	pneumatický ventil
9	digitálny výstup	pílenie dokončené	hlavné PLC

Tabuľka 3.7. Vstupy a výstupy PLC pily

- Signály hlavného PLC v súvislosti s pilou:

signál číslo	typ	význam	cieľ
1	digitálny výstup	použi vyťahovací piest	PLC pily
2	digitálny výstup	príkaz k píleniu	PLC pily
3	analogový výstup	rýchlosť pílenia	PLC pily
signál číslo	typ	význam	zdroj
4	digitálny vstup	snímanie odpílenej rúry na výstupe	senzor
5	digitálny vstup	snímanie polohy gripperu	senzor
6	digitálny vstup	pílenie dokončené	PLC pily

Tabuľka 3.8. Vstupy a výstupy hlavného PLC

- Signály riadenia manipulátora

signál číslo	typ	význam	cieľ
1	digitálny výstup	výstupná klampa zatvor	ventil
2	digitálny výstup	výstupná klampa zatvor odľuk	ventil
3	digitálny výstup	vstupná klampa zatvor	ventil

Tabuľka 3.9. Vstupy a výstupy riadenia manipulátora

3.3 Frézovací stôl

3.3.1 Princíp funkčnosti

- Frézovací stôl má dve úlohy v závislosti na výrobku.
 - Výrobok S110 a S160: výrobok sa do frézovacieho stolu vkladá napílený na finálnu dĺžku. Úlohou je zraziť hranu vnútorného priemeru.
 - Výrobok P300 až P720: výrobok sa do frézovacieho stolu vkladá napílený s prídavkom. Je potrebné výrobok pomocou frézy spíliť na presnú dĺžku a následne spraviť do neho drážky pre EPDM tesnenia.

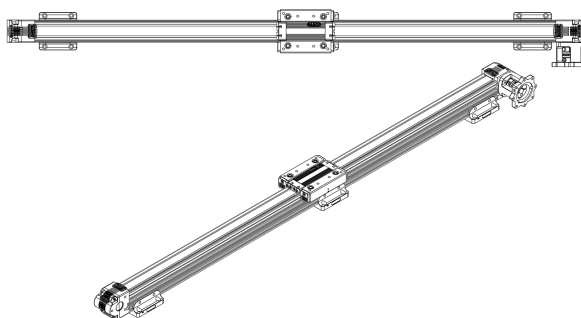
3.3.2 Základné charakteristiky

- Lineárne pohony som doplnil o hardverové koncové spínače Sick i10R RA213, ktoré slúžia na snímanie koncovej polohy. Taktiež som musel doplniť dva (so zdrojom svetla: laser triedy 1) senzory SICK WTB9L-3P2461 pre detekciu referenčnej polohy, keďže motory disponujú vstavaným inkrementálnym sensorom.
- Otáčaciu hlavu Schunk som doplnil o indukčný sensor Sick IME08-02BPSZT0S s bezpečnou snímacou vzdialenosťou 1.6 mm na detekciu polohy uchopovacích prstov. Na hriadeli s hlavou bol osadený inkrementálny snímač KUBLER(1000 pulzov na otáčku hriadela senzoru).
- V nasledujúcej tabuľke uvádzam parametre týkajúce sa presnosti zariadení:

Prvok	Parameter	Jednotka	Hodnota	Poznámka
Lineárne pohony osi	opakovateľnosť	[mm]	0,05	-
Prevodovka osi x	backlash	[arcmin]	12	prevod. pomer 100:1
Prevodovka osi y	backlash	[arcmin]	10	prevod. pomer 50:1
Základný posuv na otáčku	pitch	[mm/ot]	95	-
Senzor servomotorov	TTL	[pulzy]	2500	-

Tabuľka 3.10. Parametre frézovacieho stolu

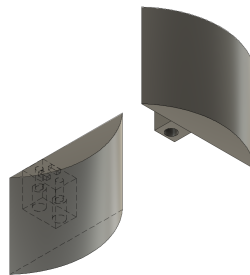
- Z programového hľadiska je použitie inkrementálnych sensorov do istej miery komplikácia. Bolo dohodnuté, že v prípade potreby sa tieto komponenty nahradia. Z daných komponentov vyplýva, že v prípade osi x bude posuv na jednu otáčku 1,9 mm a osi y (3.14) 0,95 mm. Na základe počtu pulzov na otáčku vychádza rozlíšenie osi x 0,00076 mm a osi y 0,00035 mm. Taktiež treba vziať v úvahu opakovateľnosť robota (nasúvanie rúry na hlavu [19]). Opakovateľnosť lineárnych osí je $\approx \pm 0,103$ a $\approx \pm 0,094$ mm. Nájazdy do frézovaného miesta budú vždy z rovnakej strany (z pohľadu osí), čo je v tomto prípade prospešné. Všeobecne platí, že hodnoty opakovateľnosti komponentov by mali mať dostatočnú rezervu vzhľadom na tolerancie výrobkov.



Obrázok 3.14. Os lineárneho pohonu

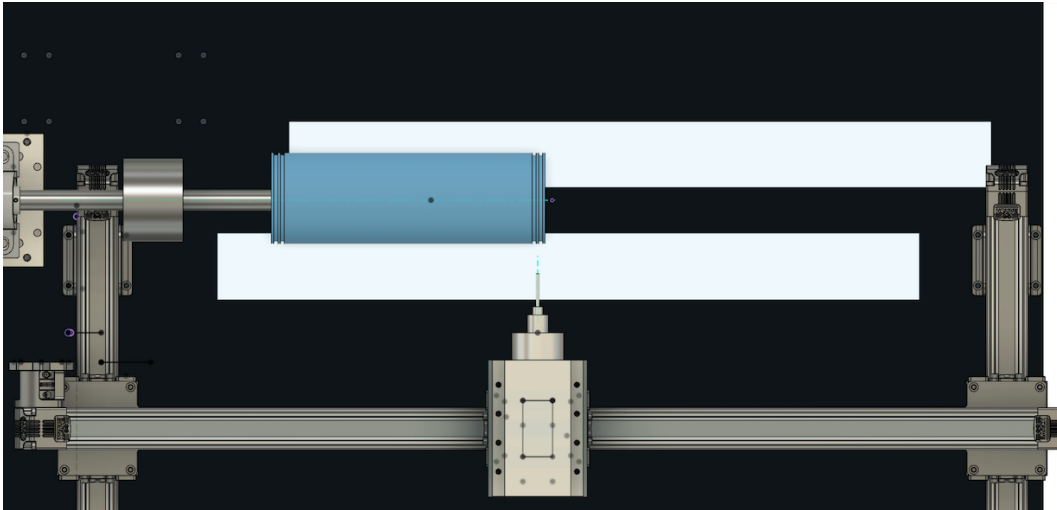
3.3.3 Uchopenie výrobku

- Výrobok S110 a 160: Pre skrátenie výrobného cyklu je dobré, aby frézovací stôl pracoval samostatne. Vzhľadom na výrobný proces je lepšie držať vonkajší priemer výrobku (je kalibrováný). Držanie z vonkajšieho priemeru by však nedovoľovalo obrobit' obe strany výrobku naraz. Bolo by potrebné:
 - vložiť výrobok manipulátorom stranou A a ofrézovať stranu B,
 - uchopiť výrobok manipulátorom,
 - otočiť a vložiť výrobok do frézy manipulátorom stranou B a ofrézovať stranu A.
- Vzhľadom na vyššie spomínané dôvody, som sa rozhodol vyskúšať klampy/prsty vyrobené pre vnútorný priemer. Taktiež by bolo ideálne, aby toto uchopenie malo koncový doraz tak, aby vložený výrobok mal vždy rovnakú polohu. Koncový doraz by však pri výrobku S110 a S160 opäť spôsobil otáčanie a frézovanie iba jednej strany. Z tohoto dôvodu bude umiestnený zarovnávací stôl/zásobník pred frézovací stôl.
- Výrobok P300 až P720 síce nie je frézovaný z vnútronej strany ako je to u S110 a S160, avšak drážky sú príliš blízko ku koncu rúry. Z dôvodu, aby som sa vyhol otáčaniu výrobku, navrhol som klampy pre vnútorný priemer viz obrázok 3.15. V tomto prípade bolo nutné taktiež pridať podporné držanie v mieste, kde nebude prekážať fréze a uchopeniu manipulátora.

**Obrázok 3.15.** Prsty pre centrický gripper

3.3.4 Frézovanie

- V prípade produktov P300 až P720 je treba vyrezať 4 drážky a rúru z jednej strany zrezať. K tomuto účelu bola vybraná fréza WNT W.SA.4,5.50.Z2.HA.L DLC v spolupráci s pracovníkom spoločnosti CERATIZIT. Drsnosť povrchu výrobku vo frézovaných častiach dosahuje $Ra = 1,2$. Vďaka tejto konfigurácii má výsledný výrobok požadované vlastnosti. Pri frézovaní týchto výrobkov trpelo toto zariadenie istými vibráciami (hlavne pri P545 a P720). Preto bolo doplnené podporným zariadením pre držanie výrobku počas frézovania. Na obrázku 3.16 môžeme vidieť frézovacie zariadenie.

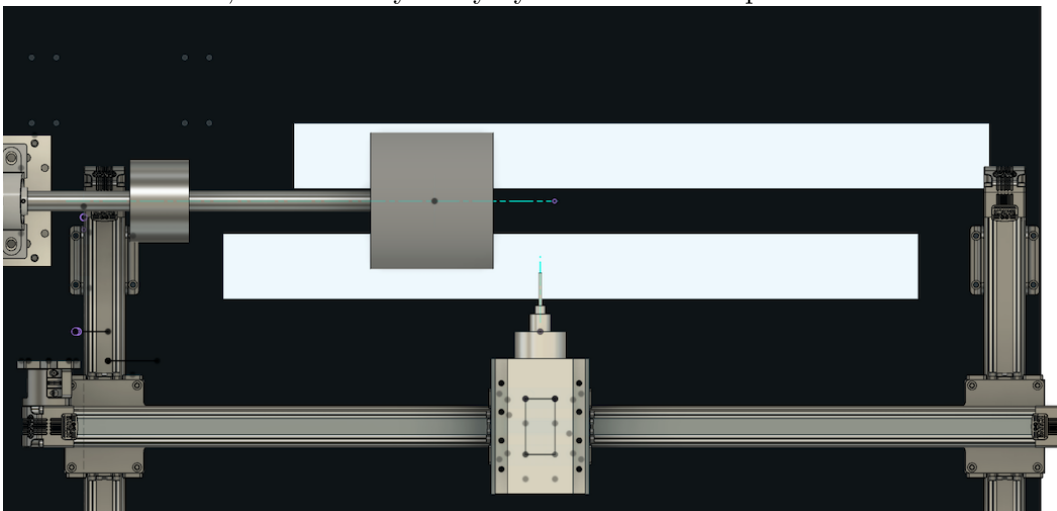


Obrázok 3.16. Frézovanie prepojky



Obrázok 3.17. Frézovací nástroj [8]

- V prípade frézovania výrobkov S110 a S160 bola situácia náročnejšia. Bolo potrebné nájsť spôsob, ako zraziť hranu výrobku. Z obrázku 3.18 vidno, že frézka a obrobok zovierajú uhol 90° . Princípiálne je potrebné, aby sa fréza dostala do/na vnútorný priemer rúry. Pre tento účel bola vybratá uhlová fréza WNT Z H.WF.A.45.25,0.Z10.HB. Výsledný výrobok dosahoval požadované vlastnosti.



Obrázok 3.18. Frézovanie spojky



Obrázok 3.19. Uhlová fréza [9]

- Frézovací stôl je v programovej časti nazývaný FR2. Do robotickej bunky je pridané aj miesto na zarovnanie odrezaných výrobkov. Toto miesto je v programovej časti nazvané ako Z2 a je na obrázku 3.20. Z2 bolo navrhnuté pre všetky typy výrobkov. Sklon bol navrhnutý a následne experimentálne odskúšaný.



Obrázok 3.20. Priestor pre zarovnanie rúr

3.3.5 Elektronické vybavenie frézy

- Ako je vyššie spomínané, frézovací stôl som doplnil o senzory, motory som doplnil o príslušné meniče. Vybavenie frézovacieho stola je uvedené v nasledujúcej tabuľke 3.11

signál číslo	typ	význam	zdroj/cieľ
1	USS	ovládanie rýchlosti točenia hlavy	hlavné PLC
2	USS	ovládanie rýchlosti točenia frézy	hlavné PLC
3	PROFINET	polohovanie osi x + enkóder	hlavné PLC
4	PROFINET	polohovanie osi y + enkóder	hlavné PLC
5	vysokorýchlostný vstup/čítač	inkrementálny snímač točenia hlavy	hlavné PLC
6	digitálny vstup	referenčná poloha osi x	hlavné PLC
7	digitálny vstup	referenčná poloha osi y	hlavné PLC
8	digitálny vstup	koncová pozícia + osi x	hlavné PLC
9	digitálny vstup	koncová pozícia - osi x	hlavné PLC
10	digitálny vstup	koncová pozícia + osi y	hlavné PLC
11	digitálny vstup	koncová pozícia - osi y	hlavné PLC
12	digitálny vstup	poloha hlavy (otvorené/zatvorené)	hlavné PLC
13	digitálny výstup	otváranie hlavy (ventil)	hlavné PLC
14	digitálny výstup	ofuk (tryska so stlačeným vzduchom)	hlavné PLC

Tabuľka 3.11. Vstupy a výstupy riadenia manipulátora

3.3.6 Výsledok

- Frézovací stôl bol na výrobkoch P300 až P720 čiastočne vyskúšaný. Skúška bola vykonaná len v manuálnom režime. Manuálnym režimom sa myslí bez použitia manipulátora a ostatných komponentov.
- Výrobok S160 bol odskúšaný v automatickom móde spolu so všetkými ostatnými komponentami robotickej bunky. Frézovanie sa ukázalo ako dostatočné a zadávateľ odsúhlasil výsledný výrobok. Nasledujúci obrázok zachytáva proces frézovania 3.21.



Obrázok 3.21. Fotka frézovania

- Pri frézovaní výrobku S110 a S160 treba spomenúť zopár faktov. Pri výrobe rúr na tieto výrobky sa v extrúznei linke kalibruje vonkajší priemer (chladený kaliber vo vákuovej zóne). Hodnota vnútorného priemeru je daná hrúbkou steny. Hodnoty hrubok sú dané extrúznou hlavou, a tým ako extrúder tlačí hmotu. Na základe týchto faktov hrúbka steny nie je na celej kružnici rovnaká.
- Tento frézovací stôl je do istej miery amatérskym nástrojom na frézovanie. Asi nespĺňa všetky parametre profesionálnych strojov na obrábanie materiálov, však ako jednoúčelový stroj vyrobený na konkrétny výrobok by mal byť dostačujúci.

3.4 Pomocná fréza

- Tak ako je spomínané v kapitole o píle a vozíku, technologické vyhotovenie píly nedovoľuje narezať vstupnú rúru bez zbytku/prídavku p v prípade výrobku S110 a S160 viz obrázok 3.13 a 3.12. Frézovací stôl/FR2 nedovoľuje zrezať výrobok s prídavkom. Taktiež nie je možné nechať tento prídavok v píle. Operátor by niekoľkokrát do dňa musel tieto odrezky zo zberného koša vyberať a prerušovať tak chod robotickej bunky. Z tohoto dôvodu som hľadal jednoduché a ekonomické riešenie. Pomer výrobkov obrobeneých na hlavnom frézovacom stole (FR2) je uvedený v nasledujúcej tabuľke 3.12:

Výrobok	Jedna rúra [ks]	Hlavný frézovací stôl [ks]	Pomocné zariadenie [ks]
S110	16	15	1
S160	14	13	1

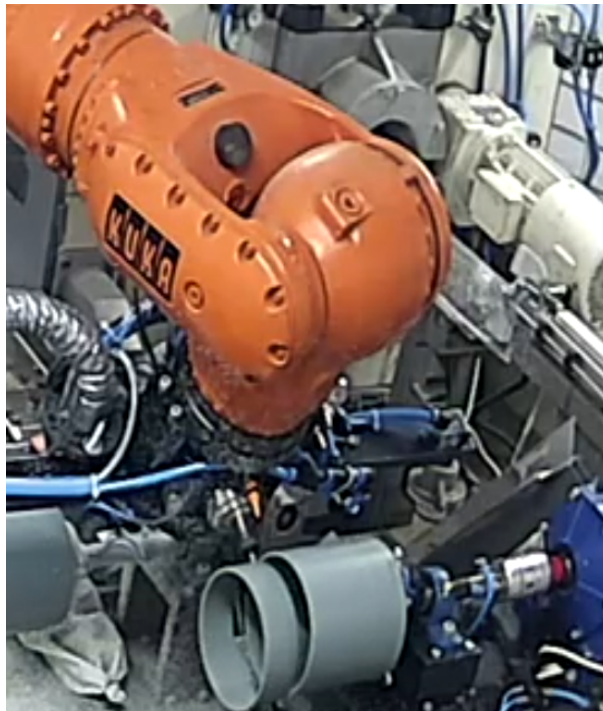
Tabuľka 3.12. Pomer výrobkov S110 a S160

- Prídavok p na poslednom výrobku z rúry by bolo možné opracovať na hlavnej fréze, čo by prispelo k zrýchleniu výrobného cyklu. Avšak sú tu dva dôvody, prečo by to nešlo:
 - Prvým dôvodom je konštrukcia frézy 3.19. Prídavok p by sa dal sfrézovať až do finálnej dĺžky. Takéto sfrézovanie by však viedlo k tomu, že výrobok by mal sfrézovanú celú hranu pod uhlom 45° .
 - Druhý dôvod sa opiera o environmentálny pohľad. Firma piliny z výrobných procesov ďalej nespracováva. Odrezky ako napríklad prídavok p sa dajú ďalej spracovať/recyklovať a použiť na iné výrobky.

Výrobok	Výroba [ks/rok]	Prídavok p [ks]	Váha p [kg/ks]	Váha p [kg/rok]
S110	15000	937	0,06	56,22
S160	50000	3571	0,08	285,68

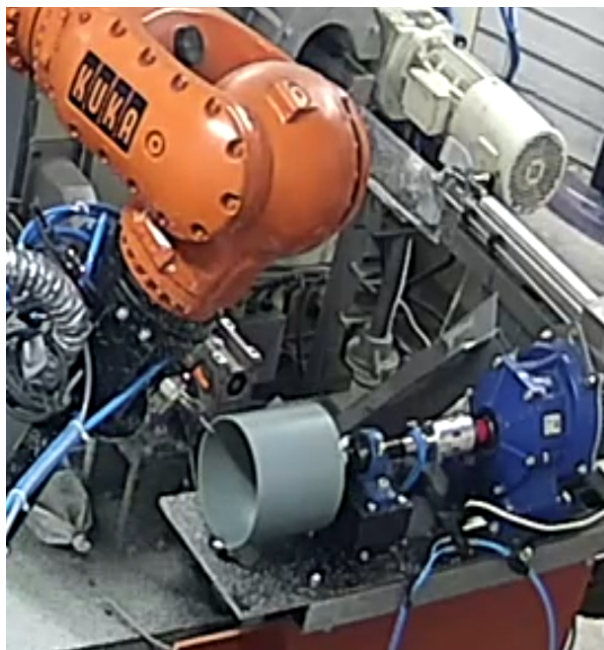
Tabuľka 3.13. Hmotnosti prídavkov

- Váhy uvedené v tabuľke 3.13 nie sú zásadné, avšak z dlhodobého pohľadu to nepredstavuje zanedbateľné množstvo.
- Na základe vyššie uvedených faktov som sa rozhodol integrovať frézku do chápadla manipulátora, čím som ušetril ďalší samostatný polohovací systém, ktorým by pomocný frézovací stôl musel disponovať.
- S integrovanou frézku sa dá výrobok jednoducho orezať a zraziť hranu. Výrobok by mohol byť niekde staticky upevnený, avšak priestorové obmedzenia a veľkosť robotického chápadla (dlhé časti s vákuovými prísavkami, popísane v nasledujúcej kapitole) by výrazne skomplikovali tento proces. Preto sa točenie výrobku ukázalo za výrazné zjednodušenie.
- Finálna podoba tohoto pomocného zariadenia obsahuje:
 - Uchopovaciu hlavu Schunk podobne ako pri FR2. Uchopovacia hlava v tomto prípade obsahuje doraz. Do hlavy som osadil rovnaký indukčný snímač polohy Sick IME08-02BPSZT0S ako pri FR2.
 - Motor pre točenie hriadele s uchopovacou hlavou.
- Keďže na hlave sú umiestnené dorazy, nie je potrebné žiadne predradené zarovnanie výrobku. V prvej fáze manipulátor s integrovanou frézou odstráni prebytočný prídavok viz obrázok 3.22.



Obrázok 3.22. Orezanie prebytočného materiálu p z posledného výrobku

- V druhej fáze dochádza k zrazeniu hrany viz 3.23. Obe fázy sú vykonané použitím jednej frézy. Pod týmto zariadením je umiestnený zberný kôš. Kapacita koša vystačí minimálne na 12 hodín nepretržitej práce. Ak by tento zberný kôš nebol vyčistený, nijak to neobmedzí/nezastaví činnosť robotickej bunky tak, ako by tomu bolo pri zbieraní prídavku p do zberného koša píly.



Obrázok 3.23. Zarezanie hrany z výrobku

- Taktiež v tomto prípade bola vybraná fréza s leštenými plochami pre lepšie odvádzanie pilín viz 3.24. Táto fréza bola opäť vybraná v spolupráci. Toto pomocné frézovacie zariadenie v programovej časi bude označované ako FR1.



Obrázok 3.24. Fréza použitá v tomto zariadení [10]

3.4.1 Elektronické vybavenie

- Pomocná fréza disponuje nasledujúcimi ovládacími a senzorkými signálmi. Od zadávateľa som dostal frekvenčný menič, ktorý nedisponuje ovládaním cez komunikáciu, takže som zvolil analógové ovládanie rýchlosti.

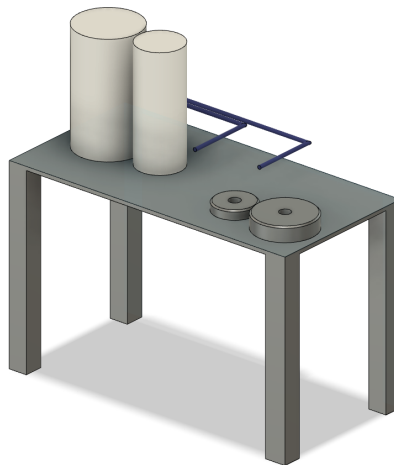
signál číslo	typ	význam	zdroj/cieľ
1	digitálny výstup	točenie v smere 2	hlavné PLC
2	digitálny výstup	točenie v smere 1	hlavné PLC
3	analógový výstup	ovládanie točenia hlavy	hlavné PLC
4	digitálny vstup	poloha hlavy (otvorené/zatvorené)	hlavné PLC
5	digitálny výstup	otváranie hlavy (ventil)	hlavné PLC

Tabuľka 3.14. Vstupy a výstupy pomocného zariadenia

3.5 Čistenie

- Požiadavkou bolo, aby sa výrobky S110 a S160 očistili a následne zabalili. K znečisteniu výrobku dochádza pri pílení v píle a následne pri frézovaní. Je potrebné očistiť vnútorný priemer a vonkajší priemer.
- Keďže tento výrobok slúži na spojenie dvoch rúr, na jeho vnútorný priemer sa nanáša lepidlo. Zadávateľ kládol dôraz na čistotu vnútorného priemeru. Boli mi

doporučené použiť kartáče. Tieto kartáče som dal vyrobiť v špirálovom tvare. Špirálový tvar zaručí odvádzanie pilín smerom nadol.



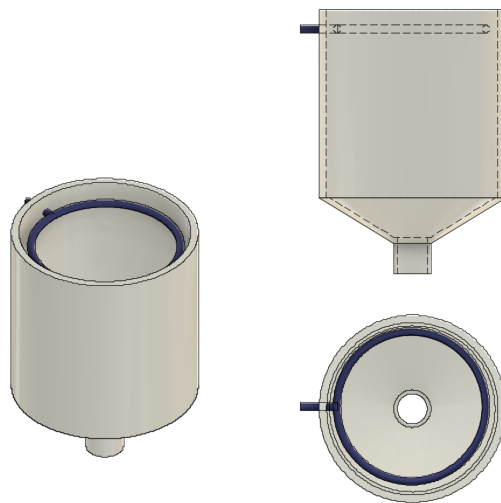
Obrázok 3.25. Stôl určený na čistenie

- Kartáče majú väčší priemer ako vnútorný priemer výrobku. Dôvody: dostatočné čistenie aj po opotrebení. Dĺžka kartáčov musí byť prispôbena dĺžke výrobku.
- Firme, ktorá kartáče vyrobila, som vysvetlil aplikáciu. Tá na základe týchto informácií vybrala materiál a hrúbku jednotlivých vlasov. Taktiež parametre špirály boli dodané výrobcom.

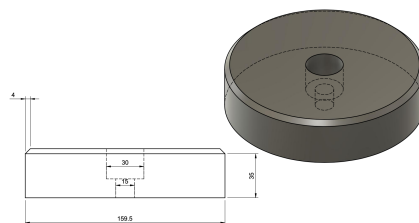
Výrobok	priemer kartáču [mm]	výška [mm]
S110	120	300
S160	170	300

Tabuľka 3.15. Základné rozmery kartáčov

- Vonkajší priemer má byť taktiež bez nečistôt. Vonkajší priemer sa bude čistiť tlakovým vzduchom. V čase spustenia robotickkej bunky a písania tejto práce je toto čistenie dočasne realizované dvoma tryskami so stlačeným vzduchom (modré rúrky na obrázku č. 3.25). Finálna verzia čistenia vonkajšieho priemeru je na obrázku 3.26. Čistenie bude opäť realizované stlačeným vzduchom. Trysky budú okolo celého priemeru rúry, natočené pod uhlom smerom k odsávaciemu otvoru. Piliny budú odsávané priemyselným odsávačom.
- Keďže počas čistenia vnútorného priemeru manipulátor drží výrobok za vonkajší priemer (predradená FR2 a FR1 drží výrobok za vnútorný priemer), musel som spraviť miesto pre polozenie a následné uchopenie rúry. Toto miesto som realizoval kruhovými diskami. Kruhový disk je vyobrazený na obrázku 3.27.



Obrázok 3.26. Finálna verzia čistenia vonkajšieho priemeru



Obrázok 3.27. Miesto pre prechytenie výrobku

3.5.1 Elektronické vybavenie

- V tomto prípade sú kartáče poháňané jedným motorom s pevnými otáčkami. Ovládanie stlačeného vzduchu je realizované ventilom 3.16.

signál číslo	typ	význam	zdroj/cieľ
1	digitálny výstup	točenie v smere 1	hlavné PLC
2	digitálny výstup	ovládanie stlačeného vzduchu	hlavné PLC

Tabuľka 3.16. Vstupy a výstupy čistiaceho priestoru

3.6 Dopravníky

- Základnou úlohou dopravníkov je prísun baliaceho materiálu a vývoz výstupných výrobkov.

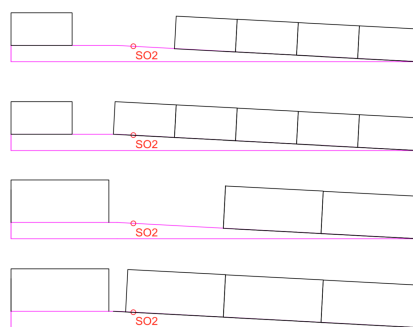
3.6.1 Dopravník 1

- Je potrebné, aby sa prázdne krabice dostali do robotickej bunky. Túto funkciu zabezpečuje tento dopravník.
- Keďže frekvencia odoberania prázdnych krabíc dovoľuje použiť pomalšie riešenie, bol pre tento účel opäť vybraný tzv. gravitačný/bezpononový dopravník.

- Pre účely robotickej bunky je potrebné snímať, či v koncovej polohe je prázdna krabica. Je to predpoklad pre pokračovanie v práci. Z tohoto dôvodu bol namontovaný snímač SICK GRTB18S-P2412V na koncovú pozíciu. Snímané rozmedzie je 20 až 150 mm a maximálne snímané rozmedzie je 3 až 300 mm. Pre tento účel je štandardné rozmedzie akceptovateľné. Pre tento účel je vhodná celá sada iných senzorov, avšak tento typ má zakazník na mnohých strojoch a neustále na sklade, takže kde to bude prípustné, budem používať tento senzor. Na obrázku 3.29 označený ako *SO3*. Snímanie naplnenosti je jediným elektronickým vybavením dopravníka.
- Dôvodom nerovného zakončenia dopravníkov na pravej strane (vonkajšia strana robotickej bunky) je, že dané dopravníky sa dodávajú v konfiguráciách na celé metre. Keďže dopravník 2 musí byť voči dopravníku 1 posunutý o 1200 mm + rezerva (vnútorná strana robotickej bunky), vznikol na vonkajšej strane odskok medzi dopravníkom 2 a 1, čo nijak neovplyvňuje funkcionálnosť.

3.6.2 Dopravník 2

- Úlohou je vývoz krabíc naplnených rukávami S110 alebo S160.
 - Krabica v prípade rukávu S110 obsahuje 114 kusov a v prípade S160 60 kusov. Pre tento účel je vybraný tzv. gravitačný/bezpohonový dopravník.
 - Dopravník sa skladá z dvoch sekcií. Prvou sekciou je nakladací priestor. Robot si preniesie prázdnu krabicu z dopravníku 1 na nakladací priestor dopravníku 2. Následne sa krabica v tomto priestore naplní. Druhá sekcia je časť, kde robot potlačí plnú krabicu z nakladacieho priestoru. Krabica následne s využitím potenciálnej energie dodanej robotom výjde von z bunky, alebo sa zaradí do radu čakajúcich plných krabíc. Operátorovi sú prístupné tie krabice, ktoré boli naplnené skôr. Nakladací priestor na obrázku 3.28 je vodorovne.
 - Pri dopravníku č. 2 je potrebné detekovať jeho zaplnenosť. Využil som preto vyššie spomínaný senzor. Na obrázkoch 3.28 a 3.29 označený ako *SO2*.
 - Dopravník pojme v prípade menšieho rukávu 6 a v prípade väčšieho rukávu 4 plne naložené krabice.



Obrázok 3.28. Význam senzora na dopravníku 2. Na vrchnom dopravníku (prvý zhora) je vidieť, že krabicu v nakladacom priestore (ľavá strana dopravníka) je možné posunúť do prava (*SO2* detekuje voľné miesto). V prípade ďalšieho dopravníka (druhý zhora) detekujeme, že dopravník je plný a činnosť robotickej bunky sa musí pozastaviť. Rovnaký princíp uplatnený na väčších krabicách pre P160 (prvé dva zdola)

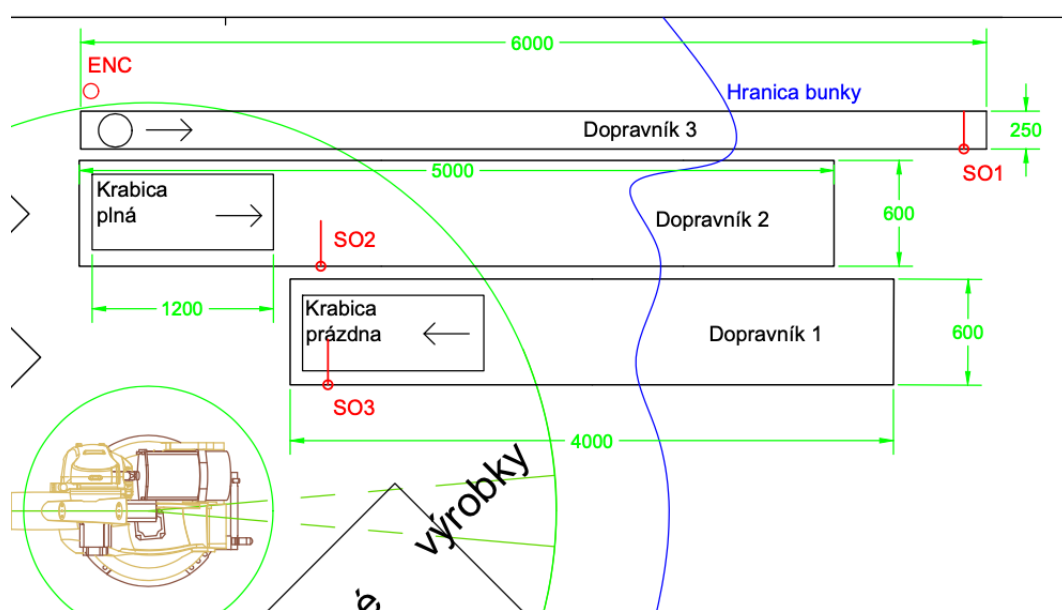
- Elektronickým vybavením tohoto dopravníka je len senzor *SO2* napojený na digitálny vstup hlavného PLC.

3.6.3 Dopravník 3

- Tento dopravník má za úlohu vývoz hotových prepojok P300 až P720.
- Bolo potrebné, aby sa na dopravník dalo naložiť čo najviac prepojok. Z tohto dôvodu som pristúpil na vertikálne ukladanie prepojok na dopravník. Taktiež sa tento fakt dá ovplyvniť dĺžkou dopravníka. Dĺžka dopravníka je obmedzená pracovným priestorom robota a dĺžkou miestnosti. Je nutné dodať, že z pravej strany robotickej bunky hala pokračuje, avšak je zaplnená ďalšími výrobnými strojmi. Preto aj pravý koniec dopravníka je limitovaný.
- Vertikálne ukladanie prepojok robotom na dopravník v prípade prepojky P300 neprináša žiadne obmedzenie. Však v prípade P545 a P720 sa pri rozbehu, príliš veľkom zrychlení alebo spomalení stávajú nestabilné. Z tohto dôvodu bude nutné nastavovať akceleráciu a deceleráciu pomocou frekvenčného meniča, a tým čo najviac eliminovať možnosť spadnutia prepojky.
- Keďže je potrebné dopravník jemne polohovať, bol na pohon dopravníka namontovaný inkrementálny snímač (*ENC* na obrázku 3.29).
- Je možné vyhodnotiť aktuálny počet prepojok na dopravníku. Nie je možné vyhodnotiť počet prepojok odobraných operátorom. Aby som predišiel pádu prepojok na zem na konci dopravníka, snímam koniec dopravníka resp. prítomnosť prepojky na konci dopravníka. Pre tento účel bol namontovaný fotoelektrický snímač SICK GRTB18S-P2412V (*SO1* na obrázku 3.29).
- Elektronické vybavenie dopravníka v nasledujúcej tabuľke (3.17):

signál číslo	typ	význam	zdroj/cieľ
1	digitálny vstup	senzor <i>SO1</i>	hlavné PLC
2	vysokorychlostný čítač	inkrementálny snímač <i>ENC</i>	hlavné PLC
3	USS komunikačný protokol	ovládanie motora	hlavné PLC

Tabuľka 3.17. Vybavenie súvisiace s dopravníkom 3



Obrázok 3.29. Rozloženie dopravníkov

- Zavádzam programové označenia pre dopravníky v nasledujúcej tabuľke:

Význam	označenie
dopravník 1	DP1
dopravník 2	DP2
dopravník 3	DP3

Tabuľka 3.18. Programové označenia dopravníkov

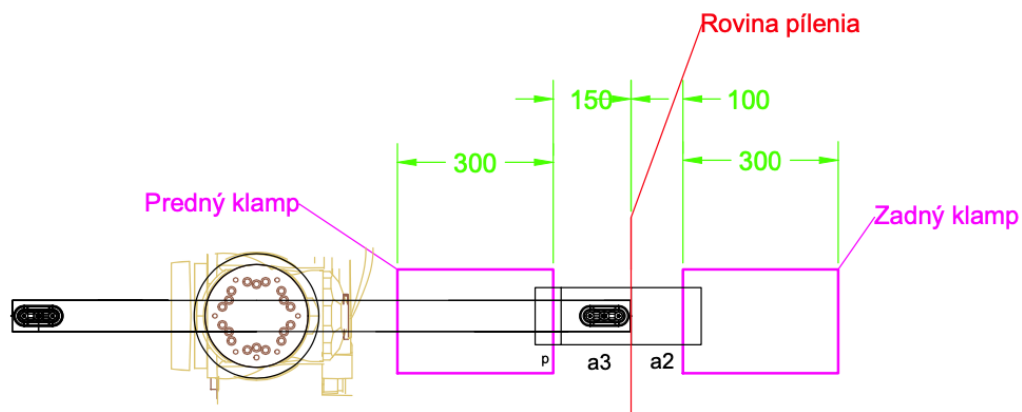
3.7 Chápadlo

3.7.1 Požiadavky

- Podobu a jednotlivé komponenty chápadla definuje výrobný proces, výrobok a jednotlivé komponenty robotickej bunky. Chápadlo musí spĺňať nasledujúce funkcie:
 - Manipulácia s nenapílenými rúrami.
 - Uchopenie za vonkajší a vnútorný priemer (pílenie).
 - Manipulácia s napílenými rúrami (výrobkami).
 - Uchopenie za vonkajší a vnútorný priemer (pílenie a čistenie).
 - Manipulácia s výrobkom v papierovej krabici (obmedzenia vzhľadom na hĺbku krabice).
 - Manipulácia s papierovými krabicami.
 - Robotické chápadlo musí spracovať poslednú vzorku rúry (S110+p, S160+p).
 - Chápadlo musí byť dostatočne kompaktné, aby nedošlo v trajektóriách ku kolíziám. Hmotnosť musí byť s ohľadom na tuhosť čo najnižšia.
 - Princíp uchopenia sa vzhľadom na objekty môže líšiť. Krátke výrobky by bolo možné uchopovať mechanickým gripperom. Papierové krabice by sa dali uchopovať nástrojom v tvare vidlíc. Cieľom bolo však použiť jeden princíp manipulácie. Z tohoto pohľadu vychádzalo vákuové uchopenie ako najlepšia možnosť.

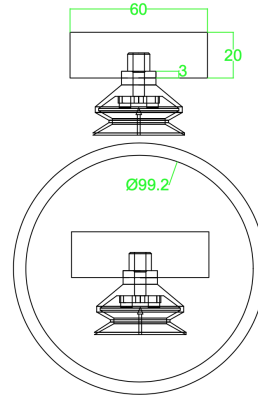
3.7.2 Priestorové obmedzenia

- Prvým priestorovým obmedzením je píla. Keďže je potrebné vyfialnúť posledný výrobok s prídavkom, chápadlo musí byť dostatočne dlhé. Na obrázku 3.30 je vidieť, že obmedzenie sa týka predného klapku a vzdialenosti od klapku k rovine pílenia.

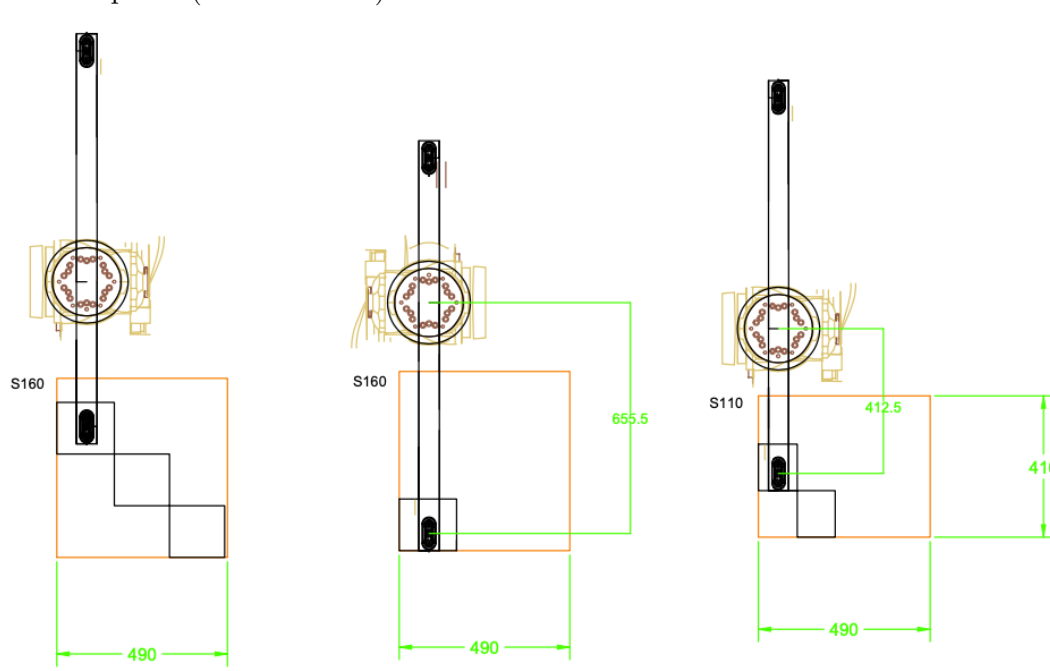


Obrázok 3.30. Vytahovanie posledného výrobku S110+p

- Uchopovanie za vnútorný priemer je potrebné pri vyťahovaní posledného výrobku z píly, balenia a taktiež aj počas čistenia. Preto ďalším priestorovým obmedzením je vnútorný priemer rúry. Najmeším priemerom disponuje výrobok P300 až P720. Priemer je zobrazený na obrázku 3.31.

**Obrázok 3.31.** Nástroj s vákuovou prísavkou v rúre

- Papierové krabice majú rozmery viz obrázky 2.3. Výrobky S110 a S160 sa ukladajú do krabice vertikálne, do troch vrstiev. Z toho vyplýva potreba úchopu za vnútorný priemer. Taktiež hĺbka najhlbšej krabice určuje ďalšie obmedzenie na chápadlo (dĺžku ramena).

**Obrázok 3.32.** Papierové krabice na balenie výrobku S110, S160

3.7.3 Základné rozloženie chápadla

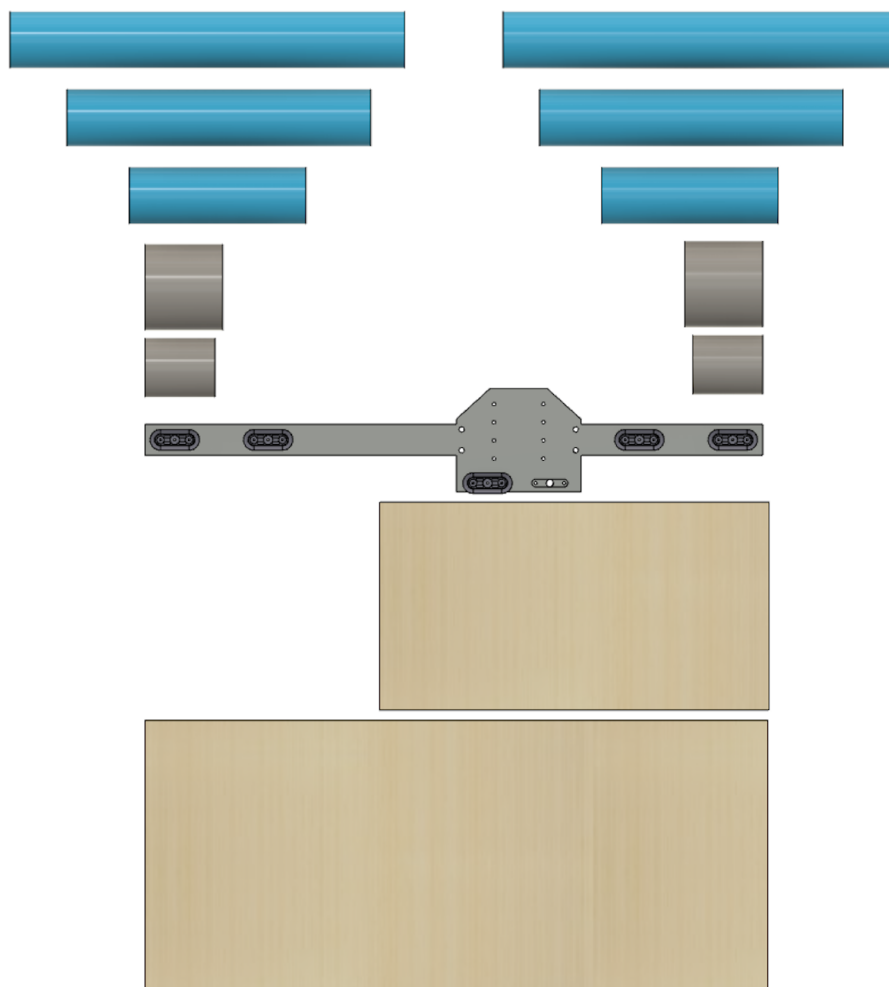
- Vzhľadom na vyrobené množstvo S160 je potrebné, aby bolo možné uchopiť dva výrobky S110 a S160. Z tohoto dôvodu som pristúpil k nesymetrickému usporiadaniu ramien vzhľadom na šiestu os viz obrázky 3.30 a 3.32.

- V nasledujúcom texte budem menovať ramená ako dlhé a krátke. Dĺžka dlhého ramena je daná vyššie spomínanými priestorovými obmedzeniami. Z pohľadu píly je toto obmedzenie 450 mm a z pohľadu najhlbšej/najvyššej krabice 510 mm. Samozrejme treba počítať s dostatočnou rezervou.
- Dĺžka krátkeho ramena je závislá na rôznych pohľadoch:
 - Vzhľadom na uchopenie nenapílenej rúry by bolo dobré, aby krátke rameno bolo čo najdlhšie.
 - Vzhľadom na trajektórie manipulátora v robotickej bunke by malo byť čo najkratšie.
 - Dĺžka by mala byť prispôsobená uchopovaniu papierových krábic.
- Manipulácia s krabicami by sa dala vyriešiť mechanickým spôsobom. Chápadlo bude osadené vákuovými komponentami. Preto som sa rozhodol využiť tieto komponenty a manipulovať s nimi aj papierové krabice. Keďže počet krábíc výrobku S160 je ≈ 833 viz (6) kde n_k sú krabice za rok (podľa tabuľky 2.1), rozhodol som sa prispôbiť dĺžku krátkeho ramena práve tejto krabici. V prípade výrobku S110 je tento počet ≈ 132 a uchopenie sa realizuje prídáním prísavky do stredu chápadla.

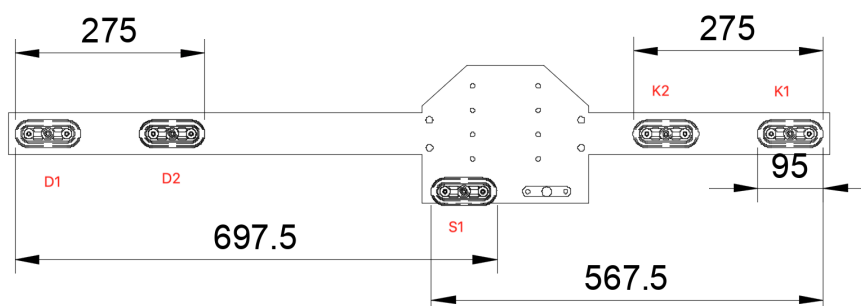
$$n_k = \frac{\text{množstvo}}{\text{balenie}} \quad [ks] \quad (5)$$

$$n_k = \frac{\approx 50000}{60} \approx 833 \text{ ks.} \quad (6)$$

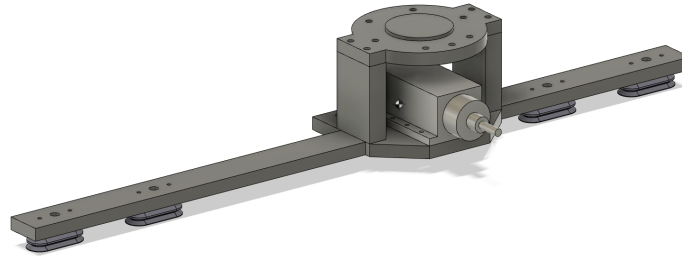
- Frézu pre odpílenie a zarezanie hrany na výrobku S110 a S160 som umiestnil do stredu chápadla respektívne na šiestu os manipulátora viz obrázok 3.35.
- Na obrázku 3.33 je zobrazené finálne rozloženie chápadla. Objekty na obrázku 3.33 zhora: P720, P545, P300, S160, S110, chápadlo, krabica S110, krabica S160. Keďže výrobky P300 až P720 je potrebné rezať s rezervou, predĺžil som dĺžky o 40 mm. Dôvod, prečo rameno obsahuje dve prísavky, je vysvetlený v nasledujúcej časti.
- Výrobky S110 a S160 sa uchopujú pomocou jednej prísavky. Výrobok P300 až P720 je uchopovaný dvoma. Vzdialenosť dvoch prísaviek na ramene musí byť taká, aby bolo možné uchopiť výrobok P300 viz 3.34.
- Finálna verzia chápadla je vyobrazená na nasledujúcom obrázku. Pri tvorbe tohoto chápadla som sa snažil dodržať vyššie spomínané obmedzenia, jednoduchosť a funkčnosť návrhu. Na obrázku 3.34 je vidno, že vedľa prísavky S1 je vyfrézované ešte jedno osadenie. Zadávatel mal obavy, že povrch krábic neumožní uchopenie (prísavky sú primárne na plasty). Z tohoto dôvodu, sa dali vyfrézovať dve drážky do stredu chápadla. V praxi a na základe výpočtu sa však ukázalo, že chápadlo je schopné manipulácie len s jednou stredovou prísavkou.



Obrázok 3.33. Rozloženie chápadla vzhľadom na manipulované objekty



Obrázok 3.34. Rozloženie chápadla vzhľadom na manipulované objekty



Obrázok 3.35. Pohľad na výsledné robotické chápadlo

- Nástroj bol vyvinutý pomocou programu Autodesk Fusion 360 [39]. Program spočítal polohu ťažiska a príslušné momenty. Vyrobený je z ocele a váha bola stanovená na 36 kg. Neberie sa do úvahy spojovací materiál, elektrické vedenie ani pneumatické vedenie.

Parameter	Jednotka	Hodnota
I_x	[kgm ²]	1,6
I_y	[kgm ²]	0,13
I_z	[kgm ²]	1,5
L_x	[mm]	10
L_y	[mm]	-40
L_z	[mm]	112

Tabuľka 3.19. Vlastnosti chápadla

-
- Význam prvkov z tabuľky 3.19 zobrazuje obrázok 3.42.

3.7.4 Manipulácia

- V tabuľke 3.20 sú hmotnosti nenapílených rúr. Hmotnosti výrobkov sú uvedené v tabuľke 2.3. Momenty zotrvačnosti výrobkov sú vyčíslené v tabuľke 2.4 podľa rovníc (1) až (6).

Parameter	Jednotka	S110	S160	P300	P545	P720
Počet kusov výrobkov na rúru n	[ks]	15	14	7	4	3
Hmotnosť m	[kg]	2,92	5,86	6,08	6,22	6,14
Výsledná dĺžka rúry l_{rv}	[mm]	2280	2195	2165	2215	2185
I_x, I_y	[kgm ²]	1,270	2,372	2,383	2,552	2,451
I_z	[kgm ²]	0,028	0,117	0,050	0,051	0,051

Tabuľka 3.20. Momenty zotrvačnosti nenapílených rúr

Manipulovaný objekt	Počet prísavok n	konfigurácia 1	konfigurácia 2
S110	1	K1	D1
S160	1	K1	D1
P300	2	K1+K2	D1+D2
P545	2	K1+K2	D1+D2
P720	2	K1+K2	D1+D2
Krabica S110	3	K1+K2+S1	-
Krabica S160	5	K1+K2+S1+D2+D1	-
Rúra S110	5	K1+K2+S1+D2+D1	-
Rúra S160	5	K1+K2+S1+D2+D1	-
Rúra P300 až P720	5	K1+K2+S1+D2+D1	-

Tabuľka 3.21. Rozloženie prísavok na manipulované objekty

- V tabuľke 3.21 je popísané rozdelenie prísavok na jednotlivé objekty. Názvy prísavok ako napríklad $K1$ (prvá prísavka na krátkom ramene) sú prevzaté z obrázku 3.34.

3.7.5 Vákuum

- Podobne ako pri mojej bakalárskej práci [4] budem sa riadiť nasledujúcimi rovnicami [20] a [21]. Rovnica (7) vyjadruje silu, ktorú musí prísavka vyvinúť, aby udržala objekt v horizontálnej polohe. V prípade (8) sa jedná o silu pre držanie vo vertikálnej polohe.

$$F_{THh} = m(g + \frac{a}{\mu})S \quad [N] \quad (7)$$

$$F_{THv} = \frac{m}{\mu}(g + a)S \quad [N] \quad (8)$$

$$F_s = \frac{F_{TH}}{n} \quad [N]. \quad (9)$$

- V rovnicach (7) až (8) m predstavuje hmotnosť manipulovaného objektu, g je gravitačné zrýchlenie, a je zrýchlenie objektu, μ je koeficient trenia, n je počet použitých prísavok a S je bezpečnostný faktor. Pre výpočet použijem rúru P545. Robot má obmedzenú akceleráciu (vzhľadom na m/s^2 , softvérové obmedzenie definované v premennej ACC_MA.CP) na $4,6 m/s^2$.

$$F_{THh} = 6,22(9,81 + \frac{4,6}{0,5})2 \approx 236,48 N \quad (10)$$

$$F_{THv} = \frac{6,22}{0,5}(9,81 + 4,6)2 \approx 358,2 N. \quad (11)$$

- Keďže pri manipulácii objektov dochádza aj k vertikálnemu držaniu, použijem hodnotu zo vzorca (11). Podľa tabuľky 3.21 nenapílená rúra P545 je držaná 4 prísavkami, výsledná požadovaná hodnota na jednu prísavku je:

$$F_s = \frac{(358,2)}{4} \approx 89,55 N. \quad (12)$$

Manipulovaný objekt	Počet prísavok n	Potrebná sila F_s [N]
S110	1	9,97
S160	1	23,11
P300	2	24,30
P545	2	44,12
P720	2	58,30
Krabica S110	3	13,00
Krabica S160	5	13,83
Rúra S110	4	42,07
Rúra S160	4	84,44
Rúra P300	4	87,61
Rúra P545	4	89,55
Rúra P720	4	88,48

Tabuľka 3.22. Potrebná sacia sila vzťahnutá na jednu prísavku

- Na základe vyššie uvedeného som vybral prísavky SCHMALZ FSGAO 95x40 VU1-72 G1/8-AG. Sú vyhotovené z Vulkollanu, čo by podľa informácií výrobcu, mali disponovať 20 násobnou životnosťou oproti prísavkám z NBR. Na jeden výrobok S110 a S160 pripadá ≈ 5 uchopení a pustení, takže bol kladený dôraz aj na túto stránku výberu.

Parameter	Jednotka	Hodnota
Šírka	[mm]	40
Maximálna šírka (pri nasatí)	[mm]	42.5
Dĺžka	[mm]	95
Maximálna dĺžka (pri nasatí)	[mm]	97
Posuv (stroke)	[mm]	12mm
Objem	[cm ³]	38,217
Sacia sila F_s (pri -0,6bar)	[N]	95
Odfuková sila (pustenie výrobku)	[N]	110
Minimálny rádius objektu	[mm]	20

Tabuľka 3.23. Vlastnosti prísavky

- Hodnoty síl z tabuľky 3.22 sa blížila hodnote sacej sily z tabuľky 3.23. Treba však poznamenať, že hodnota bezpečnostného faktoru S je 2 a hodnota akcelerácie je vysoká. Po osadení a namontovaní sa prísavky ukázali ako vhodné a dostatočné.
- Podľa tabuľky 3.21 potrebujem 6 samostatne ovládateľných okruhov.

Okruh číslo	Prísavky
1	K1
2	D1
3	K1+K2
4	D1+D2
5	K1+K2+S1
6	K1+K2+S1+D2+D1

Tabuľka 3.24. Vákuové okruhy

- Nie je problém chápadlo vybaviť šiestimi vákuovými generátormi. Avšak ekonomickejšia a dostačujúca verzia bola použiť len dva vákuové generátory. Použitím elektromagnetických ventilov (SCHMALZ IV 3 3/2 G3/8-IG G3/8-AG 24V-DC) určených na vákuum došlo k značnej úspore. Nasledujúca tabuľka popisuje zapojenie prísavok na generátor $G1$ a $G2$ a ventilov $V1$ až $V3$

Prísavka	K1	K2	S1	D2	D1
Generátor	G1	G1	G1	G2	G2
Ventil	-	V1	V2	V3	-

Tabuľka 3.25. Zapojenie

- Tak ako sa uvádza v tabuľke 3.25, pomocou generátora G1 sa dá uchopovať nasledovne:
 - násavanie cez K1:
 - G1 zapnuté,
 - V1 zapnuté (zatvorené),
 - V2 zapnuté.
 - Nasávanie cez K1 + K2:
 - G1 zapnuté,
 - V1 vypnuté (otvorené),
 - V2 zapnuté (zatvorené).
 - Nasávanie cez K1+K2+S1:
 - G1 zapnuté,
 - V1 vypnuté (otvorené),
 - V2 vypnuté (otvorené).
- Rovanký princíp sa uplatňuje aj na prísavky D1 a D2.
- Taktiež som generátory vybavil filtermi s jednoduchým otváraním a čistením SCHMALZ VFT G1/4-IG 100. Filtre slúžia pre odfiltrovanie pilín počas nasávania.

Komponent	Miesto
regulátor tlakového vzduchu (predradený pred G1 a G2)	osa 3
generátor G1	osa 3
generátor G2	osa 3
filtre vákua	chápadlo, osa 6
ventile V1, V2, V3	chápadlo, osa 6
prísavky K1, K2, S1, D2, D1	chápadlo, osa 6

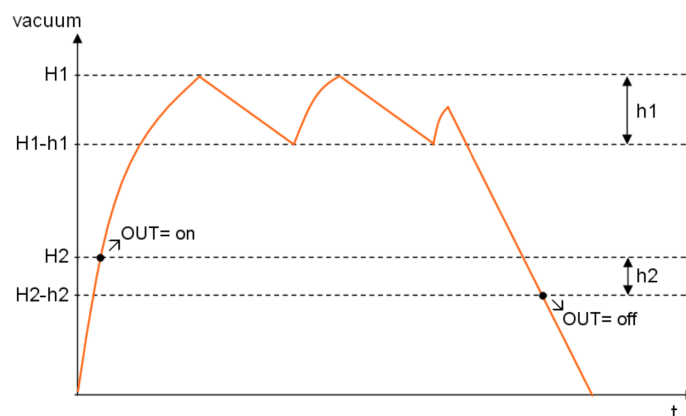
Tabuľka 3.26. Rozmiestnenie vákuových komponentov v poradí zhora nadol.

- Generátory G1 a G2 (3.26) sú umiestnené na osi číslo 3. Z generátorov vedie pneumatická rúra s vnútorným 9 mm. Dĺžka energetického nosiča medzi 3. a 6. osou má dĺžku ≈ 3900 mm. Toto vedenie sa na chápadle ešte rozvetvuje, budem počítat s dĺžkou 5000mm. Objem tohoto potrubia je $\approx 0,32$ l. V najhoršom prípade sú aktívne 3 prísavky o objeme ([22]) $38,217 \text{ cm}^3$, čo predstavuje $\approx 0,038$ l. Sčítaním dôjdeme k objemu 0,434 l (3 prísavky aktívne). Ako je vyššie spomínané, táto aplikácia si na jeden výrobok S110 alebo S160 vyžaduje až 5 uchopení a pustení. Nadimenzoval som vákuový generátor s veľkou rezervou tak, aby sa sacie časy čo najviac skrátili. Generátor G1 a G2 som obsadil generátormi SCHMALZ SCPi 25 NO RD M12-5.

Parameter	Jednotka	Hodnota
Sací výkon	[l/min]	195
Spotreba stlačeného vzduchu počas nasávania	[l/min]	290
Doporučený priemer vedenia (generátor, prísavka)	[mm]	9
Ovládanie	Signál	Cieľ
Spustenie nasávania	digitálny vstup	pripojené na KRC
Spustenie odfuku (blow off)	digitálny vstup	pripojené na KRC
Spätná väzba o dosiahnutí hodnoty vákua $H2$	digitálny výstup	pripojené na KRC

Tabuľka 3.27. Vlastnosti generátoru

- Nasávací výkon z 3.27 prepočítam na litre za sekundu (3,25 l/s). Na základe objemu systému (0,434 litra) by nasatie troch prísavok malo trvať ≈ 140 ms.
- Pri výbere vákuových generátorov som chcel, aby spotreba vzduchu bola čo najnižšia. Vyššie spomínané generátory majú integrovaný snímač hladiny vákua. Pri dosiahnutí vákua, prívod stlačeného vzduchu je odstavený (viz tabuľka 3.28 a obrázok 3.36, medzi H1 a (H1-h1)). Taktiež v programovej časti je potrebné mať spätnú väzbu o tom, či výrobok je alebo nie je na prísavke. Na toto som sa rozhodol použiť funkciu snímania vákua (viz 3.36, OUT=ON, OUT=OFF). Princíp funkčnosti je popísaný na obrázku 3.36 a hodnoty som nastavil viz tabuľka 3.28:

**Obrázok 3.36.** Funkčnosť generátora [22]

Parameter	Jednotka	Hodnota
H1	[mBar]	-700
h1	[mbar]	-150
H2	[mbar]	-550
h2	[mbar]	-100

Tabuľka 3.28. Hodnoty parametrov generátoru

3.7.6 Pomocná inštalácia

- Väčšina ovládacích prvkov komponentov chápadla je umiestnená na tretej osi manipulátora.
- Váhu prídavných zariadení uložených na 3. osi manipulátora som stanovil na 25 kg. Výpočet som zjednodušil na jednoliaty kváder o rozmeroch $h = 100$ mm, $w = d = 400$ mm.

$$I_h = \frac{1}{12} m [3(w^2 + d^2)] \quad [kgm^2], \quad (13)$$

$$I_w = \frac{1}{12}m[3(h^2 + d^2)] \quad [kgm^2], \quad (14)$$

$$I_d = \frac{1}{12}m[3(h^2 + w^2)] \quad [kgm^2]. \quad (15)$$

- Použitím rovnice (13) zistím hodnotu momentu I_h :

$$I_h = \frac{1}{12}25[3(0,4^2 + 0,4^2)] = 0,67 \text{ kgm}^2. \quad (16)$$

Parameter	Jednotka	Hodnota
I_h	[kgm ²]	0,67
I_w	[kgm ²]	0,35
I_d	[kgm ²]	0,35
L_x	[mm]	0
L_y	[mm]	0
L_z	[mm]	-1330

Tabuľka 3.29. Vlastnosti prídavných zariadení na tretej osi manipulátora

- Význam prvkov z tabuľky 3.29 zobrazuje obrázok 3.42.

3.7.7 Elektronické vybavenie

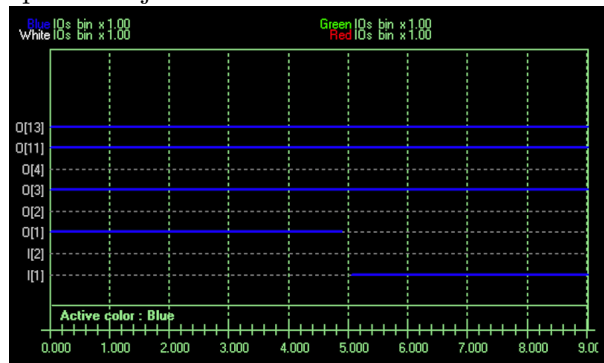
- Ovládanie elektronických komponentov chápadla je realizované pomocou komunikačnej jednotky WAGO 750-306 so vstupnými kartami WAGO 750-430 a výstupnými kartami WAGO 750-530 pripojenej ku KRC pomocou protokolu DeviceNet. K tomuto účelu by sa dala použiť aj komunikačná karta SIEMENS CP5613/14 (PROFIBUS, master/slave). Avšak modul WAGO s DeviceNet bol už v KRC nainštalovaný, takže som sa rozhodol využiť tento modul.

signál číslo	typ	význam	zdroj/cieľ
1	digitálny vstup	generátor G1 dosiahnuté vákum	KRC
2	digitálny vstup	generátor G2 dosiahnuté vákum	KRC
3	digitálny vstup	frézka OK, signál z meniča	KRC
3	digitálny výstup	generátor G1 nasávanie	KRC
4	digitálny výstup	generátor G2 nasávanie	KRC
5	digitálny výstup	generátor G1 odfuk/pustenie	KRC
6	digitálny výstup	generátor G2 odfuk/pustenie	KRC
7	digitálny výstup	ventil V1	KRC
8	digitálny výstup	ventil V2	KRC
9	digitálny výstup	ventil V3	KRC
10	digitálny výstup	točenie frézky	KRC
11	digitálny výstup	ovládanie trysky so vztlačeným vzduchom 1	KRC
12	digitálny výstup	ovládanie trysky so vztlačeným vzduchom 2	KRC

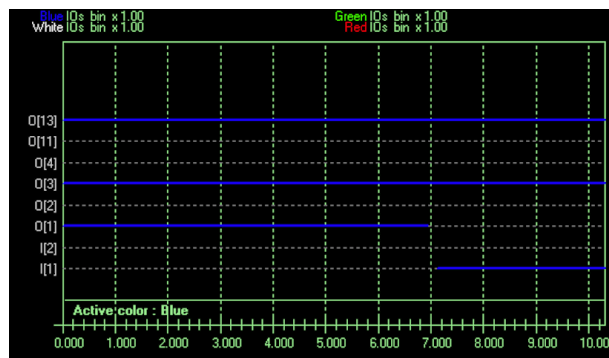
Tabuľka 3.30. Vstupy a výstupy robotického chápadla

3.7.8 Výsledok

- Vzhľadom na výrobný cyklus manipulátora je sací čas veľmi dôležitý. Po zložení a oživení bunky som spravil test nasávania. Výsledok je na nasledujúcich obrázkoch pochádzajúcich z kontroléru KRC.

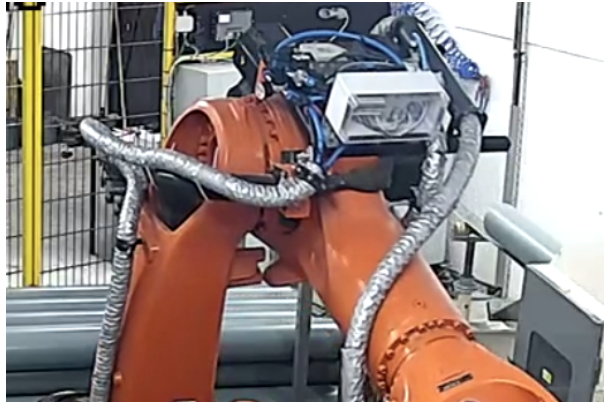


Obrázok 3.37. Nasávanie s použitím jednej prísavky. Generátor G1 ($O[1]$), ventil V1 ako $O[11]$ a ventil V2 ako $O[13]$. Nasáva len prísavka K1.

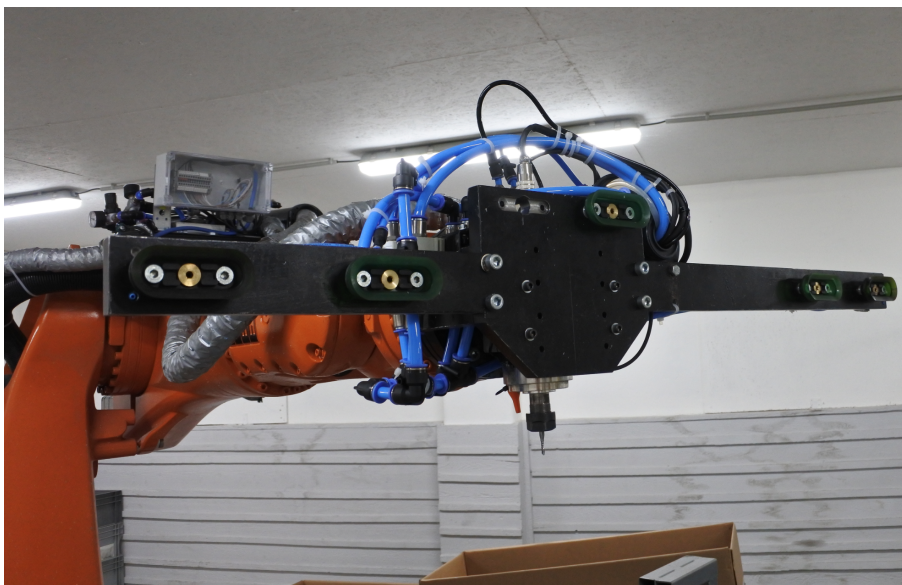


Obrázok 3.38. Nasávanie dvoma prísavkami ($K1+K2$). Generátor G1 ($O[1]$), ventil V1 ako $O[11]$ (vypnutý, nasáva aj prísavka K2) a ventil V2 ako $O[13]$

- Na obrázku vidíme signály z kontroléra. Obrázok 3.37 zobrazuje nasatie jednej prísavky. Signál $O[1]$ je generátor G1. V čase, keď je prerušený (NO verzia), tento generátor začne nasávať. Keď sa dosiahne hladina H2 vysvetlená vyššie, feedback ($I[1]$) z generátoru dosiahne hodnotu high/zapnutý a považujem výrobok za uchopený. Môžeme zhodnotiť, že k uchopeniu dôjde za necelých 250 ms. Rovnako tak aj na obrázku 3.38. Rozdiel je, že ventil V1 ($O[11]$) je vypnutý, čiže nasáva K1 a K2.
- Počas testovania sa ukázalo, že je dobré pri manipulácii ofuknúť výrobok (hlavne S160) od najsilnejších nečistôt (piliny). Toto ofuknutie realizujem 300 ms pulzom (viz tabuľka 3.30 signál č. 12). Tryska integrovaná pri prísavke K1 a D1. Taktiež počas frézovania v FR1 je dobré očistiť frézovaný výrobok.



Obrázok 3.39. Pomocná inštalácia na osi číslo 3

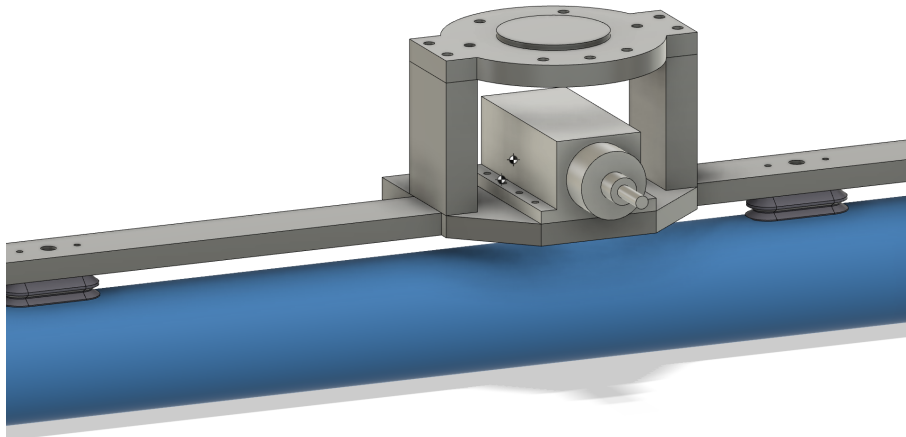


Obrázok 3.40. Vyhotovené chápadlo

3.8 Manipulátor

3.8.1 Nosnosť a momenty

- Je potrebné, aby manipulátor bol schopný plniť svoju funkciu v danej robotickej bunke. Pri kontrole nosnosti a momentov budem brať do úvahy nasledovné:
 - momenty zotrvačnosti najťažšej rúry z tabuľky 3.20,
 - momenty zotrvačnosti chápadla (os č. 6) (vyčíslené v tabuľke 3.19),
 - momenty zotrvačnosti pomocných inštalácií na osi č. 3 (vyčíslené v tabuľke 3.29).
- Pri výrobkoch S110 a S160 sú momenty zotrvačnosti nepatrné a zanedbám ich. Výpočet sa realizuje s najťažšou nenapílenou rúrou P545.



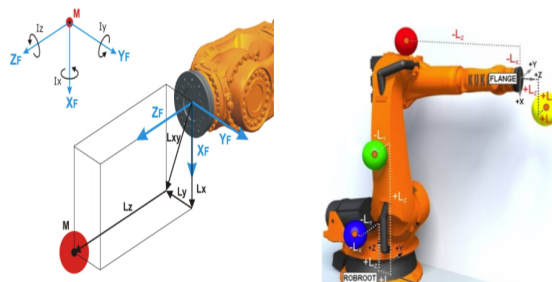
Obrázok 3.41. Chápadlo spolu s najťažšou rúrou

- Poloha ťažiska na chápadle s nenapílenou rúrou sa posunula smerom dole a doľava. Na obrázku 3.41 vyznačené malým terčikom (poloha na ľavom boku frézky).

Parameter	Jednotka	Hodnota
$I_{x_{\text{chápadlo}}} + I_{x_{\text{rúra}}}$	[kgm ²]	4,152
$I_{y_{\text{chápadlo}}} + I_{y_{\text{rúra}}}$	[kgm ²]	0,182
$I_{z_{\text{chápadlo}}} + I_{z_{\text{rúra}}}$	[kgm ²]	4,052
L_x	[mm]	10
L_y	[mm]	-50
L_z	[mm]	130
$m_{\text{chápadlo}} + m_{\text{rúra}}$	[kg]	42,22

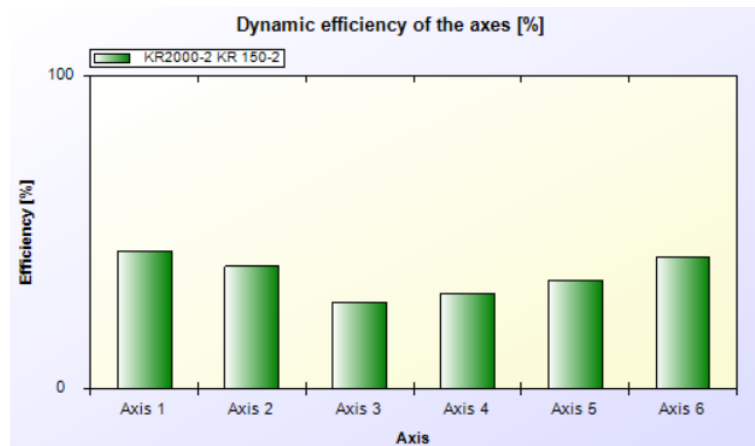
Tabuľka 3.31. Momenty a zotrvačnosti chápadla a uchopeného objektu ■

- Význam prvkov z tabuľky 3.19 zobrazuje obrázok 3.42. Taktiež moment rúry I_z je vzhľadom na obrázok 3.42 prehodený s momentom okolo osi y . Os z na obrázku 2.6 je paralelná k rúre.

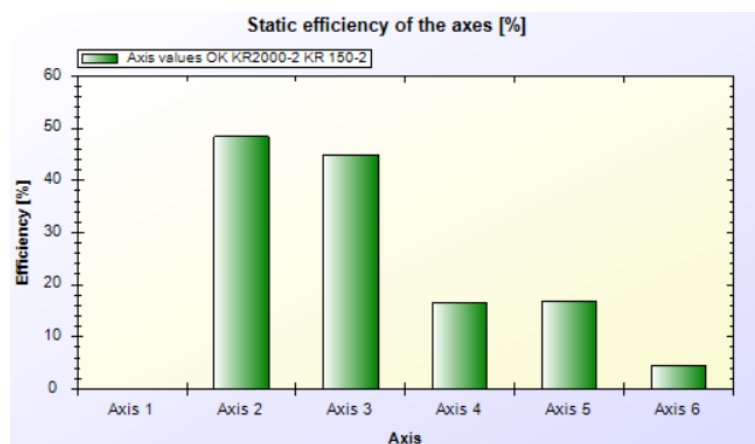


Obrázok 3.42. Význam parametrov [24]

- Údaje z tabuľky 3.31 spolu s údajmi o tretej osi (viz tabuľka 3.29) boli vložené do programu KUKA LOAD [18] pre kontrolu zaťaženia manipulátora. Výsledné hodnoty sú vyobrazené na nasledujúcich obrázkoch 3.44 a 3.43



Obrázok 3.43. Dynamická účinnosť jednotlivých os [24]



Obrázok 3.44. Statická účinnosť jednotlivých osí [24]

3.8.2 Nástroje

- Všetky potrebné záťažové údaje som zadefinoval v kontroléry robota. Robot pracuje so šiestimi nástrojmi (TOOL). Prehľad nástrojov v nasledujúcej tabuľke 3.32, kde t je číslo, pod ktorým je uložený v `TOOL_DATA[t]`.

Nástroj	t	x	y	z	a	b	c
K1	10	0	412,5	174,5	0	0	0
K2	12	0	232,5	174,5	0	0	0
D1	11	0	-662,5	174,5	0	0	0
D2	13	0	-482,5	174,5	0	0	0
S1	14	113,2	-60	174,5	0	0	0
FR	5	-193,5	0	103	0	0	0

Tabuľka 3.32. Súradnicové systémy nástrojov

3.9 Bezpečnosť

- Nevyhnutnou súčasťou robotickej bunky je bezpečnosť. Norma ISO 10218 [30] pojednáva o robotickom systéme a jeho integrácii. Návrh spočíva v identifikácii nebezpečenstva a v zhodnotení rizika.

3.9.1 Ochranný plot

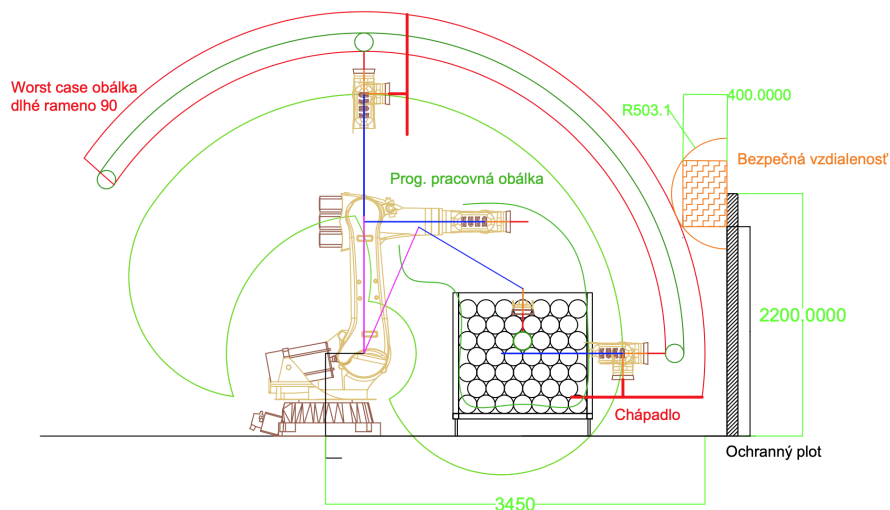
- Postupoval som podľa EN 953 (doporučené v [12]) respektíve nahradzujúcou normou EN ISO 14120 typu B2 (podľa ISO 12100) zaoberajúcou sa bezpečnosťou strojov a ochrannými krytmi [28]. V tejto norme sú vyšpecifikované napríklad spôsoby upevnenia krytov a testovanie oplotenia.
- Výška ochranného plotu som navrhol na 2200 mm viz 3.45 tak, aby bolo splnené ISO 13857 (vzhladom na výšku plotu a vzdialenosť do nebezpečného priestoru [29]. V [29] ako: Siahanie ponad ochranné zariadenie). Týka sa ochranného plotu, neberie v úvahu otváracie dvere.
- Otvor v ochrannom oplotení nesmie dovoliť, aby po otvorení osoba dosiahla na nebezpečný priestor pred zastavením manipulátora. Podľa ISO 10218-2 [30] otvor nasleduje normu ISO 13855 [31].

$$S = KT + C \quad [mm], \quad (17)$$

$$T = t_1 + t_2 \quad [s]. \quad (18)$$

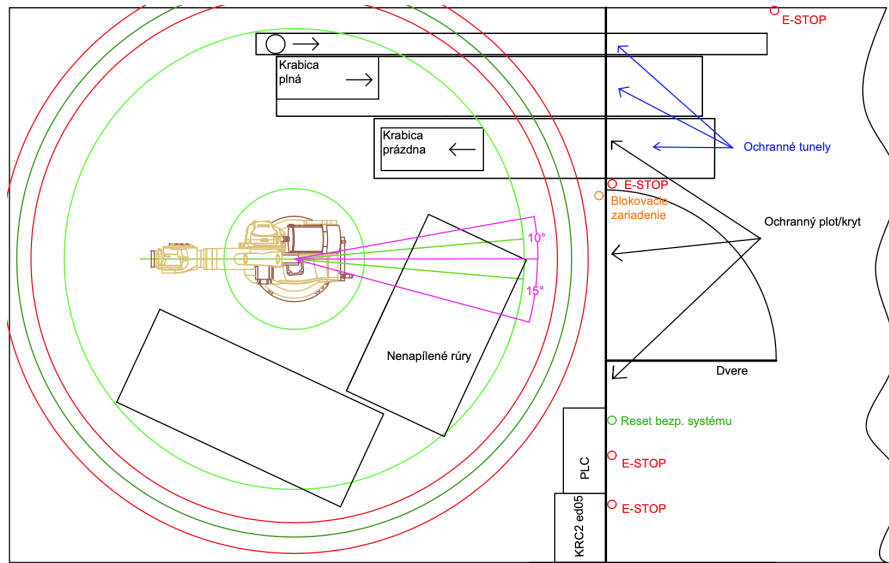
- V rovnici (17) S je minimálna vzdialenosť ochranného plotu od nebezpečnej zóny, T je čas, ktorý potrebuje systém/stroj/manipulátor na zabrzdenie/odstavenie svojej činnosti (t_1 je maximálny čas medzi spustením a generovaním OFF signálu, t_2 maximálny čas zastavenia po signále OFF), C je parameter z príslušnej tabuľky z vyššie spomínanej normy (resp. normy ISO 13857), K je rýchlosť akou sa telo môže dostať do nebezpečného priestoru (zvyčajne je to 1600 mm/s). Treba však poznamenať, že výpočet (17) sa vzťahuje na ochranný kryt bez blokovania s poistením (v našom prípade s blokovaním). Čas T sa mení vzhladom na čas t_3 potrebný pre otvorenie dverí (aby vznikol dostatočný otvor e (pre telo/časť tela) definovaný v [29]).
- Blokovacie zaisťovacie zariadenie sa musí použiť vtedy, ak čas zastavenia je väčší ako čas prístupu do nebezpečnej zóny (podľa ISO 14119). Čas zastavenia t_2 odhadnem (pre daný manipulátor som nenašiel konkrétne hodnoty). Zastavenie STOP1=1s [12], odstavené motory a zaistené brzdy, manipulator prekoná v tomto čase istú vzdialenosť. Do výpočtu času treba taktiež pripočítať reakčný čas bezpečnostného senzora dverí. Avšak už len čas STOP1=1s (po jednej sekunde dôjde k odpojeniu energie motorov a aplikovaní bŕzd) udáva vzdialenosť 1,6 metra, čo pre zadávateľa, vzhladom na úsporu miesta, nebolo uspokojivé.
- Norma [31] hovorí, že ak vypočítaná minimálna vzdialenosť je veľmi veľká, dá sa zmenšiť použitím dverí s blokovaním s poistením (s odkazom na ISO 14119 [32]). Podľa [32] ak rýchlosť zastavenia celého systému je väčšia rovná času prístupu, je potrebné použiť ochranný kryt s blokovaním a so zaistením (interlocking guard with guard locking)(prebraté z [26] a [32]). Nasledujúce funkcie sú splnené:
 - Funkcia stroja/manipulátora sa nemôže začať vykonávať, kým sa ochranný plot nezatvorí a nezaistí.
 - Ochranný kryt ostane zatvorený počas funkcie, kým manipulátor neukončí svoju činnosť.
 - Ak sú dvere zatvorené/zaistené, robot môže vykonávať funkciu (zatvorenie/zaistenie nie je spúšťačom funkcie manipulátora).

- Dvere na ochrannom plote sa môžu otvoriť len pomocou prerušeného elektrického signálu po zastavení manipulátora.
- Aby sa zamedzilo situácii, že operátor bude v robotickej bunke a zatvoria sa dvere, je potrebný reset bezpečnostného systému. Reset/ovládanie systému musí byť mimo nebezpečnú zónu (mimo bunky, za ochranným plotom). Spustenie funkcie manipulátora/bunky možné len ak sa monitorovaním zistí zatvorená poloha.
- Pri výbere blokovacieho zariadenia sa v úvahu berie sila, ktorú musí operátor vyvinúť, aby dokázal otvoriť dvere. Tá musí byť v porovnaní s prídržnou silou menšia. Použijem hodnotu z [32] pre človeka (smer sily je vodorovný, smerom dozadu (ťahanie), použitie sily je obojručne zvislým uchytaním) a to $F=1100$ N. Na zklade toho vyberám SICK i10-E0253 Lock (pridržiavaca sila 1300 N, frekvencia otvárania menej ako 7 krát za hodinu (v našom prípade 1krát za deň)). Zariadenie pozostáva z aktuátora a polohového spínaču. Zariadenie musí byť umiestnené tak, aby nebolo v dosahu z bezpečnej zóny.



Obrázok 3.45. Rozšírená pracovná obálka

- V úvahu treba vziať taktiež rozšírenie pracovnej obálky o chápadlo (na 3.45 a 3.46 červenou farbou, podľa *Handbook of Industrial Robotics* [6]). Manipulované výrobky nie sú pevne uzatvorené/uchopené v chápadle. Pri akejkoľvek kolízii, výrobok/rúra ihneď odpadne. Robot sa pohybuje po trajektóriách ponad vozíkom s rúrami (3.45 programová pracovná obálka).

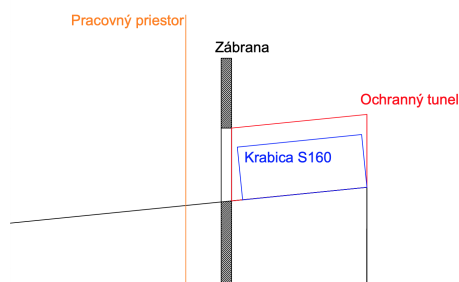


Obrázok 3.46. Rozšírená pracovná obálka, pôdorys

- Taktiež monitorujem polohu robota (3.46 fialová farba (25 stupňov)) vzhľadom na prvú os. Pri dosiahnutí fialovej zóny je robot zastavený.

3.9.2 Materiálové otvory

- Keďže v ochrannom plote robotickej bunky sú otvory, aby materiál mohol vojsť dnu a von (krabice), je možné do tohoto otvoru vložiť ruku či nohu. Norma ISO 10218-2 [30] určuje pre výpočet minimalnej vzdialenosti od nebezpečnej zóny normu ISO 13857 [29]. Nebezpečná zóna nemôže byť prístupná skrz tento otvor.
- Riešením ochrany zdravia vzhľadom na tieto otvory môže byť použitie: ochranných tunelov (oddialenie prístupu), použitie ESPE (elektrosenzitívne ochranné zariadenie) na detekciu tela alebo použitie ESPE na celkové uzatvorenie prienikov (prerušenie funkcie snímania počas toho ako materiál ide dnu/von (muting)).



Obrázok 3.47. Navrhnutý ochranný tunel pre dopravník DP1

- Na základe normy [29] som navrhol ochranný tunel (pevný ochranný kryt s bezpečnou vzdialenosťou). Dopravník DP1 je najbližšie k nebezpečnému priestoru (podobne som postupoval pri tuneloch pre DP2 a DP3). Vzhľadom na všetky aspekty sžadávateľ vybral práve formu ochranných tunelov. V čase písania tejto práce neboli tunely vyhotovené.

3.9.3 Elektronické vybavenie

- Najdôležitejšou súčiastkou je bezpečnostná karta manipulátora (ESC, bezpečnostná karta, pripojenie cez konektor X11), ktorá zahŕňa monitorovanie dverí, lokálneho (E-stop na KCP) a externých E-stopov. Bolo k dispozícii monitorovacie bezpečnostné relé PILZ PST3 (doporučené v [33]) respektíve nahráda za PILZ PNOZ 11 ($PL = e$, kategória 4 podľa ISO 13849-1). Monitorovanie dverí je primárne pripojené k PST3. Externé E-Stopy majú 2 kanále zapojené do ESC a dva kanále do bezpečnostného relé SIEMENS SIRIUS 3SK1 ($PL = e$, kategória 4 podľa ISO 13849-1, [34]).

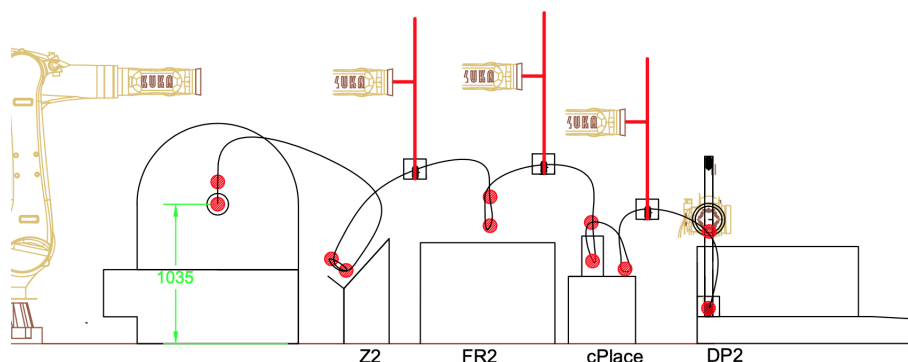
Typ	Význam	Cieľ 1	Cieľ 2
2 kan. digitálny vstup	E-STOP 1 až 3	Bezp. relé PLC	silové odpojenie
2 kan. digitálny vstup	E-STOP 1 až 3	Bezp. relé PLC	hlavné PLC
2 kan. digitálny vstup	E-STOP 1 až 3	ESC/KRC	-
2 kan. digitálny vstup	Blokovanie dverí	Bezp relé KRC	ESC/KRC
digitálny vstup	Reset prepínač (P1)	Bezp relé KRC	-
digitálny vstup	Reset prepínač (P1)	Bezp relé PLC	-
digitálny vstup	E-STOP OK	hlavné PLC	-
digitálny vstup	Dvere OK	hlavné PLC	-
digitálny výstup	Otvoreníe dverí	hlavné PLC	-

Tabuľka 3.33. Elektronické vybavenie

- V tabuľke 3.33 sú uvedené bezpečnostné prvky. Informácia o tom, či sú dvere zatvorené alebo otvorené je do hlavného PLC privedená cez AUTEXT (pracovný mód robota).

3.10 Rozloženie

Rozloženie robotickéj bunky z pohľadu pôdorysu pracovnej obálky vyplýva z toku materiálu v bunke. Snahou bolo nastaviť vertikálnu výšku komponentov tak, aby trajektórie, ktoré musí výrobok prekonať boli čo najkratšie. Tak ako bolo spomenuté v kapitole o píle, určovateľom výšky je píla (príliš náročná úprava). Obrázok 3.48 zobrazuje principiálne výšky trajektórii vzhľadom na výšku komponentov.



Obrázok 3.48. Vertikálne rozloženie



Obrázok 3.49. Horizontálne rozloženie

Kapitola 4

Programové riešenie

4.1 Hlavné rozhranie robotической bunky

- Rozhranie robotической bunky pozostáva z: KCP (obrazovka manipulátora (teach pendant)), HMI (obrazovka PLC), signálna veža, prepínač P1, P2 a E-STOP viz obrázok 4.1.
- Rozloženie z pohľadu pozornosti operátora:
 - Ako prvý prvok, ktorý má upútať pozornosť obsluhy, alebo dať prvotnú informáciu o aktuálnej situácii, je signálna veža.
 - Druhý prvok je HMI. HMI zobrazuje všetky hlásenia, výzvy a upozornenia.
 - Následuje KCP. Niektoré hlásenia nie je možné zobrazit cez HMI. Vtedy HMI odkazuje na KCP.



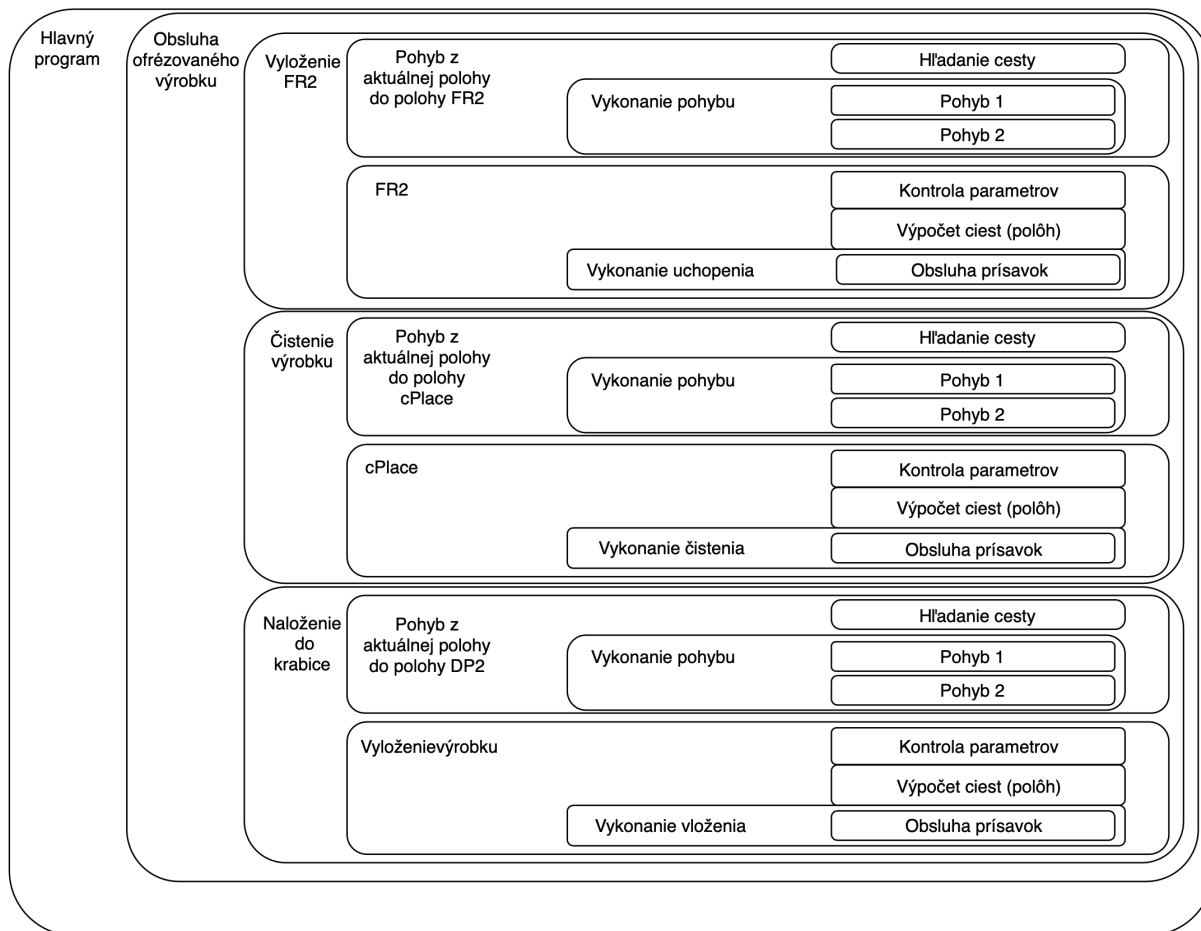
Obrázok 4.1. Hlavný panel

- Význam farieb signálnej veže:
 - Červená (vyvolané PLC): nie je splnená bezpečnosť (nie sú zavreté dvere, stlačený E-stop atď.), vyskytol sa error v komponente alebo manipulátore.
 - Oranžová (vyvolané KRC): KCP hlási poruchu/error. Vyžaduje sa pozornosť na KCP.
 - Modrá (vyvolané PLC): vyžaduje sa vloženie údajov alebo potvrdenie údajov/stavov od operátora na HMI. Ak je to možné, manipulátor môže pokračovať v pohybe/práci. Príklad: nie sú prázdne krabice (dočasne neovplyvňuje manipulátor).
 - Biela (vyvolané KRC): vyžaduje sa vloženie údajov od operátora na HMI. Manipulátor nemôže pokračovať v pohybe/práci.
 - Zelená (vyvolané PLC): aktívna len v prípade ak sú všetky podmienky pre štart alebo pokračovanie splnené a nie je potrebná pozornosť operátora.
- Najpodstatnejšiu úlohu v rozhraní má HMI. HMI komunikuje s operátorom prostredníctvom priamych signalizácií (napríklad: zobrazenie červeného krížiku) alebo prostredníctvom správ. Bližšie predstavenie v kapitole HMI.

- Rozloženie z pohľadu riadenia robotической bunky:
 - Prepínač P1: Definuje základný stav robotической bunky: automat a manuál.
 - Prepínač P2: V prípade narušenia bezpečnosti je potrebné obnoviť činnosť bezpečnostných relé. Nezávisle na tom, v akej polohe je prepínač P2, je potrebné, aby operátor potvrdil bezpečnosť prepnutím z pravej polohy do ľavej polohy.
 - HMI: Keďže PLC je nadradený komponent, plní hlavnú ovládaciu funkciu. Všetky ovládacie funkcie som smeroval do HMI.
 - KCP: manipulátor pracuje v móde AUTEXT (automatic external). Spúšťanie manipulátora a hlavné informácie sú dostupné cez HMI.

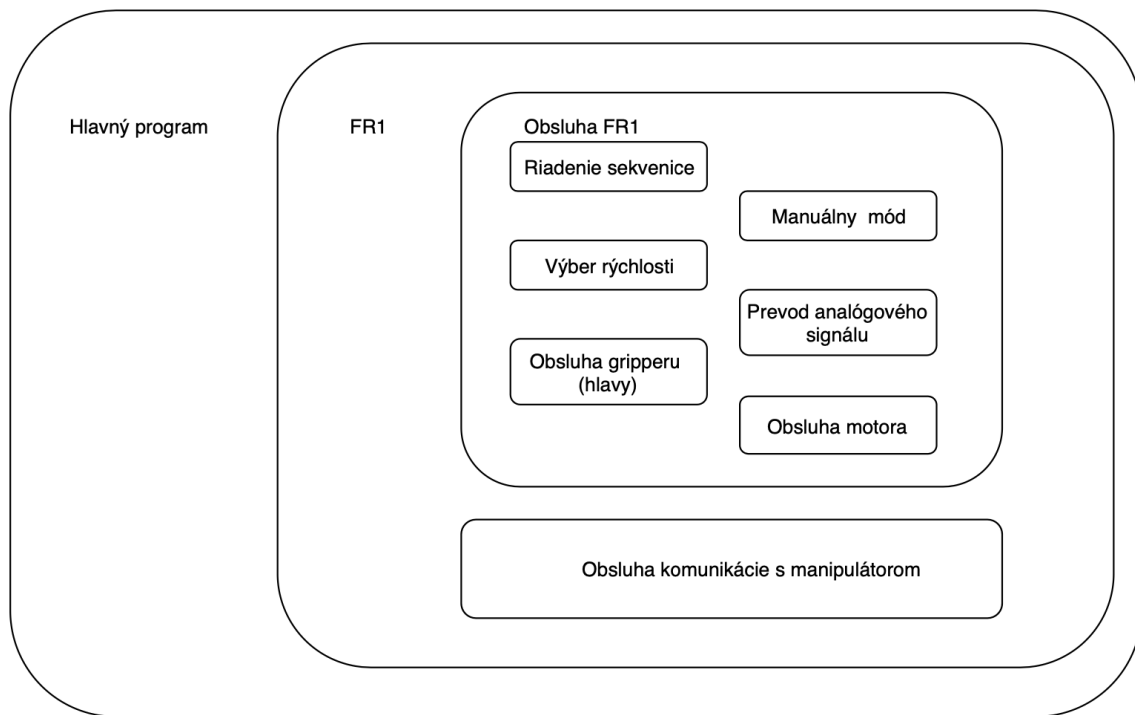
4.2 Architektúra

- Robotická bunka je synchronna. Píla nemôže pracovať bez naloženia rúry, fréza nemôže frézovať bez odpílenej rúry atď. Z pohľadu návrhu bunky sa jedná o koncept *viacero úloh na rôznych stanoviskách/komponentoch v rozličných časoch* ([6]).
- Klasifikácia z pohľadu manipulátora:
 - množstvo robotov: jeden,
 - úlohy robota: viacero rôznych úloh,
 - pohyby robota: kombinácia fixných a premenných pohybových sekvencií.
- Klasifikácia z pohľadu bunky:
 - komponenty: fixné komponenty,
 - zdieľanie komponentov viacerými robotmi: nie,
 - prekrývanie buniek, respektíve spojenie viacerých buniek: jedna samostatná bunka.
- Materiálová klasifikácia:
 - tok materiálu: jeden smer,
 - vstup a výstup materiálu: v prípade vstupu majú výrobky jeden spoločný vstup. V prípade výstupu sa jedná o dva rôzne výstupy (krabica výrobky S a dopravník výrobky P).
 - Tvorenie skupín výrobkov: v prípade výrobkov S sa tvorí skupina v krabici.
- Pri tvorbe programov som dekomponoval jednotlivé úlohy na podúlohy. Z pohľadu manipulátora som chcel docieľiť modularitu, znovupoužiteľnosti a možnosti flexibilne *preskladať* obsluhu jednotlivých komponentov (viz *Handbook of Robotics* [5]). Cieľom bolo dostať bloky (na obrázku 4.2 označené ako *vyloženie FR2*), ktoré nemusia byť nutne v sekvencii zobrazenej na obrázku. Obrázok 4.2 zobrazuje principiálne možnosť skladania podprogramov. V praxi to znamená, že po vyložení FR2 môže nasledovať nie čistenie výrobku, ale napríklad naloženie FR2 (použitím druhého ramena chápadla). Na obrázku 4.2 je príklad dekompozície obsluhy frézovacieho stola. Podblok *Pohyb z aktuálnej polohy do polohy X* vysvetlený v sekcii *Trajektórie*.

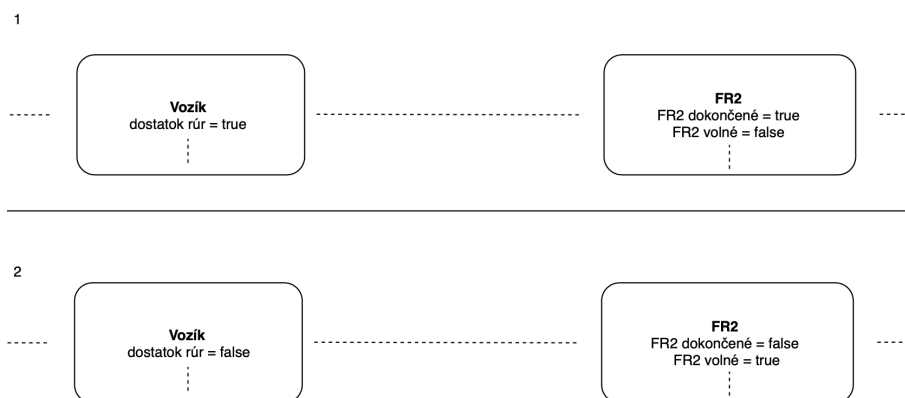


Obrázok 4.2. Príklad delenia programov manipulátora

- V prípade PLC sa toto delenie týka jednotlivých komponentov. Na obrázku 4.3 je uvedený príklad na pomocnej fréze FR1. Komponenty sú v hlavnom programe rozdelené do blokov (na 4.3 ako FR1). Vyhotovenie blokov je opísané v sekcii *PLC program* tejto kapitoly.
- PLC oznamuje manipulátoru stav jednotlivých komponentov. Na obrázku 4.4 sú zobrazené základné informácie, ktoré má k dispozícii manipulátor o jednotlivých komponentoch. V čase 1 je vo vozíku dostatok rúr pre to, aby mohol manipulátor a bunka pokračovať v činnosti a je potrebné vyložiť výrobok z frézovacieho stola. V čase 2 sa minuli rúry vo vozíku a manipulátor môže vykonávať činnosti s ostávajúcimi výrobkami v bunke.
- Je potrebné podotknúť, že programové vybavenie nie je vo finálnom stave. Toto vyhotovenie však poslúžilo pre odskúšanie a oživenie robotického bunky. Samozrejme, je potrebná optimalizácia rozhodovania, pohybov a rýchlostí. V prvej fáze fungovala robotická bunka na sekvencii: odpíl rúru, zarovnaj rúru, oŕezuj rúru, vyčisti rúru, zabal rúru (v tabuľke 5.1 mu prináleží čas cyklu *Dosiahnutý č. 1*). Po každej činnosti sa manipulátor vracal späť do referenčnej polohy. Následne som hlavný program rozšíril práve o inak poskladané moduly (tak ako je spomenuté vyššie) a pridal podmienky. Na obrázku 4.5 je zobrazený príklad aktuálnej funkčnosti hlavného programu manipulátora (v tabuľke 5.1 mu prináleží čas cyklu *Dosiahnutý č. 2*).

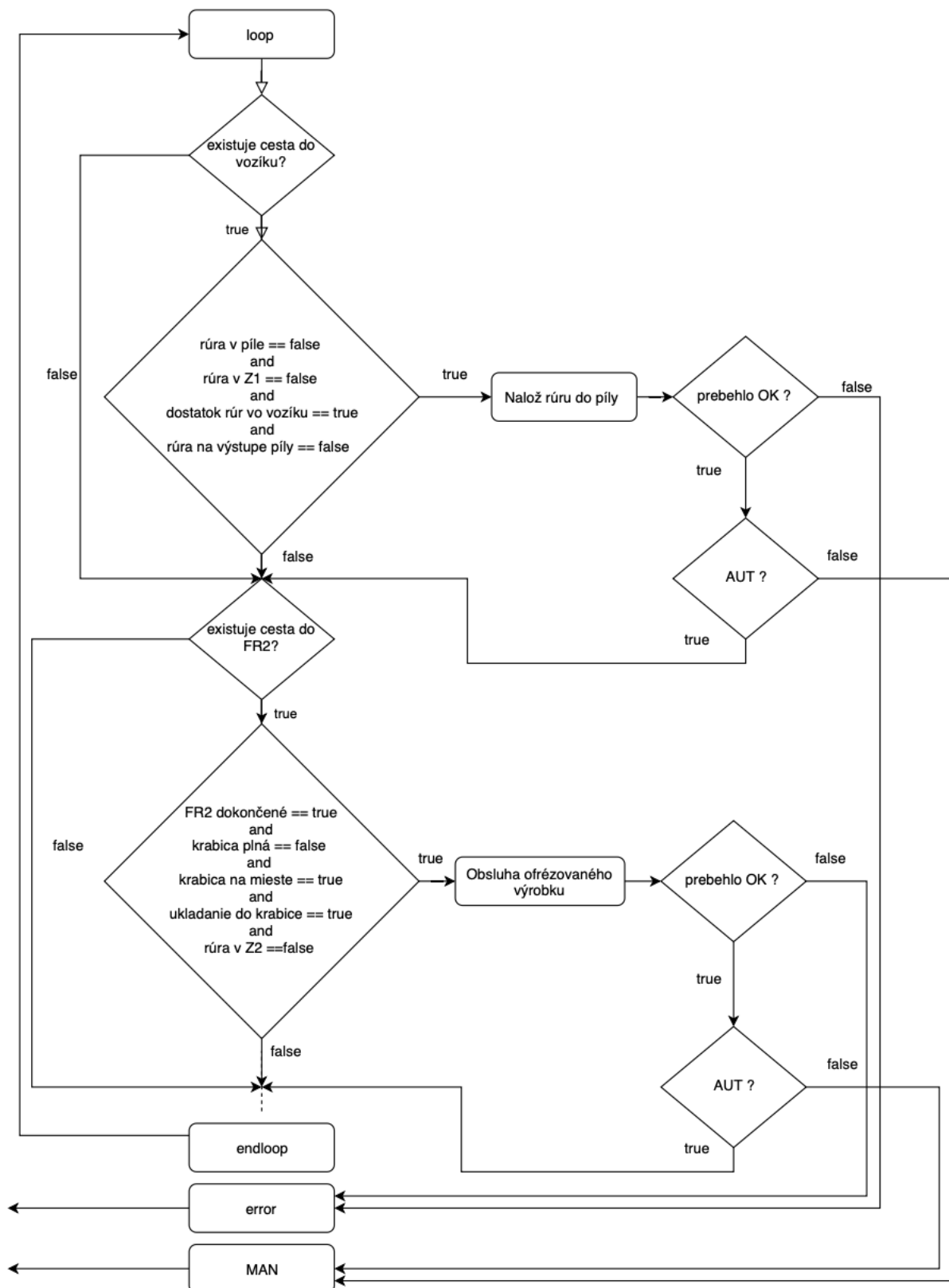


Obrázok 4.3. Príklad delenia programov PLC



Obrázok 4.4. Stav komponentov

- Rozšírenie sa týkalo viacerých komponentov. Nakladanie rúry z vozíku, cez Z1, do píly bolo rozšírené o modul, kedy manipulátor v čase, keď všetky komponenty sú v činnosti, naloží rúru do Z1. Pri ďalšej potrebnej nakládke manipulátor naloží rúru zo Z1 do píly. Táto úprava zrýchli znovuspustenie píly. Podprogram z obrázku 4.5 (označený ako *Obsluha ofrézovaného výrobku*) je zhodný s podprogramom zobrazeným na obrázku 4.2. Rozšírenie sa týkalo taktiež frézovacieho stolu. Je možné vložiť výrobok do frézy krátkym ramenom, kým je hotový výrobok uchopený na dlhom ramene.
- Daná úloha si vyžaduje o mnoho viac pozornosti než som mal možnosť jej dať. Danú konfiguráciu by bolo dobré rozšíriť o priority, ktorými by sa optimalizovali výrobné cykly. Taktiež by som chcel v budúcej práci analyzovať možnosti plánovania.

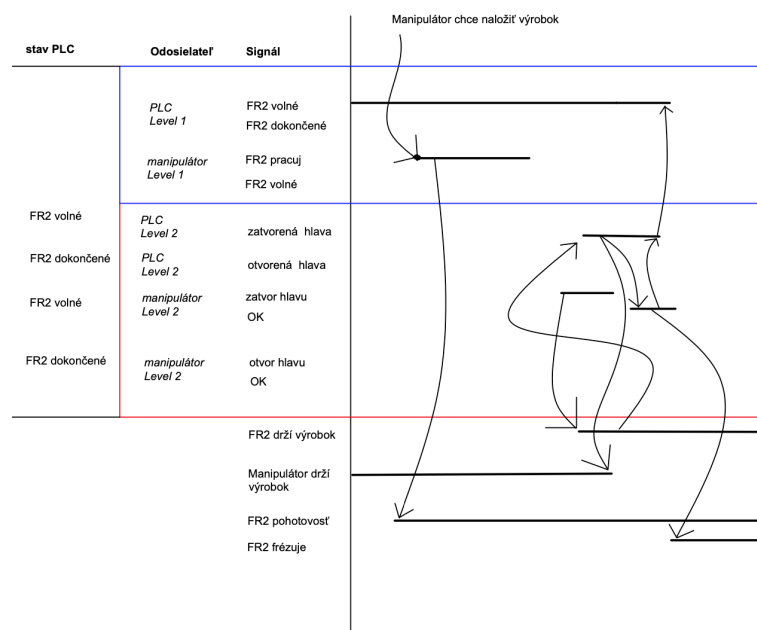


Obrázok 4.5. Spracovanie informácií z PLC a rozhodovanie

4.3 Komunikácia KRC a PLC

- Využil som, že robot mal nainštalovanú komunikačnú kartu SIEMENS CP5613/14 (PROFIBUS DP (komunikačný protokol založený na seriovom RS485)). V danej konfigurácii je PLC *master* a KRC (manipulátor) ako *slave*. Konfigurácia v `pfbms.ini` a `iosys.ini` (podľa [15]) na strane manipulátora a v TIA Portal V15.1 ?? na strane PLC.
- Komunikačné bajty, wordy a double wordy som si rozdelil do nasledujúcich kategórií:
 - Dáta týkajúce sa AUTEXT (pracovný mód robota).
 - Dáta týkajúce sa receptúry (závislosti a špecifiká jednotlivých výrobkov).
Napríklad:
 - balenie výrobku do krabice alebo na dopravník.
 - Dáta týkajúce sa procesu *Level 1*.
 - *Level 1* slúži na základné rozlíšenie stavu komponentov (pracuje/nepracuje, voľné/obsadené atď.).
 - Dáta týkajúce sa procesu *Level 2*.
 - Druhý level sa týka hlavne základných funkcií komponentov (zavretie/otvorenie, otváranie/zatváranie atď.).
 - Dáta týkajúce sa polohy rúr v robotickej bunke. Napríklad:
 - rúra v Z1.
 - Dáta týkajúce sa polohy robota v robotickej bunke a manuálneho ovládania robota (vzhľadom na koncové body (vysvetlené v nasledujúcich kapitolách))
 - Ostatné dáta. Napríklad:
 - opravné uchopenie rúry vo vozíku.
- Vysvetlenie *Levelu 1* a *2* na príklade FR2. O tom, či robot má použiť FR2, sa hovorí v receptúre. Ak nie, tak ignoruj. Ak áno: v prvom leveli má FR2 tri stavy (z PLC do KRC):
 - FR2 voľné. Je možné naložiť výrobok do FR2.
 - FR2 rotácia. Potreba otočiť výrobok. Táto funkcia sa aktuálne nepoužíva (nie je potreba otočiť výrobok vo FR2 (to neplatí o FR1)).
 - FR2 dokončené. Potreba vyložiť dokončený výrobok.
- *Level1* má slúžiť pre základné rozhodovanie o postupe. Na to existuje odpoveď zo strany KRC do PLC a to:
 - FR2 pracuj. Znamená, že FR2 je podľa informácií voľná a robot sa dožaduje naloženia výrobku.
 - FR2 voľné. Znamená, že FR2 bola úspešne vyložená, všetky stavy týkajúce sa FR2 prebehli v poriadku, robot je mimo FR2.
- *Level 2* je rozdelený podľa toho, v akom móde (v prvom leveli) sa FR2 nachádza.
- Príklad komunikácie (viz obrázok 4.6):

- Ak *Level 1* = FR2 je voľné. Tak manipulátor môže naložiť FR2. Komunikácia sa začne správou od robota: FR2 pracuj. Nasleduje *Level 1*:
 - FR2 zatvor hlavu (robot je s výrobkom na pozícii). Nasleduje (PLC do KRC):
 - FR2 hlava zatvorená. PLC zatvorilo hlavu a výrobok je uchopený (PLC do KRC).
 - FR2 OK (výrobok je uchopený, robot mimo frézy, pokyn na prácu). Nasleduje (PLC do KRC):
 - PLC mení svoj stav v prvom leveli a začne pracovať FR2.



Obrázok 4.6. Príklad komunikácie

4.4 Manipulátor

4.4.1 Pracovný mód

- Manipulátor a jeho riadenie som nakonfiguroval pre prácu v režime AUTE_{XT}. V tomto režime je manipulátor ovládaný nadradeným PLC. Po splnení všetkých potrebných úkonov, ako je `DRIVES_ON=TRUE`, `PERI_RDY=TRUE` následne `DRIVES=FALSE` a `CONF_MESS=TRUE` atď., sa spustí `cell.src` (`cell.src` je súčasťou KRC, ja som pridal selekciu `main_cell.src` na základe `PGNO`). Na základe `PGNO` premenej sa vyberie hlavný program (`main_cell.src`) s predaním hodnoty/čísla výrobku (rovnakým ako `PGNO`).

4.4.2 Rozhranie

- Rozhranie manipulátora s operátorom je:
 - Oranžová a biela farba na signálnej veži. Biela je vyvolaná v prípade, že robot vyžaduje obsluhu od operátora. Príkladom je neúspešné uchopenie rúry vo vozíku. Manipulátor si vyžiada zmenu počtu kusov (zmenu uchopovacej pozície). Oranžová farba doprevádza chybové hlášky KCP.
 - Vlastné chybové hlášky zobrazené cez KCP. Príklad:
 - zle zadané rozmery krabice: *Zle zadané parametre papierovej krabice,*
 - strata rúry počas pohybu: *Rúra bola stratená počas rotácie. Nie je možné pokračovať.*
 - Chybové hlášky vyvolané KRC zobrazené na HMI.
 - Popísané v sekcii HMI tejto práce.

4.4.3 Podprogramy a premenné

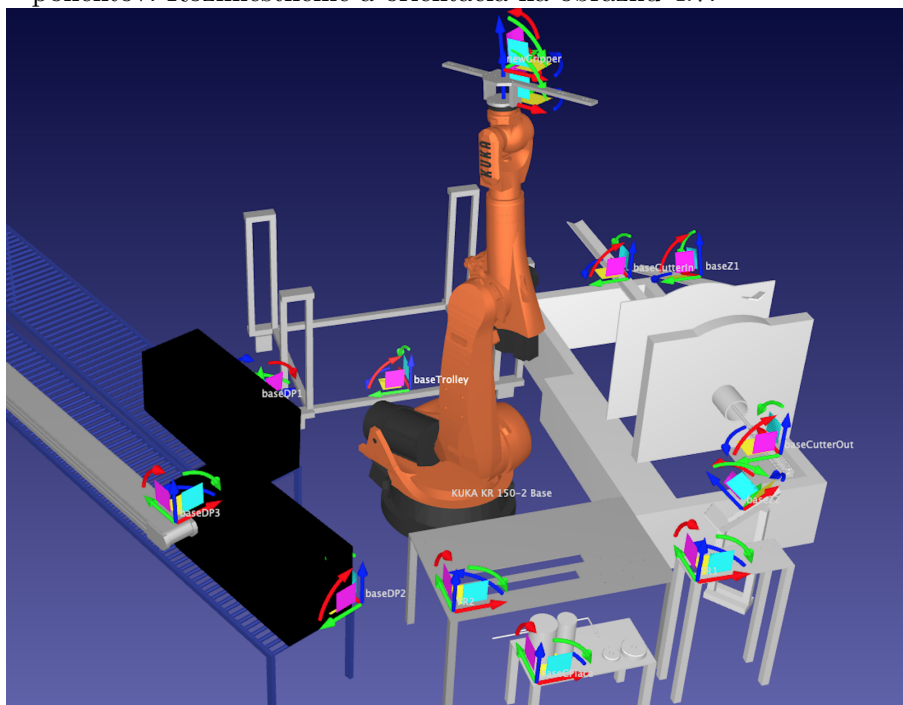
- Podprogramy v KRC sa typicky týkajú jedného komponentu. Volané sú z hlavného programu `main_cell.src`, prípadne ďalších podprogramov. Programy som vytváral v prostredí *OrangeEdit* [35] alebo priamo v riadení manipulátora. Na začiatku každého podprogramu je kontrola parametrov (či už vyplývajúcej z komunikácie (nastavenie parametrov cez HMI) alebo parametrov uložených v KRC), ako je napríklad:
 - kontrola priemeru rúry. Hodnota musí byť kladná a menšia ako 180 mm (dané hardwarovými možnosťami robotической bunky).
- V prípade, že podprogram je prevedený úspešne (parametre ok, prevedenie ok), je vrátený do hlavného programu s kladnou (`true`) hodnotou.
- Programy a podprogramy (opísané v nasledujúcich častiach) v KRC vykonáva robot interpreter. Je tu však aj program vykonávaný `submit` interpreterom (viz [12]). Vykonávaný cyklicky a paralelne (nahrádza funkciu PLC, je uložený ako `SPS.sub`, program je súčasťou KRC, ja som iba editoval) voči programom vykonávaným robot interpreterom. `SPS.sub` som využil na komunikáciu s PLC. Prevádza vstupné a výstupné bity (z komunikácie) na data typu definované v jazyku KRL. Taktiež vďaka `SPS.sub` dokáže reagovať na signály od PLC nezávisle na tom, kde sa robot interpreter nachádza.
- Premenné v KRC som sa snažil rozdeliť na štyri skupiny:
 - Skupina 1: Premenné, ktoré operátor musí editovať počas práce s robotickou bunkou. Tieto premenné prístupné cez HMI. Deklarované v `config.dat`. Prístupné pre všetky programy/podprogramy. Príklad: počet kusov rúr vo vozíku, dĺžka pílenia atď.
 - Skupina 2: Premenné, pri ktorých predpokladám, že ich bude integrátor v budúcnosti meniť/upravovať. Deklarované a inicializované v `.dat` súbore hlavného programu (`main_cell.dat`). Premenné sú známe pre všetky podprogramy (`dat` súbor ako *PUBLIC*). Príklad: rozmery krabice, výška, pri ktorej sa pustí výrobok na dopravník atď.
 - Skupina 3: Premenné týkajúce sa komunikácie s PLC, základným fungovaním robotической bunky a SPS. Deklarované v `config.dat`. Známe pre všetky

programy/podprogramy. Príklad: premenné, ktoré vyplývajú z komunikácie medzi PLC a KRC.

- Skupina 4: Premenné, pri ktorých nepredpokladám zmenu. Tieto premenné sú deklarované a inicializované v .dat súbore daného podprogramu a známe len danému podprogramu a jeho vlastným podprogramom/funkciám definovaných v rovnakom .src súbore. Príklad: pomocné premenné, referenčné polohy atď.

4.4.4 Súradnicové systémy

- Po robotickej bunke sú rozmiestnené súradnicové systémy jednotlivých komponentov. Rozmiestnenie a orientácia na obrázku 4.7.



Obrázok 4.7. Súradnicové systémy

- Údaje o súradnicových systémoch sú uložené pod ID integrom v BASE_DATA podľa nasledujúcej tabuľky 4.1:

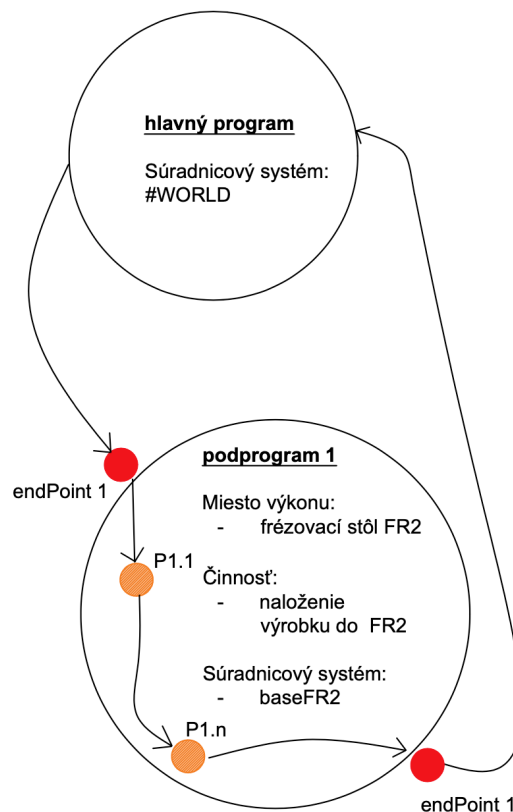
Označenie systému	ID	Komponent robotickej bunky
baseTrolley	10	trolley, vozík s rúrami
baseCutterIN	11	cutterIn, vstup do píly
baseZ1	12	Z1, zarovnávací priestor pre nenapílene rúry
baseCutterOut	13	cutterOut, výstup z píly
baseDP1	14	DP1, dopravník pre prázdne krabice
baseDP2	15	DP2, dopravník pre plné krabice
baseDP3	16	DP3, motorizovaný dopravník
baseFR1	17	FR1, pomocná fréza
baseFR2	18	FR2, frézovací stôl
baseZ2	19	Z2, zarovnávací priestor pre odpílené výrobky
baseCPlace	20	cPlace, priestor pre čistenie

Tabuľka 4.1. Súradnicové systémy robotickej bunky

- Časť súradnicových systémov som definoval numericky, časť som musel definovať pomocou TCP robota (nepresné rozmiestnenie komponentov).
- Obrázok 4.7 vznikol pomocou trial verzie programu RoboDK[41], slúži na grafické účely tejto práce.

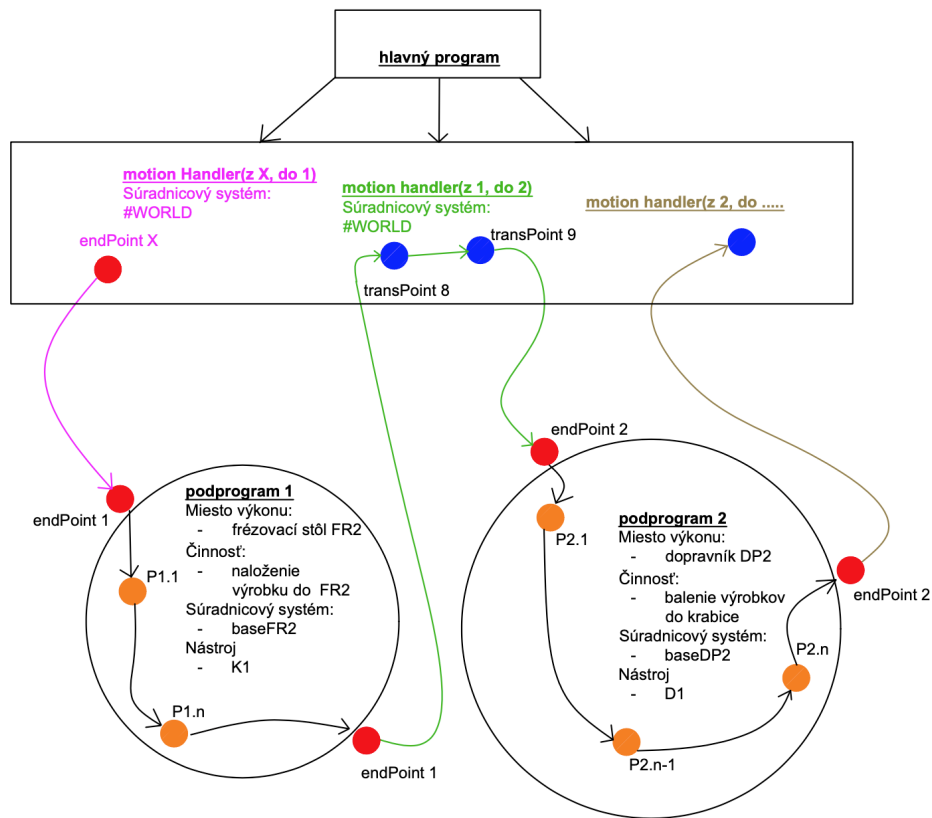
4.4.5 Trajektórie

- Pri tvorbe ciest (path) som vychádzal z predpokladu, že ich nebude potrebné časom meniť (nie je potrebné generovať trajektórie). Táto robotická bunka je statická vzhľadom na osadené komponenty. Pohyby robota som si rozdelil na dve skupiny:



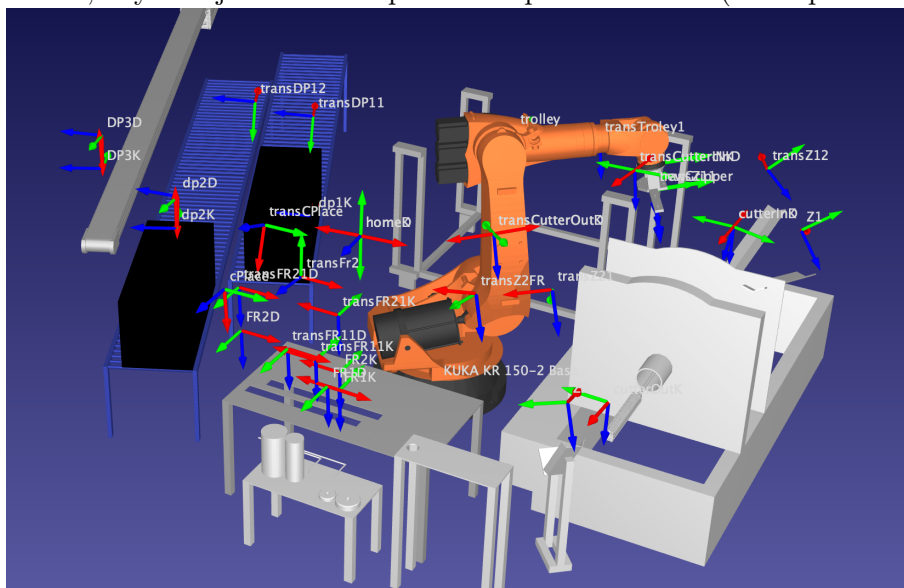
Obrázok 4.8. Pohyby v komponente

- Pohyby medzi jednotlivými komponentami. Myslí sa tým konfigurácie (na 4.8 označené červenou farbou), ktoré tvoria cesty po robotickej bunke (respektíve tvoria cesty z konfigurácie do konfigurácie manipulátora, nazval som ich koncovými bodmi (*endPoints*)). Ďalej budem používať: pohyb z bodu do bodu, cesta z bodu do bodu. Body sú uložené v pamäti. Ich spájaním a kombináciou vznikajú cesty (následne trajektórie) po robotickej bunke. Poznámka k obrázku 4.9, WORLD=ROBROOT.
- Pohyby po/v komponente respektíve body, ktoré sú vyjadrené v súradnicovom systéme komponentu vyobrazné na obrázku 4.8 (oranžová farba). Tieto body sa pri každom zavolaní podprogramu spočítajú v závislosti na výrobku a procesných parametroch. Príklad výpočtu bodov v komponente je uvedený v podkapitole o obsluhu frézovacieho stola.



Obrázok 4.9. Pohyby medzi komponentami

- Vzhľadom na rozloženie robotického bunky bolo potrebné pridať tranzitné body. Tranzitné body (na 4.9 nazvané ako *transPoints*) zabraňujú kolíziám s komponentami. Koncové a tranzitné body su uložené v súbore typu *.dat* príslušnej funkcie tak, aby si ich vedel zadávateľ prípadne upraviť, premiestniť. Cieľom bolo, aby boli jednoducho upraviteľné použitím KCP (teach pendant).



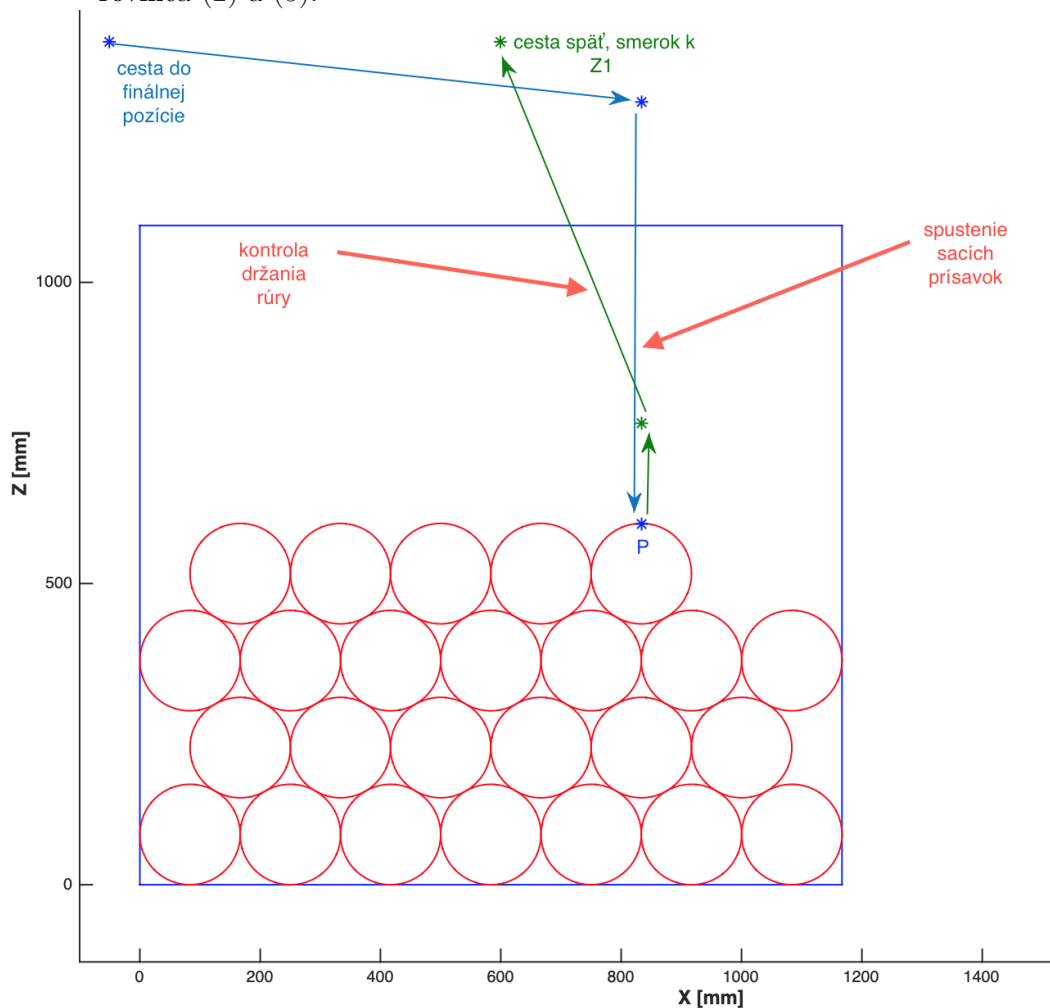
Obrázok 4.10. Množina tranzitných a koncových bodov

- Princíp funkčnosti: každá cesta sa skladá z dvoch koncových (z komponentu do komponentu) bodov (reprezentované pomocou čísiel koncových bodov). Ak takáto cesta existuje, môže mať tri podoby. Je priama, bez tranzitných bodov. Nie je priama, vedie cez tranzitné body. Nie je priama, vedie cez domovskú/home polohu (sú dve home polohy).
- Trajektórie a body som si nasimuloval, následne vyskúšal na realnej bunke. Cesty sa vykonávajú ako pohybový typ *PTP* (tranzitné body sú kontinuálne, koncové nie), takže trajektória je plynulá, bez zastavení. Tento typ je do istej/definovanej miery aproximovaný a kontrolér by mal nájsť narychlejšiu trajektóriu vzhľadom na aproximované body, ktorými prechádza [12].
- Každý komponent má svoj koncový bod. Niektoré koncové a tranzitné body som zdvojiť (v závislosti na ramene chápadla (dlhé, krátke)). Dôvodom je vyššie spomínaná jednoduchosť v prípade, že zadávateľ bude chcieť meniť tieto polohy.
- Vyššie spomínané body by mali byť optimalizované vzhľadom na čas a zmysluplnosť trajektórií. V čase písania tejto práce sú tieto trajektórie v základnej podobe (viz priložené video). Koncové body sú uvedené v prílohe tejto práce.
- Pre zrýchlenie výrobného cyklu som sa snažil vykonávať potrebné úlohy počas pohybu manipulátora (bez nutnosti zastavenia). Príkladom je spúšťanie generátorov vakuu. Generovanie vakuu je možné spustiť v cieľovej pozícii ale aj ďaleko pred dosiahnutím tejto pozície. Snahou bolo nájsť také hodnoty, aby som dosiahol: nezastavenie pohybu manipulátora, zbytočné plýtvanie stlačeného vzduchu (poháňa generátor), včasné spustenie generátorov (vytvorenie istej hladiny vakuu v systéme ($\approx -0,3$ bar-u)), aby bolo možné uchopiť rúru/výrobok bez potreby čakania na feedback od generátorov alebo inštrukcie na čakanie (ktorá zastaví pohyb). Ukážka spúšťania generátorov je na obrázku 4.11 v nasledujúcej podkapitole. Toto umožňuje v prog. jazyku KRL funkcia *TRIGGER* (nezastavuje *ADVANCE RUN*).
- S použitím rovnakej funkcie je vykonaná aj kontrola prítomnosti rúry bez nutnosti zastavenia manipulátora viz vyššie spomínaný obrázok 4.11. Rovnaký princíp či už spúšťania generátorov alebo kontroly je uplatnený vo všetkých podprogramoch.

4.4.6 Vozík

- Podprogram určený pre uchopenie rúry z vozíka najskôr skontroluje podmienky funkčnosti, ako je hodnota koncovej pozície (zabránenie kolíziám), kladný priemer rúr, počet kusov rúr vo vozíku, dĺžku rúry. V prípade nespĺnenia sa zobrazí chybová správa a podprogram je vrátený s negatívnou hodnotou.
- Uchopenie rúry z vozíka ma tri možné scenáre:
 - Scenár č. 1: vysoké rýchlosti, uchopenie rúry bez čakania, kontrola rúry (vakuu/držania rúry) počas pohybu nahor. Ak je kontrola úspešná, manipulátor pokračuje s rúrou smerom do Z1.
 - Scenár č. 2: rúru sa nepodarilo uchopiť v scenári č. 1. Manipulátor skúsi uchopiť rovnakú rúru. Nižšie rýchlosti, čakanie 1 sekundy (chápadlo na rúre), kontrola rúry počas pohybu nahor. Ak je kontrola úspešná, manipulátor pokračuje s rúrou smerom do Z1.

- Scenár č. 3: scenár č. 1 a 2 boli neúspešné, manipulátor sa vráti do pozície nad vozík. Manipulátor si vyžiada opravu počtu rúr (výzva operátora realizovaná alarmom v HMI a bielym svetlom na signálnej veži). Po oprave počtu kusov manipulátor pokračuje scenárom č. 2.
- Spustenie nasávania/tvorenia vákuu nastane pred cieľovým bodom P na rúre. Kontrola rúry nastane po dosiahnutí bodu, ktorý nasleduje P .
- Ako je vidieť na obrázku 4.11 (modrá cesta je smerom k rúre, zelená je cesta späť), balenie rúr odpovedá takzvanej hexagonálnej mriežke. V prípade vozíka y súradnica je zafixovaná. Pre výpočet bodu P na rúre principiálne platí rovnica (2) a (5):



Obrázok 4.11. Uchopovanie rúr

$$O_z = O_z + Offset_z \quad [mm], \quad (1)$$

- ak sa jedná o prvý rad rúr/kružníc:

$$P_z = O_z + OD \quad [mm], \quad (2)$$

- inak platí:

$$P_z = O_z + \left(OD + (Rn - 1) \left(\sqrt{3} \frac{OD}{2} \right) \right) \quad [mm]. \quad (3)$$

- Kde O je počiatok súradnicového systému vozíka, $Offset$ je premenná na úpravu polohy voči počiatku sur. systému, Rn je poradie radu rúr (vertikálny počet), OD je vonkajší priemer rúry.

$$O_x = O_x + Offset_x \quad [mm] \quad (4)$$

- Ak sa jedná o dlhý rad rúr, tak platí:

$$P_x = O_x + \frac{OD}{2} + (n-1)(OD) \quad [mm], \quad (5)$$

- inak platí:

$$P_x = O_x + (n)(OD) \quad [mm]. \quad (6)$$

- Kde n je počet rúr v aktuálnom rade (horizontálny počet). Na základe bodu P sú generované ostatné body súvisiace s manipuláciou vo vozíku. Taktiež je implementovaná možnosť posunúť vypočítanú pozíciu P o užívateľom zadaný offset.

4.4.7 Pílenie

- V časti o technických prostriedkoch sú ukázané rôzne módy pílenia viz 4.2. Úlohou manipulátora v procese pílenia je napolohovať rúru a dať signál k pílieniu.

Metóda polohovania	Miesto uchopenia	Prísavky	Poradie pílených výrobkov
KF	vonkajší priemer	všetky	prvý odrezaný výrobok z rúry
K	vonkajší priemer	v závislosti na $x_{pipe_{end}}$	druhý až k -tý výrobok
D	vnútorný priemer	D1 až D2	$k+1$ až $d-1$
DL	vnútorný priemer	D1	d

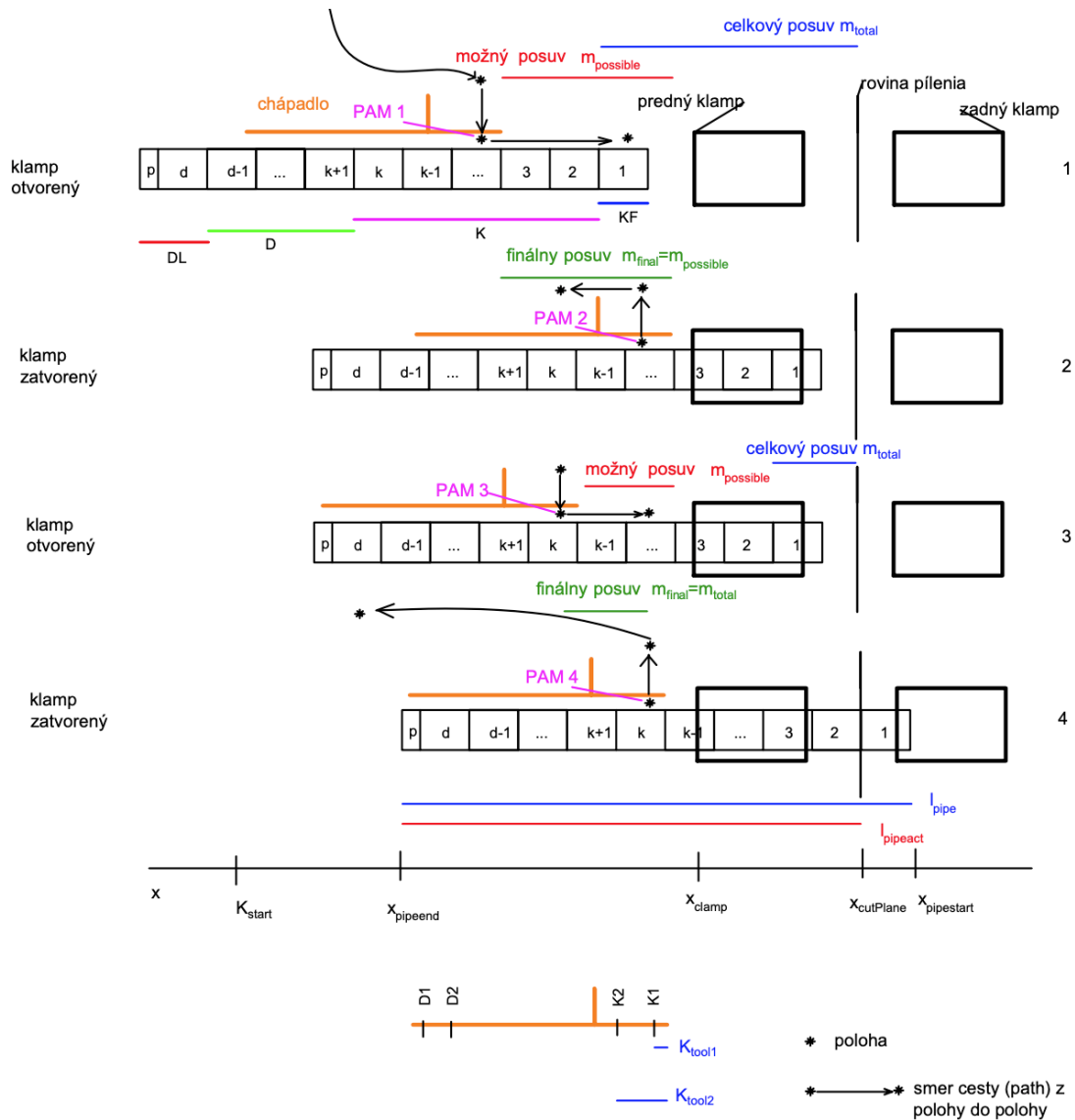
Tabuľka 4.2. Význam parametrov KF, K, D, DL

- Polohovanie KF.
 - Tento typ polohovanie zahŕňa kontrolu podmienok ako je priemer rúry a dĺžka rúry. Vykonáva sa spolu s uchopením rúry zo Z1 a následným vložením do píly. Uchopenie rúry môže mať opäť dva scenáre:
 - Scenár č. 1: uchopenie sa vykoná bez čakania. Kontrola rúry prebehne počas pohybu smerom nad zásobník Z1. Ak je kontrola úspešná, manipulátor pokračuje. Ak nie, nasleduje scenár č. 2.
 - Scenár č. 2: robot sa pokúsi opätovne uchopiť rúru. Počas nasávania manipulátor čaká 2 sekundy. Ak rúra nie je nasatá po troch pokusoch, program je vrátený s negatívnou hodnotou.
 - Opätovná kontrola prebehne tesne pred cieľovým bodom v píle. Ak je úspešná, manipulátor pokračuje. Ak nie, program je vrátený s negatívnou hodnotou.
 - Polohovanie prebieha v cykle, keďže nie je možné vsunúť rúru do píly na jedenkrát. Vzhľadom na nastavenie súradnicového systému sa polohuje v zápornom smere osi x . Pre polohovanie využívam meranie aktuálnej polohy POS_ACT_MES 4.12. POS_MES je komandovaná poloha, POS_ACT_MES je poloha z resolverov v čase zavolania príkazu). Premenné používané pri polohovaní v tabuľke 4.3.

Premenná	Význam
x_{clamp}	poloha vstupného klampu
$x_{cutPlane}$	poloha roviny pílenia
$x_{pipe_{start}}$	poloha začiatku rúry
$x_{pipe_{end}}$	poloha konca rúry
$x_{pos_{robot}}$	poloha prísavky K1
l_{rv}	dĺžka rúry
$l_{pipe_{act}}$	aktuálna dĺžka rúry
l	potrebná dĺžka pílenia
$l_{product_{act}}$	aktuálna dĺžka pílenia
m_{total}	celkový posuv, aby rúra mohla byť odpílená
$m_{possible}$	fyzicky možný posuv
m_{final}	posuv, ktorý sa vykoná
K_{res}	rezerva pri polohovaní (vzhľadom na vstupný klamp)
K_{tool_1}	vzdialenosť od stredu prísavky K1 na samotný okraj chápadla
K_{start}	je maximálna možná poloha pre polohovanie
$K_{max_{depth}}$	je maximálne vsunutie dlhého ramena do rúry

Tabuľka 4.3. Základné premenné polohovania. Premenné v mm

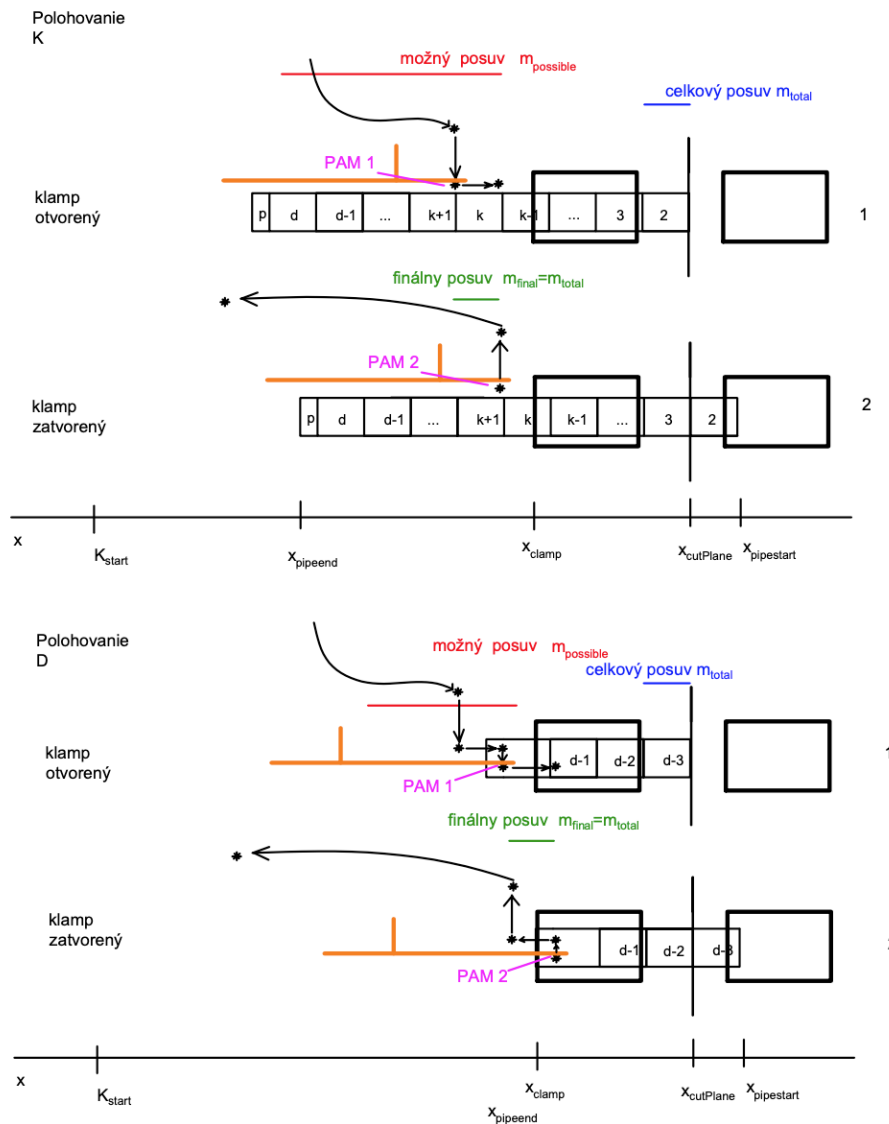
- Základný princíp polohovania je zobrazený na obrázku 4.12. Sekvencie polohovania sú očísované (1 až 4). Počet zložiek je závislý na l_{rv} , $l_{pipe_{act}}$, l a $x_{pipe_{start}}$. Výpočet polôh prebieha vždy v nepárnych zložkách. V prvom cykle sa na výpočet posuvu m_{total} použije $x_{pipe_{start}}$ vzhľadom na $x_{cutPlane}$. Výpočet $m_{possible}$ závisí na $x_{pos_{robot}}$ a K_{tool_1} vzhľadom na x_{clamp} a K_{res} (predpoklad: $(x_{pos_{robot}} - K_{tool_1}) > x_{pipe_{start}}$ (os x v zápornom smere)). Finálny posuv sa vyberie ako menší z $m_{possible}$ a m_{total} v absolútnej hodnote (ak sú rovné, berie sa $m_{possible}$). Následne prebehne výpočet absolútnych súradníc polôh a ich kontrola vzhľadom na relevantnosť a splniteľnosť.
- Meranie polohy je vykonané v miestach označených ako PAM1 až PAM4, keď manipulátor stojí. V ďalších cykloch sa premenné aktualizujú na základe merania.
- Aktivácia prísavok je závislá na polohe konca rúry $x_{pipe_{end}}$. Minimálny počet prísavok je 1 pre všetky typy polohovania.
- Body, ktoré tvoria cesty, sa počítajú na základe vyššie spomínaných výpočtov, priemeru rúry a referenčných bodov (referenčným bodom sa myslí výška vstupnej podpory + priemer rúry + offset). Aby bolo polohovanie presné, musí byť na rúry vyvinutý istý tlak smerom nadol (zníženie z súradnice polohy uchopenia rúry).



Obrázok 4.12. Polohovanie rúry typu KF

■ Polohovanie K.

- V polohovaní K a D ide len o posuv rúry a spustenie pílenia. Základným rozdielom je miesto uchopenia rúry (v prípade K je to vonkajší priemer). Polohovanie K je principiálne rovnaké ako KF. Hlavný rozdiel je, že $m_{possible}$ je závislé na K_{start} , x_{clamp} a K_{res} viz 4.13. Ak l (čo je vlastne m_{total}) je menšie ako $m_{possible}$, polohovanie prebehne v jednom cykle (poloha úchopu je $x_{clamp} + K_{res} + l_{product} + 2K_{tool1}$). Ak nie, polohovanie sa vykoná vo viacerých cykloch s tým, že poloha uchopenia rúry bude tesne pred K_{start} (konkrétne tak, aby prísavka K1 uchopila rúru) pre maximalizáciu prvého polohovania.

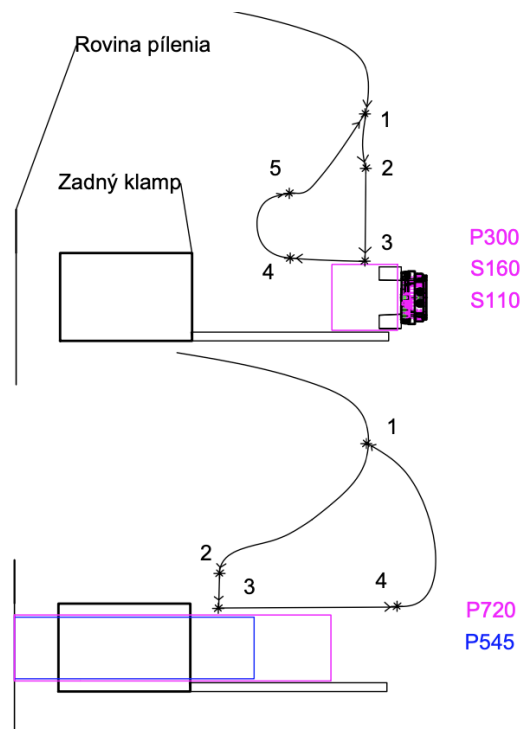


Obrázok 4.13. Polohovanie rúry typu K a D

- Po výpočte sa prevedú kontroly polôh a aktualizácia hodnôt tak ako pri polohovaní KF. V prípade K sa pred opustením funkcie skontroluje $x_{pipe_{end}}$. Ak sa zistí, že na rúre nie je dostatok miesta na prísavku K1, ďalšie polohovanie bude typu D.
- Polohovanie D.
 - Ak rúra nie je dostatočne dlhá na polohovanie K, využíva sa polohovanie D. Uchopenie rúry je vo vnútornom priemere. Výpočet rozlišuje dve situácie:
 - Prvá situácia je, že rúra je mimo klampy (dostatočne dlhá) čiže $x_{clamp} < x_{pipe_{end}}$ tak ako na obrázku 4.13. $m_{possible}$ je závislé na $x_{pipe_{end}}$, x_{clamp} , K_{res} , K_{tool_1} a $K_{max_{depth}}$. $m_{total} = l_{product}$. Finálny posuv sa vyberie ako menší z $m_{possible}$ a m_{total} v absolútnej hodnote (ak sú rovné, berie sa $m_{possible}$). Ak je vybratý m_{total} , polohovanie sa po jednom cykle ukončí. Inak pokračuje. Výpočet bodov na priblíženie sa vykoná vzhľadom na koniec rúry.
 - Druhá možnosť popisuje situáciu, že rúra je vo vnútri klampy. $m_{possible}$ je vypočítaný vzhľadom na polohu $x_{clamp} + K_{res}$ a $K_{max_{depth}}$ tak, aby nedošlo

k zrážke. Výpočet bodov na priblíženie sa k rúre sa vykonáva vzhľadom na klamp. Ostatné výpočty sú rovnaké ako v prvej situácii.

- Pri polohovaní D sa vykonávajú kontroly polôh a ostatných náležitostí. Po ukončení polohovania D sa skontroluje, či ďalšie polohovanie bude typu D alebo DL. V prípade DL sa jedná o posledný výrobok a bude ho potrebné opracovať v pomocnej fréze FR1. Polohovanie DL popísané v kapitole o FR1.
- Odobratie odpíleného výrobku:
 - Odoberanie má dva módy. V prvom móde sa používa vyťahovacie zariadenie viz sekcia Píla. Tento mód je platný pre výrobok S a P300. V druhom móde si musí manipulátor vytiahnuť výrobok pomocou chápadla viz obrázok 4.14.
 - Podprogram zahŕňa kontrolu parametrov. Poloha 3 je generovaná z referenčnej polohy na základe priemeru a offsetu. Následne sa vypočítajú ostatné polohy. Parametre polôh 4, 2 a 5 je možné meniť použitím offsetov. Podrobnejšie vysvetlenie výpočtu polôh v nasledujúcej kapitole.
 - Nasávanie sa spúšťa počas pohybu pred dorazením do polohy 3. Kontrola rúry sa vykoná pred dosiahnutím koncového bodu č. 14 (na obrázku 4.14 ako 1).
 - Musím však poznamenať, že v čase písania tejto práce je odskúšaná len prvá situácia (vyberanie výrobku S110, S160, P300). Je pravdepodobné, že v druhom prípade, teda výrobok P545, nebude možné vytiahnuť (zachytí ho len jedna prísavka). Riešením by mohlo byť uchopenie za vnútorný priemer alebo povytiahnutie, pustenie a následné uchopenie dvoma prísavkami.



Obrázok 4.14. Odobratie výrobku

4.4.8 Obsluha FR2

- Obsluha frézovacieho stola je spätá so zarovnávacím miestom Z2. Z tohoto dôvodu podprogram pre obsluhu frézy je komponovaný z dvoch častí. Prvá

časť má za úlohy uchopiť výrobok zo Z2 a druhá časť vložiť výrobok do FR2. V prvej časti sa rozlišuje, koľko prísaviek je potrebné použiť na výrobok (rozdiel medzi výrobkami S a P). Výsledná poloha úchopu P sa vypočíta pridaním príslušného priemeru výrobku a offsetu (z zložka polohy). x zložka je výsledkom súčtu referenčnej zložky x a výšky úchopu daného výrobku. Ostatné body, ktoré tvoria cestu sú odvodené od P tak, aby nedošlo ku kolízii. Počas pohybu smerom od Z2 sa vykoná kontrola prítomnosti rúry.

■ Vloženie výrobku do frézovacieho stola:

- Tak ako pri iných komponentoch, manipulátor príde do súradnicového systému frézy cez *endPoint* (č. 12, na obrázku 4.15 ako $E12$). Výpočet bodov na obrázku 4.15 sa prevedie ihneď po zavolaní podprogramu. Podprogram pracuje s uloženou referenčnou pozíciou P_{ref1} , ktorá odpovedá stredu uchopovacej hlavy a pozíciou P_{ref2} (na obrázku 4.15 ako $P1$ s úpravou výšky v rovnici (12) a (13)). Pozícia $P3$ sa následne vypočíta ako:

$$P3 = P_{ref1} \quad [mm], \quad (7)$$

$$P3_z = P3_z + \frac{OD}{2} + Offset_z \quad [mm], \quad (8)$$

$$P3_x = P_x + Offset_{x1} \quad [mm], \quad (9)$$

$$P3_x = P_x + Offset_{x2} \quad [mm], \quad (10)$$

$$P3_y = P_y + Offset_y \quad [mm]. \quad (11)$$

- Význam offsetov v (7) až (11) je umožniť integrátorovi/technickému pracovníkovi jednoduché posunutie výslednej pozície (pomocou relatívnej premennej) bez zásadnej zmeny programu. Rovnica (9) platí pre výrobky S110 a (10) platí pre výrobky P.

$$P1 = P_{ref2} \quad [mm] \quad (12)$$

$$P1_z = P3_z \quad [mm] \quad (13)$$

$$P2 = P3 \quad [mm] \quad (14)$$

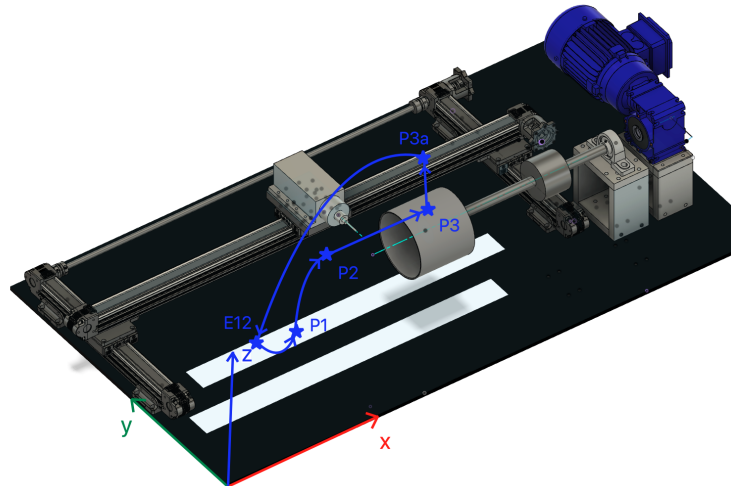
$$P2_x = T_x \quad [mm] \quad (15)$$

- Ako je vidno na obrázku 4.15 bod $P2$ je bod, kedy cesta začne byť rovná/lineárna na finálny bod ($P3$) a trajektória má v týchto miestach výrazne zníženú rýchlosť. Z tohoto dôvodu je tu možnosť nastaviť vzdialenosť medzi $P2$ a $P3$ pomocou absolútnej súradnice T_x . Z podobného dôvodu som zakomponoval do výpočtu aj T_z (T_z má relatívnu hodnotu voči $P3a$, aby nedošlo ku kolízii s hlavou (T_z podlieha kontrole na kladné číslo)). Orientácie A, B, C sú vo všetkých prípadoch rovnaké a to $A = 90, B = 0, C = 180$. Orientácie sú uvedené na začiatku podprogramu a dajú sa meniť.

$$P3a = P3 \quad [mm] \quad (16)$$

$$P3a_z = P3a_z + T_z \quad [mm], \quad (17)$$

- Vyššie uvedené polohy sú vzhľadom na súradnicový systém *baseFR2* a nástroj/prísavku K1. Pohyby sú rozdelené na dva bloky.
 - Prvý blok (*E12* až *P3*) je vykonaný blokom *SPLINE*. *P1* a *P2* sa dosiahne použitím *SPL*, *P3* použitím *SLIN*.
 - Druhý blok predstavuje kombináciu základných príkazov *LIN* (do bodu *P3a*) a *PTP* (do *E12*).
- Po zastavení do bodu *P3* sa čaká na reakciu PLC. Komunikácia je popísaná na začiatku tejto kapitoly. Po úspešnom predaní výrobku začne FR2 pracovať a nasleduje druhý blok pohybov.



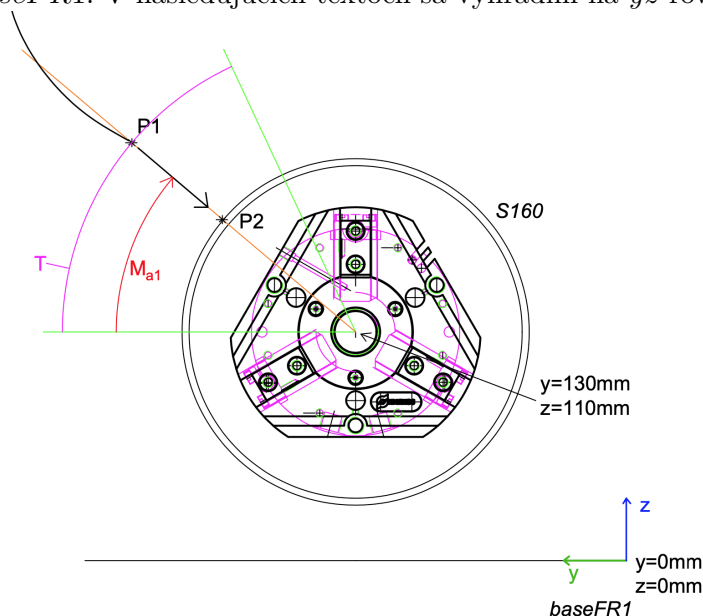
Obrázok 4.15. Body tvoriace cestu v súradnicovom systéme *baseFR2*

- Vyloženie FR2.
 - Pre popis vyloženie opäť použijem obrázok 4.15. Treba však poznamenať, že body použité pre cestu pri vykladaní majú iné súradnice ale pre principiálne objasnenie sú postačujúce (nastavené iné offsety atď.). V prvom rade robot prichádza cez koncový bod č. 11 a nasleduje do bodu *P3a*.
 - Po dosiahnutí bodu *P3a* a pred dosiahnutím bodu *P3* manipulátor (počas pohybu) spustí ofukovaciu trysku na 300 ms (ofuknutie najväčších pilín).
 - V mieste bodu *P3* dôjde k spusteniu prísavky/prísaviek. Nasleduje vyslanie pokynu na otvorenie gripperu/hlavy a čakanie na odpoveď. Po tom, čo PLC potvrdí otvorenie hlavy, manipulátor začne vykonávať blok pohybov začínajúci bodom *P3* a končiaci v bode *P1*. Nasleduje kontrola rúry a opustenie *baseFR2* cez *E11* (približná poloha *E12*).

4.4.9 Obsluha pomocnej frézky

- Keďže hardwarové rozloženie píly nedovoľuje píliť posledný výrobok S110 a S160 bez prídavku, musí som pristúpiť k pomocnému pracovisku. Po odpílení vzorky $d - 1$ manipulátor vytiahne z vstupného klampu píly vzorku d spolu s prídavkom p (uchopenie za vnútorný priemer). Potrebné úkony:
 - keďže rúra prichádza do FR1 uchopená za vnútorný priemer, je potrebné ju položiť. Následne uchopiť za vonkajší priemer a umiestniť ju do otočnej hlavy.

- Tak ako v predchádzajúcich prípadoch sa body odvíjajú od referenčnej polohy, priemeru a offsetov. V podprograme sú tieto body označené ako $dPos1$ až $dPos9$. Tieto polohy nebudem popisovať, keďže sa riadia rovnakými princípmi ako v predchádzajúcich prípadoch.
- Po uchytení v otočnej hlave je potrebné odpíliť rúru a následne zraziť hranu. Výpočet bodov sa odvíja od polohy stredu hlavy v súradnicovom systéme $baseFR1$. V nasledujúcich textoch sa vyhradím na yz rovinu.



Obrázok 4.16. Výpočet približovacích bodov. S použitím CAD modelu ??

- Výpočet polohy $P2$ (viz 4.16) vzhľadom na priemer rúry a zadaný uhol v rovniciach (18) až (23). Poloha $P1$ je počítaná obdobne (polomer rúry nahradený polomerom T). Premenná M_{pos} slúži na úpravu dĺžky pílenia rúry (editovateľná z HMI operátorom). Mení x súradnicu bodov $P1$ ať $P4$ čím mení dĺžku rúry.

$$P2_x = P_{refx} + M_{pos} \quad [mm], \quad (18)$$

$$P2_y = 130 + \frac{OD}{2} \cos(M_{a1}) \quad [mm], \quad (19)$$

$$P2_z = 110 + \frac{OD}{2} \sin(M_{a1}) \quad [mm], \quad (20)$$

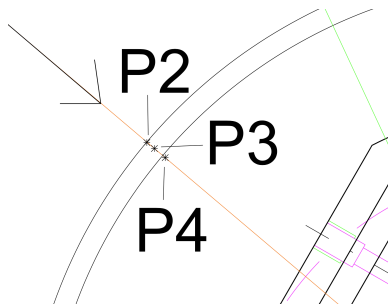
$$P2_A = 90 \text{ [}^\circ\text{]}, \quad (21)$$

$$P2_B = -M_{a1} \quad [^\circ], \quad (22)$$

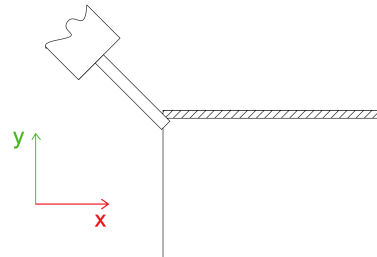
$$P2_C = 180 \quad [^\circ]. \quad (23)$$

- Taktiež body $P3$ a $P4$ sú počítané obdobným spôsobom. Vzdialenosti medzi bodmi $P2$ až $P5$ (myslí sa napríklad vzdialenosť medzi $P3$ a $P4$ (ovplyvní proces pílenia)) sú nastaviteľné pomocou premenných deklarovaných v .dat súbore tohoto podprogramu. Hodnota uhla M_{a1} je obmedzená a kontrolovaná na začiatku podprogramu (skrz hardverové možnosti).
- Točenie rúry začne po signáli, ktorý pošle manipulátor PLC. Manipulátor spustí točenie frézy. Manipulátor presunie nástroj FR z polohy $P2$ do polohy $P3$. V $P3$ zotrvá polovicu nastaveného času. Následne sa presunie do

polohy $P4$, v ktorej zotrva druhú polovicu nastaveného času. Po uplynutí je rúra odpílená a je potrebné zraziť hranu. Prejdením do polohy $P5$ a relatívnym natočením nástroja FR o 45° sa frézuje zarezanie hrany. Pred koncom točenia PLC upozorní manipulátor. Manipulátor prejde do bezpečnej vzdialenosti a vypne točenie frézy. Výrobok je opäť otočený a následne opäť uchopený. Nasleduje pílenie a zarezanie hrany rovnakým spôsobom ako, je popísané vyššie. Po dokončení je výrobok očistený a uložený do krabice.



Obrázok 4.17. Pílenie



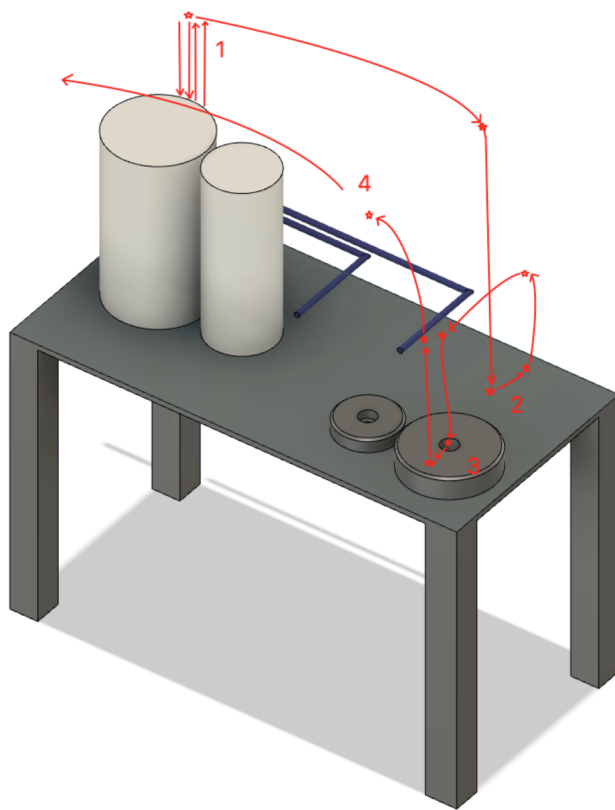
Obrázok 4.18. Zarezanie hrany

4.4.10 Čistenie

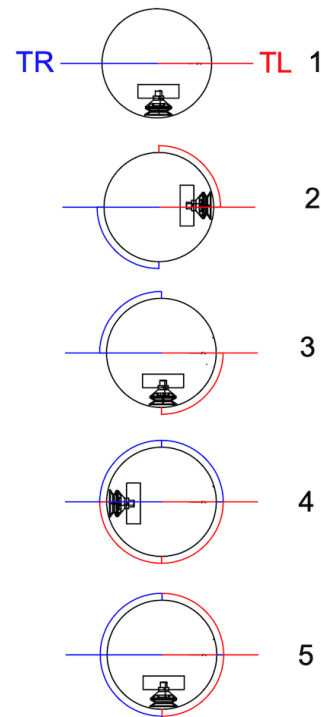
- Obsluha miesta s označením $cPlace$ slúži pre výrobky S110 a S160. Tento podprogram má 4 základné funkcie.
- Kontrola po zavolaní funkcie spočíva v kontrole programového čísla (miesto určené len pre S110 a S160), čísla koncového bodu, priemeru a dĺžky výrobku.
- Prvá funkcia slúži na očistenie vnútorného priemeru. Manipulátor prečistí vnútorný priemer na obrázku 4.19 ako číslo 1. Realizované pohybom typu LIN bez aproximácie. Keďže kartáče pôsobia na výrobok, je potrebné skontrolovať prítomnosť rúry.
- Po prečistení vnútorného priemeru je potrebné uchopiť rúry práve za vnútorný priemer (čistenie vonkajšieho priemeru a balenie). K tomuto slúži miesto na prechytenie (obrázok 4.19 označené ako 2 a 3). Medzi bodmi 2 a 3 využívam sekvenciu pohybov $SPLINE$ (SPL a $SLIN$) pre plynulosť (výhoda $SPLINE$ je, že body ležia na ceste. Pri aproximovaných LIN neležia viz [12]).
- Ako je spomenuté v technických prostriedkoch, čistenia vonkajšieho priemeru ešte nie je fyzicky vyhotovené. Pre úplnosť práce som v čase písania použil dve trysky so stlačeným vzduchom viz obrázok 4.20. Výrobok točím okolo týchto trysiek (TR pravá a TL ľavá tryska). Pohybové príkazy typu $LIN'REL$ (relatívne súradnice vzhľadom na aktuálnu polohu).

4.4.11 Nakladanie

- Kontrola potrebných údajov ako je priemer, rozmer krabice prebieha tak, ako u iných podprogramov, po zavolaní.
- Nakladanie môže byť do krabice (DP2) alebo samostatne na motorizovaný dopravník (DP3). V prípade krabice podprogram najskôr vyhodnotí parametre



Obrázok 4.19. Cesty v priestore čistenia



Obrázok 4.20. Princíp čistenia vonkajšieho priemeru

balenia ako je počet vrstiev (vzhľadom na výšku krabice a výrobku), počet radov a kusov v rade (vzhľadom na dĺžku, šírku krabice a priemer výrobku OD). Polohu bodu 5 z obrázku 4.21 definuje bod P . Príciálny výpočet v rovniciach (25) až (30). Súradnica P_z je závislá na vrstve, v (25) označená ako $level$.

$$O = O_z + Offset_{Cor} \quad [mm]. \quad (24)$$

- Úprava voči počiatku súradnicového systému (24). P_z z nasledujúcej rovnice (25) je závislé na tom, ako bol výrobok uchopený v cPlace (definované premennou, v (25) ako $l_{productbox}$).

$$P_z = O_z + level \left(l_{productbox} + Offset_z \right) \quad [mm]. \quad (25)$$

- Pri výpočte P_y treba rozlíšiť prvý rad výrobkov a Rn -tý rad. Rovnica (26) zahŕňa základný rozmer výrobku. Prvý rad:

$$S = OD + Offset_y - t_{pipe} - sucOff \quad [mm], \quad (26)$$

$$P_y = O_y + S \quad [mm]. \quad (27)$$

- Rn -tý rad:

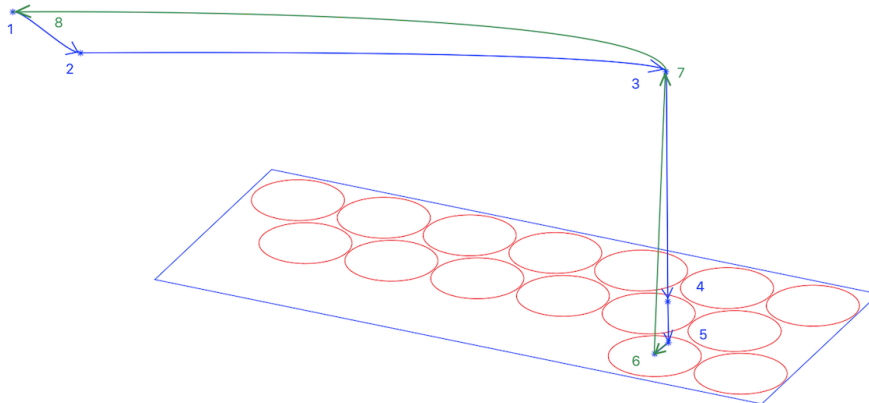
$$P_y = O_y + \left(S + (Rn - 1) \left(\sqrt{3} \frac{S}{2} \right) \right) \quad [mm], \quad (28)$$

- kde O je počiatok súradnicového systému DP2, $Offset_{cor}$ je premenná na úpravu výpočtu voči počiatku sur. systému, $Offset$ je úprava polohy pre každý výrobok (viz rozloženie výrobkou), t_{pipe} je hrúbka steny rúry, $sucOff$ je premenná úpravy polohy vzhľadom na energiu dodanú (prísavkou) výrobku pri pustení (blow-off).
- P_x sa rozdeľuje podľa toho či rad Rn je dlhý alebo krátky. Pre dlhý platí rovnica (29), inak (30):

$$P_x = O_x + \frac{OD + Offset_x}{2} + (n - 1)(OD + Offset_x) \quad [mm], \quad (29)$$

$$P_x = O_x + (n)(OD + Offset_x) \quad [mm]. \quad (30)$$

- Počas testovania bolo potrebné správne nastaviť $Offset_y$ a $sucOff$ tak, aby výrobok pri vlastnom pohybe (po pustení prísavkou) dosadol na správne miesto.



Obrázok 4.21. Výsledné rozloženie bodov cesty

- Obrázok 4.21 zobrazuje ukladanie rúry, kde $Rn = 1$, dlhý rad a $n = 6$. Body tvoriace cestu sa rozdeľujú na pevné (nemenné) a vypočítané. Bod 5 je vypočítaný rovnicami (24) až (30). Ostatné body sú odvodené od bodu 5 (okrem bodu 1 (*endPoint*) a 2). Pohyby sú rozdelené do dvoch *SPLINE* blokov (modrý a zelený (s výrobkom a bez výrobku)). Kontrola prítomnosti rúry nastane 10ms pred dorazením do bodu 3. Bez ohľadu na výsledok sa vykoná uloženie. Ak je kontrola úspešná, výrobok sa pripočíta do aktuálneho počtu kusov v krabici (v PLC, následne v KRC). Ak nie, je vyvolaná chybová hláška s následným návratom podprogramu s negatívnou hodnotou (operátor pri chybovej hláške musí potvrdiť/zadať aktuálny počet ks). Taktiež prebehne kontrola kusov (plná krabica).
- V prípade nakladania na DP3 sa výsledná poloha vyloženia P vypočíta na základe referenčnej polohy na dopravníku (pre každý výrobok existuje konštanta, ktorá sa pripočíta k referenčnej polohe). Ďalšie body sa generujú na základe P . Ak je naloženie úspešné, vyvolá sa spustenie dopravníka.

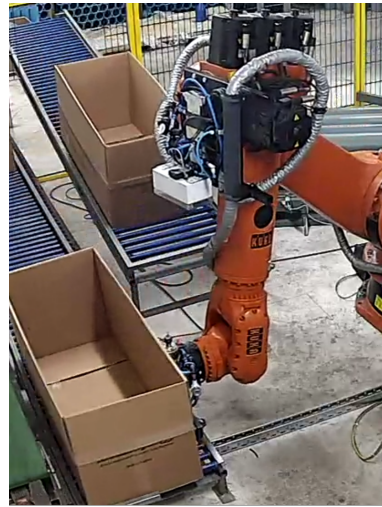
4.4.12 Obsluha krabíc

- Naloženie prázdnej krabice z dopravníka DP1 na DP2 má dva dôvody:
 - na začiatku prevádzky robotickej bunky (DP2 voľné),

- po naplnení krabice (DP2 obsadené krabicou, plná krabica je posunutá mimo robotickú bunku).
- Prítomnosť krabíc je signalizovaná premennou posielanou z PLC. Známosť o tom, či DP2 je voľné (nie je tam krabica) vykonáva vnútorná premenná v KRC. Pomocou funkcie *VARSTATE()* je overené či premenná bola inicializovaná. Ak premenná nebola inicializovaná (napríklad v prípade *coldstart-u*) je potrebné preventívne posunúť krabicu z DP2. Z pohľadu podprogramu, ktorý sa stará o naloženie krabíc, je manipulácia rozdelená na dva prípady: krabica pre S160, krabica pre S110. Naloženie krabice je zobrazené na obrázkoch 4.22 a 4.23.

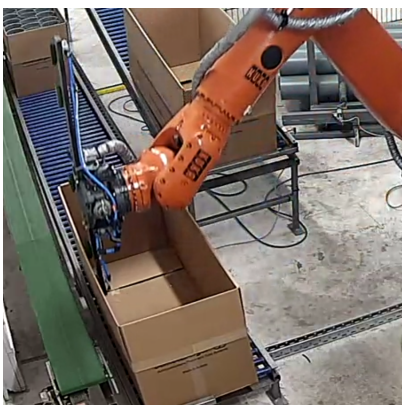


Obrázok 4.22. Uchopenie prázdnej krabice

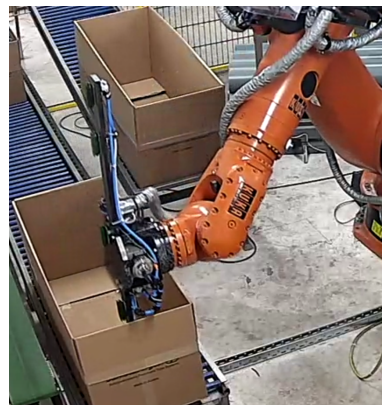


Obrázok 4.23. Položenie prázdnej krabice

- Po úspešnom naložení krabice z DP1 na DP2 je potrebné sa uistiť, že krabica má správnu polohu. Na správnej polohe krabice závisí ukladanie výrobkov. Najskôr sa vykoná zarovnanie smerom ku koncovému bodu osi y (viz obrázok 4.24) a následne k počiatku osi x (obrázok 4.25).



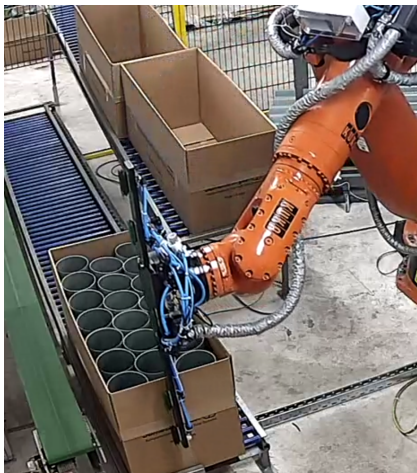
Obrázok 4.24. Zarovnanie v *baseDP2* v smere osi y



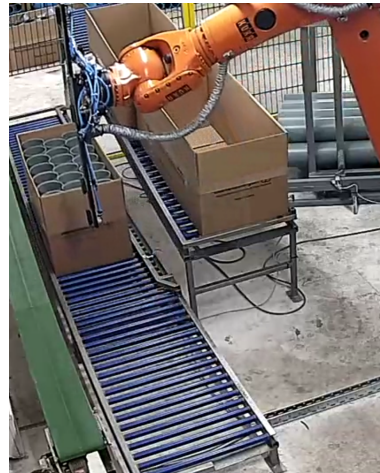
Obrázok 4.25. Zarovnanie v *baseDP2* v smere osi x

- Posúvanie krabíc môže byť:

- posunutie z dôvodu naplnenosti aktuálnej krabice (tak ako je tomu na obrázku 4.26),
- z neznámeho dôvodu nebola premenná inicializovaná a tým pádom nie je známosť o tom, či krabica je alebo nie je na dopravníku DP2.
- Po úspešnom posunutí (viz obrázok 4.27) je evokované vynulovanie počtu kusov v krabici (na strane KRC aj PLC). Posunutie sa môže udiť iba ak PLC neoznami, že DP2 je plné.



Obrázok 4.26. Posunutie plnej krabice 1



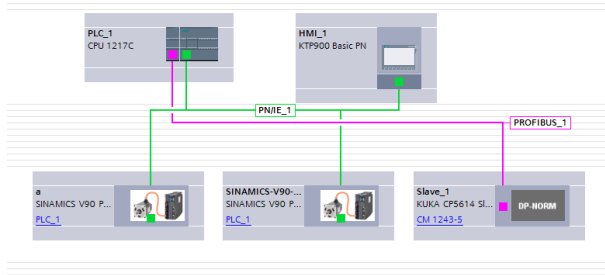
Obrázok 4.27. Posunutie plnej krabice 2

4.5 PLC

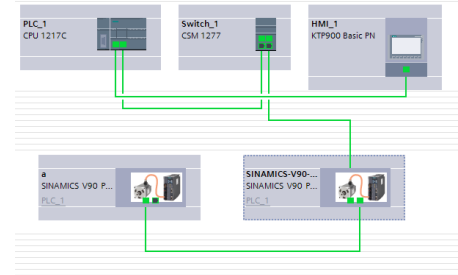
- Hlavným riadiacim prvkom v robotickej bunke je PLC. PLC pracuje tak, že sa stará o riadenie komponentov v bunke (dopravníky, píla atď.), je nadriadený člen manipulára (manipulátor vykonáva svoj program samostatne) a informuje program manipulátora o stave komponentov v bunke.

4.5.1 Vyhotovenie systému

- Na základe kapitoly o technických prostriedkoch som nakonfiguroval a vybral riadenie jednotlivých súčasti. Keďže sa jedná o robotickú bunku s jedným manipulátorom, obmedzeným množstvom komponentov, relatívne nenáročných procesov z pohľadu automatizácie a bez pripojenia/komunikácie s inými robotickými bunkami, vybral som PLC z rodiny SIEMENS S7-1200 vo verzii 1217C (výhodné z hľadiska analogových vstupov a výstupov, vysokorýchlostných čítačov). Rozšíril som ho o moduly CM 1243-5 (PROFIBUS (KRC)), CB 1241 (RS485), dva SM 1223 (digitálne vstupy/výstupy) a switch CSM 1277 (PROFINET). Na rozhranie som vybral KTP 900 Basic. V čase písania tejto práce dosahovala *Load memory* využitie $\approx 30\%$ (energeticky nezávislá pamäť pre konfiguráciu, dáta a program). *Work memory* má využitie $\approx 46\%$ (používaná pri vykonávaní programu).



Obrázok 4.28. Základná topológia

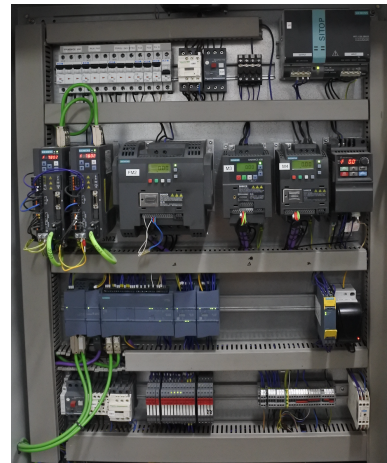


Obrázok 4.29. Topológia siete PROFINET

- Keďže FR2 bola osadená servo motormi IFL6, voľbou servo-meničov bol SIEMENS V90 PN. Ideálne z pohľadu komunikácie s PLC (PROFINET).
- Ostatné motory by som z pohľadu komunikácie obsadil frekvenčnými meničmi s rovnakou komunikáciou tak ako pri V90 PN. Avšak ekonomicky výhodnejšia varianta sa ukázala byť verzia SIEMENS V20 komunikujúca prostredníctvom sériového USS protokolu (CB 1241).



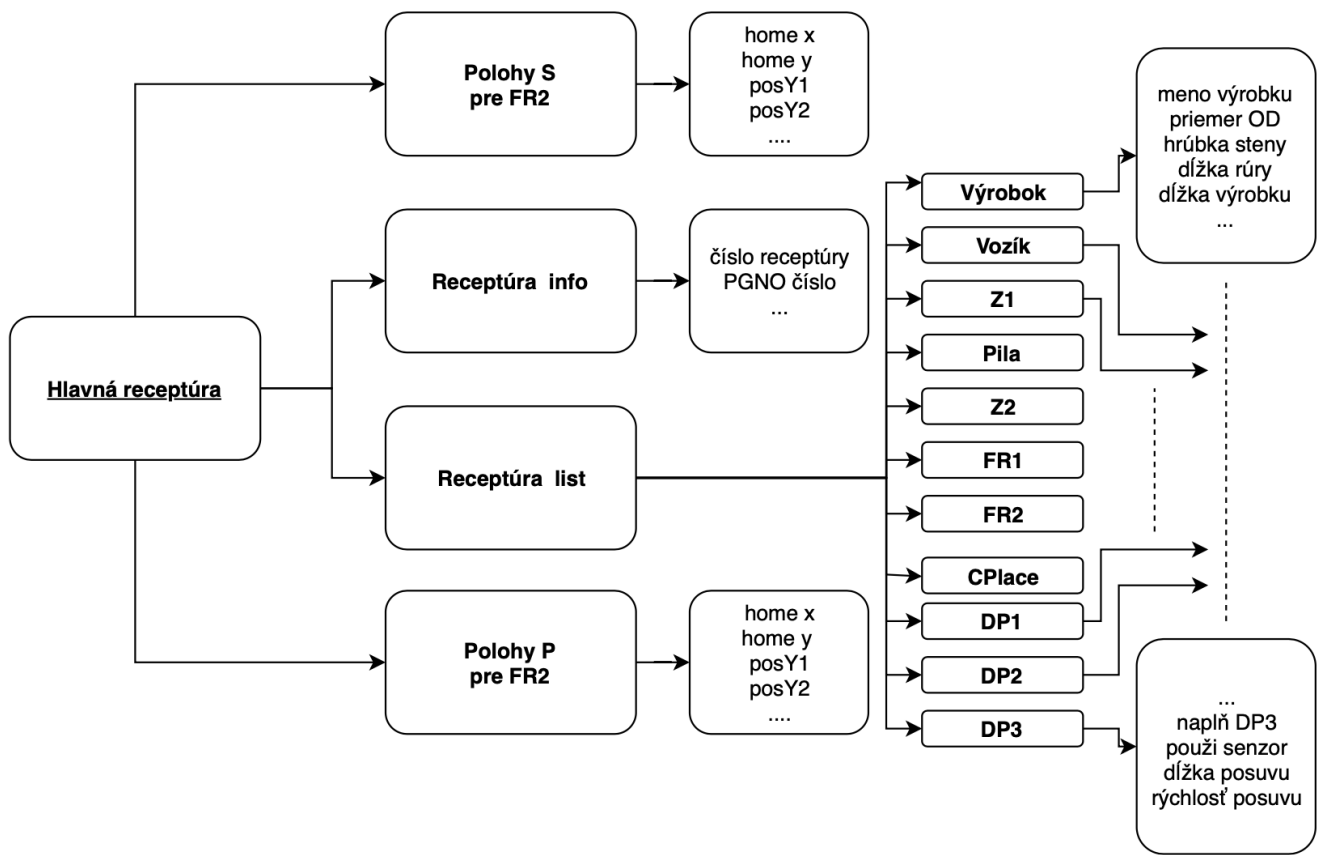
Obrázok 4.30. Rozhranie robotickej bunky



Obrázok 4.31. Elektronické vyhotovenie systému

4.5.2 Základné delenie PLC systému

- Hlavným cieľom je mať univerzálny a flexibilný program pre všetky typy výrobkov. Pri delení systému som začal s receptúrou. Každý výrobok dostal svoje číslo. Pre užívateľa je dôležité, aby bol systém ľahko predstaviteľný (z výrobku na výrobok). V tomto sú receptúry najlepšou voľbou. Z pohľadu receptúry a výrobkou je najzásadnejším rozdielom FR2. Pohyby lineárnych pohonov v FR2 pre výrobok S110, S160 a P300 až P720 sú odlišné. Preto som musel receptúru rozdeliť na 3 podčasti viz obrázky 4.32.
 - Polohy S: je časť, ktorá definuje polohovanie osí pre výrobok S110 a S160.
 - Receptúra info a receptúra list je časť, ktorá definuje všetky vlastnosti/parametre, ktoré majú oba typy výrobkov spoločné.
 - Polohy P: je časť, ktorá definuje polohovanie osi pre výrobok P300 až P720.



Obrázok 4.32. Delenie receptúry

- Receptúra má dve podoby: HMI interpretácia a interpretácia v PLC. Fyzicky sú všetky receptúry uložené v pamäti HMI. PLC má všetky potrebné premenné, aby mohlo načítať receptúru. V PLC je uložená iba receptúra, s ktorou pracuje (v datablokoch (*DB*), prípadne pre receptúra info a receptúra list je uložená v dátových štruktúrach (struct), následne v základných dátových typoch (napríklad v štruktúre (struct) receptúra list je uložená štruktúra DP3, v ktorej je definovaná rýchlosť posuvu ako real)).

4.5.3 PLC program

- PLC program som vytváral pomocou LAD (ladder logic), ale najmä v SCL (structured control language) v prostredí Step7 [37] na platforme TIA portál [36] podľa [42], [44], [43], [46] a [45]. Po privedení napájania (respektívne pri prechode z módu STOP do RUN) sa vykoná organizačný blok OB100, ktorý inicializuje všetky potrebné premenné. V tejto práci som využil organizačné bloky ako OB1, hlavný program, ktorý poníma funkčné bloky jednotlivých komponentov, OB30 cyklické prerušenie cyklického programu v definovaných intervaloch (komunikáciu s meničmi pomocou USS protokolu), OB91 a OB92 slúžiace na spracovanie technologického objektu (polohovanie linearných osí).
- Využil som funkčné bloky (FB) pre štrukturalizáciu komponentov (ako FR1, pila atď) a vytváranie podprogramov. Používal som taktiež funkcie (FC). M

premenné sú predávané do FB ako parameter. FB jednotlivých komponentov v niektorých prípadoch obsahujú viac vnorených FB. Príklady funkčných blokov:

- blok slúžiaci na spúšťanie manipulátora,
- blok, ktorý ovláda signálnu vežu,
- blok monitorujúci pozíciu rúr v robotickej bunke (na základe informácie od manipulátora),
- ďalšie bloky obsluhujúce komponenty bunky sú opísané v nasledujúcich sekciách.

Časť premenných som definoval ako PLC tágy (M pamäť, rozdelené do tabuliek podľa komponentov alebo danej činnosti) v a časť v globálnych datablokoch (rozdelených do viacerých blokov podľa komponentu alebo činnosti).

4.5.4 Vozík

- V prípade vozíka PLC kontroluje:
 - Polohu vozíka. Ak vozík nie je na mieste, je vygenerovaná správa v HMI.
 - V prípade, že príde žiadosť od manipulátora na zníženie počtu rúr (manipulátor odobral rúru), PLC dekrementuje a potvrdí počet.
 - Otvorenie dverí. Ak sa otvoria a následne zatvoria dvere, PLC požaduje od operátora potvrdenie/zmenu aktuálneho počtu rúr. PLC následne informuje manipulátor o zmene počtu rúr.

4.5.5 Píla

- PLC spúšťa píliaci cyklus a nastavuje rýchlosť točenia. Na základe receptúry PLC kontroluje:
 - Prítomnosť odpíleného výrobku na výstupnej strane. Kontrola môže prebiehať použitím inštalovaného senzora. Manipulátor musí potvrdiť odobratie rúry z výstupu píly (inak nie je možné znovu začať pílenie).
 - Dĺžku píliaceho cyklu. Ak píla prekročí nastavenú dĺžku cyklu (časovač), je predpoklad zlyhania. Vygeneruje sa správa.
 - Na základe receptúry: môže byť použitý senzor na výstupe, vyťahovací piest, rozdielna rýchlosť pílenia.

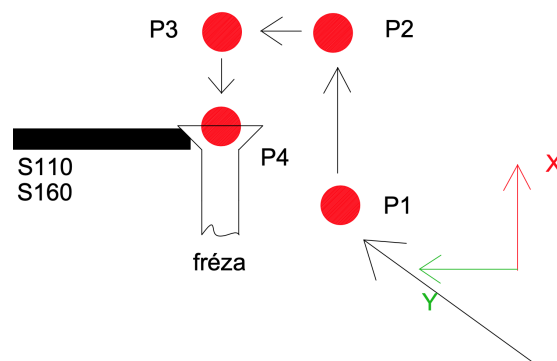
4.5.6 Pomocné frézovacie zariadenie FR1

- PLC na základe komunikácie s manipulátorom vykonáva: uchopenie výrobku, točenie výrobku a pustenie výrobku. Komunikácia prebieha rovnako ako je znázornené v sekcii *Komunikácia KRC a PLC* obrázok 4.6 s tým, že v tomto prípade je potrebné výrobok aj otočiť.
- Receptúra definuje napríklad:
 - Použitie senzora v otočnej hlave ku kontrole uchopenia výrobku.
 - Počet otočení výrobku počas frézovania.
 - Rýchlosť točenia počas frézovania.

4.5.7 Frézovací stôl FR2

- Frézovací stôl FR2. Pre riadenie lineárnych osí sú použité technologické objekty prístupné na platforme [36] (napríklad *MC – MoveAbsolute*, *MC – Home*). Komunikácia je ukázaná na obrázku 4.6. FR2 sa pre svoju funkčnosť musí zahomovať pomocou referenčných bodov/senzorov. Receptúra definuje napríklad:

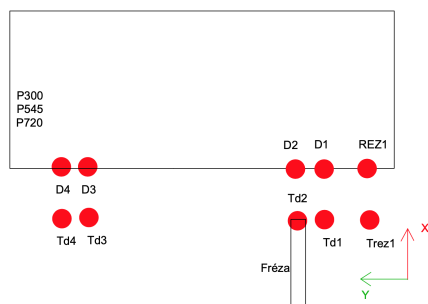
- Rýchlosť točenia hlavy počas frézovania.
 - Použitie senzora v hlave ku kontrole úchopu.
 - Počet otočení hlavy počas frézovania.
 - Rýchlosť frézy.
 - Použitie polohovania S/P a samotné hodnoty jednotlivých polôh.
- Pri polohovaní sú prostredníctvom receptúry definované 2 rýchlosti. Vyššia rýchlosť je určená pre pohyb medzi stranami výrobku a nižšia sa používa pri samotnom frézovaní (obdobne platí pre polohovanie výrobkov P). V prípade polohovania S sa jedná o relatívne jednoduché polohovanie s malou množinou bodov/polôh. Principiálne polohovanie je znázornené na obrázku 4.33. Fréza prichádza z domovskej pozície do bodu P1, následuje do polohy P2. V prípade, že sú splnené podmienky pre pokračovanie (frézka dosiahla potrebnú rýchlosť a výrobok sa točí konštantnou rýchlosťou) fréza pokračuje do bodu P3 a následne do P4. V bode P4 zotrúva až kým nie je dosiahnutý zadaný počet otáčok točenia hlavy. V praxi sa ukázalo, že je dostačujúce, ak $P2_x = P3_x = P4_x$ a $P3_y = P4_y$. Po dokončení fréza absolvuje rovnakú trasu vyššou rýchlosťou do P1 a následne na druhú stranu výrobku a rovnakým spôsobom sa sfrézuje druhá strana.



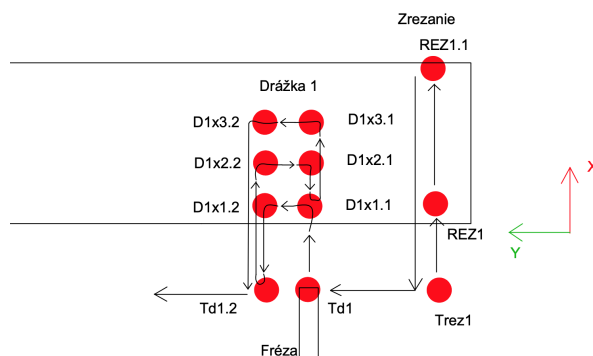
Obrázok 4.33. Princíp polôh pre S110 a S160

- Polohovanie výrobkov P obsahuje väčšiu množinu bodov. Treba však podotknúť, že tento výrobok je stále vo fáze dokončovania/upresňovania parametrov a procesov. Na obrázku číslo 4.34 je vidieť celú rúru a miesta s potrebnými úkonmi (*D1* poloha pre drážku 1 atď.). Stále nie je od zadávateľa upresnené, či bude potrebné zrezať rúru frézou na jednej alebo aj na druhej strane (na 4.35 je zobrazený jeden rez). V princípe receptúra ráta s viacerými variantami finálnej produkcie a program bude podľa toho upravený. Tak ako pri manipulátore, stanovil som si množinu tranzitných bodov *Trez1*, *Td1*, *Td1.2* až *Td4.2*. V prípade zrezania výrobku

sa jedná o pohyb z tranzitného bodu $Trez1$, následne do $REZ1$ (ideálne umiestnenom v polovici hrúbky steny výrobku) a na finálne odpílenie do bodu $REZ1.1$. Každá drážka ma dva tranzitné a 6 frézovacích bodov. Z pohľadu x súradnice sú 4 hladiny hĺbky ($Td1_x = Td1.2_x$ až $D1x3.2_x = D1x3.1_x$). Z pohľadu y súradnice sú tu dve hladiny ($TD1_y = D1x1.1_y = D1x2.1_y = D1x3.1_y$). V receptúre sú uložené 4 hladiny x (platia pre všetky drážky) súradnice a 2 hladiny y súradnice. V praxi sa ukázalo, že je lepšie mať frézu prispôbenú na drážku tak, aby hladiny y boli rovnaké. V tom prípade fréza operuje len v smere x . Pri bližšom pohľade na cesty frézy počas frézovania drážky je vidno, že po dofrézovaní jednej hladiny v smere x súradnice sa fréza vráti do predchádzajúcej hladiny. Vyplýva to z použitej frézy definovanej v kapitole o technických prostriedkoch. Táto fréza bola vybraná vzhľadom na drsnosť plochy drážok (nie je primárne určená na PVC) a veľmi pomáha procesu, ak je fréza po dofrézovaní hladiny odsunutá z dôvodu opadnutia pilín.



Obrázok 4.34. Princíp polohovania frézovacieho nástroja pre výžok P



Obrázok 4.35. Princíp polohovania pri rezaní a drážke

4.5.8 Dopravník DP1

- V prípade dopravníka na prázdne krabice PLC monitoruje naplnenosť. Vďaka senzoru viem detekovať, či sú alebo nie sú dostupné prázdne krabice. Informácia pre manipulátor:
 - Senzor je v stave high/true. PLC informuje, že plné krabice sú k dispozícii.
 - V prípade, že manipulátor odoberie krabicu, informuje o tom PLC. V takomto prípade sa spustí časovač (s hodnotou vyplývajúcou z receptúry (rozdielne krabice, rozdielna rýchlosť)). Ak po uplynutí času nie je detekovaná krabica, PLC vyhodnotí tento stav ako nedostatok krabíc. Informuje sa manipulátor a operátor.

4.5.9 Dopravník DP2

- Pri dopravníku na plné krabice sa naopak kontroluje naplnenosť krabicami. Manipulátor dostáva informáciu, či je voľné miesto na dopravníku.

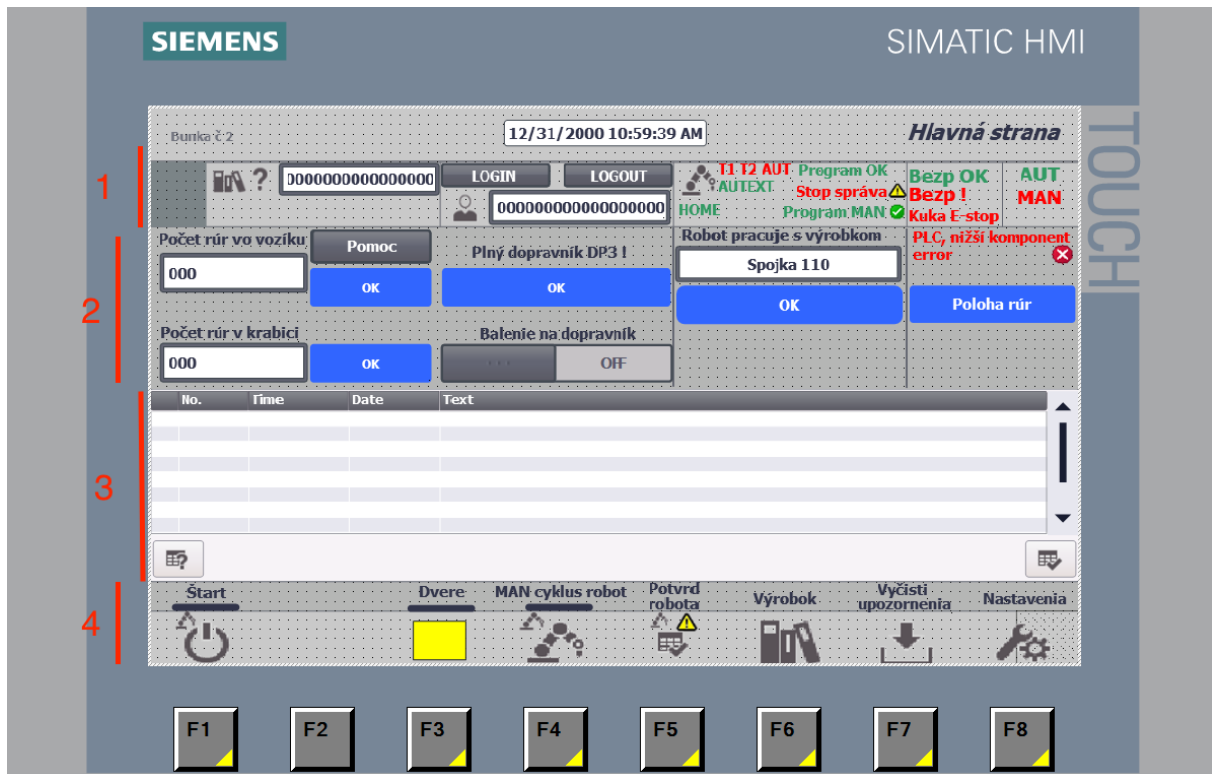
- Ak je senzor v stave low/false, manipulátor dostáva informáciu, že môže byť plná krabica z nakladacieho priestoru posunutá smerom von z bunky.
- Pri posúvaní krabice manipulátor informuje PLC. V prípade, že krabica aj po uplynutí nastaveného času je v zornom poli senzora, PLC vyhodnotí, že DP2 je plný a následne o tom informuje manipulátor a operátora. Manipulátor pokračuje v činnosti až do naplnenia ďalšej krabice.

4.5.10 Dopravník DP3

- Motorizovaný dopravník slúži na odvezenie hotových výrobkov z bunky. Na základe receptúry a HMI pracuje v nasledujúcich módoch:
 - Po naložení dopravník posunie výrobok o nastavenú vzdialenosť (napríklad 200 mm (pre výrobky P)). Ak je senzor braný do úvahy a zdetekuje počas chodu výrobok, ďalší pohyb nie je povolený, až kým operátor nepotvrdí, že ho vyložil.
 - Po naložení dopravník posunie výrobok o nastavenú dĺžku dopravníka (čiže von z bunky). Ak je senzor braný do úvahy a zdetekuje počas chodu výrobok, ďalší pohyb nie je povolený, až kým operátor nepotvrdí, že ho vyložil.
- Dopravník informuje manipulátor o tom, či je plný (v prípade, že sa berie do úvahy senzor). Taktiež informuje o tom, či práve nie je v prevádzke (nie je možné naložiť ďalší výrobok).

4.5.11 HMI

- HMI má niekoľko obrazoviek viz 4.41. Hlavná obrazovka obsahuje všetky potrebné a základné informácie pre každodennú činnosť. HMI bolo vytvorené v prostredí WinCC [38]. Obrázok 4.36 je screenshot z prostredia [38]. K dispozícii sú podobrazovky (ako je nastavenie výrobku, parametrov a iné), ktoré sú združené v obrazovke s názvom *Nastavenia*.

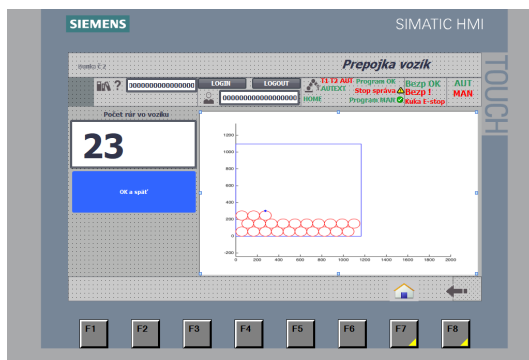


Obrázok 4.36. Hlavná obrazovka HMI

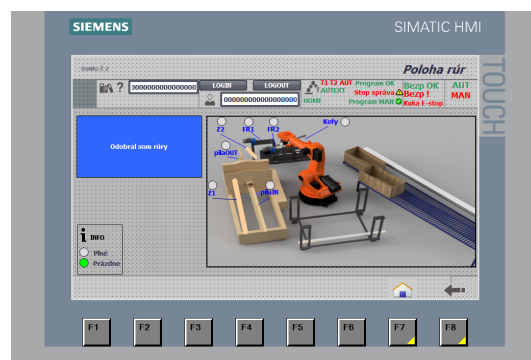
- Obrazovka na obrázku 4.36 je v základnom stave, čiže všetko je viditeľné. Pri prevádzke je aktívna len časť. Na obrázku 4.36 je možné vidieť delenie základnej obrazovky. Číslami sú označené hlavné sekcie:
 - Sekcia č. 1: zobrazenie základných údajov ako je aktuálny výrobok, používateľ, stavy robota, bezpečnosti a módu, v ktorom PLC aktuálne je. Táto sekcia sa prejavuje na všetkých ďalších stránkach/obrazovkách.
 - Sekcia č. 2: táto sekcia je priamym nasledovníkom modrej farby na signálnej veži. V tejto sekcii sa zobrazia údaje, ktoré treba vložiť alebo potvrdiť. Viditeľné len na tejto strane a len ak existuje daná požiadavka.
 - Sekcia č. 3: tvorená oknom pre správy/hlásenia. Správy a hlásenia rozobrané v ďalšom texte.
 - Sekcia č. 4: tvorená hardweroými tlačidlami, príslušná zobrazovacia ikona a signalizačná čiara (tmavo modrá: neaktívna, zelená: aktívna). Príklad: robot zapnutý, čiara je zelená. Dvere sú zatvorené, čiara modrá. Po stlačení tlačidla *Dvere* sa odstaví robot. Po signále potvrdzujúcom, že robot je nie je v pohybe, PLC deaktivuje zamykanie dverí (čiara je zelená).
- K sekcii číslo 2 patria pomocné obrazovky. Príklad: PLC vyžiadalo potvrdenie o počte rúr vo vozíku. Zobrazí sa modré tlačidlo *OK*. Operátor má dve možnosti. Môže zakliknúť *OK* a tým potvrdiť počet rúr. Alebo môže zakliknúť *Pomoc* a následne je presmerovaný na obrazovku zobrazenú na obrázku 4.37 (na obrázku 4.41 ako *Pomocná obr. P*). Podľa toho, aký počet operátor vloží, sa mu zobrazí vozík s daným počtom rúr. Po potvrdení je vrátený na hlavnú obrazovku. Obdobne funguje obrazovka 4.38

(na obrázku 4.41 ako *Poloha rúr*). Obrazovka zobrazuje polohu rúr (na základe evidencie manipulátora), ktoré treba odobrať (prípád erroru).

- Na základe autentifikácie má HMI dva módy, resp. dva typy používateľa:
 - Používateľ/operátor: prihlásenie na meno a heslo. Mód operátor môže ovládať, obsluhovať robotickú bunku v základnom móde. Základným módom sa myslí: spustenie/zastavenie, potvrdzovanie, vyberanie receptúry pre konkrétny výrobok atď.
 - Administračný mód: prihlásenie na meno a heslo. Mód, v ktorom je možné upravovať jednotlivé receptúry, upravovať pozície, rýchlosti, množstvá, resetovať komponenty a ďalšie.
- Hlásenia/správy/alarmy som rozdelil do viacerých tried. Triedy sa líšia zdrojom (komponentu, z ktorého pochádzajú), cieľom (okno, v ktorom sa zobrazia (napríklad okno na hlavnej obrazovke)), typom (myslí sa s a bez potvrdenia) a zobrazovanou farbou. Jedná sa o diskrétny alarmy. Vyvolávané sú pomocou jedného bitu vo worde (word príslušiaci komponente). Uvediem príklady daných alarmov:
 - *ROBOT INI Robot žiada vyčistenie bunky. Odober rúry z každého miesta.*
 - Trieda: MSA (alarm s potvrdením), aktivujúci word *robotIni*.
 - *FR2 menič FM2 nie je v prevádzke.*
 - Trieda: MSI (alarm bez potvrdenia), aktivujúci word *statusFM2*.

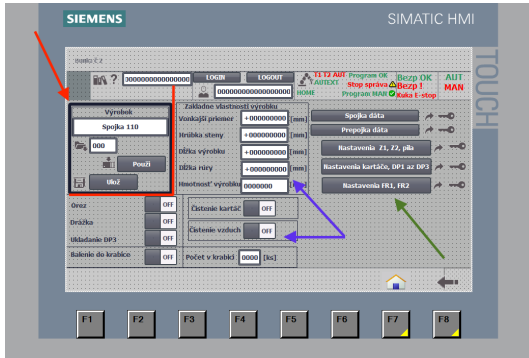


Obrázok 4.37. Interakcia s operátorom. Je potrebné potvrdiť počet rúr

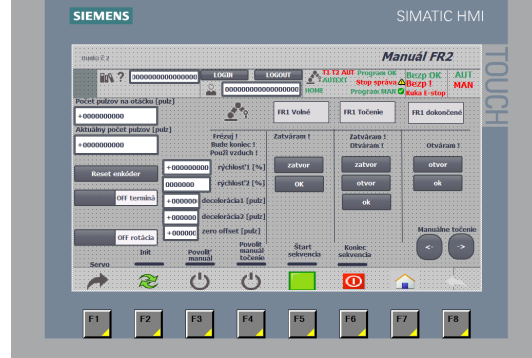


Obrázok 4.38. Interakcia s operátorom. V prípade erroru je potrebné odstrániť rúry z bunky

- Tak ako bolo spomenuté vyššie, pre samotný systém je dôležitá receptúra. Mala by byť jednoducho zmeniteľná. Na obrázku číslo 4.39 je možno vidieť obrazovku vyvolateľnú z hlavnej stránky pomocou hardverového tlačidla *Výrobok*. Zmena prebieha v sekcii označenou červenými čiarami. Jednoduchým výberom z rolovacieho menu a stlačením *Použi* dôjde k načítaniu receptúry do pamäte PLC. Pre operátora je prístupná čiastočná zmena parametrov ako je zmena dĺžky rúry, úprava dĺžky pílenia atď. (modré šípky na 4.39). Pre rozsiahlejšie zmeny je potrebné prihlásenie administrátora (zelené šípky na 4.39).

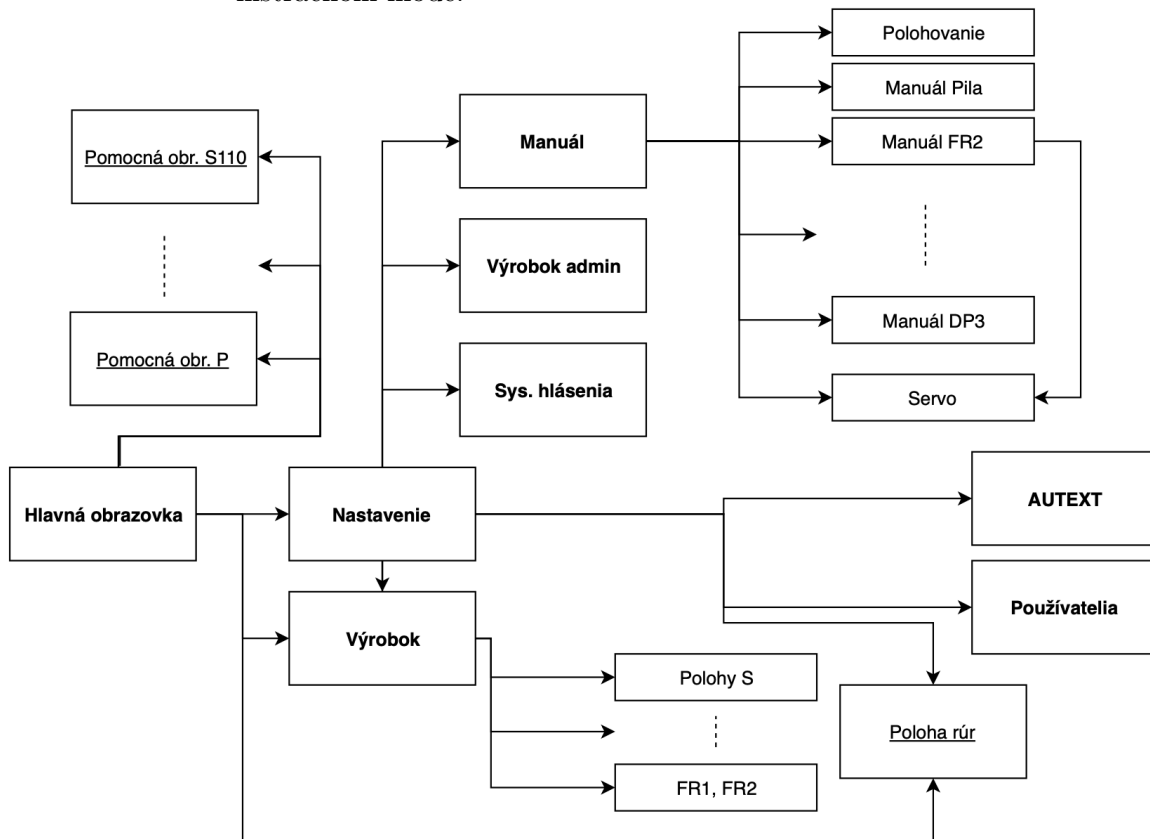


Obrázok 4.39. Zmena a čiastočná úprava receptúry



Obrázok 4.40. Manuálny režim

- Niekedy je potrebné jednotlivé komponenty ovládať manuálne, simulovať komunikáciu manipulátora alebo ich inicializovať a resetovať. V takomto prípade som vytvoril obrazovky spadajúce do skupiny manuálneho ovládania (na obrázku ?? ako *Manuál*). Príklad je na obrázku 4.40 (na 4.41 ako *ManuálFR2*). Do takejto obrazovky je možné sa dostať len v administráčnom móde.



Obrázok 4.41. Principiálne rozloženie obrazoviek

Kapitola 5

Záver

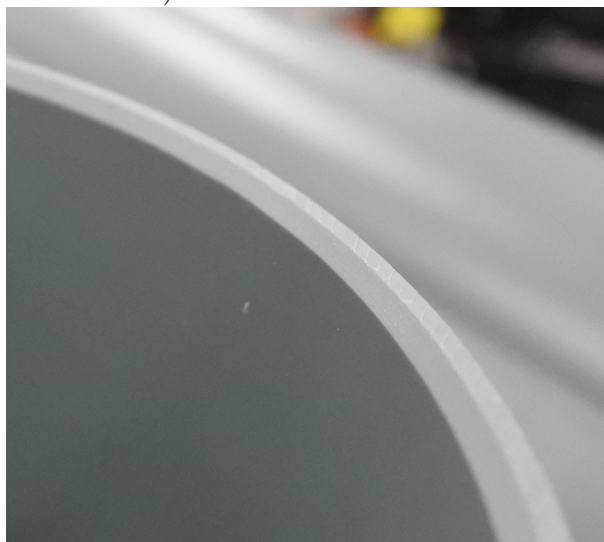
- Aplikácia priemyselného robota máva dve podoby. V prvej podobe sa jedná o aplikáciu/integráciu priemyselnej robotickej bunky na nový výrobný proces. Druhá podoba je integrácia robota do už existujúceho výrobného procesu. V tejto práci sa jednalo o skĺbenie existujúceho procesu (výrobky S) a nového procesu (výrobky P). V tejto práci som prešiel všetkými fázami aplikácie/integrácie od zhodnotenia, prvotných návrhov, plánovania, výberu komponentov, osadenia komponentov, elektronickej inštalácie, konfigurácie, oživenia, programovania a prvotného spustenia výroby (v prípade výrobku S).
- Do veľkej miery ovplyvňujú robotickú bunku aj použité komponenty (existujúce verzus nové komponenty, ktoré si integrátor vyberie/nakonfiguruje podľa potrieb). V tomto prípade som sa opäť stretol s oboma prístupmi. Použitie existujúcich komponentov pri integrácii prináša do istej miery komplikácie a množstvo kompromisov. V aktuálnom stave nie sú vyhotovené všetky hardverové komponenty (napríklad čistenie vonkajšieho priemeru výrobkov).
- Z pohľadu výrobného cyklu, ktorý som dosiahol aktuálnym programovým riešením (v tabuľke 5.1 ako *Dosiahnutý č. 2*), som veľmi blízko požadovaného výrobného cyklu. Aktuálna verzia programového riešenia nie je vo finálnej fáze. Taktiež pohyby manipulátora, respektíve rýchlosti, sú v mnohých prípadoch malé. Taktiež podprogramy si vyžadujú optimalizáciu, ktorá je však časovo náročná. Myslím si, že celkové programové riešenie je dobré, avšak vyžaduje si ešte pozornosť.

Stav	Súčasný	Požadovaný	Dosiahnutý č. 1	Dosiahnutý č. 2
výrobok	S160	S160	S160	S160
krabíc/10hod	10	≥ 5	$\approx 3,47$	$\approx 4,65$
ks/hod	60	≥ 30	$\approx 20,81$	$\approx 27,91$
počet operátorov	2	1	1	1
výrobný cyklus [s]	60	≤ 120	≈ 173	≤ 129

Tabuľka 5.1. Súčasný, požadovaný a dosiahnutý výrobné cykly výrobku S160

- Návrh z pohľadu operátora: vďaka komponentom a vnútornému rozloženiu bunky, je v prípade výrobku S160 potrebné vložiť vozík s rúrami každých ≈ 20 hodín práce manipulátora. Kapacita dopravníka DP2 (plné krabice) je 4 naplnené krabice. Pri tomto výrobnom cykle je frekvencia odoberania ≈ 8 hodín. Návrh z pohľadu operátora považujem za dobrý.
- Je tu aj ekonomická stránka veci. Stroj, ktorý je schopný vyrábať výrobky S110 a S160 stojí $\approx 102700\text{€}$ (do stroja je potrebné naložiť rúry, následne vybrať výrobky, očistiť a zabaliť). Ak započítam (podľa informácií, ktoré som mal k dispozícii) všetky komponenty robotickej bunky, dosiahli náklady $\approx 65\%$ ceny nového stroja (určeného len pre výrobky

S). Ekonomická stránka by vyžadovala hlbšiu analýzu, na ktorú nie je v tejto práci priestor. Výrobky S sú len pomocným výrobkom k potrubným systémom. Výroba pre dvoch operátorov trvá ≈ 103 pracovných dní (rátam, že rok má ≈ 250 pracovných dní). Aplikovaním požadovaných výrobných cyklov (predpokladám, že vo finále budú nižšie) bude trvať ≈ 206 pracovných dní vyrobiť predpokladané množstvo (nerátam plánovanú samostatnú prácu bunky). Dosiahlo sa tým redukcie počtu operátorov a taktiež lepšie rozloženie výroby po celý rok (čo bol vlastne jeden zo zámerov).



Obrázok 5.1. Výsledná zrazená hrana

- V rámci tejto práce som analyzoval problém, zhrnul všetky požiadavky, navrhol som riešenie. Vybral som komponenty ktoré boli za pomoci pracovníkov firmy v mojej prítomnosti inštalované (mechanické a elektrické inštalácie). Z pohľadu komplexnosti problému hodnotím výsledok ako dobrý. Z ekonomického pohľadu si myslím, že som dosiahol kompromisu, a tým pádom ho hodnotím ako dobrý. Na programové riešenie, na ktoré som sa najviac tešil, mi ostalo najmenej času. Avšak v aktuálnom stave hodnotím programové vyhotovenie bunky ako uspokojivé. V ďalšej práci sa chcem hlbšie venovať optimalizácií jednotlivých podprogramov, ale hlavne chcem zkrátiť výrobný cyklus.



Literatúra

- [1] Potrubná pošta [obrázok] In: Pcem Tech.[online]. [Cit 2019-09-02], Dostupné z: <https://www.pcemtech.com/pneumatictubesystem.html>
- [2] Rez pracovnej obálky [obrázok]. In: KUKA AG [online], [Cit 2019-10-27]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/>
- [3] Gripper [obrázok]. In: SCHUNK GmBh Co [online], [Cit 2019-10-27]. Dostupné z: https://schunk.com/de_en/gripping-systems/series/pzb-plus/
- [4] HAJDÚŠEK, Lukáš. *Vývoj robotickej bunky pre manipuláciu s plastovými rúrami*, Praha, 2013. Bakalárska práca. ČVUT v Praze. Fakulta Elektrotechnická. Katedra kybernetiky.
- [5] Bruno Siciliano and Oussama Khatib. *Handbook of Robotics* Springer, 2008.
- [6] Shimon Y. Nof, editor. *Handbook of Industrial Robotics*. John Wiley Sons, New York, NY, USA, 1985.
- [7] *W9L-3 Small Photoelectric Sensors. Laser precision in rugged VIS-TAL housing* [online].SICK AG 2013, [Cit 2019-10-21]. Dostupné z: <https://cdn.sick.com/cz/cs>
- [8] Stopková fréza [obrázok], In: CERATIZIT GROUP [online], [Cit 2019-10-21]. Dostupné z: https://www.wnt.com/mastertool/?fcode=m_ca_bd_catdetail&m_ca_bd_GV_objky=53506045&L=15
- [9] Uhlová fréza, [obrázok], In: CERATIZIT GROUP [online], [Cit 2019-10-21]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/mastertool/SK/product/Nástroje/Frézovanie/HSS>
- [10] Jednobritá fréza [obrázok], In: CERATIZIT GROUP [online], [Cit 2019-10-21]. Dostupné z:https://www.wnt.com/mastertool/?fcode=m_ca_bd_catdetail&m_ca_bd_GV_objky=50610042&L=15
- [11] Centrický uchopovač PZB [obrázok/CAD] In: SCHUNK GmbH Co [online], [Cit 2019-11-02]. Dostupné z: https://schunk.com/de_en/services/downloads/cadecad-data/
- [12] *KUKA System Software 5.5. Operating and programming Instructions for System Integrators*. Augsburg: KUKA AG, 2019-10-28.
- [13] *Software KRC2 / KRC3 Expert Programming*. KUKA System Software (KSS), Release 5.2. Augsburg: KUKA AG, 2003-09-23.
- [14] *CREAD/CWRITE, Programming CREAD/CWRITE and related statements*. For KUKA System Software 5.4, 5.5, 5.6. KUKA AG, 2007-06-19.
- [15] *KRC2, Field Bus Technology- Profibus*. Augsburg: KUKA AG, 2004-04.

- [16] *ROBOT (V)KR 150, 180, 210, Instalation, Connection, Exchange*. KUKA AG.
- [17] *ROBOT (V)KR 150, 180, 210, Technical data*. KUKA AG.
- [18] *Kuka load* [počítačový program]. Verzia 5.0.21 KUKA Deutschland GmbH, 2019.
- [19] *Series 2000: The all rounders in high payload range Series 2000 KR150*, KUKA AG.
- [20] *Vavuum Automation, Components Catalog* Edition 14. Glatten: J. Schmalz GmbH, 2018.
- [21] Vacuum Suction Cuups.*Schmalz* [online]. J. Schmalz GmbH,[Cit 2019-10-29], Dostupné z: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-knowledge/the-vacuum-system-and-its-components/vacuum-suction-cups/>
- [22] *SCP*i* / SMP*i*, Operating Instructions*. Glatten: J. Schmalz GmbH, 2016.
- [23] Dutý valec [obrázok],In: Wikipedia [online]. [Cit 2019-11-14]. Dostupné z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Vzorco_na_vypočet_momentu_zotrvačnosti
- [24] Obrázok parametrov. *KUKA LOAD 5.0* [počítačový program]. Kuka Detschland GmbH, 2019.
- [25] *REIKU alternative products for KUKA accessories*, REIKU AG, 2011-01-24.
- [26] STN EN ISO 14120. *Bezpečnosť strojov. Ochranné kryty. Všeobecné požiadavky na navrhovanie a konštrukciu pevných a pohyblivých krytov (ISO 14120: 2015)*. Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, 2017.
- [27] *Guide for Safe Machinery*. Waldkirch: SICK AG, 2015-07-07.
- [28] STN EN ISO 14120, *Bezpečnosť strojov, Ochranné kryty, Všeobecné požiadavky na navrhovanie a konštrukciu pevných a pohyblivých krytov*. Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, 2017.
- [29] STN EN ISO 13857, *Bepzečnosť strojov, Bezpečné vzdialenosti na ochranu horných a dolných končatín pre siahnutím do nebezpečného priestoru*, Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, 2008.
- [30] STN EN ISO 10218-2, *Roboty pre priemyselné prostredie. Bezpečnostné požiadavky. Časť 2: Robotický systém a integrácia*, Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, 2012.
- [31] STN EN ISO 13855, *Bezpečnosť strojov Umiestnenie ochranných zariadení so zretelom na rýchlosť približujúcich sa častí ľudského tela* , Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky,2010.
- [32] STN EN ISO 14119 *Bezpečnosť strojov, Blokovacie zariadenia ochranných krytov Zásady navrhovania a výberu*, Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, 2014.
- [33] *Controller, KR C2 edition2005, Specification*, KUKA AG, 2010-10-06.

- [34] *Industrial Controls, Safety engineering SIRIUS 3SK1 safety relays* Manual. SIEMENS AG, 06/2018.
- [35] *OrangeEdit.Free* [počítačový program]. Verzia 2.0.14.95 OrangeApps GmbH, 2019.
- [36] *Totally Integrated Automation Portal*[počítačový program]. Verzia V15.1 Siemens AG, 2018.
- [37] *STEP 7 Professional*[počítačový program]. Verzia V15.1 Siemens AG, 2018.
- [38] *WinCC Advanced*[počítačový program]. Verzia V15.1 Siemens AG, 2018.
- [39] *Autodesk Fusion 360*[počítačový program].Autodesk, Inc., 2019.
- [40] *AutoCad* [počítačový program].Autodesk, Inc., 2019.
- [41] *RoboDK*[počítačový program]. Verzia v4.1.0.14086/trial Control and Robotics Laboratory, 2019.
- [42] *Programming Guideline for S7-1200/S7-1500*. Background and System Description, Siemens AG, 09-2014.
- [43] *Position Control with SIMATIC S7-1200 and SINAMICS V90 PN (S mode)*. SINAMICS V90 PROFINET Version, Siemens AG, 05-2018.
- [44] *SIMATIC S7, S7-1200 Programmable controller* . System manual. Siemens AG, 04-2012.
- [45] *SIMATIC, STEP 7 and WinCC Engineering V15.1*. System manual. Siemens AG, 10-2018.
- [46] *SINAMICS V20 at S7-1200/1500 via USS® Protocol* Verzia 1.0, Siemens AG, 09-2018.

Príloha A

Zoznam bodov

Koncový bod	ID	Komponent robotической bunky
homeK	1	domovská pozícia
homeD	2	domovská pozícia
DP1K	3	DP1
DP2K	4	DP1
DP2D	5	DP2
DP3K	6	DP3
DP3D	7	DP3
cPlace	8	cPlace
FR1D	9	FR1
FR1K	10	FR1
FR2D	11	FR2
FR2K	12	FR2
Z2K	13	Z2
cutterOutK	14	cutterOut
cutterInD	15	cutterIn
cutterInK	16	cutterIn
Z1K	17	Z1
trolley	18	trolley

Tabuľka A.1. Koncové polohy (*endPoint*) robotической bunky



Príloha B

Obsah elektronickej prílohy (DVD)

- program manipulátor
- program PLC
- fotky
- video
- pomocné výkresy