



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

# NÁVRH AUTOMATICKÉ VÝMĚNY NÁSTROJŮ PRO ROBOTICKÉ OBRÁBĚNÍ

DESIGN OF AUTOMATIC TOOL CHANGE FOR ROBOTIC MACHINING

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTERS'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Vít Dvořák**

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. František Bradáč, Ph.D.**

**BRNO 2024**



## Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Bc. Vít Dvořák**  
Studijní program: Výrobní stroje, systémy a roboty  
Studijní obor: bez specializace  
Vedoucí práce: **Ing. František Bradáč, Ph.D.**  
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### Návrh automatické výměny nástrojů pro robotické obrábění

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat návrhem automatické výměny nástrojů pro robotické obrábění u robotické buňky umístěné v laboratořích ústavu.

Součástí práce je konstrukční návrh výměnné stanice, návrh zapojení elektroinstalace včetně senzoriky a aktuátorů této výměny a vytvoření programu pro tuto výměnu.

#### Cíle diplomové práce:

Současný stav řešené problematiky.

Systémový rozbor problematiky, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu.

Návrh variant nového řešení.

Technicko–ekonomické posouzení variant řešení.

Výběr varianty řešení.

Návrh elektrických schémat zadaného zařízení a řídicího systému.

Návrh vybraných modulů PLC řízení a HMI vizualizace.

Vlastní závěry (návrh nového řešení) a/nebo doporučení.

#### Seznam doporučené literatury:

Automatizace a automatizační technika: systémové pojetí automatizace. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3628-7.

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-802-6067-801.

BECKHOFF New Automation Technology [online]. Verl, Germany: Beckhoff Automation GmbH & Co., 2019 [cit. 2019-09-20]. Dostupné z: <http://www.beckhoff.com/>

Beckhoff Information System [online]. Germany: Beckhoff Automation GmbH & Co., 2019 [cit. 2019-09-14]. Dostupné z: [https://infosys.beckhoff.com/index\\_en.htm](https://infosys.beckhoff.com/index_en.htm)

SIEMENS, Mikrosystémy,

<http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=e19daf5474&ctxp=home>, přístup 30.9.2016

EMCO Intos: EMCO Werkzeugmaschinen Drehmaschinen Fräsmaschinen zum CNC Drehen und Fräsen [online]. Hallein, Österreich: EMCO group, 2018 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://www.emco-world.cz/>

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D., FEng.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem stanice pro automatickou výměnu nástroje pro robotické obrábění u robotického pracoviště UVSSR CELL. Toto pracoviště se nachází v laboratořích Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky FSI VUT. V úvodní teoretické části je stručně popsána technologie robotického obrábění, na kterou navazuje rešerše v oblasti systémů pro automatickou výměnu nástroje. Dále jsou popsány jednotlivé části obráběcí buňky.

Následuje systémový rozbor, ve kterém je detailně rozebrána řešená problematika. V další kapitole jsou vytvořeny 3 návrhy stanice pro automatickou výměnu a pomocí multikriteriální analýzy je zvolen nejvhodnější návrh. Zvolený návrh je následně detailně zpracován po konstrukční stránce včetně volby pneumatiky a sensoriky. Poté je navržen a zpracován koncept periferie automatické výměny, kterou je v tomto případě čistící stanice.

Po zpracování konstrukce je navrženo zapojení elektroniky obou stanic včetně úprav v hlavním rozvaděči obráběcí buňky. Detailní výkresová dokumentace obou stanic a schémata zapojení elektroniky jsou součástí přílohy.

V další kapitole jsou navrženy funkční bloky pro řízení cyklu automatické výměny nástroje robotem a ruční výměny nástroje ve stanici. Součástí návrhu je i popis řízení vybraných zařízení. Následuje návrh HMI pro řešení chybových stavů a řízení cyklu výměny. Na závěr je zpracováno bezpečnostní posouzení ruční výměny nástroje ve stanici.

## **ABSTRACT**

This master's thesis deals with the design of a station for automatic tool change for robotic machining at the UVSSR CELL robotic workplace. This workplace is located in the laboratories of the Institute of Production Machines, Systems and Robotics FSI BUT. In the introductory theoretical part, robotic machining technology is briefly described, which is followed by research in the area of systems for automatic tool change. Next, individual parts of the machining cell are described.

This is followed by a system analysis, in which the solved problem is analysed in detail. In the next chapter, 3 designs of the automatic exchange station are created, and the most suitable design is selected using multi-criteria analysis. The chosen design is then processed in detail in terms of construction, including the choice of tires and sensors. After that, the concept of the automatic replacement peripheral is designed and processed, which in this case is the cleaning station.

After processing the structure, it is proposed to connect the electronics of both stations, including modifications in the main switchboard of the machining cell. Detailed drawing documentation of both stations and electronic wiring diagrams are part of the appendix.

In the next chapter, functional blocks are designed for controlling the cycle of automatic tool change by the robot and manual tool change in the station. The proposal also includes a description of the management of selected devices. The following is a design of the HMI for handling error conditions and managing the exchange cycle. Finally, a safety assessment of manual tool change in the station is processed.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Robotické obrábění, automatická výměna nástroje, TIA Portal, Eplan

## **KEYWORDS**

Robotic machining, automatic tool change, TIA Portal, Eplan

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

DVOŘÁK, Vít. *Návrh automatické výměny nástrojů pro robotické obrábění* [online]. Brno, 2024 [cit. 2023-11-13]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/158184>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce František Bradáč.





## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval panu Ing. Františku Bradáčovi, Ph.D. za vedení při tvorbě této práce a za všechny jeho cenné rady. Zároveň bych rád poděkoval své rodinně za jejich podporu a trpělivost.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Františka Bradáče, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne ....

.....

Bc. Vít Dvořák



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Robotické obrábění.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Automatická výměna nástrojů .....</b>	<b>20</b>
2.2.1	Nástrojová soustava.....	20
2.2.2	Požadavky na automatickou výměnu .....	21
2.2.3	Morfologie automatické výměny nástroje.....	22
2.2.4	Periferie automatické výměny.....	24
<b>2.3</b>	<b>Současný stav řešeného systému .....</b>	<b>25</b>
2.3.1	Obráběcí buňka UVSSR CELL.....	25
2.3.2	Charakteristika provozovaného obrábění .....	28
<b>3</b>	<b>SYSTÉMOVÝ ROZBOR .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Systémový rozbor řešené problematiky .....</b>	<b>29</b>
3.1.1	Problémová situace.....	29
3.1.2	Formulace problému.....	29
3.1.3	Formulace cílů a řešení.....	29
3.1.4	Popis řešené soustavy .....	29
3.1.5	Systém podstatných veličin .....	29
3.1.6	Vazby systému podstatných veličin .....	32
<b>4</b>	<b>VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY ŘEŠENÍ .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1</b>	<b>Návrh variant řešení .....</b>	<b>33</b>
4.1.1	Společné znaky jednotlivých variant.....	33
4.1.2	Varianta 1 .....	34
4.1.3	Varianta 2 .....	35
4.1.4	Varianta 3 .....	36
<b>4.2</b>	<b>Multikriteriální analýza.....</b>	<b>37</b>
4.2.1	Technická a ekonomická kritéria.....	37
4.2.2	Ohodnocení kritérií jednotlivých variant.....	38
4.2.3	Bodovací metoda.....	39
4.2.4	Výpočet pořadí variant .....	41
4.2.5	Souhrn relativních technických a ekonomických úrovní.....	42
4.2.6	Vyhodnocení pořadí variant .....	42
<b>5</b>	<b>DETAILNÍ ROZBOR VÝSLEDNÉ VARIANTY .....</b>	<b>43</b>
<b>5.1</b>	<b>Mechanická konstrukce výměnné stanice .....</b>	<b>43</b>
5.1.1	Poloha zásobníku nástrojů.....	43
5.1.2	Uchycení odkládacích držáků.....	43
5.1.3	Rám přední části stanice.....	44
5.1.4	Pohyblivý kryt přední části stanice.....	45

5.1.5	Rám zadní části stanice.....	47
<b>5.2</b>	<b>Pneumatické prvky výměnné stanice.....</b>	<b>48</b>
5.2.1	Volba pohonu pohyblivého krytu .....	48
5.2.2	Řízení a řídicí prvky pneumatického pohonu .....	50
<b>5.3</b>	<b>Senzorika stanice .....</b>	<b>52</b>
5.3.1	Snímání přítomnosti nástroje v držáku .....	52
5.3.2	Snímání koncové polohy pohyblivého krytu .....	53
<b>5.4</b>	<b>Ergonomie výměnné stanice pro robot .....</b>	<b>53</b>
<b>5.5</b>	<b>Periferie automatické výměny .....</b>	<b>55</b>
5.5.1	Požadavky na čisticí stanici .....	55
5.5.2	Mechanická konstrukce čisticí stanice.....	56
5.5.3	Pneumatické prvky čisticí stanice.....	57
5.5.4	Zabudování čisticí stanice.....	58
5.5.5	Ergonomie čisticí stanice pro robot .....	60
<b>5.6</b>	<b>Návrh elektroniky.....</b>	<b>61</b>
5.6.1	Napájení.....	61
5.6.2	PLC a I/O modul.....	61
5.6.3	Senzorika a ventily výměnné stanice .....	62
5.6.4	Elektrické prvky čisticí stanice .....	62
5.6.5	Vřeteno a jeho ventilátor .....	63
5.6.6	Ventilátor odsávání a ventil vzduchu do stanice.....	63
<b>6</b>	<b>NÁVRH VYBRANÝCH MODULŮ PLC A HMI .....</b>	<b>65</b>
<b>6.1</b>	<b>Funkční blok automatické výměny .....</b>	<b>65</b>
6.1.1	Řízení vřetene.....	65
6.1.2	Řízení ionizačních trysek.....	66
6.1.3	Vstupní a výstupní proměnné automatické výměny .....	67
6.1.4	Struktura funkčního bloku automatické výměny .....	69
6.1.5	Kontrola zvolené konfigurace.....	70
6.1.6	Proces čištění nástroje.....	72
6.1.7	Proces odložení užívaného nástroje .....	73
6.1.8	Proces převzetí nového nástroje .....	74
6.1.9	Ukončení cyklu výměny .....	76
<b>6.2</b>	<b>Funkční blok ruční výměny nástroje .....</b>	<b>77</b>
6.2.1	Vstupní a výstupní proměnné .....	77
6.2.2	Struktura funkčního bloku ruční výměny .....	78
<b>6.3</b>	<b>Návrh HMI.....</b>	<b>79</b>
6.3.1	Podoba výsledného HMI .....	79
<b>6.4</b>	<b>Ověření funkčnosti navrženého softwaru.....</b>	<b>81</b>
6.4.1	Připojení PLC .....	81
6.4.2	Kontrola funkčnosti navrženého softwaru .....	81

<b>7</b>	<b>POSOUZENÍ RIZIK.....</b>	<b>83</b>
7.1	Popis pracovního cyklu.....	83
7.2	Blokový diagram stanice a jejich periferií .....	84
7.3	Legislativní požadavky .....	85
7.3.1	Evropské směrnice a nařízení vlády .....	85
7.3.2	Harmonizované normy .....	85
7.4	Způsob hodnocení rizika .....	86
7.5	Identifikace relevantních nebezpečí.....	87
7.6	Identifikace významného nebezpečí .....	88
7.7	Analýza významných nebezpečí.....	90
<b>8</b>	<b>ZHODNOCENÍ ŘEŠENÍ A DISKUZE.....</b>	<b>93</b>
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>95</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>97</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, OBRÁZKŮ TABULEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>101</b>
11.1	Seznam zkratk .....	101
11.2	Seznam obrázků .....	101
11.3	Seznam tabulek .....	104
11.4	Seznam symbolů .....	104
<b>12</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>107</b>





# 1 ÚVOD

Díky mnoha desetiletí dlouhému vývoji obráběcích strojů přichází jejich výrobci s čím dál propracovanějšími konstrukcemi jak z mechanického, tak z materiálového hlediska. Právě díky moderním konstrukcím mohou dnešní obráběcí stroje obrábět tvarově velmi složité díly ve vysoké přesnosti. Důsledkem vysokých kvalit, které moderní obráběcí stroje mají, jsou však vysoké pořizovací ceny těchto strojů. Právě vysoké pořizovací ceny vedou mnoho společností k zavádění robotického obrábění.

I přesto, že průmyslové roboty nedosahují zdaleka takové přesnosti a tuhosti jako moderní obráběcí stroje, je možné právě pomocí průmyslových robotů nahradit v konkrétních aplikacích moderní 5osé obráběcí stroje. Těmito aplikacemi bývá především obrábění rozměrných tvarově složitých dílů z měkkých materiálů.

Výrobci robotických obráběcích pracovišť se však neomezují pouze na třískové obrábění standartními rotačními nástroji. Čím dál více je tedy možné se setkat s aplikací průmyslových robotů při broušení, leštění, odjehlování či ořezávání. Využitím průmyslových robotů se tyto procesy nejen zefektivní, ale zároveň je možné tímto způsobem automatizovat ty procesy, jejichž dlouhodobé vykonávání může ohrozit zdraví zaměstnance či vést ke vzniku nemoci z povolání. [1]

Motivací pro tvorbu této práce byla snaha ukázat způsoby umožňující zvýšení stupně automatizace existující robotické buňky a možnosti víceúčelového využití průmyslového robotu. Dalším důvodem byl můj vlastní zájem o téma automatizace a robotiky.

Cílem této práce je navrhnout stanici pro automatickou výměnu nástrojů pro robotickou buňku UVSSR CELL. Tato buňka se nachází v laboratořích Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky FSI VUT. Kromě návrhu samotné stanice budou dle požadavků ústavu navrženy periferie automatické výměny. Výsledná konstrukce stanice bude zvolena z několika variant multikriteriální analýzou. Pro výslednou variantu bude zpracována výrobní dokumentace, schémata elektrického zapojení a program PLC pro řízení samotného procesu výměny nástroje včetně HMI.



## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 2.1 Robotické obrábění

Průmyslové roboty nalézají stále větší uplatnění v průmyslových podnicích, které se snaží jejich nasazením zefektivnit výrobní procesy. Průmyslovou oblastí nejvíce zavádějící robotizaci je dle statistik výroba automobilů, a to především pro automatizaci procesu svařování. Díky vývoji v oblasti robotiky se však průmyslové roboty zavádějí v procesech, které byly v minulosti buď dominantou pouze specializovaných strojů nebo nebyla jejich automatizace vůbec realizovatelná. [2]

Technologickým procesem zažívajícím postupný rozmach robotizace, je právě robotické obrábění, viz obr. 1. Robotizace procesu obrábění si nedává za cíl nahradit obráběcí centra, ale její snahou je využití průmyslových robotů na ty konkrétní procesy, kde je jejich zavedení výhodnější než použití obráběcího centra.

Zavedením průmyslového obráběcího robotu se také stále více využívá pro automatizaci činností, které do té doby byly téměř výhradně prováděny lidmi pomocí ručních nástrojů. Mezi tyto činnosti patří například pohledové broušení tvarově složitých ploch či ruční odjehlování obrobků. Důvody zavádění robotického obrábění jsou tedy především:

- pružnost robotických systémů
- možnost obrábění tvarově složitých dílů
- větší provozní rozsah
- snadná implementace přídavných pohybových os
- možnost hybridního systému umožňující využívání vícero technologií
- snadné využití silového zpětnovazebního řízení
- možnost učení robotu ručním naváděním
- „levné“ 5osé obrábění [1]

Hlavními nevýhodami, které s sebou přináší robotické obrábění, je zejména výrazně nižší přesnost pohybu průmyslových robotů a řádově nižší tuhost v porovnání s moderními obráběcími centry. [3]



Obr. 1 Frézování pomocí průmyslového robotu [4]

## 2.2 Automatická výměna nástrojů

Automatickou výměnou nástroje je chápáno zařízení, skupina zařízení či stavební uzel stroje zajišťující manipulaci, polohování a upnutí nástrojové soustavy v pracovním vřetenu obráběcího stroje. Při procesu obrábění totiž není téměř nikdy možné obrobít požadovaný tvar součásti v požadované kvalitě pomocí jednoho obráběcího nástroje. Při zachování automatizace cyklu obrábění je tedy nutné zajistit automatickou výměnu nástroje, bez nutnosti zásahu člověka do pracovního cyklu. [5]

Jedním z řešení konstruktérů obráběcích center je vybavit obráběcí centrum či skupinu obráběcích strojů zásobníkem nástrojů a výměníkem či manipulátorem, který zajišťuje samotný proces výměny nástroje. U robotizovaného obrábění je problematika obdobná. Z toho důvodu je vhodné robotizované obráběcí buňky vybavit systémem pro automatickou výměnu nástrojů. Tím se nejen rozšíří technologické možnosti výrobní buňky, ale zvýší se i její stupeň automatizace. [6]

### 2.2.1 Nástrojová soustava

U automatické výměny rotačních nástrojů neprobíhá výměna pouze samotného nástroje, tedy té části, která je při obrábění v kontaktu s obráběným materiálem. Vždy totiž probíhá výměna celé nástrojové soustavy. Nástrojová soustava rotačních nástrojů se nejčastěji skládá ze dvou základních částí. Těmito částmi jsou držák nástroje s kuželovou upínací stopkou a nástroj samotný, viz obr. 2.

V případě potřeby může být mezi držák nástroje a nástroj vložen mezikus. Důvodem užití mezikusu je například prodloužení nástrojové soustavy či redukce na jiný rozměr. Spojení nástroje a jeho držáku zajišťuje nejčastěji obsluha stroje či výrobní buňky. Připravenou nástrojovou soustavu je již možné vložit do zásobníku nástrojů, ze kterého si ji může převzít výrobní zařízení. [7]



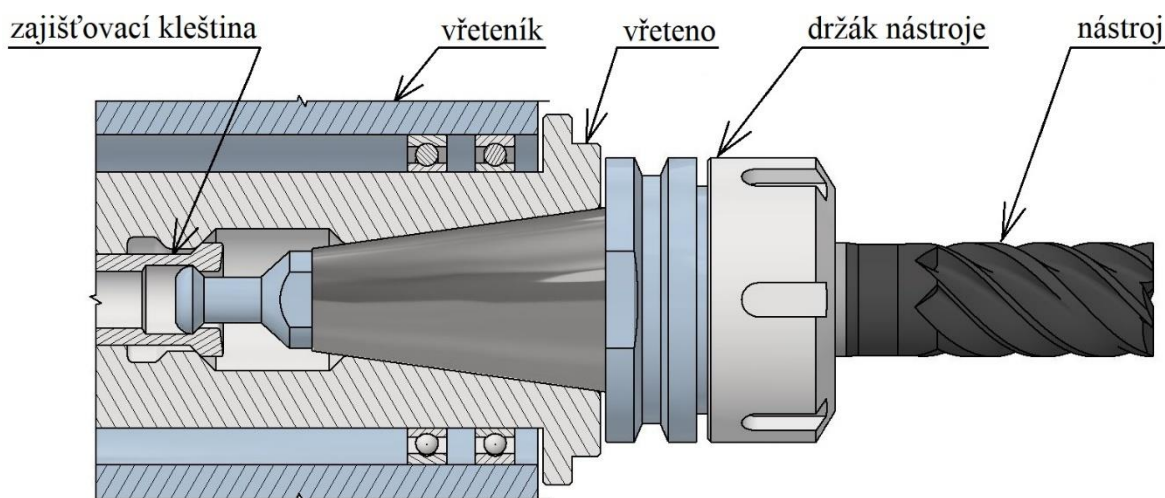
Obr. 2 Základní nástrojová soustava [8]

### Uchycení nástrojové soustavy ve vřeteni

Vřeteno rotačních strojů je zpravidla dutá hřídel uložená ve vřetenové skříni, tzv. vřeteníku. Vřeteno je poháněno nejčastěji pomocí elektromotoru a vykonává rotační pohyb. S vřetenem je spojena nástrojová soustava a skrze něj jsou síly z technologie přenášeny na vřeteník a dále na rám stroje. Otáčením vřetena získáváme jeden z hlavních pohybů nástroje při obrábění rotačními nástroji.

Spojení nástrojové soustavy a vřetene je možné realizovat vícero způsoby. Společným znakem jednotlivých způsobů bývá to, že držák nástroje je ustaven vůči vřeteni kontaktem kuželového otvoru ve vřeteni a kuželové části držáku nástroje. Některé konstrukce držáků nástrojů a obráběcích strojů umožňují zároveň kontakt čela vřetene a držáku. Tím je možné dosáhnout vyšší tuhosti a přesnosti celé soustavy.

Zajištění axiálního pohybu držáku se nejčastěji provádí vtažením držáku do vřetene pomocí vnitřní či vnější kleštiny, která je součástí vřetene. Kroučící moment je následně přenášen buď pouze třením mezi stykovými plochami vřetene a držáku, případně dalšími tvarovými prvky. Z obr. 3 je zřejmé, že jakékoliv nečistoty mezi kontaktními plochami vřetene a nástrojové jednotky vedou ke vzniku nepřesnosti při upnutí a tím i zhoršení kvality obrábění. [9] [10]



Obr. 3 Ustavení a upnutí nástrojové soustavy ve vřeteni

## 2.2.2 Požadavky na automatickou výměnu

Volba řešení a vlastnosti systému pro automatickou výměnu nástroje jsou ovlivněny mnoha parametry. Jsou jimi například typ obráběcího stroje, pro který je zásobník nástrojů určen, typ nástrojů, počet nástrojů, způsob upínání nástrojů ve stroji, hmotnost nástroje a jeho orientace v zásobníku a mnohá další. Mezi základní požadavky kladené na systémy automatické výměny nástroje patří: [11]

- minimální čas cyklu výměny nástroje
- vysoká funkční spolehlivost s ohledem na četnost výměny
- optimální kapacita zásobníku dle provozované technologie
- prostorově úsporné řešení
- minimalizace nepříznivého vlivu na pracovní prostor stroje
- odolnost proti znečištění
- nástrojová variabilita
- kombinace různých nástrojových soustav
- dlouhá životnost [11]

### 2.2.3 Morfologie automatické výměny nástroje

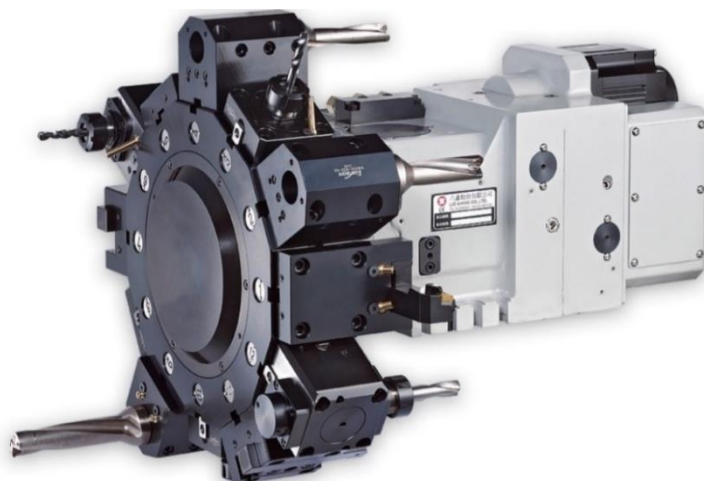
Některé ze zmíněných požadavků jsou si navzájem protichůdné, a proto vždy závisí jejich naplnění na konkrétních potřebách zákazníka. Z toho důvodu vytvořily výrobci obráběcích strojů mnoho odlišných systémů automatické výměny nástrojů. Morfologii systémů pro automatickou výměnu nástrojů lze zpravidla rozdělit do čtyř skupin, viz tab. 1. [5]

Tab. 1 Jednotlivé části automatické výměny a jejich rozdělení [5]

Automatická výměna			
zásobník	manipulátor	výměník	periferie
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nosný</li> <li>• skladovací</li> <li>• kombinovaný</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• jednoúčelový</li> <li>• portálový</li> <li>• robotický</li> <li>• mechanický</li> <li>• jiné konstrukce</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• otočné rameno pevné</li> <li>• otočné rameno výsuvné</li> <li>• translační</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• čištění nástroje</li> <li>• identifikace</li> <li>• kontrola</li> <li>• seřizování</li> <li>• broušení</li> </ul>

#### Zásobník

Zásobník nástrojových jednotek slouží pro bezpečné uložení a zajištění nástrojových jednotek v blízkosti pracovního prostoru obráběcího stroje. Nosné zásobníky, viz obr. 4, přenášejí řezné síly od nástroje do rámu stroje a nejčastěji jsou tvořeny revolverovou hlavou. Jejich největší využití je v aplikacích, ve kterých jsou vyžadovány nižší požadavky na množství nástrojů v zásobníku a kde je hlavním faktorem minimalizace času výměny nástroje. [11]

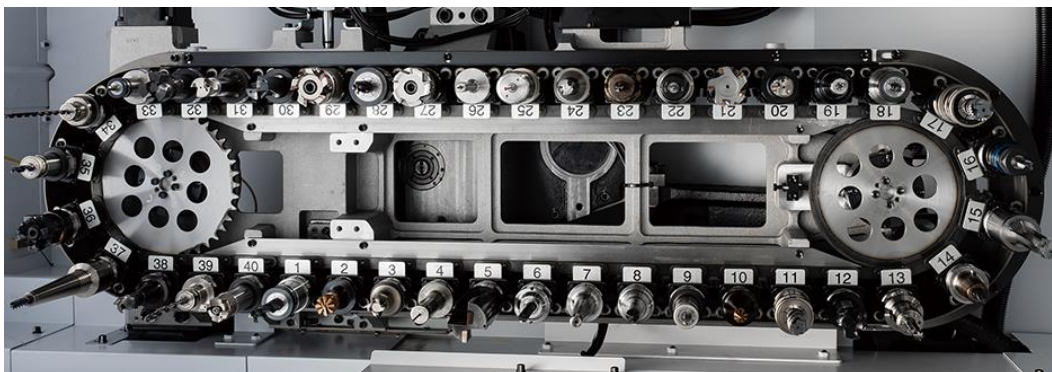


Obr. 4 Nosný zásobník nástrojů [12]

Skladovací zásobníky na rozdíl od nosných nepřenášejí řezné síly a slouží pouze ke skladování nástroje. Skladovací zásobníky se mohou významně lišit na základě konstrukčního řešení a celkové kapacity. U samostatných obráběcích strojů, které nejsou součástí většího celku, se nejčastěji využívají skladovací zásobníky, jež jsou přímo zakomponovány do konstrukce obráběcího stroje. [5]



U automatizovaných výrobních soustav, které se skládají z většího množství obráběcích strojů, se naopak často využívají sdílené velkokapacitní skladovací zásobníky. Skladovací zásobníky jsou dle pohybu nástrojů v zásobníku realizovány buď jako zásobníky s neměnnou polohou nástroje, nebo jako zásobníky s pohybem nástroje do pracovního prostoru, viz obr. 5.

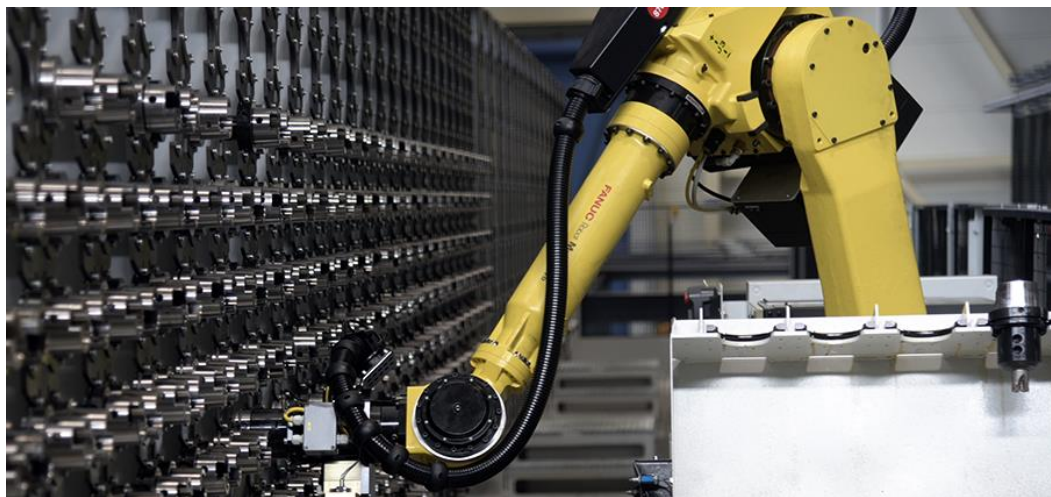


Obr. 5 Zásobník nástrojových jednotek [13]

## Manipulátor

Manipulátor slouží k dopravení nástroje do prostoru výměny, když samotný výměník není schopný dopravit nástroj ze zásobníku. Manipulátory nalézají využití především v automatizovaných výrobních soustavách, kdy je pomocí manipulátoru dopraven nástroj z vysokokapacitního zásobníku nástrojů do pracovního prostoru stroje. [5]

Manipulátory mohou být konstruovány jako jednoúčelové zařízení navržená speciálně pro danou aplikaci. Dalším možným řešením manipulace s nástroji je využití průmyslového robota, viz obr. 6. V takovém případě je nutné průmyslový robot vybavit koncovým efektolem pro uchopování nástrojových jednotek, případně doplňkovou pohybovou osou.



Obr. 6 Manipulace s nástrojovou jednotkou pomocí manipulátoru [14]

## Výměník

Výměník je mezičlánkem mezi vřetenem a zásobníkem v případě, že nelze uskutečnit přímou výměnu. Jedná se zpravidla o jednoúčelové zařízení, které odebírá nový nástroj přímo ze zásobníku a starý nástroj z vřetene. Výměníky musí splňovat vysoké nároky na přesnost pohybu a dynamiku. V případě manipulace s nerotačními nástroji musí výměníky zajistit neměnnou úhlovou orientaci nástroje vůči upínací nástrojů. [11]

## 2.2.4 Periferie automatické výměny

Periferie v rámci automatické výměny zajišťují doplňkové funkce, které nebývají u automatické výměny samozřejmostí. Periferie mohou být součástí systému automatické výměny, samostatnými zařízeními nebo prvky výrobního stroje, kterými lze stroj vybavit v průběhu jeho životního cyklu. [5]

### Identifikace nástroje

V rámci identifikace nástroje se zpravidla jedná o identifikaci celé nástrojové jednotky. Identifikace se nejčastěji provádí bezkontaktně pomocí optických či radiofrekvenčních snímačů. Identifikátor může mít tedy například podobu BAR codu nebo RFID čipu. Identifikátor je umístěn na vnějším povrchu držáku nástroje, viz obr. 7. [5]



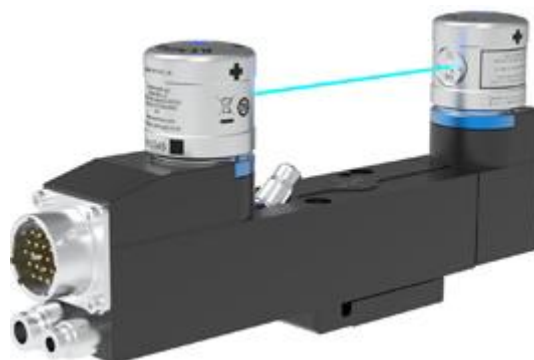
Obr. 7 Identifikace nástrojové jednotky [14]

### Kontrola a seřizování nástroje

Pro kontrolu a seřízení nástroje se používají především nástrojové sondy. Dle principu funkce můžeme volit mezi dotykovými sondami, viz obr. 8, a bezkontaktními sondami viz obr. 9. Zaměření nástroje se provádí před jeho použitím, aby mohly být případné nepřesnosti zaneseny do stroje ve formě korekcí. Zároveň mohou sondy sloužit pro kontrolu nástroje v procesu obrábění jakožto prevence proti používání poškozeného nástroje. [5]



Obr. 8 Dotyková nástrojová sonda [15]



Obr. 9 Bezkontaktní nástrojová sonda [16]

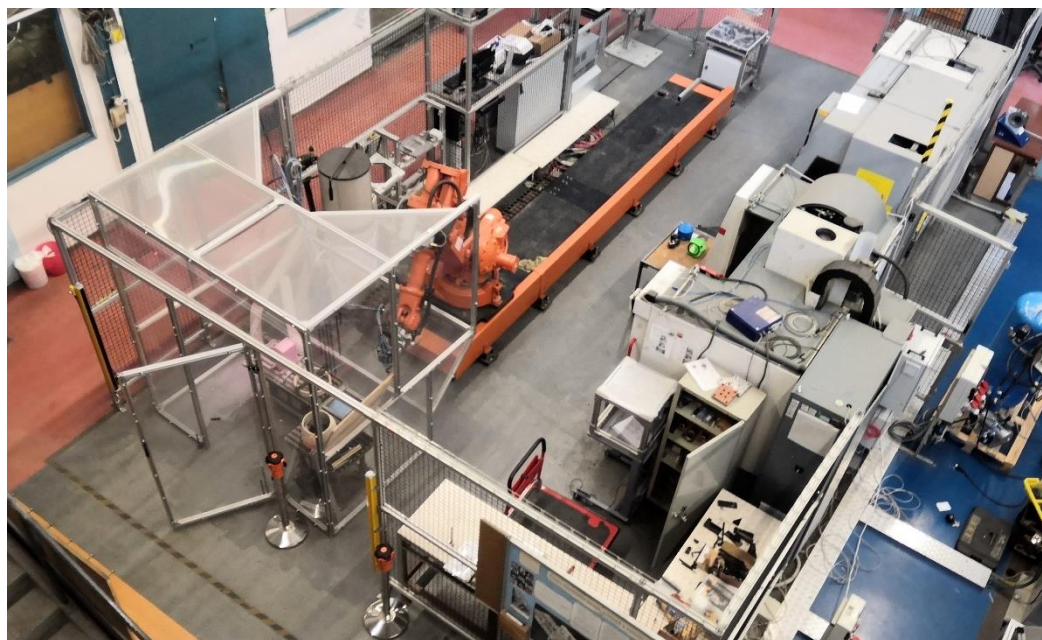
### Čištění nástroje

Při čištění nástroje, resp. nástrojové jednotky, zpravidla neprobíhá čištění samotného rezného nástroje, ale je nutné zajistit čistotu funkčních ploch nástrojových upínačů. Čistota nástrojových kuželů zajišťuje přesnost upnutí nástrojové jednotky a s tím i spojenou přesnost a stabilitu samotného obrábění.



## 2.3 Současný stav řešeného systému

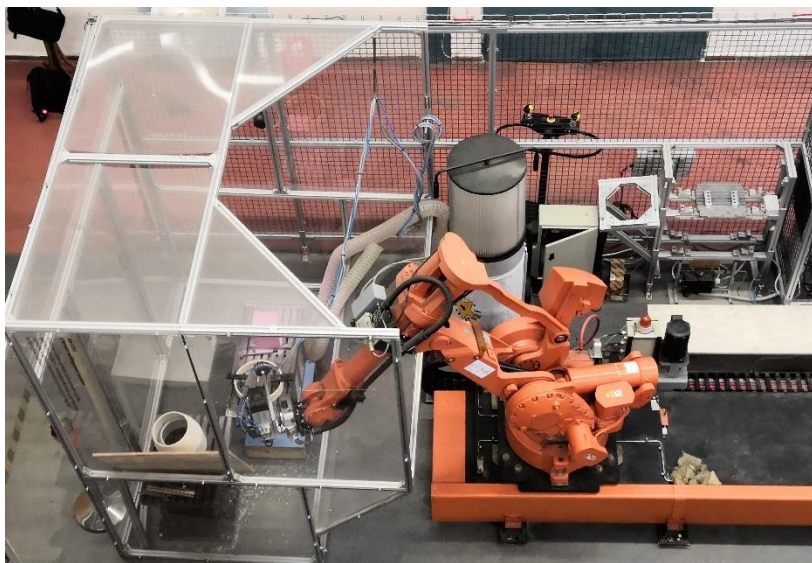
Navrhovaná výměnná stanice by měla být součástí již existujícího vědeckovýzkumného robotického pracoviště UVSSR CELL, viz obr. 10. To se nachází v laboratořích Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky FSI VUT Brno. Původním účelem pracoviště byla robotizovaná obsluha obráběcích strojů. V rámci dalších inovací bylo pracoviště doplněno o buňku sloužící k provozování technologie robotického obrábění.



Obr. 10 Robotické pracoviště UVSSR CELL

### 2.3.1 Obráběcí buňka UVSSR CELL

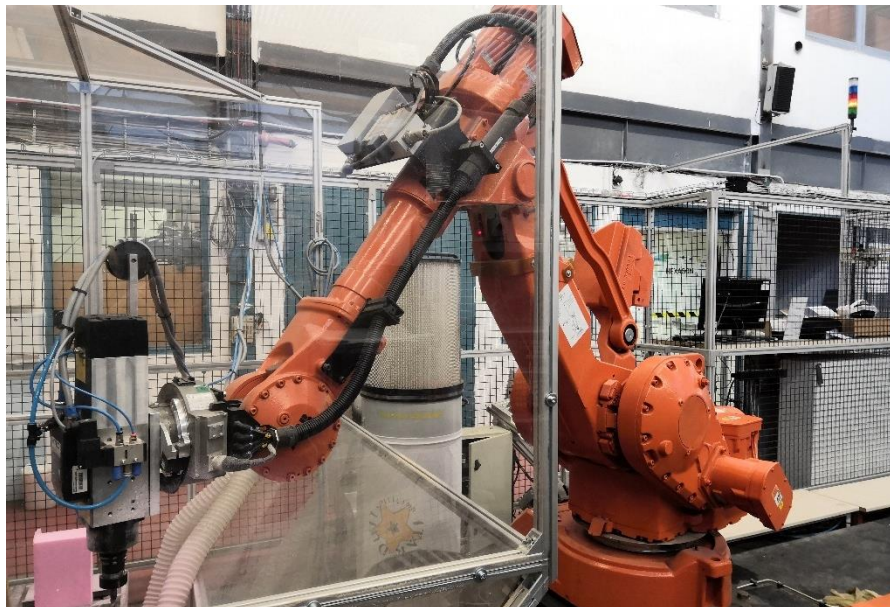
Robotické pracoviště UVSSR CELL je ohraničeno bezpečnostním plotem. Obráběcí buňka je od zbytku pracoviště oddělena samostatnou šroubovanou konstrukcí z profilovaných hliníkových tyčí a deskami z čírého polykarbonátu, viz obr. 11. Obráběcí buňka má samostatný vstup pro obsluhu. Pro vstup průmyslového robotu slouží nekrytá stěna.



Obr. 11 Uspořádání UVSSR CELL

## Průmyslový robot

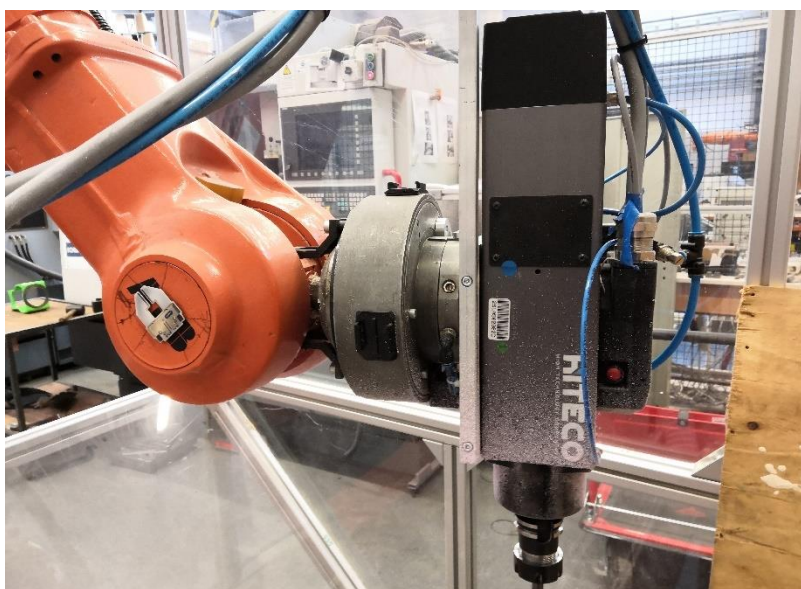
Na pracovišti UVSSR CELL je využit 6osý průmyslový robot s označením IRB 4400/60 výrobce ABB, viz obr. 12. Užívaný robot má nosnost 60 kg a maximální dosah 1,96 m. Robot je umístěn na pojezdu ABB IRBT 4003, čímž je robot doplněn o 7 osu. V rámci užívání robotu pro provoz technologie obrábění je robot vždy v krajní poloze pojezdu.



Obr. 12 Užívaný průmyslový robot ABB IRB 4400/60

## Koncový efektor a automatická výměna

Užívaným obráběcím koncovým efektem, je vysokootáčkové frézovací vřeteno s označením QD-1F 4/12 24 I30 NC CB výrobce Hiteco, viz obr. 13. Ve vřeteni je použit nástrojový kužel ISO 30 a při obrábění může dosahovat maximálních otáček 24000 ot/min. Vřeteno umožňuje automatické upnutí a odepnutí nástrojové jednotky pomocí zabudovávno mechanismu. Obráběcí buňka zatím neobsahuje stanici umožňující skladování nástrojů a jejich automatizovanou výměnu robotem.



Obr. 13 Frézovací vřeteno Hiteco a automatická výměna efektoru [17]



Na přírubě robotu je umístěná zastaralá, ale stále funkční automatická výměnná koncového efektoru Stemmann-Technik 6261238, viz obr. 13. V části pracoviště pro robotizovanou obsluhu obráběcích strojů jsou umístěné stanice pro bezpečné automatizované odložení užívaných efektorů. Obráběcí buňka však žádný takový konstrukční prvek zatím neobsahuje.

### Elektronika a kabeláž

Buňka je řízena pomocí PLC Siemens řady Simatic S7 1200, viz obr. 14, které je společně s potřebnou elektronikou a bezpečnostními prvky umístěno v rozvaděči v blízkosti buňky. Kromě standardních prvků obsahuje rozvaděč frekvenční měnič výrobce Emerson, viz obr. 15. Ten slouží pro napájení obráběcího vřetene. Jak obráběcí buňce, tak i všem dalším částem pracoviště je nadřazené PLC Siemens řady Simatic S7 1500, umístěné v hlavním rozvaděči.

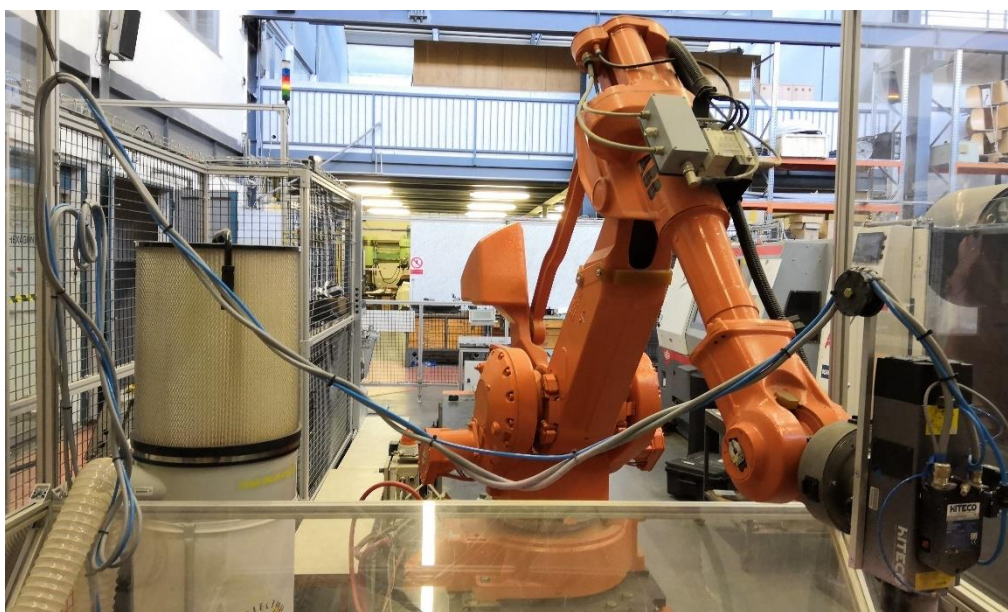


Obr. 14 PLC Simatics S7 1200 [18]



Obr. 15 Frekvenční měnič výrobce Emerson [19]

Všechna kabeláž potřebná pro řízení automatické výměny koncového efektoru je spojena s robotem a mimo robot je vedena v ochranných řetězech. Kabeláž pro řízení frézovacího vřetene a automatické výměny nástroje je přes volný průvės spojena s vřetenem, viz obr. 16. Z důvodu stávajícího řešení vedení kabeláže je nutné při užívání robotu dbát zvýšené opatrnosti.



Obr. 16 Vedení kabeláže pro vřeteno a automatickou výměnu vřetene

### 2.3.2 Charakteristika provozovaného obrábění

Vzhledem k vlastnostem průmyslových robotů především z hlediska tuhosti, je obráběcí buňka užívána primárně pro obrábění nekovových materiálů, případně měkkých kovů. Zároveň je z důvodu snížení zátěže robotu využíváno obrábění vysokými reznými rychlostmi při malé velikosti záběru na zub nástroje. Výsledkem tohoto způsobu obrábění je generování třísek velmi malých rozměrů, viz obr. 17.

Vzhledem k menší hustotě obráběných materiálů ve srovnání například s ocelí, dochází při obrábění k většímu rozptylu třísek. Z toho důvodu je buňka vybavená vlastní odsávací jednotkou pro odsávání prachových nečistot v místě obrábění. I přesto však dochází při obrábění k pokrytí nástroje a vřetene nečistotami.



Obr. 17 Obrábění pěny [20]

Kromě již zmíněných vlastností je pro obrábění plastů vysokými reznými rychlostmi typický vznik statické elektřiny, a to v důsledku tření mezi nástrojem a obrobkem. Statická elektřina nashromážděná v odletujících třískách způsobuje přitažlivé síly mezi třískami a povrchem na kterém ulpěli. Takto elektricky nabitě třísky zpravidla není možné z povrchu odstranit pouhým proudem vzduchu. Tento jev byl pozorován při obrábění extrudované pěny na řešené robotické buňce.

## 3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR

Při řešení konstrukční úlohy je nutné užití systémového přístupu. Jeho užitím se zajistí kvalita konstrukce po všech stránkách. Problematiku je tedy nutné zkoumat ze všech hledisek, čímž je možné dosáhnout splnění všech cílů a požadavků.

### 3.1 Systémový rozbor řešené problematiky

Systémový rozbor bude aplikován na řešení zadané problematiky automatické výměny.

#### 3.1.1 Problémová situace

Při návrhu automatické výměny nástroje pro robotické obrábění je nutné vyřešit problémy, které budou popsány níže. Namísto přímočaré volby jednoho řešení je nutné vytvořit několik vhodných variant. V dalším kroku je nezbytné si stanovit veličiny, podle kterých budou hodnoceny jednotlivé varianty řešení. Po vyhodnocení a zvolení nejvhodnějšího řešení, bude vytvořena podrobná konstrukce automatické výměny se všemi potřebnými pohony, snímači a kryty. Mechanickou konstrukci následně doplní návržení elektro zapojení a tvorba vybraných modulů PLC a HMI pro řízení procesu výměny.

#### 3.1.2 Formulace problému

Problémem je návrh stanice a pro automatickou výměnu nástroje a jejích periferií.

#### 3.1.3 Formulace cílů a řešení

Diplomová práce má tyto cíle:

- Návrh konstrukce stanice pro automatickou výměnu nástroje
- Tvorba vybrané výkresové dokumentace
- Volba vhodné sensoriky a návrh elektro zapojení
- Vytvoření vybraných modulů PLC a HMI pro řízení procesu automatické výměny
- Závěrečné shrnutí a doporučení

#### 3.1.4 Popis řešené soustavy

Řešenou soustavou je stanice pro automatickou výměnu nástroje pro robotické obrábění. Stanice by měla být součástí robotického pracoviště UVSSR CELL, které se nachází v laboratořích Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky. Uspořádání pracoviště a jeho části jsou blíže popsány v kapitole 2.3

Navrhované zařízení by mělo zajistit automatizovanou výměnu nástrojové jednotky ve frézovacím vřetení, kterým je robot osazen. Řešená soustava bude zakomponována do existující konstrukce robotické buňky tak, aby plnila svoji funkci a neomezovala pracovní prostor.

#### 3.1.5 Systém podstatných veličin

Z množiny charakteristik řešené soustavy je třeba vybrat ty, které jsou pro řešení soustavy podstatné. Parametrizováním těchto charakteristik je možné získat množinu podstatných parametrů. Jsou-li tyto parametry vyjádřitelné veličinami, je možné z nich vytvořit systém podstatných veličin.

## **Veličiny popisující okolí entity**

Okolí stanice pro automatickou výměnu lze popsat svým tvarem a fyzikálními veličinami jako je vlhkost a teplota. Při provozování technologie obrábění hraje teplota důležitou roli a významně ovlivňuje především tvarovou a rozměrovou přesnost obrobků. V případě automatické výměny však nemají fyzikální veličiny jako teplota a vlhkost okolí významný vliv na výsledné konstrukční řešení výměnné stanice. Z toho důvodu nebudou při návrhu řešení problému uvažovány.

## **Veličiny popisující strukturu, topologii a geometrii prvků entity**

Mezi tyto prvky patří především tvar a umístění konstrukčních uzlů výměnné stanice. Největší část stanice tvoří nosná soustava, jejíž řešení kromě celkové tuhosti stanice ovlivňuje například i náročnost výroby, modularitu a další prvky. Pro uložení nástrojových jednotek je další nedílnou součástí stanice zásobník nástrojů, který je nutné vybavit vhodně zvolenými odkládacími prvky.

Pro dodržení hygienických a bezpečnostních zásad je nutné stanici opatřit jak pevnými, tak pohyblivými kryty. Aby mohl být pohyb krytu automatizován, tak je další nutnou součástí stanice pohon, zajišťující právě pohyb krytu. Pro řízení navrženého pohonu je třeba zvolit vhodné řídicí prvky. Samotná automatizace a bezpečnost není realizovatelná, pokud nebude stanice dále vybavena potřebnými prvky senzorky a jejich vhodným zabudováním do konstrukce stanice.

Kromě technických aspektů při návrhu výměnné stanice je nutné při každém rozhodnutí uvažovat i aspekty ekonomické. Výsledné řešení je tedy kompromisem mezi technickou kvalitou a ekonomickou náročností výsledného řešení.

## **Veličiny popisující vazby entity s okolím**

Pro stanovení těchto veličin je nutné znát přesný popis řešené soustavy. V případě navrhované výměnné stanice je nutné uvažovat tvar, rozměry a další podstatné vlastnosti nástrojových jednotek užívaných v řešené buňce. Dále je nutné brát v úvahu tvar a rozměry vřetene, kterým je robot osazen. Těmito parametry bude ovlivněn především tvar a velikost zásobníku nástrojů a prostoru pro vstup robotu.

Dalšími důležitými parametry jsou tvar a umístění samotné obráběcí buňky. Tyto parametry následně doplňuje umístění robotu, dosah robu a poloha a tvar jeho pracovního prostoru. Jejich znalost umožní zvolit nejvhodnější umístění stanice z hlediska ergonomie a minimalizace ovlivnění pracovního prostoru robotu.

## **Veličiny vyjadřující aktivaci entity z jejího okolí**

Tyto veličiny zahrnují elektrické signály nutné pro správnou funkci stanice. Jsou jimi signály z řídicího PLC, signály ze snímačů samotné stanice a signály z robotu a užívaného vřetene.

## **Veličiny, které ovlivňují entitu z okolí**

Tyto veličiny jsou ovlivněny provozovanou technologií a určením navrhovaného zařízení. Technologickým prvkem ovlivňujícím výměnnou stanici je především prašnost technologie a s ní související hygienické požadavky. Dále tyto veličiny zahrnují síly od robotu, které na stanici mohou působit během cyklu automatické výměny.

## **Veličiny vyjadřující oborové vlastnosti prvků entity**

Prvními z této skupiny veličin jsou prvky popisující mechanické vlastnosti, a to jak stanice jako celku, tak jednotlivých prvků. Mechanické vlastnosti ovlivňuje kromě volby materiálů i tvar prvků stanice a vazby mezi nimi. V případě řešené výměnné stanici jsou hlavními vlastnostmi tuhost stanice a nosnost jak celé stanice, tak i samostatných odkládacích prvků zásobníku nástrojů.

Další vlastností, kterou je třeba uvažovat, je přesnost konstrukce stanice. V rámci řešeného problému není přesnost konstrukce stanice tak důležitá jako v případě jiných automatizovaných procesů. Přesto je však nutné zajistit dostatečnou přesnost celé konstrukce, kterou vyžaduje samotná automatická výměna, případně správná funkce pohonů a vedení.

V případě automatizace je vždy nutné správnou volbou prvků a konstrukcí zajistit dostatečnou životnost stanice. Důležité je tedy kromě zvolení kvalitních prvků s předpokládanou dlouhou životností zajistit i to, aby byly do konstrukce začleněny tak, jak doporučuje výrobce. Nevhodným užitím lze i u kvalitních strojních prvků významně snížit jejich životnost či spolehlivost.

Právě spolehlivost je další z veličin, která je rozhodující v případě automatizovaných systémů. Spolehlivost je stejně jako životnost dána samotnými vlastnostmi prvků stanice a jejich správným užitím. Pochopení funkce jednotlivých prvků umožňuje jejich užití tak, aby samotnou konstrukcí nebyla jejich spolehlivost ovlivněna. Vždy je nutné u volby strojního prvku uvažovat i vlastnosti jeho okolí, podle kterých můžeme například správně zvolit potřebný stupeň krytí u daného prvku.

U elektrických a pneumatických prvků vždy volíme konkrétní komponenty na základě příslušných vlastností jako jsou vzdálenost snímání, jmenovitá síla, výkon a další. U těchto prvků je navíc nutné uvažovat spotřebu médií, kterými jsou elektrická energie či stlačený vzduch. V případě nutnosti elektrického napájení je též vhodné při volbě zahrnout i proudovou náročnost a požadovanou velikost a druh napájecího napětí, za účelem sjednocení napájení pro elektrické prvky.

## **Veličiny popisující procesy probíhající na struktuře**

Těmito veličinami jsou v případě řešené stanice teplotní a silové působení. Vzhledem k zanedbatelnému teplotnímu působení a jeho vlivu na stanici není dále uvažováno. Silovým působením v rámci výměnné stanice je působení pohonu při řízeném pohybu krytu, případně síly a momenty působící na odkládací prvky zásobníku nástrojů od odložených nástrojových jednotek.

## **Veličiny vyjadřující projevy entity**

Patří sem jak pružné, tak plastické deformace vlivem působících sil a momentů na stanici. Dále sem patří deformace z důvodu oteplení prvků stanice, které jsou však z již zmíněných důvodů zanedbány.

## **Veličiny popisující důsledky projevů entity na její okolí**

Touto veličinou je především přesnost upnutí, která více než s přesností polohování nástrojové jednotky souvisí se schopností zamezit kontaminaci funkčních částí nástrojových jednotek nečistotami z technologie. Právě nečistoty na kuželech upínačů nástrojů by mohli v případě upnutí způsobit nepřesnosti, které by se následně projevy i na kvalitě samotného obrábění.



### 3.1.6 Vazby systému podstatných veličin

Všechny zmíněné podstatné veličiny je nutné vždy uvažovat s vazbami na ostatní veličiny, čímž je zajištěno správné užití systémového přístupu. Jednotlivé systémové veličiny a jejich vazby jsou znázorněny na obr. 18.



Obr. 18 Podstatné systémové veličiny a jejich vazby



## 4 VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY ŘEŠENÍ

V této kapitole budou nejdříve představeny navržené varianty konstrukce stanice pro automatickou výměnu nástrojů. S pomocí metody multikriteriální analýzy bude následně zvolena nejvhodnější varianta.

### 4.1 Návrh variant řešení

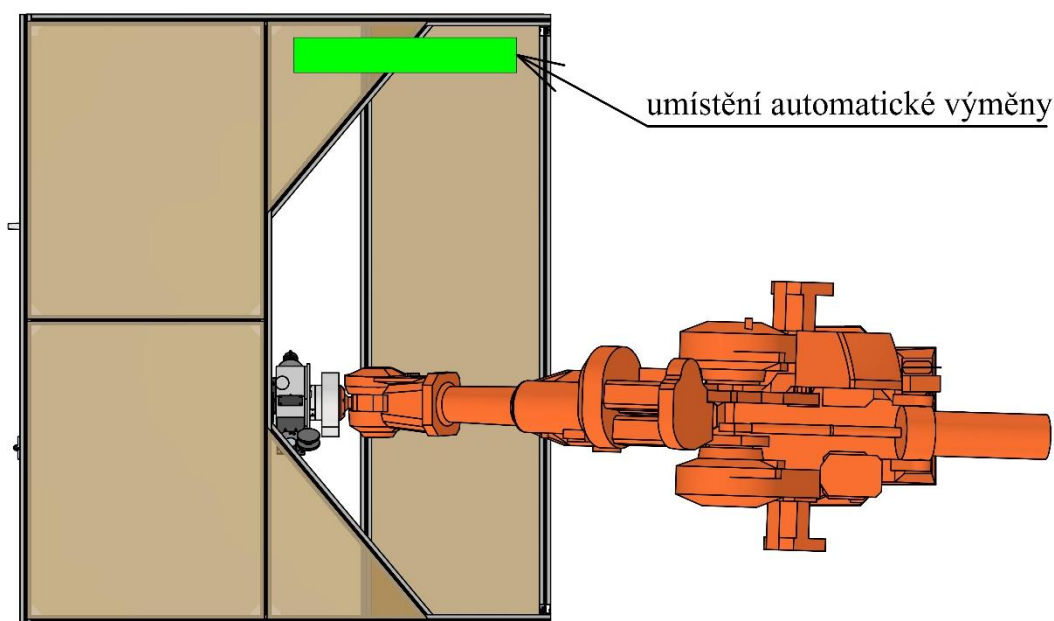
Pro všechny varianty budou nejdříve stanoveny společné znaky. Následně budou představeny jednotlivé návrhy variant konstrukce výměnné stanice, včetně výhod a nevýhod jednotlivých konstrukčních řešení.

#### 4.1.1 Společné znaky jednotlivých variant

Z důvodu snížení množství variant řešení budou pro všechny varianty předem stanoveny vybrané společné znaky. Všechny společné znaky byly zvoleny při uvážení systémového přístupu.

#### Umístění automatické výměny

Stanice pro automatickou výměnu bude ve všech variantách umístěna v pravé části buňky pro robotické obrábění z pohledu od robotu, viz obr. 19. Toto umístění zajistí co nejmenší omezení pracovního prostoru robotu a nijak neomezí zbylé plochy robotického pracoviště. Zároveň není tento prostor mimo dosah robotu a umožňuje napolohování robotu ve vícero konfiguracích.



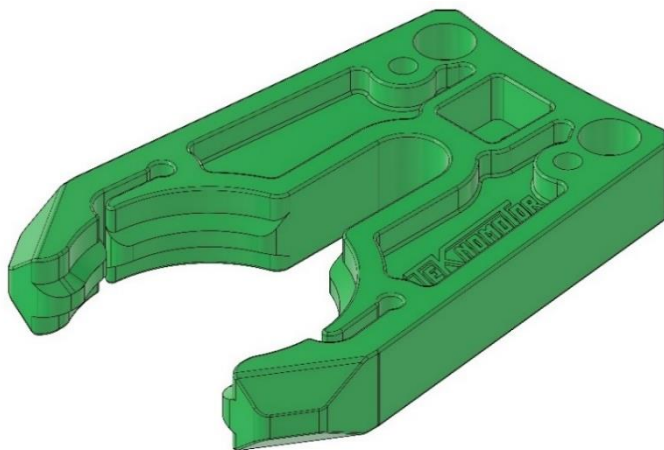
Obr. 19 Jednotné umístění variant pro automatickou výměnu

#### Krytování držáků nástrojů

Vzhledem k charakteru obráběných materiálů bude u všech variant vyžadováno krytování prostoru pro odkládání nástrojů. U všech variant bude automatický pohyb krytů realizován pomocí pneumatických pohonů. Vzhledem k tomu, že pracoviště slouží k demonstraci technologií, tak stejně jako pro konstrukci celé obráběcí buňky bude i pro konstrukci pohyblivých krytů u všech variant zvolen čirý polykarbonát.

## Odkládací držáky a snímače přítomnosti nástroje

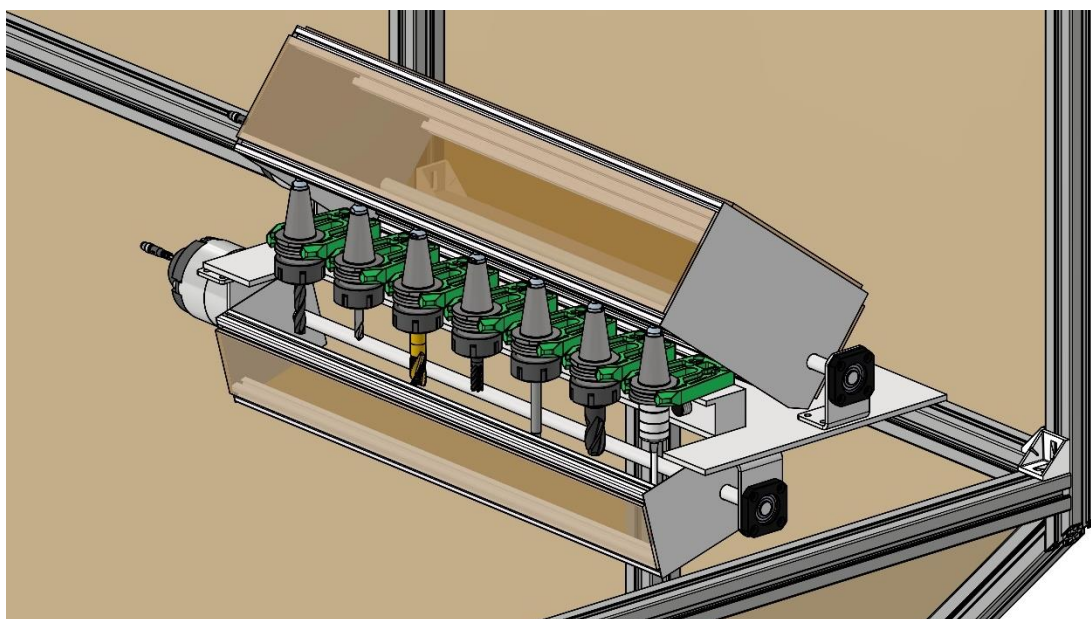
Ve všech konstrukčních variantách budou pro odkládání držáků nástrojů použity stejné tvarové polymerové odkládací držáky, viz obr. 20. Mezi důvody použití zvolených držáků patří především ověřená funkčnost, nízká pořizovací cena a dlouhodobá dostupnost. Pro snímání přítomnosti nástroje v odkládacím držáku budou u všech variant použity bezkontaktní indukční snímače polohy.



Obr. 20 Polymerový odkládací držák pro ISO 30

### 4.1.2 Varianta 1

První varianta stanice pro automatickou výměnu, viz obr. 21, se vyznačuje jednoduchou konstrukcí a pouze malými zásahy do ostatních prvků stávajícího pracoviště. Celá stanice by byla umístěna pouze v prostoru uzavřeném šroubovanou hliníkovou konstrukcí obráběcí buňky. Výměnná stanice by tedy nijak nezasahovala do okolního prostoru buňky. Nosná soustava výměnné stanice by byla pevně spojena s konstrukcí buňky, do které by nebylo třeba žádnými způsoby zasahovat.



Obr. 21 První varianta stanice pro automatickou výměnu

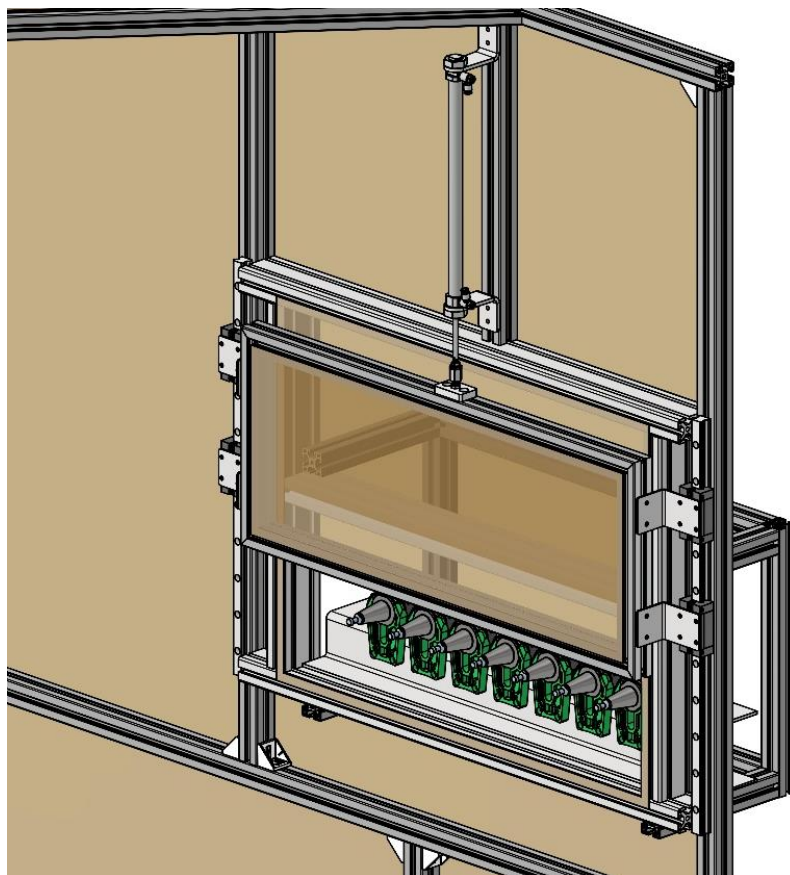
Ochrana držáků proti prachovým nečistotám by byla zajištěna dvěma pohyblivými kryty, jejichž pohyb by byl realizován pneumatickými kyvnými válci. Z důvodu kinematiky pohyblivých krytů by však nebylo možné prostor s nástroji zcela zatěsnit. Snímání koncové polohy krytů by bylo realizováno nepřímo pomocí snímačů zabudovaných v kyvných válcích.

Výhodami tohoto řešení jsou především nízké vstupní náklady, snadná montáž a servis. Orientace odkládacích držáků u této varianty umožňuje odložení hmotnějších nástrojových soustav. Nevýhodami této varianty jsou nedostatečné zatěsnění prostoru zásobníku nástrojů a omezení pracovního prostoru robotu.

### 4.1.3 Varianta 2

Druhá varianta je oproti první variantě konstrukčně složitější. Velká část stanice by byla umístěna mimo ohraničený prostor obráběcí buňky, viz obr. 22. Samotná konstrukce výměnné stanice by byla pevně spojena s rámem buňky. Konstrukce stanice a její zabudování v obráběcí buňce umožňuje lépe zatěsnit prostor pro odkládání držáků nástrojů. Pro ochranu tohoto prostoru by sloužil jediný pohyblivý kryt, který by byl uložen na valivém vedení. Pohyb krytu by byl realizován pomocí lineárního pneumatického válce.

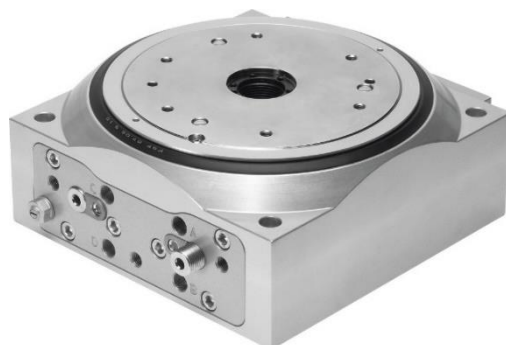
Výhodami tohoto řešení je především lepší ochrana funkčních ploch držáků nástrojů proti prachovým nečistotám a menší omezení pracovního prostoru robotu samotnou konstrukcí výměnné stanice. Nevýhodami jsou větší zásahy do stávající konstrukce rámu obráběcí buňky. S tímto se pojí kromě náročnější montáže a servisu i vyšší vstupní náklady.



Obr. 22 Druhá varianta stanice pro automatickou výměnu

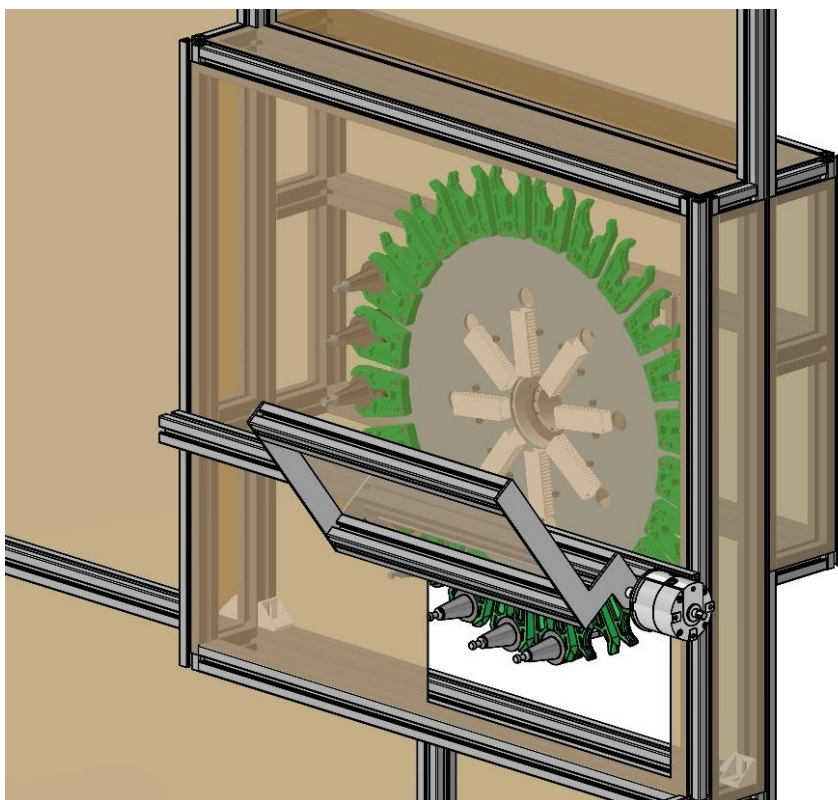
### 4.1.4 Varianta 3

Třetí varianta je ze všech variant konstrukčně nejsložitější. Stanice zasahuje jak do pracovního prostoru robotu, tak do okolního prostoru obráběcí buňky. Ve třetí variantě je zásobník konstruován jako kruhový otočný. Polohování zásobníku by bylo prováděno pomocí pneumatického otočného stolu, viz obr. 23. Pro krytí prostoru držáků nástrojů by sloužil výklopný kryt, jehož pohyb by byl realizován pneumatickým kyvným válcem.



Obr. 23 Otočný stůl DHTG [22]

Výhodami této varianty jsou především možnost osadit zásobník významně větším množstvím pozic pro nástroje než u předchozích variant, viz obr. 24. Nevýhodami této varianty jsou velké zásahy do stávající konstrukce buňky. Zároveň vzhledem k užití otočného zásobníku by tato varianta byla nejsložitější v rámci návrhu řízení automatické výměny. Taktéž by se jednalo o finančně nejnáročnější variantu výměnné stanice jak z hlediska vstupních nákladů, tak i v případě servisu.



Obr. 24 Třetí varianta stanice pro automatickou výměnu

## 4.2 Multikriteriální analýza

V této kapitole bude v několika nezbytných krocích provedena multikriteriální analýza jednotlivých variant. Výstupem analýzy bude stanovení nejvhodnější varianty řešení. Nejvhodnější varianta bude dále detailně rozpracována.

### 4.2.1 Technická a ekonomická kritéria

Nejvhodnější varianta řešení bude zvolena na základě technických a ekonomických kritérií. V tab. 2 je přehled zvolených podstatných kritérií.

Tab. 2 Přehled zvolených podstatných kritérií

Technická kritéria		
Označení	Kritérium	Charakter kritéria
T1	Hloubka stanice v pracovním prostoru robotu	Minimalizační
T2	Hloubka stanice mimo pracovní prostor robotu	Minimalizační
T3	Počet nástrojů v zásobníku	Maximalizační
T4	Předpokládaná životnost	Maximalizační
T5	Předpokládaná spolehlivost	Maximalizační
T6	Předpokládaná náročnost údržby	Minimalizační
T7	Utěsnění prostoru s držáky nástroje	Maximalizační
T8	Náročnost výroby	Minimalizační
T9	Náročnost montáže	Minimalizační
Ekonomická kritéria		
E1	Odhad nákladů na výrobu	Minimalizační
E2	Odhad nákladů na montáž	Minimalizační
E3	Odhad nákladů na servis	Minimalizační



## 4.2.2 Hodnocení kritérií

Kritéria jsou v tab. 3 ohodnocena, přičemž základní hodnota je 100 %. V rámci minimalizačních kritérií je vždy cílem dosažení hodnoty 100 %. U maximalizačních kritérií je naopak zisk 100 % nežádoucí. Všechna hodnocení jsou odůvodněna.

Tab. 3 Hodnocení jednotlivých kritérií

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Kritérium	Hodnocení [%]		
T1 – Minimalizační	250	100	150
Odůvodnění odhadu relativních hodnot	Varianta 1 nejvíce svojí hloubkou zasahuje do pracovního prostoru robotu vzhledem k hliníkové konstrukci obráběcí buňky.		
T2 – Minimalizační	100	140	130
Odůvodnění odhadu relativních hodnot	Varianta 2 nejvíce svojí hloubkou zasahuje do okolního prostoru buňky vzhledem k hliníkové konstrukci obráběcí buňky.		
T3 – Maximalizační	100	100	340
Odůvodnění odhadu relativních hodnot	Varianta 3 umožňuje svojí konstrukcí využít největší počet poloh pro odkládání nástrojů.		
T4 – Maximalizační	150	170	100
Odůvodnění odhadu relativních hodnot	U varianty 1 a 2 se vzhledem ke kinematice kde nedochází k pohybu kabelů předpokládá delší životnost.		
T5 – Maximalizační	100	150	130
Odůvodnění odhadu relativních hodnot	U varianty 2 se vzhledem ke kinematice a zatěsnění prostoru pro odkládání nástrojů předpokládá největší spolehlivost.		
T6 – Minimalizační	110	100	200
Odůvodnění odhadu relativních hodnot	U varianty 2 se vzhledem ke kinematice a zatěsnění prostoru pro odkládání nástrojů předpokládá nejmenší náročnost údržby.		
T7 – Maximalizační	100	200	200
Odůvodnění odhadu relativních hodnot	U variant 2 a 3 se vzhledem ke konstrukci a kinematice pohyblivých krytů předpokládá nejlepší zatěsnění.		

T8 – Minimalizační	100	150	200
Odůvodnění odhadu relativních hodnot	U varianty 3 se vzhledem k požadavkům na obráběné díly předpokládá největší náročnost výroby.		
T9 – Minimalizační	100	150	200
Odůvodnění odhadu relativních hodnot	U varianty 3 se vzhledem ke konstrukci a kinematice zásobníku předpokládá největší náročnost montáže.		
E1 – Minimalizační	100	150	500
Odůvodnění odhadu relativních hodnot	Varianta 3 je vzhledem k počtům pozic vyžadujícím snímače polohy a využití otočného pohonu výrobně nejnákladnější.		
E2 – Minimalizační	100	130	300
Odůvodnění odhadu relativních hodnot	Varianta 3 je vzhledem k počtům pozic montážně nejnákladnější.		
E3 – Minimalizační	130	100	250
Odůvodnění odhadu relativních hodnot	Varianta 3 je vzhledem ke konstrukci, kdy při pohybu zásobníku dochází i k pohybu kabelů snímačů, nejnákladnější na servis.		

### 4.2.3 Bodovací metoda

Pro určení vah kritérií byla použita Bodovací metoda. Bodovací metoda je vhodná v případě, kdy je možné určit důležitost konkrétního kritéria v porovnání s ostatními kritérii. V první části je nutné vytvořit bodovou stupnici, pro hodnocení kritérií. [21]

V tomto případě byla zvolena stupnice 0–100 bodů. Každému kritériu jsou následně přiděleny body. Nejvyšší počet bodů je přidělen kritériu s největší důležitostí. V tab. 4 jsou bodové zisky jednotlivých kritérií.

Tab. 4 Hodnocení jednotlivých kritérií

Kritérium	Počet bodů	Kritérium	Počet bodů	Kritérium	Počet bodů
T1	90	T5	85	T9	70
T2	65	T6	70	E1	85
T3	75	T7	90	E2	65
T4	80	T8	65	E3	75

Z bodového hodnocení kritérií lze následně spočítat váhu  $i$ -tého kritéria pomocí vztahu č. 1. V tab. 5 jsou vypočteny váhy jednotlivých kritérií.

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^k b_i} \quad (1)$$

$v_i$  – váha  $i$ -tého kritéria;  $b_i$  – bodové hodnocení v dané stupnici;

$k$  – počet kritérií;  $i$  – číslo kritéria

Tab. 5 Váhy jednotlivých kritérií

Kritérium	Váha kritéria	Kritérium	Váha kritéria	Kritérium	Váha kritéria
T1	0,098	T5	0,093	T9	0,077
T2	0,071	T6	0,077	E1	0,093
T3	0,082	T7	0,098	E2	0,071
T4	0,087	T8	0,071	E3	0,082

Nakonec lze provést bazické srovnání jednotlivých variant. Výstupem tohoto srovnání je relativní technická úroveň jednotlivých variant a jejich pořadí. U každé z variant je nutné pro každé kritérium stanovit tzv. index změny  $I_{ij}$  vzhledem k základní hodnotě kritéria  $H_{j0}$ .

Pro maximalizační kritéria platí:

$$I_{ij} = \frac{H_{ij}}{H_{j0}} \quad (2)$$

Pro minimalizační kritéria platí:

$$I_{ij} = \frac{H_{j0}}{H_{ij}} \quad (3)$$

$H_{j0}$  – základní (bazická) hodnota  $i$ -tého kritéria;

$H_{ij}$  – hodnota  $i$ -tého kritéria  $j$ -té varianty

Dále lze spočítat vážené indexy:

$$B_{ij} = I_{ij} \cdot g_i \quad (4)$$

$g_i$  – váha  $i$ -tého kritéria;

Pomocí sumy vážených indexů je možné určit relativní technickou úroveň. Podle relativní technické úrovně se následně stanoví pořadí jednotlivých variant. Technickou úroveň je možné také vyjádřit procentuálně. Variantě s nejnižší technickou úrovní se udělí 100 % a ostatní varianty budou mít vyšší procentuální zisk.

Suma vážených indexů  $j$ -té varianty:

$$B_j = \sum_{i=1}^n B_{ij} \quad (5)$$



## 4.2.4 Výpočet pořadí variant

Pro minimalizační kritérium  $T_1$  jsou dle Tab. 3 hodnoty variant následující:

$$H_{T11} = 250; H_{T12} = 100; H_{T13} = 150$$

Bazická hodnota je tedy  $H_{T12}$  a indexy změny parametru lze spočítat jako:

$$I_{T11} = \frac{H_{T12}}{H_{T11}} = \frac{100}{250} = 0,4 \quad (6)$$

$$I_{T12} = \frac{H_{T12}}{H_{T12}} = \frac{100}{100} = 1 \quad (7)$$

$$I_{T13} = \frac{H_{T12}}{H_{T13}} = \frac{100}{150} = 0,7 \quad (8)$$

Vážené indexy s váhou dle Bodovací metody:

$$B_{T11} = I_{T11} \cdot v_{T1} = 0,4 \cdot 0,098 = 0,039 \quad (9)$$

$$B_{T12} = I_{T12} \cdot v_{T1} = 1 \cdot 0,098 = 0,098 \quad (10)$$

$$B_{T13} = I_{T13} \cdot v_{T1} = 0,7 \cdot 0,098 = 0,066 \quad (11)$$

Dalším krokem je výpočet vážených indexů pro všechna kritéria a jejich následná sumace. Pomocí ní je možná stanovit relativní technickou úroveň jednotlivých variant a jejich výsledné pořadí. Pro vyhodnocení technických kritérií s váhami dle Bodovací metody jsou sumy vážených indexů variant  $B_{Ti}$  následující:

$$B_{T1} = 0,929 \quad (12)$$

$$B_{T2} = 1,087 \quad (13)$$

$$B_{T3} = 0,916 \quad (14)$$

Relativní technická úroveň  $B_{Tx_i}$  je tedy:

$$B_{Tx1} = \frac{B_{T1}}{B_{T3}} \cdot 100 = \frac{0,929}{0,916} \cdot 100 = 101 \quad (15)$$

$$B_{Tx2} = \frac{B_{T2}}{B_{T3}} \cdot 100 = \frac{1,087}{0,916} \cdot 100 = 119 \quad (16)$$

$$B_{Tx3} = \frac{B_{T3}}{B_{T3}} \cdot 100 = \frac{0,916}{0,916} \cdot 100 = 100 \quad (17)$$

## 4.2.5 Souhrn relativních technických a ekonomických úrovní

Výsledné relativní úrovně jednotlivých variant jsou shrnuty v tab. 6.

Tab. 6 Souhrn relativních úrovní

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Relativní technická úroveň $B_{txi}$ [%]	101	119	100
Relativní ekonomická úroveň $B_{exi}$ [%]	302	265	100

## 4.2.6 Vyhodnocení pořadí variant

Podle zmíněných metod byly stanoveny technické a ekonomické úrovně jednotlivých variant. Protože jsou technická kritéria a ekonomická kritéria hodnocena samostatně, bylo výsledné pořadí vyhodnoceno vícero způsoby:

- vyhodnocení výhradně na základě technických kritérií
- vyhodnocení výhradně na základě ekonomických kritérií
- vyhodnocení na základě technických a ekonomických kritérií v poměru 70–30 %

Výsledná pořadí jsou shrnuta v tab. 7.

Tab. 7 Výsledné pořadí variant

Způsob hodnocení	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Výhradně na základě technických kritérií	2	1	3
Výhradně na základě ekonomických kritérií	1	2	3
Na základě technických a ekonomických kritérií v poměru 70–30 %	2	1	3

Dle výsledků zvolené multikriteriální analýzy je ve dvou ze tří způsobů hodnocení nejvhodnější varianta 2. Tato varianta je tedy zvolena a v dalších kapitolách bude detailně rozpracována.

## 5 DETAILNÍ ROZBOR VÝSLEDNÉ VARIANTY

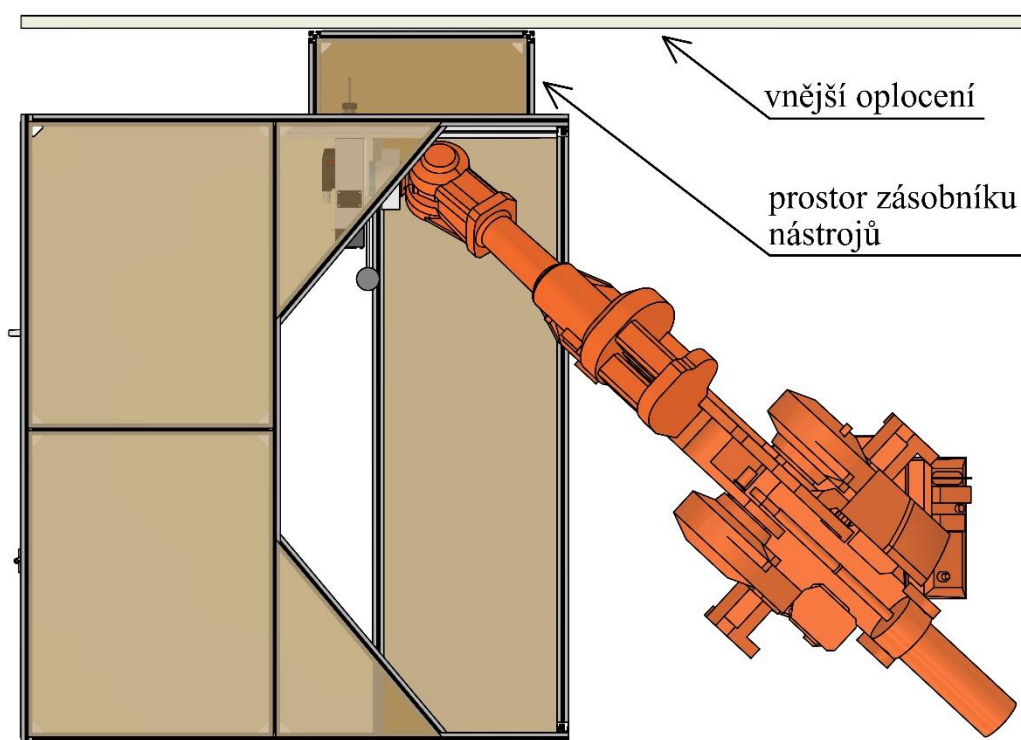
V této kapitole bude detailně rozebrána zvolená varianta. Nejprve bude popsána samotná mechanická konstrukce. Následně bude mechanická konstrukce doplněna o potřebné prvky pneumatiky a senzory.

### 5.1 Mechanická konstrukce výměnné stanice

Zvolená varianta stanice pro automatickou výměnu nástroje se skládá jak z prvků, které jsou volně prodejné tak ze součástí speciálně navržených. Při návrhu konstrukce bylo cílem omezit množství vlastních součástí a co nejvíce využívat volně dostupné konstrukční prvky. Tento způsob řešení snižuje finanční náročnost stanice a usnadňuje servis a výměnu komponent.

#### 5.1.1 Poloha zásobníku nástrojů

Poloha stanice je stanovena ve společných znacích jednotlivých variant na začátku předchozí kapitoly. Poloha zásobníku nástrojů v případě zvolené varianty je taková, že převážná část stanice je umístěna mimo pracovní prostor robotu. Zásobník je tedy umístěn v prostoru mezi rámovou konstrukcí obráběcí buňky a ochranným oplocením celého pracoviště, viz obr. 25.

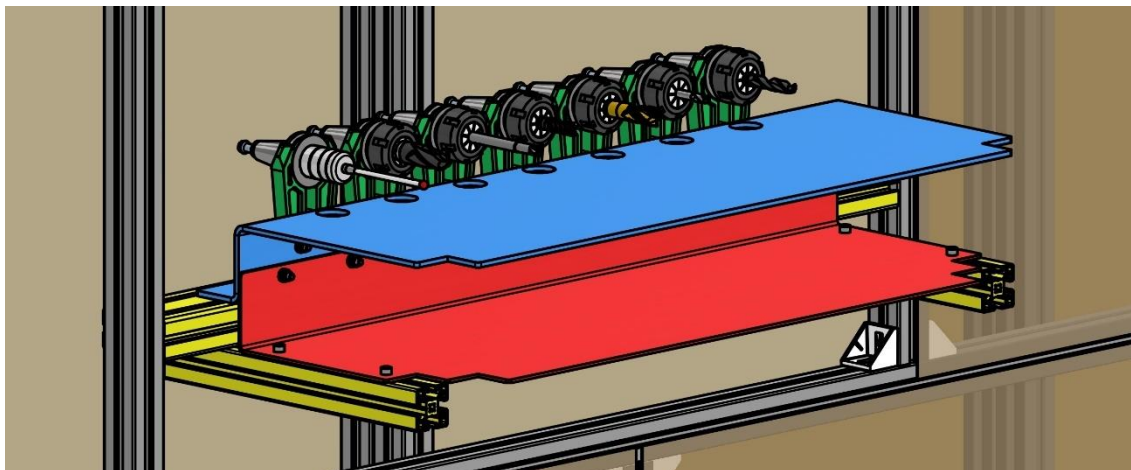


Obr. 25 Umístění prostoru zásobníku nástrojů z pohledu z vrchu

#### 5.1.2 Uchycení odkládacích držáků

Ve zvolené variantě stanice je použito 7 odkládacích držáků s roztečí 90 mm. Prostor zásobníku umožňuje odložení nástroje o délce až 240 mm od čela matice držáku nástroje až po konec nástroje. Pozice odkládacích držáků je zvolená tak, že osa nástrojů je vodorovná. Množství pozic pro nástroje a délka nástroje, kterou je možné odložit, by měly obsáhnout většinu operací obrábění pomocí průmyslového robotu.

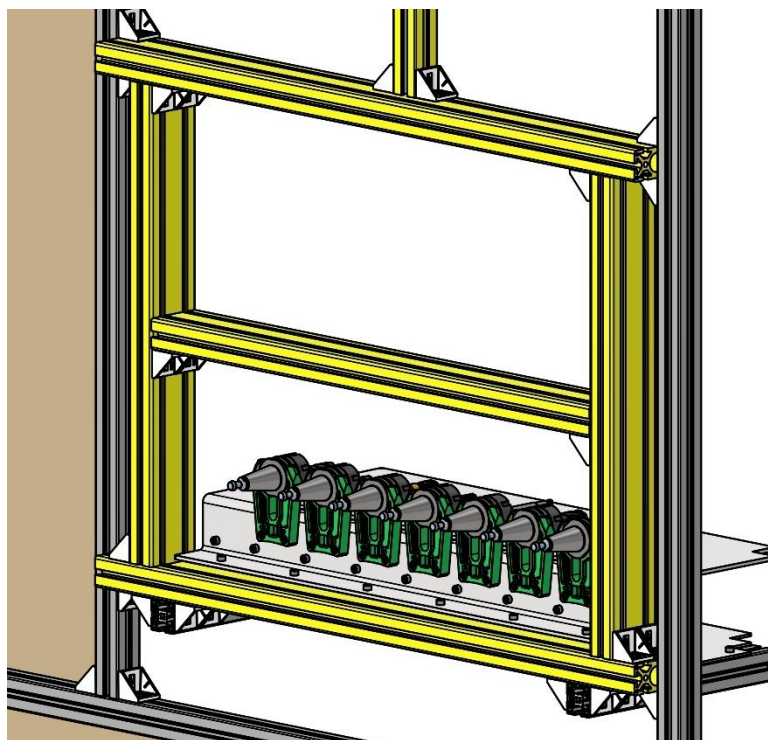
Všechny držáky jsou pomocí šroubů a pojistných matic pevně spojeny s horní ohýbanou ocelovou deskou, viz obr. 26. Přesnou polohu držáků zajišťují ocelové kolíky mezi držáky a deskou. Deska je spojena s rámem buňky pomocí šroubů a matic pro T-drážky. Pro dosažení vhodné pozice je původní rám buňky doplněn o vodorovný sloupek. Pro vytvoření prostoru pro snímače, kabeláž a zvýšení celkové pevnosti stanice byla konstrukce doplněna o spodní ohýbanou desku.



Obr. 26 Uchycení odkládacích držáků nástrojů.

### 5.1.3 Rám přední části stanice

Přední část stanice je stejně jako samotný rám buňky tvořena z profilových tyčí, viz obr. 27. Samotný vstupní otvor do prostoru zásobníku je z konstrukčních důvodů realizován pomocí zdvojených profilů 40x80 mm. Spojení tvarových profilů bylo vyřešeno pomocí úhlových spojek a šroubového spoje s maticemi pro T-drážky.



Obr. 27 Profilová konstrukce pro pohyblivý kryt

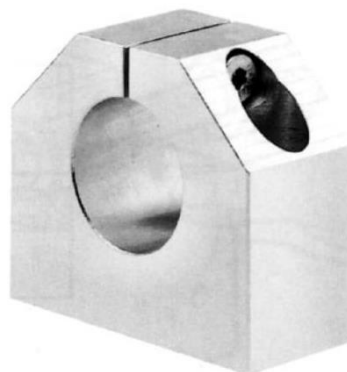
### 5.1.4 Pohyblivý kryt přední části stanice

Kromě konstrukce samotného krytu je nutné přední rám stanice doplnit o lineární vedení. To zajistí správnou polohu pohyblivého krytu a přesnost jeho pohybu. Z důvodu zajištění správné funkce vedení při montáži na rámovou konstrukci buňky, bylo zvoleno kruhové lineární vedení o průměru 20 mm, viz obr. 28.

Zvolený tvar lineárního vedení zajišťuje dostatečnou přesnost pohybu a neklade takové nároky na přesnost montáže jako jiné tvary vedení. Zvolené vodící tyče budou k rámu buňky připevněny pomocí tvarových držáků, viz obr. 29.

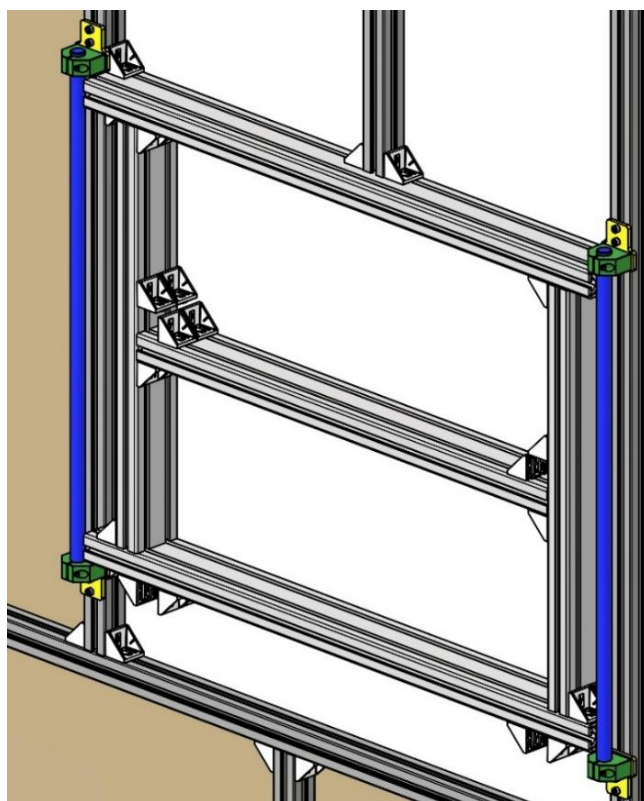


Obr. 28 Kalené vodící tyče [24]



Obr. 29 Držák vodících tyčí [25]

Lineární vedení bude umístěno na profilových tyčích rámu obráběcí buňky. Orientace vodících tyčí zajistí přesné vedení pohybu ve svislém směru, viz obr. 30. Kromě samotných držáků vodících tyčí je nutné konstrukci doplnit o vlastní plechové díly, které umožní spojení profilových tyčí rámu a držáků vedení.

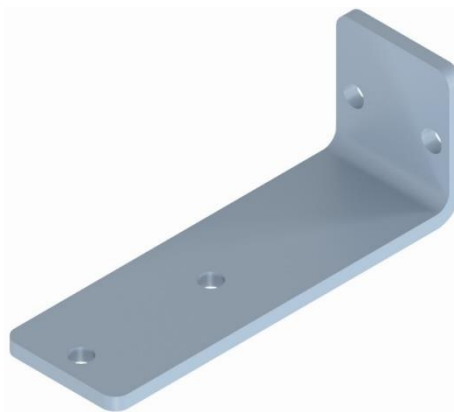


Obr. 30 Kruhové lineární vedení

Aby bylo uložení pohyblivého krytu kompletní, bude lineární vedení doplněné celkem o čtyři valivé vozíky, viz obr. 31. Vozíky budou s pohyblivým krytem spojeny pomocí ohýbaných ocelových úhlových konzol vlastní konstrukce, viz obr. 32. Zvolené valivé vozíky jsou opatřeny těsněním v obou směrech, které by mělo zabránit vniknutí nečistot. Pokud by se v reálném provozu zvolené řešení ukázalo jako nedostatečné, tak by bylo nutné opatřit lineární vedení ochranným měchem.

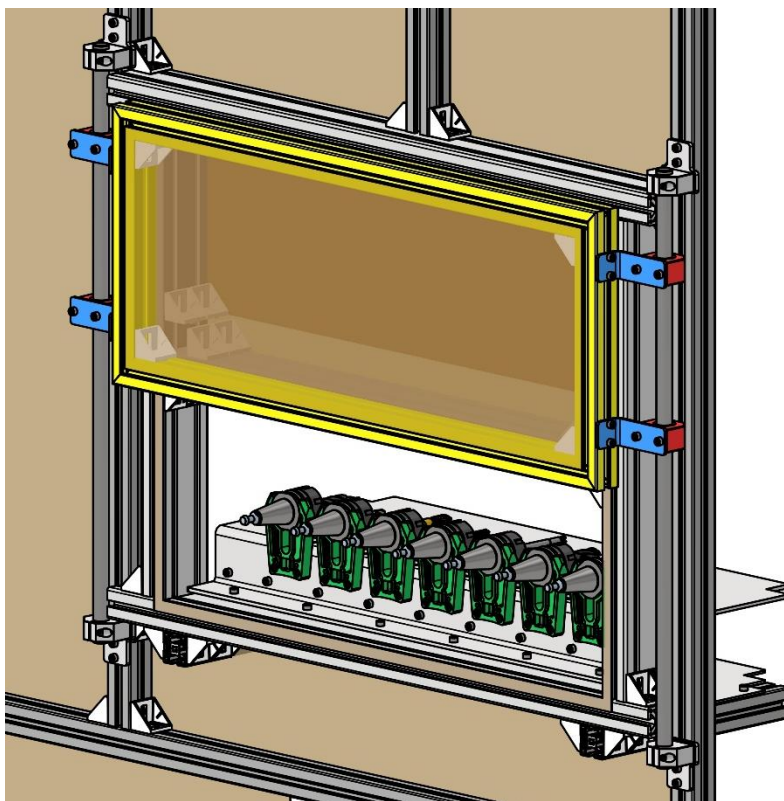


Obr. 31 Valivý vozík [22]



Obr. 32 Úhlová konzola vlastní konstrukce

Nosný rám pohyblivého krytu bude stejně jako ostatní části stanice tvořen z profilových tyčí. Pro uzavření pohyblivého krytu a krytování celé přední části stanice budou použity desky z čirého polykarbonátu, viz obr. 33. Velikost pohyblivého krytu a prostor pro výměnu nástroje je zvolen dostatečně velký, aby při výměně nástroje nedošlo ke kolizi robotu či koncového efektoru s částí stanice či samotné buňky.



Obr. 33 Pohyblivý kryt stanice



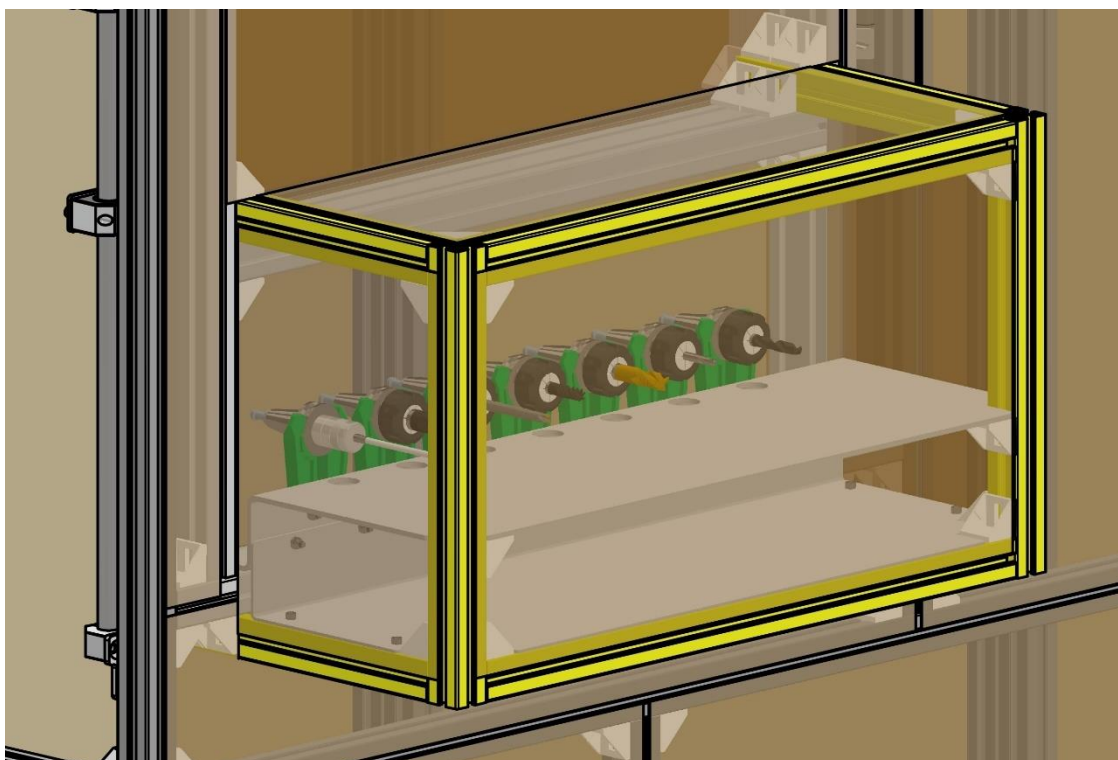
Pro utěsnění pohyblivého krytu byly zvoleny těsnící kartáčové lišty, viz obr. 34. Konstrukce těchto lišt umožňuje jejich spojení s profilovou tyčí pomocí nasunutí do tvarové drážky bez dalších nutných spojů. Funkčnost těsnících lišt pro danou aplikaci obráběcí buňky by bylo nutné otestovat.



Obr. 34 Těsnící kartáčové lišty [23]

### 5.1.5 Rám zadní části stanice

Rám zadní části stanice uzavírá prostor pro odkládání nástrojů. Stejně jako přední rám je i zadní rám tvořen z profilových tyčí. Doplnění rámu o kryty vytváří oddělené prostory pro nástroje a pro kabeláž, viz obr. 35.



Obr. 35 Zadní rám stanice

## 5.2 Pneumatické prvky výměnné stanice

V této kapitole budou zvoleny pneumatické prvky nutné pro automatický chod výměnné stanice.

### 5.2.1 Volba pohonu pohyblivého krytu

Pro realizaci pohybu krytu při automatické výměně byl zvolen pohon pomocí pneumatického válce. Důvodem volby pneumatického válce jsou nízké vstupní náklady, snadné řízení a jednoduchá regulace.

#### Stanovení minimální potřebné síly pohonu

Pro stanovení potřebné síly je nutné určit hmotnost pohyblivého krytu. V tomto případě je hmotnost stanovena z modelu krytu v CAD programu. Teoretickou hodnotu potřebné minimální síly je nutné navýšit o ztráty v pneumatickém válci. Dle doporučení je účinnost pneumatického válce zvolena 70 %. [24]

$$F_{Vmin} = m_k \cdot g \cdot \frac{1}{\eta_v} = 5,7 \cdot 9,81 \cdot \frac{1}{0,7} = \mathbf{80\ N} \quad (18)$$

#### Volba pneumatického pohonu

Mezi další limitující faktory patří kromě průměru pístu i požadovaný zdvih, který v tomto případě činí 300 mm. Jelikož je navrhované umístění pneumatického válce nad pohyblivým krytem, je vhodné z důvodu bezpečnosti volit pneumatický válec s brzdou. Zabudovaná brzda zabrání nebezpečnému pádu krytu v případě výpadku stlačeného vzduchu.

Při volbě pneumatického pístu se také nabízí použití pístu s možností snímání koncových poloh. Po uvážení všech zmíněných aspektů byl zvolen pneumatický válec řady DSBC-C výrobce Festo, který je dostupný v minimálním průměru pístu 32 mm. Pro tento průměr bude stanovena síla válce při odečtení plochy průřezu pístnice, a to při tlaku 5 bar.

$$F_{V32} = \eta_v \cdot \frac{p \cdot \pi}{4} \cdot (D_V^2 - d_V^2) = 0,7 \cdot \frac{5 \cdot 10^5 \cdot \pi}{4} \cdot (0,032^2 - 0,012^2) = \mathbf{242\ N} \quad (19)$$

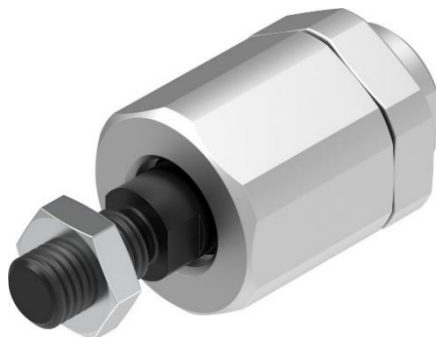
Vypočtená hodnota síly pístu je dostatečná i při uvážení odporu ve vedení a kartáčovém těsnění. Pro pohon pohyblivého krytu byl tedy zvolen válec DSBC-32-300-CD3-PPSA, viz obr. 36



Obr. 36 Válec dle norem s vložkou brzdy DSBC-C Festo [25]



Závitový konec pístnice bude vybaven pružnou spojkou s označením FK-M10x1,25 výrobce Festo, viz obr 37. Pružná spojka umožňuje kompenzaci nepřesností výroby a montáže rámu výměnné stanice a pneumatického pístu. Tím usnadňuje samotnou montáž a zamezí snížení životnosti pneumatického pístu, k čemuž by mohlo dojít v případě používání pístu při jeho nepřesné montáži.

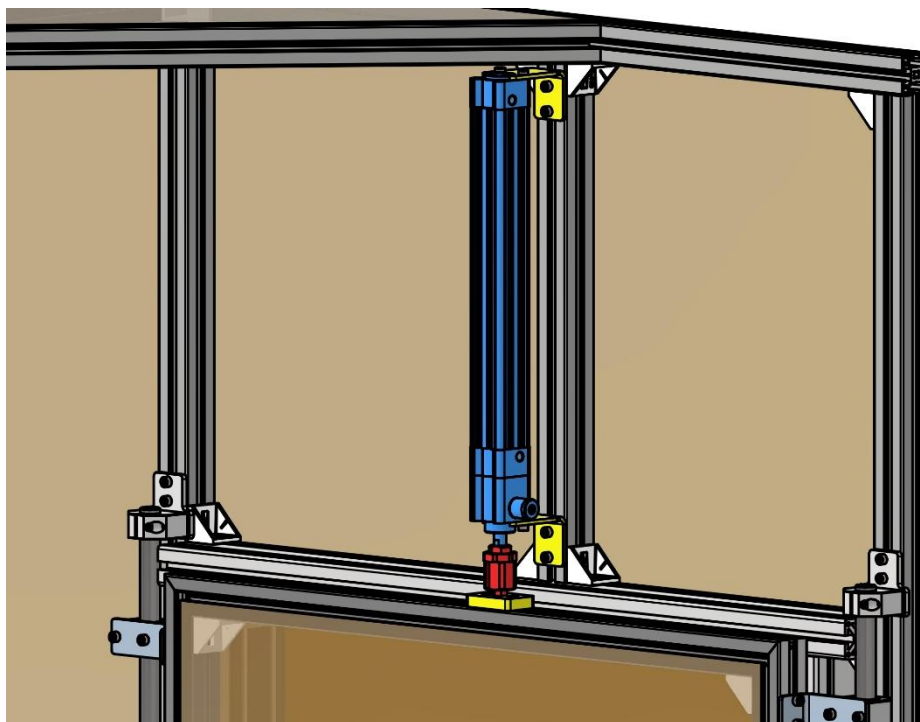


Obr. 37 Pružná spojka FK výrobce Festo [26]

### Zabudování pneumatického pohonu

Jak již bylo zmíněno, tak zvolený pneumatický válec bude umístěn uvnitř samotné obráběcí buňky v prostoru nad pohyblivým krytem výměnné stanice, viz obr. 38. Pro jeho připevnění k rámu stanice je nutné rám doplnit o svislý sloupek, který zároveň zvýší tuhost celé stanice. K sloupku bude píst připevněn pomocí ohýbaných ocelových držáků vlastní konstrukce a šroubových spojů.

Spojení pístnice s pružnou spojkou a pohyblivým krytem bude taktéž realizováno pomocí vlastního dílu, kterým bude ocelový výpalek tloušťky 12 mm. Navržený výpalek bude spojen s pohyblivým krytem pomocí šroubového spoje s maticemi pro T-drážky.

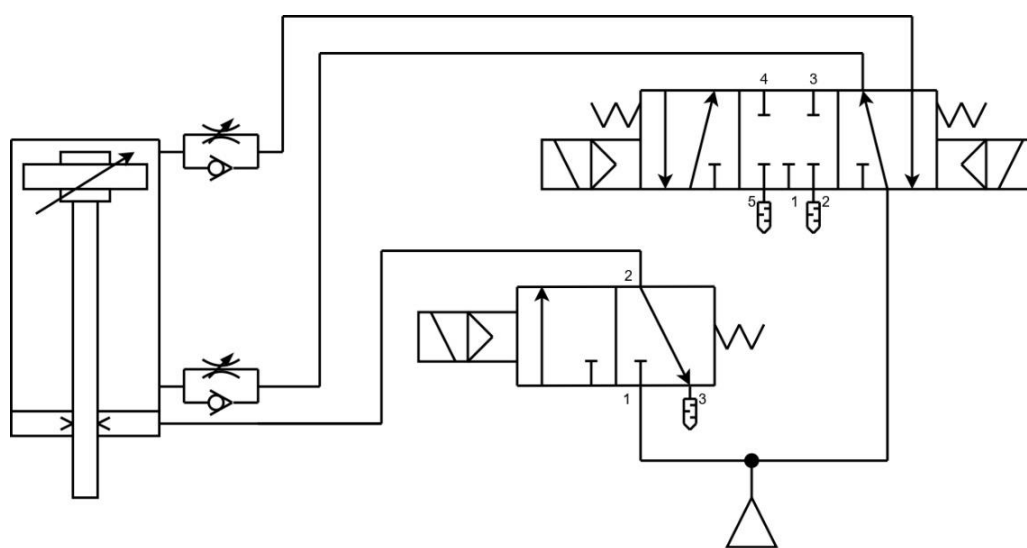


Obr. 38 Zabudování pneumatického pístu

## 5.2.2 Řízení a řídicí prvky pneumatického pohonu

Před samotnou volbou řídicích a spojovacích prvků je nutné mít kompletně navržené řízení řešeného systému. V rámci řízení zvoleného pneumatického válce je nutné zajistit nejen pohyb pístnice, ale zároveň uvolňování a spínání mechanické brzdy válce. Pro řízení pohybu pístnice je třeba přivést stlačený vzduch do jednoho ze dvou vstupů v těle válce. Volba vstupu závisí na požadovaném směru pohybu pístnice. Zároveň je nutné zajistit to, že při přívodu stlačeného vzduchu do jednoho vstupu, bude druhý vstup odvětráván.

Pro řízení zabudované brzdy je nutné přivést stlačený vzduch na vstup brzdy. Přivedením stlačeného vzduchu dojde k uvolnění brzdy a umožnění pohybu pístnice válce. Sepnutí brzdy je naopak provedeno odvětráním vstupu brzdy. Odvětráním dojde ke snížení tlaku ve větvi a sepnutí zabudovaného brzdného mechanismu. Schéma navrženého řízení zvoleného válce je znázorněno na obr. 39.



Obr. 39 Schéma řízení pneumatického pohonu

Vzhledem k počtu řízených vstupů válce bude obvod vybaven dvěma šoupátkovými ventily. Pro řízení pohybu pístnice válce je zvolen elektromagnetický 5/3 ventil, ve střední poloze uzavřený pružinou, s označením VUVS-L25-P53C-MZD-G14-F8-1B2, viz obr. 40. Pro řízení brzdy válce je zvolen elektromagnetický monostabilní 3/2 ventil, v klidové poloze otevřen, s označením VUVS-L25-M32U-MZD-G14-F8-1B2, viz obr. 41.



Obr. 40 Elektromagnetický 5/3 ventil [27]



Obr. 41 Elektromagnetický 3/2 ventil [28]

Hlavním bezpečnostním prvkem při řízení pohyblivého krytu je brzda zabudovaná ve zvoleném pneumatickém válci. Právě zvolený 3/2 ventil umožňuje sepnutí brzdy jak v případě poškození napájení ventilu, tak pro případ výpadku dodávky stlačeného vzduchu. Tím je zajištěna bezpečnost proti nebezpečnému pádu pohyblivého krytu v důsledku zmíněných závad.

Zvolený 5/3 ventil kromě samotného řízení směru vzduchu, a tedy i směru pístnice válce částečně zastává i bezpečnostní funkci. V případě přerušení napájecího kabelu ventilu přesune zabudovaná pružina ventil do střední polohy čímž uzavře všechny vstupy. Tím zamezí rychlému odvětrání válce a pádu pohyblivého krytu.

## Přípojky

Pro připojení stlačeného vzduchu na vstupy válce nad a pod píst jsou zvoleny jednosměrné škrťací ventily s označením GRLA-1/8-QS-8-D, viz obr. 42. Použití škrťacích ventilů umožní regulaci rychlosti pohybu krytu, a to v obou směrech nezávisle. V případě selhání již zmíněných bezpečnostních prvků zajistí škrťací ventily připojené přímo na válec snížení rychlosti při sjetí krytu do dolní polohy.

Pro připojení vstupů a výstupů šoupátkových ventilů budou použity šroubení s nástrčnou koncovkou QS-G1/4-8, viz obr. 43. Přívod vzduchu do brzdy válce bude z důvodu jiného připojovacího závitu osazen šroubení s nástrčnou koncovkou QS-G1/8-8. Zvolené šroubení jsou již vybaveny samostatným těsněním. Spoje tedy není nutné dodatečně zatěšňovat.



Obr. 42 Jednosměrný škrťací ventil [29]



Obr. 43 Šroubení s nástrčnou koncovkou [30]

Všechny výfuky šoupátkových ventilů budou z důvodu snížení hluku osazeny polymerovými tlumiči hluku U-1/4, viz obr. 44. Pro filtraci a regulaci tlaku stlačeného vzduchu bude využita jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu, která je již součástí pracoviště. Není tedy nutné vybavit obráběcí buňky vlastní jednotkou.



Obr. 44 Tlumič hluku [31]

## 5.3 Senzorika stanice

Aby byla možné automatizovat celý proces výměny nástroje a zajistit jeho bezpečnost, je nutné vybavit výměnnou stanicí potřebnou sensorikou.

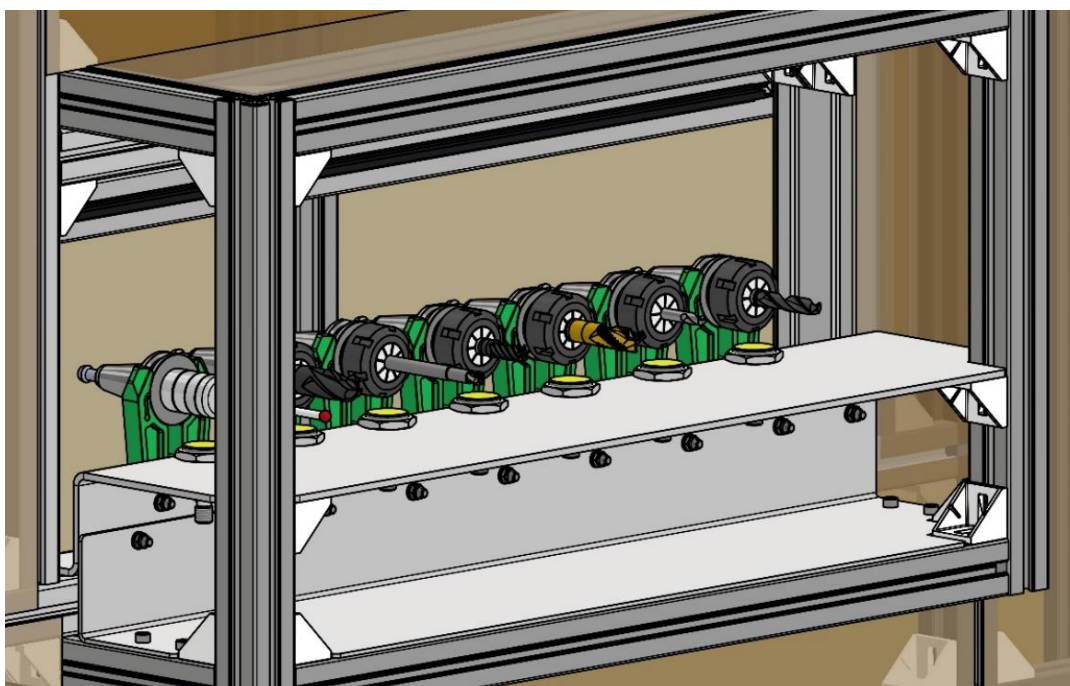
### 5.3.1 Snímání přítomnosti nástroje v držáku

Pro snímání přítomnosti nástroje ve zvoleném držáku byl vybrán bezkontaktní indukční snímač s označením ICB30S35F22PCM1 výrobce Carlo Gavazzi, viz obr. 45. Zvolený snímač se zapuštěným typem čela a rozsahem snímané vzdálenosti 0–22 mm umožňuje připojení pomocí šroubového konektoru M12. Rozsah snímače dovoluje snímání upínačů vícero velikostí bez nutnosti změny polohy snímače.



Obr. 45 Zvolený snímač s montážními maticemi [32]

Snímač bude pomocí přibalených matic připevněn k hornímu plechovému dílu, viz obr. 46. Každému ze sedmi odkládacích držáků bude přidělen daný snímač. Konstrukční řešení odděluje konektory snímačů od prostoru, ve kterém dochází k manipulaci s nástroji. Zároveň jsou tímto konektory a další části kabeláže chráněny proti prachovým nečistotám

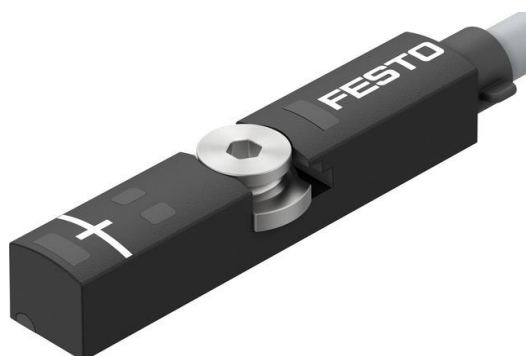


Obr. 46 Bezkontaktní snímače přítomnosti nástroje

### 5.3.2 Snímání koncové polohy pohyblivého krytu

Snímání koncové polohy krytu je nutné v první řadě z toho důvodu, aby výměna nástroje probíhala až poté, kdy je pohyblivý kryt v horní poloze. Snímáním polohy krytu v horní poloze se zamezí především kolizi koncového efektoru robotu s pohyblivým krytem. Naopak pokračovat v obrábění je žádoucí až ve chvíli, kdy je pohyblivý kryt opět ve spodní poloze.

Po zvážení všech aspektů vybraného konstrukčního řešení pohyblivého krytu bylo zvoleno nepřímé snímání polohy krytu pomocí snímání pístitnice zvoleného válce. Pro snímání byly zvoleny bezkontaktní přibližovací snímače SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M12, viz obr. 47, se šroubovaným konektorem se závitem M12. Zvolené snímače jsou tvarově uzpůsobeny pro montáž do drážek v těle válce, viz obr. 48.



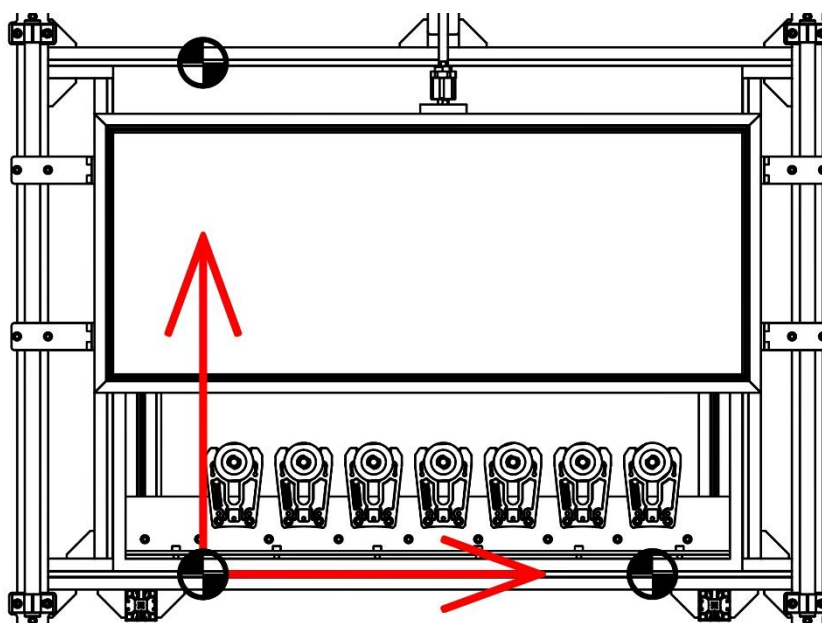
Obr. 47 Přibližovací snímač Festo [33]



Obr. 48 Montáž snímače do těla válce

### 5.4 Ergonomie výměnné stanice pro robot

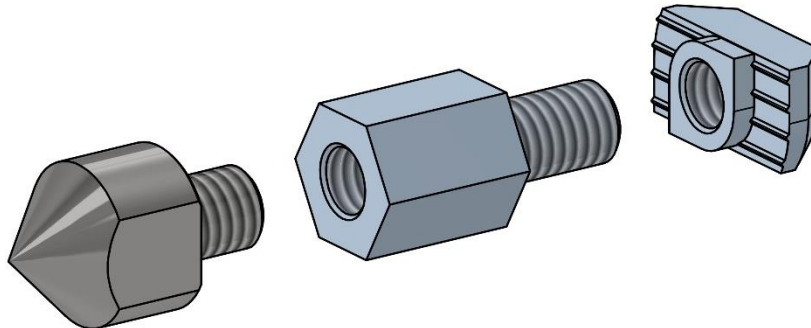
Výměnná stanice bude doplněna o možnost zaměření polohy báze souřadného systému při reálném provozování. Nejsnazší a v tomto případě dostačující je použití najížděcích hrotů. Najížděcí hroty umožní jednoduché určení báze souřadného systému pomocí napolohování hrotu na stanici a ve vřetení robotu. Najížděcí hroty budou umístěny na rámu přední části výměnné stanice, viz obr. 49



Obr. 49 Umístění najížděcích hrotů na výměnné stanici

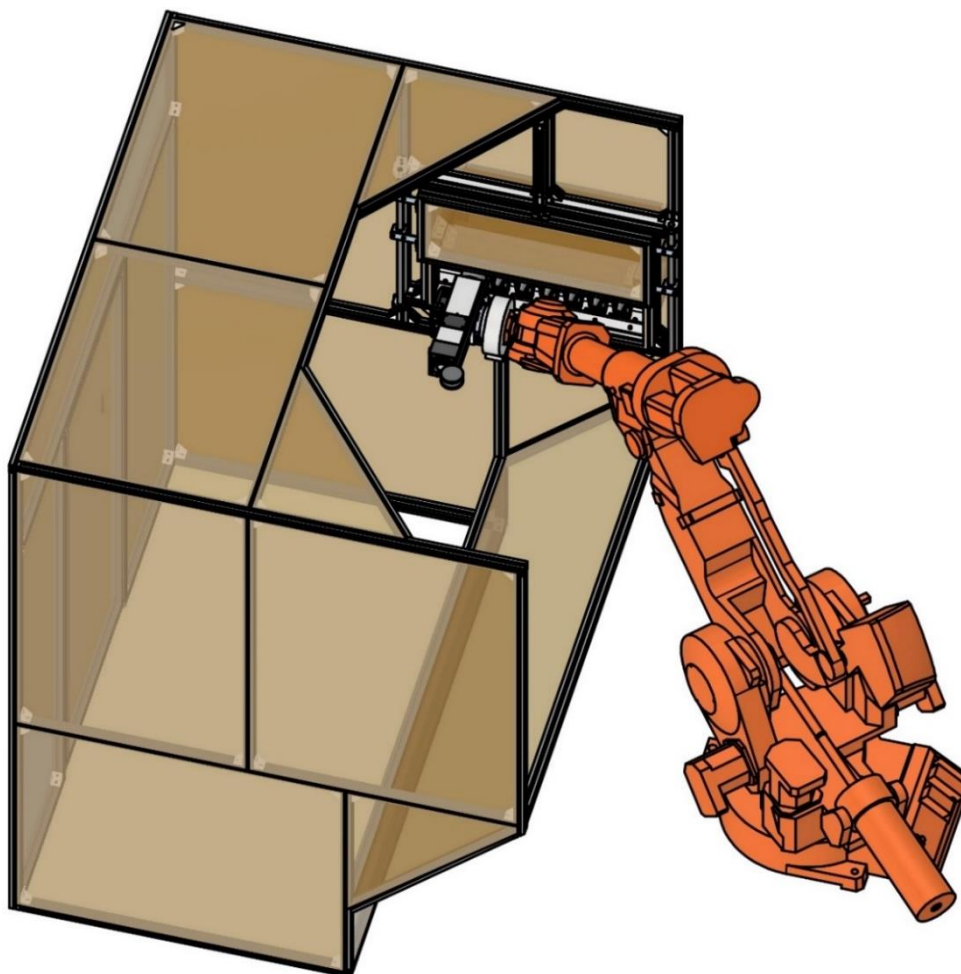


Aby bylo možné kdykoliv zaměřit bázi a aby zároveň při užívání nevzniklo riziko poranění o ostré hroty, bude se sestava hrotů skládat ze tří samostatných částí, viz obr. 50. K uchycení k rámu budou sloužit matice pro T-drážky a distanční sloupky. Jejich spojením bude zajištěna poloha hrotů na rámu. V případě zaměření báze bude možné kdykoliv k distančním sloupkům připojit a následně odpojit najížděcí hroty vlastní konstrukce.



Obr. 50 Sestava najížděcích hrotů na výměnné stanici

Z hlediska ergonomie pro užívaný robot je stanice a její poloha navržena tak, že během procesu výměny by nemělo docházet ke kolizím robotu či nežádoucím stavům. Mezi nežádoucí stavy, ke kterým by nemělo docházet patří především singulární polohy robotu, nedostatečný dosah či chyby konfigurace. Ergonomie výměnné stanice vůči robotu je znázorněna na obr. 51.



Obr. 51 Ergonomie výměnné stanice pro robot

## 5.5 Periferie automatické výměny

Vzhledem k charakteru obráběných materiálů a požadavkům ústavu bude samotná výměnná stanice doplněna o koncepční návrh periferie automatické výměny. V tomto případě se bude jednat o stanici pro očištění prachových nečistot z povrchu použité nástrojové jednotky před procesem automatické výměny.

### 5.5.1 Požadavky na čisticí stanici

Důvodem pro odstranění prachových nečistot je především předcházení kontaminace zásobníku nástrojů a nástrojů samotných při automatické výměně. Prachové nečistoty, které by mohly ulpět na funkčních plochách držáků nástrojů, mohou vést k nepřesnostem při upnutí nástroje a samotném obrábění.

Čisticí stanice by měla zajistit odstranění prachových nečistot z povrchu nástrojové jednotky upnuté ve vřetení a z povrchu vřetene v blízkosti nástrojové jednotky. Současně by měla zajistit dopravení odstraněných nečistot mimo pracovní prostor obráběcí buňky. Kromě samotného kontaktního či bezkontaktního odstranění nečistot by stanice měla řešit možné elektrostatické vlastnosti prachových nečistot.

Samožřejmostí je automatizovaný provoz stanice, její bezpečnost a ergonomie pro průmyslový robot. Řešení by mělo zároveň minimalizovat kontaminaci okolí obráběcí buňky a co nejméně omezit pracovní prostor robotu.

### Ionizace vzduchu

Samotný koncept čištění bude realizován pomocí ofuku nečistot stlačeným vzduchem. Aby byl ofuk co nejefektivnější a mohly být odstraněny i staticky nabitě nečistoty, bude pro ofuk použit ionizovaný vzduch. Po konzultaci ve firmě SMC, která má ve svém portfoliu průmyslová zařízení pro ionizaci vzduchu, byla pro danou problematiku zvolena ionizační tryska s označením IZN10E, viz obr. 52.

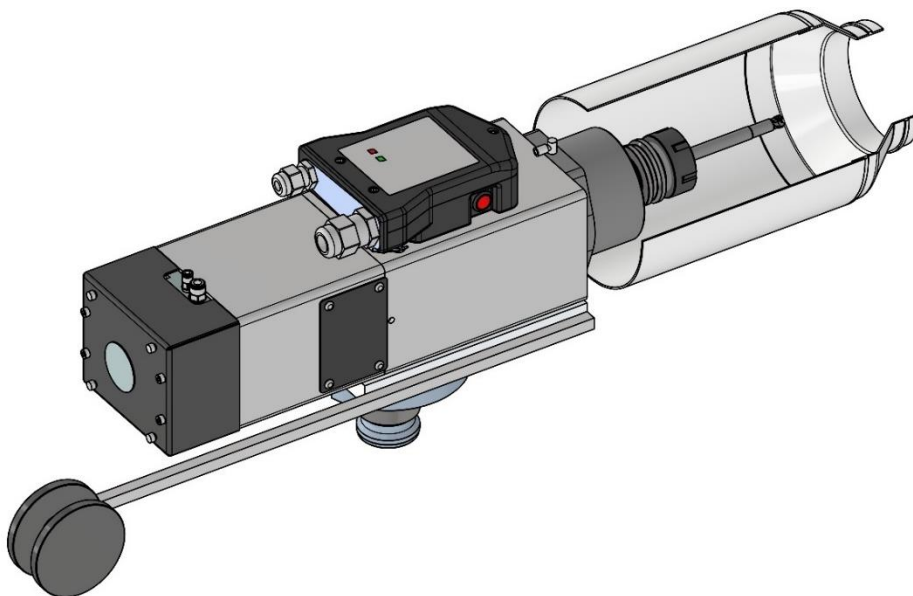
Zvolená varianta trysky umožňuje přivedení stlačeného vzduchu do těla trysky přes rychloupínací ventil. V těle trysky dojde s pomocí vysokého napětí k ionizaci vzduchu. Takto upravený vzduch lze následně z trysky dopravit na místo určení připojením na závitový výstup v těle trysky.



Obr. 52 Ionizační tryska SMC IZN10E [34]

## 5.5.2 Mechanická konstrukce čistící stanice

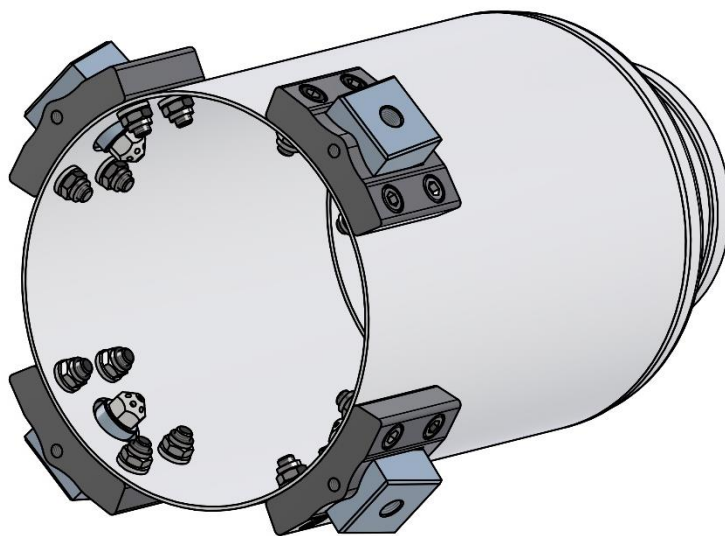
Aby bylo možné zajistit dopravení nečistot mimo prostor buňky, je základem stanice segment PVC potrubí o světlosti 150 mm. Jeden konec potrubí bude sloužit pro vstup obráběcího vřetene a druhý konec lze snadno napojit na odsávání, kterým je pracoviště již vybaveno. Zvolený průměr potrubí by měl zajistit dostatečný prostor pro vstup vřetene a zároveň významně snížit účinnost odsávání. Uspořádání vřetene a těla stanice, které je znázorněno v řezu, je zobrazeno na obr. 53.



Obr. 53 Vřeteno s tělem stanice z PVC potrubí

Tělo stanice bude opatřeno čtyřmi samostatnými segmenty, které budou složít k uchycení ofukovací trysky na tělo stanice a připojení přívodu ionizovaného vzduchu. Segmenty budou na tělu stanice umístěny s pravidelnou roztečí, viz obr. 54. Zvolené množství segmentů a jejich uspořádání by mělo zajistit dostatečné očištění vřetene a nástrojové jednotky.

Aby bylo možné segmenty k tělu stanice připojit, bude nutné jeden konec těla opatřit otvory pro šrouby a ofukovací trysky. Zároveň se připojením segmentů zpevní samotná přední část stanice.

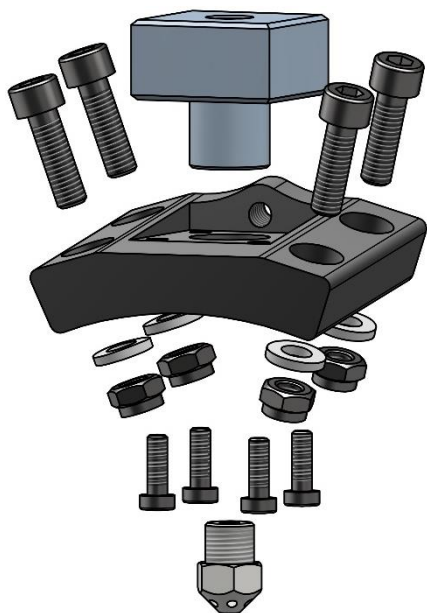


Obr. 54 Tělo stanice se segmenty pro ofukování

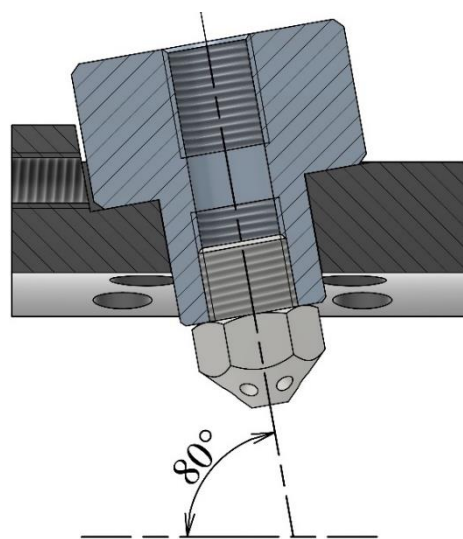


Všechny segmenty se skládají z několika dílů, viz obr 55. Připojení k tělu stanice zajišťuje tištěný polymerový díl a šroubové spoje. Tvar dílů je navržen tak, že plochou dotyku přesně kopíruje vnější válcový tvar těla stanice. K tištěnému dílu je pomocí šroubů připevněna nerezová spojovací kostka vlastní konstrukce.

Kostka zajišťuje připojení ofukovací trysky na výstupu a možnost připojení ionizovaného vzduchu na vstupu. Důvodem použití vlastního dílu je podmínka vedení ionizovaného vzduchu buď v nerezovém či antistatickém vedení. Spojovací kostka je s tištěným dílem spojena takovým způsobem, že osa trysky není kolmá na osu těla stanice, viz obr. 56. Tato konstrukce by měla zajistit větší účinnost odsávání nečistot.



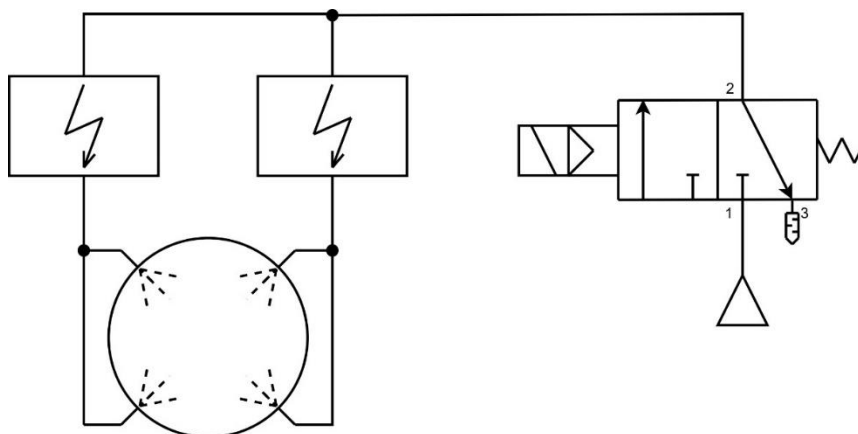
Obr. 55 Rozpad segmentu s tryskou



Obr. 56 Orientace ofukovací trysky

### 5.5.3 Pneumatické prvky čistící stanice

Celkové pneumatické schéma čistící stanice je zobrazeno na obr. 57. Pro řízení přívodu bude použit stejný 3/2 ventil jako v případě výměnné stanice. Po konzultaci ve firmě SMC bylo rozhodnuto, že stanice bude opatřena dvěma ionizačními tryskami. Z každé ionizační trysky bude následně ionizovaný vzduch přiveden do dvou ofukovacích trysek. Pro úpravu stlačeného vzduchu bude použita jednotka, která je již součástí pracoviště.



Obr. 57 Pneumatické schéma čistící stanice

Pro připojení stlačeného ionizovaného vzduchu mezi ionizační tryskou a spojovací kostkou budou použity antistatické spojky. Ionizační tryska bude opatřena přímou spojkou a spojovací kostka naopak úhlovou otočnou spojkou, viz obr 58. Pro rozdělení ionizovaného vzduchu do dvou větví budou použity antistatické U-spojky, viz obr. 59.



Obr. 58 Antistatická úhlová otočná spojka [35]

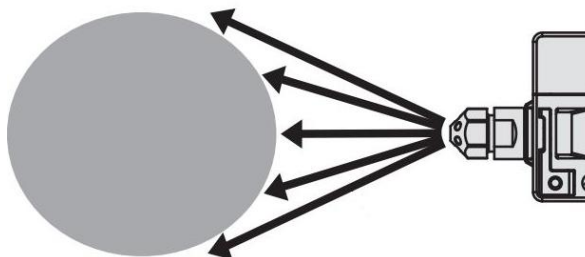


Obr. 59 Antistatická U-spojka [36]

Pro vedení ionizovaného vzduchu budou použity teflonové hadice. Pro ofuk byla zvolena kruhová ofukovací tryska IZN10-G-X198, viz obr 60. Zvolená tryska je určena přímo pro ofuk ionizovaným vzduchem. Její konstrukce zajišťuje, že výstupní proud má tvar komolého kužele, viz obr. 61. Použité antistatické spojky, prvky z nerezové oceli a teflonové hadice by měly dle výrobce minimalizovat degradaci dopravovaného ionizovaného vzduchu.



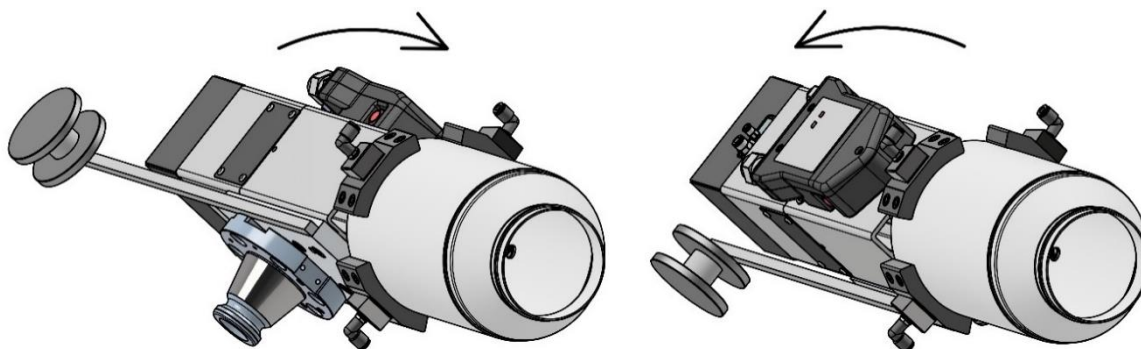
Obr. 60 Ofukovací tryska [37]



Obr. 61 Tvar proudu vzduchu z trysky [37]

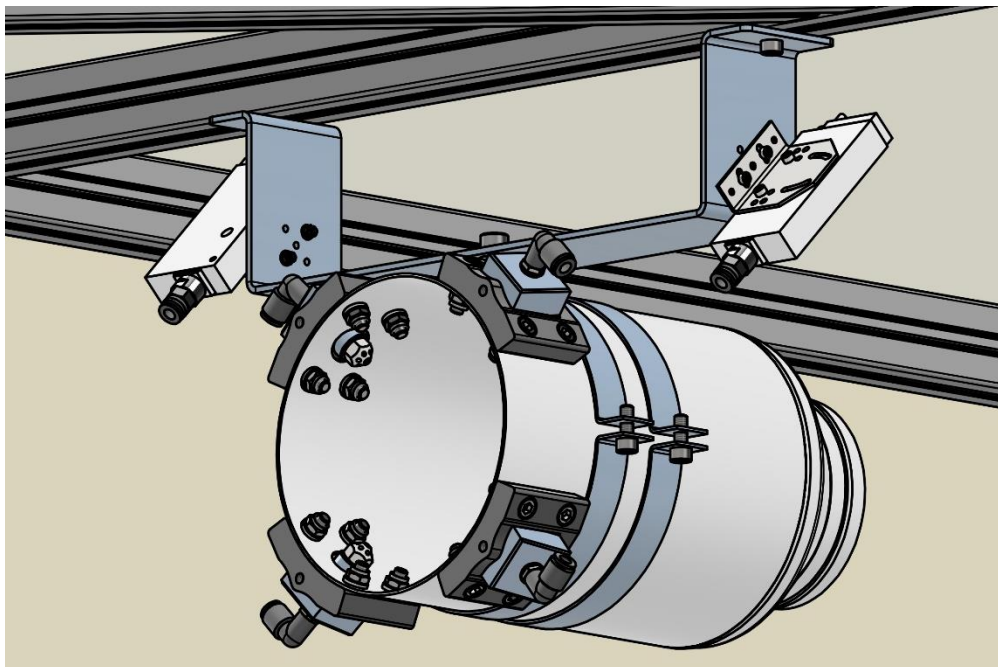
#### 5.5.4 Zabudování čistící stanice

Čistící stanici je nutné zabudovat do stávající konstrukce obráběcí buňky takovým způsobem, aby byla stanice dostupná v rámci dosahu robotu a zároveň neomezovala pracovní prostor. Umístění musí zároveň umožnit otáčení vřetene v ose těla stanice, viz obr. 62, čímž se zajistí ofuk všech požadovaných ploch.



Obr. 62 Otáčení vřetene v ose těla čistící stanice

Vzhledem k ofuku stlačeným vzduchem je nežádoucí, aby byla stanice umístěna v blízkosti otevřené stěny obráběcí buňky, která slouží pro vstup robotu. Důvodem je co nejvíce zamezit kontaminaci okolí obráběcí buňky nečistotami z obrábění. Po zvážení všech zmíněných aspektů bylo rozhodnuto, že čistící stanice bude umístěna v horní části obráběcí buňky na rámu, jež tvoří střechu buňky, viz obr. 63.



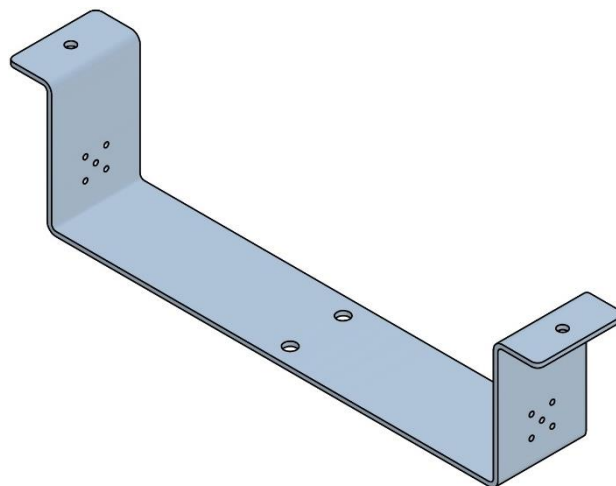
Obr. 63 Zabudování čistící stanice do obráběcí buňky

Pro uchycení stanice k rámu bude sloužit dvojice držáku pro vzduchotechnické potrubí příslušné velikosti, viz obr. 64, a ocelová ohýbaná konzole vlastní konstrukce, viz obr. 65. Vlastní ohýbaná konzole a držáky budou spojeny šroubovým spojem pomocí matic, které jsou součástí držáku. K ohýbanému dílu budou zároveň upevněny zvolené ionizační trysky.

K připevnění trysek budou sloužit upevňovací konzole, které jsou součástí balení společně s tryskami. Otvory v ohýbaném díle umožňují montáž ionizačních trysek ve více polohách. Stejně tak montáž stanice pomocí dvojice držáků umožňuje axiální korekci polohy stanice ve směru osy vřetene.



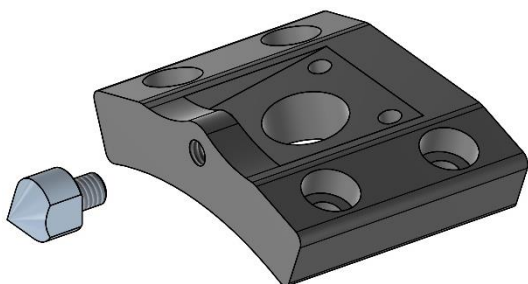
Obr. 64 Držák potrubí [38]



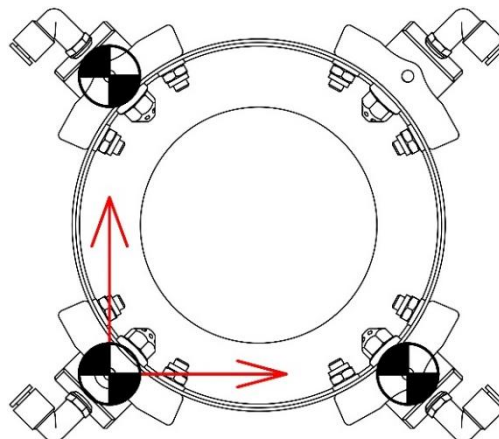
Obr. 65 Upínací konzole

### 5.5.5 Ergonomie čistící stanice pro robot

Čistící stanice má možnost montáže stejných najížděcích hrotů jako v případě výměnné stanice. U čistící stanice k tomu slouží závitové otvory na tištěném díle, viz obr 66. Pomocí hrotů lze následně při reálném zprovoznění zaměřit polohu báze, viz obr. 67.

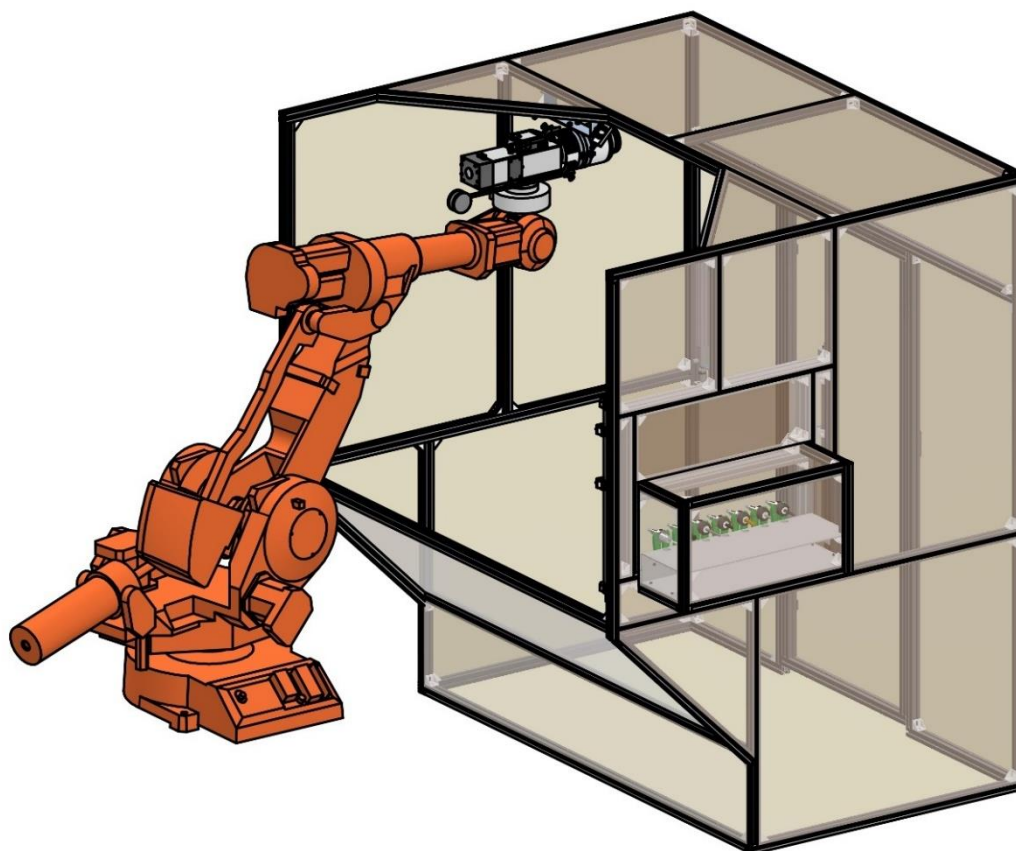


Obr. 66 Rozpad hrotu a tištěného dílu



Obr. 67 Umístění hrotů na čistící stanici

Na obr. 68 je znázorněné umístění čistící stanice včetně ergonomie pro robot. Čistící stanice je umístěna tak, aby byla v dosahu robotu a umožňovala natočení vřetene v ose těla stanice. Vzdálenosti od rámu obráběcí buňky jsou dostatečné pro to, aby při procesu čištění nedošlo ke kolizi robotu s rámem.



Obr. 68 Ergonomie čistící stanice pro robot



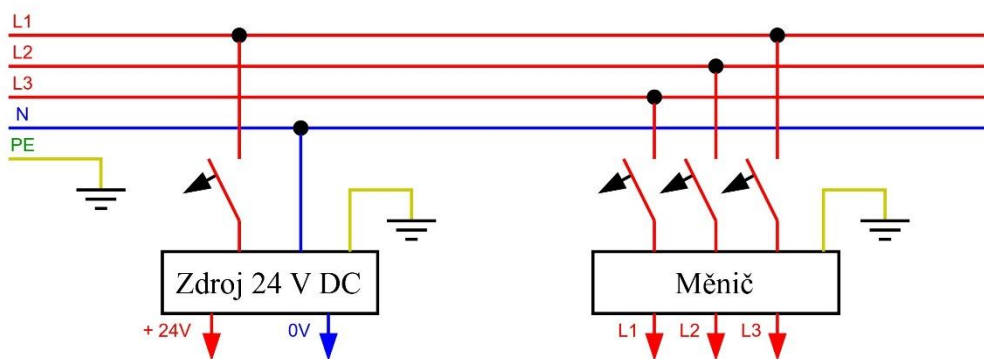
## 5.6 Návrh elektroniky

V této kapitole bude aktuální stav elektro výzbroje obráběcí buňky doplněn o návrh zapojení elektroniky automatické výměny a jejích periférií. Kromě prvků v konstrukci stanic, které byly již zmíněny v předchozích kapitolách, bude navržena i úprava v rozvaděči obráběcí buňky. Detailní schémata zapojení budou vytvořena v programu Eplan a budou součástí přílohy.

### 5.6.1 Napájení

Pro napájení je do rozvaděče obráběcí buňky přivedena třífázová soustava. Důvodem je především napájení obráběcího vřetene, pro které je rozvaděč vybaven měničem. Aktuálně užívaný měnič, který nedosahuje dostatečného výkonu a stupně bezpečnosti, bude v budoucnu nahrazen. Jelikož však v době tvorby této diplomové práce k nahrazení měniče nedošlo, bude ve schématech použit stávající měnič s aktuálním zapojením.

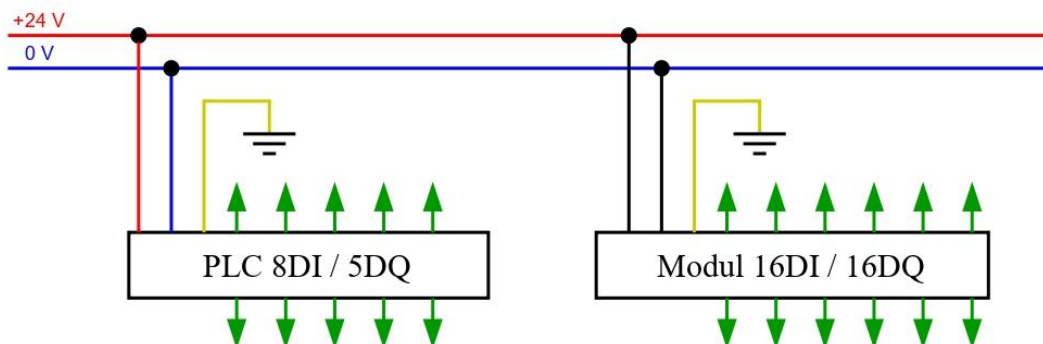
Pro napájení PLC a dalších automatizačních prvků je rozvaděč vybaven 24 V DC zdrojem. Připojení zdroje i měniče je opatřeno jističi dostatečné velikosti. V rámci napájení nebudou navrženy žádné úpravy. Zjednodušené schéma napájení je znázorněno na obr. 69.



Obr. 69 Zjednodušené schéma zapojení napájení

### 5.6.2 PLC a I/O modul

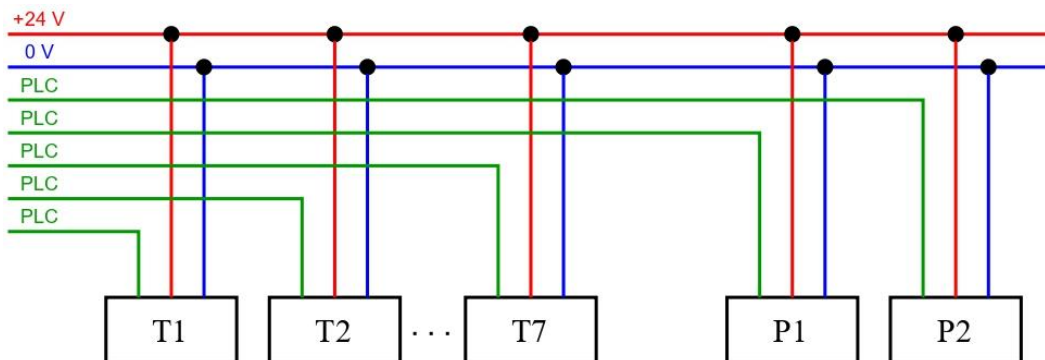
Užívané PLC řady S7 1200 je nedostatečné z hlediska počtu digitálních vstupů a výstupů. Důvodem je velké množství elektrických prvků v konstrukci obou stanic. Proto bude PLC doplněno o I/O modul, s 16 digitálními vstupy a 16 digitálními výstupy, což je více než je požadováno. Užívané PLC totiž umožňuje připojení pouze dvou doplňkových modulů. Druhou pozici lze tedy v budoucnu využít například pro bezpečnostní I/O modul. Zjednodušené schéma zapojení je znázorněno na obr. 70.



Obr. 70 Zjednodušené schéma zapojení PLC a I/O modulu

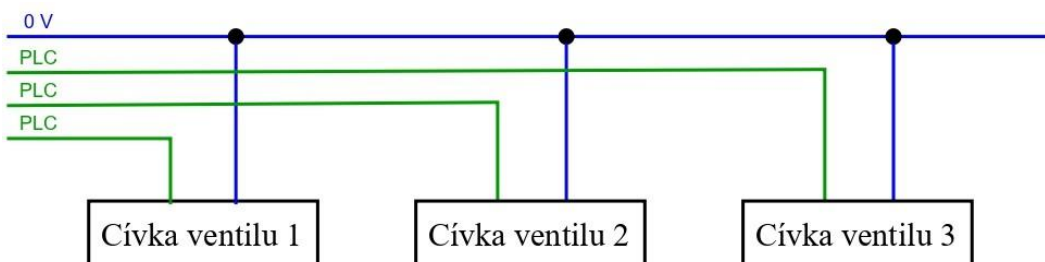
### 5.6.3 Sensorika a ventily výměnné stanice

Mezi sensoriku výměnné stanice patří snímače přítomnosti nástroje T1 až T7 a snímače polohy pístu pneumatického válce P1 a P2. Všechny tyto snímače jsou bezkontaktní a jsou zvoleny ve variantě PNP v konfiguraci NO. Výstupy všech snímačů budou přivedeny do příslušných vstupů PLC. Zjednodušené schéma zapojení snímačů je znázorněno na obr. 71



Obr. 71 Zjednodušené schéma zapojení snímačů výměnné stanice.

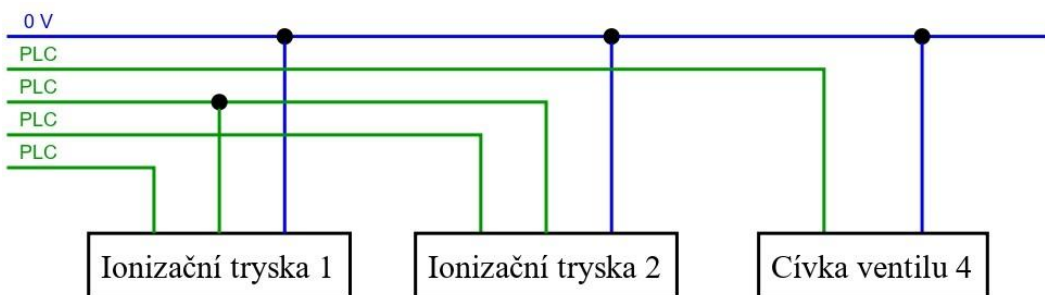
Výměnná stanice obsahuje 2 pneumatické ventily s cívkami. První dvupolohový ventil slouží k řízení brzdy pneumatického válce a obsahuje jednu cívku. Druhý třípolohový ventil pro řízení pohybu pístu pneumatického válce v obou směrech obsahuje dvě cívky. Všechny cívky budou řízeny výstupy z PLC. Zjednodušené schéma zapojení cívek ventilů je znázorněno na obr. 72



Obr. 72 Zjednodušené schéma zapojení cívek ventilů výměnné stanice.

### 5.6.4 Elektrické prvky čistící stanice

Elektrickými prvky čistící stanice je dvojice ionizačních trysek a dvupolohový pneumatický ventil, jejichž zjednodušené schéma zapojení je znázorněno na obr. 73. Řízení ventilu pomocí cívky bude obdobné jako v případě výměnné stanice. Ionizační trysky kromě napájení 24 V DC obsahují i digitální vstupy a výstupy. Pomocí těchto vstupů a výstupů lze spouštět samotnou ionizaci, provádět reset trysek a indikovat chod ionizace, poruchu či nutnost údržby.

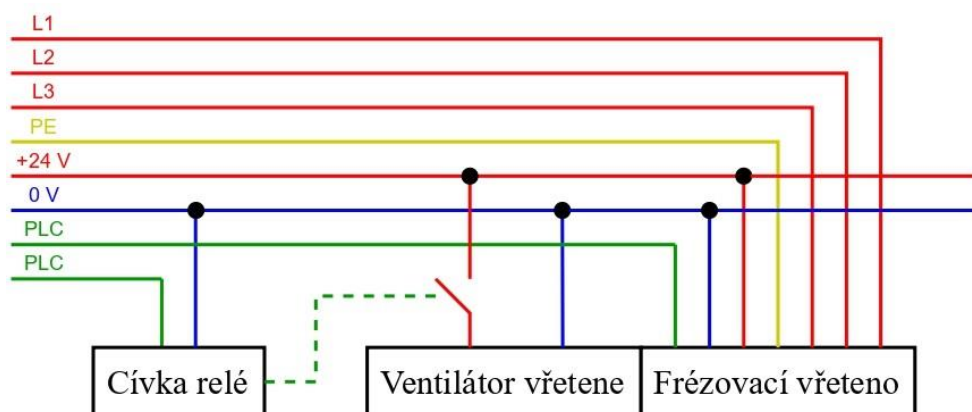


Obr. 73 Zjednodušené schéma zapojení elektrických prvků výměnné stanice

Napájení trysek bude vzhledem k velmi malé proudové zátěži 80 mA zajištěno digitálním výstupem PLC při paralelním zapojení obou trysek. Řízení napájení trysek je vhodné z důvodu údržby, během které je nutné zajistit přerušení přívodu napájení. Po krátké údržbě, která spočívá v demontáži krytu a vyčištění vnitřního prostoru trysky, je možné opět pokračovat v automatickém cyklu bez nutnosti ručního odpojení napájení.

### 5.6.5 Vřeteno a jeho ventilátor

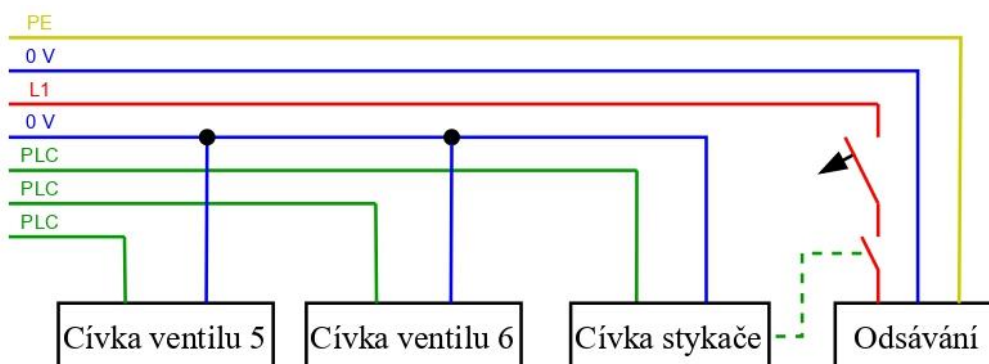
Pro napájení užívaného vřetene slouží silové výstupy měniče. Digitální výstupy vřetene, které vedou do PLC, jsou napájeny z již zmíněného 24 V DC zdroje. Ze stejného zdroje je napájen i ventilátor vřetene, pro jehož spouštění slouží relé, které je spínané digitálním výstupem z PLC. Zjednodušené schéma zapojení vřetene a jeho ventilátoru je znázorněno na obr. 74



Obr. 74 Zapojení vřetene s jeho ventilátorem

### 5.6.6 Ventilátor odsávání a ventil vzduchu do stanice

Pro řízení přívodu stlačeného vzduchu do obvodu obráběcí buňky slouží dvupolohový ventil se dvěma cívkami. Cívky jsou řízeny digitálními výstupy z PLC. Ventilátor odsávání je napájen jednou fází a jeho spouštění je řízeno pomocí stykače a výstupního signálu z PLC. Přívod napájení motoru odsávání je vybaven příslušným jištěním, viz obr. 75.



Obr. 75 Zapojení ventilátoru odsávání a ventilu vzduchu do stanice





## 6 NÁVRH VYBRANÝCH MODULŮ PLC A HMI

Součástí návrhu bude tvorba funkčních bloků PLC pro řízení procesu automatické výměny nástroje robotem a ruční výměny nástroje ve výměnné stanici. Dále bude navrženo HMI pro řízení obou výměn. Stávající řízení jak obráběcí buňky, tak celého robotického pracoviště je vytvořeno v programu TIA Portal. V tomto programu budou tedy vytvořeny jak funkční bloky, tak HMI. Oba funkční bloky budou vytvořeny v jazyce SCL z důvodu snazší tvorby složitějších struktur.

### 6.1 Funkční blok automatické výměny

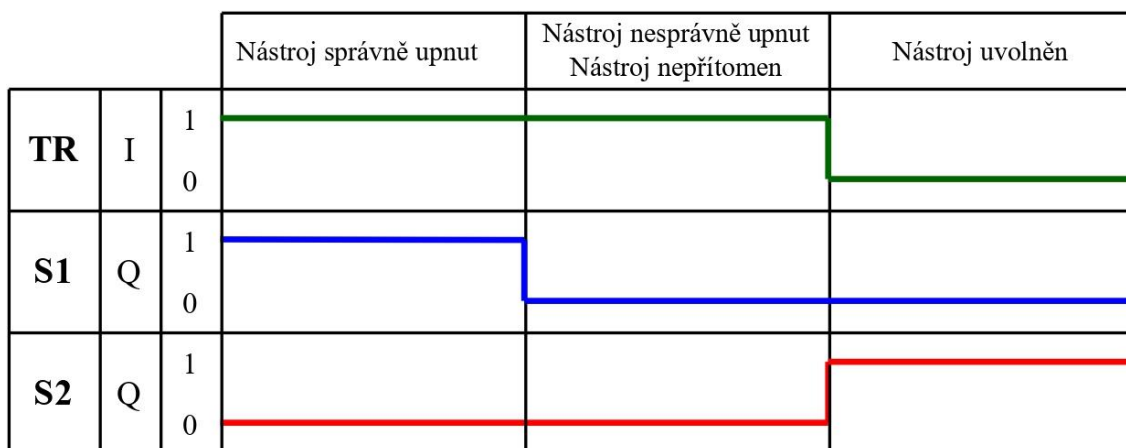
Funkční blok bude sloužit pro automatickou výměnu nástroje robotem prostřednictvím navržené výměnné stanice. Vytvořený funkční blok bude moct následně převzít programátor robotu a využít jej v cyklu pro obrábění. Kromě samotného řízení výměny bude součástí funkčního bloku i diagnostika zadaných parametrů, čímž bude zajištěna bezpečnost a spolehlivost cyklu.

#### 6.1.1 Řízení vřetene

Pro správný návrh řízení automatické výměny je nutné znát konfiguraci řídicích a bezpečnostních signálů vřetene. Upínání a uvolňování nástrojové jednotky je realizováno přivedením stlačeného vzduchu na příslušný vstup. Přivedením vzduchu dojde k uvolnění upínacího mechanismu a při odvětrání vstupu dojde naopak k sevření mechanismu. Pro řízení upínání a uvolňování nástrojových jednotek stačí tedy pouze jeden digitální signál TR.

Kromě řízení vřetene je nutné snímat aktuální stav důležitých prvků. Zvolené vřeteno je vybaveno několika snímači. První snímač S1 poskytuje informaci o tom, zda je nástroj správně upnut ve vřeteni. V případě správného upnutí nástroje dává snímač výstupní hodnotu signálu logická 1, v případě nesprávného upnutí naopak hodnotu logická 0.

Druhý zabudovaný snímač S2 dává informaci o sevření či uvolnění upínacího mechanismu vřetene. V případě sevření upínacího mechanismu dává snímač výstupní hodnotu signálu logická 0, v případě rozevření naopak hodnotu logická 1. Vřeteno obsahuje kromě zmíněných i další snímače, které však nebudou v rámci automatické výměny využity. Na obr. 76 je znázorněn časový diagram vybraných signálů pro řízení vřetene, kde směr signálů je uvažován z pohledu vřetene.



Obr. 76 Časový diagram vybraných signálů vřetene

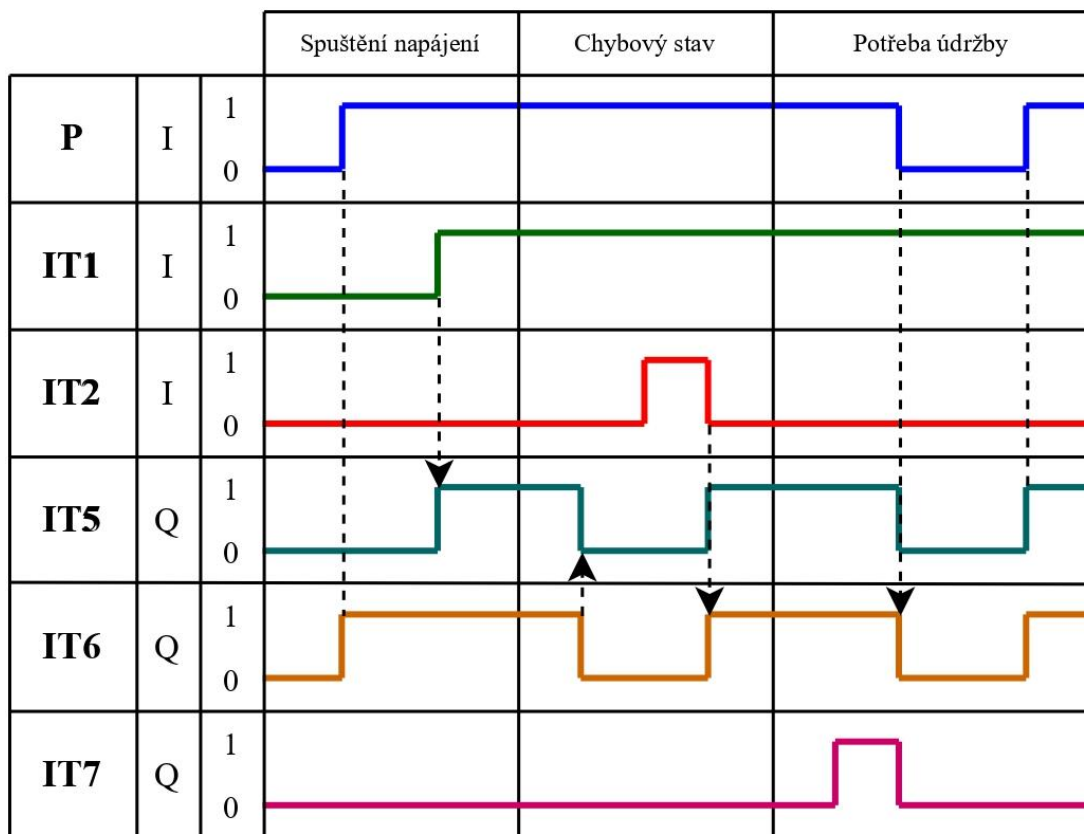
## 6.1.2 Řízení ionizačních trysek

Zvolené ionizační trysky čistící stanice, viz kapitola 5.5.1., kromě samotné funkce ionizace vzduchu umožňují svojí elektrickou konfigurací usnadnit automatizaci jejich užívání včetně diagnostiky. Mimo samotného napájení umožňují trysky přenos celkem 4 vstupních a 3 výstupních digitálních signálů.

První vstupní signál IT1 slouží ke spuštění samotného procesu ionizace. Nastavením signálu na hodnotu logická 1 je spuštěna ionizace. Druhý vstupní signál IT2 slouží pro reset samotné ionizační trysky v případě chybového stavu. Přivedení hodnoty logická 1 na tento signál vede k vyresetování výstupního chybového signálu, který bude popsán dále. Třetí a čtvrtý vstupní signál IT3 a IT4 umožňují doplňkové spuštění a přerušování ionizace pomocí dalších zařízení. V rámci navrhovaného funkčního bloku nebudou signály IT3 a IT4 využity.

První výstupní signál IT5 poskytuje informaci o tom, zda probíhá proces ionizace či nikoliv. Má-li tento signál hodnotu logická 1, tak probíhá proces ionizace. V opačném případě, tedy když má tento signál hodnotu logická 0, tak proces ionizace neprobíhá. Druhý výstupní signál IT6 slouží k indikaci chybového stavu, který je dán výrobcem trysky. Po spuštění napájení má tento signál hodnotu logická 1. V případě zaznamenání poruchy se změní tento signál na hodnotu logická 0. Hodnotu tohoto signálu lze vyresetovat zmíněným signálem IT2.

Poslední výstupní signál IT7 předává informaci o nutnosti údržby trysky. V případě že má tento signál hodnotu logická 1, tak je nutná údržba. Tento signál je dán výrobcem trysky. V případě potřeby údržby je nutné odpojit napájení a vyčistit ionizační trysku. Časový diagram zmíněných signálů je znázorněn na obr. 77, kde P značí napájení trysky a kde směr signálů je uvažován z pohledu ionizační trysky.



Obr. 77 Časový diagram signálů ionizační trysky

### 6.1.3 Vstupní a výstupní proměnné automatické výměny

V rámci zachování struktury aktuálního řízení obráběcí buňky, nebudou proměnné součástí funkčního bloku, ale budou umístěny v rámci datových bloků. Důvodem této struktury je přehlednější komunikace v rámci jednotlivých zařízení buňky. Ve funkčním bloku budou užity jak již existující proměnné, tak nově vytvořené proměnné.

#### Vstupní proměnné

Vstupní proměnné slouží pro konfiguraci funkčního bloku programátorem robotu a pro zajištění správné funkce cyklu výměny pomocí signálů z příslušných zařízení. Volbou hodnot vstupních proměnných může programátor volit konkrétní konfiguraci cyklu automatické výměny. Všechny užívané vstupní proměnné včetně jejich datového typu a stručného popisu jsou zobrazeny v tab. 8.

Tab. 8 Vstupní proměnné funkčního bloku automatické výměny

Název	Datový typ	Popis proměnné
nNewTool	WORD	Udává pozici požadovaného nového nástroje v zásobníku.
bClean	BOOL	Slouží k volbě procesu čištění nástroje.
bPutOff	BOOL	Slouží k volbě procesu odložení užívaného nástroje.
bPickUp	BOOL	Slouží k volbě procesu vyzvednutí nového nástroje.
bRobDone	BOOL	Dává informaci o dokončení pohybových instrukcí robotu.
bCont	BOOL	Značí obsluhou zvolené pokračování cyklu výměny.
bAbort	BOOL	Značí obsluhou zvolené ukončení cyklu výměny.
bGuardUp	BOOL	Indikuje přítomnost pohyblivého krytu v horní poloze.
bGuardDown	BOOL	Indikuje přítomnost pohyblivého krytu v dolní poloze.
bTool1 : bTool7	BOOL	Indikuje přítomnost nástroje na konkrétní pozici v zásobníku.
bSpindle1	BOOL	Proměnná udává správnost upnutí ve vřetení
bSpindle2	BOOL	Proměnná udává sevření upínání ve vřetení
bIonError1 bIonError2	BOOL	Indikuje poruchu ionizační trysky
bIonMaint1 bIonMaint2	BOOL	Indikuje nutnost údržby ionizační trysky

## Výstupní proměnné automatické výměny

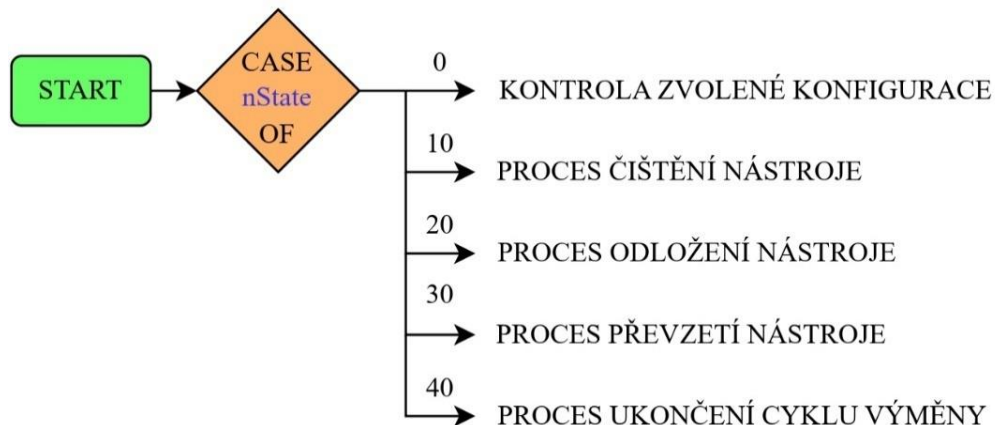
Výstupní proměnné umožňují ovládat prvky stanice a předávat instrukce robotu a dalším zařízením. Všechny zvolené výstupní proměnné včetně jejich datového typu a stručného popisu jsou zobrazeny v tab. 9.

Tab. 9 Výstupní proměnné funkčního bloku automatické výměny

Název	Datový typ	Popis proměnné
bDone	BOOL	Indikuje úspěšné dokončení cyklu výměny.
bError	BOOL	Indikuje chybu při chodu programu.
nErrorID	WORD	Konkretizuje indikovanou chybu.
bAborted	BOOL	Udává obsluhou zvolené ukončení cyklu výměny.
nPutPos	WORD	Udává pozici pro odložení užívaného nástroje.
nPickPos	WORD	Proměnná udává pozici pro vyzvednutí nového nástroje.
bRobDo	BOOL	Dává informaci pro provedení pohybových instrukcí robotem.
nRobDoID	WORD	Konkretizuje požadované pohybové instrukce robotu.
bGuardFree	BOOL	Řídí uvolnění a sevření brzdy pístnice válce.
bGuardGoUp	BOOL	Řídí pohyb pohyblivého krytu do horní koncové polohy.
bGuardGoDown	BOOL	Řídí pohyb pohyblivého krytu do dolní koncové polohy.
bToolRelease	BOOL	Proměnná řídí upnutí a uvolnění nástroje ve vřetení.
bBlow	BOOL	Proměnná spouští ofuk nástroje.
bIonizPower	BOOL	Proměnná zajišťuje napájení ionizační trysky.
bIonizOn	BOOL	Proměnná spouští ionizaci vzduchu.
bIonizReset	BOOL	Proměnná resetuje chybový stav ionizační trysky.
bSuck	BOOL	Proměnná spouští odsávání prachových nečistot.

## 6.1.4 Struktura funkčního bloku automatické výměny

Funkční blok bude mít strukturu stavového automatu. Nejvyšší úroveň funkčního bloku bude tedy stavová podmínka, která funkční blok rozdělí na základní části, viz obr. 78. Pro rozdělení slouží hodnota celočíselné proměnné  $nState$ .



Obr. 78 Nejvyšší úroveň funkčního bloku automatické výměny

### Kontrola zvolené konfigurace

Tento proces bude sloužit ke kontrole hodnot vstupních proměnných funkčního bloku a aktuálního stavu stanice. Proces kontroly bude proveden vždy, když bude vyvolán funkční blok automatické výměny. V případě nežádoucího stavu bude cyklus automatické výměny přerušen a obsluha bude mít možnost ukončit cyklus nebo zopakovat proces kontroly.

### Proces čištění nástroje

Proces čištění bude zajišťovat očištění nástroje a vřetene v čistící stanici. Provedení procesu bude volitelné. Pokud bude během procesu zaznamenán nežádoucí stav ionizačních trysek, bude proces čištění dokončen, ale po jeho dokončení bude celý cyklus přerušen. Obsluha bude mít možnost ukončit celý cyklus či zopakovat proces čištění po odstranění příčiny poruchy.

### Proces odložení nástroje

Tento proces bude sloužit k odložení užívaného nástroje do zásobníku nástrojů výměnné stanice. Proces bude volitelný. Bude-li během procesu zaznamenán nežádoucí stav vřetene či snímačů přítomnosti nástroje, bude proces odložení přerušen. Obsluha bude moci následně ukončit celý cyklus, či pokračovat v procesu odložení v místě přerušení.

### Proces převzetí nástroje

Tento proces bude řídit převzetí nového nástroje ze zásobníku nástrojů výměnné stanice. Proces bude volitelný. Kontrola stavu prvků a případné přerušení procesu je obdobné jako v případě odložení nástroje.

### Ukončení cyklu automatické výměny

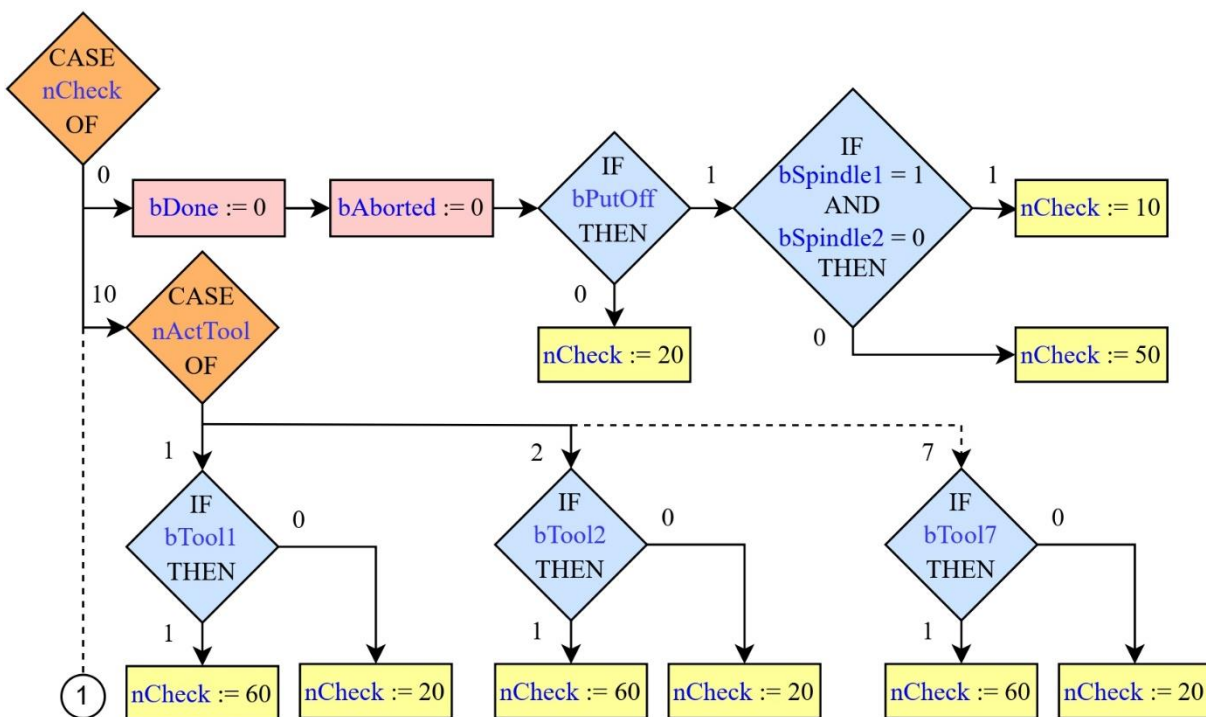
V tomto procesu budou vyresetovány zvolené proměnné a na základě chodu předchozích procesů bude předána informace o úspěšném či neúspěšném ukončení cyklu.

## 6.1.5 Kontrola zvolené konfigurace

Proces kontroly je řízen proměnnou *nCheck*. V prvních dvou stavech probíhá kontrola konfigurace pro proces odložení nástroje do zásobníku výměnné stanice. Ve stavu *nCheck = 0*, viz obr. 79, nejdříve program vyresetuje hodnoty vybraných proměnných. Poté se program dotazuje, zda je součástí cyklu výměny i proces odložení nástroje. Pokud není součástí cyklu výměny, tak program zcela vynechá kontrolu pro proces odložení.

V opačném případě program následně ověří, zda je ve vřetení upnutý nástroj. Pokud ve vřetení není upnutý nástroj, tak se program přesouvá na chybový stav. Jestliže ve vřetení je upnutý nástroj, tak program pokračuje na následující stav.

V následujícím stavu *nCheck = 10* program kontroluje, zda není obsazena pozice v zásobníku, která přísluší užívanému nástroji. V případě, že je obsazena, tak se program přesouvá na chybový stav. Jestliže obsazená není, tak program pokračuje na následující stav.



Obr. 79 Kontrola konfigurace pro odložení nástroje

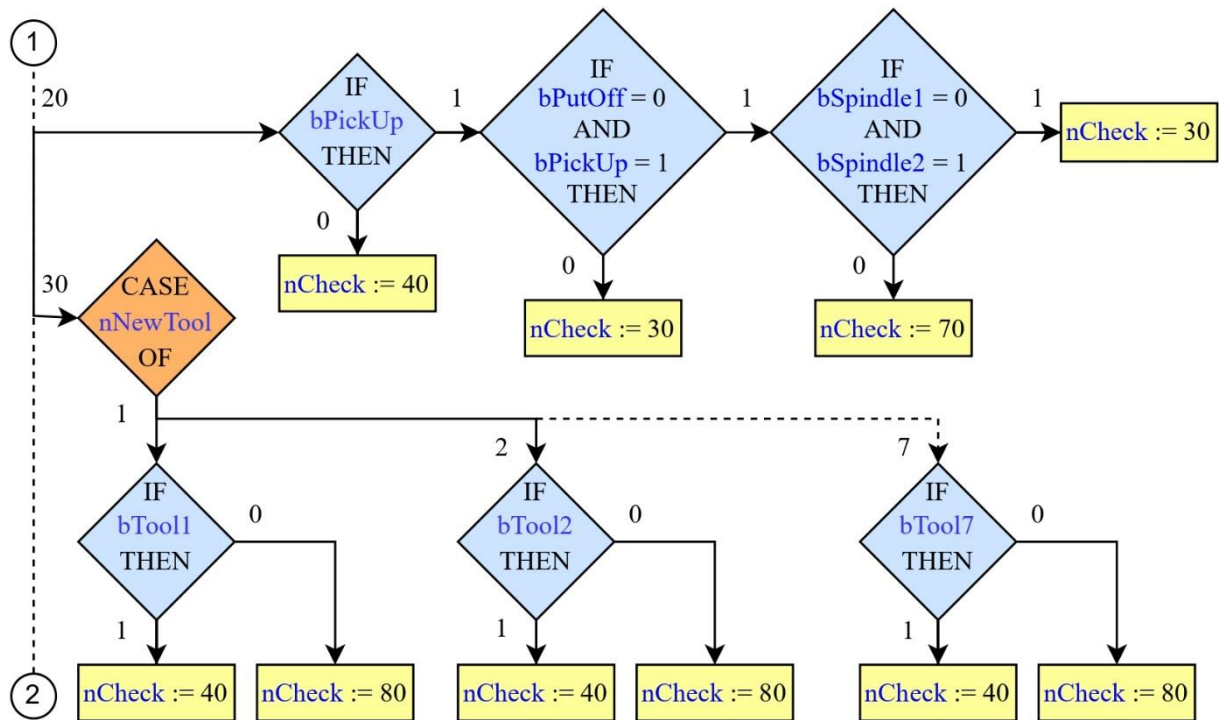
V následujících dvou stavech je ověřena konfigurace pro proces převzetí nového nástroje do vřetene ze zásobníku nástrojů výměnné stanice. Ve stavu *nCheck = 20*, viz obr. 80, se program dotazuje, zda je součástí cyklu výměny i proces převzetí nástroje. Pokud součástí cyklu není proces převzetí, tak se program přesouvá na stav *nCheck = 40*, čímž zcela vynechá kontrolu pro proces převzetí.

V opačném případě se program dotazuje, zda je součástí cyklu výměny pouze převzetí nástroje bez předchozího odložení nástroje. V případě že je součástí cyklu pouze převzetí, tak program následně ověří, zda ve vřetení není upnutý nástroj.

Pokud je ve vřetení upnutý nástroj, tak se program přesouvá na příslušný chybový stav. V opačném případě program pokračuje na následující stav. Na následující stav se program přesouvá i v případě, pokud je součástí cyklu výměny jak odložení nástroje, tak převzetí nástroje.



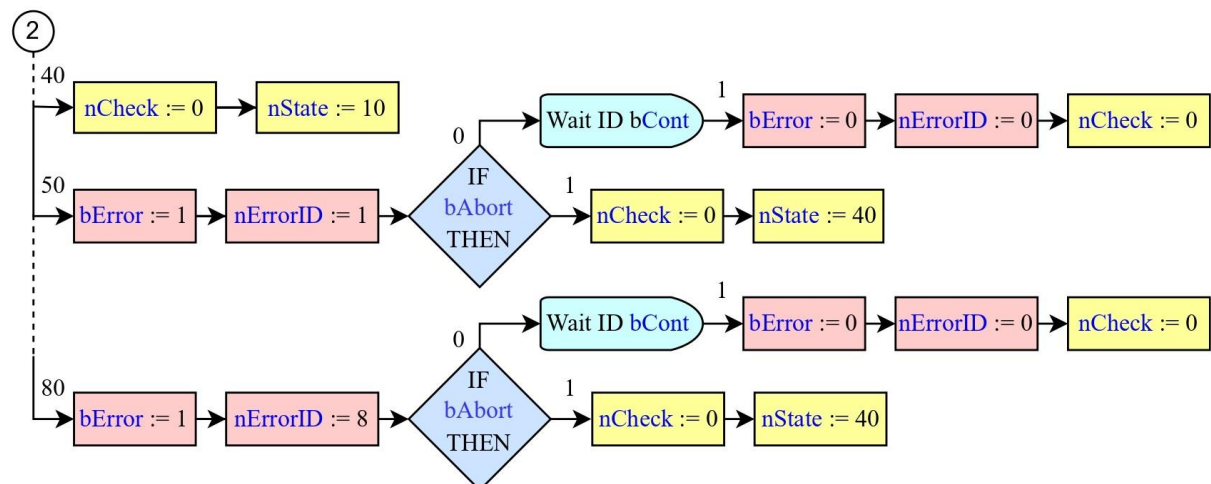
V následujícím stavu  $nCheck = 30$  program kontroluje, zda je obsazena pozice v zásobníku nástrojů, která přísluší požadovanému nástroji. V případě, že pozice není obsazena, tak se program přesouvá na chybový stav. Jestliže daná pozice obsazena je, tak program pokračuje na následující stav.



Obr. 80 Kontrola konfigurace pro převzetí nástroje

V případě, že během kontroly nebude nalezena žádná porucha, tak se ve stavu  $nCheck = 40$  vyresetuje hodnota proměnné  $nCheck$ . Poté je proces kontroly ukončen a program se přesune na další stav na nejvyšší úrovni.

Stavy  $nCheck = 50$  až  $nCheck = 80$  jsou chybové stavy procesu kontroly, viz obr. 81. V těchto stavech program uživateli skrze HMI indikuje konkrétní poruchu. Na základě volby uživatele je cyklus výměny buď ukončen nebo program vyresetuje chybové proměnné a zopakuje celý proces kontroly.

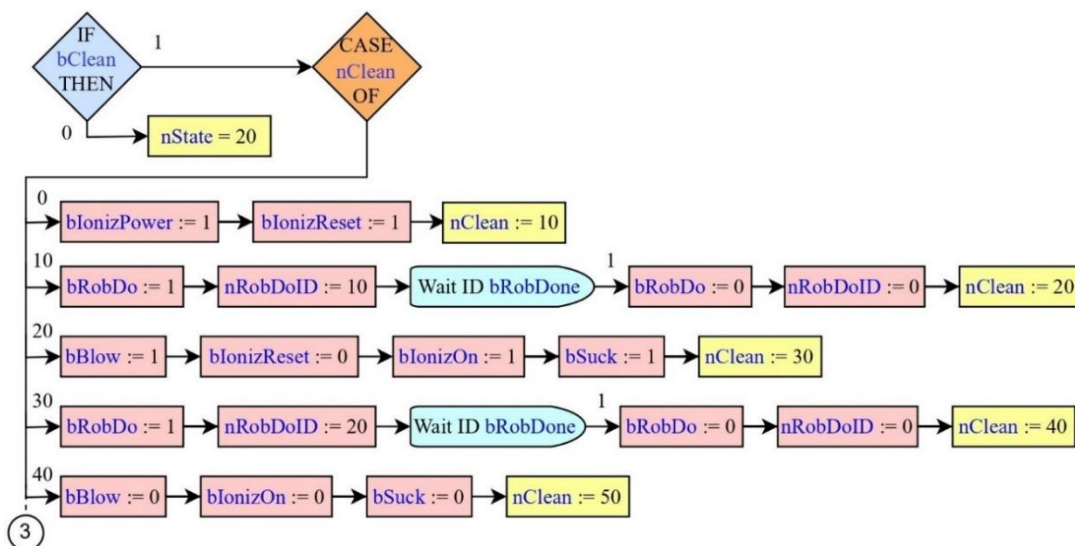


Obr. 81 Ukončení kontroly konfigurace a chybové stavy

## 6.1.6 Proces čištění nástroje

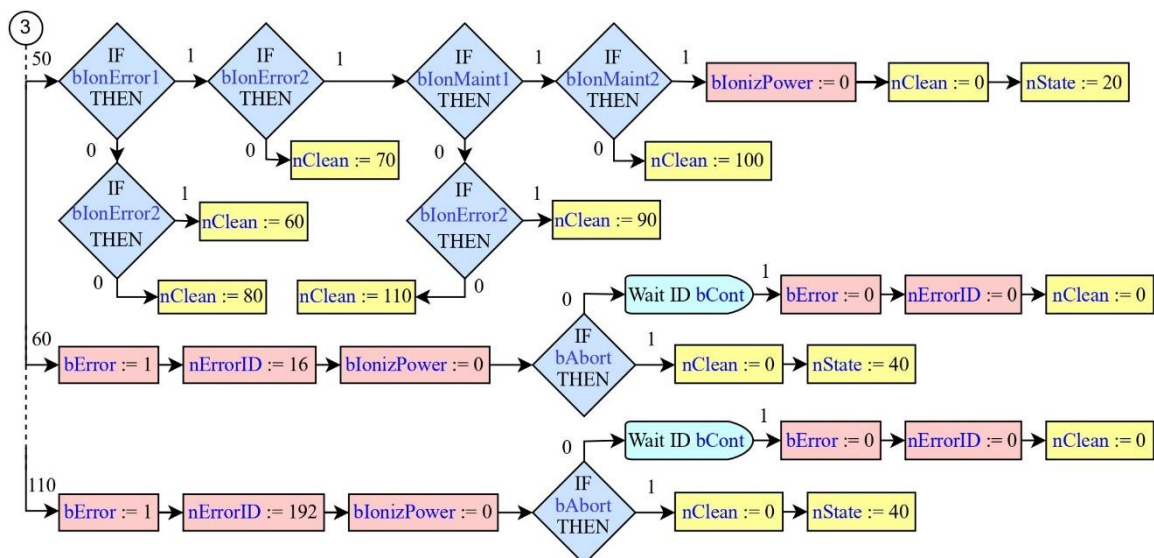
Proces čištění je řízen proměnnou  $nClean$ . Nejprve program zkontroluje, zda uživatel zvolil proces čištění, či zda má vynechat proces čištění. Ve stavu  $nClean = 0$ , viz obr. 82, program spustí napájení ionizačních trysek a resetovací signál. V dalším stavu  $nClean = 10$  dává program robotu instrukci, aby najel před čistící stanicí.

Dále ve stavu  $nClean = 20$  program spouští ofuk, ionizaci vzduchu a odsávání nečistot. Ve stavu  $nClean = 30$  dává program robotu příkaz, aby prováděl pohybové instrukce. Ve stavu  $nClean = 40$  jsou vypnuty ofuk, ionizace, odsávání a program se přesouvá na následující stav.



Obr. 82 Instrukce robotu a spuštění procesu čištění nástroje

Ve stavu  $nClean = 50$ , viz obr. 83, program kontroluje, zda některá z trysek nehlásí poruchu či nutnost údržby. Pokud hlásí, tak se program přesune na chybový stav. V opačném případě je přerušeno napájení trysek, program vyresetuje proměnnou  $nClean$  a přesune se na další stav na nejvyšší úrovni. Stavů  $nClean = 60$  až  $nClean = 110$  jsou chybové stavy. V těchto stavech program indikuje uživateli konkrétní poruchu. Na základě volby uživatele je cyklus výměny buď ukončen nebo je zopakován proces čištění.



Obr. 83 Ukončení procesu čištění a chybové stavy

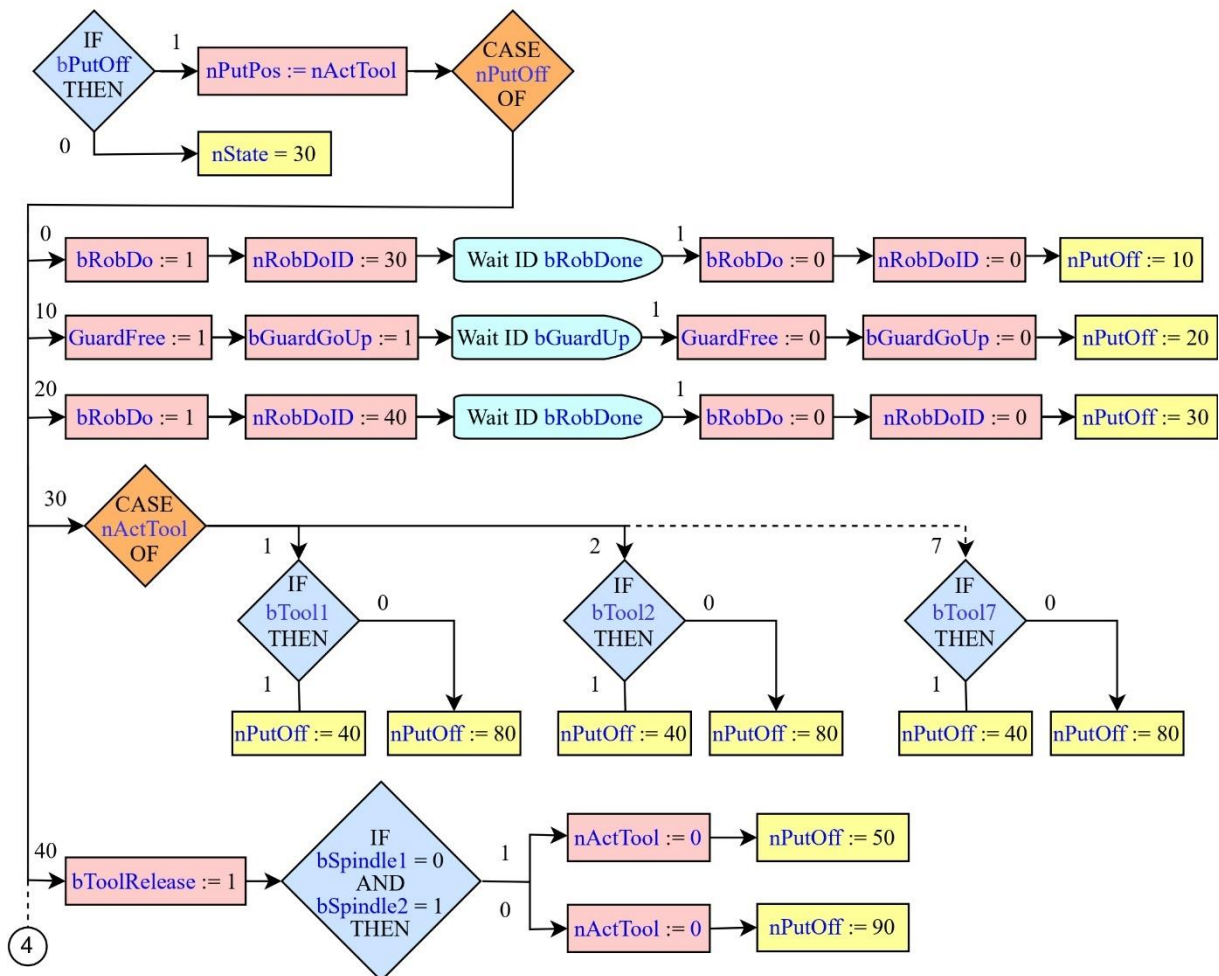
### 6.1.7 Proces odložení užívaného nástroje

Proces odložení je řízen proměnnou  $nPutOff$ . Nejdříve program zkontroluje, zda uživatel zvolil proces odložení, či zda má proces odložení zcela vynechat, viz obr. 84. V případě zvolení procesu odložení program zapíše do výstupní proměnné  $nPutPos$  hodnotu proměnné  $nActTool$ . Tato hodnota představuje pozici v zásobníku, která přísluší užívanému nástroji.

Ve stavu  $nPutOff = 0$  dává program robotu instrukci, aby najel před výměnnou stanicí. V následujícím stavu  $nPutOff = 10$  program uvolní brzdu pístnice válce a spustí posun krytu do horní polohy. Jakmile je přijat signál, že je kryt v horní poloze, tak program opět sevře brzdu pístnice. Ve stavu  $nPutOff = 20$ , dává program robotu instrukci, aby najel s nástrojem na pozici daného odkládacího držáku.

V následujícím stavu  $nPutOff = 30$  program kontroluje, zda snímač přítomnosti nástroje zaznamenal nástroj na dané pozici. Pokud není nástroj zaznamenan, tak se program přesouvá na chybový stav. Zaznamená-li snímač přítomnost nástroje na dané pozici, tak program pokračuje na následující stav.

Po kontrole přítomnosti nástroje na pozici je ve stavu  $nPutOff = 40$  nástroj uvolněn z vřetene. Po uvolnění program provádí kontrolu dat ze snímačů vřetene. Pokud oba snímače ve vřeteni neposkytují správnou hodnotu signálu, tak se program přesouvá na chybový stav. V opačném případě program pokračuje na následující stav. V obou případech je zároveň vyresetována hodnota proměnné  $nActTool$ .

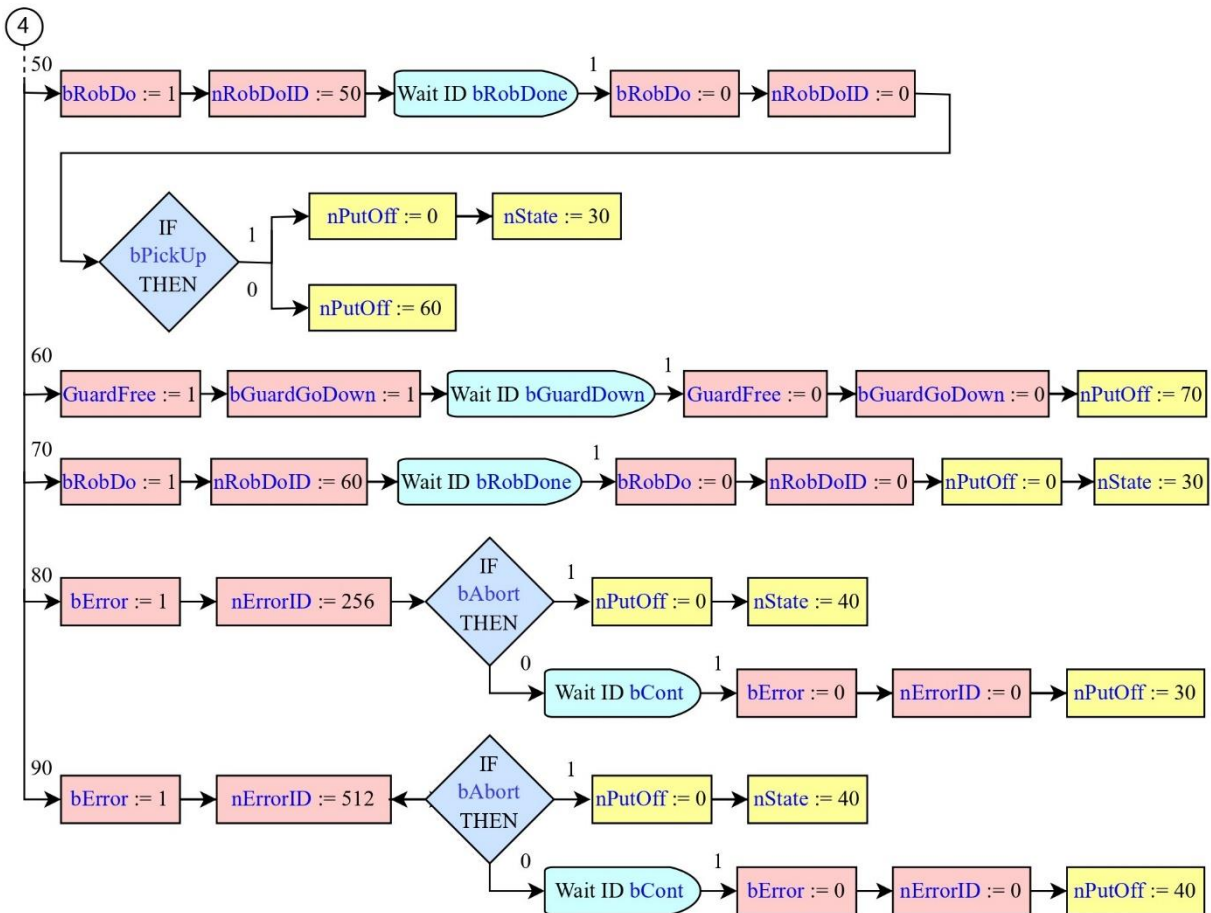


Obr. 84 Instrukce odložení nástroje a kontrola procesu odložení

V následujícím stavu  $nPutOff = 50$  dává program robotu instrukci, aby najel před výměnnou stanicí, viz obr. 85. Poté program zkontroluje, zda je součástí cyklu výměny i proces převzetí nástroje. Pokud je součástí cyklu výměny i proces převzetí, tak program vyresetuje hodnotu proměnné  $nPutOff$  a přesune se na další stav na nejvyšší úrovni. V případě že součástí cyklu výměny není proces převzetí, tak program pokračuje na následující stav.

Ve stavu  $nPutOff = 60$ , program uvolní brzdu pístnice válce a spustí posun krytu do dolní polohy. Jakmile program přijme signál, že je kryt v dolní poloze, tak opět sevře brzdu pístnice a přeruší pohyb krytu. Poté ve stavu  $nPutOff = 70$  dává program robotu instrukci, aby najel do výchozí pozice. Následně program vyresetuje hodnotu proměnné  $nPutOff$  a přesouvá se na další stav na nejvyšší úrovni.

Stavy  $nPutOff = 80$  a  $nPutOff = 90$  jsou chybové stavy. V těchto stavech program uživateli indikuje konkrétní poruchu. Na základě volby uživatele je buď celý cyklus výměny ukončen nebo se program opět přesune na stav, ve kterém byla chyba nalezena.



Obr. 85 Uzavření krytu a chybové stavy procesu odložení

### 6.1.8 Proces převzetí nového nástroje

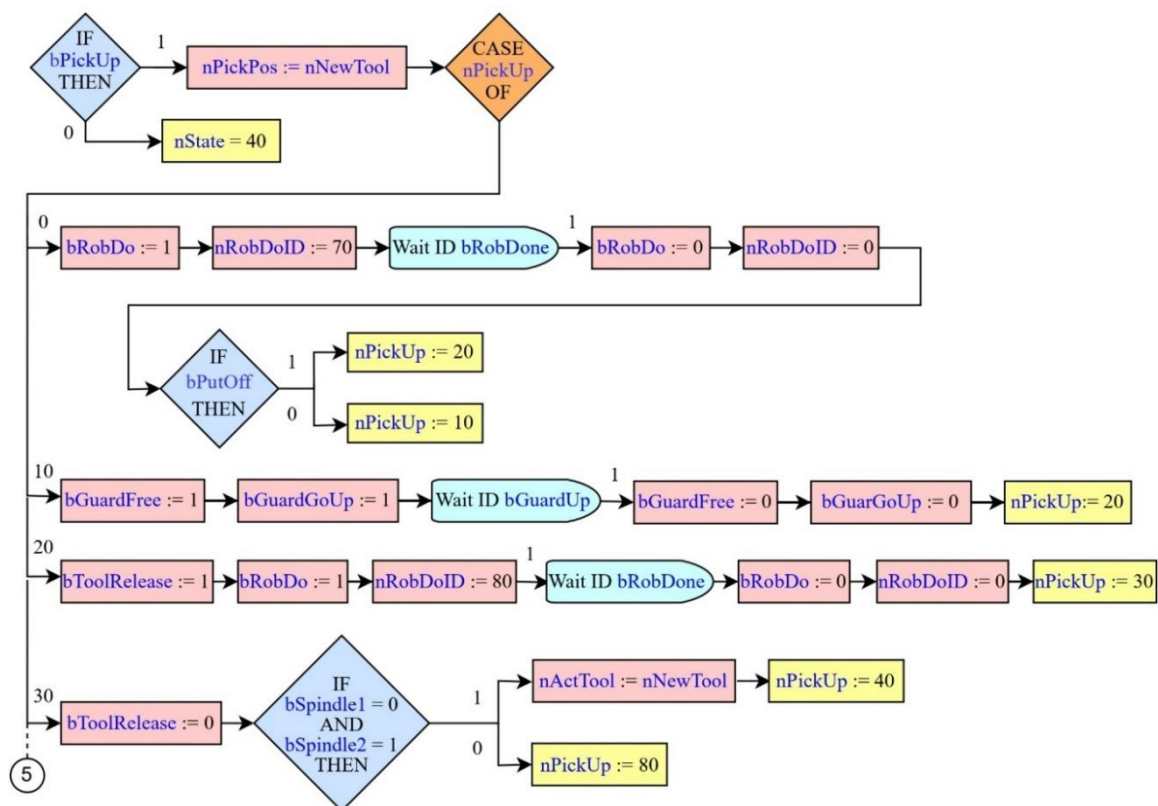
Proces převzetí je řízen proměnnou  $nPickUp$ , viz obr. 86. Na začátku program zkontroluje, zda uživatel zvolil provedení procesu převzetí, či zda má vynechat proces převzetí. V případě volby procesu převzetí program zapíše do výstupní proměnné  $nPickPos$  hodnotu pozice v zásobníku, ze které bude převzat nový nástroj. Hodnota pozice bude následně sloužit pro pohybové instrukce robotu.



Ve stavu  $nPickUp = 0$  dává program robotu instrukci, aby najel před výměnnou stanicí. Poté se program dotazuje, zda byl součástí cyklu výměny i proces odložení nástroje. Pokud byl součástí cyklu, tak program přejde na stav  $nPickUp = 20$ . V opačném případě pokračuje program na následující stav.

Ve stavu  $nPickUp = 10$  program uvolní brzdu pístnice válce, spustí posun krytu do horní polohy. Jakmile program přijme signál, že je kryt v horní poloze tak opět sevře brzdu pístnice, přeruší pohyb krytu a pokračuje na následující stav. Následně ve stavu  $nPickUp = 20$  program uvolní upínací mechanismus vřetene a poté dává robotu instrukci, aby najel pro nový nástroj na pozici daného odkládacího držáku.

Poté je ve stavu  $nPickUp = 30$  nástroj upnut do vřetene. Následně program provádí kontrolu dat ze snímačů vřetene. Pokud oba snímače ve vřeteni neposkytují správnou hodnotu signálu, tak se program přesouvá na chybový stav. V opačném případě program zapíše do proměnné  $nActTool$  hodnotu proměnné  $nNewTool$  a pokračuje na následující Stav.

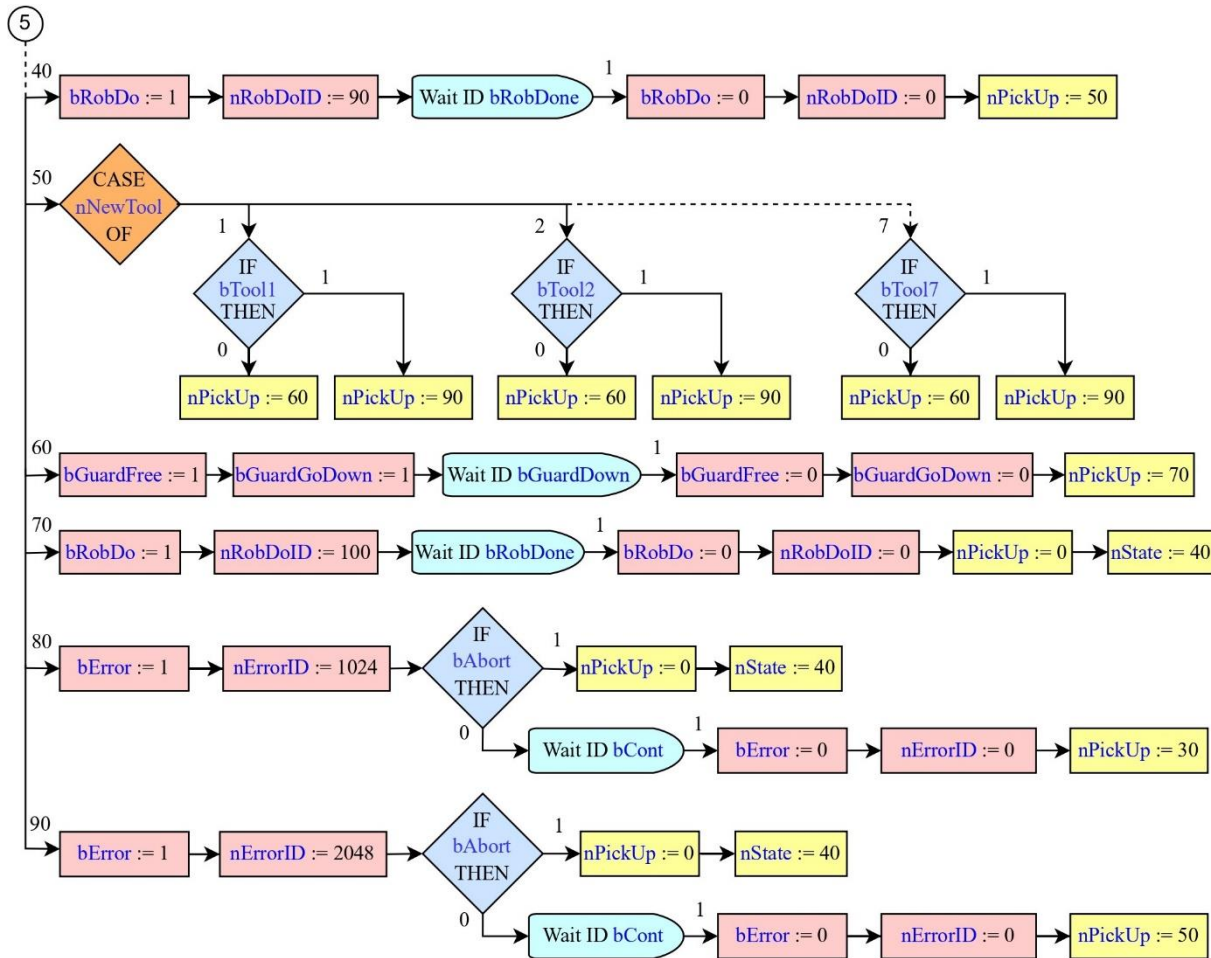


Obr. 86 Instrukce převzetí nástroje a kontrola převzetí

Ve stavu  $nPickUp = 40$ , viz obr. 87, dává program robotu instrukci, aby najel před výměnnou stanicí. Poté ve stavu  $nPickUp = 50$  program kontroluje, zda snímač přítomnosti nástroje zaznamenal, že na dané pozici není nástroj. Zaznamená-li snímač přítomnost nástroje, tak se program přesouvá na chybový stav. Pokud není nástroj zaznamenán, program pokračuje na následující stav.

Následně ve stavu  $nPickUp = 60$  program uvolní brzdu pístnice válce, spustí posun krytu do dolní polohy a vyčkává na signál od snímače. Jakmile program přijme signál, že je kryt v dolní poloze, tak program opět sevře brzdu pístnice a přeruší posun krytu. V následujícím stavu  $nPickUp = 70$  dává program robotu instrukci, aby najel do výchozí pozice. Poté vyresetuje program hodnotu proměnné  $nPickUp$  a přesouvá se na další stav v nejvyšší úrovni.

Ve stavech  $nPickUp = 80$  a  $nPickUp = 90$  program uživateli indikuje konkrétní poruchu. Uživatel může následně buď zvolit pokračování cyklu výměny, čímž se program vrátí na stav, ve kterém byl cyklus přerušen nebo může zvolit ukončení celého cyklu.

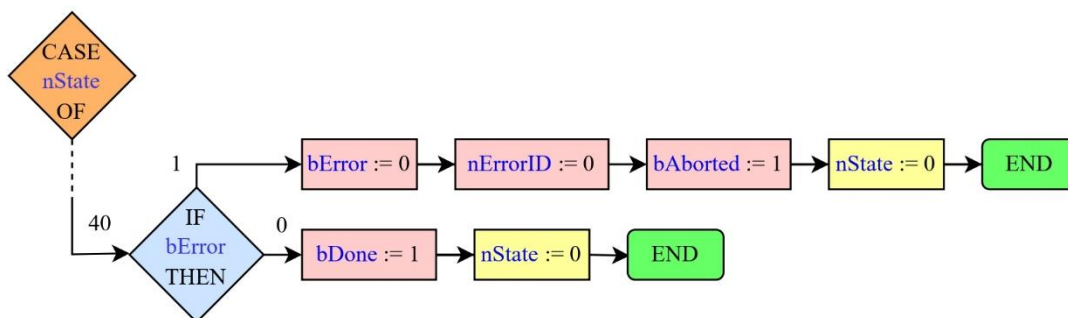


Obr. 87 Uzavření krytu a chybové stavy procesu převzetí

### 6.1.9 Ukončení cyklu výměny

Ve stavu  $nState = 40$ , viz obr. 88, se program nejdříve dotazuje, zda během cyklu nastala porucha. Pokud porucha nenastala, tak program pomocí proměnné  $bDone$  předá informaci o úspěšném dokončení cyklu a vyresetuje hodnotu stavové proměnné  $nState$ .

Pokud porucha nastala, tak program vyresetuje hodnoty proměnných indikující poruchu, pomocí výstupní proměnné  $bAborted$  předá informaci o neúspěšném dokončení cyklu a vyresetuje hodnotu stavové proměnné  $nState$ .



Obr. 88 Proces ukončení cyklu automatické výměny

## 6.2 Funkční blok ruční výměny nástroje

Stejně jako funkční blok automatické výměny nástroje robotem, bude mít i funkční blok ruční výměny nástroje ve výměnné stanici strukturu stavového automatu. Funkční blok bude vhodné využít při ruční výměně nástroje obsluhou v navržené výměnné stanici, kdy volání funkčního bloku bude možné skrze HMI.

Součástí funkčního bloku nebude řešení bezpečnosti obsluhy z hlediska užitého průmyslového robotu a obráběcího vřetene, kterým je robot osazen. Hlavním důvodem je především to, že v budoucnu je plánována výměna stávajícího měniče vřetene, který nedosahuje dostatečného výkonu a úrovně bezpečnosti za nový dostatečně výkonný a bezpečný měnič. Zároveň nejsou součástí řešení podmínky volání funkčního bloku při automatickém chodu buňky.

### 6.2.1 Vstupní a výstupní proměnné ruční výměny

Pro řízení cyklu ruční výměny budou v tomto bloku použity vybrané vstupní a výstupní proměnné z proměnných automatické výměny, viz tab. 10. Vybrané proměnné budou doplněny o proměnnou signalizující bezpečí vstupu do buňky z hlediska výměnné stanice. Tento signál bude zaslán do hlavního PLC. Součástí vstupů a výstupů funkčního bloku nebudou signály zajišťující bezpečnost pracoviště mimo výměnnou stanici.

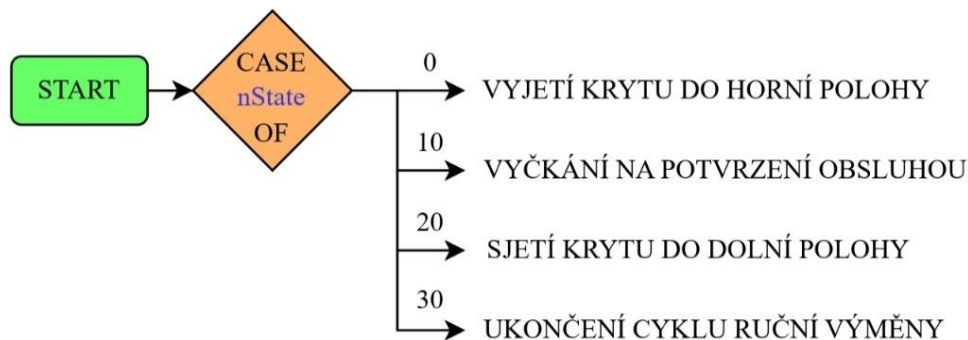
Tab. 10 Vstupní a výstupní proměnné funkčního bloku ruční výměny

Název proměnné	Datový typ	Popis proměnné
bCont	BOOL	Proměnná značí obsluhou zvolené pokračování chodu cyklu výměny.
bGuardUp	BOOL	Proměnná udává přítomnost pohyblivého krytu v horní koncové poloze.
bGuardDown	BOOL	Proměnná udává přítomnost pohyblivého krytu v horní koncové poloze.
bSafeToGo	BOOL	Proměnná dává informaci o tom, že je z hlediska výměnné stanice bezpečné vstoupit do buňky.
bGuardFree	BOOL	Proměnná řídí uvolnění a sevření brzdy pístnice pneumatického válce.
bGuardGoUp	BOOL	Proměnná řídí pohyb pohyblivého krytu do horní koncové polohy.
bGuardGoDown	BOOL	Proměnná řídí pohyb pohyblivého krytu do dolní koncové polohy.
bManualChangeDone	BOOL	Indikuje dokončení cyklu ruční výměny.



## 6.2.2 Struktura funkčního bloku ruční výměny

Funkční blok cyklu ruční výměny je stejně jako v případě automatické výměny tvořen stavovou podmínkou, která funkční blok rozděluje na základní části, viz obr. 89. Pro rozdělení do jednotlivých stavů slouží hodnota celočíselné proměnné  $nState$ . Vzhledem k výrazně menší složitosti funkčního bloku ruční výměny oproti automatické výměně, je program tvořen pouze jednou stavovou podmínkou. Jednotlivé stavy už další stavové podmínky neobsahují.

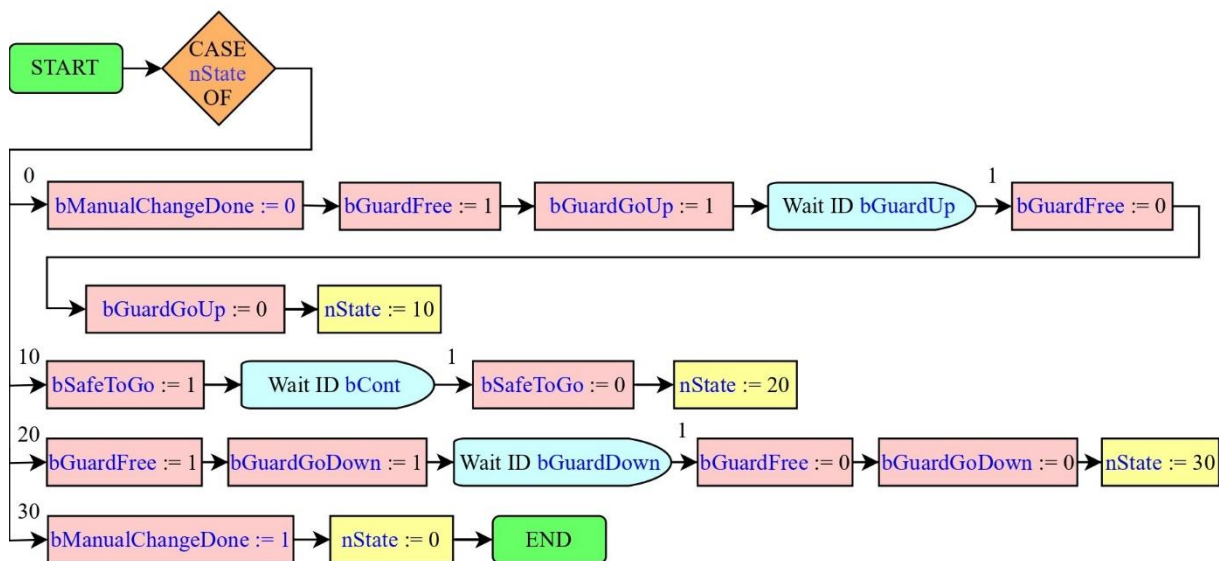


Obr. 89 Nejvyšší úroveň funkčního bloku automatické výměny

Ve stavu  $nState = 0$ , viz obr. 90, program vyresetuje zvolenou proměnnou, uvolní brzdu pístnice válce, spustí posun krytu do horní polohy a vyčkává na signál od snímače. Jakmile program přijme signál, že je kryt v horní poloze, tak opět sevře brzdu pístnice a přeruší posun krytu. Ve stavu  $nState = 10$  vyše program výstupní signál o bezpečném vstupu do buňky.

Signál by měl sloužit především pro bezpečnostní PLC, které zajistí bezpečný stav ostatních částí buňky a umožní vstup obsluhy do buňky. V této části program čeká, až obsluha ručně vymění nástroje ve stanici a výměnu potvrdí na HMI mimo prostor buňky. Po potvrzení program změní hodnotu signálu indikujícího bezpečný vstup, čímž by měla být opět zajištěna bezpečnost buňky.

Následně ve stavu  $nState = 20$  program uvolní brzdu pístnice válce, spustí posun krytu do dolní polohy a vyčkává na signál od snímače. Jakmile program přijme signál, že je kryt v dolní poloze, tak opět sevře brzdu pístnice a přeruší posun krytu. V posledním stavu  $nState = 30$  program vyše signál indikující ukončení cyklu a vyresetuje hodnotu proměnné  $nState$ .



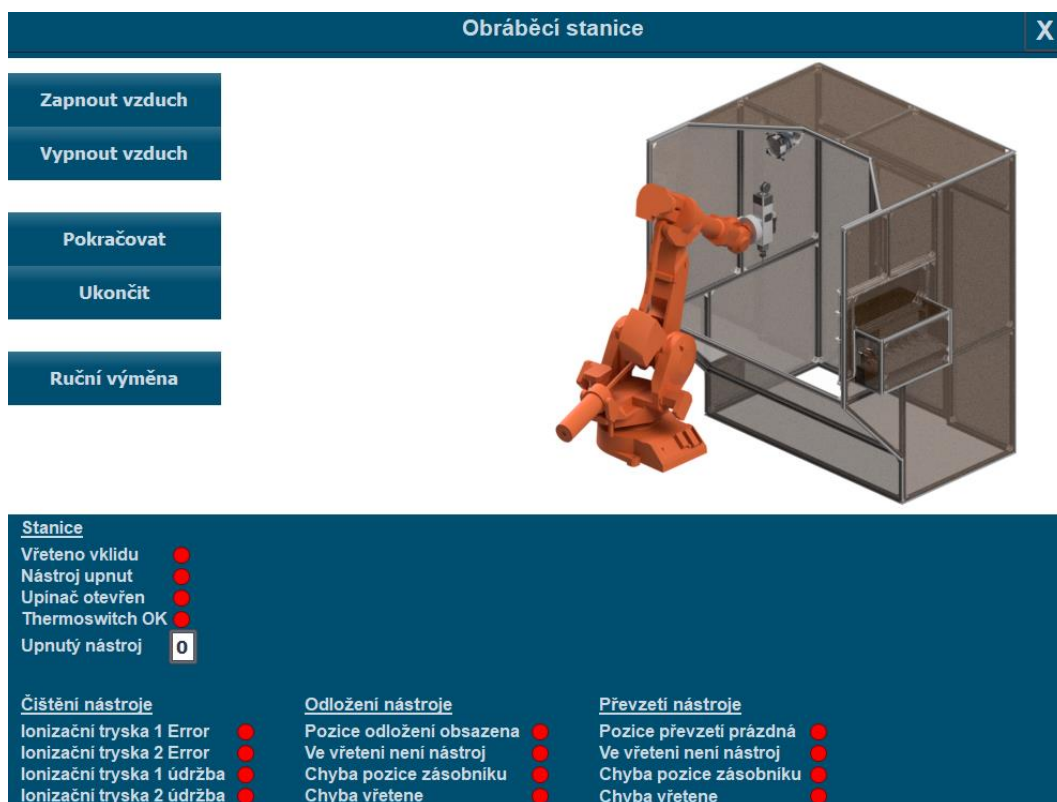
Obr. 90 Průběh cyklu ruční výměny

## 6.3 Návrh HMI

V rámci návrhu HMI pro řízení jak automatické, tak ruční výměny bude využito stávající HMI navržené v TIA Portal. Aktuálně je HMI pro řešenou obráběcí buňku realizováno pomocí funkce Pop-up screen. Tato obrazovka obsahuje dotyková tlačítka pro spouštění přívodu stlačeného vzduchu do obráběcí buňky a kontrolky indikace stavu vřetene. Stávající řešení je nutné doplnit o nové kontrolky a tlačítka pro řízení částí navržených funkčních bloků.

### 6.3.1 Podoba výsledného HMI

Výsledná podoba HMI obráběcí buňky je znázorněna na obr. 91. Volná plocha obrazovky je doplněna o ilustrační obrázek obráběcí buňky včetně robotu, výměnné stanice a čistící stanice.



Obr. 91 HMI pro řízení obráběcí buňky

HMI bylo doplněno o nová dotyková tlačítka, která byla umístěna v prostoru pod stávajícími tlačítky. Jejich účel je popsán v tab. 11.

Tab. 11 Nová dotyková tlačítka HMI

Název tlačítka	Účel tlačítka
Pokračovat	Pokračování v cyklu automatické výměny v případě chybového stavu. Potvrzení provedení ruční výměny nástroje ve stanici.
Ukončit	Ukončení cyklu automatické výměny v případě chybového stavu.
Ruční výměna	Volba cyklu ruční výměny nástroje ve stanici.

Nově vytvořená tlačítka jsou definována takovým způsobem, že změna hodnoty řízené proměnné nastane při uvolnění tlačítka. Reset tlačítek a impuls signálu do PLC obráběcí buňky je vytvořen v samostatném programu, viz obr. 92.

```

IF "DB_HMI_MS001".bM_HMI_MS001_cont THEN
    "DB_DATA_TO_MACHINING_STATION".Ib_Cont := TRUE;
    "DB_HMI_MS001".bM_HMI_MS001_cont := FALSE;
ELSE
    "DB_DATA_TO_MACHINING_STATION".Ib_Cont := FALSE;
END_IF;

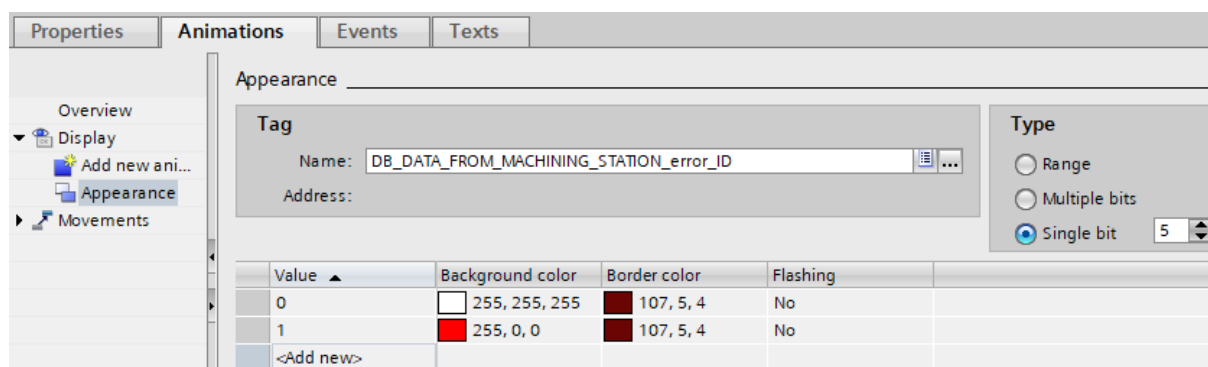
IF "DB_HMI_MS001".bM_HMI_MS001_abort THEN
    "DB_DATA_TO_MACHINING_STATION".Ib_Abort := TRUE;
    "DB_HMI_MS001".bM_HMI_MS001_abort := false;
ELSE
    "DB_DATA_TO_MACHINING_STATION".Ib_Abort := FALSE;
END_IF;

```

Obr. 92 Reset tlačítek HMI impuls signálu

V modře označeném prostoru ve spodní části obrazovky jsou umístěny kontrolky pro indikaci chybových stavů. V levé části jsou původní kontrolky, které informují o stavu vřetene. Tyto kontrolky byly doplněny o informaci ohledně čísla nástroje, který je v daný okamžik upnut v obráběcím vřeteni. Tato informace je důležitá, jelikož při odložení užívaného nástroje robotem je nástroj vždy odložen na konkrétní pozici zásobníku, která užívanému nástroji přísluší. V případě ruční výměny nástroje ve stanici je tedy nutné ponechat pozici aktuálně užívaného nástroje neobsazenou. V opačném případě by nebylo možné během cyklu automatické výměny užívaný nástroj odložit.

Ostatní kontrolky pro indikaci chybových stavů jsou rozděleny do skupin dle procesu cyklu automatické výměny nástroje, ve kterém daná porucha může nastat. V případě vyslání chybového signálu z PLC se rozsvítí vždy konkrétní chybová kontrolka. Pro indikaci slouží celočíselná proměnná *ErrorID*. Každý z indikátorů je řízen konkrétním bitem této proměnné pomocí funkce *Single bit*, viz obr. 93.



Obr. 93 Definice kontrolky indikace chybového stavu

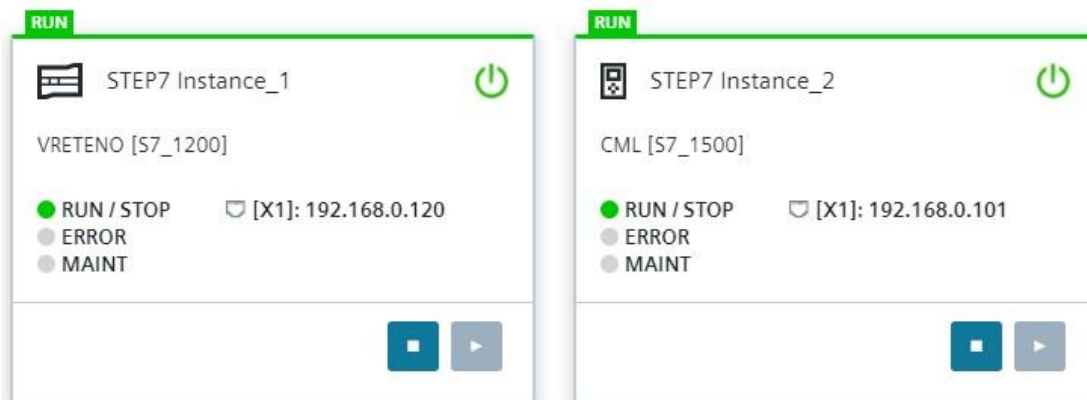
Jak řešení indikace, tak struktura funkčního bloku automatické výměny zajišťují to, že v jednu chvíli může být indikována pouze jedna konkrétní porucha procesu výměny. Výjimkou jsou pouze indikace poruchy či nutnosti údržby ionizačních trysek. V tomto případě může být indikována porucha nebo nutnost údržby buď na jedné či na obou tryskách.

## 6.4 Ověření funkčnosti navržených bloků

Funkčnost navržených bloků automatické a ruční výměny je nutné otestovat. Pro testování bude použit nástroj PLC-SIM, který je součástí TIA Portal. Při testování budou tímto nástrojem simulovány vstupní signály během chodu programu a bude kontrolován požadovaný výstup funkčního bloku. Tímto způsobem lze testovat navržený program, není-li možné připojit ostatní užívané zařízení.

### 6.4.1 Připojení PLC

V rámci nástroje PLC-SIM je nutné připojit a spustit virtuální podobu užívaných PLC. V tomto případě bude nutné připojit jak hlavní PLC S7-1500, tak PLC obráběcí buňky S7-1200. Obě připojená zařízení a jejich stav jsou v simulátoru k zobrazení, viz obr. 94.



Obr. 94 Připojení jednotek PLC

### 6.4.2 Kontrola funkčnosti navrženého softwaru

Pro simulování zvolených signálů byly v PLC-SIM vytvořeny nástroje Sim Table, do kterých byly vloženy vybrané signály. Sim Table umožňuje vložit pouze signály daného PLC. Pro každý z připojených zařízení je tedy nutné vytvořit vlastní Sim table. Tento nástroj umožňuje měnit hodnoty vložených signálů při chodu programu. Na obr. 95 je znázorněna část Sim Table pro užívané PLC S7 1200.

Name	Address	Display Format	Monitor/Modify State	Comment
"DB_DATA_TO_MACHINING_STATION"."I_Robot"....	DB10.4	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	
IS_BUTTON	I0.4	Bool	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE	
"FB_AUTOMATICTOOLCHANGE_DB".nClean		DEC	<input type="checkbox"/> 10	
"FB_AUTOMATICTOOLCHANGE_DB".nPutOff		DEC	<input type="checkbox"/> 0	
"FB_AUTOMATICTOOLCHANGE_DB".nPickUp		DEC	<input type="checkbox"/> 0	
		DEC	<input type="checkbox"/>	

Obr. 95 Vytvořený Sim Table pro PLC S7 1200

Při testování nebylo možné měnit hodnoty některých vstupních signálů. Proto bylo nutné využít nástroj Watch table, viz obr. 96. Pomocí něj lze měnit hodnoty proměnných přímo ve vývojovém prostředí, mimo PLC-SIM.

	i	Name	Address	Display format	Monitor value	Modify value
1		"DB_DATA_TO_MACHINING_STATION".I_Robot.IRb_Clean	%DB11.DBX10.0	Bool		
2		"DB_DATA_TO_MACHINING_STATION".I_Robot.IRb_PutOff	%DB11.DBX10.1	Bool		
3		"DB_DATA_TO_MACHINING_STATION".I_Robot.IRb_PickUp	%DB11.DBX10.2	Bool		
4		"DB_DATA_TO_MACHINING_STATION".I_Robot.IRb_RobDone	%DB11.DBX10.3	Bool		
5		<Add new>				

Obr. 96 Vytvořený Watch table

Následně byl celý program uveden do online režimu a pomocí změny hodnot signálů byla otestována funkčnost bloku automatické výměny a ruční výměny z hlediska reakce bloků na dané vstupy. Testování prokázalo že navržené bloky jsou funkční.

## 7 POSOUZENÍ RIZIK

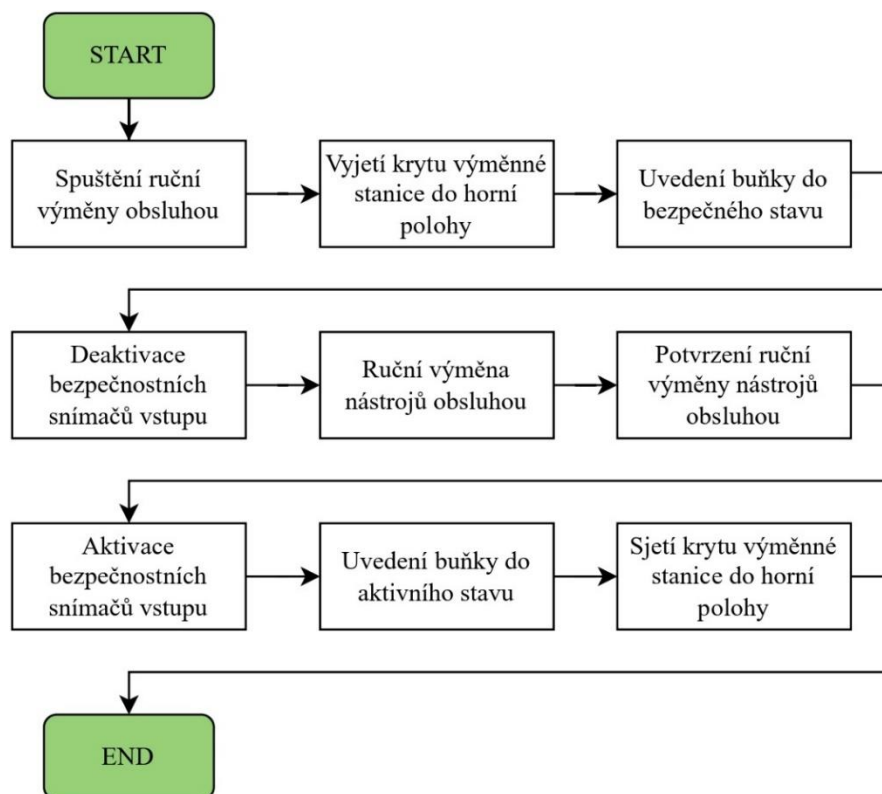
Pro navrhovanou stanici a její periferie bude provedeno posouzení rizik dle harmonizované normy ČSN EN ISO 12100:2011. První částí posouzení bude nalezení všech předpisů EU a harmonizovaných norem, které se na dané zařízení vztahují. Pro dané zařízení budou dále identifikována všechna nebezpečí, které budou následně přiřazena jednotlivým částem strojního zařízení a částem jeho životního cyklu. Při posouzení stanice při jejím provozu bude uvažován pouze stav ruční výměny nástroje ve stanici.

### 7.1 Popis pracovního cyklu

V rámci posouzení rizik bude uvažován pouze cyklus ruční výměny, během kterého obsluha vstupuje do vnitřního prostoru obráběcí buňky. Při ruční výměně nástrojů ve výměnné stanici je nutné kromě bezpečnosti v rámci stanice zajistit i bezpečnost z hlediska průmyslového robota a obráběcího vřetene. Ta však nebude v tomto posouzení zahrnuta.

Cyklus ruční výměny vychází z již navrženého funkčního bloku ruční výměny. Po zvolení ruční výměny pomocí HMI, vyjede pohyblivý kryt výměnné stanice do horní polohy, ve které je zajištěn brzdou pneumatického válce. Poté se celá obráběcí buňka uvede do bezpečného stavu a bezpečnostní snímače dveří buňky umožní vstup obsluze. Jakmile obsluha provede ruční výměnu nástrojů ve výměnné stanici, tak opustí prostor obráběcí buňky a pomocí HMI potvrdí ruční výměnu.

Po potvrzení jsou opět aktivovány bezpečnostní prvky buňky a pohyblivý kryt výměnné stanice je spuštěn do dolní polohy. V tomto stavu jsou nástroje vyměněny a buňka je připravena na obrábění. Celý popis cyklu ruční výměny je ve zjednodušené formě znázorněn na obr. 97.



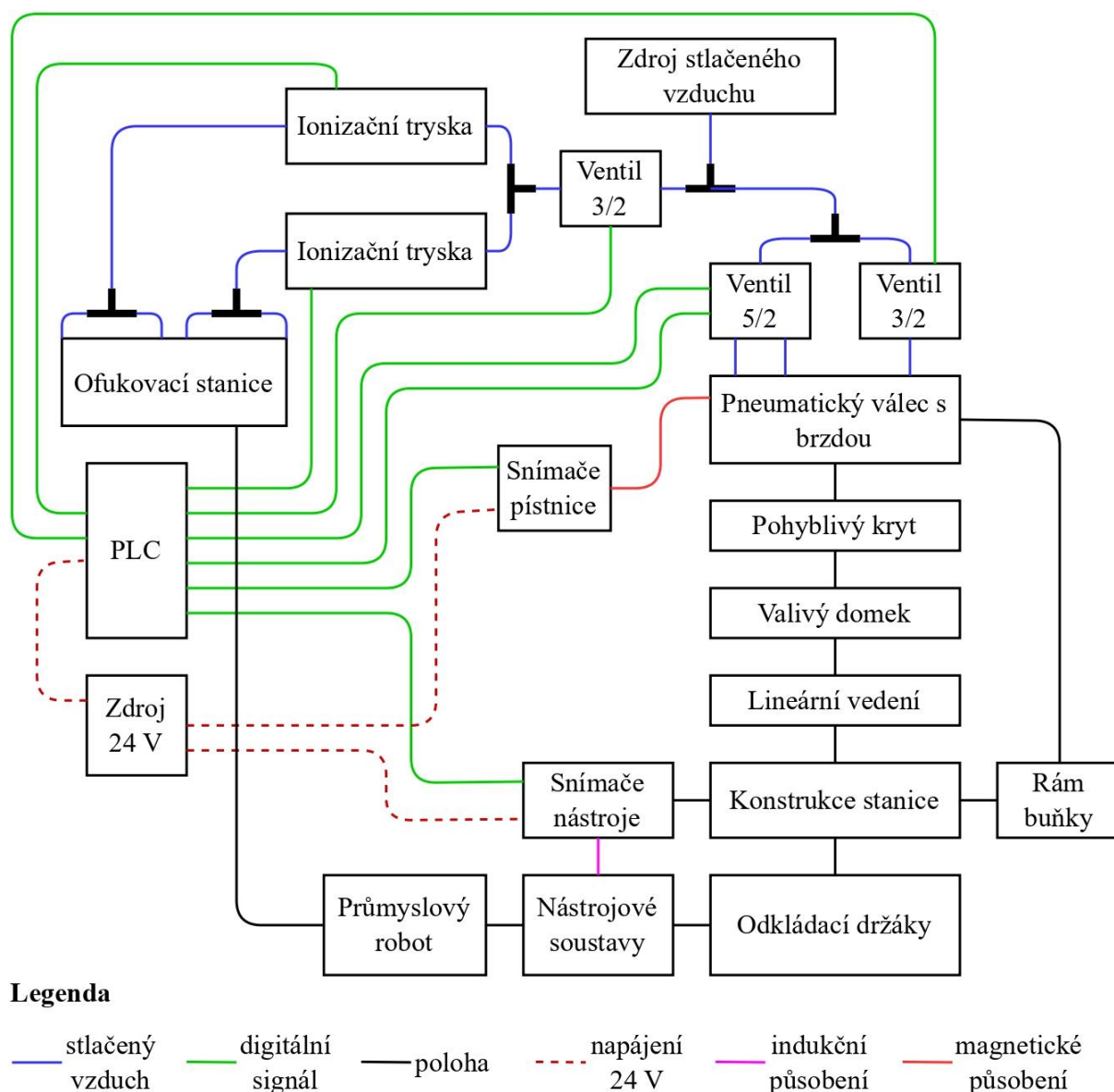
Obr. 97 Popis cyklu ruční výměny nástroje ve stanici



## 7.2 Blokový diagram stanice a jejich periferií

Blokový diagram, viz obr. 98, popisuje vazby mezi jednotlivými částmi výměnné stanice a čistící stanice. Kvůli přehlednosti byly některé prvky výměnné stanice, kterých se v konstrukci stanice vyskytuje větší množství, zobrazeny jako jeden blok. Těmito prvky jsou například odkládací držáky či snímače přítomnosti nástroje. Zároveň do diagramu nebyly z důvodu větší přehlednosti zahrnuty spojovací prvky. Průmyslový robot a obráběcí vřeteno nejsou kromě nástrojových jednotek v přímém kontaktu s žádnou částí výměnné či čistící stanice. Z toho důvodu také nebyly zahrnuty.

Mezi prvky jsou znázorněny i vazby, kterými jsou například propojení vodičem, jímž prochází elektrický proud či indukční působení mezi snímači přítomnosti nástroje a nástrojovými jednotkami. Jelikož není součástí výměnné či čistící stanice žádný významný zdroj tepla, není zahrnuto tepelné působení na okolí. Všechny vazby jsou rozlišeny buď barevně či typem čáry. Součástí diagramu je i legenda jednotlivých vazeb.



Obr. 98 Blokový diagram výměnné stanice a periferií



## 7.3 Legislativní požadavky

V této kapitole bude výčet evropských směrnic a harmonizovaných norem, kterými je nutné se držet při posuzování rizika navrženého zařízení.

### 7.3.1 Evropské směrnice a nařízení vlády

#### Evropská směrnice 2006/42/ES

- Tato směrnice definuje obecné základní požadavky na ochranu zdraví a na bezpečnost.

#### Evropská směrnice 2014/35/EU

- Tato směrnice se věnuje harmonizaci právních předpisů týkajících se elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí

#### Evropská směrnice 2014/30/EU

- Tato směrnice se věnuje harmonizaci právních předpisů týkajících se elektromagnetické kompatibility

### 7.3.2 Harmonizované normy

#### Normy typu A

Normy typu A upřesňují základní pojmy, terminologii a zásady navrhování, které se vztahují na všechny kategorie strojních zařízení.

ČSN EN ISO 12100:2011

*Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika*

#### Normy typu B

Normy typu B se zabývají zvláštními aspekty bezpečnosti strojních zařízení nebo zvláštními druhy ochranných opatření, jež lze použít u celé škály kategorií strojních zařízení.

ČSN EN ISO 4414:2011

*Pneumatika - Všeobecná pravidla a bezpečnostní požadavky na pneumatické systémy a jejich součásti*

ČSN EN ISO 13855:2010

*Bezpečnost strojních zařízení - Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla*

ČSN EN ISO 13849-1:2017

*Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Obecné zásady pro konstrukci*

ČSN EN ISO 14119:2010

*Bezpečnost strojních zařízení - Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty - Zásady pro konstrukci a volbu*

#### Normy typu C

Normy typu C poskytují specifikace pro danou kategorii strojních zařízení. Pro navržené zařízení nebylo možno dohledat příslušné harmonizované normy skupiny C.

## 7.4 Způsob hodnocení rizika

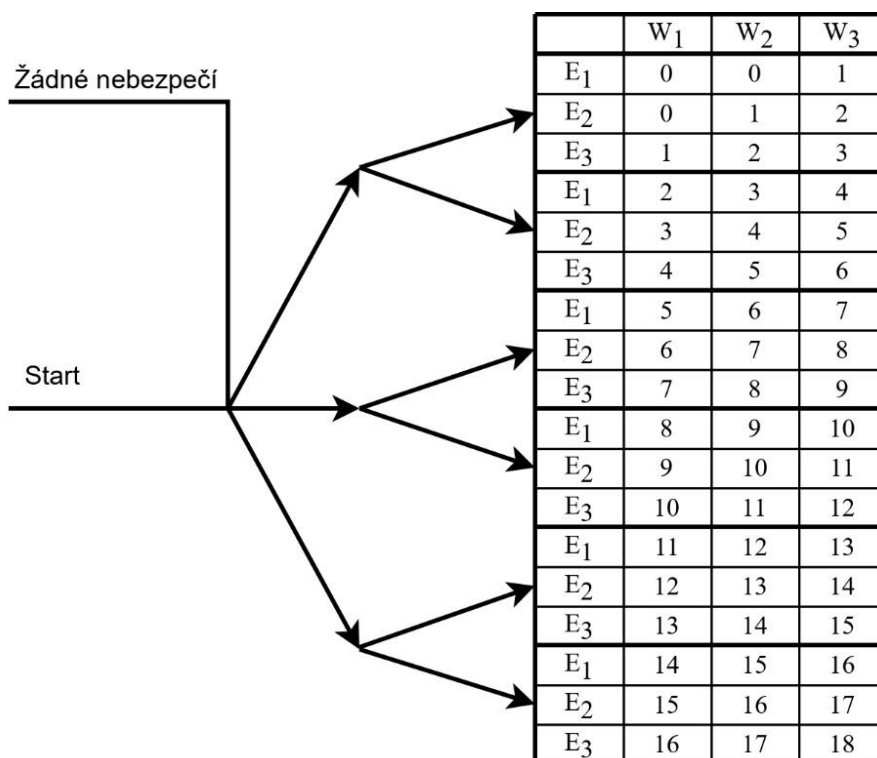
Pro stanovení velikosti a závažnosti rizik odhalených nebezpečí, se vychází z pravděpodobnosti výskytu škody a závažnosti této škodné události. K popisu závažnosti škodné události se používá následující hodnocení, viz tab. 12.

Tab. 12 Kritéria pro hodnocení rizika

Rozsah škody		Doba pobytu v oblasti nebezpečí		Možnost rozpoznání a vyvarování se nebezpečí		Pravděpodobnost výskytu události	
<b>S0</b>	žádné nebezpečí	<b>A1</b>	zřídka až častěji	<b>E1</b>	možné	<b>W1</b>	malá
<b>S1</b>	lehká poškození	<b>A2</b>	často až trvale	<b>E2</b>	možné za určitých okolností	<b>W2</b>	střední
<b>S2</b>	těžké zranění			<b>E3</b>	sotva možné	<b>W3</b>	velká
<b>S3</b>	smrt						

Z obr. 99, který slouží pro odhad velikosti rizika, může výsledná výše rizika dosahovat velikosti od 0 do 18. Pro posouzení velikosti rizika je zapotřebí nejprve rozhodnout, jakou velikost rizika je možné připustit a jakou už nikoliv. Zvolený systém rozděluje rizika podle velikosti do následujících tří kategorií:

- Akceptovatelné zbytkové riziko (číslíce 0-4)
- Riziko akceptovatelné po prověření (číslíce 5-6)
- Neakceptovatelné riziko (číslíce 7-18)



Obr. 99 Graf pro odhad velikosti rizika

## 7.5 Identifikace relevantních nebezpečí

Na základě blokového diagramu výrobního zařízení budou identifikována všechna relevantní nebezpečí, která budou následně přiřazena jednotlivým částem výměnné a čistící stanice a jejich poloze ve výrobním systému. Kromě samotných částí obou stanic budou uvažována i nebezpečí spojená s nástrojovými jednotkami v zásobníku nástrojů. I přes nízké riziko některých nebezpečí, je nutné vždy identifikovat všechna nebezpečí. Identifikovaná nebezpečí jsou zaznamenána v tab. 13.

Tab. 13 Identifikace relevantních nebezpečí

Název komponenty v systému	Poloha komponenty v systému	Typ nebezpečí dle normy ČSN EN ISO 12100	Id. č. dle normy ČSN EN ISO 12100
Rám výměnné stanice s lineárním vedením	Pracovní prostor	Mechanická nebezpečí, Ergonomické nebezpečí	1.1, 1.3, 1.4, 1.7, 1.8, 8.1, 8.2
Pohyblivý kryt s valivými domky	Pracovní prostor	Mechanická nebezpečí	1.1, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8
Pneumatický válec	Pracovní prostor	Nebezpečí hluku	4.1, 4.3
Pneumatické ventily	Okolí zařízení	Nebezpečí hluku,	4.2, 4.3
Tvarový plech	Prostor zásobníku	Elektrická nebezpečí, Ergonomická nebezpečí	1.3, 1.4
Odkládací držáky	Prostor zásobníku	Mechanická nebezpečí, Ergonomická nebezpečí	1.3, 1.4, 8.1
Nástrojová jednotka	Prostor zásobníku	Mechanická nebezpečí, Tepelná nebezpečí	1.3, 1.4, 3.1
Snímače přítomnosti nástroje	Prostor zásobníku	Elektrická nebezpečí	2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6
Snímače polohy pístitice válce	Pracovní prostor	Elektrická nebezpečí	2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6
Rám čistící stanice	Prostor zásobníku	Mechanická nebezpečí	1.3, 1.4
Ionizační tryska	Prostor zásobníku	Elektrická nebezpečí, Nebezpečí záření, Nebezpečí látek	2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 6.1, 7.1, 7.2
Ofukovací tryska	Pracovní prostor	Mechanická nebezpečí Nebezpečí hluku	1.2, 1.4, 4.2

## 7.6 Identifikace významného nebezpečí

U všech identifikovaných významných nebezpečí je nutné stanovit jejich riziko. Riziko bude stanoveno na základě zmíněného systému. Všechna významná nebezpečí a jejich hodnocení jsou zaznamenána v tab. 14.

Tab. 14 Identifikace významných nebezpečí

Číslo	Popis nebezpečí	Prvky rizika				Velikost poč. rizika
		S	A	E	W	
<b>1. Mechanická nebezpečí</b>						
1.1	Nebezpečí stlačení při pohybu krytu	3	2	2	2	16
1.2	Nebezpečí vymrštění při tlaku vzduchu	1	1	2	1	3
1.3	Nebezpečí pořezání o ostré hrany	2	2	2	2	10
1.4	Nebezpečí odření o ostré hrany	2	2	2	2	10
1.5	Nebezpečí odření při pohybu krytu	2	2	2	2	10
1.6	Nebezpečí naražení při pohybu krytu	2	2	2	2	10
1.7	Nebezpečí stříhu při pohybu krytu	2	2	2	2	10
1.8	Nebezpečí udušení při pohybu krytu	2	2	2	2	10
<b>2. Elektrická nebezpečí</b>						
2.1	Nebezpečí smrti elektrickým proudem částmi stroje, které se staly živými při závadě	3	2	2	1	15
2.2	Nebezpečí smrti elektrickým proudem při dotyku živých částí stroje	3	2	2	1	15
2.3	Nebezpečí požáru kvůli zkratu	3	1	1	1	11
2.4	Nebezpečí popálení při zkratu	2	1	2	1	6
2.5	Nebezpečí popálení elektrostatickými jevy	1	1	1	1	0
2.6	Nebezpečí elektromagnetického působení	1	1	1	1	0
<b>3. Tepelná nebezpečí</b>						
3.1	Nebezpečí popálení při kontaktu s nahřátou částí nástrojové jednotky	1	1	2	1	3

<b>4. Nebezpečí hluku</b>						
4.1	Nebezpečí nepohodlí z důvodu hluku pohybující se pístnice válce	1	2	3	3	6
4.2	Nebezpečí nepohodlí z důvodu hluku při úniku vzduchu z výfuků	1	2	3	3	6
4.3	Nebezpečí hučení v uších při nekontrolovaném úniku stlačeného vzduchu	1	2	1	2	3
<b>5. Nebezpečí vibrací</b>						
Nebezpečí této skupiny je pro zhodnocení analýzy irelevantní						
<b>6. Nebezpečí záření</b>						
6.1	Nebezpečí bolesti hlavy a nespavosti v důsledku vystavení elektromagnetickému záření	1	2	2	2	4
<b>7. Nebezpečí materiálu/látek</b>						
7.1	Nebezpečí dýchacích potíží při vdechnutí ozonu	1	2	3	3	6
7.2	Poškození zraku při vystavení ozonu	1	2	3	3	6
<b>8. Ergonomická nebezpečí</b>						
8.1	Nebezpečí nepohodlí z důvodu konstrukce stroje	1	2	2	3	5
8.2	Nebezpečí svalově kosterního poškození při manipulaci se strojem	2	1	2	1	6
<b>9. Nebezpečí spojená s prostředím, ve kterém je stroj používán</b>						
9.1	Nebezpečí uklouznutí a pádu z důvodu nečistot z obrábění	2	1	1	1	5
<b>10. Kombinace nebezpečí</b>						
Nebezpečí této skupiny je pro zhodnocení analýzy irelevantní						

## 7.7 Analýza významných nebezpečí

V rámci analýzy nebezpečí výrobního stroje se uvažují všechna nebezpečí v rámci celého životního cyklu. Nalezená nebezpečí je tedy nutné přiřadit k jednotlivým fázím životního cyklu stroje, viz tab. 15.

Tab. 15 Analýza významných nebezpečí

<b>ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ</b>			<b>Popis nebezpečné události:</b>
<b>Během přepravy, montáže, instalace a provozu</b>			
<b>Fáze životního cyklu</b>	<b>Typ nebezpečí (dle ČSN EN ISO 12100)</b>		
	<b>Stručný popis</b>	<b>Číselné označení</b>	
Doprava, přeprava, vykládání	pořezání, odření	1.3, 1.4	Při přepravě stroje a manipulaci s ním hrozí pořezání a odření o ostré hrany.
Montáž a instalace	pořezání, odření	1.3, 1.4	Při montáži a instalaci stroje hrozí pořezání a odření o ostré hrany.
Provozní činnost	pořezání, odření	1.3, 1.4	Při užívání stroje hrozí pořezání a odření o ostré hrany.
	naražení, odření	1.5, 1.6	Při pohybu krytu hrozí naražení a odření o pohyblivé části.
	stříh, stlačení, udušení	1.1, 1.7, 1.8	Při pohybu krytu hrozí do dolní polohy hrozí stříh, stlačení či udušení.
	vymrštění	1.2	Při ofuku nástrojové jednotky hrozí vymrštění částic působením síly proudu stlačeného vzduchu.
	popálení, požár	2.3, 2.4, 2.5, 3.1,	Při zkratu hrozí vznik požáru a popálení. Hrozí popálení elektrostatickými vlivy. Při manipulaci s nástrojovou jednotkou ihned po obrábění hrozí popálení.
	úraz elektr. proudem	2.1, 2.2	Hrozí smrt elektrickým proudem při kontaktu živých částí nebo částí které se staly živými při poruše.



	elektromag. nebezpečí	2.6	Z důvodu působení vysokofrekvenčního elektromagnetického pole hrozí poškození strojního zařízení případně elektrického zařízení v těle člověka.
	hluk, záření, materiály, ergonomie, prostředí	4.1, 4.2, 4.3, 6.1, 7.1, 7.2, 8.1, 8.2, 9.1	Hrozí nepohodlí a hučení v uších v důsledku opakujícího se pohybu pístnice, úniku vzduchu z výfuku a nekontrolovatelnému úniku vzduchu. Hrozí bolest hlavy v důsledku vystavení elektromagnetickému záření. Při vystavení člověka ozonu z ionizační trysky hrozí poškození dýchacích cest a zraku. Při užívání stroje hrozí riziko nepohodlí z důvodu nevhodné ergonomie. Při užívání stroje hrozí nebezpečí uklouznutí a pádu z důvodu prachových nečistot v obráběcí buňce.
Čištění a údržbové činnosti	pořezání, odření	1.3, 1.4	Při údržbové činnosti stroje hrozí pořezání a odření o ostré hrany.
	naražení, odření	1.5, 1.6	Při pohybu krytu hrozí naražení a odření o pohyblivé části.
	stříh, stlačení, udušení	1.1, 1.7, 1.8	Při pohybu krytu do dolní polohy hrozí stříh, stlačení či udušení.
	úraz elektr. proudem	2.1, 2.2	Hrozí smrt elektrickým proudem při kontaktu živých částí nebo částí které se staly živými při poruše.
Vyřazení z provozu a demontáž	pořezání, odření	1.3, 1.4	Při vyřazení z provozu a demontáži stroje hrozí pořezání a odření o ostré hrany.
	ergonom. bezpečí	8.2	Při manipulaci se strojem hrozí nebezpečí svalově kosterního poškození.



## 8 ZHODNOCENÍ ŘEŠENÍ A DISKUZE

Při návrhu řešení automatické výměny byl kladen důraz na splnění požadavků ústavu, a to jak konstrukčně, tak po stránce navrženého software. Při analýze parametrů navrženého řešení výměnné stanice je patrné, že zásobník výměnné stanice nedosahuje v porovnání s obráběcími centry vysoké kapacity. I přesto splňuje požadavky ústavu na kapacitu zásobníku a maximální rozměr nástroje, které byly během návrhu konzultovány. Dalším důležitým požadavkem byla schopnost navrženého řešení dostatečně ochránit upínací plochy nástrojových držáků před prachovými nečistotami. Dle návrhu by mělo krytování a použití těsnící prvků pohyblivých částí zajistit dostatečné zatěsnění prostoru s nástroji.

Aby nedocházelo ke kontaminaci nečistotami i při samotném procesu výměny, bylo zvolené řešení výměnné stanice doplněno o čisticí stanici. Vzhledem ke zkušenostem s odstraňováním staticky nabitých prachových nečistot, byla čisticí stanice vybavena ionizačními tryskami pro ofuk ionizovaným vzduchem. Množství trysek a jejich rozvedení bylo konzultováno přímo s výrobcem. Sám výrobce však připustil, že skutečné množství trysek by bylo nutné otestovat při realizaci. Obdobně by bylo nutné ověřit již zmíněné zatěsnění včetně volby nekrytého lineárního vedení při využití oboustranně zatěsněného valivého domku.

Navržená ergonomie obou stanic vzhledem k robotu by neměla způsobit žádné chybové stavy, kterými jsou například chyby konfigurace, nedostatečný dosah či singulární polohy. Zároveň byla při jejich návrhu a umístění snaha o minimalizaci omezení pracovního prostoru robotu. Zvolená sensorika, pneumatika a jejich zapojení by měly zajistit spolehlivý automatický chod. Kromě toho by zvolené prvky měly zajistit bezpečnost obsluhy při ruční výměnné nástrojů ve stanici, a to především vzhledem k pohyblivému krytu s pneumatickým pohonem.

Navržené zapojení elektroniky by mělo splňovat základní pravidla tvorby elektrických obvodů. Volba konkrétních elektrických prvků, jakou jsou kabely, svorkovnice a návrh layoutu celého rozvaděče nebyly provedeny z toho důvodu, že v budoucnu je plánována výměna skříně rozvaděče za větší včetně výměny užívaného měniče.

Vytvořené funkční bloky byly navrženy v souladu s aktuálním programem pro řízení celého pracoviště. Součástí navržených funkčních bloků je kromě řízení výměny i potřebná diagnostika a indikace chybových stavů. Narozdíl od stávajícího řízení buňky nebylo při tvorbě software využito vlastních funkcí a uživatelských datových typů. Tato volba je dána především preferencí autora. Použití struktury stavového automatu a popis celého programu obou navržených funkčních bloků by však měly zajistit dostatečnou přehlednost programu a usnadnit možnou budoucí optimalizaci.

HMI bylo převzato ze stávajícího řízení a bylo doplněno o nová tlačítka umožňující volbu obsluhy a indikátory pro indikaci chybových stavů spojených s automatickou výměnou. Při úpravě HMI byla snaha o zajištění přehlednosti obrazovky. Funkčnost navržených bloků byla otestována pomocí PLC-SIM. Tímto způsobem bylo možné otestovat pouze základní funkčnost. Pro kompletní simulační ověření by bylo nutné provést digitální zprovoznění celého systému.

Na závěr bylo vytvořeno bezpečnostní posouzení navržené stanice. Při posouzení byl uvažován pouze stav ruční výměny nástroje ve stanici obsluhou. Všechna nalezená nebezpečí byla popsána a přehledně přiřazena jednotlivým částem zařízení a fázím životního cyklu. Součástí posouzení nebylo zpracování opatření pro snížení rizik jednotlivých nebezpečí.



## 9 ZÁVĚR

Tématem této diplomové práce byl návrh stanice pro automatickou výměnu nástroje pro robotické obrábění u robotického pracoviště UVSSR CELL. Toto pracoviště se nachází v laboratořích Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky FSI VUT. V úvodní teoretické části byla popsána technologie robotického obrábění. Poté byl detailněji rozebrán systém pro automatickou výměnu nástroje. Následoval popis podstatných částí obráběcí buňky řešeného pracoviště. Další kapitolou byl systémový rozbor. V něm byla detailně rozebrána daná problematika, včetně grafického znázornění systému podstatných veličin.

V následující kapitole byly vytvořeny 3 návrhy stanice pro automatickou výměnu. Všechny návrhy byly detailně popsány včetně výhod a nevýhod konkrétního řešení. Poté byla zvolena podstatná technická a ekonomická kritéria, umožňující volbu nejvhodnějšího řešení. Všechny navržené varianty řešení byly ohodnoceny v rámci zvolených kritérií. Po zvolení vah jednotlivých kritérií byla bodovací metodou vypočtena pořadí variant. Na základě pořadí variant byla zvolena nejvhodnější varianta řešení.

Zvolený návrh je následně detailně zpracován po konstrukční stránce. Součástí konstrukce je volba potřebné pneumatiky a senzory. Vzhledem k požadavkům ústavu je navržena i periferie automatické výměny. V tomto případě se jedná o čisticí stanici určenou pro čištění nástroje a koncové části efektoru před automatickou výměnou. Vzhledem k charakteru obráběných materiálů je čisticí stanice vybavena ionizační tryskou umožňující ofuk ionizovaným vzduchem. Všechna řešení v konstrukci obou stanic byla při jejich návrhu zdůvodněna. Detailní výkresová dokumentace obou stanic je součástí přílohy.

Po zpracování konstrukce je navrženo zapojení elektroniky obou stanic. Součástí návrhu jsou i úpravy ve stávajícím elektrickém rozvaděči. Všechny důležité prvky zapojení jsou v kapitole blíže popsány. Detailní schémata zapojení elektroniky zpracované v programu Eplan jsou součástí přílohy.

V další kapitole jsou v programu TIA Portal navrženy funkční bloky pro řízení cyklu automatické výměny nástroje robotem a ruční výměny nástroje ve stanici. Součástí návrhu je i popis řízení vybraných zařízení a potřebných digitálních signálů. Struktura obou navržených bloků je popsána jak slovně, tak pomocí přiložených vývojových diagramů. Následuje popis úpravy stávajícího HMI, které bylo doplněno o nová tlačítka potřebná pro řízení cyklu výměny a nové indikace chybových stavů. Základní funkčnost navržených bloků byla poté otestována přímo v TIA Portal.

Na závěr je zpracováno bezpečnostní posouzení navrženého řešení. V rámci provozních činností byla uvažována pouze ruční výměna nástroje ve stanici. V úvodu posouzení je detailně popsán cyklus ruční výměny obsluhou a jednotlivé prvky obou stanic, včetně vazeb mezi nimi. Poté byly shrnuty legislativní požadavky, které se vztahují na navržené zařízení. Následovalo nalezení všech podstatných nebezpečí. Všechna nalezená nebezpečí byla popsána a přehledně přiřazena jednotlivým částem zařízení a fázím jeho životního cyklu. Součástí posouzení nebylo zpracování opatření pro snížení rizik jednotlivých nebezpečí.





## 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BLUMENBECKER.COM. *Robotické obrábění*. online. In: BLUMENBECKER.COM. Dostupné z: <https://www.blumenbecker.com/cz/prumyslova-automatizace/prumyslove-roboty/roboticke-obraheni>. [cit. 2023-10-01].
- [2] FAIRCHILD, Mark. *Top Industries Using Robots*. online. In: HOWTOROBOT. 2021. Dostupné z: <https://howtorobot.com/expert-insight/top-industries-using-robots>. [cit. 2023-10-01].
- [3] MACHINE ROBOTICS. *Robotické obrábění*. online. In: . Dostupné z: [https://machinerobotics.cz/prumyslova\\_roboticka\\_ramena/roboticke-obraheni](https://machinerobotics.cz/prumyslova_roboticka_ramena/roboticke-obraheni). [cit. 2023-10-02].
- [4] KUKA. *Milling*. online. In: . Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-us/products/process-technologies/milling>. [cit. 2023-11-18].
- [5] MAREK, Jiří. *Stavba a provoz CNC obráběcích strojů*. MM Publishing, 2023. ISBN 978-80-907452-3-0.
- [6] WIELAND, Thomas. *Machine Tool 2.0: Milling with Robots*. online. In: . 2015. Dostupné z: <https://www.fabricatingandmetalworking.com/2015/10/machine-tool-2-0-milling-with-robots/>. [cit. 2023-10-02].
- [7] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0*. IV.0. Praha: MM publishing, s.r.o, 2018. ISBN 978-80-906310-8-3.
- [8] BIG KAISER. *MEGA E Chuck BBT*. online. In: . Dostupné z: <https://www.bigkaiser.eu/en/products/tool-holders/collet-chucks/mega-e-chuck/100004.html>. [cit. 2023-10-03].
- [9] MEUSBURGER. *Tool holder - overview of the most important connections*. online. In: . Dostupné z: <https://www.meusburger.com/ZH/CN/transfer-dies/tool-holder-standards-transfer%20dies>. [cit. 2023-10-06].
- [10] SANDVIK COROMANT. *How to choose a machine spindle*. online. In: . Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/machine-tooling-solutions/tooling-considerations/spindle-selection>. [cit. 2023-10-05].
- [11] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha: MM Publishing, 2006.
- [12] CNC NEW. *Power tool turrets*. online. In: . Dostupné z: <https://www.cncnew.com/products/c327-power-tool-turrets/>. [cit. 2024-01-27].
- [13] MACHINETOOL. *40-tool magazine*. online. In: . Dostupné z: <https://machinetool.global.brother/en-ap/rxd1/feature/index.aspx>. [cit. 2024-01-25].
- [14] BALLUFF. *Tool Identification and Workpiece Tracking*. online. In: . Dostupné z: [https://assets.balluff.com/WebBinary1/DRW\\_930962\\_00\\_000.pdf](https://assets.balluff.com/WebBinary1/DRW_930962_00_000.pdf). [cit. 2024-02-18].

- [15] RENISHAW. *OTS Kompaktní 3D doteková nástrojová sonda*. online. In: . Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/ots-kompaktni-3d-dotekova-nastrojova-sonda--6783>. [cit. 2024-02-18].
- [16] RENISHAW. *Vysoce přesné laserové systémy ustavování nástrojů*. online. In: . Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/vysoce-presne-laserove-systemy-ustavovani-nastroju--6099>. [cit. 2024-02-18].
- [17] HITECO. *QD-1F 4/12 24 I30*. online. In: . Dostupné z: <https://www.hiteco.net/en/products/electrospindles-a.t.c.c8190/powertech-210-series-4-kw.9514/qd-1f-4-12-24-i30.100148>. [cit. 2024-02-05].
- [18] RS-ONLINE. *PLC procesor řada SIMATIC S7-1200*. online. In: . Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/p/plc-programovatelne-logicke-kontrolery/8624461>. [cit. 2024-02-20].
- [19] ADEGIS. *SKB3400037 Control Techniques Commander SK*. online. In: . Dostupné z: [https://shop.adegis.com/product/skb3400037-control-techniques-commander-sk?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwnv-vBhBdEiwABCYQA96gOdLQCcsY0cMRprfnJqS354oD9d3fVV1jhP95011PdaFXfHCXuhoCjJkQAvD\\_BwE](https://shop.adegis.com/product/skb3400037-control-techniques-commander-sk?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwnv-vBhBdEiwABCYQA96gOdLQCcsY0cMRprfnJqS354oD9d3fVV1jhP95011PdaFXfHCXuhoCjJkQAvD_BwE). [cit. 2024-03-24].
- [20] BAKERS PATTERNS LIMITED. *Polyurethane Foam Milling*. online. In: . Dostupné z: <https://www.bakerspatterns.co.uk/services/polyurethane-foam-milling/>. [cit. 2024-02-20].
- [21] KORVINY, Petr. *Teoretické základy vicekriteriálního rozhodování*. online. In: . Dostupné z: [https://korviny.cz/Korviny/soubory/teorie\\_mca.pdf](https://korviny.cz/Korviny/soubory/teorie_mca.pdf). [cit. 2023-12-26].
- [22] MISUMI. *SC Series Linear Bushing*. online. In: . Dostupné z: <https://th.misumi-ec.com/en/vona2/detail/221005476085/?HissuCode=SC20UU>. [cit. 2024-02-10].
- [23] DOLD MECHATRONIK. *Strip brush groove 10*. online. In: . Dostupné z: <https://www.dold-mechatronik.de/Strip-brush-groove-10-plastic-fiber-height-40mm-ESD-1-piece-1m>. [cit. 2024-01-20].
- [24] TOLOMATIC. *A technical comparison: Performance of pneumatic cylinders and electric rod actuators*. online. In: . Dostupné z: <https://www.tolomatic.com/info-center/resource-details/a-technical-comparison-performance-of-pneumatic-cylinders-and-electric-rod-actuators/>. [cit. 2024-01-27].
- [25] FESTO. *Válce dle norem s vložkou brzdy DSBC-C*. online. In: . Dostupné z: [https://www.festo.com/cz/cs/p/valce-dle-norem-s-vlozkou-brzdy-id\\_DSBC\\_C\\_PUB/](https://www.festo.com/cz/cs/p/valce-dle-norem-s-vlozkou-brzdy-id_DSBC_C_PUB/). [cit. 2024-02-08].
- [26] FESTO. *FK-M8*. online. In: . Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/a/2062/?q=2062%7E%3AfestoSortOrderScored>. [cit. 2024-01-28].
- [27] FESTO. *Elektromagnetický ventil VUVS-L25-P53C-MZD-G14-F8-1B2*. online. In: . Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/a/575528/?q=VUVS-L25-P53C-MZD-G14-F8-1B2%7E%3AfestoSortOrderScored>. [cit. 2024-01-28].

- [28] FESTO. *Elektromagnetický ventil VUVS-L25-M32U-MZD-G14-F8-1B2*. online. In: . Dostupné z: [https://www.festo.com/cz/cs/a/575497/?q=%7E%3AsortByCoreRangeAndSp2020%7E%3ACC\\_Valve\\_function\\_C\\_FP\\_GLOBAL%7E%3ACC\\_Valve\\_function.M32U%7E%3ACC\\_PRESEL\\_EBVENT\\_MYCHAR\\_5655\\_03\\_C\\_FP\\_GLOBAL%7E%3ACC\\_PRESEL\\_EBVENT\\_MYCHAR\\_5655\\_03.24V%2520DC%7E%3ACC\\_Reset\\_method\\_for\\_monostable\\_valves\\_C\\_FP\\_GLOBAL%7E%3ACC\\_Reset\\_method\\_for\\_monostable\\_valves.M%7E%3ACC\\_Pneumatic\\_connection\\_C\\_FP\\_GLOBAL%7E%3ACC\\_Pneumatic\\_connection.G14%7E%3ACC\\_Construction\\_principle\\_C\\_FP\\_GLOBAL%7E%3ACC\\_Construction\\_principle..](https://www.festo.com/cz/cs/a/575497/?q=%7E%3AsortByCoreRangeAndSp2020%7E%3ACC_Valve_function_C_FP_GLOBAL%7E%3ACC_Valve_function.M32U%7E%3ACC_PRESEL_EBVENT_MYCHAR_5655_03_C_FP_GLOBAL%7E%3ACC_PRESEL_EBVENT_MYCHAR_5655_03.24V%2520DC%7E%3ACC_Reset_method_for_monostable_valves_C_FP_GLOBAL%7E%3ACC_Reset_method_for_monostable_valves.M%7E%3ACC_Pneumatic_connection_C_FP_GLOBAL%7E%3ACC_Pneumatic_connection.G14%7E%3ACC_Construction_principle_C_FP_GLOBAL%7E%3ACC_Construction_principle..) [cit. 2024-02-13].
- [29] FESTO. *GRLA-1/8-QS-8-D*. online. In: . Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/a/193145/?q=%7E%3AsortByCoreRangeAndSp2020>. [cit. 2024-01-28].
- [30] FESTO. *Šroubení s nástrčnou koncovkou QS-G1/4-8*. online. In: . Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/a/186099/?q=QS-G1%2F4-8%7E%3AfestosortOrderScored>. [cit. 2024-02-15].
- [31] FESTO. *Tlumič hluku U-1/4*. online. In: . Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/a/2316/>. [cit. 2024-02-15].
- [32] TME. *ICB30S35F22PCM1CARLO GAVAZZI*. online. In: . Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/icb30s35f22pcm1/indukcni-cidla-valcova-dc/carlo-gavazzi/>. [cit. 2024-02-15].
- [33] FESTO. *Přibližovací čidlo SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M12*. online. In: . Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/a/574337/?q=574337%7E%3AfestosortOrderScored>. [cit. 2024-01-31].
- [34] SMC. *Ionizers*. online. In: . Dostupné z: <https://www.smc.eu/en-ce/products/featured-products/ionizers>. [cit. 2024-02-20].
- [35] SMC. *KAL, Nástrčná spojka, antistatické provedení*. online. In: . Dostupné z: [https://www.smc.eu/cs-cz/produkty-a-podpora/kal-uhlova-spojka-s-vnejsim-zavitem~37241~cfg?select\\_PS\\_FITTING\\_APPLICATIONS=Antistatic&partNumber=KAL04-U01#&select\\_PS\\_FITTING\\_APPLICATIONS\[\]=Antistatic](https://www.smc.eu/cs-cz/produkty-a-podpora/kal-uhlova-spojka-s-vnejsim-zavitem~37241~cfg?select_PS_FITTING_APPLICATIONS=Antistatic&partNumber=KAL04-U01#&select_PS_FITTING_APPLICATIONS[]=Antistatic). [cit. 2024-02-21].
- [36] SMC. *KAU-00, Nástrčná spojka, antistatické provedení, U jednoznačná*. online. In: . Dostupné z: <https://www.smc.eu/cs-cz/produkty-a-podpora/kau-00-u-spojka-jednoznacna~37245~cfg>. [cit. 2024-02-21].
- [37] SMC. *Circular diffusion nozzle*. online. In: . Dostupné z: [https://static.smc.eu/pdf/IZN10E-B\\_EU.pdf](https://static.smc.eu/pdf/IZN10E-B_EU.pdf). [cit. 2024-02-21].
- [38] PALMAT S. R. O. *Objímka na VZT potrubí držák s gumou dvoušroubový 150 mm*. online. In: . Dostupné z: <https://www.vzduchotechnika-ventilatory.cz/objimka-na-vzt-potrubni-drzak-s-gumou-dvousroubovy-150-mm/>. [cit. 2024-02-25].



# 11 SEZNAM ZKRATEK, OBRÁZKŮ TABULEK A SYMBOLŮ

## 11.1 Seznam zkratek

VUT	Vysoké učení technické
FSI	Fakulta strojního inženýrství
PLC	Programmable logic controller
HMI	Human Machine Interface
RFID	Radio - frequency identification
ISO	International Organization for Standardization
PVC	Polyvinylchlorid
DC	Direct current
I/O	Input/output
PNP	Positive, negative, positive
NO	Normally open
SCL	Structured Control Language
BOOL	Boolean
ČSN	České technické normy
EN	European Standards
EU	European Union

## 11.2 Seznam obrázků

Obr. 1 Frézování pomocí průmyslového robotu [4] .....	19
Obr. 2 Základní nástrojová soustava [8].....	20
Obr. 3 Ustavení a upnutí nástrojové soustavy ve vřetení .....	21
Obr. 4 Nosný zásobník nástrojů [12].....	22
Obr. 5 Zásobník nástrojových jednotek [13].....	23
Obr. 6 Manipulace s nástrojovou jednotkou pomocí manipulátoru [14].....	23
Obr. 7 Identifikace nástrojové jednotky [14].....	24
Obr. 8 Dotyková nástrojová sonda [15].....	24
Obr. 9 Bezkontaktní nástrojová sonda [16] .....	24
Obr. 10 Robotické pracoviště UVSSR CELL .....	25
Obr. 11 Uspořádání UVSSR CELL.....	25
Obr. 12 Užívaný průmyslový robot ABB IRB 4400/60.....	26
Obr. 13 Frézovací vřeteno Hiteco a automatická výměna efektoru [17].....	26
Obr. 14 PLC Simatics S7 1200 [18] .....	27

Obr. 15 Frekvenční měnič výrobce Emerson [19].....	27
Obr. 16 Vedení kabeláže pro vřeteno a automatickou výměnu vřetene .....	27
Obr. 17 Obrábění pěny [20].....	28
Obr. 18 Podstatné systémové veličiny a jejich vazby .....	32
Obr. 19 Jednotné umístění variant pro automatickou výměnu .....	33
Obr. 20 Polymerový odkládací držák pro ISO 30.....	34
Obr. 21 První varianta stanice pro automatickou výměnu.....	34
Obr. 22 Druhá varianta stanice pro automatickou výměnu .....	35
Obr. 23 Otočný stůl DHTG [22] .....	36
Obr. 24 Třetí varianta stanice pro automatickou výměnu.....	36
Obr. 25 Umístění prostoru zásobníku nástrojů z pohledu z vrchu.....	43
Obr. 26 Uchycení odkládacích držáků nástrojů. ....	44
Obr. 27 Profilová konstrukce pro pohyblivý kryt .....	44
Obr. 28 Kalené vodící tyče [24].....	45
Obr. 29 Držák vodících tyčí [25] .....	45
Obr. 30 Kruhové lineární vedení.....	45
Obr. 31 Valivý vozík [22] .....	46
Obr. 32 Úhlová konzola vlastní konstrukce.....	46
Obr. 33 Pohyblivý kryt stanice .....	46
Obr. 34 Těsnící kartáčové lišty [23].....	47
Obr. 35 Zadní rám stanice.....	47
Obr. 36 Válec dle norem s vložkou brzdy DSBC-C Festo [25].....	48
Obr. 37 Pružná spojka FK výrobce Festo [26].....	49
Obr. 38 Zabudování pneumatického pístu .....	49
Obr. 39 Schéma řízení pneumatického pohonu .....	50
Obr. 40 Elektromagnetický 5/3 ventil [27] .....	50
Obr. 41 Elektromagnetický 3/2 ventil [28] .....	50
Obr. 42 Jednosměrný škrťací ventil [29].....	51
Obr. 43 Šroubení s nástrčnou koncovkou [30] .....	51
Obr. 44 Tlumič hluku [31] .....	51
Obr. 45 Zvolený snímač s montážními maticemi [32].....	52
Obr. 46 Bezkontaktní snímače přítomnosti nástroje .....	52
Obr. 47 Přibližovací snímač Festo [33] .....	53
Obr. 48 Montáž snímače do těla válce .....	53
Obr. 49 Umístění najížděcích hrotů na výměnné stanici .....	53
Obr. 50 Sestava najížděcích hrotů na výměnné stanici.....	54
Obr. 51 Ergonomie výměnné stanice pro robot .....	54

Obr. 52 Ionizační tryska SMC IZN10E [34] .....	55
Obr. 53 Vřeteno s tělem stanice z PVC potrubí .....	56
Obr. 54 Tělo stanice se segmenty pro ofukování .....	56
Obr. 55 Rozpad segmentu s tryskou .....	57
Obr. 56 Orientace ofukovací trysky .....	57
Obr. 57 Pneumatické schéma čistící stanice.....	57
Obr. 58 Antistatická úhlová otočná spojka [35] .....	58
Obr. 59 Antistatická U-spojka [36] .....	58
Obr. 60 Ofukovací tryska [37].....	58
Obr. 61 Tvar proudu vzduchu z trysky [37] .....	58
Obr. 62 Otáčení vřetene v ose těla čistící stanice .....	58
Obr. 63 Zabudování čistící stanice do obráběcí buňky .....	59
Obr. 64 Držák potrubí [38].....	59
Obr. 65 Upínací konzole.....	59
Obr. 66 Rozpad hrotu a tištěného dílu .....	60
Obr. 67 Umístění hrotů na čistící stanici .....	60
Obr. 68 Ergonomie čistící stanice pro robot.....	60
Obr. 69 Zjednodušené schéma zapojení napájení .....	61
Obr. 70 Zjednodušené schéma zapojení PLC a I/O modulu .....	61
Obr. 71 Zjednodušené schéma zapojení snímačů výměnné stanice.....	62
Obr. 72 Zjednodušené schéma zapojení cívek ventilů výměnné stanice. ....	62
Obr. 73 Zjednodušené schéma zapojení elektrických prvků výměnné stanice .....	62
Obr. 74 Zapojení vřetene s jeho ventilátorem .....	63
Obr. 75 Zapojení ventilátoru odsávání a ventilu vzduchu do stanice.....	63
Obr. 76 Časový diagram vybraných signálů vřetene.....	65
Obr. 77 Časový diagram signálů ionizační trysky.....	66
Obr. 78 Nejvyšší úroveň funkčního bloku automatické výměny .....	69
Obr. 79 Kontrola konfigurace pro odložení nástroje.....	70
Obr. 80 Kontrola konfigurace pro převzetí nástroje.....	71
Obr. 81 Ukončení kontroly konfigurace a chybové stavy .....	71
Obr. 82 Instrukce robotu a spuštění procesu čištění nástroje .....	72
Obr. 83 Ukončení procesu čištění a chybové stavy.....	72
Obr. 84 Instrukce odložení nástroje a kontrola procesu odložení .....	73
Obr. 85 Uzavření krytu a chybové stavy procesu odložení.....	74
Obr. 86 Instrukce převzetí nástroje a kontrola převzetí.....	75
Obr. 87 Uzavření krytu a chybové stavy procesu převzetí.....	76
Obr. 88 Proces ukončení cyklu automatické výměny .....	76



Obr. 89 Nejvyšší úroveň funkčního bloku automatické výměny.....	78
Obr. 90 Průběh cyklu ruční výměny .....	78
Obr. 91 HMI pro řízení obráběcí buňky .....	79
Obr. 92 Reset tlačítek HMI impulz signálu .....	80
Obr. 93 Definice kontrolky indikace chybového stavu.....	80
Obr. 94 Připojení jednotek PLC.....	81
Obr. 95 Vytvořený Sim Table pro PLC S7 1200.....	81
Obr. 96 Vytvořený Watch table .....	82
Obr. 97 Popis cyklu ruční výměny nástroje ve stanici.....	83
Obr. 98 Blokový diagram výměnné stanice a periferií .....	84
Obr. 99 Graf pro odhad velikosti rizika .....	86

### 11.3 Seznam tabulek

Tab. 1 Jednotlivé části automatické výměny a jejich rozdělení [5] .....	22
Tab. 2 Přehled zvolených podstatných kritérií.....	37
Tab. 3 Hodnocení jednotlivých kritérií .....	38
Tab. 4 Hodnocení jednotlivých kritérií .....	39
Tab. 5 Váhy jednotlivých kritérií .....	40
Tab. 6 Souhrn relativních úrovní .....	42
Tab. 7 Výsledné pořadí variant .....	42
Tab. 8 Vstupní proměnné funkčního bloku automatické výměny .....	67
Tab. 9 Výstupní proměnné funkčního bloku automatické výměny .....	68
Tab. 10 Vstupní a výstupní proměnné funkčního bloku ruční výměny .....	77
Tab. 11 Nová dotyková tlačítka HMI .....	79
Tab. 12 Kritéria pro hodnocení rizika .....	86
Tab. 13 Identifikace relevantních nebezpečí.....	87
Tab. 14 Identifikace významných nebezpečí .....	88
Tab. 15 Analýza významných nebezpečí.....	90

### 11.4 Seznam symbolů

Symbol veličiny	Název veličiny	Jednotka
$v$	Vektor vah kritérií	[-]
$b_i$	Bodové hodnocení	[-]
$I_{ij}$	Index změny	[-]

$H_{j0}$	Základní hodnota i-tého kritéria	[-]
$H_{ij}$	Hodnota i-tého kritéria j-té varianty	[-]
$B_{ij}$	Vážené indexy i-tého kritéria j-té varianty	[-]
$q_i$	Váha i-tého kritéria	[-]
$B_i$	Suma vážených indexů j-té varianty	[-]
$B_{txi}$	Relativní technická úroveň i-té varianty	[-]
$B_{exi}$	Relativní ekonomická úroveň i-té varianty	[-]
$F_{Vmin}$	Minimální potřebná síla pístnice válce	[N]
$F_{V32}$	Síla pístnice zvoleného válce	[N]
$m_k$	Hmotnost pohyblivého krytu	[Kg]
$g$	Tíhové zrychlení	[m • s <sup>-2</sup> ]
$\eta_v$	Účinnost pneumatického válce	[-]
$p$	Tlak stlačeného vzduchu	[bar]
$D_v$	Velký průměr pístnice	[mm]
$d_v$	Malý průměr pístnice	[mm]



## 12 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Výkres sestavy Výměnná stanice (OB - 01 - 00)
- Příloha 2: Výkres sestavy Zásobník nástrojů (OB - 01 - 01 - 00)
- Příloha 3: Výkres součásti Deska zásobníku (OB - 01 - 01 - 01)
- Příloha 4: Výkres součásti Spodní deska zásobníku (OB - 01 - 01 - 02)
- Příloha 5: Výkres sestavy Pohyblivý kryt (OB - 01 - 02 - 00)
- Příloha 6: Výkres součásti Držák domku delší (OB - 01 - 02 - 01)
- Příloha 7: Výkres součásti Držák domku kratší (OB - 01 - 02 - 02)
- Příloha 8: Výkres součásti Podložka držáku vodící tyče (OB - 01 - 03)
- Příloha 9: Výkres součásti Držák válce úhlový (OB - 01 - 04)
- Příloha 10: Výkres součásti Upínací kostka válce (OB - 01 - 05)
- Příloha 11: Výkres sestavy Čistící stanice (OB - 02 - 00)
- Příloha 12: Výkres sestavy Ofukovací modul (OB - 02 - 01 - 00)
- Příloha 13: Výkres součásti Držák rozváděcí kostky tištěný (OB - 02 - 01 - 01)
- Příloha 14: Výkres součásti Rozváděcí kostka (OB - 02 - 01 - 02)
- Příloha 15: Výkres součásti Konzola ofuk (OB - 02 - 02)
- Příloha 16: Elektro dokumentace výměnná a čistící stanice