



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

INOVACE STÁVAJÍCÍHO ŘEŠENÍ PODÁVACÍHO ZAŘÍZENÍ V KONTEXTU AUTOMATIZOVANÉ A ROBOTIZOVANÉ PRACOVNÍ STANICE

INNOVATION OF THE EXISTING FEEDING DEVICE SOLUTION IN THE CONTEXT OF AN AUTOMATED AND
ROBOTIC WORKSTATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radek Porubský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Radek Porubský
Studijní program:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
Akademický rok:	2022/23

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:

Inovace stávajícího řešení podávacího zařízení v kontextu automatizované a robotizované pracovní stanice

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při různých úkonech v průmyslu má zaměstnavatel na výběr lidskou, nebo strojní pracovní sílu. Někteří zaměstnavatelé progresivně žádají výrobu automatizovat, čímž nahrazují člověka v technologickém procesu výroby průmyslovým robotem. Jiným přístupem je zdokonalovat stávající řešení. Zadání DP je řešeno ve spolupráci se společností STROZA s. r. o. v Rožnově pod Radhoštěm.

Cíle diplomové práce:

Cílem je vypracovat upgrade automatizované a robotizované pracovní stanice pro montážvýrobu, který se skládá z několika mechanických komponent. Upgrade znamená navrhnout novou verzi s novými požadavky na změnu původních vibračních podavačů jinými, mající efektivnější podávací systém s kamerou a robotem. Úkolem DP je tedy konstrukční návrh podávacího zařízení a zpracování robotické simulace výrobně–montážního uzlu. DP bude obsahovat:

1. Rešerše v oblasti průmyslových robotů a vibračních zásobníků a podavačů jako periferních zařízení.
2. Systémový rozbor řešené problematiky návrhu koncepce nového řešení robotizovaného pracoviště.
3. Analýza dostupných řešení koncepce a návrh dvou variant.
4. Vyhodnocení variant metodou multikriteriálního hodnocení.
5. Vypracování konstrukční dokumentace vybrané varianty řešení.
6. Riziková analýza navrženého řešení z hlediska bezpečnosti.
7. Cenová kalkulace navrženého řešení.
8. Kritické zhodnocení vlastního návrhu.
9. Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016, 787 stran: ilustrace (převážně barevné), portréty. ISBN 978-80-214-4828-5.

MAREK, J. a kol. Konstrukce CNC obráběcích strojů IV. Čtvrté vydání. Praha: MM publishing, s. r. o., 2018. ISBN- 978-80-606310-8-3.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem nové verze výrobně-montážního uzlu, který je součástí automatizované a robotizované pracovní stanice pro montáž výrobku. Hlavním cílem úprav původního řešení je odstranění problémů stávajícího řešení a aplikace inovací pro zefektivnění pracovního procesu zařízení. Hlavní úpravou původního řešení je náhrada miskových vibračních podavačů v kombinaci s lineárními vibračními podavači flexibilním podávacím systémem s kamerou a robotem. V práci je popsán postup návrhu nového řešení uzlu, které odstraňuje problémy stávajícího řešení a zároveň přichází s novými inovacemi. Vyřešením problémů původního řešení a zavedením inovací je zvýšena spolehlivost, rychlost a plynulost pracovního procesu stroje. Součástí práce je mimo jiné také výkresová dokumentace, analýza rizik a cenová kalkulace.

ABSTRACT

This thesis deals with the design of a new version of the production and assembly node, which is part of an automated and robotized workstation for product assembly. The main objective of modifying the original solution is to eliminate the problems of the existing solution and apply innovations to make the work process of the equipment more efficient. The main modification of the original solution is the replacement of the bowl vibratory feeders in combination with linear vibratory feeders by a flexible feeding system with camera and robot. The paper describes the process of designing a new solution for the node, which eliminates the problems of the existing solution and at the same time comes up with new innovations. By solving the problems of the original solution and introducing the innovations, the reliability, speed and smoothness of the working process of the machine is improved. The work includes, among other things, drawings, risk analysis and costing.

KLÍČOVÁ SLOVA

Flexibilní vibrační podavač, průmyslový robot, montážní robotická operace, strojové vidění, vizuální kontrola

KEYWORDS

Flexible vibrating feeder, industrial robot, assembly robot operation, machine vision, visual inspection

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PORUBSKÝ, Radek. *Inovace stávajícího řešení podávacího zařízení v kontextu automatizované a robotizované pracovní stanice* [online]. Brno, 2023. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149166>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Radku Knoflíčkovi, Dr. za odborné rady, věcné připomínky a vždy vstřícný přístup. Dále děkuji rodině za veškerou podporu při studiu.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. 5. 2023

.....
Porubský Radek

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	REŠERŠE V OBLASTI PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A VIBRAČNÍCH ZÁSOBNÍKŮ A PODAVAČŮ JAKO PERIFERNÍCH ZAŘÍZENÍ	14
2.1	Definice průmyslových robotů	14
2.2	Aspekty pro posuzování průmyslových robotů	14
2.2.1	Morfologie a počet stupňů volnosti	15
2.2.2	Vlastní velikost a hmotnost	16
2.2.3	Velikost a tvar obsluhovaného prostoru	16
2.3	Základní hlediska pro návrh manipulačních robotických pracovišť	17
2.4	Průmyslové roboty pro manipulační operace	18
2.4.1	Kloubové roboty	18
2.4.2	SCARA roboty	19
2.4.3	Delta roboty	19
2.5	Periferní zařízení manipulačních robotických pracovišť	20
2.5.1	Pohony periferních zařízení	20
2.5.2	Úchopné hlavice	22
2.5.3	Vibrační podavače a zásobníky	25
2.5.4	Kamerové systémy	27
2.5.5	Senzory	28
3	SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	31
3.1	Uvedení do řešené problematiky	31
3.2	Způsob řešení problému	32
4	NÁVRH KONCEPCE NOVÉHO ŘEŠENÍ ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ	34
4.1	Původní řešení uzlu	34
4.2	Kritické zhodnocení původního řešení uzlu	38
4.3	Návrh koncepce nového řešení uzlu	40
4.3.1	Volba flexibilních vibračních podavačů	41
4.3.2	Volba průmyslového robotu	42
4.3.3	Volba kamerových systémů	43
5	NÁVRH VARIANT NOVÉHO ŘEŠENÍ UZLU	44
5.1	Varianta 1	45
5.2	Varianta 2	46
5.3	Varianta 3	47
5.4	Časová analýza variant	47
6	VYHODNOCENÍ VARIANT METODOU MULTIKRITERIÁLNÍHO HODNOCENÍ	50
7	KONSTRUKČNÍ NÁVRH VYBRANÉ VARIANTY	52
7.1	Stanice vibračních podavačů	53
7.2	Manipulační stanice	53
7.3	Přesouvací stanice	54
7.4	Úchopná hlavice	54
7.5	Doplňovací box	55

7.6	Kamera 1	56
7.7	Kamera 2	57
7.8	Stanice NOK košů	57
8	KONSTRUKČNÍ DOKUMENTACE VYBRANÉ VARIANTY	58
9	ANALÝZA RIZIK NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ	59
9.1	Blokový diagram zařízení.....	59
9.2	Identifikace nebezpečí	61
9.3	Analýza významných nebezpečí	62
9.4	Odhad počátečních rizik u identifikovaných nebezpečí	65
9.5	Snížení rizika	68
10	CENOVÁ KALKULACE NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ.....	70
11	KRITICKÉ ZHODNOCENÍ VLASTNÍHO NÁVRHU	71
12	ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO PRAXI	73
13	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	74
14	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	77
14.1	Seznam tabulek.....	77
14.2	Seznam obrázků.....	77
14.3	Seznam zkratek.....	78
14.4	Seznam symbolů.....	79
15	SEZNAM PŘÍLOH.....	80

1 ÚVOD

V současné době je na výrobní společnosti vyvíjen čím dál větší tlak na zvýšení produktivity a snížení nákladů. Tolik diskutovaného zvýšení výkonu, snížení nákladů na pracovní sílu i zlepšení kvality výroby je možné dosáhnout zavedením automatizace a robotizace.

Vzhledem k aktuální poptávce se nelze čemu divit, že se na trhu pohybuje nespočet firem, které se zabývají automatizací a robotizací v různých podobách. Jednu skupinu takových firem představují společnosti, které se přímo zabývají návrhem jednoúčelových strojů a automatizovaných a robotizovaných stanic.

Takové firmy často obsluhují zákazníky, kteří předkládají aktuální postup výroby daného výrobku a poptávají automatizované zařízení, které by tento výrobní proces mohlo zefektivnit. Aktuální postup výroby, se kterým zákazníci přicházejí, může být již částečně automatizovaný nebo zcela závislý na lidské práci. Dalším případem, s nímž se firmy potýkají, je požadavek na inovaci stávajícího automatizovaného zařízení, které firma poskytla v minulosti a u kterého se v průběhu provozu objevily oblasti potenciálního zlepšení.

Tato práce je řešena ve spolupráci s firmou zabývající se automatizační technikou a zabývá se automatizovanou a robotizovanou pracovní stanicí pro montáž výrobku. Tato stanice je již v provozu u zákazníka, který si z důvodu rozšíření výroby nechává vyrobit její „kopii“. Při provozu stroje se objevily jisté problémy a prostory ke zlepšení, tudíž lze opětovně výroby stroje využít k inovacím, a stanice se bude vyrábět s určitými změnami, které povedou k dalšímu zefektivnění.

Jednou z plánovaných změn je náhrada stávajících vibračních podavačů na dva druhy malých součástek, jiným, efektivnějším podávacím systémem s kamerou a robotem. Obecným cílem této práce je tedy navrhnout novou verzi zmíněného konstrukčního uzlu stanice, za účelem zefektivnění výrobního procesu.

2 REŠERŠE V OBLASTI PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A VIBRAČNÍCH ZÁSOBNÍKŮ A PODAVAČŮ JAKO PERIFERNÍCH ZAŘÍZENÍ

Tato práce se zabývá návrhem nové verze výrobně-montážního uzlu, který je součástí automatizované a robotizované pracovní stanice. Ze zadání plyne, že základem navrhovaného uzlu bude průmyslový robot a vibrační podavač. Aby bylo možné přistoupit k praktické části této práce, je nutné se nejprve seznámit s danou problematikou. V této kapitole bude provedena rešerše v oblasti automatizovaných a robotizovaných pracovišť, zaměřená zejména na průmyslové roboty a jejich periferie, včetně vibračních podavačů a zásobníků.

2.1 Definice průmyslových robotů

Dle mezinárodní organizace pro standardizaci je robot definován jako: „automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách, který může být buď upevněn na místě, nebo mobilní k užití v průmyslových automatických aplikacích“. [2]

Průmyslový robot pak lze obecně definovat jako autonomně fungující zařízení, které je schopné napodobit člověka při provádění různých výrobních operací, bez jeho bezprostřední účasti, přičemž je k tomuto účelu vybaven některými jeho schopnostmi a dokáže se přizpůsobit danému prostředí. [1]

2.2 Aspekty pro posuzování průmyslových robotů


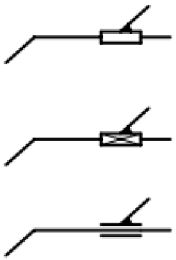
Volba vhodného průmyslového robotu pro danou situaci a prostředí je velice komplexní úloha a je při ní nutné přihlížet k celé řadě aspektů, mezi které se řadí: [1]

- morfologie (architektura, stavba) robotu
- počet stupňů volnosti
- vlastní velikost a hmotnost
- velikost obsluhovaného prostoru
- hmotnost břemene
- dosahovaná přesnost
- rychlost pohybů
- způsob pohybů
- druh servopohonů
- způsob odměřování
- způsob a rozsah vnímání
- způsob řízení a komunikace s okolím
- autonomnost robotu

V následujících podkapitolách budou některé z uvedených aspektů rozhodujících při volbě vhodného průmyslového robotu blíže popsány.

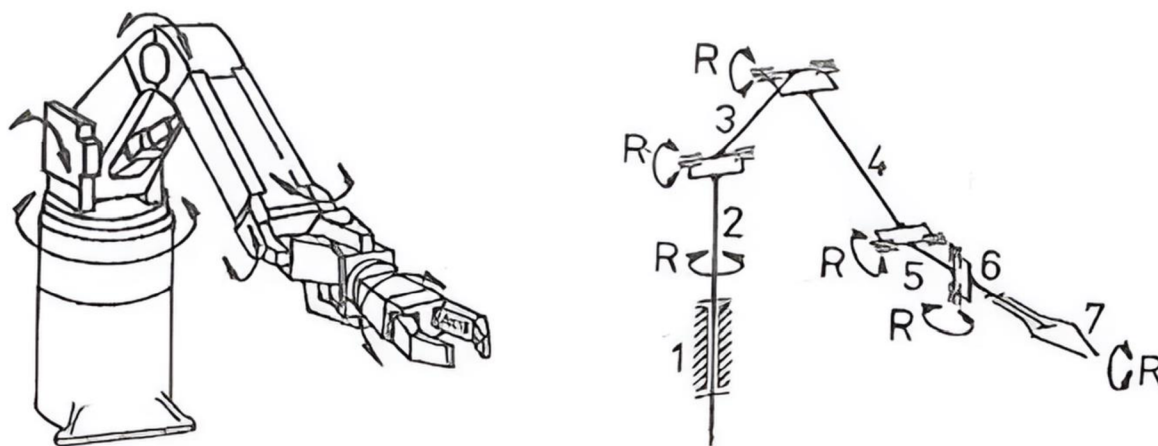
2.2.1 Morfologie a počet stupňů volnosti

Morfologie (architektura, stavba) robotu se týká jeho tvaru a uspořádání jednotlivých členů a odvíjí se mimo jiné od jeho kinematické struktury v závislosti na použitých konstrukčních prvcích. Významným faktorem při určování morfologie robotu je počet stupňů volnosti. U průmyslových robotů se lze běžně setkat zejména se dvěma druhy kinematických dvojic – rotační (otočná) a translační (posuvná), kdy každá z nich odebírá jeden stupeň volnosti. Pro určení polohy tělesa v prostoru potřebujeme 6 nezávislých souřadnic ($R_x, R_y, R_z, T_x, T_y, T_z$). Počet stupňů volnosti, který je konkrétní kinematickou dvojicí z původních šesti stupňů odebrán, je pak označován jako třída dvojice. Základní grafické zobrazení těchto kinematických vazeb s dalšími doplňujícími informacemi je znázorněno na obrázku 1. [1] [3]

Kinematická dvojice	Počet stupňů volnosti	Značení	Třída dvojice	Zobrazení
rotační	1	R	5	
posuvná	1	T	5	

Obr. 1) Základní typy kinematických dvojic u průmyslových robotů [3]

Kinematické dvojice lze na sebe navazovat různými způsoby, čímž je možné sestavit různé kinematické řetězce průmyslových robotů. Typickým příkladem sestavení kinematického řetězce je šestiosý robot na obrázku 2, jehož mechanismus obsahuje 6 (s koncovým efektem 7) rotačních kinematických dvojic. [4]



Obr. 2) Kinematický řetězec šestiosého kloubového robotu [4]

Základní kinematický řetězec průmyslových robotů se skládá z polohovacího ústrojí, orientačního ústrojí, lokomočního ústrojí a koncového efektoru. Obrázek 3 tato ústrojí znázorňuje na šestiosém robotu. [5]



Obr. 3) Ústrojí akčního systému průmyslového robotu [6]

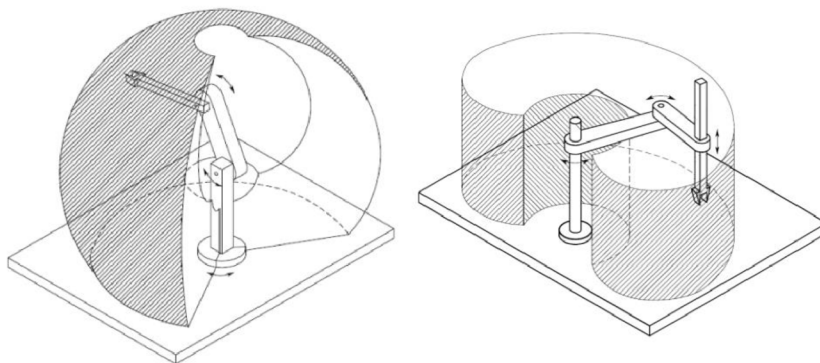
2.2.2 Vlastní velikost a hmotnost

Velikost a hmotnost průmyslového robotu bezesporu souvisí s jeho stavbou a s plánovaným použitím. Při výběru velikosti, hmotnosti a také nosnosti robotu je nutné přihlížet zejména k velikosti obsluhovaného prostoru a hmotnosti a velikosti břemene. Mimo to, že vybraný průmyslový robot musí být schopen dosáhnout tam, kam je třeba, je také snahou pro danou aplikaci vybrat takový robot, který disponuje co nejnižší hmotností při zachování potřebné pevnosti a tuhosti. [1]

Své uplatnění v praxi nachází jak ty nejmenší průmyslové roboty s dosahem do 0,5 metru (zejména díky možnosti práce v omezeném prostoru), tak i ty výrazně rozměrnější, které mohou mít dosah až 5 metrů (díky možnosti manipulace s velkými a těžkými břemeny).

2.2.3 Velikost a tvar obsluhovaného prostoru

Velikost obsluhovaného prostoru logicky souvisí s vlastní velikostí robotu, ta však není jediným určujícím parametrem. Velikost a tvar pracovního prostoru je určena také kinematickou strukturou robotu. Na obrázku 4 lze vidět rozdíl v tvarech pracovního prostoru robotů s různými kinematickými řetězci, konkrétně šestiosý robot se strukturou RRR (vlevo) a SCARA robot se strukturou RRT (vpravo).



Obr. 4) Pracovní prostor vybraných průmyslových robotů [7]

2.3 Základní hlediska pro návrh manipulačních robotických pracovišť

Průmyslové roboty nacházejí využití téměř ve všech průmyslových odvětvích. V praxi se lze běžně setkat s případy, kdy robot provádí různé technologické operace jako je svařování, lakování, broušení, obrábění, 3D tisk apod. Vzhledem k charakteru zadání bude v této práci ovšem kladen důraz pouze na manipulační robotické operace (pick and place).

Při návrhu manipulačního robotizovaného pracoviště je nutné si ujasnit tyto důležité skutečnosti: [8]

Objekt manipulace

Tvar, velikost, hmotnost, materiál a další vlastnosti objektu manipulace jsou klíčové pro první návrh robotizovaného pracoviště pro manipulaci s tímto objektem. Jsou klíčovými nejen pro volbu robotu, ale také pro návrh úchopné hlavice (o úchopných hlavicích více v kapitole 3.5.1).

Místo odběru a pokládky

Manipulační operace „pick and place“ jsou, jak již název napovídá, založeny na odebrání objektu z počáteční pozice a umístění do pozice koncové. Před návrhem RP je nutné určit z jakého místa má být objekt odebírán, a kam má být umístěn. Manipulované díly mohou být při odběru (pokládce) buď na přesné pozici, nebo mohou být volně rozmístěny ve vymezeném prostoru. Pokud robot odebírá danou součást z přesné pozice, kdy díl do této pozice například založí obsluha, je to ten jednodušší případ. Pokud musí robot odebírat volně ložené díly v různé orientaci, například z krabice jako na obrázku 5, jedná se již o programově složitější robotickou operaci, kdy je potřeba využít pokročilých, nicméně dnes už poměrně běžných technologií, jako je strojové vidění.



Obr. 5) Průmyslový robot využívající strojové vidění (tzv. bin picking) [9]

Dráha manipulace

Dalším důležitým parametrem je určení a programování dráhy robotu. Dráha robotu musí být naplánována tak, aby nemohlo dojít ke kolizím s ostatními objekty v pracovním prostoru. Dále je snahou naplánovat co nejkratší dráhy, aby byl proces co nejrychlejší a nejplynulejší. Plánování drah a ověřování kolizí je vhodné provádět již při konstrukčním návrhu RP, za pomoci různých simulačních softwarů.

2.4 Průmyslové roboty pro manipulační operace

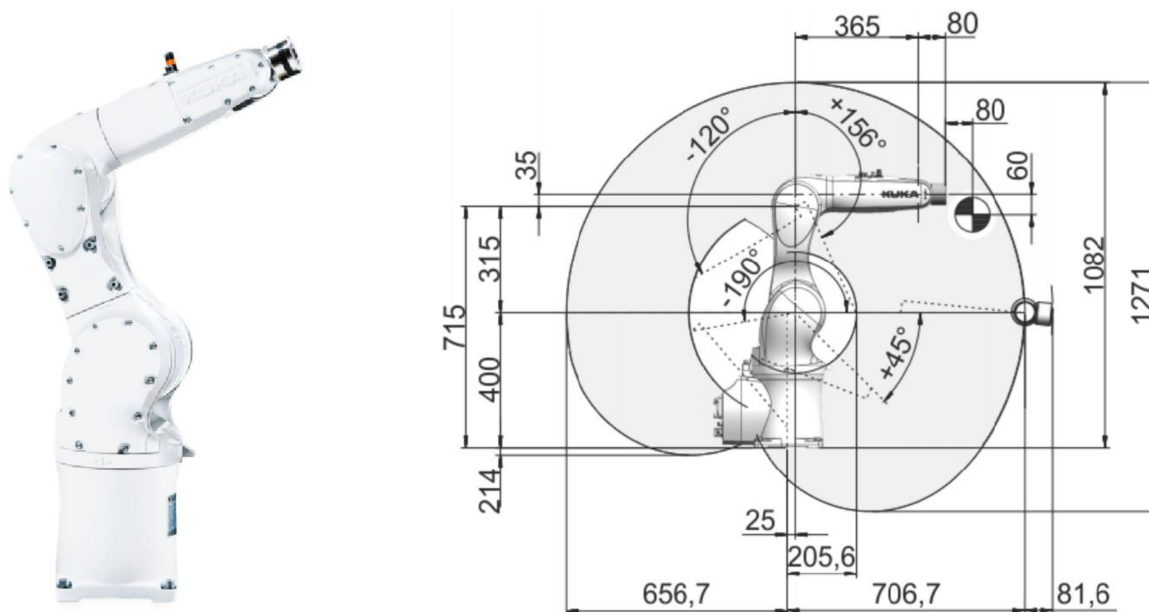
Na trhu se pohybuje celá řada velkých i menších výrobců průmyslových robotů pro různé průmyslové aplikace. Nižší budou blíže popsány typy průmyslových robotů nejpoužívanější pro manipulační operace. Dle morfologie jsou pro manipulační a montážní operace vhodné a nejrozšířenější kloubové a SCARA roboty, v úvahu přichází také delta roboty s paralelní kinematikou.

2.4.1 Kloubové roboty

Kloubové roboty jsou nejrozšířenějším typem průmyslových robotů. Šestiosé kloubové roboty mají RRR kinematický řetězec. Jejich kinematická konfigurace se podobá lidské paži, kdy jednotlivé osy představují otočný trup, rameno, biceps, předloktí a zápěstí. Kloubové roboty mohou disponovat i méně než šesti osami (například u čtyřosých paletizačních robotů), nicméně právě šestiosé roboty jsou v průmyslové praxi nejpoužívanější. [10]

Výhodou kloubových robotů je vysoká flexibilita při dosahování nejrůznějších složitých bodů v prostoru a možnost flexibilní orientace koncového efektoru, která je zaručena právě jejich kinematickou strukturou s více rotačními osami. Další výhodou je velikost pracovního prostoru s charakteristickým antropomorfním tvarem. [1]

Na obrázku 6 lze vidět příklad šestiosého kloubového robotu (vlevo) s bočním pohledem na jeho pracovní prostor (vpravo), konkrétně se jedná o obrázky z katalogového listu robotu KUKA KR 6 R700 CR. [11]

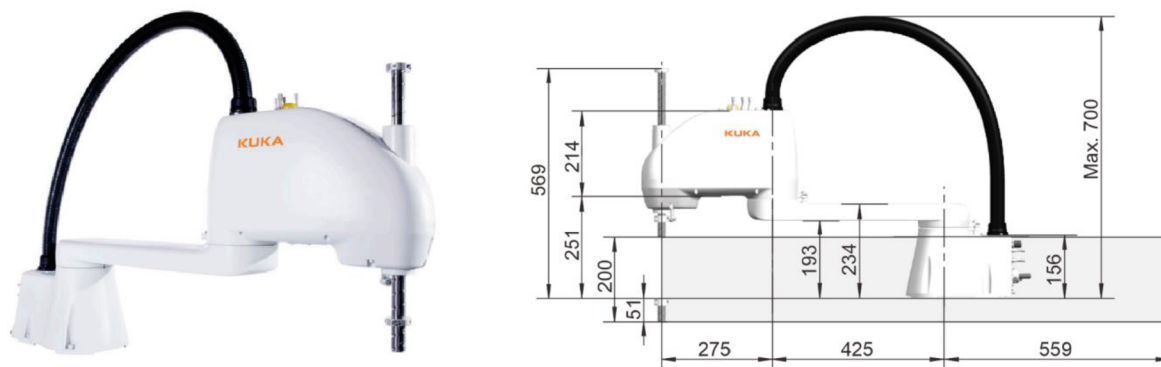


Obr. 6) Průmyslový robot KUKA KR 6 R700 a jeho pracovní prostor [11]

2.4.2 SCARA roboty

SCARA roboty (Selective compliance assembly robot arm) jsou navrženy speciálně pro montážní operace a manipulaci s malými a lehkými součástkami. SCARA roboty mají kinematický řetězec RRT a čtyři stupně volnosti. Roboty typu SCARA sice mají v porovnání s kloubovými roboty menší pracovní prostor, nicméně díky své konstrukci dokážou pracovat s vyšší rychlostí a přesností. Tyto roboty jsou tedy extrémně vhodné pro montážní aplikace s malými objekty manipulace, kde je dostačující manipulace ve dvou dimenzích. Nejnovější modely tohoto typu robotu poskytují i přes nízkou vlastní hmotnost a velikost vysoký výkon, přesnost a pokročilé řízení trajektorie. Nevýhodou je, že jakmile je v dané aplikaci potřeba měnit orientaci koncového bodu nebo manipulované součástky v prostoru, je použití SCARA robotu vzhledem k absenci otočného zápěstí problematické. [10] [13]

Na obrázku 7 lze vidět příklad čtyřosého robotu SCARA (vlevo) s bočním pohledem na jeho pracovní prostor (vpravo), konkrétně se jedná o obrázky z katalogového listu robotu KUKA KR 6 R700 Z200. [12]



Obr. 7) Průmyslový robot KUKA KR R700 Z200 a jeho pracovní prostor [12]

2.4.3 Delta roboty

Delta roboty jsou roboty s paralelní kinematikou, čímž se, co se týče konstrukce, zásadně liší od většiny konvenčních průmyslových robotů se sériovým kinematickým řetězcem. Na rozdíl od sériové kinematiky, kde jsou kinematické dvojice řazeny sériově za sebou, má paralelní kinematika všechny kinematické dvojice na společné základně. Tyto kinematické dvojice jsou dále táhly spojeny s přírubou robotu. [1] [14]

Roboty s paralelní kinematikou mají několik výhod i nevýhod. Oproti robotům se sériovou kinematikou díky charakteru paralelní kinematiky nedochází ke sčítání nepřesností polohování jednotlivých os. To napomáhá jejich vysoké přesnosti a opakovatelnosti. Delta roboty jsou na tom velice dobře také co se týče nízké hmotnosti, což zaručuje vysokou rychlost a zrychlení robotu. Kvůli konstrukci, kdy pohyblivé části robotu (táhla) nejsou nikterak robustní povahy, dochází k jejich rychlejšímu opotřebování. Lze tedy tvrdit, že delta roboty jsou náročnější na údržbu a mohou vyžadovat častější servisní zásahy. Dá se říct, že delta roboty mají podobné vlastnosti jako SCARA roboty (vysoká rychlost, přesnost, opakovatelnost), nicméně disponují menším pracovním prostorem, což je společně s nižší spolehlivostí prozatím činí méně využívanými. [1] [15]

S delta roboty se lze běžně setkat ve tří, čtyř, nebo šestiosém provedení. Tříosý delta robot dokáže polohovat koncový bod pouze ve třech translačních souřadnicích. Čtyřosý delta robot

je de facto tříosý delta robot s tím rozdílem, že umožňuje natačení příruby koncového efektoru okolo jedné osy. Šestiosý delta robot vznikne rozšířením tříosého delta robotu o kloubové zápěstí. Na obrázku 8 lze vidět příklad delta robotu od společnosti ABB se znázorněným pracovním prostorem. [16]



Obr. 8) Delta robot ABB a jeho pracovní prostor [15]

2.5 Periferní zařízení manipulačních robotických pracovišť

Robotická pracoviště se v základu skládají z průmyslového robotu a jeho periferních zařízení. Za periferní zařízení se dají považovat prakticky všechny komponenty RP, které zabezpečují činnosti nutné pro jeho správný chod. Jako příklad takových činností lze uvést přísun a odsun polotovarů, uchopování objektů či přesun objektů manipulace napříč pracovištěm. Periferní zařízení nicméně zajišťují velké množství dalších operací, které vždy závisí na charakteru daného pracoviště. [1][17]

Níže budou blíže popsána vybraná periferní zařízení pro manipulační RP, která mohou mít přínos pro tuto práci.

2.5.1 Pohony periferních zařízení

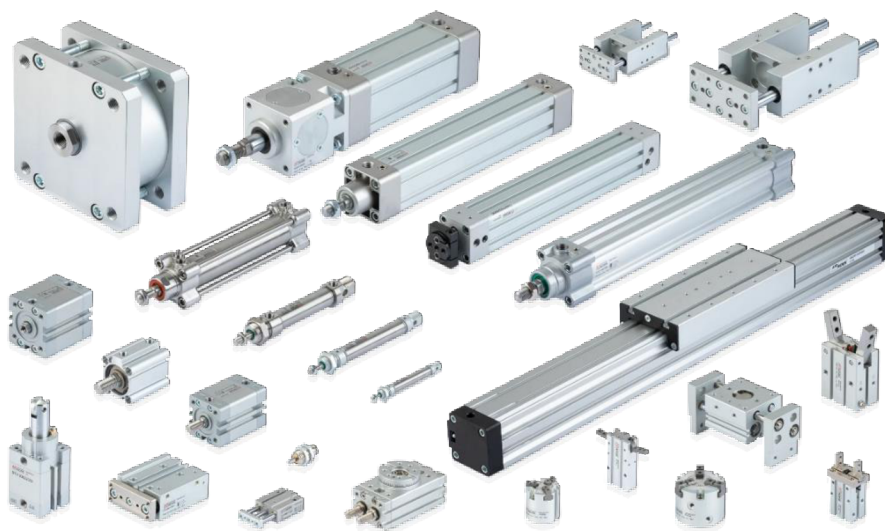
Ve většině případů je u RP potřeba pohyblivých periferních zařízení, jako jsou různá polohovadla, dopravníky, přesuvny, efektorů a mnoho dalších. Tato pohyblivá zařízení využívají pro svůj pohyb různých pohonů. Pohony periferních zařízení mohou být mechanické, pneumatické, hydraulické, elektrické či kombinované. [17]

Mechanické pohony

Mechanické pohony jsou jednoduché a spolehlivé. Oproti ostatním typům pohonů nepotřebují samostatný přívod energie, a dokonce nepotřebují senzory ani řídicí systém, což je činí téměř bezporuchovými a levnými. Pohyb bývá vyvozen akumulovanou energií pomocí různých závaží či pružin. [17]

Pneumatické pohony

Pneumatické pohony jsou u periferních zařízení velice používané. Existuje celá řada typů pneumatických pohonů pro různé aplikace a lze je využít jak v přímočarém, tak v rotačním provedení. Hojně využití však nacházejí zejména přímočaré pneumatické motory, které jsou při lineárním pohybu velmi efektivní a spolehlivé. Oproti jiným pohonům se vyplatí zvláště v případech, kde má pohybující se zařízení pouze dvě krajní polohy, i když zastavení v libovolné poloze je také realizovatelné. Pneumatické válce se typicky používají pro operace jako je zvedání, spouštění, upínání, tlačení, tažení, přesouvání, otáčení, podávání atd. Na obrázku 9 jsou zobrazeny typy pneumatických pohonů pro různé aplikace. [17][36]



Obr. 9) Ukázka různých typů pneumatických pohonů [35]

Hydraulické pohony

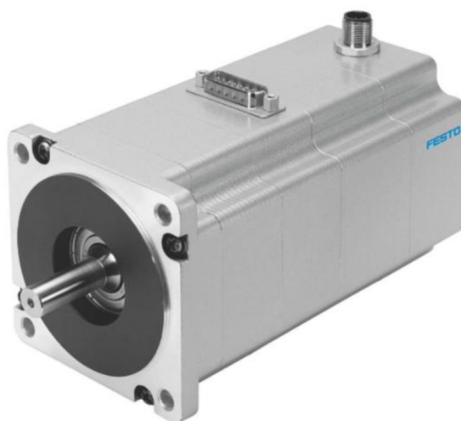
Hydraulické pohony jsou využívány v aplikacích, kde je potřeba přenášet velké silové účinky. Pozitivem těchto pohonů je schopnost přesného zastavování v mezipolohách a plynulý pohyb. Obdobně jako u pneumatických pohonů, i hydraulické pohony mohou být přímočaré nebo rotační. Příklady hydraulických pohonů lze vidět na obrázku 10. [17]



Obr. 10) Ukázka různých typů hydraulických pohonů [37]

Elektrické pohony

Elektrické pohony se také používají pro rotační i lineární pohyby. Pro rotační pohyb jsou elektrické pohony u periférií RP nejpoužívanější. Provoz elektrických pohonů je nenákladný a jednoduchý. Další výhodou je přesnost polohování i u dlouhých vzdáleností. U periferních zařízení se lze z elektrických pohonů setkat se stejnosměrnými, střídavými a krokovými motory, a také s elektromagnety, které jsou vhodné pro malé zdvihy a velké síly. Na obrázku 11 je pro příklad zobrazen krokový motor od společnosti FESTO, který se vyznačuje mimo jiné jednoduchým řízením rychlosti.



Obr. 11) Krokový motor FESTO [38]

2.5.2 Úchopné hlavice

Úchopné či manipulační hlavice jsou nutnou součástí každého robotického pracoviště pro manipulaci, a jsou určeny k uchopování objektů tak, aby s těmito objekty mohlo být spolehlivě, bezpečně a přesně manipulováno. Úchopné hlavice jsou složeny z úchopných prvků, což jsou části, které přicházejí bezprostředně do styku s objekty manipulace. Při volbě vhodné úchopné hlavice a jejích prvků je nutné zohlednit velké množství parametrů manipulované součásti, jako jsou například: velikost, tvar, stabilita tvaru, materiál, hmotnost, nerovnosti povrchu apod. Návrh úchopných prvků hlavic tedy většinou vyžaduje značnou kreativitu a různorodé znalosti konstruktéra, a bývá mnohdy komplikovaným úkolem. [1][18]

V základu lze všechny typy úchopných prvků dělit na aktivní a pasivní. Aktivní úchopné prvky jsou schopny ovládat velikost úchopné síly, zatímco pasivní úchopné prvky dokážou svépomocí objekt pouze uchopit a k uvolnění je již potřeba vnějšího zásahu. Podle druhu uchopení pak existují tři základní skupiny úchopných prvků: mechanické, magnetické a podtlakové. [1]

Mechanické úchopné hlavice

Mechanické úchopné hlavice jsou nejrozšířenějším typem manipulačních koncových efektorů. Zvláště používané jsou pak aktivní mechanické úchopné hlavice, běžně označovány také jako chapadla. Chapadla svým názvem již charakterizují jejich funkci. Aktivní mechanické úchopné hlavice jsou vybaveny čelistmi, jejichž pohyb (sevření a rozevření) bývá vyvozen většinou pneumatickým nebo hydraulickým pohonem či elektromotorem. [1][3]

Každý z uvedených způsobů pohonu má své uplatnění. Nejpoužívanější jsou pro svou jednoduchost a efektivnost pneumatické pohony, které mohou být buď přímočaré nebo kyvné, hydraulické pohony se aplikují u manipulace s těžkými břemeny a elektromotory nacházejí uplatnění zejména při potřebě řízení průběhu pohybu při svírání čelistí. [18]

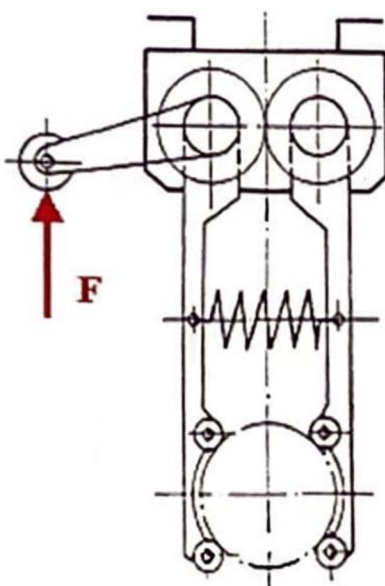
Na obrázku 12 jsou pro příklad zobrazeny tři druhy aktivních dvoučelistových úchopných hlavic od společnosti Schunk. Jako první zleva se nachází chapadlo s přímočarým pneumatickým pohonem, uprostřed chapadlo s přímočarým pneumatickým pohonem a pákovým převodem a vpravo chapadlo s elektrickým servopohonem. [19][20][21]



Obr. 12) Příklady aktivních mechanických úchopných hlavic [19][20][21]

Mechanické úchopné hlavice v pasivním provedení jsou nejjednodušší variantou koncových efektorů pro manipulaci. Udržení objektu manipulace je většinou zajištěno gravitací, tudíž není vhodné pro práci s vysokými rychlostmi a zrychleními. Tvar takových úchopných hlavic může být dle tvaru manipulovaného objektu různý, často se lze setkat s úchopnými prvky jako jsou háky, vidlice, prizmatická lůžka apod. [1][3]

Na obrázku 13 lze vidět konstrukci pasivní mechanické hlavice, která není založena na gravitaci. Tento koncový efektor se skládá ze dvou odpružených čelistí, kdy je uchopení součásti docíleno svislým pohybem koncového bodu robotu dolů tak, aby se silou vyvozenou od objektu manipulace čelisti nejprve rozevřely a následně díky pružinám opět sevřely. Odložení součásti zajišťuje páka s kladkou, která vlivem vyvozené síly najetím na doraz čelisti rozevře. [1]



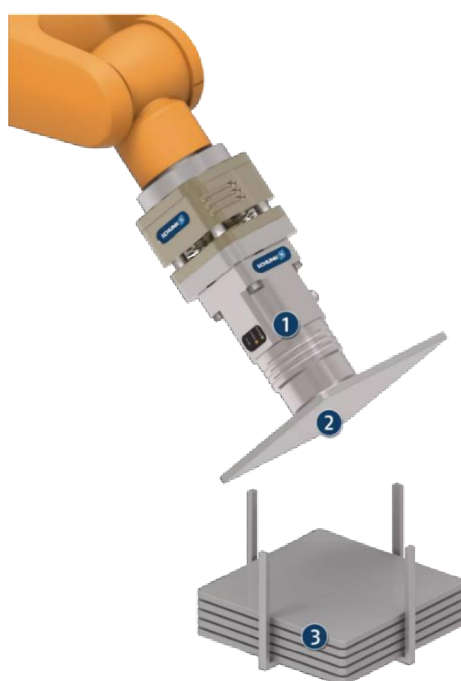
Obr. 13) Pasivní mechanická úchopná hlavice s odpruženými čelistmi [1]

Magnetické úchopné hlavice

Tyto úchopné hlavice se používají při manipulaci s magnetickými předměty. Úchopnými prvky těchto efektorů jsou v pasivním provedení permanentní magnety, nebo v aktivním provedení elektromagnety. Pasivní magnetické efektrů nejsou napojeny na dodávku elektřiny a je nutné využít pro odložení objektu manipulace vnější síly vyvozené různými dorazy či pneumatickými válci. [3]

Aktivní magnetické úchopné hlavice jsou na rozdíl od pasivních schopny odložit objekt manipulace svépomocí, bez potřeby strhávajícího pohybu. Ve většině případů bývají napájeny stejnosměrným proudem. Odložení objektu bývá docíleno odpojením elektromagnetu od přívodu proudu, případně následným odmagnetováním (krátkodobým obrácením směru proudu v magnetických cívkách). Zatímco pasivní magnetické hlavice jsou vhodné spíše pro předměty menších rozměrů, jako jsou malé plechové výlisky, podložky apod., aktivní magnetické hlavice jsou použitelné i u předmětů s podstatně většími rozměry a hmotností. [1]

Na obrázku 14 je uveden příklad aplikace magnetické úchopné hlavice. (1 – magnetický koncový efektor, 2 – plechová tabule jako objekt manipulace, 3 – stoh plechů připraven k manipulaci)



Obr. 14) Magnetická úchopná hlavice pro manipulaci s plechovými tabulemi [22]

Podtlakové úchopné hlavice

Obdobně jako u předchozích variant, i podtlakové hlavice mohou být pasivní nebo aktivní. Nejpoužívanějším typem pasivních podtlakových úchopných hlavic jsou deformační přísavky. K uchopení objektu manipulace dochází deformací přísavky a následnému přitlačení na daný předmět, čímž se zmenší objem pod přísavkou na hodnotu potřebnou k přisání předmětu. Održení předmětu je zajištěno pomocí dorazů či zavzdušněním prostoru pod přísavkou v okamžiku uvolňování objektu. [18]

Jako aktivní podtlakové úchopné hlavice jsou označovány zejména podtlakové systémy (komory), které jsou založeny na principu ejektorů či vývěv. Typický příklad aplikace podtlakového koncového efektoru s přísavkami lze vidět na obrázku 15. [1]



Obr. 15) Příklad aplikace podtlakových úchopných hlavic [23]

2.5.3 Vibrační podavače a zásobníky

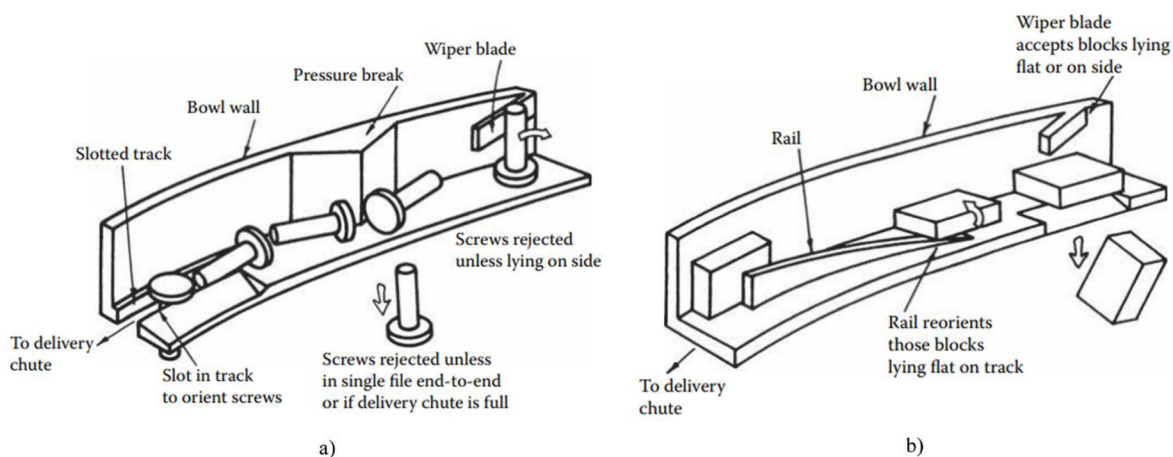
Vibrační podavače a zásobníky jsou určeny k přesnému podávání a orientaci dílů většinou menších rozměrů do jednotné polohy tak, aby podávaný díl mohl být z dané pozice odebrán, a bylo s ním možné dále pracovat. Vibrační podavače a zásobníky nacházejí velké využití u robotických pracovišť pro montáž a jsou často vyráběny na míru podle druhu podávaných součástí. Typickým příkladem vibračního podávacího zařízení (viz obrázek 16) je kruhový (miskový) vibrační zásobník v kombinaci s lineárním vibračním podavačem, v některých případech doplněn o vibrační předzásobník (násypku). [1][24]



Obr. 16) Typické provedení vibračního podávacího zařízení [25]

Proces práce s takovým zařízením začíná nasypáním drobných součástek do násypky nebo přímo do miskového zásobníku. V miskovém zásobníku dochází díky oscilacím v patřičné intenzitě, frekvenci a směru k akumulaci nasypaných dílů a výstupem jsou správně a přesně naorientované součástky. Tyto poté pokračují na samostatně naháněný lineární podavač (lze označovat také jako lineární dopravník), který slouží k další akumulaci součástí a umožňuje komfortnější podávání těchto dílů do požadované polohy. Z výstupní polohy lineárního dopravníku jsou díly ve správné orientaci odebrány a je s nimi dále manipulováno. [1]

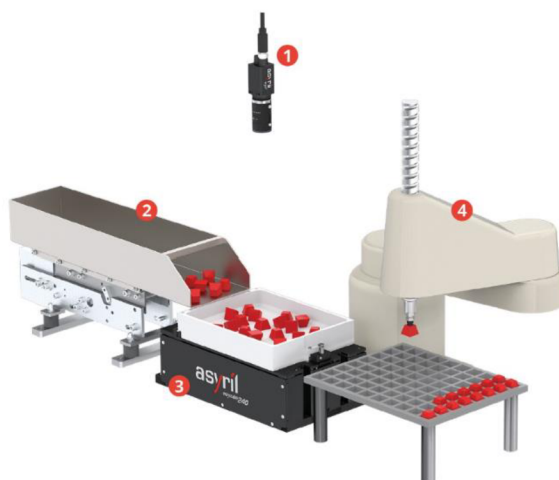
K zajištění požadované orientace součástek v miskových zásobnících jsou podle druhu součástek využívána různá ústrojí, viz příklad na obrázku 17. Tato ústrojí jsou charakteristická svým tvarováním, díky kterému je za pomoci vibrací možné dosáhnout požadované orientace dílů. Aby byla tato ústrojí plně spolehlivá, je žádoucí, aby podávané součásti byly vyráběny ve vymezených rozměrových tolerancích, v opačném případě může docházet k různým problémům v podobě zasekávání či nesprávnému naorientování součástek. [1]



Obr. 17) Orientace různých druhů součástí v miskových vibračních podavačích [26]

Flexibilní vibrační podavače

V současné době jsou čím dál více na vzestupu technologie strojového vidění. Tento trend neminul ani oblast podávacích zařízení. Flexibilní podávací systémy sestávají většinou ze čtyř hlavních prvků, označených na obrázku 18 (1 – kamera, 2 – násypka, 3 – flexibilní vibrační podavač, 4 – robot). [27]



Obr. 18) Flexibilní podávací systém [27]

Princip flexibilních vibračních podavačů je založen na řídicím systému kamery, který dokáže lokalizovat podávané součásti, rozeznat jejich orientaci a poslat tyto informace do robotu. Ten pak na základě těchto informací (souřadnic) vygeneruje trajektorii, na jejímž základě je schopen odebrat danou součást. Řídicí systém také může spravovat zásobník (podavač) a předzásobník (násypku) tak, že vyvolává nejúčinnější vibrační sekvence pro optimální rozložení, umístění a orientaci dílů na desce. [1][27]

Nejčastějšími roboty, které jsou u flexibilních podavačů používány, jsou pro svou rychlost a jednoduchost SCARA roboty. Lze se však setkat s aplikacemi, u kterých je například nutné pracovat ve více stupních volnosti. Zde jsou využívány i jiné typy robotů, jako často například šestiosé kloubové roboty menších rozměrů.

2.5.4 Kamerové systémy

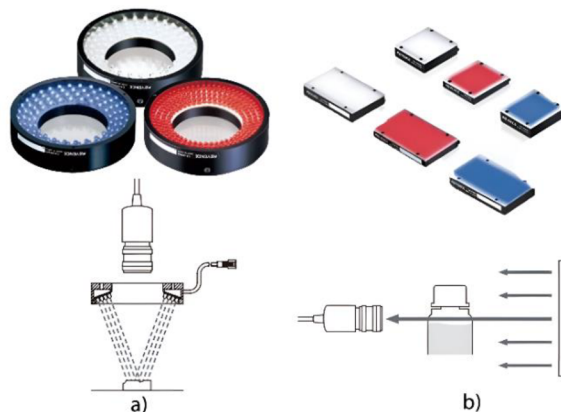
V předchozí kapitole byla popsána jedna z možností využití kamerových systémů v průmyslové automatizaci v podobě zjišťování polohy a následnému odebrání objektů. Kamerové systémy a strojové vidění jsou využívány pro mnohé další aplikace. Detekce objektů v rámci výroby může být dále používána mimo jiné pro vizuální kontrolu součástí. U součástí mohou být kontrolovány například rozměry, povrch, vzhled, barva, přítomnost (respektive absence), správnost montáže apod. Na obrázku 19 lze vidět příklad aplikace vizuální kontroly, kde jsou kamerou kontrolovány rozměry zapalovacích svíček. [28]



Obr. 19) Vizuální kontrola rozměrů zapalovacích svíček [29]

Princip vizuální kontroly součástí je založen na získávání obrazových dat pomocí kamery a na jejich následném zpracování a vyhodnocení softwarem. Pro zpracování a vyhodnocení obrazových dat může být využito například strojového učení, kdy je systém naučen na správných a vadných kusech. V robotických aplikacích bývá kamera propojena s řídicím systémem robotu, a posílá mu informace o stavu kontrolované součásti. Robot na základě této informace dostane povel od řídicího systému, jak dále se součástí postupovat. Kamera může být upevněna přímo na robotu (v blízkosti koncového efektoru), nebo umístěna jinde v prostoru robotického pracoviště. [28][29]

Při volbě vhodné kamery a objektivu je nutné přihlížet k několika parametrům, jako je například rozlišení, citlivost, ohnisková vzdálenost či rychlost snímání. Pro dosažení nejlepších výsledků je také důležité použít vhodné osvětlení scény pod kamerou. Na trhu se vyskytuje velké množství typů osvětlení. Mezi ty nejpoužívanější druhy osvětlení patří prstencové osvětlení (viz obrázek 20a) a tzv. zadní osvětlení (viz obrázek 20b). [28][30]



Obr. 20) Příklad typů osvětlení kamerových systémů [30]

Každý druh osvětlení má své výhody a nevýhody. Prstencové osvětlení se například vyznačuje vysokou intenzitou osvětlení, ale nedokáže mnohdy zachytit objekt v dokonalé ostrosti. Zadní osvětlení je pak vhodné u aplikací, kde je potřeba snímat v patřičné ostrosti hrany kontrolovaného objektu, ten musí být ovšem menší velikosti než plocha osvětlení. [28][30]

2.5.5 Senzory

Každé automatizované a robotizované pracoviště je nutné k jeho funkci zaopatřit patřičnými senzory (snímači). Signály jako zpětná vazba senzorů dávají informace o různých veličinách (teplota, vzdálenost, přítomnost objektu atd.) do řídicího systému, jenž na jejich základě řídí chod robotu a celého robotického pracoviště. Níže budou blíže popsány ty senzory, které bývají v průmyslové automatizaci nejčastěji využívány. [1]

Optoelektronické senzory

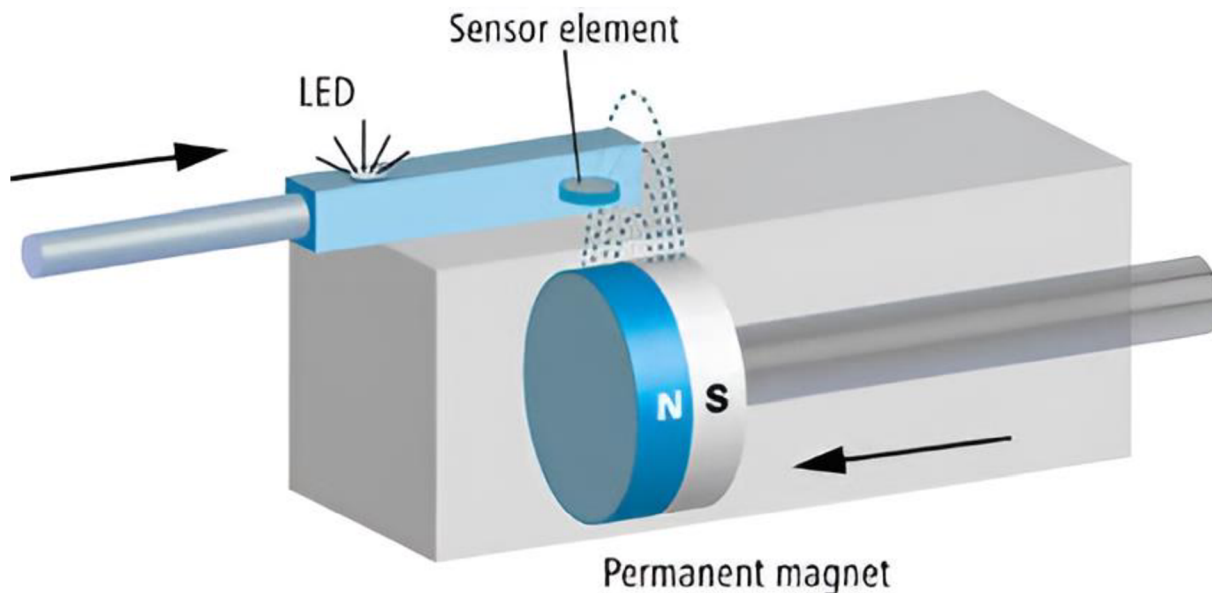
Optoelektronické snímače existují v několika provedeních, nicméně jejich základní princip lze vysvětlit na funkci základního druhu optoelektronických senzorů, a to světelné závory. Světelné závory fungují na principu přerušení světelného paprsku snímaným objektem. Základem světelné závory je vysílač a přijímač. Na obrázku 21 [31] lze vidět příklad použití laserové světelné závory pro detekci přítomnosti součástí. Pokud se mezi vysílačem a přijímačem vyskytne objekt, laserový paprsek se přeruší a senzor tak zaznamená informaci o přítomnosti objektu. V situaci na obrázku se jedná o senzor, který kromě detekce přítomnosti dokáže také poznat vadný kus. [1]



Obr. 21) Příklad aplikace optoelektronických senzorů [31]

Magnetické senzory

Magnetické senzory fungují na principu Hallova jevu. Základem magnetických snímačů je křemíková destička, kterou protéká proud. Pokud na tuto destičku působí magnetické pole, destička zaznamená malé rozdílové napětí. Typickým využitím magnetických senzorů je detekce polohy pneumatických válců (viz obrázek 22). [1]



Obr. 22) Použití magnetického senzoru pro detekci polohy pneu. válce [32]

Indukční senzory

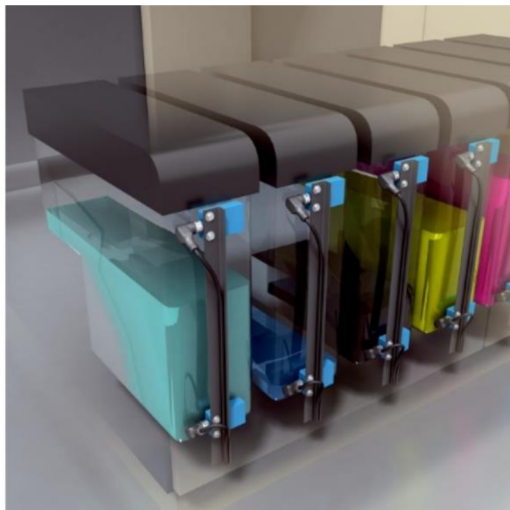
Indukční senzory jsou určeny k bezdotykovému snímání kovových objektů primárně na krátké vzdálenosti. Pracují na principu vysokofrekvenčního elektromagnetického střídavého pole. Součástí senzoru jsou pólové nastavce cívky a oscilátor, který kmitá do doby, než se k pólovým nastavcům přiblíží kovový objekt. Přiblížením kovového objektu se sníží energie pole. Změnou energie pole dojde k sepnutí či rozepnutí výstupního prvku indukčního senzoru. Výhodou indukčních snímačů je vysoká spolehlivost, dlouhá životnost a možnost použití ve vlhkém a prašném prostředí. Na obrázku 23 je ukázka indukčních snímačů z nabídky společnosti SICK. [1][30]



Obr. 23) Ukázka různých typů indukčních senzorů značky SICK [33]

Kapacitní senzory

Kapacitní senzory slouží podobně jako indukční senzory k bezdotykovému snímání. Zatímco indukční senzory jsou schopny detekovat pouze kovové materiály, kapacitní senzory dokážou detekovat i materiály nekovové, pokud mají dostatečnou dielektrickou konstantu. Kapacitní snímače jsou hojně využívány na detekci výšky hladin, a to jak kapalných, tak i jiných, například sypkých hmot. Na obrázku 24 lze vidět kapacitní snímač v praxi, kdy je využit na měření výšky hladiny toneru. [1]



Obr. 24) Použití kapacitního senzoru při měření výšky hladiny toneru [34]

3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

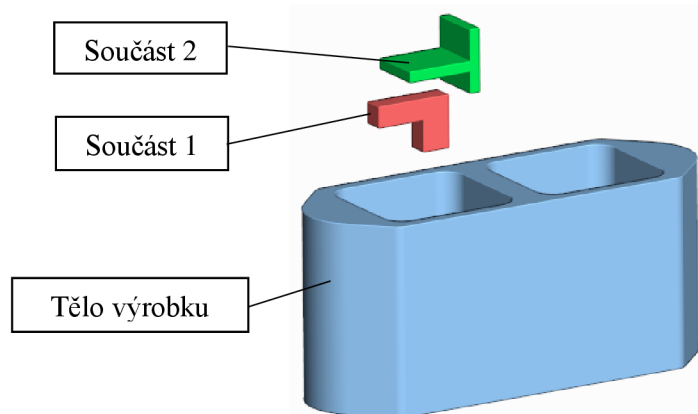
3.1 Uvedení do řešené problematiky

Jak již bylo nastíněno v úvodu práce, cíl práce spočívá v inovaci automatizované a robotizované pracovní stanice, která je již v provozu u zákazníka a bude se vyrábět znovu, a to s určitými změnami.

Zařízení je automatizovaná a robotizovaná pracovní stanice pro montáž výrobku. Výrobek se skládá z několika mechanických komponent, a kromě toho jsou do něj dávkovány tři druhy funkčních kapalin v malých objemech. Smontovaná sestava je na závěr natěsno uzavřena nalepením víčka, kdy je součástí nalepení víčka vytvrzení lepidla UV světlem.

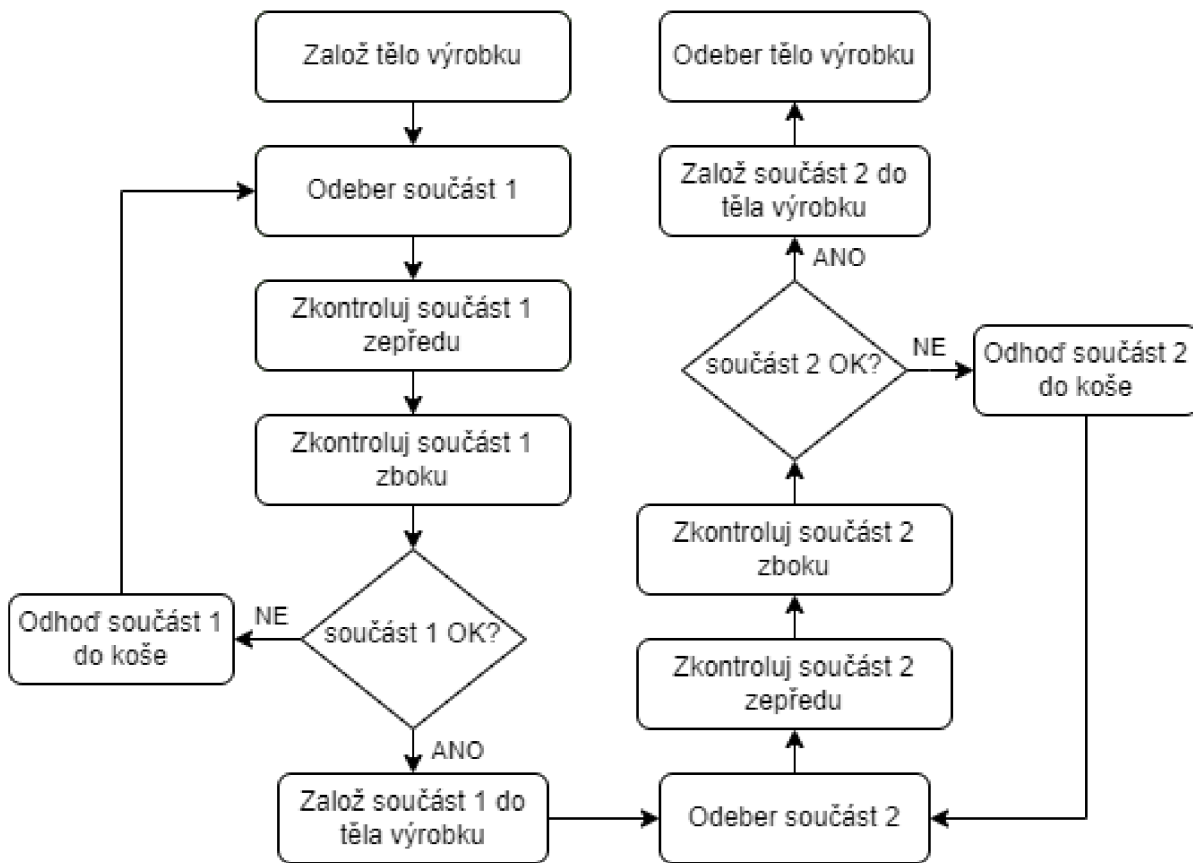
Manipulace uvnitř stroje je zajištěna dvěma čtyřosými roboty SCARA a součástí pracoviště jsou mimo jiné také 4 kamerové systémy pro kontrolu jednotlivých komponent, průběhu montáže a nanášení funkčních kapalin.

S výrobou nové verze tohoto zařízení přišel požadavek na přepracování jednoho z uzlů. A to konkrétně uzlu pro montáž dvou mechanických součástí do těla výrobku. Autentické modely, výkresy, ani fotografie výrobku a jeho součástí není možné z důvodů zachování diskrétnosti uvést. Na obrázku 25 je zobrazen alespoň modifikovaný model těla výrobku a dvou mechanických komponent, které jsou do těla vkládány.



Obr. 25) Modifikovaný model výrobku a vkládaných součástí

Jedná se o rozměrově malé součásti, pro představu lze uvést, že tělo výrobku má na délku zhruba 60 mm a součásti 1 a 2 okolo 10 mm. Komponenty jsou vyráběny z pružných materiálů, jejichž bližší specifikace opět není z interních důvodů možná. Vstupem pro daný uzel pracoviště jsou volně nasypané součástky dvou druhů a tělo výrobku. Tento uzel pracoviště má za úkol ve správném pořadí namontovat do těla dva druhy malých součástek, přičemž před vložením do těla je nutné každou jednu součást vizuálně zkontrolovat ze dvou stran. Je ještě vhodné podotknout, že vložení součástí do těla výrobku není triviální úkol a je při něm zapotřebí precizně zvolit vhodné naklonění součástky a sílu vyvíjenou při vkládání. Sled operací tohoto výrobně-montážního uzlu lze vyčíst z vývojového diagramu na obrázku 26. Tento diagram popisuje robotické operace od momentu, kdy jsou manipulované součástky (u kterých se předpokládá nasypání do vibračního podavače), připraveny v poloze pro odebrání robotem.



Obr. 26) Vývojový diagram montážního procesu

3.2 Způsob řešení problému

Při řešení různých problémů, včetně těch konstrukčních, je vhodné postupovat dle předem stanoveného systémového postupu.

V případě této práce byl systémový postup nastaven v následujících krocích:

1) *Rozbor původního řešení pracoviště*

Popis funkce a konstrukce stávajícího řešení uzlu v kontextu celého pracoviště.

2) *Kritické zhodnocení původního pracoviště*

Porozumění stávajícím závažným problémům uzlu, které je nutné odstranit a nalezení oblastí potenciálního zlepšení (zamyšlení nad inovacemi).

3) *Analýza možností realizace vyřešení problémů a zavedení inovací*

Návrh způsobů, kterými lze vyřešit problémy stávajícího řešení a zvážení uskutečnitelnosti inovativních myšlenek. V tomto kroku je nutné přihlížet k mnoha faktorům jako je omezený prostor, který je pro nové řešení k dispozici, či dodržení (v lepším případě zvýšení) rychlosti montážního cyklu.

4) *Návrh variant rozmístění v uzlu*

Tento krok úzce souvisí s předchozím krokem a spočívá v návrhu variant, které nutně musí splňovat požadavky na odstranění problémů. Dále je snahou navrhnout takové varianty, které v co největší míře umožňují realizaci navržených inovací.

5) *Volba vhodné varianty*

Vyhodnocení variant pomocí některé metody multikriteriálního hodnocení na základě několika parametrů, kde by měl být kladen důraz na míru zefektivnění pracoviště na základě odstranění problémů a inovací.

6) *Konstrukční návrh vybrané varianty*

Co nejjednodušší a nejlevnější konstrukční zpracování vybrané varianty řešení, při zajištění bezproblémového chodu a bezpečnosti.

7) *Kritické zhodnocení vlastního návrhu*

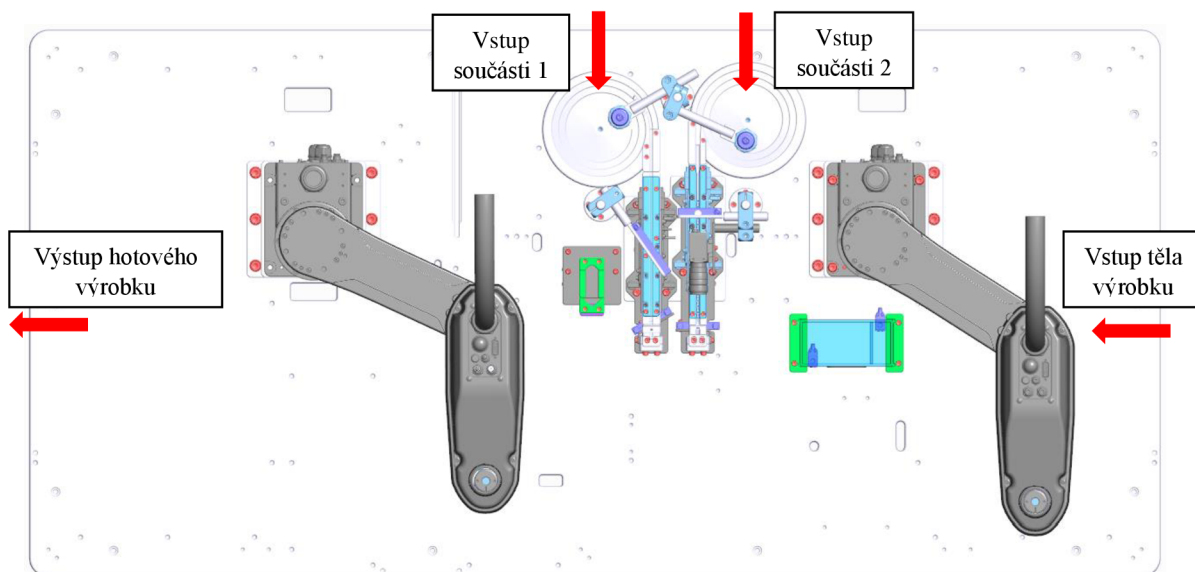
Kritické zhodnocení návrhu včetně cenové kalkulace a porovnání v různých směrech s původním řešením.

4 NÁVRH KONCEPCE NOVÉHO ŘEŠENÍ ROBOTIZOVANÉHO PRACVIŠTĚ

V této kapitole je řešen návrh konceptu nového řešení uzlu pracoviště. Nezbytnou součástí návrhu nového řešení je pochopit funkci a problémy původního řešení. Proto je v první části kapitoly popsáno, jakým způsobem je uzel vyřešen u stávajícího zařízení. V druhé části je řešení uzlu kriticky zhodnoceno, což znamená, že jsou popsány problémy stávajícího řešení a nalezeny oblasti potenciálního zlepšení. Nakonec dochází k samotnému návrhu konceptu, kde jsou navrženy způsoby odstranění problémů a realizace některých inovativních myšlenek.

4.1 Původní řešení uzlu

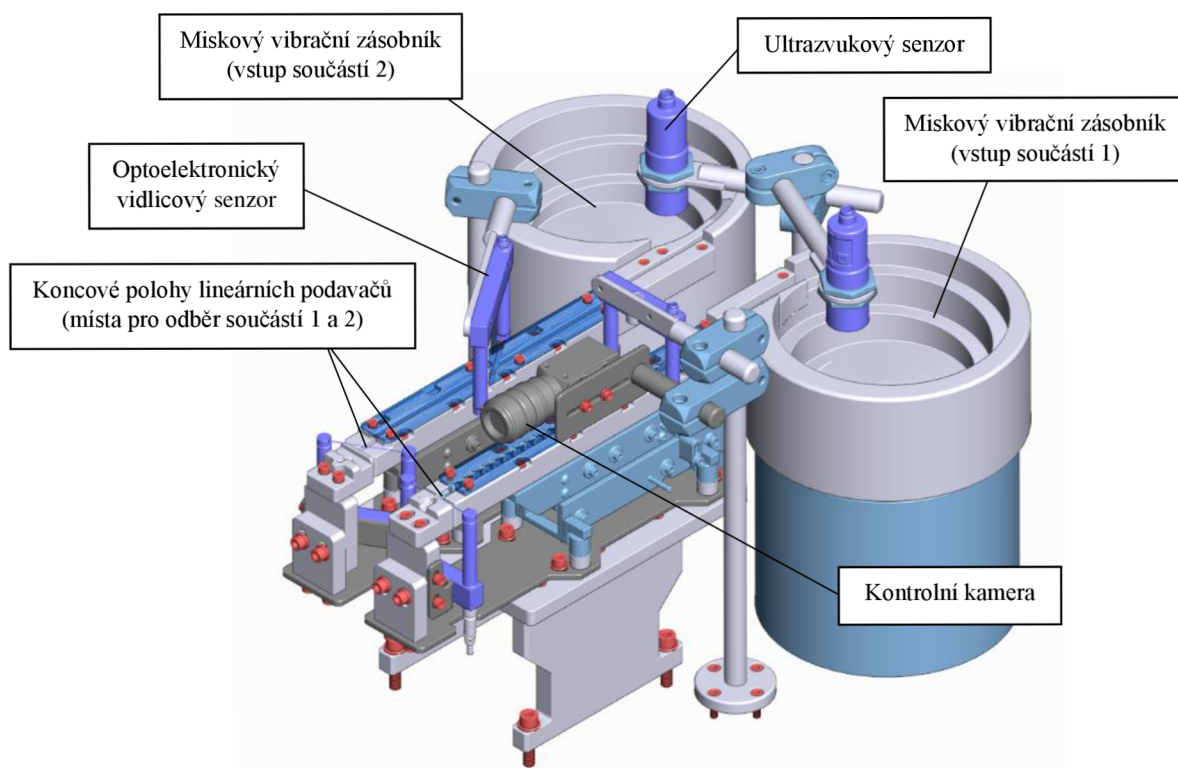
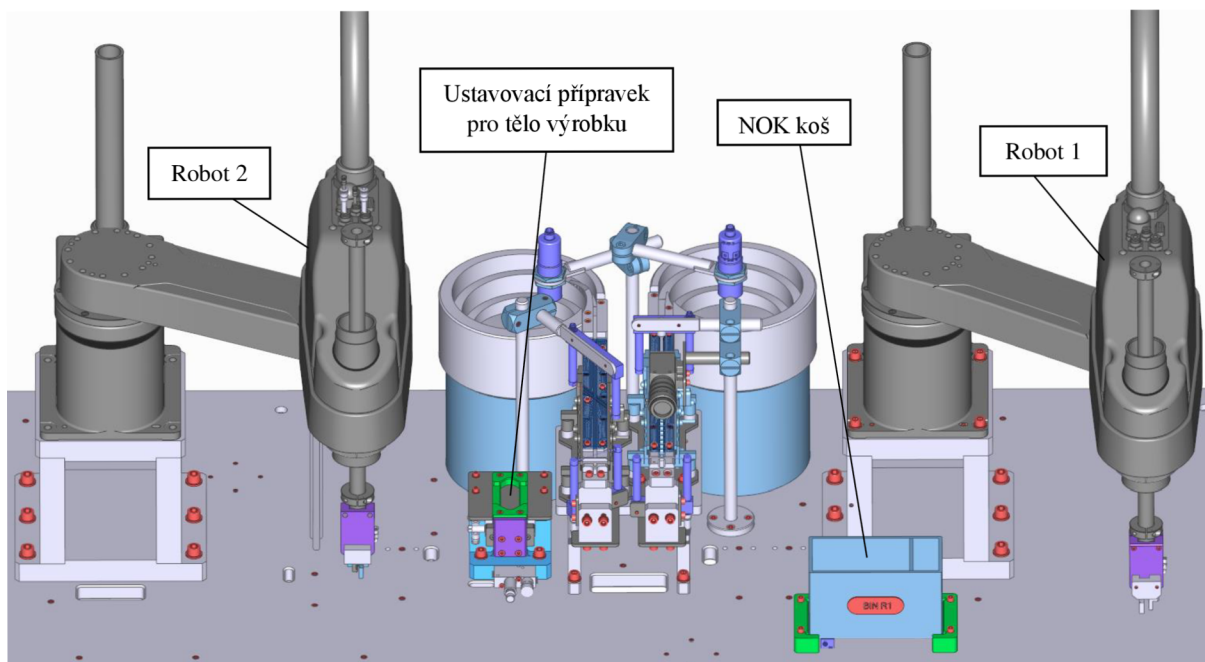
Na obrázku 27 lze vidět půdorysný pohled na stávající řešení uzlu v kontextu celého stroje. Pro přehlednost a zejména kvůli nutnosti zachování diskretnosti jsou skryty komponenty v okolí, které na uzel nemají funkční vliv, včetně rámu a krytování. Je zobrazena pouze základová deska a komponenty uzlu, kterým se tato práce zabývá. Ve zbytku pracoviště SCARA roboty obstarávají ostatní operace, které byly okrajově zmíněny v kapitole 3.1, a není potřeba je zde podrobněji rozebírat.



Obr. 27) Půdorysný pohled umístění uzlu na základové desce stroje

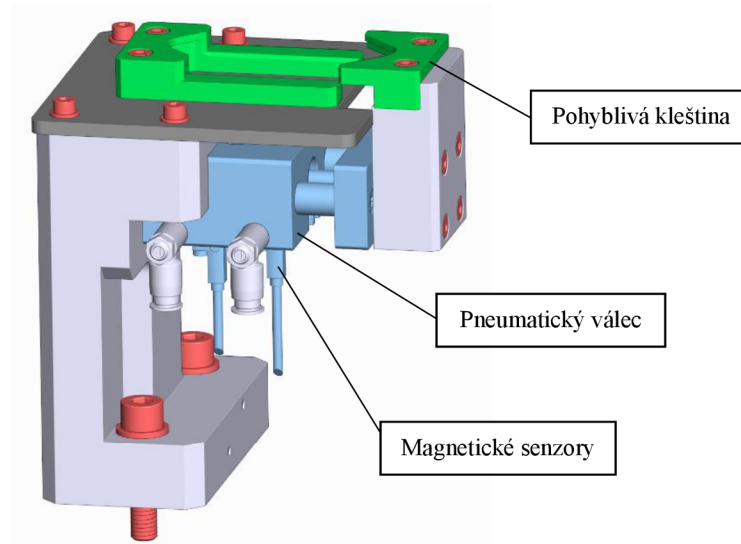
Níže na obrázku 28 je zobrazen detailnější pohled na řešený konstrukční uzel. Základem uzlu jsou miskové vibrační zásobníky v kombinaci s lineárními vibračními podavači na dva druhy manipulovaných součástí. Nedílnou součástí je přípravek pro ustavení těla výrobku. Veškerá manipulace napříč uzlem je zajištěna dvěma roboty typu SCARA. Robot 1 nejprve založí tělo výrobku do ustavovacího přípravku, následně ve správném pořadí odebere součásti z koncových poloh lineárních podavačů, provede vizuální kontrolu ze dvou stran před kamerou, a v případě úspěšné kontroly založí součásti do těla. Pokud vizuální kontrola odhalí vadný kus, robot jej odhodí do NOK koše a proces provede s novou součástí. O odebrání těla výrobku z ustavovacího přípravku k dalším operacím se postará robot 2, čímž proces montáže tohoto uzlu končí.

Vibrační zásobníky (podavače) jsou opatřeny patřičnou sensorikou. Ke kontrole množství dílů v miskovém zásobníku jsou použity ultrazvukové snímače a pro detekci přítomnosti dílů na lineárních podavačích optoelektronické vidlicové snímače.



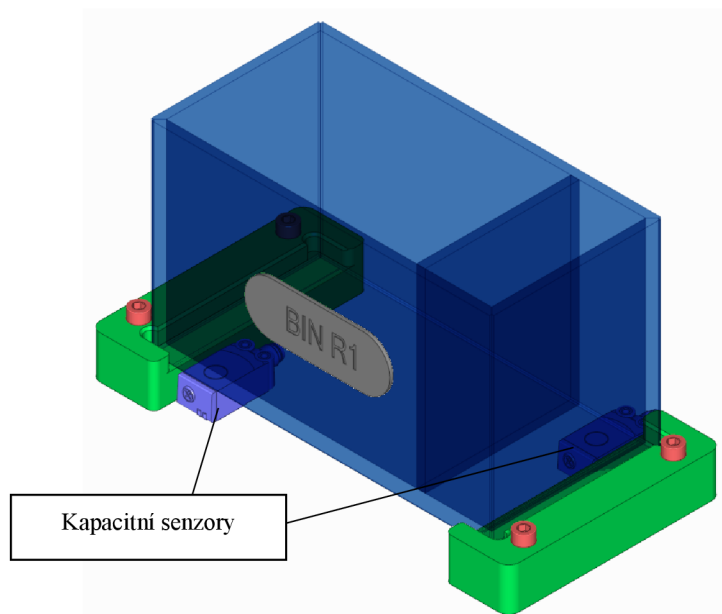
Obr. 28) Původní konstrukční řešení uzlu – všechny komponenty uzlu včetně robotů (nahore), detail vibračních podavačů (dole)

Přesné ustavení těla výrobku v přípravku je zajištěno lineárním pneumatickým válcem, kdy je tělo výrobku ihned po vložení přitlačeno kleštinou. Tím je zaručeno dodržení polohové přesnosti a stability při vkládání dílů do těla. Poloha pneumatických válců je snímána magnetickými senzory. Model ustavovacího přípravku s popisky lze vidět na obrázku 29.



Obr. 29) Ustavovací přípravek

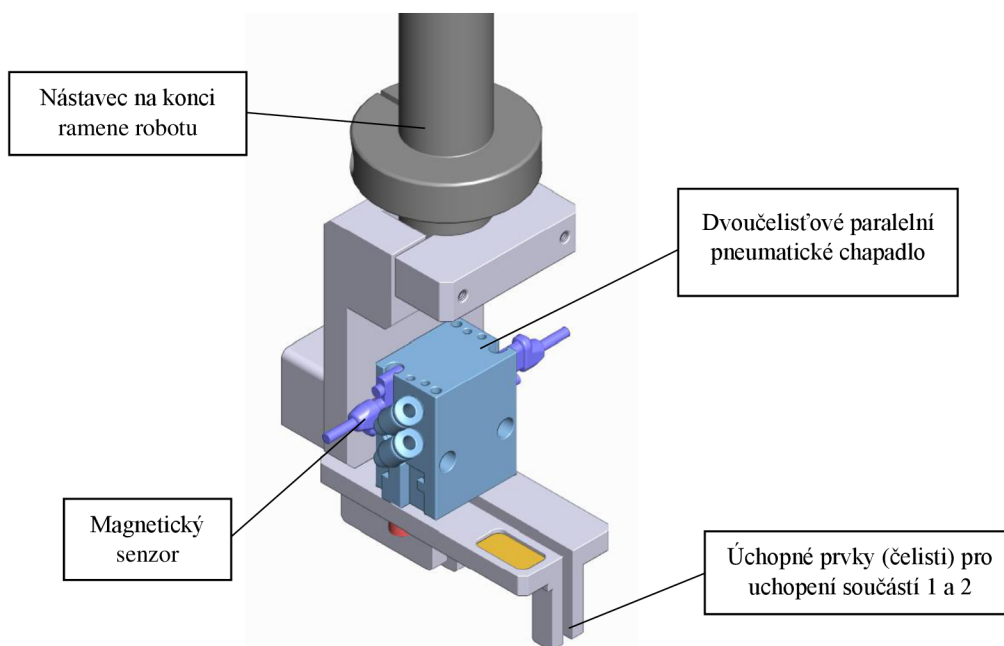
Vadné součásti jsou odhazovány do koše z průhledného PVC, který je nutné při naplnění vyjmout a vysypat operátorem. Vzhledem k tomu, že je koš odnímatelný, je nutné zajistit, aby pracovní proces mohl být spuštěn pouze v době přítomnosti koše. Ke kontrole přítomnosti koše je použita dvojice kapacitních senzorů, které pokud zaznamenají absenci koše, nebo jeho špatné ustavení, vyšlou do řídicího systému chybovou hlášku a nepovolí spuštění pracovního procesu. Koš slouží také k odhození vadných těl výrobku v jiných fázích procesu. Proto je, jak lze vidět na obrázku 30, rozdělen příčkou.



Obr. 30) NOK koš

Na obrázku 31 lze vidět model koncového efektoru SCARA robotu 1. Vzhledem k tomu, že tento robot obstarává více činností uvnitř zařízení, jeho koncový efektor má několik funkčních koncových bodů a jiných opodstatněných konstrukčních prvků. Prvky koncového efektoru, které nesouvisí s uzlem, kterým se tato práce zbývá, nebudou blíže popisovány. Pro manipulaci s tělem výrobku se v novém návrhu předpokládá stejný způsob uchopování, jako tomu je u stávajícího řešení. Pro tuto práci jsou tedy důležité pouze způsoby uchopení součástí 1 a 2. Robot 2 přímo nezasahuje do montáže součástí do těla a pouze odebírá tělo po skončení procesu montáže, proto není potřeba podrobněji popisovat jeho koncový efektor.

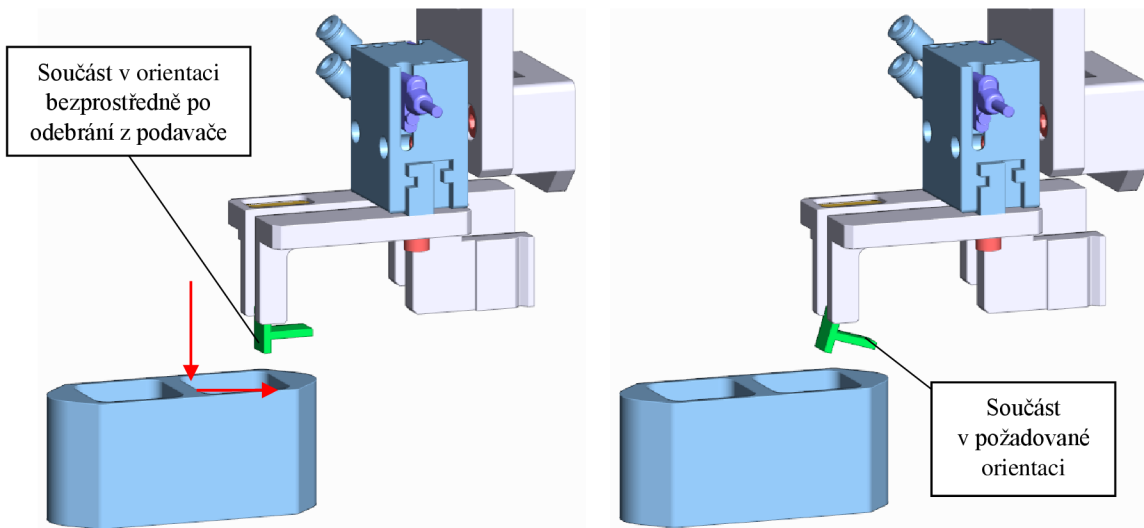
Uchopení součástí je zajištěno pomocí mechanických aktivních úchopných prvků, jejichž pohyb (sevržení a rozevření) je vyvozen lineárním pneumatickým pohonem. Konkrétně se jedná o dvoučelist'ové paralelní chapadlo MGP804N od společnosti Zimmer group. Poloha čelistí je sledována pomocí magnetických senzorů použitých na pneumatických válcích chapadla.



Obr. 31) Koncový efektor SCARA robotu 1

Jak již bylo zmíněno, při montáži součástí 1 a 2 do těla, je nutné vkládat obě součásti ve vhodném naklonění. Součásti po ustavení na konci lineárních vibračních podavačů nejsou nakloněny pod úhlem, v jakém je potřeba součást do těla vložit. Vzhledem k tomu, že robot typu SCARA svou kinematikou neumožňuje změnu orientace koncového bodu, je nutné toto naklonění vyřešit jinak.

Na obrázku 32 je znázorněn postup vkládání součástky do těla výrobku. Na levé straně obrázku je součást ve stavu bezprostředně po odebrání z koncové polohy lineárního vibračního podavače, tzn. není připravena pro vložení do těla. Naklonění součásti se provede „najatím“ nad tělo a následným „opřením“ dílu o hranu těla dle směru naznačeného šipkami. V pravé části obrázku je vidět součást již ve správném naklonění, která je připravena pro vložení do těla. Úhel naklonění na obrázku je pouze orientační, obrázek slouží pouze pro nastínění principu, jakým způsobem je naklonění uskutečněno. Tento princip je u obou zmíněných objektů manipulace (součást 1 a 2) obdobný.



Obr. 32) Postup vkládání součásti 2 do těla výrobku

4.2 Kritické zhodnocení původního řešení uzlu

Na začátek této kapitoly se hodí zmínit, že stávající řešení tohoto uzlu je přijatelné a funkční. Nicméně doba, po kterou je již zařízení v provozu, ukázala, že toto řešení není zcela ideální a objevily se jisté prostory ke zlepšení, zejména v oblasti plynulosti procesu. Níže budou po odstavcích shrnuty problémy a oblasti potenciálního zlepšení uzlu.

Prvním problémem je, že díly, se kterými je manipulováno (součást 1 a 2), jsou původně vyráběny pro montáž operátorem, nikoliv pro automatizaci. Pro automatizaci se obecně vyžadují díly s vyšší přesností a opakovatelností výroby. V některých případech je možné použít pro automatizaci díly, které pro ni nebyly původně určeny, musí se však počítat s tím, že časem může při výrobním procesu docházet k různým potížím. To se částečně stalo i v tomto případě, kdy nastal problém při dávkování součástí ve vibračních podavačích. Právě kvůli nedostatečné přesnosti dílů v kombinaci s jejich specifickým tvarem a materiálem dochází k častému „zasekávání“ součástí v různých částech vibračních podavačů. To má za následek výrazné zhoršení plynulosti procesu a časté prostoje zařízení z důvodu údržby.

Další problém, který byl na stávajícím řešení upozorován se týká kamerového systému pro vizuální kontrolu součástí. Aktuálně používaný kamerový systém často chybně označí za vadné kusy i ty, které jsou prokazatelně vyrobeny správně. Tato skutečnost se negativně projevuje na zbytečném vyhazování správných součástí, častému přeplnění NOK košů a v neposlední řadě na rychlosti a plynulosti procesu. Proto je nutné vyměnit kamerový systém za jiný, disponující pokročilejšími technologiemi na rozpoznávání obrazu.

Problémy se „zasekáváním“ součástí a kamerovým systémem lze označit za hlavní problémy a zároveň důvody požadavku na přepracování uzlu. Dále již budou zmíněny pouze oblasti potenciálního zlepšení, o kterých se nedá tvrdit, že se jedná o problémy. Jedná se spíše o inovativní myšlenky, které by mohly zefektivnit chod pracoviště. Vzhledem k tomu, že je nutné uzel přepracovat z důvodů popsaných výše, vyskytla se jedinečná příležitost tyto myšlenky proměnit ve skutečnost.

Při přepracování uzlu je jednou z oblastí potenciálního zlepšení způsob zakládání součástí do těla výrobku. Stávající způsob naklopení součástky před vložením (viz obrázek 33 a jeho popis) se zdaleka nejeví jako nejpraktičtější ani nejrychlejší způsob. Nyní se otevírají

nové možnosti, jak docílit efektivnější montáže součástí do těla. Efektivnější montáže může být docíleno například jiným typem robotu, úpravou koncového efektoru či jinými konstrukčními úpravami v rámci uzlu.

Další oblastí, kde je možnost zefektivnit pracovní proces a zaručit větší plynulost je způsob doplňování vstupního materiálu (součástí 1 a 2). Celá stanice je uzavřena několika dveřmi zabezpečenými bezpečnostními zámky, a tyto dveře samozřejmě není možné otevřít za provozu. Momentálně je doplňování možné pouze mimo provozní dobu zařízení, a to dosypáváním přímo do miskových vibračních zásobníků. Při příležitosti přestavby uzlu se nabízí navrhnout uzlu tak, aby se daly součásti doplňovat za plného chodu zařízení. Toto je možné pomocí několika způsobů, které bezpodmínečně musí splňovat veškeré bezpečnostní požadavky.

V tabulce 1 lze vidět velmi zjednodušený, avšak pro dané znázornění dostačující Ganttův diagram, který ukazuje čas robotických operací SCARA robotu 1. Znázorňuje operace od začátku procesu, kdy robot uchopí tělo výrobku, až po dokončení montáže, která končí vložením součástí 1 a 2 do těla, které je tímto připraveno pro odběr SCARA robotem 2. Řádek s popiskem „založení těla“ zahrnuje veškeré procesy, které se s tělem dějí před založením do přípravku. Řádek s popiskem „založení součástí 1 a 2“ již zahrnuje operace, které se udávají v uzlu, který bude nově navržen.

Tab 1) Ganttův diagram původního řešení pro 1 cyklus bez NOK kusů

operace / čas [s]	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
založení těla výrobku	■	■	■	■	■	■	■	■								
založení součástí 1 a 2									■	■	■	■				

Ganttův diagram výše nepočítá s NOK součástmi. Níže je diagram rozšířen o čas na případné odhození vadných součástí a založení součásti nové. Pokud bude během jednoho montážního cyklu nalezena jedna špatná součást, protáhne se doba cyklu robotu 1 z původních 24 sekund na cca 27 sekund (viz tabulka 2). Pokud budou nalezeny vadné součásti dvě, čas cyklu robotu 1 již přesáhne 30 sekund (viz tabulka 3). Četnost vadných součástí je poměrně vysoká a ve stávajícím řešení docházelo kvůli této skutečnosti k častým prostojům. Při novém řešení uzlu by mělo být snahou různými prostředky zvýšit rychlost pracovního procesu a co nejvíce eliminovat zdržení způsobená chybnými součástkami.

Tab 2) Ganttův diagram původního řešení pro 1 cyklus s jedním NOK kusem

operace / čas [s]	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
založení těla výrobku	■	■	■	■	■	■	■	■								
založení součástí 1 a 2									■	■	■	■	■	■		

Tab 3) Ganttův diagram původního řešení pro 1 cyklus se dvěma NOK kusy

operace / čas [s]	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
založení těla výrobku	■	■	■	■	■	■	■	■								
založení součástí 1 a 2									■	■	■	■	■	■	■	■

4.3 Návrh koncepce nového řešení uzlu

V této kapitole bude navržena koncepce nové verze zmiňovaného výrobně-montážního uzlu. Uzel musí v nové verzi splňovat stejnou funkci, jako tomu je u stávajícího řešení (viz obrázek 27). Cílem je upravit uzel tak, aby byly odstraněny stávající problémy a aby bylo dosaženo vyšší efektivity pracoviště. Při návrhu nové verze tohoto uzlu bude kladen důraz, dle předchozí kapitoly, na tyto aspekty:

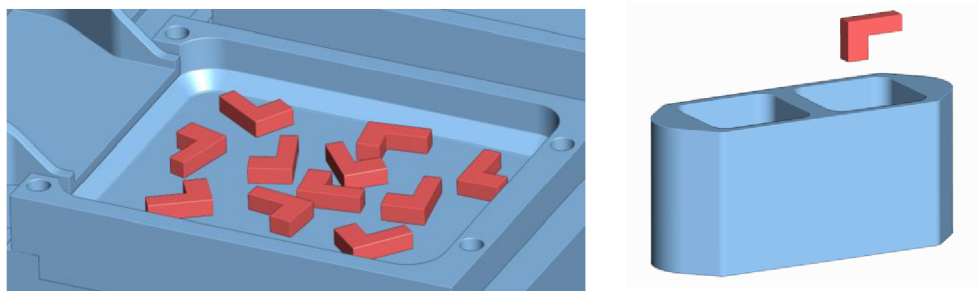
- Vyřešení problému se „zasekáváním“ součástí 1 a 2 ve vibračních podavačích
- Vyřešení problému s častými chybami při vizuální kontrole součástí 1 a 2
- Optimalizace způsobu zakládání součástí 1 a 2 do těla výrobku
- Zajištění možnosti doplňování vstupního materiálu (součástí 1 a 2) za chodu zařízení
- Optimalizace rychlosti a plynulosti zařízení

Při prvotním návrhu koncepce je důležité dbát na několik věcí. Celá pracovní stanice je řízena poměrně komplikovaným a komplexním PLC řídicím systémem. Při každém zásahu do PLC a robotických programů je vysoká pravděpodobnost vzniku různých problémů například při odladování procesu a oživování stroje, které můžou stát notnou dávkou času. Proto je snahou navrhnout uzel tak, aby byly v co největší míře zachovány stávající programy. Jednou ze stěžejních oblastí uzlu je ustavovací přípravek pro zakládání součástí do těla výrobku (viz obrázek 30). Je požadavkem, aby pozice tohoto přípravku byla právě kvůli zasahování do programů přesně zachována. Stejně tak je požadováno zachování pozic obou SCARA robotů.

V následujících odstavcích bude rozebrán postup při prvotním návrhu koncepce, která bude základním stavebním kamenem pro následný návrh variant a jejich zhodnocení.

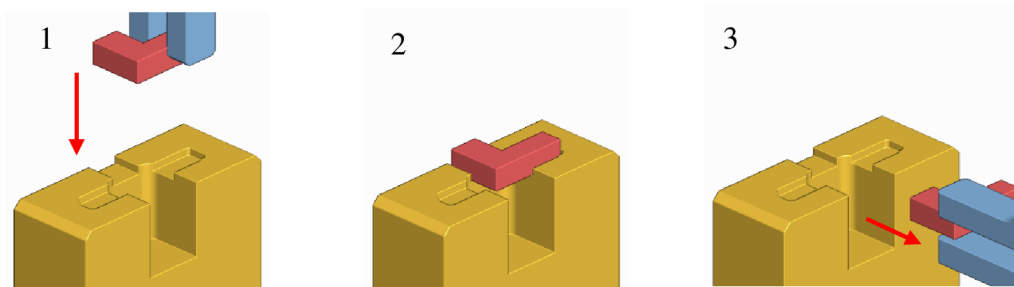
Pro vyřešení problému se „zasekáváním součástí“ v podavačích se nabízí místo klasických vibračních podavačů použít flexibilní vibrační podavače s kamerou a robotem s mechanickými úchopnými čelistmi. Toto bylo doporučeno již před započítím práce a plyne to ze zadání. Použitím flexibilních vibračních podavačů sice odpadnou jisté problémy, které nastávají u klasických miskových a lineárních vibračních podavačů, nicméně vznikají jiné problémy k řešení.

Při odebírání robotem z koncové polohy lineárního vibračního podavače, jako je tomu u stávajícího řešení, je podávaná součást naorientována v jasně dané orientaci. Při odebírání z flexibilního vibračního podavače jsou součásti nahodile rozprostřeny po ploše podávací desky a robot odebere tu součást, o které dostane informaci od kamerového systému, že je ve správné orientaci. Součást 1 na rozdíl od součásti 2 svým tvarem, až na výjimky, vždy na vibrační desce dosedne na jednu ze svých „bočních“ ploch. Do těla výrobku je však nutné tuto součást vložit v orientaci, kdy je oproti poloze na desce součást otočená o 90°. U součásti 2 k tomuto problému nedochází a četnost součástí na desce podavačů po „zavibrování“ v orientaci stejně jako pro založení do těla je poměrně vysoká. Toto bylo ověřeno experimentálně. Na obrázku 33 je vlevo znázorněno běžné rozprostření součástí 1 na desce flexibilního vibračního podavače a vpravo je součást již v orientaci, která je potřebná pro založení do těla. Z obrázku 33 je zřejmé, že součást nelze založit do těla bezprostředně po odebrání z podavače.



Obr. 33) Typické rozmístění součásti 1 na vibrační desce (vlevo) a součást 1 v orientaci potřebné pro vložení do těla výrobku (vpravo)

Tato skutečnost vede k prvotnímu návrhu koncepce uzlu. Součástí uzlu musí být přípravek, pomocí kterého bude možné změnit orientaci součástky z původní na požadovanou. Na obrázku 34 lze vidět lůžko, které slouží k „přechycení“ součástky do požadované orientace. Toto lůžko je opět znázorněno pouze v orientačním tvaru s jistými úpravami, z důvodu zachování diskretnosti. Na obrázku je také znázorněn postup „přechycení“ součásti, kdy je součást do lůžka nejprve shora založena a následně odebrána z přední strany. Na třetím obrázku zleva je již součást v orientaci, v jaké bude zakládána do těla výrobku.



Obr. 34) Postup přechycení součásti 1

Takovou operaci není možné uskutečnit se stávajícím čtyřosým SCARA robotem, proto bude pro manipulaci se součástkami přidán do stanice malý šestiosý kloubový robot. Použití šestiosého robotu, namísto SCARA robotu, poskytuje větší svobodu při návrhu uzlu, protože dovoluje se součástmi manipulovat ve více stupních volnosti. Rozdělením práce mezi dva roboty lze navíc dosáhnout vyšší rychlosti procesu.

Ještě před samotným návrhem konkrétních konstrukčních variant byly vybrány vhodné flexibilní vibrační podavače, kamerové systémy a průmyslový robot. V následujících podkapitolách budou popsány konkrétní vybrané typy komponent a zdůvodnění jejich výběru. Od těchto vybraných komponent se bude odvíjet návrh prvotního layoutu uzlu a následný výběr nejvhodnější varianty.

4.3.1 Volba flexibilních vibračních podavačů

Ve firmě, ve které je tato práce zpracovávána byly v minulosti na jiných zařízeních flexibilní vibrační podavače již používány. V různých aplikacích se osvědčily podavače společnosti AsyriL, konkrétně podavače výrobní řady Asycube. Při výběru podavačů měly tedy podavače řady AsyriL Asycube velkou prioritu.

Flexibilní vibrační podavače řady Asycube jsou použitelné pro komponenty s velikostí od 0,1 mm do 150 mm. Podle slov společnosti AsyriL jsou podavače této řady kompatibilní se všemi typy robotů a PLC. Jejich podavače jsou kompatibilní i s komplikovanými geometriemi či

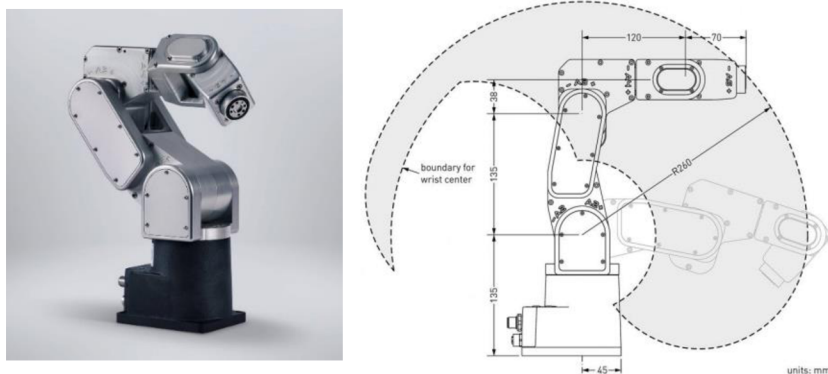
speciálními materiály dílů. Mimo to disponují třiosou vibrační technologií, která umožňuje pohyb dílů ve všech směrech, což umožňuje přizpůsobení vibrací pro optimální rozmístění dílů na desce. K flexibilním podavačům Asycube je k dispozici software, s jehož pomocí lze nastavovat frekvenci a amplitudu vibrací pro optimální pohyby dílů, spravovat násypku apod. Společnost Asyriil má v nabídce vlastní řídicí systém zahrnující mimo jiné také kameru, podavače je ovšem možné zkombinovat i s různými kamerovými systémy jiných výrobců. [39] Z nabídky společnosti Asyriil byl vybrán konkrétně flexibilní podavač Asycube 80 (viz obrázek 35), který se pro danou aplikaci jeví jako optimální. Tento typ podavače je určen pro součásti o velikosti 3 až 15 mm. Všechny další parametry tohoto podavače jsou k nahlédnutí v katalogovém listu v přílohách. [39]



Obr. 35) Flexibilní vibrační podavač Asyriil Asycube 80 [39]

4.3.2 Volba průmyslového robotu

Z již zmíněných důvodů je žádoucí pro manipulaci se součástmi 1 a 2 použít šestiosý robot. Největším úskalím při volbě vhodného robotu pro danou aplikaci byl značně omezený prostor pro jeho umístění. Zásadním parametrem pro výběr robotu byla tedy jeho vlastní velikost. I přes rozsáhlý trh s průmyslovými roboty byl poměrně velký problém najít takto kompaktní šestiosý robot. Nakonec byl zvolen průmyslový robot Meca 500 společnosti Mecademic, který splňuje rozměrové požadavky při zachování dostatečné rychlosti, přesnosti a dalších důležitých parametrů. Velkou výhodou robotu Meca 500 je kontrolér zabudovaný přímo do základny robotu. Absence často objemné skříně s kontrolérem je při umísťování robotu do kontextu již navrženého zařízení, kde se původně s tímto kontrolérem nepočítalo, opravdu velkým bonusem. Robot disponuje dosahem 330 mm a za zmínku stojí také parametry jako je maximální rychlost TCP, což je 1000 mm/s či opakovatelnost, která činí 0,005 mm. Na obrázku 36 lze vidět kromě fotografie robotu také jeho pracovní prostor se zakótovanými rozměry. Všechny ostatní parametry robotu lze dohledat v uživatelském manuálu v přílohách. [40]



Obr. 36) Průmyslový robot Meca 500 [40]

4.3.3 Volba kamerových systémů

U stávajícího řešení je pro veškeré kamery v celém zařízení použit společný kamerový systém od společnosti Keyence. Tento kamerový systém při vlastní funkci nepoužívá strojové učení a umělou inteligenci. Technologie, která je u tohoto kamerového systému používána se jevila při návrhu zařízení dostačující, časem však docházelo k častým chybám, jak již bylo popsáno v kapitole o kritickém zhodnocení původního řešení uzlu. V novém řešení je tedy nutné vyřešit tento problém zvolením nového kamerového systému s pokročilejšími technologiemi zpracování obrazu.

Po zvážení několika faktorů byl vybrán kamerový systém společnosti Cognex. Tento systém na rozdíl od systému Keyence poskytuje pokročilé technologie strojového učení jako je deep-learning (hluboké učení), díky čemuž je schopen podstatně přesněji rozpoznávat nové a neznámé prvky. Ke kamerovým systémům Cognex je dodáván software pro jeho intuitivní ovládání a programování.

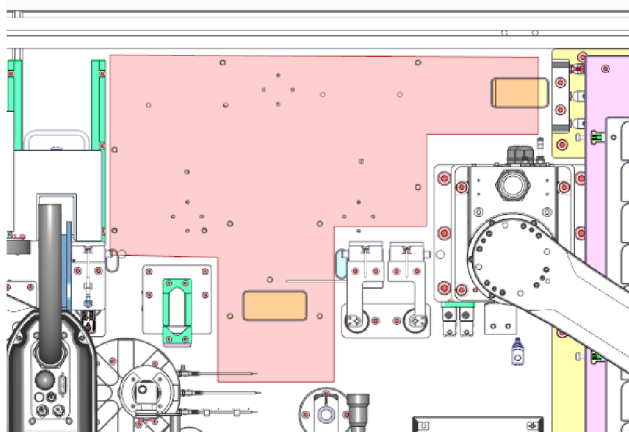
Ke kamerovému systému jsou použity kamery společnosti iRayple, které jsou dostupnější než originální kamery Cognex a zároveň jsou pro danou aplikaci se svými parametry dostačující. Pro vizuální kontrolu součástí 1 a 2 je použito zadní podsvícení společnosti SmartView. Konkrétní typy kamer a podsvícení byly vybrány na základě konzultací s jejich výrobcem či dodavatelem a následně byla jejich správná funkčnost experimentálně ověřena. Ke kamerám byly dále vybrány vhodné objektivy. Katalogové listy kamer a podsvícení jsou uvedeny v přílohách.

5 NÁVRH VARIANT NOVÉHO ŘEŠENÍ UZLU

Na základě předchozí analýzy jsou v této kapitole navrženy 3 varianty nového řešení uzlu. Všechny návrhy variant vychází z prostorových dispozic a těchto základních komponent:

- Flexibilní vibrační podavače na dva druhy součástek
- Kamera pro řízení vibračních podavačů
- Šestiosý kloubový robot
- Manipulační stanice (viz obrázek 34)
- Kamera pro vizuální kontrolu součástí včetně vhodného osvětlení
- Koš pro odhazování vadných součástek

Při návrhu variant je úkolem zvolit co nejvhodnější rozmístění zmíněných základních, popřípadě dalších přídatných komponent. Na obrázku 37 je hrubě červenou výsečí naznačen prostor uvolněný po odstranění komponent stávajícího řešení a jedná se zároveň o prostor, do kterého se musí vejít všechny komponenty řešení nového. Je nutné si také uvědomit, že tento prostor není vymezen pouze okolními stanicemi na pracovní desce, ale je omezen také výškově kvůli SCARA robotům, které při práci zasahují do určitých částí nad tímto vymezeným prostorem.



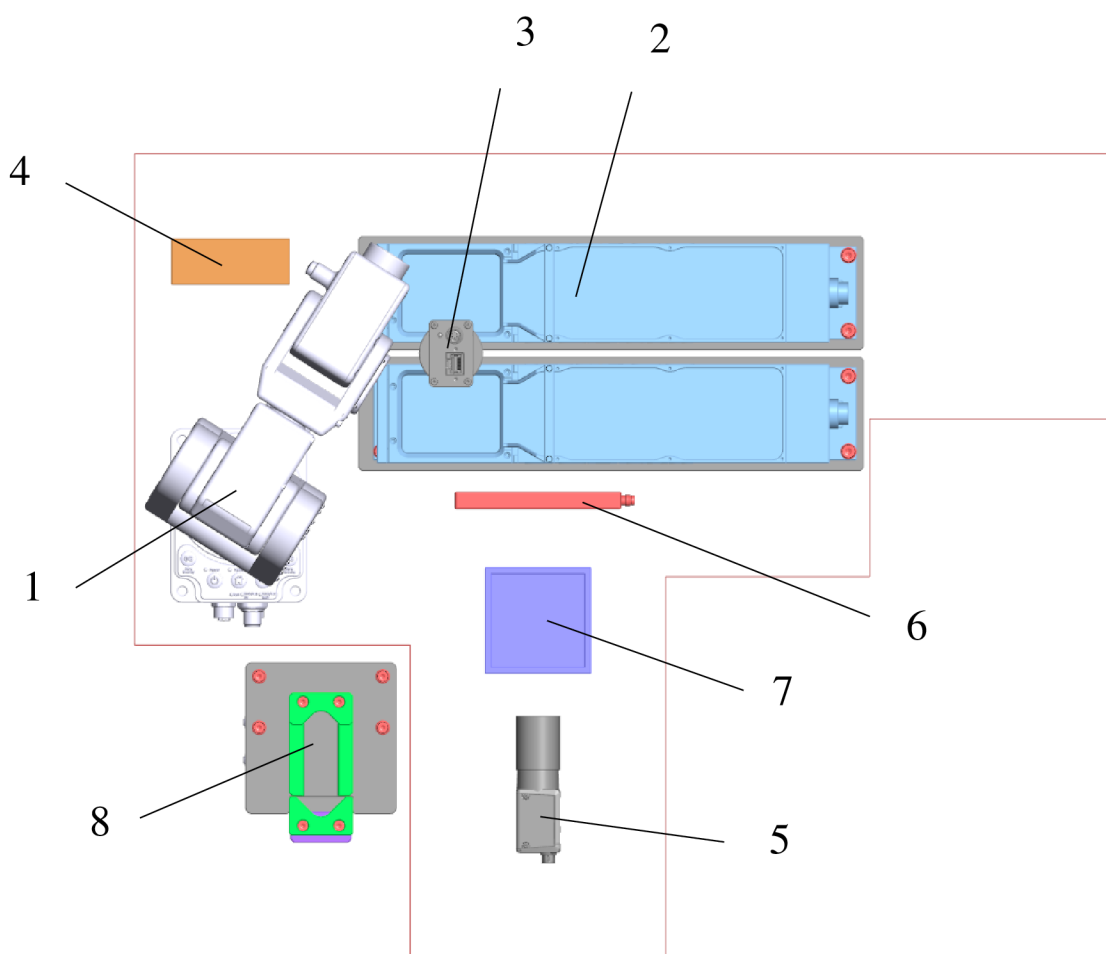
Obr. 37) Prostor pro nové řešení uzlu

Velice důležitým nástrojem při návrhu optimálního rozvržení uzlu byl simulační software. V průběhu návrhu a konstrukce byl k simulacím využíván software RoboDk, pomocí kterého byly ověřovány pozice, dosahy a kolize robotů, a také časy robotických operací.

Níže jsou schematicky navrženy jednotlivé varianty uzlu. U všech variant je zachována stejná pozice flexibilních vibračních podavačů s kamerou. Umístění vibračních podavačů bylo určeno podle možností umístění kamery. Zvolená pozice podavačů je jediná pozice, kde kameře nad podavači při snímání výrazně nezavazí SCARA roboty. Jinými slovy je toto umístění podavačů jediným možným místem, do kterého SCARA roboty při své práci nezasahují tak, aby zamezovaly kameře v plnohodnotném snímání rozmístění součástí na vibrační desce. Toto bylo ověřeno simulací. Počítá se s tím, že kamera k podavačům bude upevněna na horní části rámu celé stanice. Podrobný popis způsobu upevnění kamery je uveden v kapitole 8.6. Vibrační podavače jsou umístěny na kraji zařízení přímo u bezpečnostních dveří. Toto umístění se jeví jako vhodné pro případnou realizaci možnosti doplňování součástí 1 a 2 do flexibilních podavačů za chodu zařízení.

5.1 Varianta 1

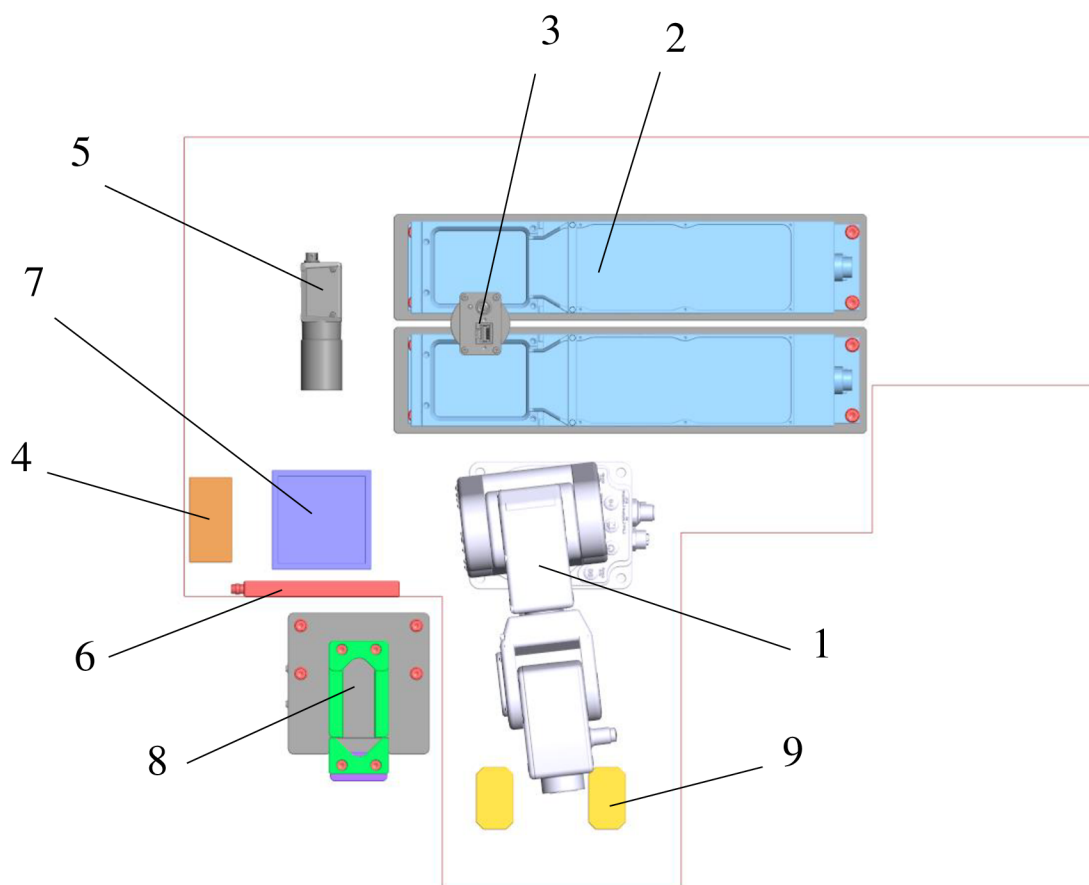
V první variantě (viz obr. 38) šestiosý robot (1) na základě informace z kamerového systému (3) o poloze a orientaci součásti odebere nejprve součást 1 z flexibilních vibračních podavačů (2), následuje do manipulační stanice za účelem „přechycení“, jehož princip byl popsán v kapitole 5. Dále pokračuje k vizuální kontrole mezi kameru (5) a její osvětlení (6), kde je součást zkontrolována ze dvou stran. Pokud vizuální kontrola odhalí vadu, robot (1) odhodí součást do NOK koše (7). Pokud součást projde vizuální kontrolou úspěšně, robot (1) ji založí do těla, které je ustaveno v ustavovacím přípravku (8). Následně se cyklus opakuje se součástí 2, u které je vynecháno „přechycení“ v manipulační stanici (4). V této variantě není upraven způsob zakládání součástí do těla ve správné orientaci, a naklopení součástí musí být provedeno stejným způsobem jako u stávajícího řešení viz obrázek 32. Kvůli zakládání součástí šestiosým robotem přímo do těla zasahuje tento robot do pracovního prostoru obou SCARA robotů, které se starají o ustavení a odběr těla výrobku z ustavovacího přípravku. Kvůli této skutečnosti musí být programově patřičně ošetřeno, aby nedocházelo ke kolizím se SCARA roboty. Tato varianta je nejjednodušší a nejrychlejší ze všech tří navržených variant, nicméně vyžaduje velký zásah do robotických programů a není zde vyřešen problém s naklápěním součástí před vložení do těla výrobku.



Obr. 38) Rozložení v uzlu – varianta 1

5.2 Varianta 2

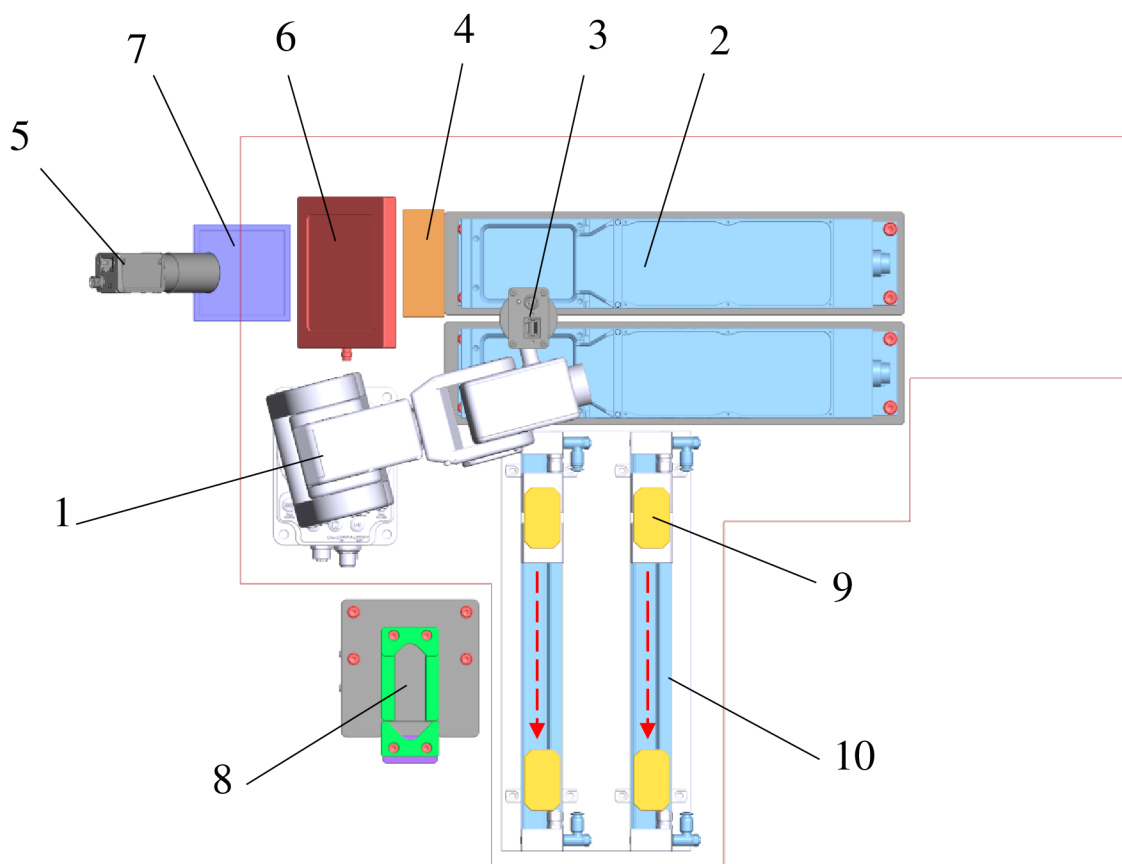
Hlavní vizí této varianty (viz obr. 39) je co největší míra zachování stávajících programů SCARA robotů. Ačkoliv se oproti variantě 1 výrazně změnilo rozestavení uzlu, pracovní cyklus tohoto řešení je velmi podobný. Rozdíl nastává až v poslední robotické operaci, kdy robot (1) místo založení přímo do těla (8) zakládá oba druhy součástí do lůžek (9). Následně součásti ve správném pořadí z lůžek odebere a založí do těla SCARA robotu 1. Lůžka jsou ve stejné pozici, jako konce lineárních vibračních dopravníků, ze kterých byly SCARA robotem odebírány v původním řešení. Dále je možné lůžka (9) využít pro naklopení součástek do orientace, ve které jsou zakládány do těla, aby nemuselo být využíváno neefektivního způsobu naklápění jako u původního řešení viz obrázek 32. Tato varianta není tolik náročná na úpravu programů jako varianta 1, nicméně šestiosý robot stále zasahuje do pracovního prostoru SCARA robotu 1. Není tedy zajištěna předvídatelná plynulost cyklu.



Obr. 39) Rozložení v uzlu – varianta 2

5.3 Varianta 3

Tato varianta (viz obr. 40) zachovává myšlenku varianty 2, kdy je cílem v co největší míře zachovat robotické programy původního řešení, a kdy se o finální zakládání do těla opět stará SCARA robot 1. Rozdíl je v tom, že šestiosý robot (1) nezakládá součásti do pozice k odběru SCARA robotem přímo, nýbrž zakládá do lůžka (9) na lineárním pneumatickém válci (10), jímž jsou součásti na lůžkách následně přesunuty do požadované pozice. Lze si všimnout že kontrolní kamera (5) a NOK koš (7) zasahují mimo vymezený prostor. Drobnou konstrukční úpravou oblasti, do které je zasahováno lze však toto překročení hranice vymezeného prostoru akceptovat. Tato varianta je sice pomalejší a konstrukčně složitější než varianty 1 a 2, její výhoda však spočívá v tom, že šestiosý robot pracuje v pracovním prostoru, který nezasahuje do pracovního prostoru SCARA robotů. To, že tyto roboty mohou pracovat nezávisle na sobě znamená, že není nutné programově řešit jejich vzájemné kolize, a je zde předpoklad vyšší plynulosti cyklu.



Obr. 40) Rozložení v uzlu – varianta 3

5.4 Časová analýza variant

Ještě před vyhodnocením variant bude provedena časová analýza jednotlivých variant. Níže jsou vyobrazeny přibližné Ganttovy diagramy odvozené ze simulací vždy pro jeden cyklus jednotlivých variant od počátku procesu po založení součástí 1 a 2 do těla výrobku. Diagramy jsou znázorněny pro tři situace, kdy vizuální kontrola v rámci jednoho cyklu:

- Neodhalí ani jeden NOK kus (ideální stav)
- Odhalí jeden NOK kus
- Odhalí dva NOK kusy

Odhalení NOK kusu vždy znamená zdržení procesu, kdy je nutné odhodit špatnou součást do NOK koše a opakovat proces s novou součástí.

Konkrétní časové diagramy původního řešení jsou k nahlédnutí v kapitole 4.2. V původním řešení je přibližný čas jednoho cyklu od počátku procesu po založení součástí 1 a 2 do těla výrobku:

- Ve stavu s žádným NOK kusem cca 24 s
- Ve stavu s jedním NOK kusem cca 27 s
- Ve stavu se dvěma NOK kusy cca 30,5 s

Varianta 1

Na následujících Ganttových diagramech v tabulkách 4, 5, 6 lze vidět časový průběh procesu první varianty, kde je oranžovou barvou vyznačena práce SCARA robotu a modrou barvou práce šestiosého robotu. Tato varianta je výrazně rychlejší než původní řešení, což je způsobeno tím, že šestiosý robot za SCARA robot vykonává kompletní proces založení součástí do těla výrobku. Za drobnou nevýhodu lze považovat, že již při jedné odhalené NOK součásti je proces šestiosého robotu pomalejší než proces SCARA robotu. Může tedy docházet k situacím, kdy SCARA robot bude se založením do těla čekat na dokončení práce šestiosého robotu a odebrání těla výrobku z ustavovacího přípravku SCARA robotem 2. Toto může vést ke zhoršení plynulosti procesu.

Tab 4) Ganttův diagram 1. varianty pro 1 cyklus bez NOK kusů

operace / čas [s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Založení těla výrobku	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Založení S1 a S2 do těla	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Tab 5) Ganttův diagram 1. varianty pro 1 cyklus s jedním NOK kusem

operace / čas [s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Založení těla výrobku	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Založení S1 a S2 do těla	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Tab 6) Ganttův diagram 1. varianty pro 1 cyklus se dvěma NOK kusy

operace / čas [s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Založení těla výrobku	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Založení S1 a S2 do těla	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Varianta 2

Z Ganttových diagramů v tabulkách 7, 8 a 9 lze vyčíst, že varianta 2 je o něco pomalejší než varianta 1. Stále je ovšem rychlejší než varianta původního řešení. Nedochozí zde již k tak výraznému rozdílu v délce cyklů šestiosého robotu a SCARA robotu. S ohledem na plynulost procesu je příhodnější, aby SCARA robot čekal na šestiosý robot než šestiosý na SCARA. K tomuto u této varianty dochází i u situace s jedním NOK kusem. Se dvěma NOK kusy je proces šestiosého robotu opět delší než proces SCARA robotu, avšak nikterak výrazně.

Tab 8) Ganttův diagram 2. varianty pro 1 cyklus bez NOK kusů

operace / čas [s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Založení těla výrobku	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Založení S1 a S2 do lůžek	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Založení S1 a S2 do těla																	■	■	■	■					

Tab 7) Ganttův diagram 2. varianty pro 1 cyklus s jedním NOK kusem

operace / čas [s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Založení těla výrobku	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Založení S1 a S2 do lůžek	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Založení S1 a S2 do těla																		■	■	■	■				

Tab 9) Ganttův diagram 2. varianty pro 1 cyklus se dvěma NOK kusy

operace / čas [s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Založení těla výrobku	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Založení S1 a S2 do lůžek	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Založení S1 a S2 do těla																					■	■	■	■	

Varianta 3

Časový průběh varianty 3 (viz tabulky 10, 11, 12) je obdobný jako u varianty 2, s tím, že přibyl čas na přejetí pneumatických válců označen zeleně. Tento čas na přejetí však nemá při stavech bez NOK kusů či s jedním NOK kusem na délku celkového cyklu vliv. Ke zvýšení času procesu jednoho cyklu dochází podobně jako u varianty 2 až při dvou odhalených NOK kusech v rámci jednoho cyklu. Stále je ovšem i se dvěma NOK kusy celkový čas cyklu srovnatelný s časem původního řešení bez zaznamenání jediného NOK kusu.

Tab 10) Ganttův diagram 3. varianty pro 1 cyklus bez NOK kusů

operace / čas [s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Založení těla výrobku	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Založení S1 a S2 do lůžek	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Přejezd lůžek										■	■														
Založení S1 a S2 do těla																		■	■	■	■				

Tab 11) Ganttův diagram 3. varianty pro 1 cyklus se s jedním NOK kusem

operace / čas [s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Založení těla výrobku	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Založení S1 a S2 do lůžek	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Přejezd lůžek																■	■								
Založení S1 a S2 do těla																		■	■	■	■				

Tab 12) Ganttův diagram 3. varianty pro 1 cyklus se dvěma NOK kusy

operace / čas [s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Založení těla výrobku	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Založení S1 a S2 do lůžek	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Přejezd lůžek																					■	■			
Založení S1 a S2 do těla																						■	■	■	■

6 VYHODNOCENÍ VARIANT METODOU MULTIKRITERIÁLNÍHO HODNOCENÍ

V této kapitole je posuzováno, která z navržených variant se jeví pro dané řešení jako nejvhodnější. Toto bude provedeno systémovým přístupem, pomocí technicko-ekonomického zhodnocení variant. Pro vyhodnocení variant bude použita bazická bodovací metoda, která patří mezi multikriteriální metody hodnocení a posuzuje jednotlivé varianty na základě několika kritérií s různými váhami. [41]

Při aplikaci bazické bodovací metody lze postupovat dle následujících bodů: [41]

- 1) Nejprve se provede výběr parametrů (vlastností) na základě faktorů, které mají vliv na volbu vhodné varianty. Je třeba zvolit pouze podstatné a spolehlivě zjistitelné parametry, které na sobě nejsou vzájemně závislé. Tyto parametry, faktory či vlastnosti se označí jako T_1, T_2, \dots, T_n , kde n udává počet parametrů, faktorů či vlastností.
- 2) Následně se stanoví bodovací stupnice, která hodnotí kvalitativní nebo kvantitativní hodnoty parametrů, faktorů či vlastností. Hodnoty jsou označovány jako t_1, t_2, \dots, t_j , kde t_j udává maximální hodnotu parametru, faktoru či vlastnosti. Typická a doporučená stupnice pro hodnotu faktorů bývá:

$t_1 = 0 =$ nevyhovující

$t_2 = 1 =$ velmi slabé

$t_3 = 2 =$ vyhovující

$t_4 = 3 =$ dobré

$t_5 = 4 =$ velmi dobré

$t_6 = 5 =$ výborné

Hodnocené parametry, faktory a vlastnosti se běžně vyjadřují i procentuálně dle, kde:

$$p_\tau = \frac{100}{t_j} [\%] \quad (1)$$

- 3) Dále se určí váha jednotlivých parametrů, faktorů a vlastností g_n , kde:

$$0 \leq g_n \leq 1 \quad (2)$$

- 4) Technický stav hodnocené varianty dle různých hledisek je pak určen vztahem:

$$\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n = (g_1 \cdot t_1, g_2 \cdot t_2, \dots, g_n \cdot t_n) \quad (3)$$

- 5) Nakonec je stanovena konečná technická hodnota varianty τ , která je vyjádřena vztahem:

$$\tau = \frac{\sum_{j=1}^n (g_j \cdot t_j)}{\sum_{j=1}^n g_j \cdot t_{max}} = \frac{g_1 \cdot t_1 + g_2 \cdot t_2 + \dots + g_n \cdot t_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \cdot t_j} \leq 1 \quad (4)$$

Čím je konečná technická hodnota vyšší, tím je daná varianta vhodnější.

Podle postupu výše byla multikriteriální bazická metoda aplikována na varianty navržené v předchozí kapitole. U jednotlivých variant byly posuzovány vlastnosti uvedené v tabulce 13.

Tab 13) Tabulka posuzovaných vlastností variant

Označení	Vlastnost
T1	Jednoduchost konstrukce
T2	Míra zachování programů stávajícího řešení
T3	Nízký čas cyklu
T4	Předpoklady pro plynulost
T5	Nízké pořizovací náklady
T6	Způsob zakládání součástí do těla výrobku

Dále byly jednotlivým vlastnostem přiděleny váhy a hodnoty. Tyto byly vloženy do tabulky 14, kde došlo k dílčím výpočtům parametrů potřebných pro určení hodnoty konečného technického zhodnocení.

Tab 14) Tabulka hodnocení jednotlivých variant

Vlastnost	Varianta 1				Varianta 2				Varianta 3			
Označení	t_j	g_n	p_τ	τ_n	t_j	g_n	p_τ	τ_n	t_j	g_n	p_τ	τ_n
T1	5	0,5	20	2,5	5	0,5	20	2,5	3	0,5	33,3	1,5
T2	1	0,9	100	0,9	4	0,9	25	3,6	5	0,9	20	4,5
T3	5	0,6	20	3	4	0,6	25	2,4	3	0,6	33,3	1,8
T4	2	0,8	50	1,6	2	0,8	50	1,6	4	0,8	25	3,2
T5	3	0,4	33,3	1,2	3	0,4	33,3	1,2	2	0,4	50	0,8
T6	2	0,5	50	1	5	0,5	20	2,5	5	0,5	20	2,5

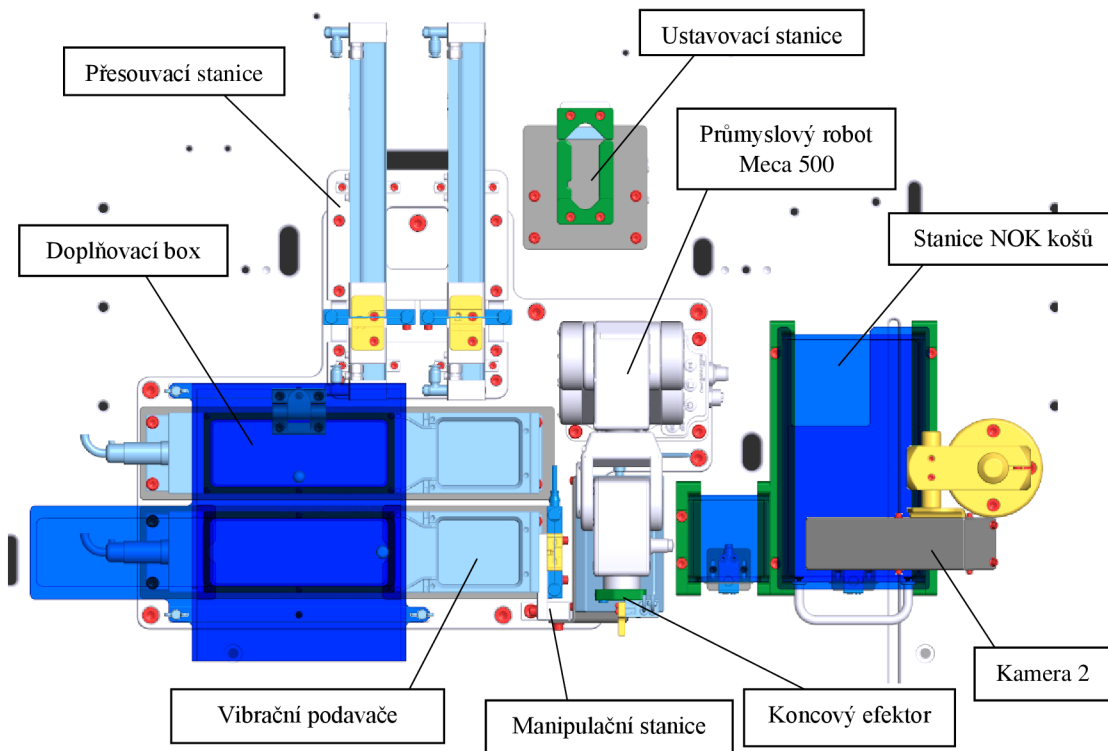
V tabulce 15 jsou uvedeny výsledné hodnoty konečného technického zhodnocení. Z této tabulky je zřejmé, že nejlepšími výsledky dosáhla varianta 3. Tato práce se již bude dále zabývat pouze touto variantou.

Tab 15) Konečné technické zhodnocení variant

Varianta	τ
1	0,33
2	0,604
3	0,676

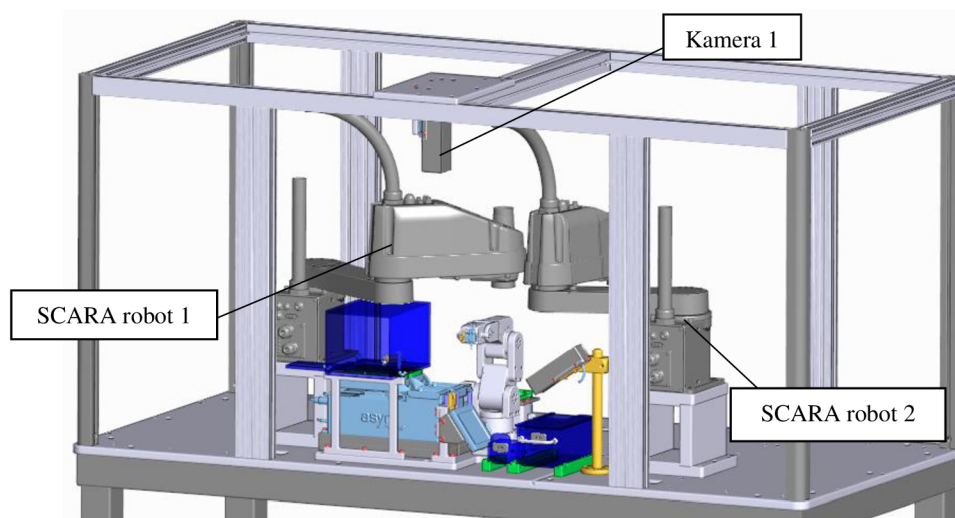
7 KONSTRUKČNÍ NÁVRH VYBRANÉ VARIANTY

Na obrázku 41 lze vidět půdorysný pohled na výsledně zpracovaný konstrukční návrh vybrané varianty řešení uzlu. Obsahem této kapitoly bude podrobný popis konstrukce a funkcionalit jednotlivých dílčích oblastí (stanic) uzlu.



Obr. 41) Konstrukční návrh vybrané varianty řešení – pohled shora

Obrázek 42 ukazuje izometrický pohled na celé zařízení se zjednodušeným rámem a SCARA roboty, jejichž pozice zůstala zachována stejná, jako u původního řešení. Komponenty, kterými se tato práce nezabývá, jsou skryty. V tomto pohledu si lze všimnout kamery nad flexibilními podavači umístěné na horní části rámu, která není kvůli přehlednosti zobrazena v půdorysném pohledu.

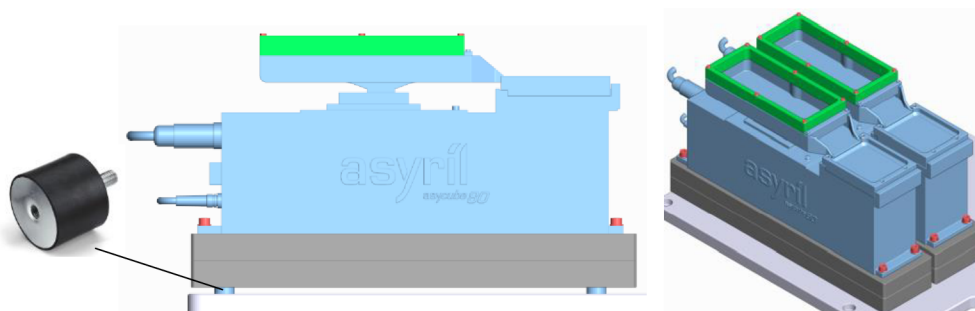


Obr. 42) Konstrukční návrh vybrané varianty řešení včetně rámu

7.1 Stanice vibračních podavačů

Při umístění vibračních podavačů je nutné dbát na eliminaci vibrací působících na jejich okolí. Dodavatel vibračních podavačů Asycube 80 doporučuje ustavit vibrační podavače na tuhou desku o hmotnosti minimálně 10 kg, nebo minimálně 7,5 kg při použití dalších tlumících prvků.

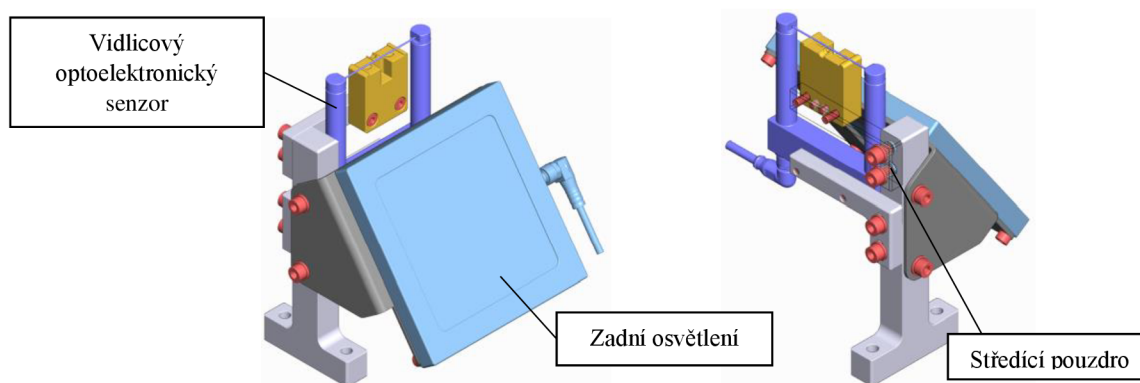
Oba vibrační podavače jsou tedy umístěny na dvou nerezových deskách o tloušťce 20 mm, jejichž hmotnost čítá celkově přibližně 7,7 kg. Jedna deska o tloušťce 40 mm nebyla použita z důvodu lepší dostupnosti 20 mm desek. Jak lze vidět na obrázku 42, spodní desky podavačů byly upevněny k základně skrze 4 silentbloky (viz obr. 43), které ještě více podporují tlumení vibrací. Násypka podavačů byla nadstavěna rámečkem z materiálu POM, aby se zvětšil její objem.



Obr. 43) Stanice vibračních podavačů a detail silentbloku [42]

7.2 Manipulační stanice

Manipulační stanice se skládá z lůžka, které slouží k přechycení součásti 1 způsobem jako na obrázku 34 v kapitole 5.3. Lůžko je zde zobrazeno pouze v orientačním tvaru z důvodu zachování diskretnosti. Přítomnost součásti v lůžku je detekována vidlicovým optoelektronickým senzorem, který je uchycen tak, aby jej bylo možné výškově nastavit. Lůžko je naopak uchyceno pevně a přesně s pomocí kolíků a středících pouzder. Manipulační stanice byla dále využita k uchycení podsvícení kontrolní kamery. Toto světlo je upevněno pomocí plechového dílu ve vhodném úhlovém natočení. Na obrázku 44 je manipulační stanice zobrazena ve dvou izometrických pohledech.

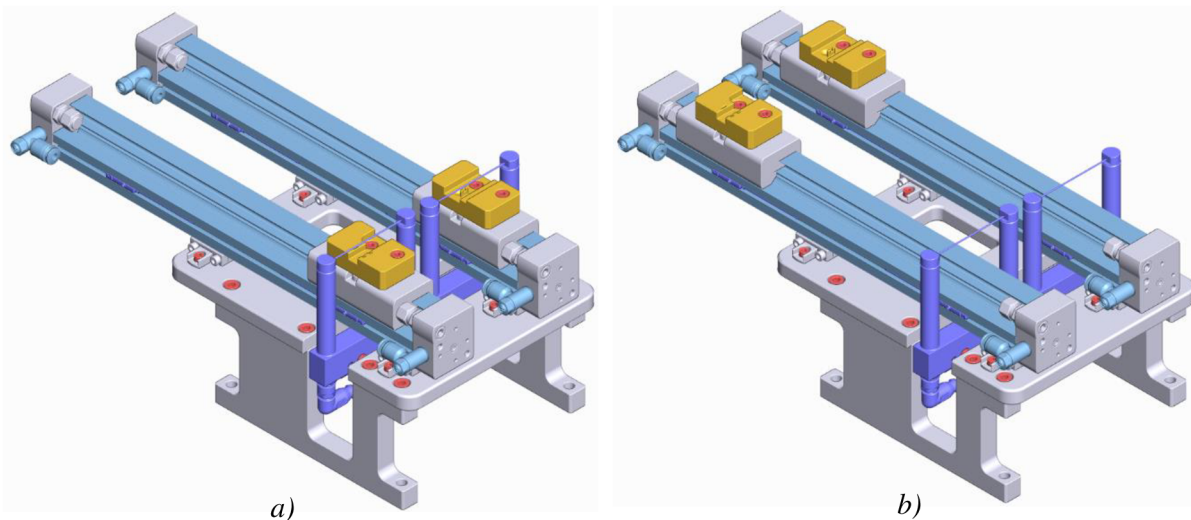


Obr. 44) Manipulační stanice

7.3 Přesouvací stanice

Základem této stanice jsou lůžka na pneumatických válcích, která slouží k přesunutí součástí z pozice A (viz obr. 45 a), kam jsou založeny šestiosým robotem, do pozice B (viz obr. 45 b), ze které jsou odebrány SCARA robotem. Lůžka jsou pro oba druhy manipulovaných součástek uzpůsobena tak, aby byly součástky po odebrání SCARA robotem v orientaci, která je potřebná pro založení do těla výrobku. K tomuto účelu byl v návaznosti na lůžka tvarově upraven také koncový efektor SCARA robotu. Díky těmto lůžkům a úpravě čelistí koncového efektoru SCARA robotu odpadla nutnost naklonění součástek způsobem, jako na obrázku 32 v kapitole 5.1, a součástky tak lze do těla vložit přímo po odebrání z lůžka bez potřeby dalších úprav orientace. Úprava čelistí spočívala ve vyfrézování tvarové drážky, díky které je možné spolehlivě udržet požadovaný úhel naklonění od odebrání z lůžka až po založení do těla výrobku. Lůžka jsou opět znázorněna v modifikované podobě, protože nelze zveřejnit jejich přesný tvar.

Pro přesun součástí jsou použity přímočaré pneumatické pohony FESTO DGC-12-180-KF-P-A s průměrem pístu 12 mm a se zdvihem 180 mm, které byly vzhledem k zanedbatelné hmotnosti manipulovaných součástí zvoleny pouze zejména na základě rychlosti, tichosti chodu, kompaktnosti, jednoduchosti řízení a ceny. Stanice disponuje také příslušenstvím pohonů, jako je jejich upevnění, magnetické senzory pro detekci polohy válců, šroubení apod. Tyto komponenty jsou taktéž od společnosti FESTO a jsou k tomuto typu válců doporučovány. Lůžka jsou na vozících válců přesně ustavena pomocí kolíků. Detekce přítomnosti součástí v lůžku je obdobně jako u manipulační stanice zajištěna výškově nastavitelnými vidlicovými optoelektronickými snímači.



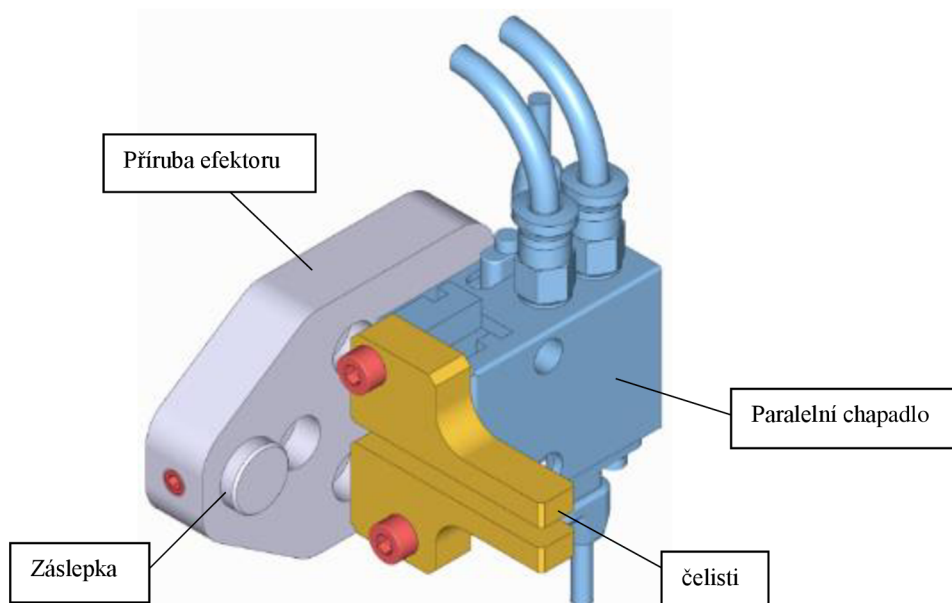
Obr. 45) Přesouvací stanice – a) v pozici A, b) v pozici B

7.4 Úchopná hlavice

Základem koncového efektoru šestiosého robotu Meca 500 je pneumatické dvoučelistové paralelní chapadlo MGP803N společnosti Zimmer group se zdvihem na čelist 3 mm a upínací silou při zavírání 35 N. Toto chapadlo bylo zvoleno na základě původního řešení. Pro uchopování součástí 1 a 2 byl v původním řešení použit koncový efektor stejného výrobce typu

MGP804N se zdvihem na čelist 4 mm a upínací silou 60 N, který je použit i pro jiné operace napříč zařízením. Bylo zhodnoceno, že pro uchopení drobných součástí 1 a 2 je dostačující použít chapadlo se silou úchopu 35 N. Další parametry chapadla lze dohledat v datovém listu v přílohách. [43]

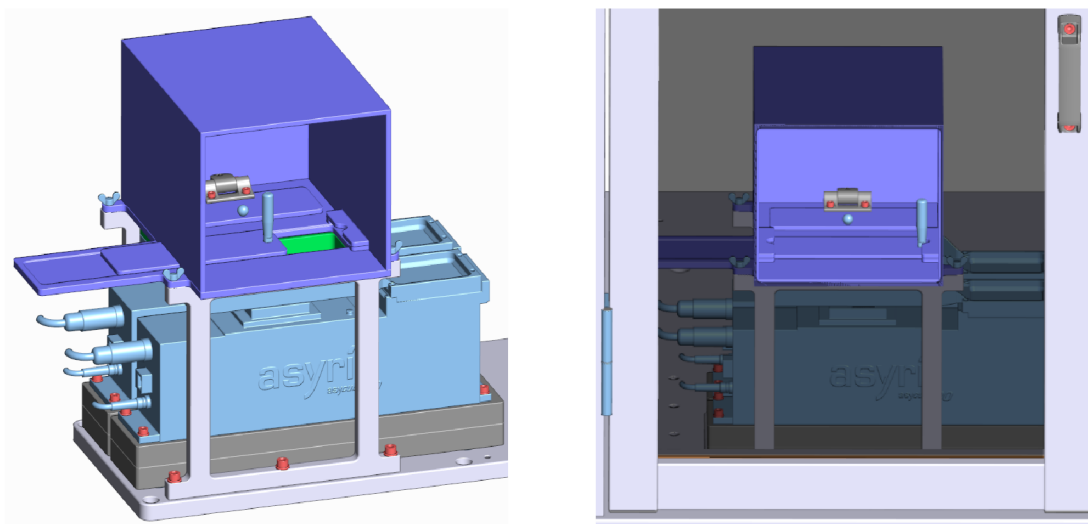
Chapadlo je upevněno k přírubě robotu skrz přírubu koncového efektoru z hliníkové slitiny, jejíž přesnost upevnění je zajištěna dvojicí kolíků. Čelisti chapadla jsou rovněž hliníkové vyráběné díly. Poloha čelistí, respektive pneumatických válců je detekována magnetickými senzory. Příruba koncového efektoru je také uzpůsobena tak, aby na ni bylo možné namontovat kalibr potřebný pro kalibraci robota a flexibilních podavačů. Při běžném provozu je díra pro upevnění kalibru zakryta záslepkou, která je v případě potřeby kalibrace tímto kalibrem nahrazena.



Obr. 46) Úchopná hlavice

7.5 Doplnovací box

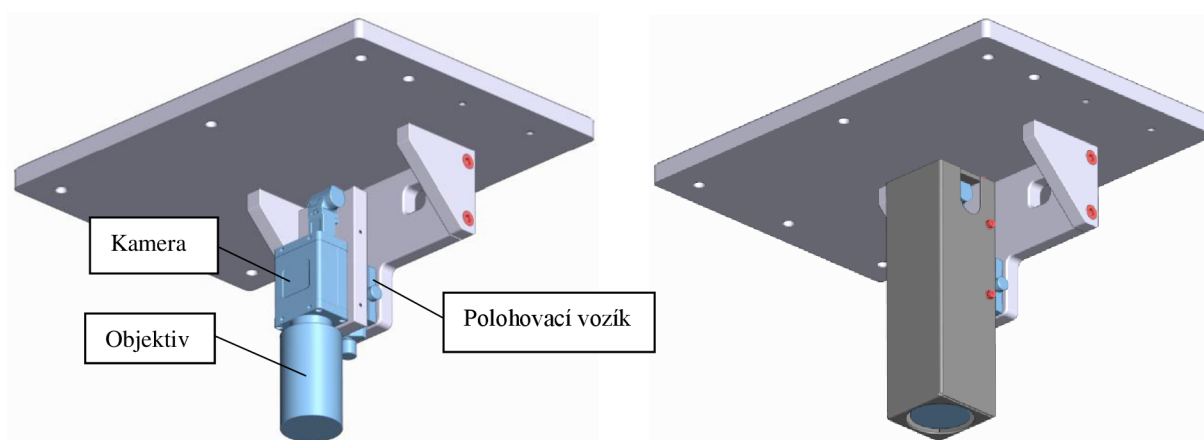
Jedním způsobem vylepšení uzlu je zavedení možnosti doplňování součástek 1 a 2 do násypky vibračních podavačů za provozu zařízení. Toto je vyřešeno doplňovacím boxem na obrázku 46. Základem je krabice svařená z průhledných PVC desek, která je upevněna na dvou stojinách z hliníkové slitiny pomocí šroubů s křídlatou hlavou, které ji činí snadno odnímatelnou. Ve spodní desce jsou nad násypkami podavačů zhotoveny dva otvory pro doplňování materiálu. Tyto otvory jsou opatřeny kryty, které lze v případě potřeby dosypání součástek jednoduše otevřít. Cílem při návrhu boxu bylo zachovat co největší „čistotu“ spodní desky, aby nedocházelo k zachytávání součástek o různé tvarové plochy. Z toho důvodu bylo vhodnější použít posuvná dvířka, která však nelze kvůli omezenému prostoru v bezprostřední blízkosti boxu aplikovat na zadní otvor. Proto byla posuvná dvířka použita pouze nad bližší násypku a otevření dvířek nad vzdálenější násypkou je zajištěno pomocí pantu. Do průhledu bezpečnostních dveří je zhotoven otvor, který přímo navazuje na tento box a je tedy zajištěno bezpečné doplňování součástek do procesu při zavřených dveřích za plného chodu zařízení (viz obrázek 47).



Obr. 47) Doplňovací box

7.6 Kamera 1

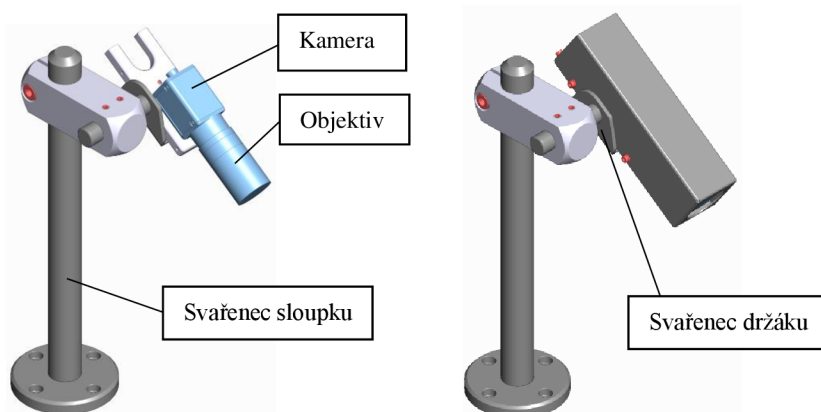
V této podkapitole bude rozebrán způsob upevnění kamery nad vibračními podavači, která slouží k detekci přítomnosti, polohy a orientace součástek na vibračních deskách podavačů. Při prvním návrhu umístění této kamery bylo uvažováno s jejím upevněním na sloupek, který bude stát na základní desce podobně jako ostatní stanice uzlu. Tuto variantu upevnění však nebylo možné realizovat kvůli omezeným prostorovým možnostem. Kamera je tedy shora umístěna na horní část rámu z hliníkových profilů. Vzhledem k tomu, že se jedná o kameru, je nežádoucí, aby došlo k jakémukoliv vlastnímu rozkmitání, které by mohlo vést k chybnému snímání obrazu například z důvodu rozostření. Při návrhu bylo tedy nutné upevnit kameru na dostatečně tuhou konstrukci, jakou rám z hliníkových profilů sám o sobě není, a mohlo by tak například při zavírání dveří k těmto nežádoucím jevům dojít. Proto je kamera upevněna k poměrně tuhé horní hliníkové základně přes desku zpevněnou bočními konzolami. Kamera je dále upevněna na polohovacím vozíku, díky kterému je jí možné výškově seřídít v rozmezí ± 10 mm, a je také patřičně zakrytována pomocí nerezového ohýbaného krytu (viz obr. 48b).



Obr. 48) Kamera 1

7.7 Kamera 2

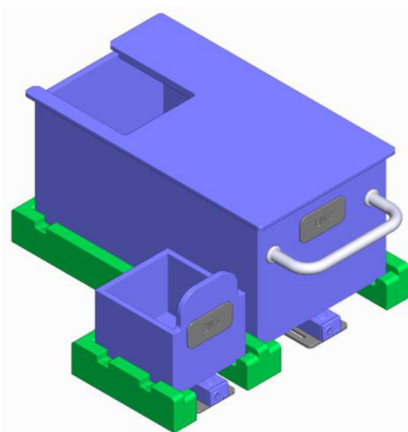
Kamera 2 slouží k vizuální kontrole součástí a bylo nutné její umístění navrhnout tak, aby bylo možné ji nasměřovat v optimální vzdálenosti a pod správným úhlem. Při návrhu bylo opět nutné počítat s omezeným prostorem. Umístění kamery jako na obrázku 49 se s ohledem na tento omezený prostor jeví jako nejlepší možné. Základem této stanice je nerezový sloupek svařený k základně. Na tento sloupek je navlečená hliníková kostka, která je upevněna šrouby a lze s ní pohybovat nahoru a dolů. Touto kostkou příčně prochází nerezová tyč zajištěná stavěcími šrouby. Touto tyčí je rovněž možné pohybovat (ve vodorovném směru). Na této tyči je navařen ohýbaný plechový díl, který již drží kameru na hliníkové desce. Tento stojan svou konstrukcí zajišťuje výborné možnosti polohování kamery ve více směrech. Kamera 2 je obdobně jako kamera 1 zakrytována plechovými kryty.



Obr. 49) Kamera 2

7.8 Stanice NOK košů

Prostor uzlu, ve kterém se nyní nachází tato stanice NOK košů, byl v původním řešení částečně zaplněn košem 2. Tento koš bylo nutné mírně upravit, posunout a zejména přizpůsobit jeho podstavu tak, aby na místo vedle něj bylo možné přidat NOK koš 3 pro odhazování součástek 1 a 2 kloubovým robotem. Řešení lze vidět na obrázku 50. Oba koše jsou stejně jako všechny ostatní koše použité v zařízení vyrobeny z průhledného PVC materiálu. Koše jsou snadno odnímatelné, a proto jsou opatřeny ze spodní strany kapacitními senzory, které kontrolují jejich přítomnost a správné ustavení na základně.



Obr. 50) Stanice NOK košů

8 KONSTRUKČNÍ DOKUMENTACE VYBRANÉ VARIANTY

K vybrané variantě řešení byla zhotovena výkresová dokumentace vybraných částí a dílců uzlu. Byl zhotoven výkres sestavy celého zařízení, kde jsou skryty komponenty a části stroje, které přímo nesouvisí s touto diplomovou prací. Tato sestava se skládá z několika podsestav. Níže lze vidět základní hierarchie a seznam výkresů, které byly v rámci DP zhotoveny. Kurzívou jsou označeny výkresy dílů, u zbytku se jedná o výkresy sestavení, jejichž nezbytnou součástí je také kusovník.

- 00-00-00-00 Montážní pracoviště
 - 00-01-00-00 Stanice vibračních podavačů
 - 00-01-01-00 Manipulační stanice
 - 00-01-01-01 *Stojina*
 - 00-01-01-03 *Držák lůžka*
 - 00-01-02-00 Přesouvací stanice
 - 00-01-02-01 *Stojina 1*
 - 00-01-02-03 *Základní deska 1*
 - 00-01-03-00 Úchopná hlavice
 - 00-01-03-01 *Příruba*
 - 00-01-03-02 *Čelist 1*
 - 00-01-04-00 *Základní deska*
 - 00-01-05-00 *Základna podavačů 1*
 - 00-01-06-00 *Základna podavačů 2*
 - 00-03-00-00 Kamera 1
 - 00-04-00-00 Kamera 2

9 ANALÝZA RIZIK NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ

Při navrhování jakýchkoliv strojních zařízení je zásadním faktorem zajištění jejich bezpečnosti. Tato kapitola se zaměřuje na analýzu rizik navrženého řešení uzlu z hlediska bezpečnosti. Při analýze rizik je nutné identifikovat nebezpečí a jejich závažnost a v případě nalezení nepřipustných nebezpečí navrhnout opatření ke snížení či odstranění rizik. Pro dodržení bezpečného provozu, musí uzel splňovat tyto harmonizované normy:

ČSN EN ISO 12100: Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika

ČSN EN ISO 10218-1: Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 1: Roboty

ČSN EN ISO 10218-2: Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 2: Systémy robotů a integrace

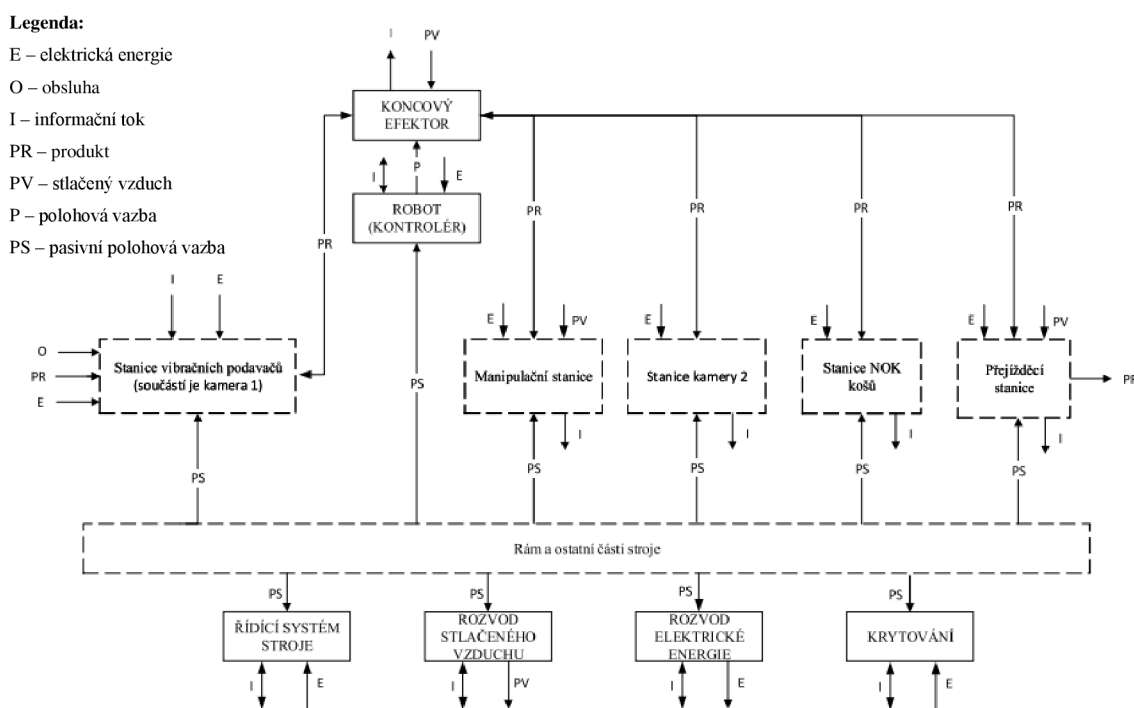
ČSN EN ISO 13849-1: Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Obecné zásady pro konstrukci

ČSN EN 60204-1: Bezpečnost strojních zařízení. Elektrická zařízení pracovních strojů. Část 1: Všeobecné požadavky

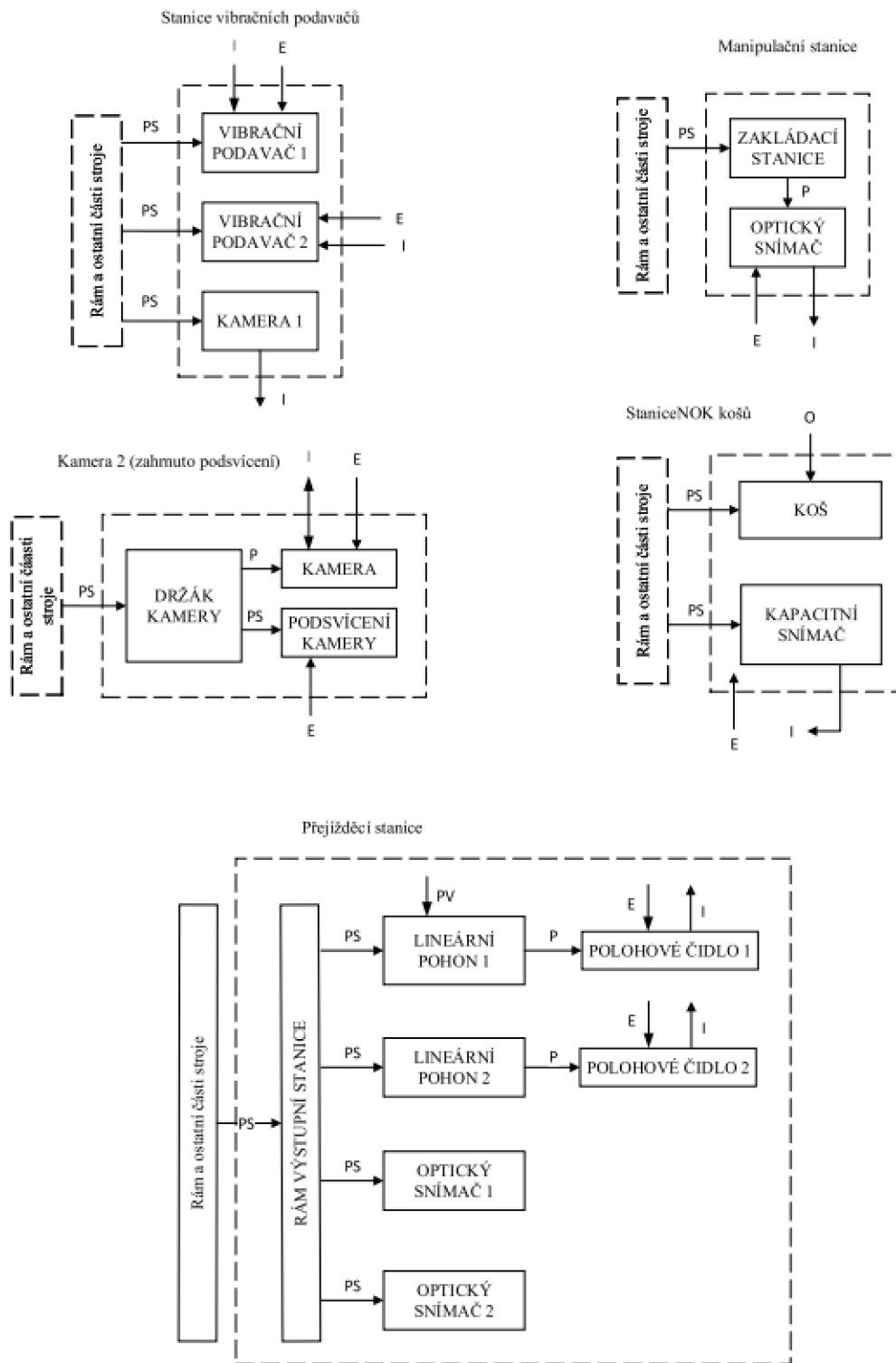
ČSN EN 61000-1-2: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 1-2: Obecně – Metodika pro dosažení funkční bezpečnosti elektrických a elektronických systémů s ohledem na elektromagnetické jevy

9.1 Blokový diagram zařízení

Pro hlubší porozumění zařízení z pohledu identifikace zdrojů nebezpečí byl sestaven blokový diagram konstrukčního uzlu (viz obr. 51). Pro větší přehlednost byl tento diagram rozdělen na více částí a pro každou stanici uzlu byl zhotoven dílčí blokový diagram (viz obr. 52).



Obr. 51) Blokový diagram zařízení



Legenda: E – elektrická energie, O – obsluha, I – informační tok, PR – produkt, PV – stlačený vzduch, P – polohová vazba, PS – pasivní polohová vazba

Obr. 52) Blokové diagramy jednotlivých stanic uzlu

9.2 Identifikace nebezpečí

V tabulce 16 jsou pro jednotlivé komponenty systému identifikovány typy nebezpečí dle normy ČSN EN ISO 12100:2011. Tato identifikace nebezpečí je nezbytná pro následný odhad rizik.

Tab 16) Tabulka identifikace nebezpečí

Název komponenty systému	Umístění komponenty v systému	Typ nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100:2011
Vibrační podavače	Pracovní prostor uzlu	Požezání (1.3 – 1), odření (1.5 – 1), smrt el. proudem (2.1 – 1, 2.1 - 2), zasažení el. proudem (2.2 – 1, 2.2 - 2), popálení (3.1 – 2),
Kamera nad podavači	Pracovní prostor uzlu	Požezání (1.3 – 1), odření (1.5 – 1), smrt el. proudem (2.1 – 1, 2.1 - 2), zasažení el. proudem (2.2 – 1, 2.2 - 2), popálení (3.1 – 2)
Zakládací stanice	Pracovní prostor uzlu	Požezání (1.3 – 2), odření (1.5 – 2)
Optické snímače	Pracovní prostor uzlu	smrt el. proudem (2.1 – 1, 2.1 - 2), zasažení el. proudem (2.2 – 1, 2.2 - 2)
Kamera inspekční stanice	Pracovní prostor uzlu	Požezání (1.3 – 3), odření (1.5 – 3), smrt el. proudem (2.1 – 1, 2.1 - 2), zasažení el. proudem (2.2 – 1, 2.2 - 2), popálení (3.1 – 4)
Podsvícení kamery	Pracovní prostor uzlu	Požezání (1.3 – 4), odření (1.5 – 4), smrt el. proudem (2.1 – 1, 2.1 - 2), zasažení el. proudem (2.2 – 1, 2.2 - 2), popálení (3.1 – 5), záření (6.1 -1)
NOK koš	Pracovní prostor uzlu	Požezání (1.3 – 5), odření (1.5 – 5),
Kapacitní snímač	Pracovní prostor uzlu	smrt el. proudem (2.1 – 1, 2.1 - 2), zasažení el. proudem (2.2 – 1, 2.2 - 2)
Lineární pneumatické pohony	Pracovní prostor uzlu	Stlačení (1.2 – 3), požezání (1.3 – 6), zachycení (1.4 – 1), odření (1.5 – 6), naražení (1.6 – 2), vystříknutí (1.7 – 2), smrt el. proudem (2.1 – 1, 2.1 - 2), zasažení el. proudem (2.2 – 1, 2.2 - 2), hluk (4.1 – 3)
Polohová čidla lin. pohonů	Pracovní prostor uzlu	smrt el. proudem (2.1 – 1, 2.1 - 2), zasažení el. proudem (2.2 – 1, 2.2 - 2)

Robot (kontrolér)	Pracovní prostor uzlu	Stlačení (1.2 – 1), Pořezání (1.3 – 7), Odřeni (1.5 – 7), Naražení (1.6 – 1), smrt el. proudem (2.1 – 1, 2.1 – 2), zasažení el. proudem (2.2 – 1, 2.2 – 2), popálení (3.1 – 1), hluk (4.1 – 1)
Motory pro pohon robotu	Pracovní prostor uzlu	popálení (3.1 – 1), hluk (4.1 – 1), smrt el. proudem (2.1 – 1), zasažení el. proudem (2.2 – 1)
Koncový efektor	Pracovní prostor uzlu	Vymrštění (1.1 – 1), Stlačení (1.2 – 2), pořezání (1.3 – 8), odřeni (1.5 – 8), vystříknutí (1.7 – 1), hluk (4.1 – 3)

9.3 Analýza významných nebezpečí

Analýza významných nebezpečí je prováděna za účelem definování typů nebezpečí při různých fázích životního cyklu stroje. Tato analýza (viz tab. 17) je základem pro následný odhad počátečních rizik.

Tab 17) Tabulka analýzy významných nebezpečí

ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ BĚHEM ŽIVOTNÍHO CYKLU PRACOVISTĚ				Typ stroje: Robotické pracoviště
				Model: 001
Poř. číslo	Fáze životního cyklu	Typ nebezpečí (dle ČSN EN ISO 12100 - 2011)		Popis nebezpečné události:
		Stručný popis	ID číslo	
1	Doprava			
1.1	Nakládání, přeprava, vykládání	stlačení, pořezání odřeni, uklouznutí, zakopnutí a pád	1.2-4, 1.3-1 až 1.3-8, 1.5-1 až 1.5-8, 1.8-2	Během nakládání, vykládání může dojít k převržení jednotlivých částí pracoviště. Při neopatrném zvedání či přenosu břemene může dojít k námaze vlivem tíhy balení. Může dojít také k zakopnutí a následnému pádu.
1.2	Balení, rozbalování	Stlačení, odřeni, pořezání	1.2-4, 1.3-1 až 1.3-8, 1.5-1 až 1.5-8	Při balení nebo rozbalení může dojít k pořezání o ostré hrany, či podřeni nebo stlačení obsluhy vlivem ztráty rovnovážné polohy komponenty.
2	Montáž, instalace a uvedení do provozu			
2.1	Montáž jednotlivých stanic uzlu stroje	stlačení, pořezání odřeni, uklouznutí, zakopnutí a pád	1.2-4, 1.3-1 až 1.3-8, 1.5-1 až 1.5-8, 1.8-2	Při montáži může dojít k překlopení nebo spadnutí části stroje a následnému stlačení či odřeni části lidského těla. Stejně tak při neopatrném zvedání či přenosu břemene může dojít k námaze vlivem tíhy komponent. Může dojít také k zakopnutí a následnému pádu.

2.2	Připojení k dodávce tlakového vzduchu	vystříknutí	1.7-1, 1.7-2	Při připojení hadic k dodávce tlakového vzduchu může dojít k vystříknutí vysokotlakého vzduchu.
2.3	Připojení k dodávce elektřiny	Smrt el. proudem, zasažení el. proudem	2.1-1, 2.1-2, 2.2-1, 2.2-2	Při zapojování všech komponent do elektrické sítě hrozí dotyk s živou částí, nebo dotyk s částmi, které se staly živými důsledkem poruchy a zasažení elektrickým proudem.
2.4	Testování, odladování a uvedení stroje do provozu	Stlačení, pořezání, odření, naražení, zachycení, vystříknutí, uklouznutí, smrt el. proudem, zasažení el. proudem, popálení, hluk, vibrace	1.1-1, 1.2-1 až 1.2-4, 1.3-1 až 1.3-8, 1.4-1, 1.5-1 až 1.5-8, 1.6-1, 1.6-2, 1.7-1, 1.7-2, 1.8-1, 2.1-1, 2.1-2, 2.2-1, 2.2-2, 3.1-1 až 3.1-5, 4.1-1 až 4.1-3, 5.1-1	Při testování, odladování a uvedení stroje do provozu může dojít k zasažení el. proudem dotykem živých částí, nečekaným pohybem strojních zařízení pracoviště a tím pádem způsobení zranění. Taktéž může být způsobeno zranění zahřátými částmi strojních zařízení. Dále mohou vibrační podavače způsobovat vibrace.
3	Seřizování			
3.1	Seřizování kamer	odření, pořezání, stlačení, naražení, smrt el. proudem, zasažení el. proudem, popálení	1.3-1 1.3-3, 1.3-4 1.5-1, 1.5-3, 1.5-4, 2.1-1, 2.1-2, 2.2-1, 2.2-2, 3.1-2 až 3.1-4, 6.1-1	Při seřizování polohy kamer může dojít k zasažení el. proudem od kamery, dále pak k odření, pořezání, stlačení a naražení o držák kamery. Také hrozí poškození zraku od podsvícení kamery
3.2	Seřizování vibračních podavačů	odření, pořezání, smrt el. proudem, zasažení el. proudem, hluk, vibrace, popálení	1.3-1, 1.5-1, 2.1-1, 2.1-2, 2.2-1, 2.2-2, 3.1-2, 4.1-2, 5.1-1	Při seřizování vibračních podavačů může dojít k zasažení el. proudem, dále pak k odření, pořezání. Může také dojít k vibracím a hluku.
3.3	Seřizování robotu (včetně koncového efektoru)	Stlačení, pořezání, odření, naražení, smrt el. proudem, zasažení el. proudem, hluk, vystříknutí, vymrštění, popálení	1.1-1, 1.2-1, 1.2-2, 1.3-7, 1.3-8, 1.5-7, 1.5-8, 1.6-1, 1.7-1, 2.1-1,	Při seřizování a programování robotu může dojít k zasažení el. proudem dotykem živých částí, nečekaným pohybem strojních zařízení pracoviště a tím pádem způsobení zranění. Taktéž může být způsobeno zranění zahřátými částmi robotu. Při seřizování koncového efektoru může dojít ke stlačení a vystříknutí vysokotlakého

			2.1-2, 2.2-1, 2.2-2, 3.1-2, 4.1-1, 4.1-3	vzduchu, nebo k vymrštění koncového efektoru při nesprávném upevnění k robotu. Dále může docházet k pořežení nebo odření.
3.4	Seřizování lineárních pneumatických pohonů	Stlačení, pořežení, zachycení, odření, naražení, vystříknutí, hluk	1.2-3, 1.3-6, 1.4-1, 1.5-6, 1.6-2, 1.7-2, 4.1-3	Při seřizování pneumatických válců může dojít ke stlačení pohyblivými částmi, pořežení, odření, naražení. Hrozí také vystříknutí vysokotlakého vzduchu a může dojít k nadměrnému hluku pneumatických komponent. Vedení lineárních pohonů může zapříčinit zachycení části oděvu.
4	Provoz			
4.1	Doplňování součástek k manipulaci do vibračních podavačů	smrt el. proudem, zasažení el. proudem, nezdravý postoj, hluk, vibrace	2.1-1, 2.1-2, 2.2-1, 2.2-2, 4.1-2, 5.1-1, 8.2-1,	Při sypání součástek z pytlíků do vibračních podavačů může dojít k zásahu elektrickým proudem od podavačů. Dále může dojít k naražení o některou z částí stroje. Obsluha může při doplňování zaujmout nezdravou polohu. Také hrozí nebezpečí hluku a vibrací.
4.2	Automatický cyklus stroje	Smrt el. proudem, zasažení el. proudem, pořežení,	2.1-1, 2.1-2, 2.2-1, 2.2-2	V případě porušení některého z elektrických zařízení může dojít k zásahu el. proudem.
5	Čištění a údržba			
5.1	Čištění pracoviště	Pořežení, odření, popálení, zakopnutí a uklouznutí	1.3-1 až 1.3-8, 1.4-1, 1.5-1 až 1.5-8, 1.8-1, 3.1-1 až 3.1-5,	Při čištění hrozí nebezpečí pořežení, popálení nebo odření. Dále hrozí zakopnutí nebo uklouznutí při těchto činnostech.
6	Demontáž			
6.1	Odpojení od elektrické energie	Smrt el. proudem, zasažení el. proudem	2.1-1, 2.1-2, 2.2-1, 2.2-2	Může dojít k dotyku s živou částí a zasažení elektrickým proudem při odpojování komponent od elektrické sítě.
6.2	Odpojení od přívodu tlakového vzduchu	vystříknutí	1.7	Hrozí vystříknutí vysokotlakého média.
6.3	Demontáž	odření, stlačení, pořežení, uklouznutí a zakopnutí, námaha	1.2-4, 1.3-1 až 1.3-8, 1.5-1 až 1.5-8, 1.8-1, 1.8-2, 8.1-2, 8.2-1	Během demontáže může dojít k překlopení nebo spadnutí části stroje a následnému stlačení/odření části lidského těla. Stejně při neopatrném zvedání či přenosu břemene může dojít k námaze vlivem tíhy komponent.

9.4 Odhad počátečních rizik u identifikovaných nebezpečí

Pro odhad počátečních rizik je nutné určit závažnost škody a pravděpodobnost jejího výskytu dle následujících kritérií [1]:

Závažnost škody (úrazu):

- S0 – žádné nebezpečí
- S1 – lehké poškození s přechodnými následky
- S2 – těžké zranění s trvalými následky
- S3 – smrt

Vystavení osob nebezpečím (doba pobytu v oblasti nebezpečí):

- A1 – zřídka až častěji
- A2 – často až trvale

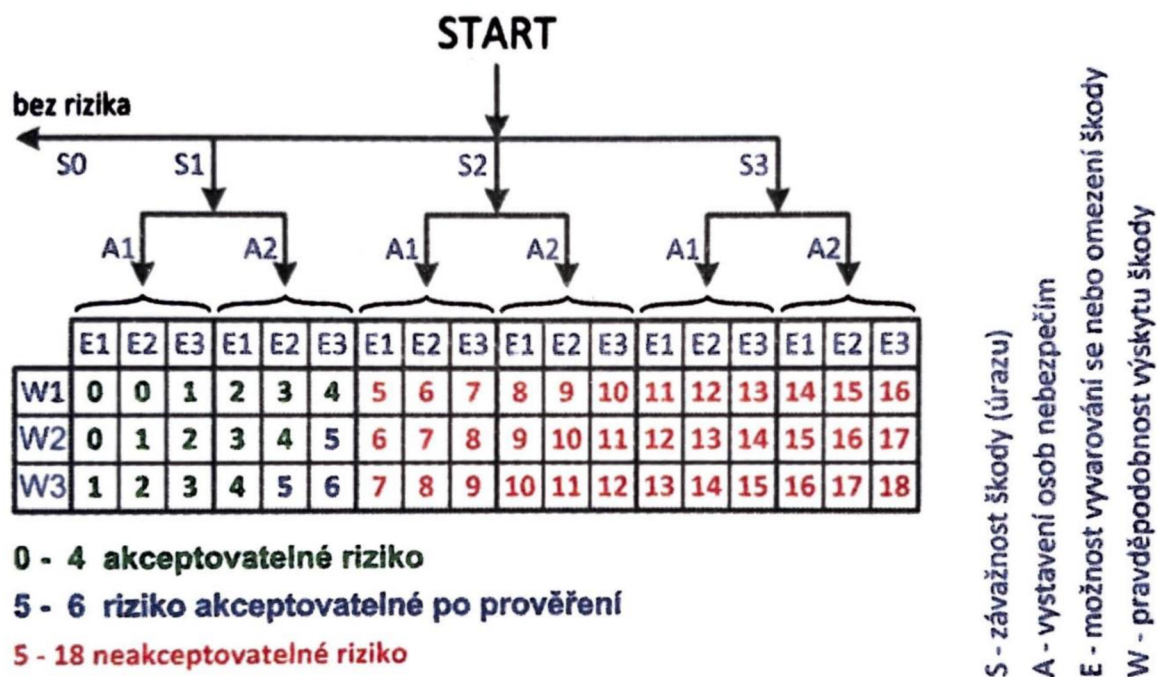
Možnosti vyvarování se nebo omezení škody (úrazu):

- E1 – možné
- E2 – možné za určitých okolností
- E3 – sotva možné

Pravděpodobnost výskytu škody (úrazu):

- W1 – malá či nepravděpodobná
- W2 – střední
- W3 – velká

Velikost rizika lze určit na základě grafu pro odhad rizika, který je uveden na obrázku 53 níže.



Obr. 53) Graf pro odhad rizika [1]

Na základě rozboru výše byla vytvořena tabulka 18 pro odhad počátečních rizik, za účelem odhalení neakceptovatelných rizik.

Tab 18) Tabulka pro odhad počátečních rizik

Pořadové číslo	Nebezpečí	Kategorie				Odhadnuté počáteční riziko
		S	A	E	W	
1. Mechanická nebezpečí						
1.1 Nebezpečí vymrštění						
1.1 - 1	Vymrštění koncového efektoru nebo jeho částí	S2	A2	E3	W1	10
1.2 Nebezpečí stlačení						
1.2 - 1	Stlačení robotem	S3	A2	E2	W2	10
1.2 - 2	Stlačení koncovým efektozem	S1	A1	E2	W1	4
1.2 - 3	Stlačení od pneumatického lineárního vedení	S1	A1	E2	W1	5
1.2 - 4	Stlačení zapříčiněné pádem	S2	A1	E2	W1	4
1.3 Nebezpečí pořezání nebo oddělení						
1.3 - 1	Pořezání o ostré hrany vibračních podavačů	S1	A1	E2	W2	2
1.3 - 2	Pořezání o ostré hrany manipulační stanice	S1	A1	E2	W2	2
1.3 - 3	Pořezání o ostré hrany inspekční stanice	S1	A1	E2	W2	1
1.3 - 4	Pořezání o ostré hrany podsvícení kamery	S1	A1	E2	W2	2
1.3 - 5	Pořezání o ostré hrany NOK koše	S1	A1	E2	W2	2
1.3 - 6	Pořezání o ostré hrany výstupní stanice	S1	A1	E2	W2	2
1.3 - 7	Pořezání o ostré hrany robotu	S1	A1	E2	W2	1
1.3 - 8	Pořezání o ostré hrany koncového efektoru	S1	A1	E2	W2	2
1.4 Nebezpečí vtažení nebo zachycení						
1.4 - 1	Zachycení vedením u lineárních pneumatických válců	S1	A1	E3	W1	4
1.5 Nebezpečí tření nebo odření						
1.3 - 1	Odření o vibračních podavače	S1	A1	E2	W2	2
1.3 - 2	Odření o manipulační stanici	S1	A1	E2	W2	2
1.3 - 3	Odření o inspekční stanici	S1	A1	E2	W2	2
1.3 - 4	Odření o podsvícení kamery	S1	A1	E2	W2	2
1.3 - 5	Odření o NOK koš	S1	A1	E2	W2	2
1.3 - 6	Odření o výstupní stanici	S1	A1	E2	W2	2
1.3 - 7	Odření o robot	S1	A1	E2	W2	2
1.3 - 8	Odření o koncový efektor	S1	A1	E2	W2	2
1.6 Nebezpečí naražení						
1.6 - 1	Naražení od robotu	S3	A2	E3	W3	14
1.6 - 2	Naražení od pneumatických pohonů	S1	A1	E2	W2	5
1.7 Nebezpečí vystříknutí						
1.7 - 1	Vystříknutí stlačeného vzduchu od koncového efektoru	S2	A1	E3	W1	12
1.7 - 2	Vystříknutí stlačeného vzduchu od lineárních pohonů	S2	A1	E3	W1	12
1.8 Nebezpečí uklouznutí, zakopnutí a pádu						

1.8 - 1	Uklouznutí nebo zakopnutí při obsluze pracoviště	S1	A2	E2	W1	4
1.8 - 2	Uklouznutí nebo zakopnutí při montáži/demontáži	S2	A2	E2	W1	5
2. Elektrická nebezpečí						
2.1 Nebezpečí smrti elektrickým proudem						
2.1 - 1	Nebezpečí smrti elektrickým proudem důsledkem dotyku částí, které se staly živými důsledkem poruchy	S3	A1	E3	W1	12
2.1 - 2	Nebezpečí smrti elektrickým proudem důsledkem dotyku živých částí	S3	A1	E3	W1	12
2.2 Nebezpečí zasažení elektrickým proudem						
2.2 - 1	Nebezpečí zasažení elektrickým proudem důsledkem dotyku částí, které se staly živými důsledkem poruchy	S1	A1	E3	W1	2
2.2 - 2	Nebezpečí zasažení elektrickým proudem důsledkem dotyku živých částí	S1	A1	E3	W1	3
2.3 Nebezpečí požáru elektrickým proudem						
2.3 - 1	Nebezpečí požáru způsobeného vadnou elektroinstalací	S1	A1	E3	W1	1
3. Tepelná nebezpečí						
3.1 Nebezpečí popálení						
3.1 - 1	Popálení od motorů robotu	S1	A1	E3	W1	1
3.1 - 2	Popálení od vibračních podavačů	S1	A1	E3	W1	1
3.1 - 2	Popálení od kamery nad vibračními podavači	S1	A1	E3	W1	1
3.1 - 3	Popálení od inspekční kamery	S1	A1	E3	W1	1
3.1 - 4	Popálení od podsvícení kamery	S1	A1	E3	W1	1
4. Nebezpečí hluku						
4.1 Nebezpečí nepohodlí						
4.1 - 1	Nepohodlí od hluku motorů robotu	S1	A2	E3	W2	1
4.1 - 2	Nepohodlí od hluku vibračních podavačů	S1	A2	E3	W2	2
4.1 - 3	Nepohodlí od hluku pneumatických prvků	S1	A2	E3	W2	4
5. Nebezpečí vibrací						
5.1 Nebezpečí nepohodlí						
5.1 - 1	Nepohodlí od vibrací vibračních podavačů	S1	A2	E3	W2	3
6. Nebezpečí záření						
6.1 Nebezpečí poškození zraku a kůže						
6.1 - 1	Poškození zraku a kůže od podsvícení kamery	S1	A1	E2	W1	1
7. Nebezpečí materiálů/látek Nebyla nalezena žádná nebezpečí						
8. Ergonomická nebezpečí						
8.1 Nebezpečí nepohodlí						
8.1 - 1	Nepohodlí při obsluze pracoviště	S1	A2	E2	W2	2
8.1 - 2	Nepohodlí při montáži/demontáži	S1	A2	E2	W3	3
8.2 Nebezpečí svalově kosterního poškození						
8.2 - 1	Svalově kosterní poškození při manipulaci s komponentami pracoviště	S2	A2	E2	W1	3
9. Nebezpečí spojená s prostředím, ve kterém je stroj používán Nebyla nalezena žádná nebezpečí						
10. Kombinace nebezpečí Nebyla nalezena žádná nebezpečí						

9.5 Snížení rizika

Tabulka pro odhad počátečních rizik odhalila několik neakceptovatelných rizik. K zajištění bezpečnosti je nutné tato neakceptovatelná rizika snížit na akceptovatelnou hodnotu. Toto bylo provedeno u všech neakceptovatelných rizik. Postup snižování rizik byl zaznamenáván do formulářů pro snížení rizika. Tabulka 19 znázorňuje jeden z vyplněných formulářů pro snížení rizika. Ostatní formuláře pro snížení rizika jsou uvedené v příloze 1.

Tab 19) Formulář pro snížení rizika

VUT v Brně, FSI ÚVSSR		FORMULÁŘ PRO SNÍŽENÍ RIZIKA ZPRACOVAL: RADEK PORUBSKÝ		Stroj: Robotické pracoviště
				Datum: 18.4.2023
Číslo nebezpečí (ČSN EN ISO 12100- 2011)	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100-2011		
1.1 – 2	1	1. Mechanické nebezpečí		
		Nebezpečí vymrštění		
Životní etapa: uvedení do provozu, provoz, seřizování a programování		Nebezpečný prostor: pracovní prostor		
Ohrožené osoby: Obsluha		Za provozu		
Popis nebezpečné situace/události:	Nebezpečí vymrštění koncového efektoru při nesprávném připevnění k přírubě robotu, nebo vymrštění části koncového efektoru zapříčiněno odlomením nebo jiným oddělením části koncového efektoru od jeho zbytku. Vymrštěný koncový efektor nebo jeho část může zasáhnout osobu a způsobit tak zranění.			
Počáteční riziko:	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – Těžké zranění (trvalé následky)	Velikost rizika 10	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – Často až trvale		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – Nemožné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – Střední		
Krok 1: Opatření zabudovaná v konstrukci				
Popis opatření:	Použití koncového efektoru řádně doporučeného výrobcem, dle jeho doporučení k dimenzování. Připevnění koncového efektoru pomocí dostatečně utažených čtyř šroubů M3x0,5.			
Snížené riziko po opatření:	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – Těžké zranění (trvalé následky)	Velikost rizika 8	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – Nemožné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – Malá		
Krok 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření				
Popis opatření:	Celý pracovní prostor je za jištěnými kryty a pevnostní zábranou. Všechny přístupy jsou během automatického cyklu stroje zablokovány bezpečnostními zámky.			
Snížené riziko po opatření:	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – Těžké zranění (trvalé následky)	Velikost rizika 4	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – Běžné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – Malá		

Krok 3: Informace pro používání			
Popis opatření:	Upozornění v návodu k použití, který je k dispozici v ovládacím prostoru: <i>„Během automatického pracovního cyklu, odladování cyklu a programování robotu, je zakázáno jakkoliv zasahovat do pracovního prostoru robotu!“</i>		
Zbytkové riziko:	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 – Lehké poranění	Velikost rizika 0
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – Běžné	
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – Malá	
VALIDACE:	Opatření jsou dostatečná	Radek Porubský	18.4.2022

Všechna odhalená neakceptovatelná rizika byla eliminována na přijatelnou hodnotu, zařízení lze tedy považovat za bezpečné.

10 CENOVÁ KALKULACE NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ

Jedním z cílů práce je cenová kalkulace navrženého řešení. Jelikož se práce zabývá pouze jednou částí zařízení, není konečná cenová kalkulace včetně stanovení prodejní ceny a dalších náležitostí v této chvíli aktuální a bude provedena až po dokončení celého zařízení. V této kapitole tedy bude proveden pouze odhad nákladů spojených s výrobou daného uzlu. Některé prvky jako řídicí systémy apod., které s daným uzlem úzce souvisí, ale byly by v zařízení použity i při absenci tohoto uzlu, nejsou součástí cenového odhadu uzlu a budou zahrnuty až při odhadu ceny celého zařízení. Cenový odhad zahrnuje pouze nákupní či výrobní náklady komponent, ostatní náklady jako mzdy pracovníků apod. budou zohledněny až při celkové cenové kalkulaci zařízení, která není předmětem této diplomové práce. Uvedené ceny jsou zaokrouhlené. Většina komponent byla nakupována v cizích měnách, jako je euro či dolar. Jejich ceny byly přepočítány na české koruny dle, v době sepisování práce, aktuálního kurzu.

Tab 20) Tabulka cenových nákladů

Položka	počet	náklady na kus [kč]	náklady celkem [kč]
Průmyslový robot Meca 500	1	437 500	437 500
Vibrační podavač Asycube 80	2	350 000	700 000
Lineární pneumatický pohon FESTO	2	12 000	24 000
Paralelní chapadlo Zimmer group	1	7 000	7 000
Kamera iRayple	2	20 000	40 000
Objektiv Ricoh	2	9 000	18 000
Podsvícení kamery SmartView	1	10 000	10 000
Polohovací vozík MISUMI	1	1 000	1 000
Optoelektronický vidlicový senzor SICK	3	4 000	12 000
Kapacitní senzor SICK	2	2 000	4 000
Madla, panty	-	-	1 000
Propojovací kabely	-	-	5 000
Spojovací materiál	-	-	5 000
Vyráběné díly – hliník	-	-	57 000
Vyráběné díly – nerez	-	-	48 000
Vyráběné díly – plast	-	-	18 000
celkové náklady na nové řešení			1 387 500
celkové náklady na původní řešení			914 000
rozdíl			473 500

Přibližné náklady na výrobu nového řešení uzlu činí 1 387 500 Kč. Náklady na původní řešení činily přibližně 914 000 Kč. Cena nového řešení je tedy oproti původnímu řešení zhruba o 473 500 Kč vyšší.

11 KRITICKÉ ZHODNOCENÍ VLASTNÍHO NÁVRHU

V kapitole 5.2 bylo kriticky zhodnoceno původní řešení uzlu, které odhalilo jisté problémy a prostory k inovacím. Na základě tohoto kritického zhodnocení původního řešení bylo navrženo nové řešení, které mělo za úkol odhalené problémy odstranit a celkově zefektivnit pracoviště za pomoci inovací. V této kapitole bude nové řešení uzlu kriticky zhodnoceno a porovnáno s původním řešením.

Prvním krokem při přepracování uzlu byla náhrada stávajícího podávacího zařízení sestávajícího ze dvou miskových a dvou lineárních vibračních podavačů dvěma flexibilními vibračními podavači. Tímto krokem byl odstraněn problém se zasekáváním součástí v částech původních vibračních podavačů, tím pádem se toto řešení již při první úpravě stalo efektivnějším.

Použití flexibilních vibračních podavačů vyžadovalo použití flexibilnějšího robotu, který dokáže pracovat ve více osách než původně použitý SCARA robot. Pracoviště tedy bylo doplněno o malý šestiosý kloubový robot s pneumatickým chapadlem s mechanickými úchopnými čelistmi. Zakomponování dalšího robotu do pracoviště navíc zvýšilo rychlost procesu, protože tento robot částečně odebral práci SCARA robotu a vykonává svou činnost současně s ním. Rychlost procesu bude blíže rozebrána na konci této kapitoly.

Dalším z problémů původního řešení byla neoptimální funkčnost stávajícího kamerového systému. V novém řešení je použit kamerový systém pracující na principu pokročilejších technologií jako je deep-learning, kterými původní kamerový systém nedisponoval. Nově použitý kamerový systém by měl být při zpracování obrazu výrazně přesnější a spolehlivější, což bylo ověřeno experimentálně.

Důležitou součástí pracoviště je stanice s lineárními pneumatickými pohony, díky kterým jsou manipulované součástky robotem SCARA odebírány z takřka totožného místa, jako tomu bylo u původního řešení, což znamená, že stávající robotický program nevyžaduje zásadní úpravu. Tato stanice dále napomohla k optimalizaci způsobu zakládání součástek do těla výrobku, což je považováno za další úpravu vedoucí ke zvýšení efektivity pracoviště.

V novém návrhu je dále uzel uzpůsoben tak, aby bylo možné doplňovat dva druhy součástek do vibračních podavačů za plného provozu stroje, což původní řešení nedovolovalo. Vzhledem k tomu, že je doplňovací box navržen tak, aby doplňování součástek bylo možné při zavřených bezpečnostních dveřích, lze považovat toto řešení za bezpečné.

Všechny výše zmíněné inovativní úpravy vedly k zajištění vyšší spolehlivosti, plynulosti i rychlosti procesu v rámci daného výrobně-montážního uzlu, potažmo celého zařízení. Výsledná úspora času je pro přehlednost vyčíslena v tabulce 20. Uvedené hodnoty časů udávají přibližnou celkovou dobu od odebrání těla výrobku na vstupu, po dokončení montáže součástí 1 a 2 do těla výrobku.

Tab 21) Tabulka porovnání časů cyklů

	Původní řešení	Nové řešení
Čas cyklu bez NOK kusů [s]	24	20
Čas cyklu s jedním NOK kusem [s]	27	20
Čas cyklu se dvěma NOK kusy [s]	30,5	24,5

Vzhledem k výše uvedenému shrnutí lze považovat nové řešení oproti původnímu řešení za výrazně efektivnější. Přestože bylo zhotovení původního řešení o více než 470 000 Kč levnější, přínosy řešení nového jsou natolik přesvědčivé, že se vyplatí do něj investovat.

12 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Tato práce pojednává o návrhu nové verze výrobně-montážního uzlu, který je součástí automatizované a robotizované stanice pro montáž výrobku. Úkolem uzlu, který je předmětem této práce je montáž dvou rozměrově malých mechanických komponent do těla výrobku, přičemž musí být obě součásti před samotnou montáží vždy vizuálně zkontrolovány kamerou. Součástí uzlu je také NOK koš, do kterého jsou odhazovány vadné kusy odhalené vizuální kontrolou.

Výrobně-montážní uzel se v původním řešení skládal ze dvou miskových vibračních podavačů v kombinaci se dvěma lineárními vibračními podavači. Samotná montáž obou součástí do těla výrobku byla prováděna SCARA robotem s mechanickou úchopnou hlavicí, který zajišťuje i jiné operace napříč celým pracovištěm.

U původního řešení uzlu se objevily jisté problémy, které jsou hlavním důvodem k jeho přepracování. Jedná se o časté zasekávání součástí ve vibračních podavačích a časté chyby při vizuální kontrole součástí zapříčiněné zastaralým kamerovým systémem.

Na základě rešerše a systémového rozboru dané problematiky byl zhotoven návrh nové verze uzlu, ve kterém byly odstraněny problémy stávajícího zařízení. Zásadní změnou u nového řešení uzlu byla výměna stávajících vibračních podavačů flexibilními vibračními podavači a malým šestiosým kloubovým robotem. Původní kamerový systém byl nahrazen novým kamerovým systémem využívajícím pokročilejší technologie zpracování obrazu. V novém řešení byl dále například optimalizován způsob zakládání součástek do těla výrobku a součástky je nyní možné doplňovat do vibračních podavačů i za plného chodu zařízení, což v původní verzi nebylo možné. Všechny tyto úpravy nakonec vedly ke zvýšení spolehlivosti, plynulosti a rychlosti pracovního procesu.

V průběhu konstrukčního návrhu byla zhotovena robotická simulace, pomocí které byly odhadnuty časy cyklů a ověřeny dosahy a kolize robotu. Pro finální konstrukční návrh byla dále zpracována konstrukční dokumentace a podrobná analýza rizik, která ověřila bezpečnost daného výrobně-montážního uzlu. Nakonec byl proveden cenový odhad nového řešení uzlu a finální návrh byl kriticky zhodnocen.

Dalším krokem, který by měl navazovat na tuto práci je implementace uzlu do kontextu celého zařízení, a to jak mechanicky, tak programově. Důležitým krokem před finálním zprovozněním uzlu je kalibrace flexibilních vibračních podavačů a robotu, seřízení kamerových systémů a optimalizace dráhy robotu. Jako odrazový můstek pro programování robotu může sloužit zpracovaná robotická simulace.

13 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-802-1448-285.
- [2] ČSN ISO 8373 (186501) *Roboty a robotická zařízení – Slovník*. 2. vydání. 2013.
- [3] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, [2008]. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [4] KNOFLÍČEK, Radek. *Průmyslové roboty a manipulátory: Příklady stavby, kinematika, morfologie, ukázky typické struktury a jejich stavby*. [Přednášky]. Brno: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, FSI, VUT v Brně.
- [5] KNOFLÍČEK, Radek a Vojtěch ŠTĚPÁNEK. *Průmyslové roboty a manipulátory I*. [Přednášky]. Brno: VUT FSI, 2018
- [6] *Robot accessories* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.fee.de/en/automation-robotics/robot-accessories>
- [7] TSIROGIANNIS, Evangelos Ch. *Reverse Engineering, Redesign and Topology Optimization for Additive Manufacturing of an Industrial Robot Arm Link* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/322210953_Reverse_Engineering_Redesign_and_Topology_Optimization_for_Additive_Manufacturing_of_an_Industrial_Robot_Arm_Link
- [8] VETIŠKA, Jan. *Průmyslové roboty a manipulátory II: Technologické možnosti robotů*. [Přednášky]. Brno: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, FSI, VUT v Brně, 2022.
- [9] *Advancements in 3D Vision, Software Bolster Bin Picking* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.photonics.com/Articles/Advancements_in_3D_Vision_Software_Bolster_Bin/a65477
- [10] *Průmyslové roboty: jaké jsou jejich druhy?* [online]. 2018 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-2/>
- [11] KUKA [online]. *KR 6 R700 CR. Katalogový list*. 2022 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/8350ff3ca11642998dbdc81dcc2ed44c/0000293590_cs.pdf?rev=11e2b6d56cab49e68926cd95d3895193&hash=43D2D1475A002393096452BEEF7842F5
- [12] KUKA [online]. *KR 6 R700 CR. Katalogový list*. 2022 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/8350ff3ca11642998dbdc81dcc2ed44c/0000343148_cs.pdf?rev=cacffdb7cf894fa6b3b47daa7c68a622&hash=A07B714B354B38ED3549290A176C1847
- [13] *SCARA roboty* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/scara-roboty/>

- [14] WILSON, Mike. *Implementation of Robot Systems: An introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing*. 1st Edition. Butterworth-Heinemann, 2014. ISBN 978-0-124-04733-4.
- [15] *DELTA Roboty* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/delta-roboty/>
- [16] SICILIANO, Bruno a Oussama KHATIB. *Springer Handbook of Robotics*. 2nd Edition. Springer, 2008. ISBN 978-3-319-32550-7.
- [17] KÁRNÍK, Ladislav. *RTP – navrhování a praktické aplikace: studijní opora*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2725-4.
- [18] VETIŠKA, Jan. *Průmyslové roboty a manipulátory II: Chapadla*. [Přednášky]. Brno: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, FSI, VUT v Brně, 2022.
- [19] *Schunk Pneumatic Grippers* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.cobots.ch/en/product/schunk-pneumatic-grippers/>
- [20] *SGB – Úhlové chapadlo* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/uchopovaci-systemy/uhlove/radialni-chapadlo/sgb/c/PGR_384
- [21] *EGS – Otočný uchopovací modul s paralelním chapadlem* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/uchopovaci-systemy/rotacni-uchopovaci-modul/egs/c/PGR_3101
- [22] *EMH – Magnetická chapadla* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://schunk.com/cz/cs/uchopovaci-systemy/magneticka-chapadla/emh/c/PGR_4313
- [23] *Is a Vacuum Gripper Right for Your Collaborative Robot Application?* [online]. 2019 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.automate.org/blogs/is-a-vacuum-gripper-right-for-your-collaborative-robot-application>
- [24] *Vibrační kruhové zásobníky* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <http://vibrodesk.cz/vybracni-kruhove-zasobniky/>
- [25] *Vibrator Bowl With In-Line Feeder, Hopper And Base Plate* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.la-feeder.com/product/vibrator-bowl-with-in-line-feeder-hopper-and-base-plate/>
- [26] BOOTHROYD, Geoffrey. *Assembly Automation and Product Design*. 2nd Edition. CRC Press, 2005. ISBN 978-1574446432.
- [27] *Asyrl flexible feeding system* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://asyril.com/en>
- [28] NOVOTNÝ, FRANTIŠEK, VLASTIMIL HOTAŘ, MARCEL HORÁK, MARIE STARÁ a MICHAL STARÝ. *Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2020. ISBN 978-80-7494-545-8.
- [29] KEYENCE [online]. *Intuitivní kamerový systém – Řada CV-X*. Katalogový list. 2022 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/vision/vision-sys/cv-x100/>
- [30] KEYENCE [online]. *Vision System Peripheral Equipment*. Katalogový list. 2022 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/products/vision/vision-sys/ca-l/>

- [31] SICK [online]. *SMART SENSORS. Katalogový list*. 2019 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://cdn.sick.com/media/docs/3/03/803/special_information_smart_sensors_en_im0069803.pdf
- [32] *Functionality and technology of magnet and cylinder sensors* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://www.baumer.com/dk/en/service-support/function-principle/functionality-and-technology-of-magnet-and-cylinder-sensors/a/Know-how_Function_Magnet-cylinder-sensors
- [33] *Indukční snímače SICK* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.sick.com/cz/cs/indukcni-snimace/c/g253054?q=:Def_Type:ProductFamily
- [34] *Měření výšky hladiny toneru* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/odvetvi/tiskarsky-prumysl/tisk/rizeni-a-monitorovani-tisku/mereni-vysky-hladiny-toneru/c/p350019>
- [35] *Actuators and pneumatic cylinders* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.airwork-pneumatic.com/actuators-pneumatic-cylinders/>
- [36] *Pneumatické pohony FESTO* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/c/vyrobky/prumyslava-automatizace/pohony/pneumaticke-pohony-id_pim135/
- [37] *Hydraulic cylinders. Rexroth A Bosh Company* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.boschrexroth.com/ics/Modules/Configuration/?Modelcode=TE_Rundzylinder&p=g257646&Configurator=Zylinder&cat=Industrial-Hydraulics-Catalog&pi=011B4BC8-D6F8-1F60-82CDE0D80D3B62B8_IC_S_8801&scenario=portal&InitConfiguration=1&o=Desktop
- [38] *Krokové motory EMMS-ST* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.festo.com/cz/cs/p/krokovemotory-id_EMMS-ST/?page=0&q=krokov%C3%BD%20motor~%3AfestoSortOrderScored
- [39] *Discover the complete range of Asyrl flexible feeders for components from 0.1 mm to 150 mm* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://asyril.com/en/products-and-plugins/asycube/>
- [40] *Mecademic: Meca 500 user manual* [online]. Uživatelská příručka. 2022 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://app.hubspot.com/documents/4405658/view/511084540?accessId=4b6b24>
- [41] KNOFLÍČEK, Radek. *Metoda multikriteriálního hodnocení*. Podklady vedoucího diplomové práce.
- [42] *Antivibrační elementy: Silentbloky* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.elesa-ganter.cz/cs/cze/Antivibracni-elementy--Silentbloky--DVA2?err=second>
- [43] *2-jaw parallel grippers: series MGP800* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.zimmer-group.com/en/technologies-components/components/handling-technology/grippers/pneumatic/2-jaw-parallel-grippers/series-mgp800>

14 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

14.1 Seznam tabulek

Tab 1) Ganttův diagram původního řešení pro 1 cyklus bez NOK kusů	39
Tab 2) Ganttův diagram původního řešení pro 1 cyklus s jedním NOK kusem	39
Tab 3) Ganttův diagram původního řešení pro 1 cyklus se dvěma NOK kusy	39
Tab 4) Ganttův diagram 1. varianty pro 1 cyklus bez NOK kusů	48
Tab 5) Ganttův diagram 1. varianty pro 1 cyklus s jedním NOK kusem	48
Tab 6) Ganttův diagram 1. varianty pro 1 cyklus se dvěma NOK kusy	48
Tab 8) Ganttův diagram 2. varianty pro 1 cyklus s jedním NOK kusem	49
Tab 7) Ganttův diagram 2. varianty pro 1 cyklus bez NOK kusů	49
Tab 9) Ganttův diagram 2. varianty pro 1 cyklus se dvěma NOK kusy	49
Tab 10) Ganttův diagram 3. varianty pro 1 cyklus bez NOK kusů	49
Tab 11) Ganttův diagram 3. varianty pro 1 cyklus se s jedním NOK kusem	49
Tab 12) Ganttův diagram 3. varianty pro 1 cyklus se dvěma NOK kusy	49
Tab 13) Tabulka posuzovaných vlastností variant	51
Tab 14) Tabulka hodnocení jednotlivých variant	51
Tab 15) Konečné technické zhodnocení variant	51
Tab 16) Tabulka identifikace nebezpečí	61
Tab 17) Tabulka analýzy významných nebezpečí	62
Tab 18) Tabulka pro odhad počátečních rizik	66
Tab 19) Formulář pro snížení rizika	68
Tab 20) Tabulka cenových nákladů	70
Tab 21) Tabulka porovnání časů cyklů	71

14.2 Seznam obrázků

Obr. 1) Základní typy kinematických dvojic u průmyslových robotů [3]	15
Obr. 2) Kinematický řetězec šestiosého kloubového robotu [4]	15
Obr. 3) Ústrojí akčního systému průmyslového robotu [6]	16
Obr. 4) Pracovní prostor vybraných průmyslových robotů [7]	16
Obr. 5) Průmyslový robot využívající strojové vidění (tzv. bin picking) [9]	17
Obr. 6) Průmyslový robot KUKA KR 6 R700 a jeho pracovní prostor [11]	18
Obr. 7) Průmyslový robot KUKA KR R700 Z200 a jeho pracovní prostor [12]	19
Obr. 8) Delta robot ABB a jeho pracovní prostor [15]	20
Obr. 9) Ukázka různých typů pneumatických pohonů [35]	21
Obr. 10) Ukázka různých typů hydraulických pohonů [37]	21
Obr. 11) Krokový motor FESTO [38]	22
Obr. 12) Příklady aktivních mechanických úchopných hlavíc [19][20][21]	23
Obr. 13) Pasivní mechanická úchopná hlavice s odpruženými čelistmi [1]	23
Obr. 14) Magnetická úchopná hlavice pro manipulaci s plechovými tabulemi [22]	24
Obr. 15) Příklad aplikace podtlakových úchopných hlavíc [23]	25
Obr. 16) Typické provedení vibračního podávacího zařízení [25]	25

Obr. 17) Orientace různých druhů součástí v miskových vibračních podavačích [26].....	26
Obr. 18) Flexibilní podávací systém [27].....	26
Obr. 19) Vizuální kontrola rozměrů zapalovacích svíček [29]	27
Obr. 20) Příklad typů osvětlení kamerových systémů [30].....	28
Obr. 21) Příklad aplikace optoelektronických senzorů [31].....	28
Obr. 22) Použití magnetického senzoru pro detekci polohy pneu. válce [32].....	29
Obr. 23) Ukázka různých typů indukčních senzorů značky SICK [33]	29
Obr. 24) Použití kapacitního senzoru při měření výšky hladiny toneru [34]	30
Obr. 25) Modifikovaný model výrobku a vkládaných součástí	31
Obr. 26) Vývojový diagram montážního procesu	32
Obr. 27) Půdorysný pohled umístění uzlu na základové desce stroje	34
Obr. 28) Původní konstrukční řešení uzlu – všechny komponenty uzlu včetně robotů (nahore), detail vibračních podavačů (dole).....	35
Obr. 29) Ustavovací přípravek	36
Obr. 30) NOK koš	36
Obr. 31) Koncový efektor SCARA robotu 1	37
Obr. 32) Postup vkládání součásti 2 do těla výrobku	38
Obr. 33) Typické rozmístění součástí 1 na vibrační desce (vlevo) a součást 1 v orientaci potřebné pro vložení do těla výrobku (vpravo)	41
Obr. 34) Postup přechycení součásti 1	41
Obr. 35) Flexibilní vibrační podavač Asyryl Asycube 80 [39].....	42
Obr. 36) Průmyslový robot Meca 500 [40]	42
Obr. 37) Prostor pro nové řešení uzlu.....	44
Obr. 38) Rozložení v uzlu – varianta 1	45
Obr. 39) Rozložení v uzlu – varianta 2.....	46
Obr. 40) Rozložení v uzlu – varianta 3.....	47
Obr. 41) Konstrukční návrh vybrané varianty řešení – pohled shora.....	52
Obr. 42) Konstrukční návrh vybrané varianty řešení včetně rámu.....	52
Obr. 43) Stanice vibračních podavačů a detail silentbloku [42].....	53
Obr. 44) Manipulační stanice	53
Obr. 45) Přesouvací stanice – a) v pozici A, b) v pozici B	54
Obr. 46) Úchopná hlavice.....	55
Obr. 47) Doplnňovací box	56
Obr. 48) Kamera 1	56
Obr. 49) Kamera 2	57
Obr. 50) Stanice NOK košů.....	57
Obr. 51) Blokový diagram zařízení	59
Obr. 52) Blokové diagramy jednotlivých stanic uzlu.....	60
Obr. 53) Graf pro odhad rizika [1]	65

14.3 Seznam zkratk

3D	Trojrozměrný
DP	Diplomová práce
NOK	Není v pořádku

OK	V pořádku
PLC	Programovatelný logický automat
POM	Polyoxymetylén
PVC	Polyvinylchlorid
R	Rotace
RP	Robotické pracoviště
RRR	Kinematická struktura rotace-rotace-rotace
RRT	Kinematická struktura rotace-rotace-translace
R _x	Rotace k ose x
R _y	Rotace k ose y
R _z	Rotace k ose z
S1	Součást 1
S2	Součást 2
SCARA	Selektivní kompatibilní kloubové robotické rameno
T	Translace
TCP	Tool center point (Centrální bod nástroje)
T _x	Translace k ose x
T _y	Translace k ose y
T _z	Translace k ose z
UV	Ultrafialový

14.4 Seznam symbolů

g_n	[-]	Váha jednotlivých parametrů
p_τ	[%]	Procentuální vyjádření hodnocených parametrů
T_n	[-]	Počet parametrů, faktorů či vlastností
t_j	[-]	Hodnotící parametr
τ	[-]	Konečná technická hodnota varianty
τ_n	[-]	Technický stav hodnocené varianty

15 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Formuláře pro snížení rizika

Příloha 2 - Výkresy ve formátu PDF

- 00-00-00-00	Montážní pracoviště	Výkres sestavení
- 00-00-00-00K	Montážní pracoviště	Kusovník
- 00-01-00-00	Stanice vibračních podavačů	Výkres sestavení
- 00-01-00-00K	Stanice vibračních podavačů	Kusovník
- 00-01-01-00	Manipulační stanice	Výkres sestavení
- 00-01-01-00K	Manipulační stanice	Kusovník
- 00-01-01-01	Stojina	Výkres součásti
- 00-01-01-03	Držák lůžka	Výkres součásti
- 00-01-02-00	Přesouvací stanice	Výkres sestavení
- 00-01-02-00K	Přesouvací stanice	Kusovník
- 00-01-02-01	Stojina 1	Výkres součásti
- 00-01-02-03	Základní deska 1	Výkres součásti
- 00-01-03-00	Úchopná hlavice	Výkres sestavení
- 00-01-03-00K	Úchopná hlavice	Kusovník
- 00-01-03-01	Příruba	Výkres součásti
- 00-01-03-02	Čelist 1	Výkres součásti
- 00-01-04-00	Základní deska	Výkres součásti
- 00-01-05-00	Základna podavačů 1	Výkres součásti
- 00-01-06-00	Základna podavačů 2	Výkres součásti
- 00-03-00-00	Kamera 1	Výkres sestavení
- 00-03-00-00K	Kamera 1	Kusovník
- 00-04-00-00	Kamera 2	Výkres sestavení
- 00-04-00-00K	Kamera 2	Kusovník

Příloha 3 - Katalogové listy apod. vybraných nakupovaných komponent

- Průmyslový robot Meca 500	Uživatelský manuál
- Flexibilní vibrační podavač Asycube 80	Katalogový list
- Chapadlo Zimmer group MGP803	Katalogový list
- Kamera iRayple A7A20MG000E (Kamera 1)	Datový list
- Kamera iRayple A7040MG000E (Kamera 2)	Datový list
- Zadní osvětlení SmartView BL-85-4S	Katalogový list

PŘÍLOHA 1

VUT v Brně, FSI ÚVSSR		FORMULÁŘ PRO SNÍŽENÍ RIZIKA ZPRACOVAL: RADEK PORUBSKÝ		Stroj: Robotické pracoviště
				Datum: 22.12.2022
Číslo nebezpečí (ČSN EN ISO 12100- 2011)	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100-2011		
		2. Mechanické nebezpečí		
1.2 – 1	2	Nebezpečí stlačení		
Životní etapa: uved. do provozu, provoz, seřiz. a prog.		Nebezpečný prostor: pracovní prostor		
Ohrožené osoby: Obsluha		Za provozu		
Popis nebezpečné situace/události:	Nebezpečí stlačení při pohybu robotu.			
Počáteční riziko:	Závažnost možné škody na zdraví:	S3 – Smrt	Velikost rizika 10	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – Často až trvale		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – Sotva možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W2 – Střední		
Krok 1: Opatření zabudovaná v konstrukci				
Popis opatření:	Roboty včetně řídicích systémů splňují požadavky na bezpečnost průmyslových robotů dle ČSN EN ISO 10218-1 (2012) a také požadavky pro integraci PR dle ČSN EN ISO 10218-2 (2011). Dále splňují požadavky funkční bezpečnosti dle normy ČSN EN ISO 13849. Ovládací panely PR jsou umístěny mimo nebezpečný prostor podle normy ČSN EN ISO 10218-1.			
Snížené riziko po opatření:	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – Těžké zranění (trvalé následky)	Velikost rizika 8	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – Nemožné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – Malá		
Krok 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření				
Popis opatření:	Krytování pracovního prostoru robotu. Všechny přístupy jsou během automatického cyklu stroje zablokovány bezpečnostními zámky. Je přítomen nouzový vypínač.			
Snížené riziko po opatření:	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – Těžké zranění (trvalé následky)	Velikost rizika 2	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – Možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – Malá		
Krok 3: Informace pro používání				
Popis opatření:	Upozornění v návodu k použití, který je k dispozici v ovládacím prostoru: „Během automatického pracovního cyklu, odladování cyklu a programování robotu, je zakázáno jakkoliv zasahovat do pracovního prostoru robotu!“			
Zbytkové riziko:	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 – Lehké poranění	Velikost rizika 0	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji		
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – Možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – Malá		
VALIDACE:	Opatření jsou dostatečná	Radek Porubský	22.12.2022	

VUT v Brně, FSI ÚVSSR		FORMULÁŘ PRO SNÍŽENÍ RIZIKA ZPRACOVAL: RADEK PORUBSKÝ		Stroj: Robotické pracoviště
				Datum: 22.12.2022
Číslo nebezpečí (ČSN EN ISO 12100- 2011)	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100-2011		
1.6 – 1	3	3. Mechanické nebezpečí		
		Nebezpečí naražení		
Životní etapa: uvedení do provozu, provoz, seřizování a programování		Nebezpečný prostor: pracovní prostor		
Ohrožené osoby: Obsluha		Za provozu		
Popis nebezpečné situace/události:	Nebezpečí naražení do těla obsluhy důsledkem pohybu robotu.			
Počáteční riziko:	Závažnost možné škody na zdraví:	S3 – Smrt	Velikost rizika	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A2 – Často až trvale	14	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – Nemožné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W3 – Vysoké		
Krok 1: Opatření zabudovaná v konstrukci				
Popis opatření:	Roboty včetně řídicích systémů splňují požadavky na bezpečnost průmyslových robotů dle ČSN EN ISO 10218-1 (2012) a také požadavky pro integraci PR dle ČSN EN ISO 10218-2 (2011). Dále splňují požadavky funkční bezpečnosti dle normy ČSN EN ISO 13849. Ovládací panely PR jsou umístěny mimo nebezpečný prostor podle normy ČSN EN ISO 10218-1.			
Snížené riziko po opatření:	Závažnost možné škody na zdraví:	S3 - Smrt	Velikost rizika	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji	11	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – Nemožné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – Malá		
Krok 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření				
Popis opatření:	Krytování pracovního prostoru robotu. Všechny přístupy jsou během automatického cyklu stroje zablokovány bezpečnostními zámky. Je přítomen nouzový vypínač.			
Snížené riziko po opatření:	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – Těžké zranění (trvalé následky)	Velikost rizika	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji	2	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – Možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – Malá		
Krok 3: Informace pro používání				
Popis opatření:	Upozornění v návodu k použití, který je k dispozici v ovládacím prostoru: „Během automatického pracovního cyklu, odladování cyklu a programování robotu, je zakázáno jakkoliv zasahovat do pracovního prostoru robotu!“			
Zbytkové riziko:	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 – Lehké poranění	Velikost rizika	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji	0	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – Možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – Malá		
VALIDACE:	Opatření jsou dostatečná	Radek Porubský	22.12.2022	

VUT v Brně, FSI ÚVSSR		FORMULÁŘ PRO SNÍŽENÍ RIZIKA ZPRACOVAL: RADEK PORUBSKÝ		Stroj: Robotické pracoviště
				Datum: 22.12.2022
Číslo nebezpečí (ČSN EN ISO 12100-2011)	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100-2011		
1.7 – 1, 1.7 – 2	4	4. Mechanické nebezpečí		
		Nebezpečí vystříknutí vysokotlakého média		
Životní etapa: Montáž, uvedení do provozu, provoz, seřizování, demontáž		Nebezpečný prostor: pracovní prostor a okolí stroje		
Ohrožené osoby: Obsluha		Za provozu		
Popis nebezpečné situace/události:	Nebezpečí vystříknutí vysokotlakého vzduchu od rozvodu vysokotlakého vzduchu důsledkem poškození hadic pneumatického rozvodu.			
Počáteční riziko:	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – Těžké zranění (trvalé následky)	Velikost rizika	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji	12	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – Nemožné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – Malá		
Krok 1: Opatření zabudovaná v konstrukci				
Popis opatření:	Vysokotlaký rozvod je instalován pod pevnými kryty. Použití certifikovaných hadiček.			
Snížené riziko po opatření:	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – Těžké zranění (trvalé následky)	Velikost rizika	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji	9	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – Nemožné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – Malá		
Krok 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření				
Popis opatření:	Je programově zajištěno vypnutí systému při ztrátě tlaku. Je přístupný nouzový vypínač.			
Snížené riziko po opatření:	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – Těžké zranění (trvalé následky)	Velikost rizika	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji	4	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – Možné za určitých podmínek		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – Malá		
Krok 3: Informace pro používání				
Popis opatření:	Upozornění v návodu k použití, který je k dispozici v ovládacím prostoru: „Před každým požitím pneumatických prvků kontrolujte stav hadiček pro rozvod vysokotlakého vzduchu!“ „Při práci s vysokotlakým vzduchem a veškerými pneumatickými prvky dbejte vysoké opatrnosti!“			
Zbytkové riziko:	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 – Lehké poranění	Velikost rizika	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji	0	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – Možné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – Malá		
VALIDACE:	Opatření jsou dostatečná	Radek Porubský	22.12.2022	

VUT v Brně, FSI ÚVSSR		FORMULÁŘ PRO SNÍŽENÍ RIZIKA ZPRACOVAL: RADEK PORUBSKÝ		Stroj: Robotické pracoviště
				Datum: 22.12.2022
Číslo nebezpečí (ČSN EN ISO 12100-2011)	Identifikační číslo	Označení nebezpečí dle ČSN EN ISO 12100-2011		
		5. Elektrické nebezpečí		
2.1 – 1, 2.1 - 2	5	Nebezpečí smrti elektrickým proudem		
Životní etapa: Montáž, uvedení do provozu, provoz, seřizování, demontáž		Nebezpečný prostor: pracovní prostor		
Ohrožené osoby: Obsluha, seřizovač, pracovník montáže		Za provozu, mimo provoz		
Popis nebezpečné situace/události:	Nebezpečí zasažení elektrickým proudem při dotyku osob s živou částí při montáži, instalaci, demontáži či seřizování. Napětí se vyskytuje jak při provozu, tak i při odstávce robotu. Následkem nebezpečné události může být až smrt.			
Počáteční riziko:	Závažnost možné škody na zdraví:	S3 – Smrt	Počáteční riziko:	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji	12	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E3 – Nemožné		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – Malá		
Krok 1: Opatření zabudovaná v konstrukci				
Popis opatření:	Použití certifikovaných elektronických součástek a zařízení, které splňují požadavky normy ČSN EN 60204-1 pro bezpečnost strojních zařízení – elektrická zařízení. Dále je nutné opatřit zařízení ochrannými prvky, jako jsou proudové chrániče a jističe.			
Snížené riziko po opatření:	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – Těžké zranění (trvalé následky)	Snížené riziko po opatření:	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji	9	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – Možné za určitých okolností		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – Malá		
Krok 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření				
Popis opatření:	Práci na montáži a seřizování elektroinstalace smí provádět pouze osoba s adekvátní kvalifikací, tj. s platnou NV 194/2022 Sb. alespoň na úroveň §6. Tato osoba musí být opatřena ochrannými pracovními prostředky, jako jsou nástroje s izolovanou rukojetí, rukavice, uzemňovače. Zařízení je vybaveno proudovým chráničem.			
Snížené riziko po opatření:	Závažnost možné škody na zdraví:	S2 – Těžké zranění (trvalé následky)	Snížené riziko po opatření:	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji	4	
	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E2 – Možné za určitých podmínek		
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – Malá		
Krok 3: Informace pro používání				
Popis opatření:	Varování na zařízení piktogramy. Upozornění umístěná přímo u každého elektrického zařízení: „Pozor elektrické zařízení!“ Upozornění v návodu k obsluze: „Práci s elektrickou částí provádět pouze po odpojení ze sítě.“ „Práci s elektrickou částí můžou provádět pouze kvalifikované osoby.“ „Práci s elektrickou částí provádějte pouze s ochrannými prostředky jako jsou nástroje s izolovanou rukojetí, rukavice a uzemňovače.“			
Zbytkové riziko:	Závažnost možné škody na zdraví:	S1 – Lehké poranění	Zbytkové riziko:	
	Četnost a doba trvání ohrožení:	A1 – Zřídka až častěji		

	Možnost vyvarování se nebezpečí:	E1 – Možné	0
	Pst. výskytu nebezpečné události:	W1 – Malá	
VALIDACE:	Opatření jsou dostatečná	Radek Porubský	22.12.2022