



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH ROBOTICKÉHO PRACOVIŠTĚ PRO AUTOMATICKÉ ZAKLÁDÁNÍ TERMOSTATICKÝCH HLAVIC

DESIGN OF ROBOTIC WORKSTATION FOR AUTOMATED INSERTION OF THERMOSTATIC HEADS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Peter Kubovčík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Peter Kubovčík
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
Akademický rok:	2018/19

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

Návrh robotického pracoviště pro automatické zakládání termostatických hlavic

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě rozboru stávajícího stavu pracoviště bude proveden návrh nového řešení pracoviště, kde je operátor nahrazen průmyslovým robotem. Cílem práce je automatizace části výroby termostatických hlavic, kde bude robot zakládat hlavice do frézovacího zařízení. Součástí práce je návrh layoutu pracoviště, vytvoření modelu pracoviště spolu s návrhem dílčích systémů pracoviště, tj. koncových efektorů, přípravků a analýzy bezpečnosti pracoviště. Ověření funkčnosti řešení bude provedeno v programu Siemens Process Simulate.

Cíle diplomové práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.

Analýza současného stavu pracoviště.

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

Návrh koncepce robotického pracoviště.

Vytvoření modelu pracovní buňky a integrace dílčích systémů pracoviště.

Analýza rizik projektu robotizovaného pracoviště.

Vytvoření simulačního modelu pracoviště v SW Siemens Process Simulate.

Výkresová dokumentace půdorysu a nárysu pracoviště.

Návrh manipulačního cyklu.

Závěr a vyhodnocení přínosů, doporučení pro další rozvoj.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cieľom diplomovej práce je návrh robotického pracoviska pre automatické zakladanie termostatických hlavíc. Návrh vychádza z komplexnej analýzy pracoviska v súčasnom stave. S prihliadnutím na požiadavky firmy a zákazníka bolo navrhnutých niekoľko variant robotického pracoviska, z ktorých najvhodnejší bol podrobne rozpracovaný. Návrh bol realizovaný v súlade s dôležitými bezpečnostnými normami, vrátane vypracovania analýzy rizík. Funkčnosť návrhu bola overená simuláciou výrobného procesu v programe Siemens Process Simulate, vrátane analýzy času cyklu. Navrhnuté riešenie bolo tiež zhodnotené z ekonomického hľadiska. Súčasťou je výkresová dokumentácia pôdorysu a nárýsu pracoviska.

ABSTRACT

The objective of this master thesis is to design a robotic work cell for automated insertion of thermostatic heads. The proposed design was based on the comprehensive analysis of the current workplace. By taking the demands of the company and customer into consideration, several possibilities of the robotic work cell design were proposed, from which the most suitable one was chosen and carefully elaborated. During the process of designing, several safety standards had to be taken into consideration in order to mitigate risks. For that purpose, a risk analysis was conducted as well. Using the Siemens Process Simulate software, the proposed robotic work cell concept was verified, including cycle time analysis. The last part of the thesis is an assessment of the initial expenditures of the robotic work cell equipment, as well as the return of the investment calculation. Drawing of the robotic work cell layout is attached to the thesis.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Robotické pracovisko, pick and place manipulácia, automatizácia kalibrácie termostatických hlavíc, šesťosí priemyselný robot, simulácia výrobného procesu, bezpečnosť robotického pracoviska

KEYWORDS

Robotic work cell, pick and place operation, automated calibration of thermostatic heads, six axis industrial robot, simulation of a production process, robotic work cell safety

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KUBOVČÍK, Peter. *Návrh robotického pracoviště pro automatické zakládání termostatických hlavíc* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116982>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Radek Knoflíček.

POĎAKOVANIE

Týmto ďakujem doc. Ing. Radku Knoflíčkoví, Dr. za odborné vedenie pri písaní diplomovej práce. Tiež by som chcel poďakovať kolegom z výrobného závodu Honeywell Brno za možnosť vypracovania diplomovej práce s praktickým využitím v priemysle. Poďakovanie tiež patrí rodine za podporu počas celej doby štúdia.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 24.5.2019

.....

Bc. Kubovčík Peter

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVÁCIA	17
3	AUTOMATIZOVANÉ ROBOTICKÉ PRACOVISKÁ	19
3.1	Automatizácia vo výrobných procesoch	19
3.1.1	Prínosy automatizácie	19
3.2	Robotizácia vo výrobných procesoch	20
3.3	Priemyslové roboty v RP	21
3.3.1	Sériová kinematika	22
3.3.2	Paralelná kinematika	24
3.3.3	Prehľad typov priemyselných robotov	24
3.3.4	Parametre priemyselných robotov	27
3.4	Komponenty v stavbe RP	27
3.4.1	Dopravníky a sklzy	27
3.4.2	Otočné stoly a polohovadlá	28
3.4.3	Koncové efekty	28
3.4.4	Kamerové systémy	30
3.4.5	Senzory	31
3.5	Bezpečnosť RP	32
3.5.1	Legislatívne požiadavky	32
3.5.2	Harmonizované normy	33
3.5.3	Analýza rizík v konštrukcii	35
3.5.4	Analýza funkčnej bezpečnosti	37
3.5.5	Prehľad bezpečnostných prvkov RP	39
3.6	Prehľad typov RP	43
3.6.1	RP pre zváranie	43
3.6.2	RP pre manipuláciu s materiálom	44
3.6.3	RP pre obrábanie	45
3.6.4	RP pre montáž	45
4	SYSTÉMOVÝ ROZBOR ZADANIA	47
5	ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU	49
5.1	Proces výroby termostatických hlavíc	49
5.2	Súčasný stav na pracovisku kalibrácie	50
5.3	Špecifikácia súčasného procesu kalibrácie	51
5.4	Časová analýza procesu kalibrácie	52
6	NÁVRH KONCEPTU RP	55
6.1	Variant 1	55
6.2	Variant 2	56
6.3	Variant 3	57
6.4	Časová analýza jednotlivých variant	58
6.5	Zhodnotenie navrhnutých variant pracoviska	60
7	NÁVRH KOMPONENTOV RP	63
7.1	Popis navrhnutého pracoviska	63
7.2	Typ priemyselného robotu	64
7.3	Koncový efektor	66

7.4	Prepravka a blister na uloženie hlavíc	71
7.5	Rámová konštrukcia a uloženie robotu	71
7.6	Pneumatické prvky	74
7.6.1	Pneumatický výťah do referenčnej polohy	74
7.6.2	Pneumatický výťah na presun prepravky	76
7.6.3	Zastavovacie valce	78
7.6.4	Ovládanie pneumatických pohonov	79
7.7	Kalibračný stroj	79
7.8	Senzory	80
7.9	Kamera	81
7.10	Riadiaci systém.....	82
8	BEZPEČNOSŤ RP	83
8.1	Systémová analýza RP	83
8.2	Identifikácia nebezpečných priestorov RP	83
8.3	Analýza zdrojov relevantných nebezpečí RP	84
8.4	Analýza významných nebezpečí	84
8.5	Prehľad identifikovaných významných nebezpečí	85
8.6	Odhad rizika	85
8.7	Analýza funkčnej bezpečnosti	86
8.8	Prehľad navrhnutých bezpečnostných prvkov	87
9	SIMULÁCIA VÝROBNÉHO PROCESU	93
9.1	Overenie dosahu robotu.....	93
9.2	Vytvorenie operácii a simulácia	93
10	EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE.....	97
10.1	Návratnosť investície.....	97
11	ZHODNOTENIE A DISKUSIA	101
12	ZÁVER.....	103
13	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	105
14	ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK.....	111
14.1	Zoznam tabuliek	111
14.2	Zoznam obrázkov	111
14.3	Zoznam skratiek	115
14.4	Zoznam symbolov	115
15	ZOZNAM PRÍLOH.....	119

1 ÚVOD

Technický pokrok v oblasti automatizácie a robotizácie je veľmi rýchly a automatizované systémy sa stávajú cenovo dostupnejšími. V súčasnej dobe, kedy je ekonomika štátov na vrchole, firmy čoraz viac siahajú po inovatívnych riešeniach. Netýka sa to však už len automobilového priemyslu, automatizácia a robotizácia postupne prechádza aj do iných odvetví, kde nasadenie týchto systémov doteraz nebolo štandardom. Je to spôsobené zvyšujúcimi sa požiadavkami na produktivitu, efektivitu procesov a kvalitu výrobkov. Ďalšou motiváciou firiem je neustále sa zvyšujúci dopyt zákazníkov po nových výrobkoch a nutnosť udržať krok s konkurenciou.

Automatizácia výrobného procesu je vzhľadom na obvykle veľmi rýchlu návratnosť investícií a cenovú dostupnosť projektov, v súčasnosti veľmi výhodná už aj pre malé a stredné firmy. Na trhu existuje množstvo firiem, ktoré sa priamo špecializujú na návrh automatizovaných pracovísk, robotizovaných pracovísk a jednoúčelových strojov. Niektoré firmy sú však natoľko technologicky vyspelé, že zvládnu vyriešiť radu úskalí pri návrhu aj svojpomocne.

Táto práca sa zaoberá komplexným návrhom robotického pracoviska na kalibráciu termostatických hlavíc. Návrh vychádza z pracoviska v pôvodnom stave, kde pracovník zakladá termostatické hlavice ručne do kalibračného stroju. Vzhľadom na monotónnosť a jednotvárnosť práce, ktorú pracovník vykonáva, je robotizácia výrobného procesu ideálnym riešením.

Diplomová práca je rozdelená na niekoľko logických častí. Prvou časťou je dôkladná analýza súčasného procesu výroby, vrátane zistenia taktu, ktorý musí robotické pracovisko dodržať. Tiež sú definované požiadavky na robotické pracovisko. Koncept robotického pracoviska je navrhnutý v niekoľkých variantoch, z ktorých je na základe dôkladného vyhodnotenia vybraný najvhodnejší. Tento variant je v ďalšej časti dôsledne rozpracovaný a konštrukčne navrhnutý, spolu s návrhom bezpečnostných prvkov a analýzy rizík. Pri návrhu je tiež využitý simulačný model v programe Siemens Process Simulate, v ktorom je overená funkčnosť robotického pracoviska a hlavne splnenie požadovaného času taktu. Na záver je návrh zhodnotený z ekonomického hľadiska, vrátane výpočtu odhadovanej doby návratnosti investície.

Zadanie diplomovej práce vychádza z reálnej požiadavky firmy Honeywell, konkrétne výrobného závodu v Brne, kde sa uvažuje o rozšírení automatizovanej výroby o ďalšie pracovisko.

2 MOTIVÁCIA

Návrh robotického pracoviska je komplexná úloha, ktorá vyžaduje znalosti a skúsenosti z viacerých technických oblastí, a to nielen strojárstva. Technický pokrok značne návrh uľahčuje, a to nielen vďaka cenovej dostupnosti a množstvu typizovaných komponentov na trhu, ale aj z hľadiska samotného procesu návrhu. Je dostupných niekoľko softvérov, ktoré zjednodušia návrh 3D modelu, pevnostné výpočty konštrukcii, optimalizáciu, funkčné skúšky a prípadne tiež umožnia virtuálne uvedenie do prevádzky.

V diplomovej práci je pri návrhu robotického pracoviska využitých hneď niekoľko softvérov. Pre 2D návrh rozloženia pracoviska a počiatkové návrhy možných koncepcií a funkcie jednotlivých zariadení je využívaný AutoCAD. 3D model celého robotického pracoviska je vytvorený v programe Autodesk Inventor. Bezpečný návrh nosnej konštrukcie robotu z hľadiska zaťaženia bol podporený softvérom Ansys. Na záver je vytvorený simulačný model pracoviska v programe Siemens Process Simulate, ktorý umožňuje odhaliť kolízne stavy, overiť funkčnosť pracoviska a zistiť časy cyklu. Dostupnosť potrebných softvérov je však len prostriedok, ktorý uľahčuje návrh robotického pracoviska. Rozhodujúce sú teoretické znalosti a praktické skúsenosti s návrhom podobných zariadení.

Pri návrhu sú v čo najväčšej miere využívané typizované komponenty od spoločností ponúkajúcich stavebnicové konštrukčné systémy, pneumatické prvky, bezpečnostné prvky apod. Firmy ponúkajú celú radu komponentov, z ktorých je možné vybrať tie najvhodnejšie, presne k potrebám navrhovaného pracoviska. Výber uľahčujú aj rôzne online konfigurátory, v ktorých je možné poskladať výsledný produkt presne na mieru.

Vhodne navrhnúť robotické pracovisko je teda neľahká úloha, pri ktorej je nutné vyriešiť hneď radu problémov. Jej vyriešením je však možné nadobudnúť množstvo skúseností, praktických a teoretických znalostí.

3 AUTOMATIZOVANÉ ROBOTICKÉ PRACOVISKÁ

3.1 Automatizácia vo výrobných procesoch

Výrobný proces, ako vedomú ľudskú činnosť, vedúcu k zhotoveniu určitého produktu, je možné na základe stupňa mechanizácie rozdeliť na niekoľko úrovní [1]:

- 1. úroveň – ručná výroba - vybavenie pracovného procesu ručnými nástrojmi
- 2. úroveň – mechanizovaná výroba – fyzická práca človeka je nahradená činnosťami strojov
- 3. úroveň – automatizovaná výroba – fyzická a riadiaca práca človeka je nahradená činnosťami technických prostriedkov

Mechanizáciou výrobného procesu je možné nahradiť fyzicky namáhavú a monotónnu prácu, vykonávanú človekom, prostredníctvom využitia strojov a technických prostriedkov. Mechanizovaná výroba je však stále riadená ľudskou obsluhou, ktorá do výrobného procesu priamo zasahuje. Najvyššiu úroveň v zdokonaľovaní výrobných procesov predstavuje automatizovaná výroba, v ktorej výrobné aj riadiace procesy prebiehajú bez priameho zásahu človeka. Automatizácia však účasť človeka na výrobnom procese nevyklučuje úplne, napríklad programovanie, kalibrácia a údržba strojov, nastavenie výroby, všeobecný dohľad nad výrobou, kontrola kvality výroby a mnohé ďalšie činnosti sú stále zabezpečované človekom. [1]

Automatizácia výrobného procesu je komplexná úloha, pri riešení ktorej sú východiskom požiadavky na proces a je pritom nutné navrhnúť optimálne technické riešenie s ohľadom na ekonomické, ekologické a sociálne aspekty. Prevláda najmä vo veľkosériovej a hromadnej výrobe, ale vďaka rozvoju techniky a poklesu cien automatizačných prvkov sa dostáva aj do malosériovej a kusovej výroby. [2]

3.1.1 Prínosy automatizácie

Rozhodnutie automatizovať výrobný proces musí byť opodstatnené a musí byť jasný dôvod a ciele automatizácie výroby. Racionálnych dôvodov, ktoré vedú k rozhodnutiu zaviesť automatizáciu do časti alebo celého výrobného procesu môže byť hneď niekoľko, no všeobecne sa dajú zhrnúť do technickej, ekonomickej a sociálnej oblasti. [2]

Technické aspekty

Zavedením automatizácie do výrobného procesu je možné zlepšiť viaceré technické aspekty výroby. Človek vo výrobnom procese môže byť príčinou chýb, alebo predstavuje veľké riziko chýb a nie je schopný vykonávať činnosti ako napríklad zváranie alebo lakovanie z hľadiska rýchlosti, presnosti, rozsahu a kvality tak, ako to dokáže automatizovaný výrobný proces s vhodne integrovanými technickými prostriedkami. Znížia sa tým tiež výrobné časy, vedľajšie časy a zvýši sa využitie výrobného zariadenia. Zlepší sa kvalita výroby a zároveň sa zníži riziko chýb spôsobených ľudským faktorom ako únava alebo nepozornosť. [2]

Ekonomické aspekty

Výrobné procesy je výhodné automatizovať najmä z ekonomických dôvodov, pretože sa výrazne zvýši efektívnosť procesu. Prinesie zníženie výrobných nákladov, zvýšenie produktivity práce, objemu výroby a kvality výrobkov, čo umožní udržať konkurencieschopnosť firmy na trhu a zvýšiť jej zisk. Výroba získa vyššiu flexibilitu a pri zmenách požiadaviek na výrobu bude možné pružne reagovať. Automatizácia výrobného procesu prinesie tiež úsporu pracovných síl,

zníženie počtu pracovníkov a s tým spojených nákladov na mzdy a nákladov spojených s náborom a zaškolením nových pracovníkov. To je dôležité najmä v dobe nízkej nezamestnanosti a nedostatku kvalifikovanej pracovnej sily. Vhodným usporiadaním automatizovaných procesov je tiež možné docieľiť úsporu energii a priestoru vo výrobe. Firmy využívajú automatizáciu aj ako nástroj na zvyšovanie prestíže, chcú tým demonštrovať technické, konštrukčné a finančné možnosti a schopnosti. [2]

Sociálne aspekty

Výrazné zvýšenie bezpečnosti pri práci a zlepšenie pracovných podmienok sú ďalšie dôvody, vedúce k automatizácii procesu. Odstráni sa vykonávanie práce, ktorá je pre človeka namáhavá, monotónna a zdraviu škodlivá. Vzniknú nové profesie, zvýšia sa nároky na vzdelanie a kvalifikáciu. [2]

3.2 Robotizácia vo výrobných procesoch

Významné postavenie v automatizovaných výrobných procesoch majú priemyselné roboty a manipulátory. Tie spolu s periférnymi zariadeniami ako napríklad dopravníky, sklzy, otočné stoly, senzory a mnohé ďalšie predstavujú zoskupenie nazývané robotizované pracovisko (ďalej len RP). [3]

Automatizáciu s využitím priemyslových robotov je možné v závislosti na jej komplexnosti a zložitosti rozčleniť na nasledovné stavebné štruktúry [3]:

Robotizované pracovisko

RP je základnou prevádzkovou jednotkou, ktorá je schopná samostatnej automatizovanej funkcie (Obr. 1). Je charakteristická tým, že dokáže zaistiť tri hlavné skupiny činností bez priameho zásahu človeka [3]:

- Technologický proces – vykonáva sa na automatických alebo automatizovaných strojoch, alebo môže byť priamo uskutočňovaný robotom, ktorý sa označuje ako technologický robot (zváranie, lakovanie)
- Manipulačné operácie – zaistenie prísunu materiálu a polotovarov k technologickej operácii, odber dielov z dopravníkov a zásobníkov, vkladanie súčiastok do strojov a ich vyberanie, ukladanie na paletu atď.
- Riadiace procesy – zabezpečenie riadenia výrobných, manipulačných, kontrolných funkcií, vrátane väzieb na prostredie, v ktorom je pracovisko realizované

Jednotlivé operácie daného výrobného procesu sú vykonávané v automatickom cykle podľa vopred nastaveného programu, ktorý je možné pružne meniť. Robot a tiež jednotlivé stroje pracoviska sú vybavené riadiacim systémom, pričom ich vzájomná koordinácia je zabezpečená nadradeným riadiacim systémom. [3]



Obr. 1) RP s priemyslovým robotom Kuka s vlastným pojazdom [4]

Robotizovaný výrobný systém

Je zložený z viacerých RP, ktoré sú špecializované a vzájomne prepojené materiálovým a informačným tokom. Vznikne napríklad prepojením montážneho pracoviska, testovacieho pracoviska a dokončovacieho pracoviska, alebo aj skladu. Materiálový tok medzi jednotlivými pracoviskami je zabezpečený systémom medzioperačnej dopravy, ktorá je riadená centrálné. V každej štruktúre je jeden alebo viac výrobných strojov, ktoré sú obsluhované jedným alebo viacerými robotmi s potrebnými periférnymi zariadeniami, vrátane kontrolného a monitorovacieho zariadenia (Obr. 2). [3]



Obr. 2) Robotizovaný výrobný systém s medzioperačnou dopravou [5]

Robotizovaná prevádzka (závod)

Zahrňa komplexnú automatizáciu výrobného procesu, vrátane riešenia medzioperačnej dopravy a skladovania. Vznikne kombináciou viacerých robotizovaných výrobných systémov a je najvyšším stupňom automatizácie výrobného procesu. Človek v prevádzke len dohliada na správnu funkciu všetkých zariadení a na ich nastavenie, programovanie a kalibráciu. [3]

3.3 Priemyslové roboty v RP

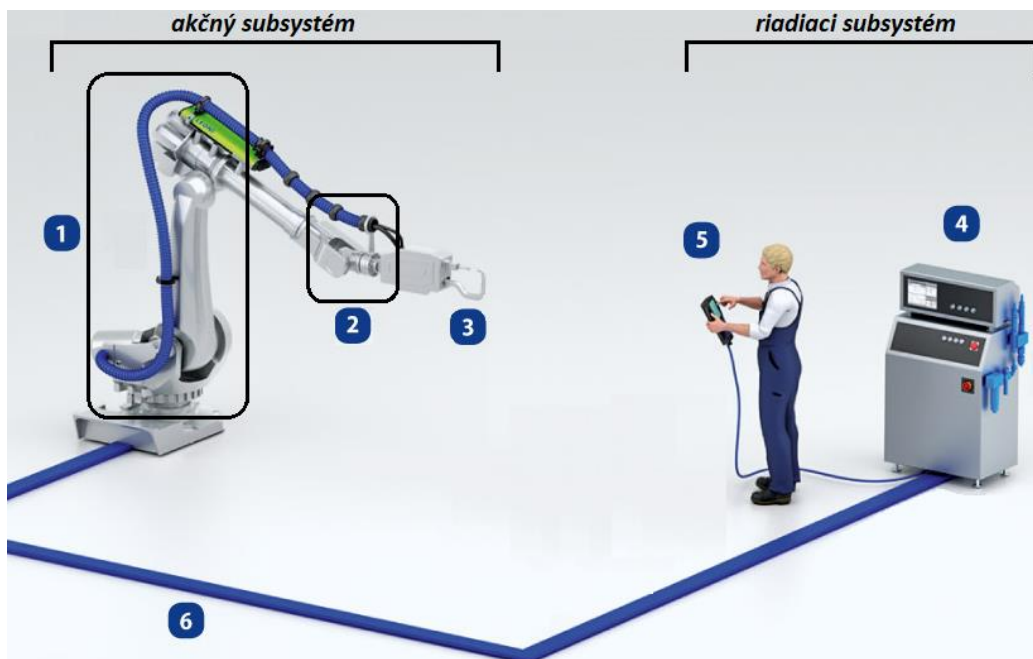
Nosným prvkom RP sú priemyslové roboty a manipulátory. Tie sú doplnené o potrebné periférne zariadenia, v závislosti na type RP. Každá z aplikácií vyžaduje jedinečný prístup z pohľadu návrhu pracoviska a komponentov pre špecifický typ výrobnéj technológie

a produktu, ktorý je výstupom z pracoviska. Výber vhodného priemyselného robota je jednou z podstatných častí návrhu RP. Najčastejšie sú v priemysle využívané roboty so sériovou kinematikou, no v špecifických aplikáciách je výhodné použiť aj roboty s paralelnou kinematikou. [3]

3.3.1 Sériová kinematika

Priemyslový robot je zložitý mechatronický systém, ktorý sa skladá z troch hlavných subsystémov (Obr. 3) [3]:

- Akčný subsystém
- Senzorický subsystém
- Riadiaci subsystém



Obr. 3) Priemyslový robot a jeho časti. 1-polohovacie ústrojenstvo, 2-orientačné ústrojenstvo, 3-koncový efektor, 4-riadiaci systém, 5-ovládací panel, 6-prívod energií a médií [6]

Akčný subsystém

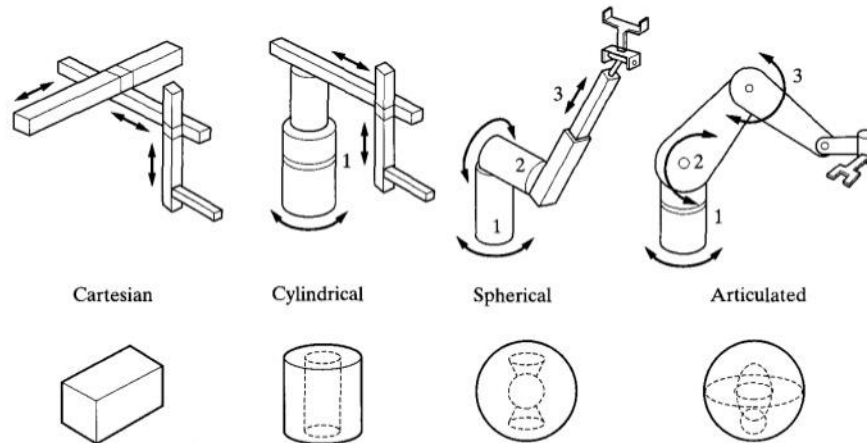
Akčný subsystém priemyslových robotov sa z konštrukčného hľadiska skladá z [3]:

- pojazdové ústrojenstvo
- polohovacie ústrojenstvo
- orientačné ústrojenstvo
- výstupnú hlavicu (koncový efektor)

Pojazdové ústrojenstvo sa využíva v prípade potreby premiestňovania celého priemyselného robota, ktorý je k nemu ako celok pripojený, k ďalšiemu pracovisku, resp. stroju (Obr. 1). [3]

Polohovacie ústrojenstvo slúži na polohovanie manipulovaného predmetu v priestore. Pri robotoch so sériovou kinematikou pozostáva z viacerých binárnych členov, ktoré sú medzi sebou previazané a zostavené za sebou prostredníctvom kinematických dvojíc, a to translačných (T) alebo rotačných (R). Každé dvojici prislúcha väčšinou jeden stupeň voľnosti.

Výsledný pohyb robota je zložený z rady pohybů v jednotlivých na seba navzájem závislých kinematických dvojicích, pričom kombinácia dvojíc môže byť rôzna a práve na základe toho závisí typ pracovného priestoru robota. Medzi základné typy patrí pracovný priestor kartézsky (TTT), cylindrický (RTT), sférický (RRT) a angulárny (RRR) (Obr. 4). Pohon polohovacieho, ale aj orientačného ústrojenstva je realizovaný elektrickými servomotormi. [3]



Obr. 4) Typy priemyslových robotov [7]

Orientačné ústrojenstvo je doplnením polohovacieho ústrojenstva, aby manipulovaný predmet mohol dosiahnuť nielen požadovanú polohu, ale aj orientáciu v priestore. Prevažne je konštruovaný z rotačných kinematických dvojíc. Všeobecne môže mať ľubovoľný počet stupňov voľnosti, ktorý sa pripočítava k počtu stupňov voľnosti polohovacieho ústrojenstva. Spolu tvoria počet stupňov voľnosti priemyslového robota. Priemyslové roboty majú najčastejšie celkovo šesť stupňov voľnosti, všetky väzby rotačné. [3]

Koncový efektor je zakončením otvoreného kinematického reťazca priemyslového robota. Je to výstupná hlavica, ktorej druh závisí na charaktere práce, ktorú robot vykonáva. Koncové efekторы a automatická výmena koncových efektorov sú popísané v kap.3.4.3. [3]

Senzorický subsystém

Senzorický subsystém prostredníctvom priemyslových senzorov poskytuje riadiacemu subsystému informácie o sledovaných parametroch, a to o stave samotného priemyslového robota a informácie o okolitom prostredí.[3]

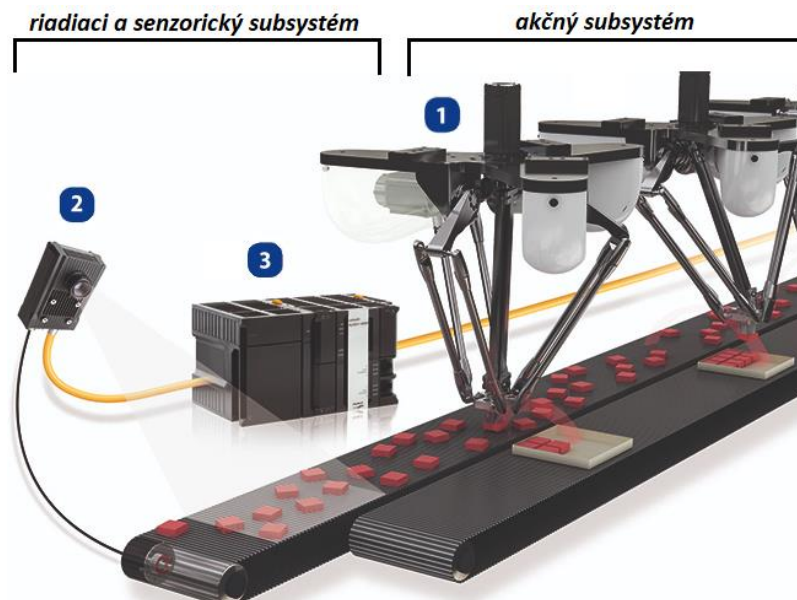
Senzory sa podľa umiestnenia rozdeľujú na vnútorné a vonkajšie. Vnútorné senzory súvisia so samotným robotom a poskytujú informácie o polohe, rýchlosti, zrýchlení pohyblivých častí robota, alebo aj o výkone a momente. Vonkajšie senzory súvisia s prostredím, v ktorom je robot umiestnený a patrí k nim napríklad kamera, uložená mimo robota, snímajúca pracovný priestor v ktorom sa robot pohybuje. Informácie z kamery, napríklad o polohe manipulovanej súčasti, riadiaci systém robota spracuje a následne dá pokyn k pohybu robota na základe vopred pripraveného programu s využitím informácií z kamery, resp. senzorov. [3]

Riadiaci subsystém

Riadiaci systém robota podľa uloženého programu riadi činnosť robota ovládaním jeho pohonov a ostatných mechanizmov. Zaisťuje tiež komunikáciu s periférnymi zariadeniami RP, resp. s nadradeným riadiacim systémom. Spätnú väzbu poskytujú senzory a na základe informácií získaných z nich rozhoduje o úkonoch, ktoré majú byť podľa programu vykonané. Hlavným prvkom riadiaceho systému je priemyslový počítač pracujúci v reálnom čase. Funkcie a príkazy sa zadávajú pomocou ovládacieho panelu robou. [3]

3.3.2 Paralelná kinematika

Paralelný kinematický reťazec je, na rozdiel od sériovej kinematiky, uzatvorený. Tieto roboty sa skladajú z pohyblivej platformy, na ktorej je koncový efektor, z dĺžkovo premenných a kĺbovo uchytených ramien a zo základne (Obr. 5). Pohyb platformy je daný súčasným pohybom všetkých ramien a môže mať od troch do šiestich stupňov voľnosti. Pomocou závesov je možné efektor rôzne natáčať vzhľadom k manipulovanému predmetu. V porovnaní s robotmi so sériovou kinematikou majú všeobecne lepšiu presnosť, dosahujú vyššie pracovné rýchlosti a zrýchlenia a majú menšiu hmotnosť. [8]



Obr. 5) 1 -priemyslový robot s paralelnou kinematikou, 2 -senzor (kamera) na snímanie polohy predmetu na dopravníku, 3 -riadiaci systém [9]

3.3.3 Prehľad typov priemyselných robotov

Medzi najznámejších výrobcov priemyselných robotov patria firmy ABB, Comau, Denso, Epson, Fanuc, Kawasaki, Kuka, Mitsubishi Robotics, Nachi, Stäubli, Universal Robots, Yaskawa. Každý z výrobcov ponúka niekoľko typov robotov s rôznym typom morfológie a ďalších parametrov (kap.3.3.4).

Kĺbové roboty

Tento typ robotov je v priemysle najčastejšie využívaný. Má zväčša šesť stupňov voľnosti a všetky osy sú rotačné. Obsluhovaný priestor má angulárny tvar. Využitie týchto robotov je veľmi široké, napríklad manipulačné operácie, balenie, montážne práce, zvarovanie, lakovanie, kontrola súčiastok. Najväčšou výhodou týchto robotov je práve ich univerzálnosť, vďaka rotačným osám sú vhodné k použitiu na veľké množstvo aplikácií. [3],[10]



Obr. 6) Produktová rada robotov firmy Kuka [11]

Kartézské roboty

Tieto roboty majú obsluhovaný pracovný priestor v tvare kvádra, pretože majú tri stupne voľnosti a všetky kinematické dvojice sú translačné a vzájomne na seba kolmé. Častým praktickým využitím je manipulácia s bremenami a technologické procesy ako nanášanie lepidla, kontrola súčiastok plošných spojov a podobne. Jeho najväčšou prednosťou je veľmi dobrá opakovateľnosť, pretože je vybavený len tromi osami v porovnaní s kĺbovými robotmi. Medzi nevýhody patrí obmedzenosť orientácie nástroju. [3][12]



Obr. 7) Kartézsky robot firmy Epson [12]

SCARA roboty

SCARA roboty majú štyri stupne voľnosti. Boli vyvinuté za účelom zvýšenia rýchlosti a opakovateľnosti pre manipulačné operácie, resp. operácie pick and place. Používajú sa tiež aj pri montážnych operáciách alebo pri kontrole kvality výrobkov. V porovnaní s angulárnymi robotmi majú menší pracovný priestor, ale dokážu pracovať s vyššou rýchlosťou a presnosťou polohovania. [13]



Obr. 8) SCARA robot firmy Fanuc [14]

Delta roboty

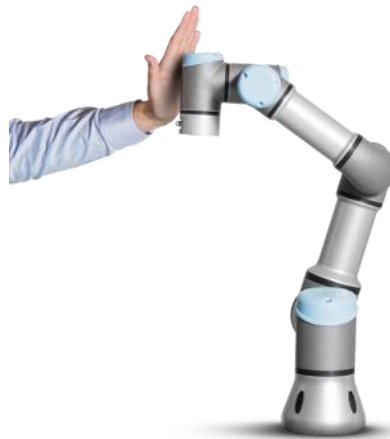
Tento typ robotov má paralelnú kinematiku. Bol skonštruovaný kvôli potrebe manipulácie s ľahkými predmetmi veľkou rýchlosťou. Najčastejšie sa teda používa pri manipulácii s predmetmi alebo paletizácii. Jedná sa o mechanizmus, v ktorom je platforma prepojená so základňou najčastejšie tromi ramenami, pričom na každom z nich sú kĺbovo pripevnené dve vzpery, umiestnené do paralelogramu. Vzpery sú na jednej strane spojené s ramenom a na druhej strane s pohyblivou platformou, na oboch stranách guľovými kĺbmi s tromi stupňami voľnosti. K delta robotom sa z robotov so sériovou kinematikou dajú prirovnávať roboty SCARA, ktoré sú taktiež rýchle a presné. Nevýhodou týchto robotov je náročnosť na údržbu. [15]



Obr. 9) Delta robot firmy ABB [16]

Kolaboratívne roboty

Väčšinou sa jedná o klasické šesťosé roboty s tým rozdielom, že kolaboratívne priemyselné roboty majú integrovaných niekoľko bezpečnostných systémov. Tento typ robotov je určený na prácu blízko pracovníkov, zdieľa pracovný priestor s pracovníkmi, a to bez akéhokoľvek bezpečnostného oplotenia. Na to musia spĺňať niekoľko prísnych bezpečnostných noriem. Sú vybavené senzormi a bezpečnostným systémom, ktorý dokáže robot zastaviť pri styku s objektom alebo človekom, a to pri prekročení určitej hranice sily, napríklad $100N$. Pracovný priestor je väčšinou monitorovaný aj skenerom, pričom po vstupe obsluhy do potenciálne nebezpečnej oblasti sa robot spomalí, resp. zastaví. V dizajne robotov sa väčšinou nenachádzajú žiadne ostré hrany, aby pri prípadnom dotyku s obsluhou nedošlo k zraneniu. Tieto roboty je možné programovať ručne, vedením jeho ramena. [17]



Obr. 10) Kolaboratívny robot firmy Universal Robots [18]

3.3.4 Parametre priemyselných robotov

Pri výbere vhodného typu robotu pre špecifickú aplikáciu sú rozhodujúce jeho technické parametre. Výber robotu závisí napríklad na rozložení robotického pracoviska, type aplikácie a type manipulovaného objektu. Medzi dôležité parametre patria [3], [19]:

- Morfológia (stavba) robotu
- Veľkosť obsluhovaného priestoru
- Zastavaná plocha
- Obstarávacia cena
- Presnosť polohovania
- Presnosť opakovania polohy
- Rýchlosť pohybu (v kĺboch, na konci ramena)
- Maximálna nosnosť
- Montážna poloha
- Dostupnosť servisu a technická podpora zo strany dodávateľa
- Jednoduchosť obsluhy

3.4 Komponenty v stavbe RP

Okrem priemyslových robotov je v RP využívaných niekoľko typov periférnych zariadení, ktoré umožňujú plne automatizovať výrobnú činnosť. Druh, konštrukčné riešenie a počet zariadení závisí od danej aplikácie robotického pracoviska. Všeobecne sa jedná o zariadenia, ktoré zabezpečujú napríklad prísun a odsun polotovaru, resp. materiálu k RP, orientáciu a polohovanie materiálu, uchopovanie a manipuláciu s materiálom, ale aj bezpečnostné prvky pracoviska, a mnohé ďalšie. Medzi periférne zariadenia spadajú napríklad [20]:

- zariadenia na prepravu materiálu (dopravníky a sklzy)
- zásobníky materiálu na vstupe a výstupe
- vibračné zásobníky
- otočné stoly a polohovadlá
- doplnkové zariadenia s pneumatickým, hydraulickým alebo elektrickým pohonom (zakladacie, stohovacie, presúvacie zariadenia apod.)
- koncové efektory a príslušenstvo (automatická výmena koncových efektorov apod.)
- bezpečnostné prvky

Periférne zariadenia môžu mať vlastný pohon, napríklad pneumatický, elektrický alebo hydraulický. Pokiaľ je to nutné, majú aj väzbu na riadiaci systém robotu, a to prostredníctvom senzorov, ktoré dávajú riadiacemu systému informáciu napríklad o tom, či je materiál pripravený v polohe pre odber. Pre lokalizáciu polohy manipulovaného dielu sa používajú aj kamerové systémy. [20]

3.4.1 Dopravníky a sklzy

Periférne zariadenia ako dopravníky a sklzy zabezpečujú dopravu polotovarov, hotových súčastí, alebo aj odpadu medzi jednotlivými strojmi a pracoviskami. Zaisťujú prepravu materiálu priamo k robotu, a tiež odvod materiálu z robotického pracoviska. Najpoužívanejšie dopravníky sú pásové, článkové, reťazové, valčekové trate poháňané aj nepoháňané (sklzy) a kladičkové. V robotických pracoviskách sa prepravuje hlavne kusový materiál. Dopravníky sú

často vybavené aj dorazmi, ktoré zastavia prepravovaný materiál v požadovanej polohe pre jeho odber robotom. [20]

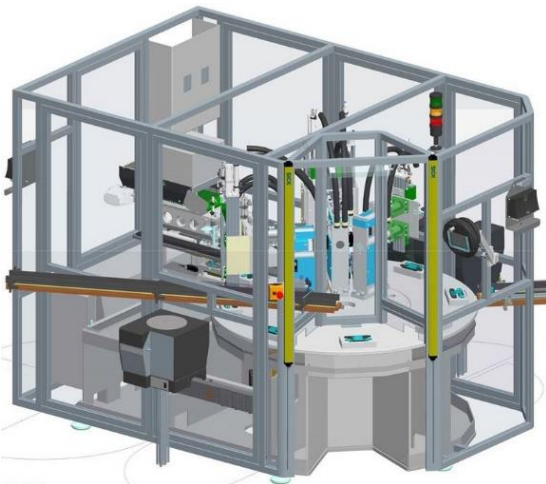


Obr. 11) Príklady dopravníkov. a) valčeková dráha, b) pásový dopravník [21],[22]

3.4.2 Otočné stoly a polohovadlá

Otočné stoly sú rotačné zariadenia, ktoré slúžia k presnému polohovaniu súčastí vzhľadom k nadväzujúcim zariadeniam ako priemyslové roboty alebo jednoúčelové manipulátory (Obr. 12a). Rotačný pohyb je väčšinou zaisťovaný elektromotorom. [3]

Horizontálne alebo vertikálne polohovadlá sú určené na polohovanie materiálu vzhľadom k robotu v priebehu jeho práce, čím sa výrazne zvyšujú pracovné možnosti. Pri aplikáciách ako je zváranie sa používajú polohovadlá s dvoma alebo troma osami, s možnosťou upnutia materiálu z oboch strán a oddeleným pracovným priestorom robotu a obsluhy z bezpečnostných dôvodov (Obr.12b). Obsluha pripravuje materiál na jednej strane polohovadla, zatiaľ čo na druhej strane robot pracuje. Po dokončení pracovného cyklu sa polohovadlo otočí okolo vertikálnej osy o 180°. [20]



Obr. 12) a) Otočný stôl v automatizovanej výrobnjej bunke, b) polohovadlo [23], [24]

3.4.3 Koncové efekty

Z konštrukčného hľadiska sa koncové efekty delia na výstupné hlavice [3]:

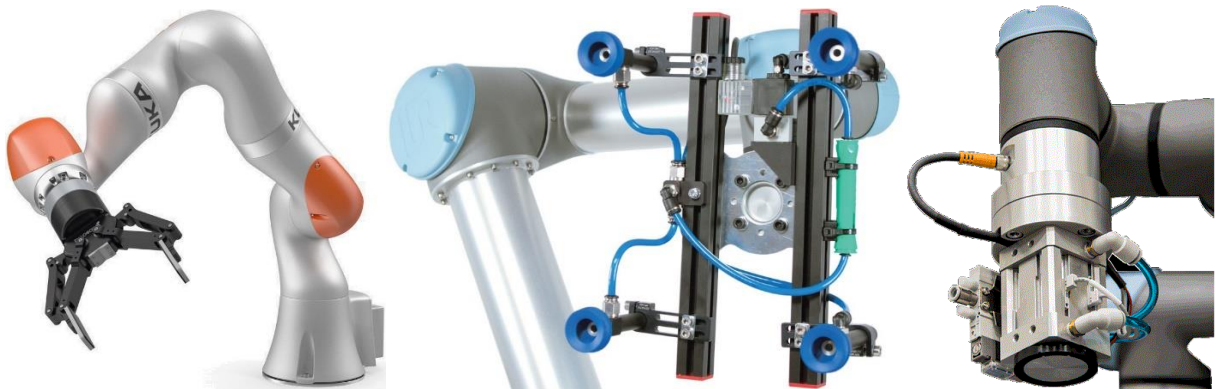
- technologické – slúžia k vykonávaniu určitej technologickej operácie (zváranie, lakovanie, lepenie, montáž, obrábanie, atď.)

- manipulačné (chápadlá) – slúžia k uchopovaniu objektov s účelom ďalšej manipulácie s nimi
- kombinované – kombinácia technologického a manipulačného efektoru
- špeciálne – použitie v prípade špeciálnych požiadaviek (efektor pre manipuláciu a ohrev manipulovaného dielu)

Manipulačné výstupné hlavice sú prevažne konštruované priamo používateľmi priemyslových robotov pre špecifickú aplikáciu. Podľa charakteru styku s manipulovanými dielmi pri aktivovaní úchopovej sily sa tieto hlavice delia na úchopové prvky (Obr. 13) [3]:

- mechanické – kontakt s manipulovaným predmetom zaisťujú čeluste
- podtlakové – uchopovanie predmetov prísavkami na princípe podtlaku
- magnetické – uchopovanie magnetických dielov pomocou permanentných magnetov

Súčasne sa delia všetky manipulačné úchopové prvky na aktívne a pasívne. Aktívne úchopové prvky umožňujú, na rozdiel od pasívnych, ovládať úchopovú silu. Hlavice z pasívnych prvkov môžu väčšinou objekt len uchopiť a k jeho uvoľneniu je potrebný vonkajší zásah. [3]

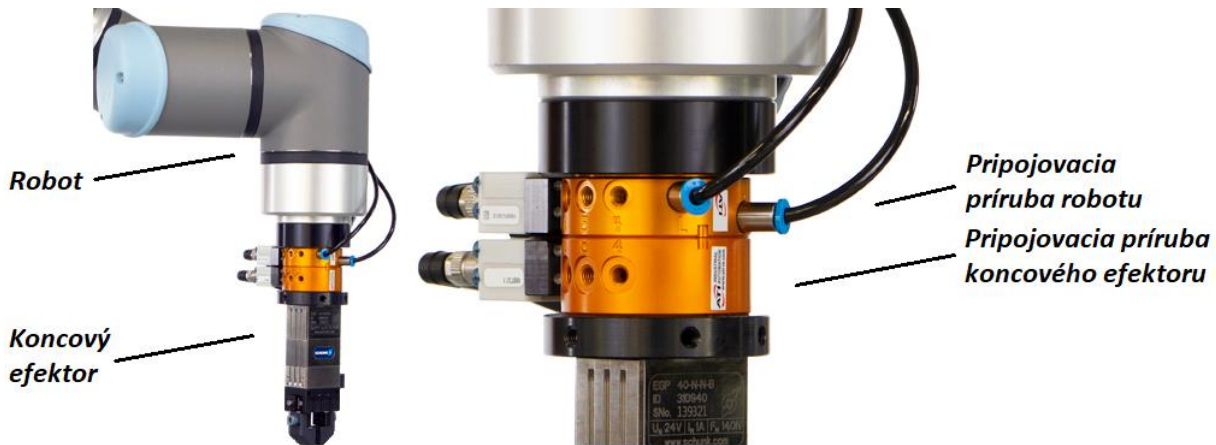


Obr. 13) Koncové efekторы. a) mechanický, b) podtlakový, c) magnetický [25],[26],[27]

Automatická výmena koncových efektorov

Niektoré automatizované výrobné procesy sú koncipované tak, že je v nich integrovaný jeden priemyslový robot, vykonávajúci niekoľko rôznych manipulačných, resp. technologických operácií, alebo aj ich kombináciu. K tomu sa ponúka možnosť využiť systém automatickej výmeny koncových efektorov, ktorý rozšíri pracovné možnosti priemyslového robotu, a to bez nutnosti investovať do kúpy ďalšieho robotu. Tento systém umožní, aby robot pružne reagoval na zmenu rozmerov a tvaru manipulovaného objektu, prípadne na zmenu technologických operácií, a to bez prerušenia pracovného cyklu. Podľa potreby technológie, resp. podľa vopred pripraveného programu si robot sám automaticky pripojí potrebný koncový efektor. [3]

Na koncovom člene robotu je umiestnená špeciálna pripojovacia príruha, na ktorú sa napr. pneumatically pripája príruha koncového efektoru spolu so samotným koncovým efektorom. Zároveň sú tiež prepojené privody médií, a to napr. stlačeného vzduchu, elektrickej energie a elektrických signálov pre riadenie (Obr. 14). Jednotlivé koncové efekторы bývajú uložené v lôžkach, a to v radovom alebo kruhovom zásobníku. [3]



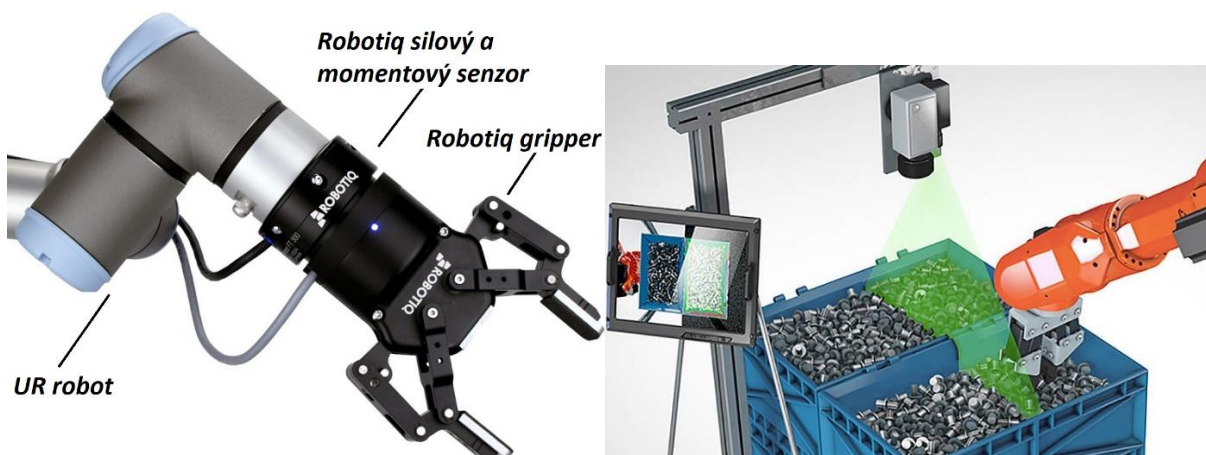
Obr. 14) Systém automatickej výmeny koncového efektoru firmy ATI [28]

Silové a momentové senzory

Pokiaľ to aplikácia vyžaduje, medzi prírubu robotu a koncový efektor sa inštalujú silové a momentové senzory (Obr. 15a). Používajú sa vtedy, ak je nutné obmedziť silu, ktorou robot pôsobí na manipulovanú súčasť a zaistiť tak napríklad správnu montáž súčastí alebo bezpečné vloženie súčasti do stroju bez toho, aby došlo k poškodeniu častí stroju alebo robotu. Sila aj moment sú merané vo všetkých troch osiach. K výrobcam patrí napríklad spoločnosť Robotiq. [29]

3.4.4 Kamerové systémy

Na trhu je viacero kamerových systémov, a to 2D aj 3D. 2D kamera sníma pracovný priestor v dvoch dimenziách, a slúži napríklad na lokalizáciu manipulovaného objektu na dopravníku alebo v zásobníku materiálu. Na základe informácií získaných z kamery riadiaci systém riadi a prispôsobuje činnosť robotu vzhľadom na okolie. 3D kamerový systém umožní pretvorenie časti sledovaného objektu, ktorý je nasnímaný z viacerých strán, do 3D modelu. Tento model je následne analyzovaný a na základe výsledkov je vybraný najvhodnejší spôsob spracovania. Kamera môže byť integrovaná v pracovnom priestore robotu na samostatnej konštrukcii, alebo priamo na robotovi, pripevnená medzi prírubou robotu a koncovým efektorom (Obr. 15b). [30]



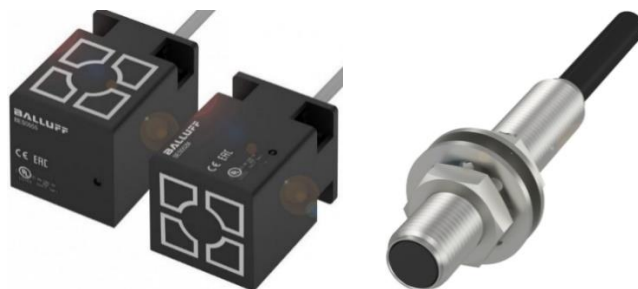
Obr. 15) a) Silový a momentový senzor firmy Robotiq, b) ukážka využitia kamerového systému pri úlohe tzv. bin picking [31], [32]

3.4.5 Senzory

Neoddeliteľnou súčasťou každého automatizovaného pracoviska sú senzory. Tie snímajú určitú vstupnú meranú veličinu a prevádzajú ju, vo väčšine prípadov, na výstupný elektrický signál, ktorý putuje do riadiaceho systému ako spätná väzba. S využitím informácií so senzorov následne riadiaci systém riadi pohyby robotu alebo iných zariadení v RP. Jedným z rozdelení priemyslových senzorov je delenie podľa fyzikálneho princípu, napríklad senzory indukčné, kapacitné, magnetické, optoelektronické. Každý z týchto senzorov je vhodný na použitie do špecifického prostredia a úlohu. Medzi výrobcov senzorov patria firmy SICK, BALLUFF, OMRON a ďalšie. [3]

Indukčné senzory

Slúžia k bezdotykovému snímaniu kovových predmetov. Fungujú na princípe vysokofrekvenčného elektromagnetického striedavého poľa, ktoré generuje snímač. Priblížením kovového predmetu dôjde k zníženiu energie tohto poľa, čo senzor zaznamená. Výhodou týchto senzorov je dlhá životnosť, možnosť použitia aj v prašnom a vlhkom prostredí a odolnosť proti rušeniu a teplotným výkyvom. Nevýhodou je možnosť detekovať len kovové materiály a malý rozsah vzdialeností. [3]



Obr. 16) Typy indukčných senzorov firmy Balluff [33]

Kapacitné senzory

Tento typ senzorov slúži tiež k bezdotykovému snímaniu objektov, ale na rozdiel od indukčných senzorov zaznamenávajú prítomnosť kovových aj nekovových predmetov. Snímač generuje elektrické pole, ktoré je ovplyvňované prítomnosťou detekovaného predmetu. Spínacia vzdialenosť závisí na snímanom materiáli a type senzoru. U nevodivých materiálov závisí spínacia vzdialenosť na dielektrických konštantách. Vyznačujú sa dobrou odolnosťou proti rušeniu a tepelným výkyvom, vykazujú dlhú životnosť. [3]

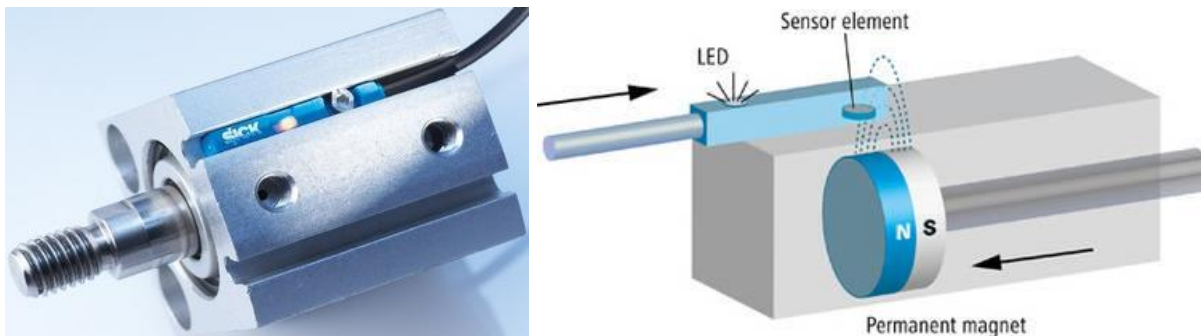


Obr. 17) Typy kapacitných senzorov firmy SICK [34]

Magnetické senzory

Magnetický bezdotykový snímač reaguje na magnetické pole detekovaného predmetu. Pracuje na princípe Hallovho javu, kde pôsobením magnetického poľa detekovaného predmetu na kremíkovú doštičku senzoru ktorou prechádza prúd, dochádza k vzniku rozdielu napätia na

stranách doštičky. Tieto senzory je nevhodné použiť napríklad v blízkosti elektromotorov, kde dochádza k rušeniu. Najčastejšie využitie je na snímanie polohy piestu pneumatických pohonov. Senzor zachytáva magnetické pole vytvorené zmagetizovaním piestnice alebo permanentným magnetom. Upevňuje sa do drážky na vonkajšej strane valca (Obr. 18). [3]



Obr. 18) a) Magnetický senzor firmy SICK v drážke pneumatického valca, b) princíp funkcie magnetických senzorov [35], [36]

Optické senzory

Tento druh senzoru pracuje na princípe detekcie prerušenia svetelného lúča. Existuje viacero koncepcii senzorov. Prvou z nich je zloženie senzoru z dvoch častí, a to vysielaču a prijímaču. Vysielač (laserová dióda) vytvára svetelný lúč, ktorý je detekovaný prijímačom. Prerúšením svetelného lúča objektom dôjde k zopnutiu snímaču. Tieto snímače môžu mať dosah až niekoľko desiatok metrov. [3]

Druhým variantom je uloženie vysielaču aj prijímaču do jedného puzdra. K odrazeniu lúča späť do prijímače je potrebná reflexná odrazová plocha, umiestnená na protiahlejš strane k zariadeniu (Obr. 19b). [3]



Obr. 19) a) Optický senzor firmy Balluff, b) ukážka použitia optického senzoru pre detekciu objektov [37], [38]

3.5 Bezpečnosť RP

3.5.1 Legislatívne požiadavky

Každé strojné zariadenie, samozrejme vrátane RP, musí byť vyvinuté a navrhnuté tak, aby bola zabezpečená adekvátna ochrana zdravia osôb a majetku. K tomu je nutné dodržať legislatívne požiadavky EÚ, ktoré sú povinné rešpektovať všetky jej členské štáty. Predovšetkým sa jedná o konkrétne nariadenia, smernice, rozhodnutia, odporúčenia a stanoviská, vzťahujúce sa na strojné zariadenia. Nariadenia a rozhodnutia sa stávajú automaticky záväznými v celej EÚ od dátumu nadobudnutia činnosti. Smernice musia byť do vnútroštátneho právneho poriadku

krajín EÚ začlenené. Pred uvedením strojného zariadenia, resp. robotu alebo robotického systému na trh musia byť splnené všetky príslušné právne predpisy EÚ. [3], [39]

S robotickými systémami súvisí niekoľko smerníc EÚ, pričom zásadnou je Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2006/42/ES zo 17. mája 2006 o strojových zariadeniach a o zmene a doplnení smernice 95/16/ES (prepracované znenie). V národnom práve ČR je v súlade s touto smernicou nariadenie vlády 176/2008 Sb. k vykonávaniu zákona č. 22/1997 Sb., v platnom znení, o technických požiadavkách na výrobky. [3], [40]

Základné požiadavky na bezpečnosť robotických systémov špecifikuje aj Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2014/35/EÚ z 26. februára 2014 o harmonizácii právnych predpisov členských štátov týkajúcich sa sprístupnenia elektrického zariadenia určeného na používanie v rámci určitých limitov napätia na trhu. Ďalej tiež Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2014/30/EÚ z 26. februára 2014 o harmonizácii právnych predpisov členských štátov vzťahujúcich sa na elektromagnetickú kompatibilitu. [3]

Smernica 2006/42/ES

Smernica definuje základné všeobecné požiadavky na bezpečnosť a ochranu zdravia, ktoré sú doplnené o určité špecifické požiadavky pre určité kategórie strojových zariadení. [40]

Smernica je určená pre [40]:

- Strojové zariadenia
- Vymeniteľné prídavné zariadenia
- Bezpečnostné časti
- Zdvíhacie príslušenstvo
- Reťaze, laná a záchytné pásy
- Odnímateľné zariadenia pre mechanický prenos
- Čiastočne skompletizované strojové zariadenia

Predtým, ako je strojové zariadenie uvedené na trh alebo do prevádzky, musí výrobca [40]:

- Zabezpečiť, aby dané strojové zariadenie spĺňalo základné požiadavky na bezpečnosť a ochranu zdravia
- Zabezpečiť, aby bola k dispozícii potrebná technická dokumentácia
- Zabezpečiť potrebné informácie, napríklad návody k obsluhu
- Vykonať príslušné kroky k posúdeniu zhody
- Vyhotoviť ES vyhlásenie o zhode a zabezpečiť, aby bolo priložené k strojovému zariadeniu
- Umiestniť označenie CE

K pomoci výrobcov pri preukazovaní zhody so základnými požiadavkami slúžia harmonizované normy. [3]

3.5.2 Harmonizované normy

Harmonizované normy slúžia k pomoci výrobcov pri preukazovaní zhody so základnými požiadavkami, týkajúcimi sa predchádzania rizík, ktoré vyplývajú z návrhu a konštrukcie strojových zariadení. Splnením ustanovení harmonizovanej technickej normy sú teda splnené právne povinnosti uložené právnym predpisom EÚ, ku ktorému sa harmonizovaná norma vzťahuje. [40]

Medzi harmonizované normy patria tiež bezpečnostné normy. Bezpečnostné normy sa rozdeľujú na normy typu A, B a C. Ich hlavným cieľom je poskytnúť výrobcovi, konštruktérovi a tiež užívateľovi strojových zariadení vhodnú stratégiu, aby bola dosiahnutá zhoda s príslušnými legislatívnymi požiadavkami. [3]

Základné typy bezpečnostných noriem a ich hierarchia je nasledovná [3]:

Normy typu A (základné)

Tieto normy definujú základné pojmy, zásady pre konštrukciu a všeobecné hľadiská, ktoré môžu byť aplikované na väčšinu strojových zariadení. [3]

Medzi normy typu A patrí napríklad [3]:

- ČSN EN ISO 12100:2011 Bezpečnosť strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika

Normy typu B (skupinové)

Normy typu B sú zamerané na určité bezpečnostné hľadisko alebo na určitý typ bezpečnostného zariadenia, ktoré môže byť použité u viacerých strojných zariadení. Tiež sa medzi tieto normy zaraďujú ergonomické normy. Normy typu B sa rozdeľujú na [3]:

- Normy typu B1 – tieto normy sa zaoberajú jednotlivými bezpečnostnými hľadiskami (napr. bezpečnou vzdialenosťou, hlukom apod.)
- Normy typu B2 – týkajú sa príslušných bezpečnostných zariadení (napr. obojručné ovládanie, blokovacie zariadenia, kryty apod.)

Medzi normy typu B sa radia napríklad [3]:

- ČSN EN ISO 13849-1:2008 Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Obecné zásady pro konstrukci
- ČSN EN ISO 13849-2:2013 Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 2: Ověřování platnosti
- ČSN EN ISO 14738 Bezpečnost strojních zařízení – Antropometrické požadavky na uspořádání pracovního místa u strojního zařízení
- ČSN EN 574 +A1:2008 Bezpečnost strojních zařízení – Dvouruční ovládací zařízení – Funkční hlediska – Zásady pro konstrukci
- ČSN EN ISO 13855 Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla
- ČSN EN ISO 14120 Bezpečnost strojních zařízení – Ochranné kryty – Všeobecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů

Normy typu C (predmetové)

Sú špecifické normy, ktoré sa venujú napríklad jednotlivým typom robotov alebo robotických systémov, pre ktoré určujú detailné bezpečnostné požiadavky. Táto norma sa zaoberá každým identifikovaným významným nebezpečením a všetkými nebezpečnými situáciami, ktoré môžu nastať v priebehu používania robotického systému. [3]

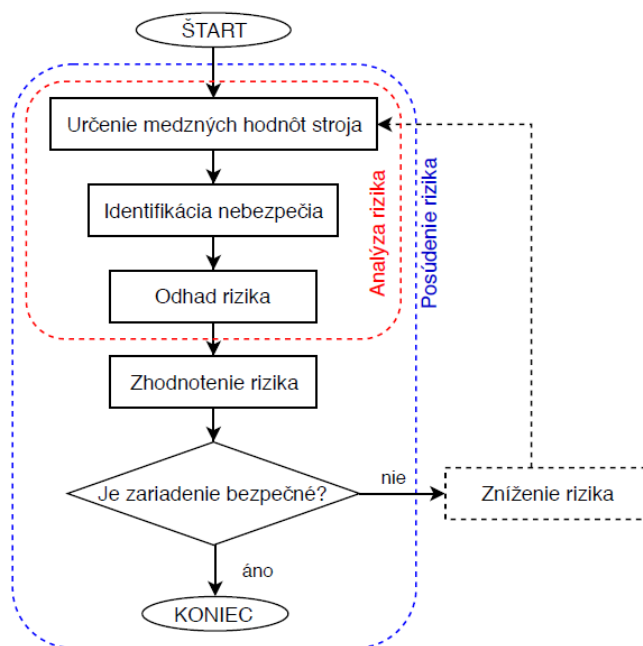
Normy typu C sú napríklad [3]:

- ČSN EN ISO 10218-1:2012 Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 1: Roboty

- ČSN EN ISO 10218-2:2011 Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 2: Systémy robotů a integrace

3.5.3 Analýza rizík v konstrukcii

Hlavnou bezpečnostnou normou, vzťahujúcou sa na bezpečnosť strojových zariadení, je norma ČSN EN ISO 12100:2011, ktorá zároveň obsahuje požiadavky smernice 2006/42/ES. Táto norma pojednáva o základnej terminológii a metodológii, používanej k dosiahnutiu bezpečnosti strojového zariadenia. Norma tiež slúži ako pomoc konštruktérom, resp. osobám, ktoré vykonávajú analýzu rizík, pri posudzovaní a znižovaní hroziacich nebezpečí vyplývajúcich z konštrukcie stroja. Celý proces postupu pri posudzovaní rizika podľa ČSN EN ISO 12100:2011 je možné znázorniť blokovým diagramom na obrázku (Obr. 20). [3]



Obr. 20) Postup posúdenia rizika podľa ČSN EN ISO 12100 [3]

Pri analýze rizík je najskôr potrebné vymedziť používanie (predpokladané situácie, a tiež predvídateľné nesprávne chovanie stroju aj obsluhy), priestor (vzájomné pôsobenie stroju a obsluhy), dobu (životnosť stroju), prostredie apod. Pritom je nutné brať v úvahu nebezpečenstvá, ktoré môžu vzniknúť v priebehu celého životného cyklu sledovaného zariadenia, čiže pre nasledovné etapy [3]:

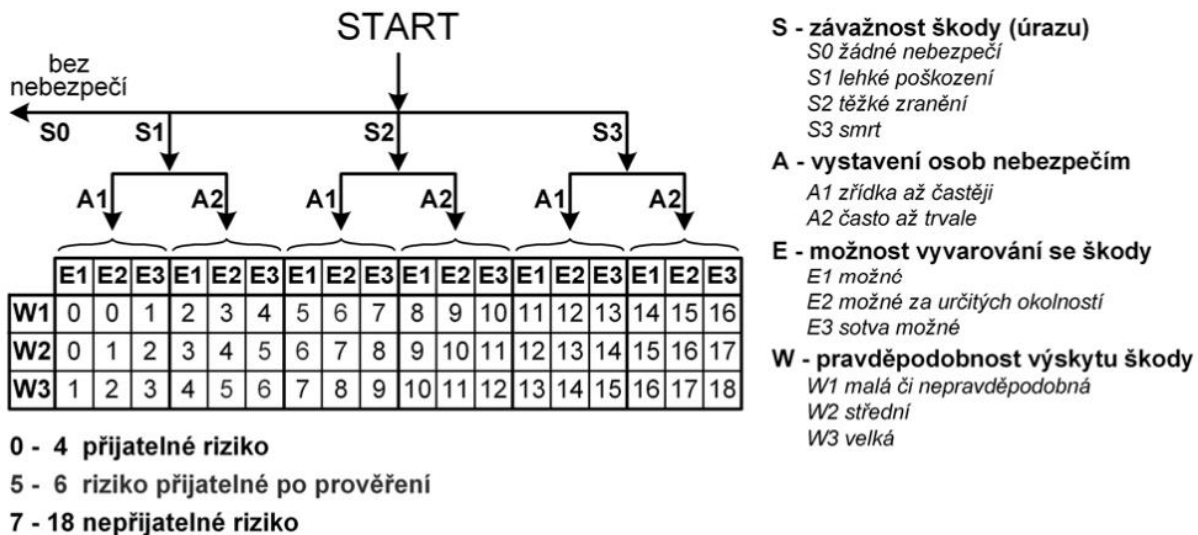
- Výroba
- Preprava, montáž a inštalácia
- Uvedenie do prevádzky
- Používanie (vrátanie údržby, opráv apod.)
- Vyradenie z prevádzky a likvidácia

Norma ČSN EN ISO 12100:2011 tiež uvádza výpis niektorých podstatných nebezpečí, ktoré môže sledované zariadenie vytvárať na základe svojej konštrukcie [3]:

- Mechanické nebezpečie (stlačenie, strih, porezanie apod.)
- Elektrické nebezpečie (dotyk „živých častí“ apod.)
- Tepelné nebezpečie (popálenie apod.)

- Nebezpečie vytvárané hlukom (strata sluchu, hučanie v ušiach apod.)
- Nebezpečie vytvárané vibráciami (poškodenie chrbtice, diskomfort apod.)
- Nebezpečie vytvárané žiarením (popálenie, poškodenie očí a kože apod.)
- Nebezpečie vytvárané materiálmi či látkami (nebezpečie požiaru alebo výbuchu, biologické nebezpečie apod.)
- Ergonomické nebezpečie (svalové fyziologické a psychofyziologické poruchy)
- Nebezpečie spojené s prostredím, v ktorom je robotický systém používaný (problémy s dýchaním, šmyknutie sa obsluhy apod.)
- Kombinácia nebezpečí (súčasný vznik viacerých porúch, nevhodný zásah do riadiaceho systému apod.)

Na základe komplexnej analýzy posudzovaného zariadenia a jeho prvkov a následnej identifikácii hroziacich nebezpečí, je možné pristúpiť k odhadu veľkosti rizík. Odhad rizika sa realizuje určením parametrov S, A, E a W (Obr. 21) a následným racionálnym rozhodnutím, aká veľkosť rizika je akceptovateľná, napríklad od 0 do 4. [3]



Obr. 21) Příklad grafu pro odhad rizika podľa ČSN EN ISO 12100 [41]

Riziká, ktoré sú neprípustné je nutné znížiť. Stratégiou znižovania rizík, ktorú norma ČSN EN ISO 12100:2011 popisuje, je iteračná metóda „Troch krokov“. Jedná sa o metódu, kedy je riziko postupne znižované s využitím ochranných opatrení v troch krokoch [3]:

1. Opatrenie zabudované v konštrukcii

V procese znižovania rizika je prvým krokom navrhnuť vhodné bezpečnostné opatrenia integrované priamo do konštrukcie zariadenia. Jedná sa napríklad o zmenu geometrie a tvaru rizikovej súčiastky, zmenu materiálu, dodržiavanie ergonomických zásad, opatrenia zabudované v konštrukcii pre riadiace systémy, realizácia potrebných kontrolných výpočtov apod. [3]

2. Bezpečnostná ochrana a doplnkové ochranné opatrenia

Pokiaľ je zvyškové riziko aj po opatrení zabudovanom v konštrukcii stále vysoké, je potrebné pristúpiť k použitiu bezpečnostnej ochrany. To znamená použitie ochranných krytov a ochranných zariadení, ďalej napríklad ochrana k zníženiu emisií hluku, vibrácií. Tiež je

možné do konštrukcie zabudovať doplnkové ochranné zariadenia, ako núdzové zastavenie, uvoľnenie zachytených osôb apod. [3]

3. Informácie v návodu pre použitie

Posledným krokom k zníženiu zvyškového rizika z predchádzajúcich krokov je uviesť informácie o predpokladanom použití stroja do návodu na používanie. Tieto informácie môžu byť umiestnené napríklad na stroji, v návode alebo na obale a môžu mať formu textu alebo piktogramov a značení. [3]

Po znížení rizika sa opätovne vykoná jeho hodnotenie. Pokiaľ nie je možné definovať žiadne ďalšie hroziace nebezpečená vyplývajúce z konštrukcie, tak sa pristúpi k procesu sumarizácie počtu identifikovaných rizík a tiež informácie o maximálnej úrovni existujúcich zvyškových rizík. Riziká, ktoré neboli odstránené úplne a stále obsahujú zvyškové riziko, musia byť uvedené v zozname zvyškových rizík. [41]

3.5.4 Analýza funkčnej bezpečnosti

V robotických systémoch je nutné analyzovať aj funkčnú bezpečnosť v prípade, že bezpečnosť zariadení nie je možné zaistiť vhodnou konštrukciou (napr. z technologických dôvodov) a pokiaľ boli v druhom kroku iteračnej metódy troch krokov zvolené ochranné opatrenia závislé na ovládacom systéme. Funkčnou bezpečnosťou sa rozumie časť bezpečnosti, ktorá závisí na bezporuchovej funkcii robotu a je závislá na správnej funkcii riadiaceho a ovládacieho systému robotu. Problematike návrhu bezpečnostných častí ovládacích systémov sa venujú normy ČSN EN 62061 a ČSN EN ISO 13849-1. [3]

Norma ČSN EN 62061 využíva numerický postup k určeniu hodnoty úrovne integrity bezpečnosti (SIL). Táto norma je zameraná hlavne na elektrické a elektronické riešenie bezpečnosti strojových zariadení. [3]

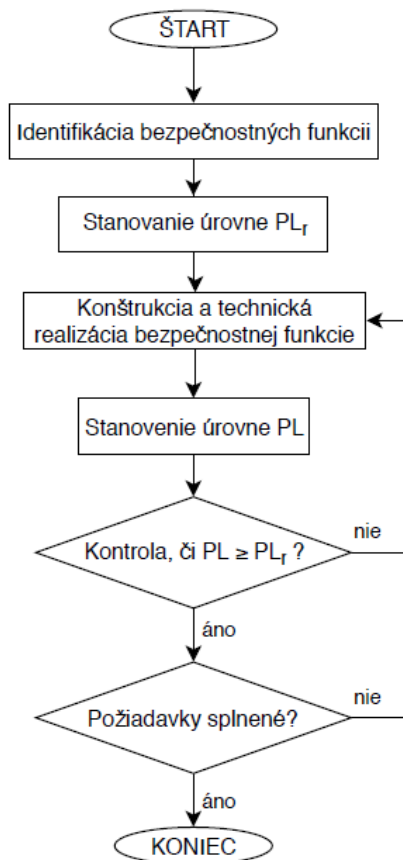
Norma ČSN EN ISO 13849-1 zahŕňa širšiu možnosť realizácie ako norma EN 62061, a to aj na mechanické, pneumatické a hydraulické prvky. Výstupom je hodnota požadovanej úrovne vlastností (PL_r), ktorá sa vzťahuje k bezpečnostnej funkcii. [3]

Obe normy, resp. hodnoty SIL a PL, sú previazané prostredníctvom úrovne priemernej pravdepodobnosti nebezpečnej poruchy za hodinu (Obr. 22). [42]

EN ISO 13849-1 Performance Level (PL)	Average probability of a dangerous failure per hour [1/h]	EN 62061 Safety Integrity Level (SIL)
a	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$	no special safety requirements
b	$\geq 3 \times 10^{-6}$ to $< 10^{-5}$	1
c	$\geq 10^{-6}$ to $< 3 \times 10^{-6}$	1
d	$\geq 10^{-7}$ to $< 10^{-6}$	2
e	$\geq 10^{-8}$ to $< 10^{-7}$	3

Obr. 22) Úroveň vlastností PL a úroveň integrity bezpečnosti SIL [42]

Samotný proces postupu pri posudzovaní rizika podľa ČSN EN ISO 13849-1 je možné znázorniť blokovým diagramom (Obr. 23). [43]



Obr. 23) Postup posúdenia rizika podľa ČSN EN ISO 13849-1 [43]

Určenie požadovanej úrovne vlastností (PL_r) prebieha na základe uváženia niekoľkých kritérií. Realizuje sa prostredníctvom grafu (Obr. 24). [3]

Odhad rizika

Pro výpočet požadované úrovně vlastností (PL_r)

S Závažnosť zranění, parametry rizika

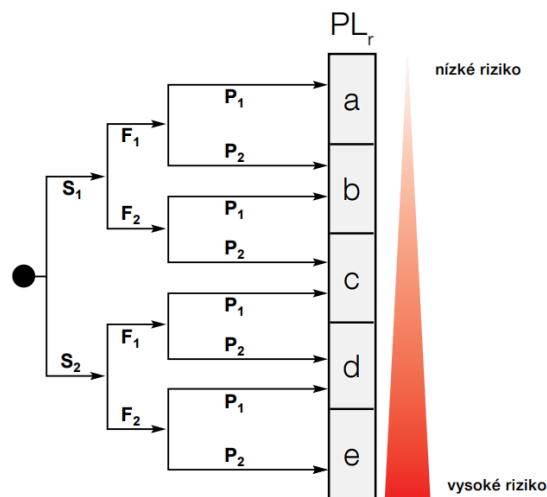
- S1 lehké (normálně reverzibilní; s přechodnými následky zranění)
- S2 vážné (normálně ireverzibilní, tedy s trvalými následky zranění, případně smrt)

F Četnost a/nebo expozice vůči zranění

- F1 zřídka až málo časté, a/nebo doba expozice je krátká
- F2 četná až trvale působící, a/nebo doba expozice je dlouhá

P Možnost vyhnout se nebezpečí nebo omezení škody/úrazu

- P1 možné za určitých specifických podmínek
- P2 stěží, sotva možné



Obr. 24) Odhad rizika pre výpočet požadovanej úrovne vlastností PL_r [43]

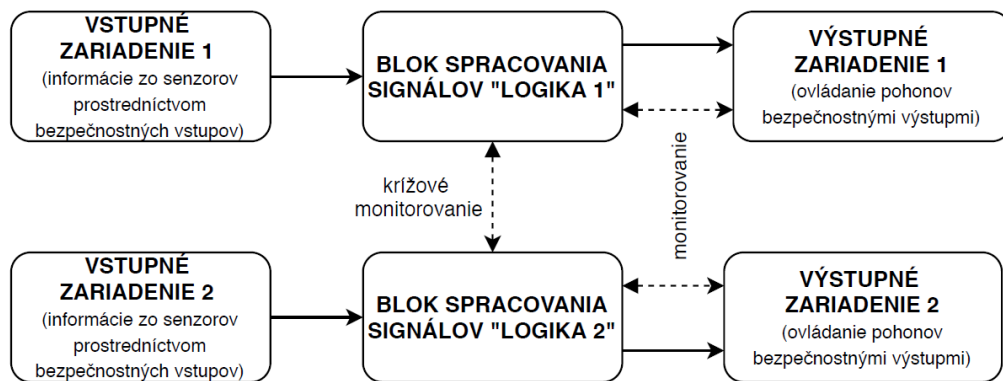
Stanovenie dosiahnutej úrovne vlastností (PL) prebieha výpočtom na základe niekoľkých parametrov, definovaných normou ISO 13849-1. Výrobcom bezpečnostných

prvkov uvádzajú tieto hodnoty aj v špecifikáciách ich zariadení ponúkaných na trhu. Podrobný postup výpočtu je popísaný v norme ČSN EN ISO 13849-1 alebo v odbornej literatúre. [43]

Pri určovaní hodnoty PL je nutné rozdeliť bezpečnostnú funkciu do niekoľkých samostatných blokov. Obvyklý postup je ten, že sa systém rozdelí podľa vstupu, logiky a výstupu a pre každý blok sa určí hodnota PL, z čoho sa následne vypočíta hodnota PL pre celú bezpečnostnú funkciu. Architektúra bezpečnostných funkcií sa rozdeľuje do niekoľkých kategórií, označených B, 1, 2, 3, a 4. Maximálne dosiahnuteľná úroveň vlastností PL sa stupňuje od kategórie B (Obr. 25), kde $PL=b$, až po kategóriu 4, kde $PL=e$ (Obr. 26). Kategória 4 má najvyššie diagnostické pokrytie a musí byť zachovaná bezpečnostná funkcia obvodu aj v prípade výskytu poruchy. [43]



Obr. 25) Stanovená architektúra pre kategóriu B a 1 [3]



Obr. 26) Stanovená architektúra pre kategóriu 3 a 4 [3]

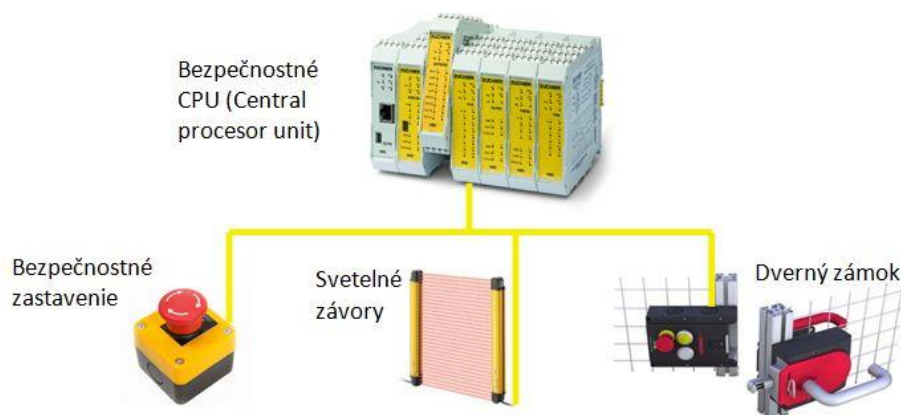
Medzi vstupné zariadenia sa zaraďujú bezpečnostné prvky ako tlačidlo núdzového zastavenia, bezkontaktný snímač, svetelná clona apod. Logika je napríklad bezpečnostné relé alebo bezpečnostné PLC, ktoré spracovávajú signály zo vstupných prvkov, vyhodnocujú ich a ovládajú výstupné zariadenia. Medzi výstupné zariadenia patria napríklad stýkače ktoré spínajú, resp. rozopínajú elektrické obvody. [43]

Pre každý bezpečnostný systém musí platiť, že $PL \geq PL_r$. Následne je vhodné znovu overiť, či sú splnené všetky bezpečnostné požiadavky, vyplývajúce z funkčnej bezpečnosti zariadenia. Ak áno, je ešte dobré overiť, či nevznikli nové riziká a tie prípadne znovu redukovať pomocou normy ČSN EN ISO 12100. [43]

3.5.5 Prehľad bezpečnostných prvkov RP

Bezpečnostné prvky sú podstatnou a neopomenuteľnou časťou robotického pracoviska. Využívajú sa za účelom ochrany ľudskej obsluhy pred možným úrazom, či dokonca usmrtením. Každé RP musí byť vybavené bezpečnostnými prvkami tak, aby bolo v súlade s príslušnými právnymi predpismi EÚ. Možností, ako zabezpečiť robotické pracovisko je hneď niekoľko, pričom jednotlivé bezpečnostné prvky musia byť napojené na bezpečnostný riadiaci systém

(Obr. 27), ktorý dá v prípade potreby pokyn na zastavenie nebezpečných pohybov. Väčšina bezpečnostných prvkov je označená výraznou žltou farbou. [44]



Obr. 27) Principiálna schéma bezpečnostných prvkov [44]

Príklady druhov bezpečnostných prvkov na robotickom pracovisku [44]:

- bezpečnostné oplotenie
- bezpečnostný dverný zámok
- tlačidlo núdzového zastavenia
- svetelná závara
- laserový skener
- nášľapná rohož
- signalizačný stĺpik

Je vhodné podotknúť, že bezpečnostných prvkov je na trhu mnoho a ich výber závisí na špecifických potrebách a rizikách, ktoré môžu nastať na pracovisku. Niektoré vybrané bezpečnostné prvky sú popísané na nasledujúcich stranách.

Bezpečnostné oplotenie

Najčastejšie je priestor okolo RP ohradený bezpečnostným oplotením k zamedzeniu vstupu ľudskej obsluhy do nebezpečného priestoru. Často sa jedná o stavebnicový systém, navrhnutý presne pre potreby konkrétneho zákazníka tak, aby nedošlo k ohrozeniu obsluhy pracujúcimi zariadeniami, a tiež aby oplotenie nezasahovalo do pracovného priestoru robota a neznižovalo jeho pracovný rozsah. Pri zväracích operáciách je oplotenie doplnené o plné ochranné krytovanie, ktoré chráni obsluhu pred škodlivým zväracím oblúkom. Ochranné oplotenie je kotvené v zemi kotviacimi skrutkami. [44]



Obr. 28) Ochranné oplotenie [45]

Bezpečnostný dverný zámok

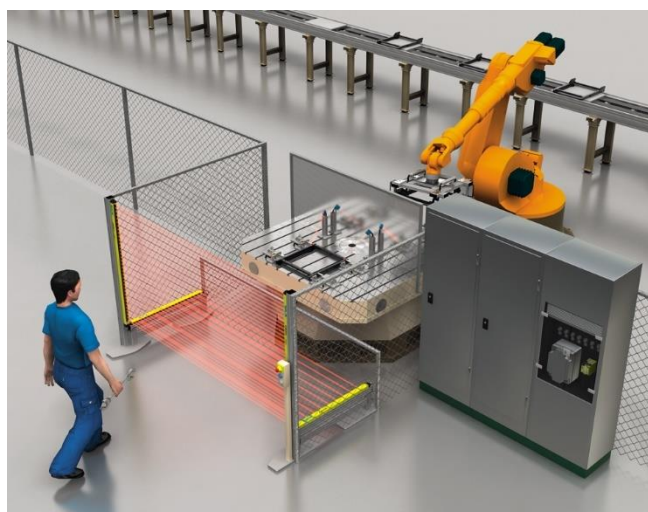
Vstup do pracovnej oblasti robota je umožnený servisnými dverami, vybavenými bezpečnostným zámkom (Obr. 27). Pokiaľ sú v priebehu činnosti robota náhle otvorené bezpečnostné dvere, bezpečnostný systém dá okamžite pokyn k zastaveniu všetkých nebezpečných pohybov. Ak obsluha potrebuje vstúpiť do pracovného priestoru robou, musí najskôr na ovládacom paneli zvoliť požiadavku vstupu do danej oblasti a následne riadiaci systém bezpečne zastaví prebiehajúci proces, uvedie robota do servisnej polohy a odomkne bezpečnostný zámok pre vstup do oblasti. Po vykonaní potrebných úkonov je potrebné zavrieť dvere a na ovládacom paneli zvoliť uzamknutie dverí, čím sa pracovisko opäť stane zabezpečeným proti vstupu. [44], [46]

Tlačidlo núdzového zastavenia

Samozrejmou musí byť napojenie bezpečnostného obvodu na panely s tlačidlom núdzového zastavenia (Obr. 27), stlačením ktorého sa zariadenie okamžite núdzovo zastaví. Musí byť umiestnené na viditeľnom a ľahko dostupnom mieste pre obsluhu v okolí zariadenia a pokiaľ je to nutné je ich niekoľko. Po núdzovom zastavení zariadenia je nutné odstrániť nebezpečenstvo, resp. poruchu a následne reštartovať a opätovne spustiť pracovný cyklus. Požiadavky na zariadenia núdzového zastavenia sú uvedené v norme ČSN EN ISO 13850. [3], [44]

Svetelná závera

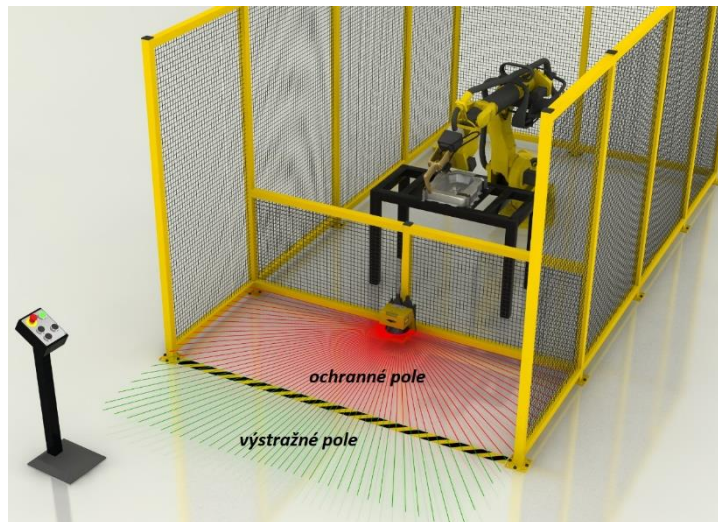
Na bezpečnostný obvod riadenia robota musia byť, v prípade ich použitia, napojené tiež svetelné závory. Nebezpečná zóna je vyhradená infračervenými lúčmi, vytvárajúcimi dvojrozmerné ochranné pole. Infračervené lúče sú emitované vysielačom a prijímané prijímačom. Prerúšením infračervených lúčov napr. časťou tela obsluhy, dôjde k zastaveniu prevádzky stroji, resp. robota. Tento jav môže byť sprevádzaný aj svetelnými a akustickými výstražnými systémami k upozorneniu obsluhy a eliminácii hroziaceho nebezpečia. Používajú sa v oblastiach, kde sa obsluha pohybuje v tesnej blízkosti nebezpečných strojov, ako lisy alebo RP, a tiež tam, kde je potrebné zabezpečiť správny priebeh výrobného procesu alebo počítanie kusov výrobkov. [3], [47]



Obr. 29) Ukážka použitia svetelnej závory [48]

Laserový skener

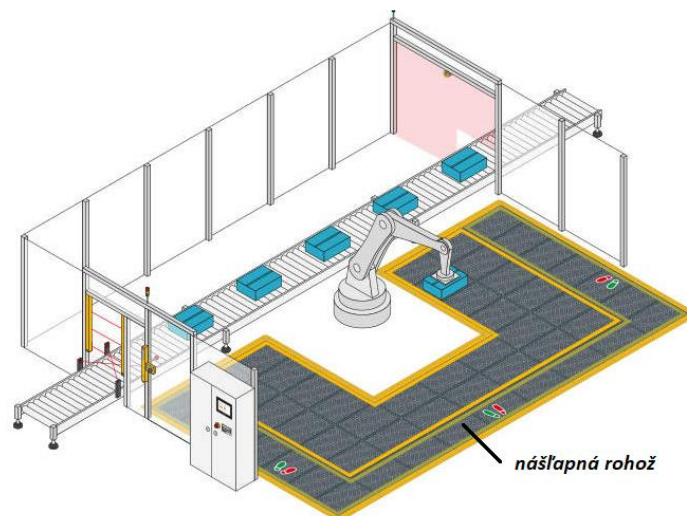
Laserové skenery majú v sebe zabudovaný vysielač aj prijímač infračervených laserových lúčov. Zariadenie vysiela krátke svetelné impulzy, ktoré sa odrážajú od okolitých objektov a prijímač ich následne zachytí. Na základe časového rozpätia medzi okamihom vyslania a prijatia signálu si zariadenie automaticky vypočíta vzdialenosť od objektu a porovnáva ju s nastavenou hodnotou veľkosti a tvaru ochranného, resp. výstražného poľa. Pokiaľ objekt, resp. obsluha dostane do výstražného poľa, skener spustí akustický alebo svetelný signál, ktorý s predstihom upozorňuje na hroziace nebezpečenstvo. Ochranné pole má spravidla menšiu veľkosť ako výstražné pole a prítomnosť objektu, resp. obsluhy v ňom zapríčini zastavenie zariadenia. [3]



Obr. 30) Ukážka použitia laserového skeneru [49]

Nášľapné rohože

Nášľapné rohože bývajú umiestnené v okolí zariadení a robotov. Rohože reagujú na tlak a pokiaľ na ňu vstúpi obsluha, bezpečnostný systém dá pokyn na zastavenie činnosti robotu. Používa sa napríklad v znečistených priestoroch alebo tam, kde je použitie bezdotkových bezpečnostných zariadení obtiažne. [3], [50]



Obr. 31) Príklad použitia nášľapnej rohože [51]

Signalizačný stĺpik

Signalizačný stĺpik zobrazuje stavy procesu, strojov, robotického pracoviska. Podľa normy ISO obsahuje 3 farby, a to červenú, oranžovú a zelenú. Zelená farba označuje normálny stav strojov, resp. procesu, žltá mimoriadny stav a červená núdzový stav, kedy je činnosť zariadení zastavená. Na základe svetelných signálov obsluha ľahko rozpozná aktuálny stav pracoviska. [52]



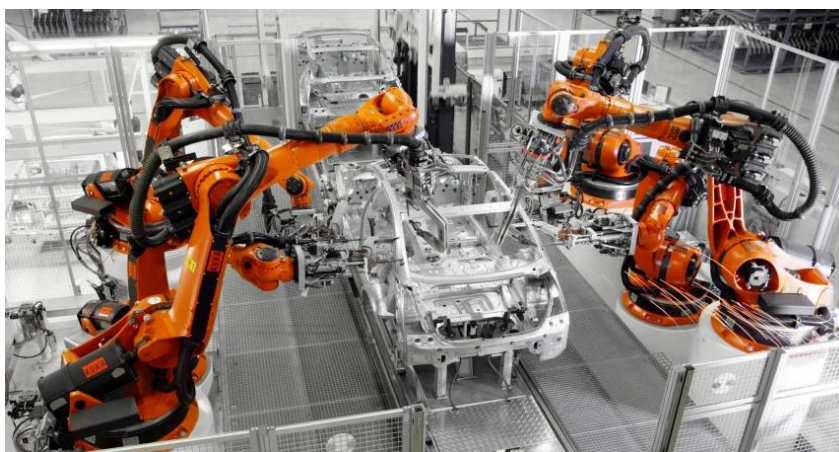
Obr. 32) Signalizačný stĺpik [53]

Pred uvedením pracoviska do prevádzky musí byť zostavená analýza rizík a vyhodnotenie nebezpečných situácií, ktoré môžu nastať pri prevádzke na konkrétnom pracovisku.

3.6 Prehľad typov RP

3.6.1 RP pre zváranie

Robotické pracoviská realizované v oblasti zvárania patria medzi najpočetnejšiu skupinu robotických pracovísk. Najčastejšie je v týchto typoch pracovísk využitá technológia oblúkového alebo bodového zvárania, od čoho závisí aj celková koncepcia usporiadania pracoviska. Využitie nachádzajú hlavne v automobilovom priemysle pri zváraní dielov karosérii automobilov, kde sú roboty integrované do linky (Obr. 33). [3]



Obr. 33) Príklad RP pre zváranie v automobilovom priemysle [54]

Robotizácia technológie zvárania so sebou prináša radu výhod, napríklad zníženie výrobných nákladov a s tým spojené tiež účelné využitie materiálu a neplytvanie materiálom, pretože zvárací robot použije presne toľko materiálu, koľko je potreba. Zvýšenie produktivity, kvality výrobkov, zlepšenie pracovného prostredia a možnosť zvärať aj obtiažne zvárateľné materiály sú ďalšie výhody oproti ručnému zváraníu. [20]

Tieto pracoviská sú okrem robotu vybavené periférnymi zariadeniami, ako otočnými stolmi a polohovadlami, senzormi, podávacím a odsávacím zariadením, automatickými čističmi zvaracích horákov a samozrejme ochrannými prvkami, ako sú ochranné oplotenie, laserový skener alebo svetelné závory. U oblúkového zvarania je tiež nutné zabezpečiť plechové alebo tieňované plastové výplne ochranného oplotenia, aby bolo pracovisko odtienené a osoby nachádzajúce sa v jeho blízkosti chránené. V zvaracích aplikáciách sa najčastejšie používajú šesťosé kĺbové roboty. [20]

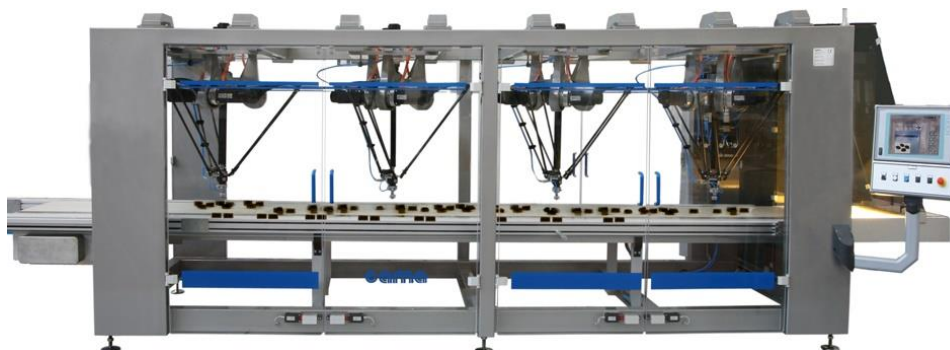
3.6.2 RP pre manipuláciu s materiálom

Roboty pre manipuláciu s materiálom zbavujú obsluhu náročnej a nebezpečnej práce pri prenášaní ťažkých predmetov, a tiež monotónnej práce. V závislosti na type, resp. hmotnosti a rozmeroch manipulovaného objektu je nutné vybrať vhodný typ robotu s dostatočujúcou nosnosťou a vhodnými uchopovacími prvkami, resp. koncovým efektorom. Často sú tieto RP vybavené aj kamerou pre detekciu polohy dielu. Medzi najčastejšie aplikácie, spadajúce do tejto kategórie robotov patrí pick and place, paletizácia, balenie. [55], [56]



Obr. 34) Príklad RP so šesťosím robotom pre manipuláciu s materiálom [57]

V prípade, že manipulované predmety majú vyššiu hmotnosť, používajú sa šesťosé kĺbové roboty (Obr. 34). Naopak, u menších predmetov je často využívaný robot SCARA alebo štvorosí kĺbový robot, prípadne delta robot (Obr. 35), pričom všetky sú vhodné na rýchlu manipuláciu s materiálom a majú dobrú opakovateľnosť polohy. [56]



Obr. 35) Príklad RP s delta robotmi pre manipuláciu s materiálom [58]

3.6.3 RP pre obrábanie

Priemyslové roboty môžu v procese obrábania zastávať viacero úloh. Často vykonávajú operačné manipulácie, ako upnutie polotovaru do stroju a ukladanie obrobenej dielov na dopravník, na paletu, alebo do zásobníku (Obr. 36). Robot tiež môže byť integrovaný priamo do stroju a slúžiť na výmenu nástrojov alebo na manipuláciu s technologickými paletami v obrábacom centre. [20]



Obr. 36) Príklad RP s priemyslovým robotom pre zakladanie obrobkov do obrábacieho stroju [59]

Ďalšou aplikáciou môže byť robotické obrábanie, kde koncový efektor robotu je vreteno s nástrojom, napríklad vrtákom, frézou alebo brúsnym kotúčom a samotné obrábanie je vykonávané priamo robotom (Obr. 37). Tento prístup má v porovnaní s obrábaním klasickým CNC strojom radu výhod ale aj nevýhod. Spravidla roboty nedosahujú takú presnosť polohovania a nemajú tak vysokú tuhosť, ako CNC stroje a obrábanie presných súčastí na nich realizované zatiaľ byť nemôže, čo sa ale mení s postupným vývojom robotov. Na druhej strane, roboty ponúkajú niekoľko výhod v porovnaní s CNC strojmi, a to flexibilitu, väčšiu veľkosť pracovného priestoru a nižšiu cenu. Roboty dokážu obrobit' rozmernejšie súčasti v piatich osiach a na jedno upnutie, k čomu každý CNC stroj uspôsobený nie je. [20], [60], [61]



Obr. 37) Ukážky obrábania priemyslovým robotom [62]

3.6.4 RP pre montáž

V robotickom pracovisku pre montáž sa väčšinou používajú roboty SCARA, kĺbové roboty alebo delta roboty. Konceptia pracoviska závisí na type aplikácie, montážne roboty môžu byť usporiadané napríklad sériovo, tj. za sebou, alebo okolo indexovacieho stolu, ktorý sa po

dokončení pracovného cyklu pootočí (Obr. 38). V tejto aplikácii sa využívajú periférne zariadenia ako kamery a senzory sily. Pomocou kamery si robot sám identifikuje polohu uchopovaného objektu aj bez toho, aby bol precízne uložený na presne definované miesto. Kamery tiež slúžia na kontrolu správnej montáže dielu, napríklad kontrola prítomnosti skrutiek. Senzor sily sa využije pri vkladaní dielu do zostavy a vďaka nemu získa robot spätnú väzbu, či je diel v správnej pozícii na základe sily, ktorú vyvinie pri vkladaní dielu. Medzi ďalšie periférne zariadenia patria napríklad vibračné zásobníky, pre presné podávanie a orientáciu dopravovaných dielov. Tieto roboty nájdu využitie napríklad pri skladaní prevodoviek alebo elektroniky. [63]




Obr. 38) Príklad RP pre montáž s niekoľkými priemyslovými robotmi [64]

4 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ZADANIA

Diplomová práca je riešená v spolupráci s firmou Honeywell, konkrétne s výrobným závodom Honeywell Brno. Brnenský závod vyrába radu produktov vrátane termostatických hlavíc, ktoré slúžia na samočinnú reguláciu teploty vzduchu vo vnútorných priestoroch budov. Vyrábaných je hneď niekoľko typov termostatických hlavíc, ktorých parametre sú zobrazené v tabuľke (Tab. 1).

Tab 1) Typy termostatických hlavíc Honeywell

Honeywell							
Typ hlavice	Hmotnosť	Najväčší rozmer VxŠ	Náhľad	Typ hlavice	Hmotnosť	Najväčší rozmer VxŠ	Náhľad
Hlavica č.1	140g	79x49		Hlavica č.2	140g	79x49	
Hlavica č.3	150g	79x49		Hlavica č.4	140g	79x49	

Dôležitým krokom pri výrobe termostatických hlavíc je kalibrácia, aby bola zabezpečená ich správna funkcia. Na pracovisku kalibrácie termostatických hlavíc v súčasnom stave pracuje vždy jeden operátor, ktorého práca zahŕňa manuálne zakladanie termostatických hlavíc do kalibračného stroju a spúšťanie pracovného cyklu.

Manuálna práca, ktorú obsluha vykonáva je monotónna, jednotvárna a neustále sa opakujúca. Automatizácia pracoviska by preto priniesla radu výhod. Niekoľko z nich bolo opísaných v kapitole 3.1.1, no jedná sa najmä o ekonomický prínos pre firmu ušetrením mzdových nákladov za pracovníkov. V dobe nízkej nezamestnanosti, kedy je nedostatok pracovnej sily, vyrieši automatizácia procesu problém s neustálym hľadaním nových pracovných síl a ich zaškolením, čo stojí nemalé finančné prostriedky a čas. Ako vhodné riešenie sa javí integrácia priemyslového robotu do pracoviska, kde bude monotónna práca vykonávaná robotom.

Na nové pracovisko sa zároveň vzťahuje niekoľko požiadaviek firmy a zákazníka, ktoré musia byť splnené:

- Návratnosť investície do 4 rokov
- Dodržanie výroby požadovaného počtu termostatických hlavíc $7500ks/deň$, resp. času taktu $7s$ na výrobu $1ks$ hlavice pri prevádzke na dve zmeny (dostupný čas na zmenu $7,3h$)
- Integrácia priemyslového robotu a automatizácia všetkých operácií na RP tak, aby proces kalibrácie termostatických hlavíc prebiehal automaticky, pričom obsluha zabezpečuje len prísun materiálu do RP

- Univerzálnosť výroby pre všetky potrebné typy termostatických hlavíc
- Možnosť výberu z dvoch pracovných režimov. Automatický režim, kedy je v prevádzke robot a celý proces kalibrácie je automatizovaný. Manuálny režim, kedy obsluha zakladá hlavice do kalibračného stroju ručne a robot nie je v prevádzke
- Doplnenie pracoviska o potrebné bezpečnostné prvky k zníženiu rizík na pracovisku
- Výber prvkov pracoviska od preferovaných dodávateľov Kuka, Festo, Alutec KK, Sick, Siemens

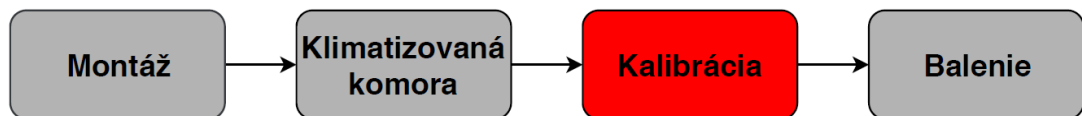
Z pohľadu návrhu konceptu nového robotického pracoviska bude v nasledujúcich kapitolách rozobraté:

- Analýza súčasného stavu pracoviska
- Návrhy nového konceptu robotického pracoviska s rozlíšením automatického a manuálneho režimu
- Výber vhodného typu robotu
- Návrh a výber potrebných komponentov RP
- Vyhodnotenie bezpečnosti pracoviska a analýza rizík
- Simulácia výroby, overenie času cyklu a splnenie času taktu pomocou programu Siemens Process Simulate
- Ekonomické zhodnotenie navrhnutého riešenia RP v porovnaní s pôvodným stavom pracoviska

5 ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU

5.1 Proces výroby termostatických hlavíc

Proces výroby termostatických hlavíc je znázornený na obrázku (Obr. 39). Pred návrhom RP je nutné zistiť, resp. vypočítať súčasné výrobné kapacity jednotlivých pracovísk a na základe nich navrhnuť RP tak, aby nebolo úzkym miestom v procese výroby.



Obr. 39) Znázornenie materiálového toku pri výrobe termostatických hlavíc

Samotný proces výroby termostatických hlavíc začína na montážnom pracovisku, kde obsluha ručne skladá hlavice (viď Tab.1) z jednotlivých komponentov. Prevádzka je štandardne na dve zmeny, vždy sa na pracovisku nachádzajú dvaja operátori. Hodinový výstup z linky je podľa firemných údajov približne 500ks/h. Pri splnení hodinového výstupu počas oboch zmien je splnená aj požiadavka zákazníka na vyrobenie 7500ks/deň. Čas taktu vyjadrený výpočtom:

$$t_t = \frac{n_s \cdot t_s}{Z_p} \quad (1)$$

$$t_t = \frac{2 \cdot 26280}{7500} = 7s$$

Kde: t_t - čas taktu na výrobu jednej termostatickej hlavice [s]

n_s - počet pracovných zmien za deň

t_s - dostupný pracovný čas na 1 zmenu [s]

Z_p - požiadavka zákazníka na počet hlavíc za 1 deň [ks]

Hotové hlavice v prepravkách operátori následne presunú do klimatizovanej komory, v ktorej dôjde k ustáleniu teploty termostatických hlavíc, čo je dôležitým predpokladom k správnej kalibrácii. Jedná sa v podstate o poháňaný valčekový dopravník s krytmi, na ktorom sa nachádza niekoľko ventilátorov zabezpečujúcich rýchlejšiu výmenu tepla medzi hlavícami a okolím. Dopravný výkon klimatizovanej komory sa určí z nasledujúceho výpočtu:

$$v_D = \frac{l_D}{t_D} \quad (2)$$

$$v_D = \frac{7}{2700} = 0,0026m \cdot s^{-1}$$

$$N_P = \frac{l_D}{l_P + l_M} \quad (3)$$

$$N_P = \frac{7}{0,3175 + 0,010} = 21ks \text{ prepraviek}$$

$$O_D = \frac{t_{1h} \cdot v_D}{l_p + l_M} \quad (4)$$

$$O_D = \frac{3600 \cdot 0,0026}{0,3175 + 0,010} = 28 \text{ ks} / h$$

Kde: v_D - rýchlosť dopravníku klimatizovanej komory [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

l_D - dĺžka klimatizovanej komory [m]

t_D - čas, ktorý strávi prepravka v klimatizovanej komore [s]

N_p - kapacita klimatizovanej komory [ks prepraviek]

l_p - dĺžka prepravky [m]

l_M - dĺžka medzery medzi prepravkami [m]

O_D - dopravný výkon klimatizovanej komory, počet prepraviek [ks/h]

t_{1h} - čas, $1h$ [s]

Celkovo sa v prepravke nachádza 28 hlavíc, a teda celkový dopravný výkon je 784 ks/hod . Dopravný výkon klimatizovanej komory je dostatočný a nie sú potrebné ďalšie úpravy. Väčšina hodnôt použitých vo výpočtoch bola získaná meraním priamo na pracovisku.

Na pracovisku kalibrácie sa pracuje na dve zmeny, vždy je na pracovisku prítomný jeden operátor. Proces kalibrácie je podrobnejšie popísaný v nasledujúcich kapitolách, keďže RP bude umiestnené práve na tomto pracovisku.

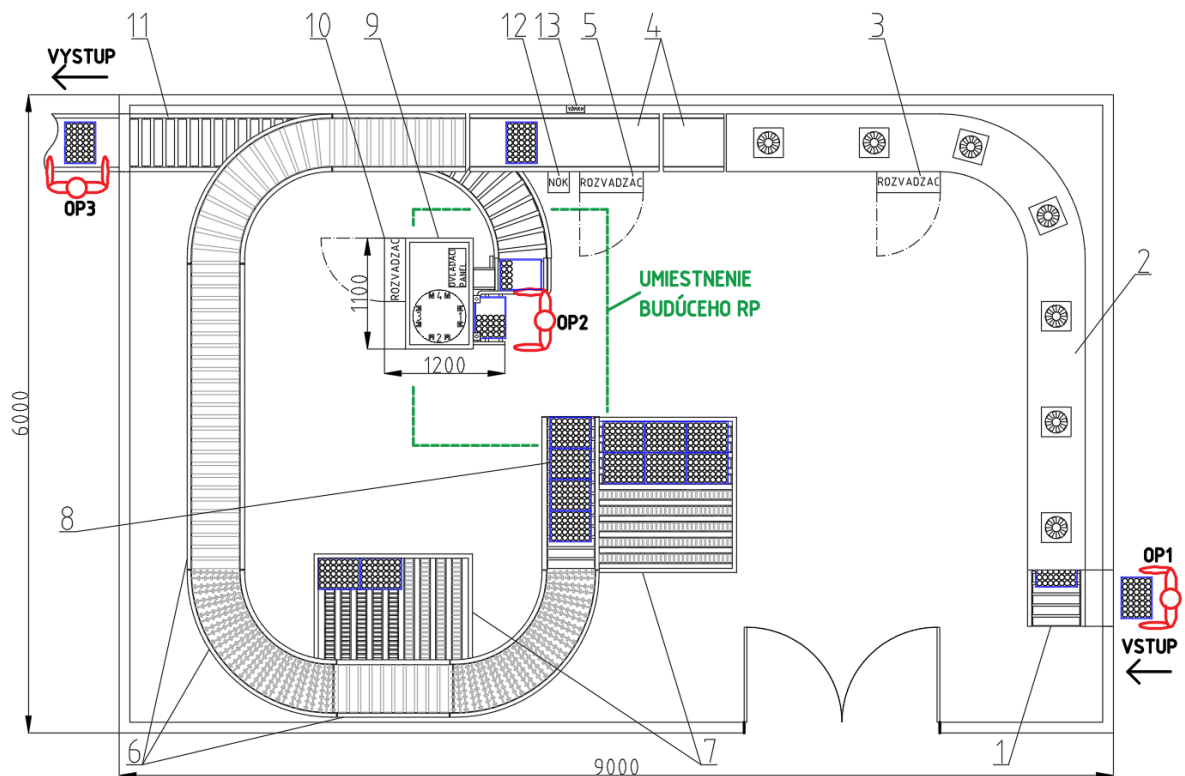
Na konci výrobného procesu je baliaca linka, na ktorej pracuje jeden operátor na dve zmeny a linka má výrobnú kapacitu 700 ks/h . Hodnoty výrobných kapacít sú získané z firemných dát. Výrobná kapacita baliacej linky je dostatočná.

5.2 Súčasný stav na pracovisku kalibrácie

Pracovisko kalibrácie sa nachádza v klimatizovanej miestnosti, v ktorej je udržiavaná konštantná teplota. Je dôležité, aby si hlavice pred samotnou kalibráciou prešli procesom ustálenia ich teploty v klimatizovanej komore, pretože na tomto kroku závisí ich správna funkcia.

V klimatizovanej miestnosti sa nachádzajú (vid' Obr. 40): Vstupný valčekový dopravník (1), klimatizovaná komora (2), rozvádzač klimatizovanej komory (3), pásové dopravníky (4), rozvádzač dopravníkov (5), gravitačné sklzy (6), zásobníky prepraviek (7), fronta prepraviek s hlaviciami (8), kalibračný stroj (9), rozvádzač kalibračného stroju (10), výstupný valčekový dopravník (11), prepravka na nesprávne vyrobené kusy – zmätky (12), prívod tlakového vzduchu (13).

Operátor OP1 pracuje na pracovisku montáže termostatických hlavíc a prepravky vkladá do klimatizovanej komory. Operátor OP2 pracuje na pracovisku kalibrácie, manipuluje s termostatickými hlaviciami a spúšťa pracovný cyklus kalibračného stroju. Taktiež nastavuje výrobu a kontroluje jej priebeh na ovládacom paneli. Operátor OP3 vyzdvihuje prepravku so skalibrovanými hlaviciami a vkladá ich do baliaceho zariadenia, odkiaľ sú hlavice expedované.



Obr. 40) Layout súčasného stavu pracoviska s vyznačením umiestnenia budúceho RP

5.3 Špecifikácia súčasného procesu kalibrácie

Pôvodný proces kalibrácie hlavíc sa skladá z niekoľkých procesných krokov. Samotná výroba a montáž hlavíc nie je v tomto prípade podstatná, a tak analýza procesu začína vstupom materiálu do klimatizovanej miestnosti.

Vstup materiálu do klimatizovanej miestnosti

Po naplnení prepravky stanoveným počtom vyrobených hlavíc vloží operátor OP1 prepravku na vstupný poháňaný valčekový dopravník v klimatizovanej miestnosti cez otvor v stene. Materiál postupuje do klimatizovanej komory, ktorá slúži na urýchlenie procesu ustálenia teploty hlavíc na požadovanú teplotu, pri ktorej bude prebiehať ich kalibrácia (Obr. 41). Dopravník je krytovaný plechmi a na vrchnej strane sú pripevnené ventilátory pre urýchlenie výmeny tepla medzi hlavícami a okolím.



Obr. 41) Vstup prepravky s hlavícami do klimatizovanej miestnosti [66]

Po výstupe z klimatizovanej komory sa prepravka presunie po poháňaných pásových dopravníkoch a gravitačných sklzoch až k miestu odberu pre operátora, resp. zaradí sa do fronty ďalších prepraviek (Obr. 42a). V prípade potreby uskladnenia hlavíc pri zmene výroby sú na pracovisku umiestnené dva zásobníky.



Obr. 42) a) Príjazd prepravky po dopravníkovej dráhe ku kalibračnému stroju, b) kalibrácia termostatických hlavíc v kalibračnom stroji [66]

Kalibrácia termostatických hlavíc

Operátor OP2 si manuálne presunie prepravku z fronty na odkladaciu plochu pred kalibračný stroj. Na presun prepravky ku stroju je využitý sklz, pohyblivý na kolieskach aby bolo možné dostať sa aj do priestoru za kalibračným strojom. Prepravka sa položí na odkladaciu plošinu v tesnej blízkosti stroju, a to vo výške vyhovujúcej ergonomickým zásadám pracoviska.

Operátor vždy uchopí dve hlavice a vloží ich do zakladacích držiakov kalibračného stroju. K spusteniu pracovného cyklu stroju sa používa bezpečnostné obojručné ovládanie, ktorého tlačidlá musí operátor stlačiť naraz (Obr. 42b). Tým dôjde k otočeniu otočného stolu o jednu pracovnú pozíciu.

Celkovo sa na stroji nachádzajú štyri pracovné pozície. Prvá pozícia slúži len na zakladanie hlavíc. Na druhej pozícii prebieha kalibrácia hlavíc vyfrézovaním časti teplotne citlivého elementu. Treťou operáciou je kontrola správneho rozmeru hĺbky frézovania. Hodnoty si operátor kontroluje na ovládacom paneli. Na poslednej pozícii sa pomocou vyhadzovačov správne vyrobené kusy z držiaku vyhodí a po sklze sa presunú do pripravenej prázdnej prepravky. Nesprávne vyrobený kus, resp. zmätko nie je vyhodnený a vráti sa k operátorovi späť na prvú pozíciu, ktorý skontroluje jeho stav a buď ho pošle znovu do pracovného cyklu, prípadne položí do prepravky pre zmätky na rework.

Výstup materiálu z klimatizovanej miestnosti

Po vyrobení všetkých kusov je prepravka so správne vyrobenými hlavicami presunutá na výstupný valčekový dopravník, odkiaľ ju vezme operátor OP3 k procesu balenia.

5.4 Časová analýza procesu kalibrácie

Časová analýza súčasného procesu vychádza zo štúdie času cyklu. Čas cyklu je doba, potrebná pre vykonanie operácie strojom alebo operátorom. Reflektuje reálne výrobné možnosti linky, resp. pracoviska. Je to doba, za ktorú sa vyrobí jeden kus výrobku, a to od začiatku výroby prvého kusu až po začiatok výroby ďalšieho kusu. [65]

Ďalším dôležitým pojmom je čas taktu. Ten určuje, ako rýchlo musí daný proces prebiehať, aby došlo k uspokojeniu potrieb zákazníka. Je preto logické, že čas cyklu musí byť menší ako čas taktu. [65]

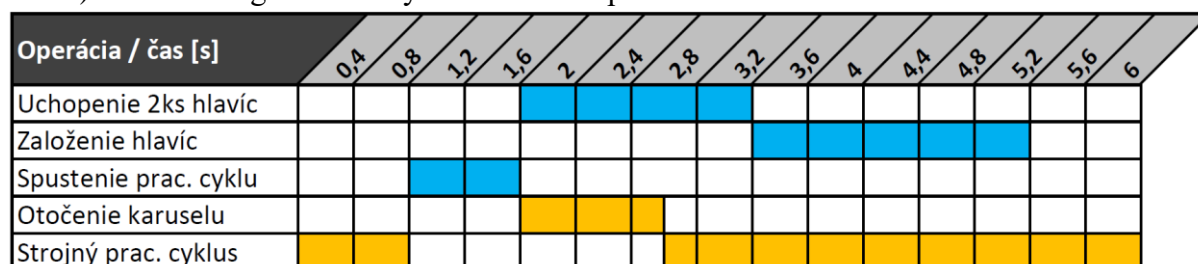
Podstatou časovej analýzy procesu je zmeranie časov, potrebných pre vykonanie pracovných operácií na pracovisku kalibrácie termostatických hlavíc. Jednotlivé pracovné operácie sú logicky rozdelené do skupín podľa charakteru operácie. Patria k nim operácie ručné, ktoré vykonáva operátor, strojné, ktoré sú vykonávané automaticky strojom, ale tiež sa medzi nich zaraďujú aj všetky pohyby vykonané operátorom, vrátane chôdze. Pracovné operácie, zaznamenané na pracovisku, a tiež im prislúchajúce časy sú uvedené v tabuľke (Tab. 2).

Tab 2) Časy jednotlivých pracovných operácií na pracovisku (*v prepravke je 28ks hlavíc, čas prepočítaný na 2ks)

Krok č.	Názov pracovného úkonu	Čas pracovnej operácie [s]	
		Manuálny	Strojný
1	Presun prepravky z fronty ku kalib. stroju *	0,25	
2	Uchopenie 2ks hlavíc	1,6	
3	Založenie hlavíc do stroju	2	
4	Stlačenie tlačidiel štartu cyklu	0,8	
5	Otočenie stolu o jednu pozíciu		1
6	Pracovný cyklus kalibračného stroju		4,2
7	Presun prepravky od stroju na výstupný dopravník*	0,05	

Celkový čas cyklu je najzrozumiteľnejšie vyjadrený pomocou Ganttovho diagramu (Tab. 3). Tento diagram slúži na grafické znázornenie časovej postupnosti rozličných činností, napríklad časového rozvrhu projektu a plnenia jednotlivých úloh. Vo vodorovnej ose sa nachádza časový úsek, vo zvislej ose názov pracovného úkonu. Pri aplikácii diagramu na analýzu súčasného stavu pracoviska bol zvolený časový inkrement $0,4s$. Časy v diagrame vychádzajú z tabuľky (Tab. 2). Modrou farbou je vyznačený čas ručnej manipulácie a žltou farbou strojný čas.

Tab 3) Ganttov diagram času cyklu súčasného pracoviska



Z diagramu je zřejmé, že čas potrebný na vykonanie jedného pracovného cyklu je $6s$ pre kalibráciu 2ks hlavíc. Pripočítaním času potrebného na presun prepravky z fronty ku stroju a tiež od stroju na výstupný dopravník (viď Tab. 2) je výsledný čas cyklu pre kalibráciu 2ks hlavíc celkovo $6,3s$ a pre 1ks hlavice je to teda $3,15s$. Operátor využíva strojný čas otáčania kalibračného stroju na uchopenie hlavíc z prepravky. Taktiež v priebehu pracovného cyklu

stroju využíva čas na založenie ďalšieho páru hlavíc do stroju. Po skončení pracovného cyklu operátor tlačidlom ihneď spustí ďalší.

Pri danom čase cyklu je výrobná kapacita pracoviska $1142ks/h$. Navrhované RP zrejme nebude dosahovať tak vysokú výrobnú kapacitu, resp. tak nízky čas cyklu kvôli dlhšiemu manipulačnému cyklu. Aby však nevzniklo úzke miesto, musí RP dosahovať čas cyklu nižší ako čas taktu stanovený pracoviskom montáže. Podstata automatizácie kalibračného pracoviska spočíva v ušetrení celkovo dvoch pracovníkov za deň, čo prinesie ekonomické výhody a návratnosť investície v krátkej dobe.

6 NÁVRH KONCEPTU RP

Vzhľadom na požiadavky popísané v kap. 4, boli navrhnuté tri možné varianty RP. Všetky varianty vychádzajú z analýzy pôvodného pracoviska a jeho rozloženia (kap. 5). Bolo preto potrebné navrhnuť niekoľko úprav existujúcich zariadení na pracovisku a vhodne implementovať nové zariadenia. Z pôvodného pracoviska je využitý kalibračný stroj a dopravníková trať. Pri návrhu musel byť braný v úvahu fakt, že výška vstupného a výstupného dopravníku je rozdielna. Úprava, ktorá je rovnaká u všetkých variant, sa týka kalibračného stroju, z ktorého boli odstránené vyhadzovače na poslednej pozícii a celý stroj je skrátený. Riadiaci systém stroju je nutné upraviť na možnosť prevádzky v automatickom a ručnom režime. Koncový efektor robotu je prispôbený na manipuláciu s 2ks hlavíc naraz.

6.1 Variant 1

V prvom variante (Obr. 43) je upravená dĺžka vstupného dopravníku tak, aby boli osi vstupného aj výstupného dopravníku v pôdoryse zjednotené. Medzi dopravníky je integrované RP, pracujúce v dvoch režimoch, a to automatickom a manuálnom. Hlavice sú prepravované v prepravkách a uložené sú v plastových tvarovaných blistroch, do ktorých ich vložia operátori pri výrobe hlavíc.

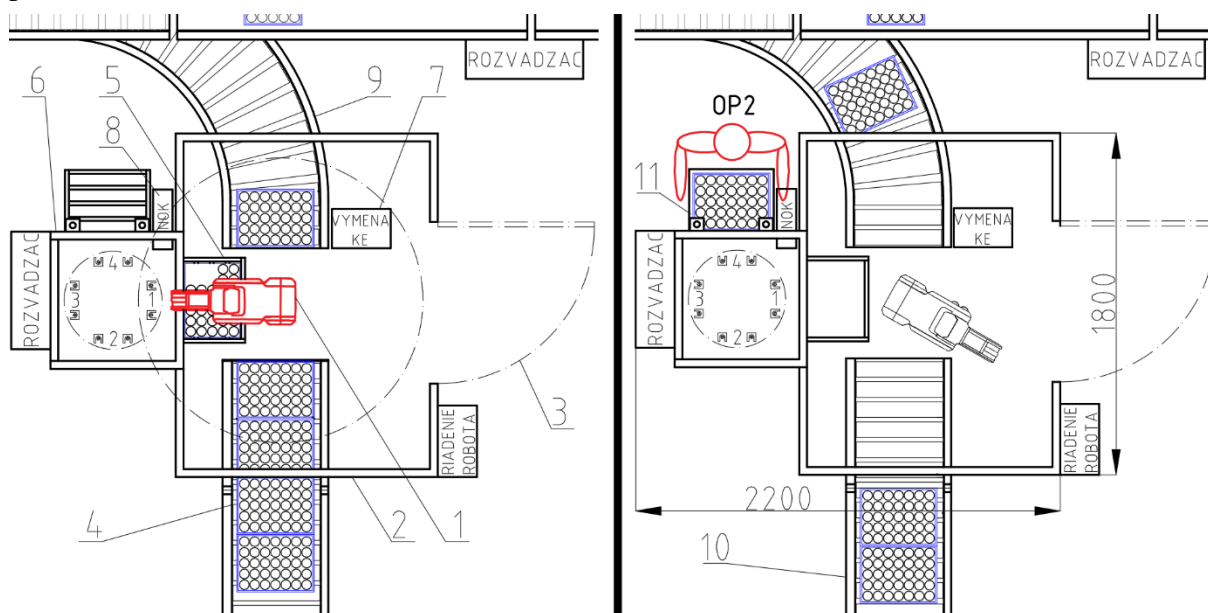
Automatický režim

Priemyslový robot (1) je upevnený na podstavci v priestore medzi dopravníkmi, ohraničenom bezpečnostným oplotením (2) (Obr. 43a). V prípade potreby sa obsluha dostane do pracovného priestoru robotu servisným vstupom (3). Po vstupnom gravitačnom sklze (4) sa prepravka s hlavícami dostane k robotovi, ktorý si ju pomocou špeciálneho koncového efektoru vyzdvihne a položí na odkladací priestor (5) pred kalibračný stroj (6). Prepravka sa automaticky upevní pomocou pneumatického mechanizmu do referenčnej polohy pre robotické zakladanie do stroja. Robot si v zásobníku koncových efektorov (7) vymení mechanický koncový efektor pre manipuláciu s prepravkami za podtlakový koncový efektor pre manipuláciu s hlavícami. Pracovný cyklus začína vložением 2ks hlavíc do zakladacích držiakov v kalibračnom stroji na pozícii označenej číslom 1. Otočný stôl v kalibračnom stroji sa automaticky otáča vždy o jednu pozíciu. Po vykonaní všetkých pracovných operácií sa skalibrované hlavice vracajú opäť do pozície číslo 1, odkiaľ robot vloží správne vyrobené kusy späť do prepravky na voľné miesto. Nesprávne vyrobené kusy, resp. zmätky vloží do sklzu (8), odkiaľ padnú do predpripravenej prepravky na zmätky. Po vyrobení všetkých kusov si robot opäť vymení koncový efektor a presunie prepravku na výstupný dopravník (9). Riadenie robotu sa nachádza mimo pracovný priestor.

Manuálny režim

Pri potrebe ručného režimu (Obr. 43b) obsluha vchádza do pracovného priestoru ku kalibračnému stroju cez časť vstupného dopravníku, ktorý je vybavený kolieskami na presun (10). Operátor na ovládacom paneli zvolí možnosť ručného ovládania. Zo vstupného dopravníku si obsluha vezme prepravku a položí ju na odkladaciu plochu (11) u stroju. Pracovný cyklus sa spúšťa stlačením obojručného tlačidla. Hlavice obsluha zakladá do pozície číslo 4, z ktorej ich po dokončení pracovného cyklu tiež vyberá a vkladá späť do prepravky, prípadné zmätky do oddelenej prepravky. Po dokončení výroby obsluha položí prepravku na

výstupný dopravník. Pracovisko musí byť zabezpečené tak, aby nedošlo k zraneniu obsluhy pohybujúcimi sa časťami strojov, prípadne náhodným spustením robota. Odkladacia plocha pre prepravku je vo vhodnej výške a vzdialenosti od stroju a musí spĺňať normy ergonómie na pracovisku.



Obr. 43) Návrh rozloženia RP – variant 1. a) automatický režim, b) manuálny režim

6.2 Variant 2

V druhom variante sú prepojené vstupný a výstupný dopravník tak, aby bol zabezpečený plynulý tok materiálu. Výškový rozdiel medzi vstupným a výstupným dopravníkom je prekonávaný prostredníctvom výťahu ovládaného pneumatickým valcom, ktorý presunie vždy jednu prepravku na výškovú úroveň výstupného dopravníku. Zvyšok dopravníkovej dráhy je gravitačný. Pozícia kalibračného stroju je zachovaná. Princíp spočíva v použití dvoch robotov, z ktorých jeden slúži len na zakladanie hlavíc a druhý len na vyberanie hlavíc zo stroju. Dôvodom návrhu tohto variantu je zlepšenie kompaktnosti pracoviska a potenciálne zníženie času cyklu. Návrh avšak vyžaduje dodatočné investície v podobe druhého robota, preto musí byť použitie tohto variantu dôkladne zvážené.

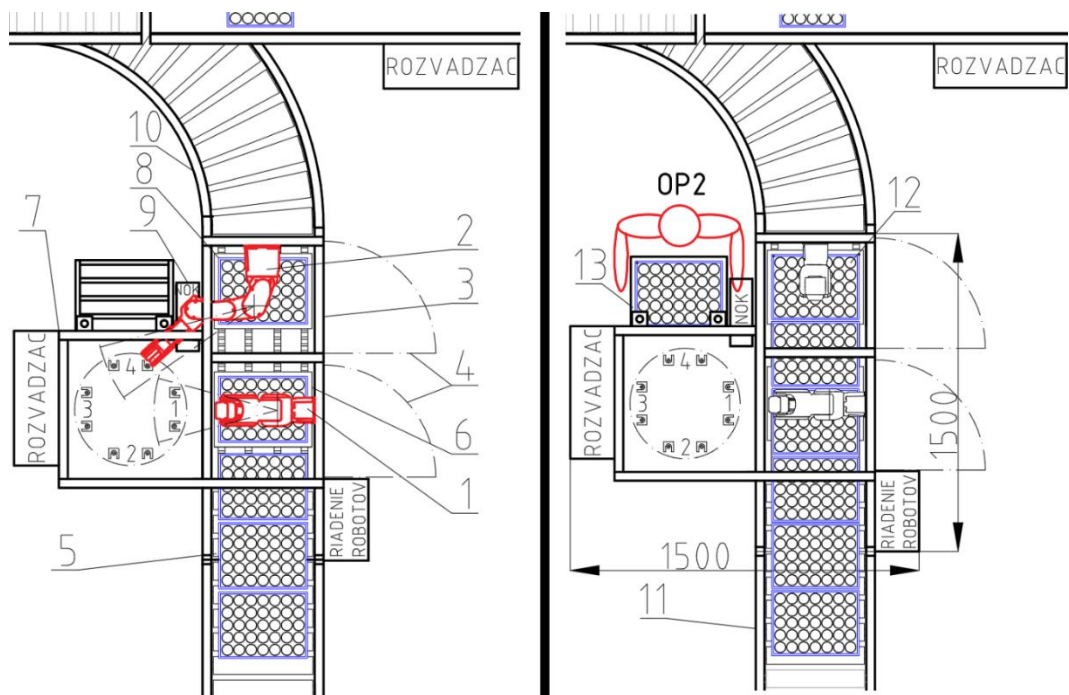
Automatický režim

V návrhu je použitý zakladací robot (1) a tiež robot určený na vykladanie hlavíc (2). Oba sú upevnené na vertikálnej konštrukcii (3). Ku každému z robotov je možné sa dostať servisnými vstupmi (4). Prepravka prejde po vstupnom dopravníku (5) k zakladaciemu robotu a pomocou pneumatického mechanizmu (6) sa upevní do referenčnej polohy pre zakladanie. Robot postupne vkladá hlavice do pozície kalibračného stroju (7) číslo 1, ktorý sa automaticky otáča vždy o jednu pozíciu. Uchopovanie hlavíc je realizované podtlakovým efektorom. Z pozície stroju číslo 4 vykladací robot hlavice vyberá a vkladá do predpripravenej prázdnej prepravky, upevnenej v referenčnej polohe pomocou pneumatického mechanizmu (8). Zmätky vkladá do sklzu, ktorým sa hlavice dostanú do prepravky určenej pre zle vyrobené kusy (9). Po kalibrácii všetkých hlavíc je naplnená prepravka pri vykladacom robote presunutá pneumatickým mechanizmom (8) na úroveň výstupného dopravníku (10) a prejde k baličke. Prázdna prepravka sa od zakladacieho robota presunie k druhému robotu. Okolo oboch robotov musia byť

umiestnené pevné ochranné kryty. Použité tiež musia byť bezpečnostné prvky ako napríklad svetelné závory alebo laserový skener.

Manuálny režim

Posuvný dopravník na kolieskach (11) umožňuje prechod obsluhy k priestoru stroju. Štvrtá pozícia kalibračného stroju je prispôsobená k ručnému zakladaniu hlavíc. Operátor na ovládacom paneli zvolí možnosť ručného ovládania. Prepravka s hlaviciami prejde po dopravníku k miestu v blízkosti obsluhy (12), odkiaľ si ju bude môcť bezpečne vziať a položiť na odkladací priestor pred sebou (13). Pracovný cyklus sa spúšťa obojručným ovládaním. Správne skalibrované hlavice obsluha vyloží z pozície číslo 4 do prepravky. Zmätky sa vkladajú do oddelenej prepravky. Po skalibrovaní všetkých hlavíc položí operátor prepravku na výstupný dopravník a podá si ďalšiu prepravku.



Obr. 44) Návrh rozloženia RP – variant 2. a) automatický režim, b) manuálny režim

6.3 Variant 3

Tretí variant je obdobou druhého variantu s rozdielom, že celý kalibračný stroj je otočený o 90° a presunutý na protiľahlú stranu dopravníku. Toto riešenie zabezpečí ľahší prístup obsluhy ku stroju a ovládacímu panelu, na ktorom sa nastavuje typ výroby. Tiež bude umožnený lepší prístup k pozícii pre zakladanie obsluhou v ručnom režime. Tento variant však vzhľadom na rozloženie pozícií v stroji neumožňuje použitie dvoch robotov. Na pracovisku bude preto jeden robot, ktorý hlavice zo stroja zakladá aj vykladá.

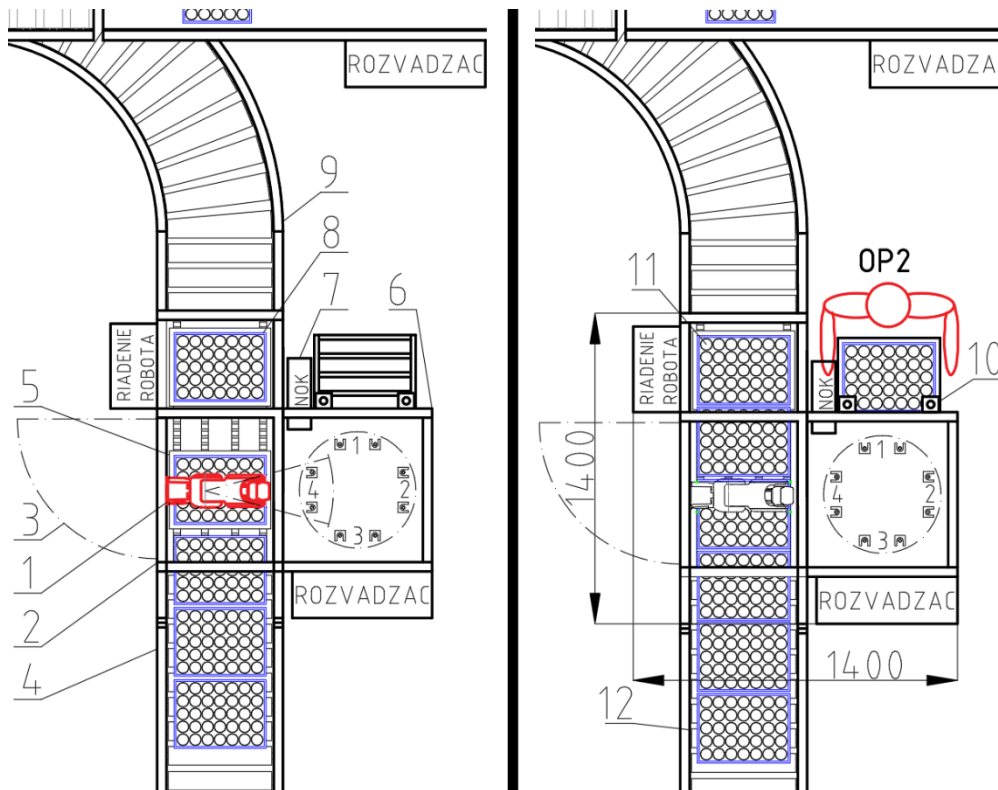
Automatický režim

Priemyslový robot (1), upevnený na zvislej konštrukcii (2), zakladá hlavice z prepraviek prichádzajúcich po vstupnom dopravníku (4) do kalibračného stroju (6) (Obr. 45a). Pred zakladaním je prepravka upevnená v referenčnej polohe pre zakladanie pneumatickým mechanizmom (5). Správne skalibrované kusy robot vkladá na voľné miesto späť do prepravky. Zmätky sú vložené do sklzu, na ktorého konci je prepravka so zle vyrobenými kusmi (7). Po dokončení kalibrácie všetkých hlavíc prejde prepravka k pneumatickému výťahu (8), ktorý ju

znesie na výškovú úroveň výstupného dopravníku (9). Servisný vstup k robotovi je zo zadnej časti RP (3).

Manuálny režim

V tomto variante má obsluha lepší prístup k ovládaciemu panelu a samotnému kalibračnému stroju (Obr. 45b). Prepravka s hlavicami prejde po dopravníku k mieste v blízkosti obsluhy (11), odkiaľ si ju bude môcť bezpečne vziať a položiť na odkladací priestor pred strojom (10), navrhnutým v súlade s ergonomickými zásadami. K umožneniu prístupu do pracovného priestoru robotu za účelom odstránenia chyby alebo programovania robotu, slúži posuvný dopravník na kolieskach (12).



Obr. 45) Návrh rozloženia RP – variant 3. a) automatický režim, b) manuálny režim

6.4 Časová analýza jednotlivých variant

Hrubé modely jednotlivých variant robotických pracovísk s približne rozmiestnenými dôležitými prvkami boli vytvorené v programe Autodesk Inventor. Čas cyklu bol zistený prostredníctvom približnej simulácie výrobného procesu v programe Siemens Process Simulate. Výstupom je Ganttov diagram pre každý variant. Presný čas cyklu bude zistený po vypracovaní kompletného návrhu pre zvolený variant.

Manipulačný cyklus zahŕňa uchopenie hlavic z prepravky, ich vloženie do zakladacích držiakov kalibračného stroju a po dokončení pracovného cyklu vloženie hlavic späť do prepravky. Koncový efektor bude prispôbený na uchopovanie 2ks hlavic naraz z prepravky, avšak zakladanie hlavic do držiakov kalibračného stroju musí prebiehať po 1ks, a to kvôli rozdielnej roztečnej vzdialenosti.

Variant 1

Čas potrebný na vykonanie jednotlivých operácií pri výrobe 2ks hlavíc vychádza podľa hrubej simulácie na 10,5s (Tab. 4). K tomuto času je nutné pripočítať čas, potrebný na manipuláciu s prepravkami, t.j. zdvih prepravky a jej umiestnenie na odkladaciu plochu ku kalibračnému stroju, a tiež umiestnenie prepravky na výstupný dopravník po dokončení kalibrácie. Nezanedbateľný je aj čas nutný na výmenu koncových efektorov, čo prebieha dvakrát v priebehu kalibrácie hlavíc v jednej prepravke. Celkový čas cyklu je preto navýšený na hodnotu 12,5s na vyrobenie 2ks hlavíc, čo je stále nižšie ako požadovaný čas taktu na výrobu rovnakého počtu hlavíc (14s), takže podmienka by bola splnená.

Tab 4) Ganttov diagram času cyklu pre varianty 1 a 3

Operácia / čas [s]	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	
Pohyb robot	█																					
Odber 2ks hlavíc z bedny	█	█																				
Založenie 1ks hlavice do stroju					█	█		█	█													
Odber 1ks hlavice zo stroju												█	█		█	█						
Odloženie 2ks hlavíc do bedny																				█	█	
Otočenie ot. stolu										█	█											
Strojný prac. cyklus													█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Variant 2

Použitím dvoch robotov s rozdelenými činnosťami a tiež kompaktnejším návrhom pracoviska je možné výrazne znížiť čas cyklu. Zistená približná hodnota času cyklu výroby 2ks hlavíc je 5,5s (Tab. 5). Automatizáciou prívodu a odvodu prepraviek z RP bolo tiež dosiahnuté výraznej časovej úspory. Hodnota času cyklu je výrazne nižšia ako požadovaný čas taktu pre vyrobenie 2ks termostatických hlavíc. Aj v prípade zvýšenia požiadaviek zákazníka na výrobu výrazne vyššieho počtu kusov za deň by malo RP dostatočnú výrobnú kapacitu na to, aby bolo možné požiadavkám vyhovieť.

Tab 5) Ganttov diagram času cyklu pre variant 2

Operácia / čas [s]	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
Pohyb robot R1	█	█									
Odber 2ks hlavíc z bedny			█	█							
Založenie 1ks hlavice do stroju					█	█	█	█		█	█
Pohyb robot R2	█	█									
Odber 1ks hlavice zo stroju			█	█		█	█				
Odloženie 2ks hlavíc do bedny										█	█
Otočenie ot. stolu	█	█									
Strojný prac. cyklus			█	█	█	█	█	█	█	█	█

Variant 3

Posledný variant dosahuje časovú úsporu, rovnako ako druhý variant, automatizáciou prívodu a odvodu prepraviek z RP. V porovnaní s prvým variantom nie je potrebné, aby robot manipuloval s prepravkami ani aby menil koncové efektoary. V porovnaní s druhým variantom však vykazuje slabinu v použití jedného robotu, ktorý zastáva funkciu zakladania aj vykladania hlavíc do, resp. zo stroja. Následkom toho je, že celkový čas, potrebný na výrobu 2ks hlavíc je, rovnako ako v prvom variante, približne 10,5s (Tab. 4). Pre 1ks hlavice je to teda 5,25s. Čas potrebný na výmenu prepravky je však nižší ako v prvom variante, preto je možné túto hodnotu považovať za čas cyklu tohto variantu. Tento čas cyklu je vyšší ako čas cyklu pôvodného kalibračného pracoviska, no stále je pod limitom času taktu, takže požiadavka zákazníka bude

splnená. Dôležitým prínosom je, že môžu byť denne ušetrené až dve zmeny ľudskej obsluhy, čo prinesie nemalé finančné úspory pre firmu.

6.5 Zhodnotenie navrhnutých variant pracoviska

Pri výbere najlepšieho riešenia z niekoľkých navrhovaných variant RP je vhodné postupovať na základe systematických a racionálnych metód. Použitím jednej z metód multikriteriálneho hodnotenia je možné súhrnne vyjadriť technicko-ekonomickú úroveň jednotlivých variant a určiť poradie ich výhodnosti. Jednou z metód je bázická bodovacia metóda, v ktorej sa jednotlivé varianty porovnávajú so vzorovým riešením, resp. bázou. Hodnotenie variant prebieha po technickej (τ) aj ekonomickej (ε) stránke, pričom výsledok sa umiestňuje do roviny hodnotiaceho diagramu. [67]

Podstatu metódy a postup pri jej aplikácii je možné uviesť v nasledujúcich bodoch [67]:

- Najskôr je nutné vybrať reprezentatívne parametre, resp. vlastnosti, ktorých je zvyčajne niekoľko. Počet parametrov by mal byť obmedzený na podstatné a spoľahlivo zistiteľné. Parametre sa označia ako T_1, T_2, \dots, T_n , kde n je počet hodnotených parametrov.
- Následne sa stanoví bodovacia stupnica, ktorá hodnotí buď kvalitatívne alebo kvantitatívne hodnoty parametrov. Rozsah stupnice je ľubovoľný, tj. t (1,...j), ale doporučený rozsah je napríklad t (1,6), kde:

$t_1 = 1 =$ nevyhovujúci

$t_2 = 2 =$ veľmi slabé

$t_3 = 3 =$ vyhovujúci

$t_4 = 4 =$ dobré

$t_5 = 5 =$ veľmi dobré

$t_6 = 6 =$ výborné (tj. vzorové, ideálne)

- Hodnotenú parametre je možné vyjadriť aj percentuálne:

$$p_\tau = \frac{100}{t_j} [\%] \quad (5)$$

- Určí sa významnosť, resp. váha parametrov. Každý parameter je ohodnotený podľa dôležitosti koeficientom g_n , pre ktorý platí:

$$0 \leq g_n \leq 1 \quad (6)$$

- Technický stav hodnotenej varianty je podľa rôznych hľadísk nasledovný:

$$(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n) = (g_1 \cdot t_1, g_2 \cdot t_2, \dots, g_n \cdot t_n) \quad (7)$$

- Konečná technická hodnota varianty je vyjadrená nasledovne:

$$\tau = \frac{\sum_{j=1}^n (g_j \cdot t_j)}{\sum_{j=1}^n (g_j \cdot t_{\max})} = \frac{g_1 \cdot t_1 + g_2 \cdot t_2 + \dots + g_n \cdot t_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \cdot t_{\max}} \leq 1 \quad (8)$$

Technická hodnota ideálnej varianty je 1, resp. 100%.

Aplikováním vyššie popísaného postupu je výstupom tabuľka (Tab. 6) hodnotenia technických parametrov, v ktorej sú uvedené rozhodujúce technické faktory.

Tab 6) Technické zhodnotenie navrhovaných variant RP

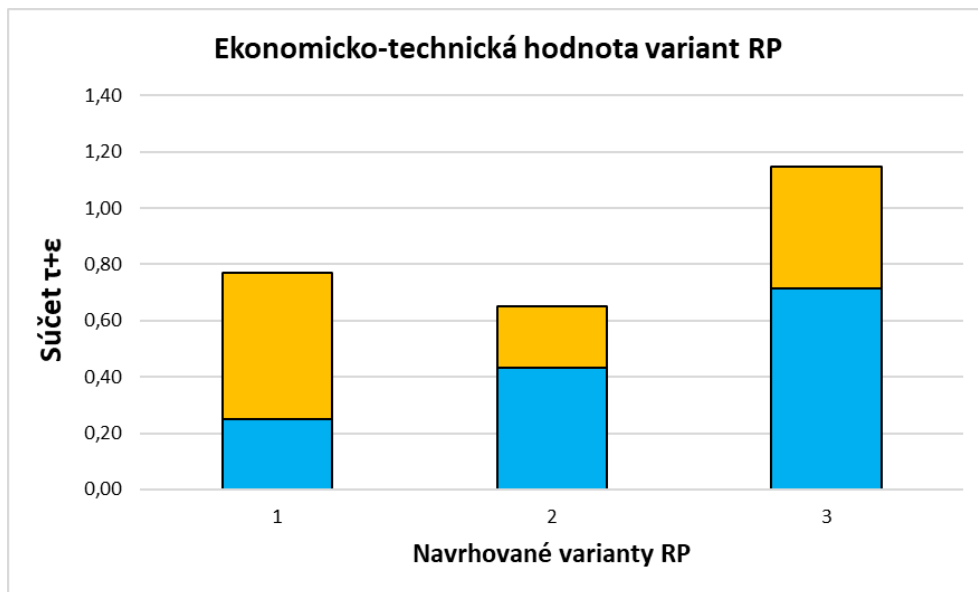
Ozn.	Parameter	Variant 1				Variant 2				Variant 3			
		t_n	g_n	p_τ	τ_n	t_n	g_n	p_τ	τ_n	t_n	g_n	p_τ	τ_n
T ₁	Jednoduchý prístup k pracovnému priestoru obsluhy	2	0,9	50	1,8	2	0,9	50	1,8	6	0,9	16,7	5,4
T ₂	Nízky čas cyklu	2	0,8	50	1,6	6	0,8	16,7	4,8	3	0,8	33,3	2,4
T ₃	Malá zástavbová plocha RP	1	0,5	100	0,5	6	0,5	16,7	3	6	0,5	16,7	3
T ₄	Jednoduché programovanie	4	0,2	25	0,8	1	0,2	100	0,2	4	0,2	25,0	0,8
T ₅	Jednoduchá konštrukcia	4	0,5	25	2	2	0,5	50	1	4	0,5	25,0	2
Technická hodnota τ		0,25				0,43				0,72			

Ekonomické zhodnotenie navrhovaných variant zahŕňa hrubý odhad celkových obstarávacích nákladov na stavbu RP, prevádzkové náklady a servisné náklady (Tab. 7). Druhý variant obsahuje v porovnaní s ostatnými variantmi ďalšieho priemyslového robota, čo výrazne zvyšuje počiatkové náklady na pracovisko, keďže náklady na jedného priemyslového robota sa pohybujú na úrovni 30 000€. Druhý variant by mal zmysel vtedy, ak by sa výrazne zvýšili požiadavky zákazníka na výrobnosť a teda požadovaný čas taktu by bol výrazne nižší.

Tab 7) Ekonomické zhodnotenie navrhovaných variant RP

Ozn.	Parameter	Variant 1				Variant 2				Variant 3			
		t_n	g_n	p_τ	τ_n	t_n	g_n	p_τ	τ_n	t_n	g_n	p_τ	τ_n
T ₁	Nízke obstarávacie náklady	5	0,9	20	4,5	2	0,9	50	1,8	4	0,9	25,0	3,6
T ₂	Nízke prevádzkové náklady	3	0,3	33,3	0,9	2	0,3	50	0,6	3	0,3	33,3	0,9
T ₃	Nízke servisné náklady	4	0,3	25	1,2	2	0,3	50	0,6	4	0,3	25,0	1,2
Ekonomická hodnota ϵ		0,52				0,22				0,43			

Výsledkom súčtu technických a ekonomických hodnôt jednotlivých návrhov RP je graf (Obr. 46). Z neho vyplýva, že variant 3 je najlepší a bude podrobnejšie vypracovaný. Technická hodnota je znázornená modrou farbou, a ekonomická oranžovou.



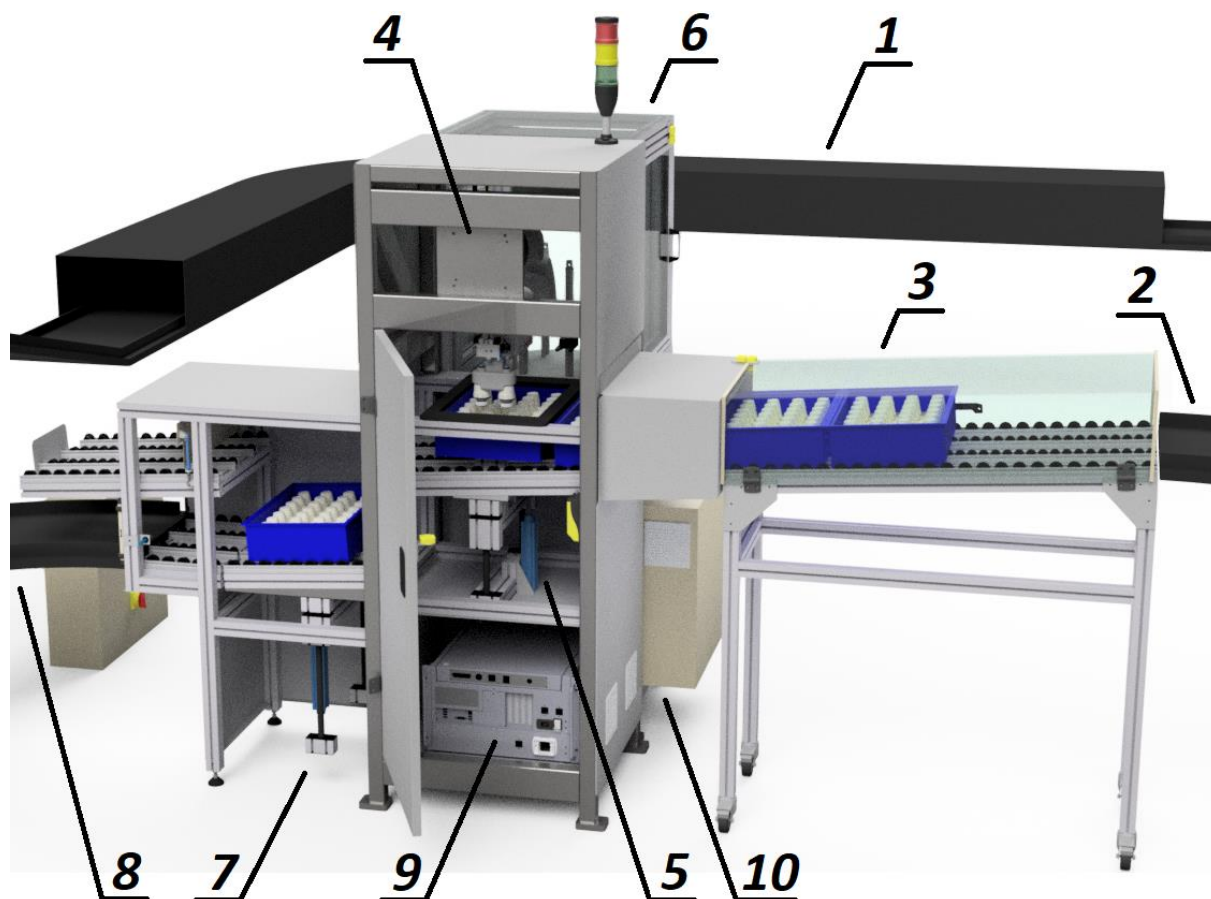
Obr. 46) Graf vyhodnotenia technicko-ekonomickej hodnoty navrhovaných variant RP

7 NÁVRH KOMPONENTOV RP

7.1 Popis navrhnutého pracoviska

Automatický režim

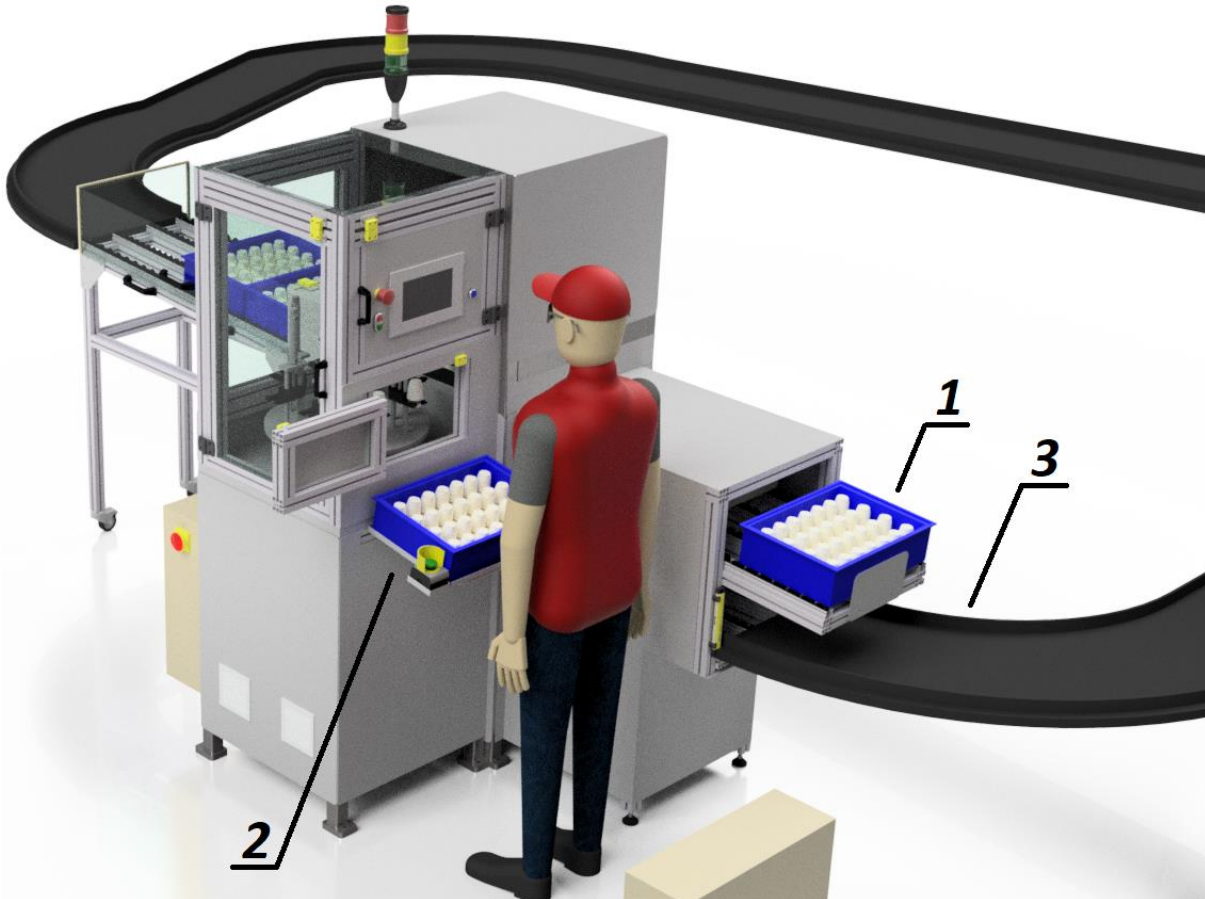
Model RP so všetkými podstatnými časťami je zobrazený na obrázku (Obr. 47). Niektoré kryty RP nie sú zobrazené pre lepšiu názornosť. Materiál k RP prichádza cez klimatizovanú komoru (1) a sústavu vstupných dopravníkov (2) a vstupný presuvný dopravník (3) k priemyslovému robotu, ktorý je pripevnený na zváranom ráme (4). Prepravka je pomocou pneumatického výťahu upevnená do referenčnej polohy pre robotické zakladanie (5). Robot následne zakladá termostatické hlavice do kalibračného stroju (6). Po dokončení kalibrácie je prepravka uvoľnená a pomocou pneumatického výťahu (7) je znesená na výškovú úroveň výstupného dopravníku (8). Akumuláciu prepraviek zabezpečujú zastavovacie valce. Riadiaci systém robotu (9) je vhodne umiestnený do priestoru rámu robotu. Riadiaci systém PLC a potrebné elektronické zariadenia sú umiestnené v rozvádzači (10).



Obr. 47) Model navrhnutého RP a jeho základné časti – automatický režim. Niektoré pevné ochranné kryty sú skryté pre názornosť.

Manuálny režim

Pri potrebe manuálneho zakladania termostatických hlavíc obsluhou do kalibračného stroju nie sú robot a pneumatické výt'ahy v prevádzke a prepravky prejdú cez RP až k miestu výstupného dopravníku pre manuálne vyzdvihnutie prepravky (1) (Obr. 48). Odtiaľ si obsluha prepravku položí na odkladaciu plochu (2) pred kalibračný stroj a následne zakladá hlavice do zakladacích držiakov stroju. Pracovný cyklus sa spúšťa obojručným ovládaním. Hotovú prepravku obsluha položí na výstupný dopravník (3).



Obr. 48) Model navrhnutého RP a jeho základné časti – manuálny režim

7.2 Typ priemyselného robotu

Z návrhu rozloženia pracoviska tretieho variantu vyplynulo, že najvhodnejšie bude použiť šesťosí priemyselný robot s horizontálnym dosahom v rozmedzí 500-600 mm a možnosťou upevnenia na vertikálnu stenu s prvou osou robota v horizontálnej polohe.

Priemyselný robot by mal mať nízku hmotnosť, kompaktnú konštrukciu a tiež dostatočnú nosnosť na to, aby uniesol všetky časti koncového efektoru a manipulované diely. Pre skrátenie času cyklu je nutné, aby manipuloval s dvoma hlavicami naraz. V kap. 7.3 je popísaný návrh podtlakového koncového efektoru. Telo efektoru, ku ktorému budú pripevnené všetky pneumatické prvky, bude vyrobené pomocou technológie 3D tlače, a jeho hmotnosť bude teda nízka. Hmotnosti termostatických hlavíc sú uvedené v tabuľke (Tab. 1). Postačujúci bude teda robot s nosnosťou na úrovni 3kg.

Požiadavky spĺňa hneď niekoľko typov robotov na trhu od výrobcov napríklad Yaskawa, Fanuc, Stäubli, Kuka, Comau, Kawasaki, Denso, alebo Epson.

Pre potreby diplomovej práce bol vybraný robot od firmy Kuka, s typovým označením KR 3 R540. Tento robot je ideálny pre použitie do kompaktného pracoviska, v ktorom je manipulované s ľahkými dielmi. Parametre robotu sú obsiahnuté v tabuľke (Tab. 8), vrátane tabuľky pracovného rozsahu jednotlivých osí (Tab. 9).

Tab 8) Parametre robotu Kuka KR 3 R540 [68]

Počet osí	Horizontálny dosah [mm]	Nosnosť [kg]	Váha [kg]	Opakovateľnosť polohy [mm]	Rozmery základne [mm]	Typ kontroleru
6	541	3	26,5	± 0.02	179x179	KR C4 compact

Tab 9) Pracovný rozsah jednotlivých osí robotu [68]

Os	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Rozsah	±170 °	-170 ° / 50 °	-110 ° / 155 °	±175 °	±120 °	±350 °

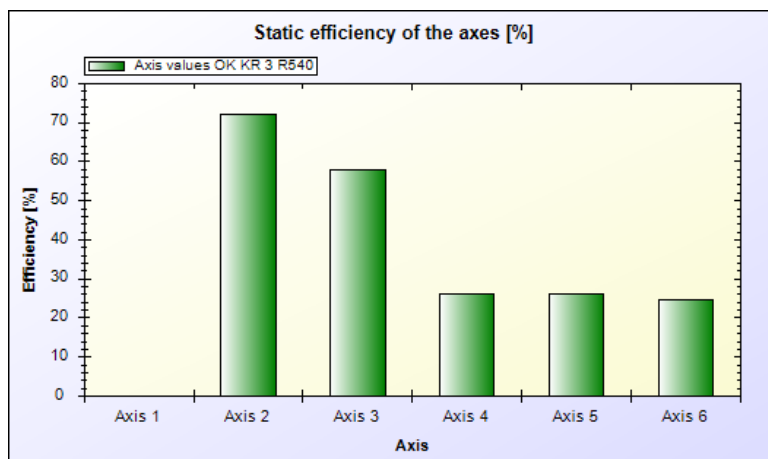
Vybraný priemyslový robot má tiež integrovaný prívod stlačeného vzduchu. Cena za jedného robota sa pohybuje na úrovni 25 000 – 35 000 €. Výrobca má zastúpenie v Českej republike, ponúka dobrú dostupnosť servisu v krátkej dobe v prípade poruchy, a tiež dodávku náhradných dielov do 48h.

S výberom robotu úzko súvisí aj návrh koncového efektoru (kap. 7.3). Celková hmotnosť navrhnutého podtlakového koncového efektoru, zistená z programu Autodesk Inventor a z katalógov Festo, je 991,4g vrátane 2ks termostatických hlavíc.

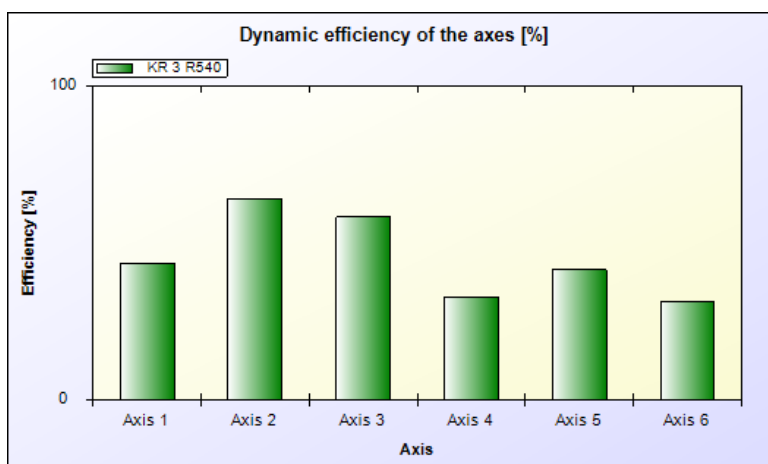
Pomocou programu Kuka Load bolo overené, či je robot vyhovujúci z hľadiska zaťaženia jednotlivých osí, a to statického aj dynamického. Vstupné hodnoty zadávané do programu sú hmotnosť koncového efektoru, vzdialenosť ťažiska koncového efektoru od stredu príruby robotu, momenty zotrvačnosti záťaže vzhľadom k jednotlivým osám (Obr. 49). Hodnoty boli získané z modelu v programe Autodesk Inventor. Výstupom je percentuálne zaťaženie jednotlivých osí zo statického (Obr. 50) aj dynamického hľadiska (Obr. 51).



Obr. 49) a) výsledky analýzy zaťaženia robotu a vstupné údaje, b) zaťaženie príruby robotu



Obr. 50) Statické zaťaženie jednotlivých osí robotu



Obr. 51) Dynamické zaťaženie jednotlivých osí robotu

Z výsledkov získaných programom Kuka Load vyplýva, že robot je pri daných parametroch pre danú aplikáciu vyhovujúci.

7.3 Koncový efektor

S prihliadnutím na typ manipulovaného objektu môže byť využitý len mechanický alebo podtlakový koncový efektor. Manipulovaný diel je termostatická hlavica s plastovým telom a nízkou hmotnosťou. Pre skrátenie času cyklu je vhodné, aby bolo manipulované s dvomi hlavicami naraz. Dvojité mechanický koncový efektor by bol nielenže drahý, ale jeho použitie by značne navýšilo aj čas cyklu kvôli dlhším manipulačným časom.

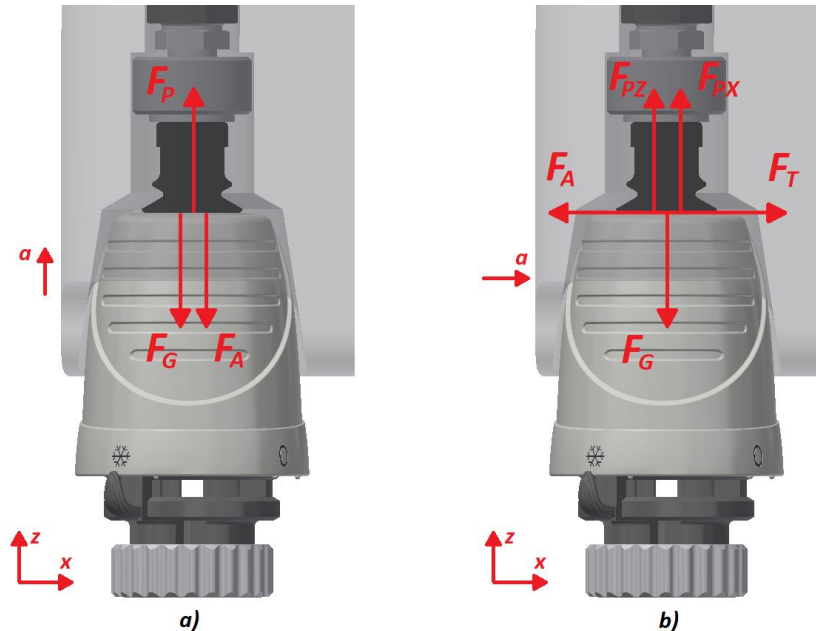
Vzhľadom na fakt, že vrchná plocha termostatickej hlavice je mierne zaoblená, hladká a dostatočne veľká, je ideálnym riešením použiť podtlakový koncový efektor, a teda uchopovať hlavice pomocou prísaviek. Toto riešenie je lacnejšie a čas cyklu bude omnoho nižší ako pri použití mechanického koncového efektora.

Na pracovisku sa už nachádza prípojka stlačeného vzduchu s tlakom $6bar$, na ktorú budú napojené všetky pneumatické prvky pracoviska, vrátane prvkov koncového efektora. Preferovaný dodávateľ prvkov pneumatického obvodu je firma Festo.

Návrh začína výberom prísavky a výpočtom potrebnej prídržnej sily. Východiskovými parametrami sú hmotnosť manipulovaného predmetu, charakter povrchu manipulovaného

objektu a jeho kvalita (materiál, členitosť, pórovitosť, atď.), spôsob uchopenia objektu (vodorovne, zvisle), a tiež spôsob manipulácie s objektom (pohyb v jednotlivých osách).

Hmotnosť termostatických hlavíc je uvedená v tabuľke (Tab. 1). Pohyby robotu budú naprogramované tak, aby bola termostatická hlavica po celý čas manipulácie vo vertikálnej polohe. Prídržná sila sa teda počíta pre zdvih v ose Z a pre presun objektu (os X a Y) (Obr. 52).



Obr. 52) Znáozornenie pôsobiacich síl pri manipulácii s hlavicou. a) zdvih hlavice (os Z), b) presun hlavice v ose X

Pri navrhovaní prísavky je nutné vziať do úvahy núdzové zastavenie robotu. Pri ňom vzniká niekoľkonásobné preťaženie (spomalenie), ktoré je taktiež potrebné zahrnúť pri výpočte, aby manipulovaný predmet nevyšiel z úchopu. Hodnota akcelerácie systému, resp. TCP bodu efektoru, je uvažovaná $a = 28m \cdot s^{-2}$. Keďže firma Kuka pri svojich typoch robotov neuvádza konkrétne hodnoty akcelerácie, hodnota bola použitá z katalógu firmy ABB, a to konkrétne z robotu s označením IRB 120, ktorý je parametrami podobný robotu Kuka KR3 R540. [69]

Pri zdvíhaní pôsobia na manipulovaný predmet sily, ktorých pôsobisko je v ose prísavky (Obr. 52a). Výpočet vychádza z Newtonových zákonov:

$$\sum F_z = 0$$

$$\vec{F}_A + \vec{F}_G + \vec{F}_p = 0$$

$$F_p - F_G - F_A = 0$$

$$F_p - m \cdot g - m \cdot a = 0$$

$$F_p = m \cdot (g + a) \tag{9}$$

$$F_p = 0,15 \cdot (9,81 + 28) = 5,67 \text{ N}$$

Výrobcovia prísaviek pri výpočtoch prídržnej sily odporúčajú použiť koeficient bezpečnosti, a teda aj s koeficientom je potrebná prídržná sila pri zdvíhaní predmetu:

$$F_{p1} = F_p \cdot S \tag{10}$$

$$F_{p1} = 5,67 \cdot 2 = 11,34N$$

Pri vodorovnom pohybe koncového efektoru (Obr. 52b) je prídržná sila daná súčtom síl F_{PX} a F_{PZ} . Sila F_{PX} je normálová zložka trecej sily F_T , ktorá pomocou šmykového trenia bráni pohybu súčasti v smere osy X. Sila F_{PZ} je sila potrebná k prekonaniu tiažovej sily F_G v ose Z. Koeficient trenia je volený z katalógu Festo pre kovové, drevené, sklenené a plastové povrchy $\mu = 0,5$.

$$\sum F_x = 0$$

$$\vec{F}_A + \vec{F}_T = 0$$

$$-F_A + F_T = 0$$

$$-m \cdot a + F_{PX} \cdot \mu = 0$$

$$F_{PX} = \frac{m \cdot a}{\mu} \quad (11)$$

$$F_{PX} = \frac{0,15 \cdot 28}{0,5} = 8,4N$$

$$\sum F_z = 0$$

$$\vec{F}_G + \vec{F}_{PZ} = 0$$

$$-F_G + F_{PZ} = 0$$

$$-(m \cdot g) + F_{PZ} = 0$$

$$F_{PZ} = m \cdot g \quad (12)$$

$$F_{PZ} = 0,15 \cdot 9,81 = 1,47N$$

Celková prídržná sila pre prípad b) je teda:

$$F_{p2} = (F_{PX} + F_{PZ}) \cdot S \quad (13)$$

$$F_{p2} = (8,4 + 1,47) \cdot 2 = 19,74N$$

Kde: F_p - prídržná sila prísavky [N] m - hmotnosť hlavice [kg]

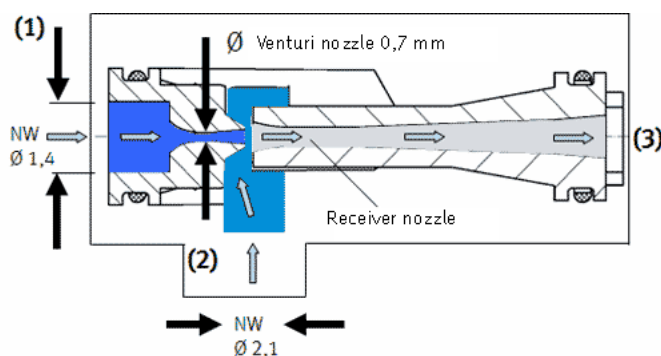
F_G - tiažová sila [N] S - bezpečnostný faktor [-]

F_A - reakčná sila od zrýchlenia [N] μ - súčiniteľ trenia [-]

g - gravitačné zrýchlenie [$m \cdot s^{-2}$] a - zrýchlenie robota [$m \cdot s^{-2}$]

Z katalógu Festo je zvolená hlboká prísavka s priemerom 30mm. Maximálna prídržná sila tejto prísavky je 37,2N. Za prísavku je zaradený držiak prísavky s kontramaticou, pomocou ktorého sa prísavka upevní na plastové telo koncového efektoru.

Ako zdroj vakuu bol zvolený vákuový ejektor, ktorý pracuje na princípe Venturiho trubice (Obr. 53).



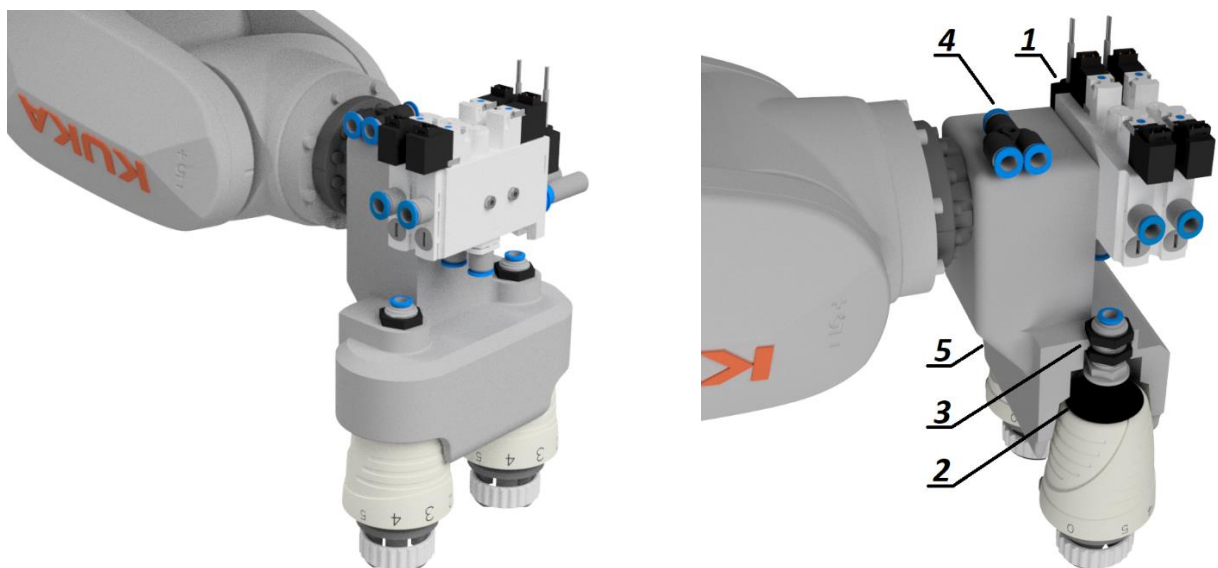
Obr. 53) Princíp funkcie vákuového ejektoru [70]

Stlačený vzduch je privádzaný vstupom 1 do ejektoru (Obr. 53). V mieste označenom číslom 2 je zúženie, ktoré zvýši rýchlosť prúdenia vzduchu až na úroveň nadzvukovej rýchlosti. Po výstupe z trysky prúdi vzduch do výstupného otvoru 3, kde je zaradený tlmič hluku. Súčasne sa v komore 2 vytvára vákuum a vzduch z otvoru pripojenia vákuua je odsávaný a prúdi do okolitého prostredia cez otvor 3.[1], [70]

Pre zabezpečenie krátkeho času cyklu je nutné, aby bol čas potrebný pre vytvorenie žiadanej hodnoty vákuua čo najmenší. Preto je vhodné umiestňovať ejektor v blízkosti koncového efektoru, resp. prísaviek.

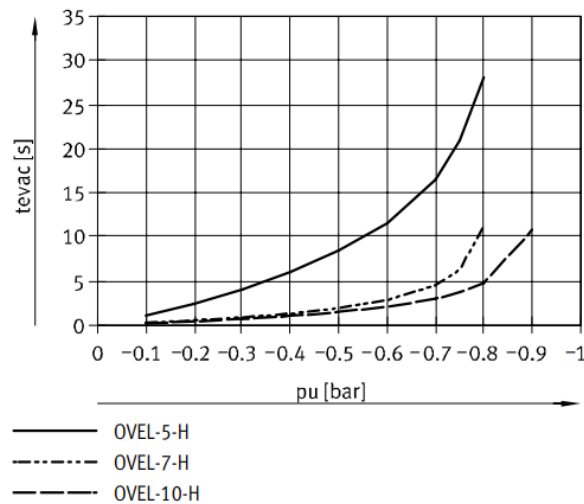
Z katalógu bol zvolený kompaktný ejektor s integrovanými prvkami ako elektromagnetické ventily pre ovládanie tvorby vákuua a tiež výfuku, tlmičom hluku, vákuovým senzorom, filtrom. V obvode sú použité dva ejektory, resp. ventily, pretože vytváranie podtlaku musí byť ovládané pre každú prísavku zvlášť. Robot má integrovaný prívod stlačeného vzduchu, prípojka je v blízkosti príruby robotu.

Navrhnutý koncový efektor je znázornený na obrázku (Obr. 54). Z katalógu firmy Festo boli vybrané potrebné komponenty na zostavenie pneumatického obvodu, konkrétne vákuový ejektor (1), prísavka (2), držiak prísavky (3), Y spojka (4) a hadice (Obr.54b). Podľa výkresu pripojovacej príruby robotu bolo navrhnuté plastové telo koncového efektoru (5), ktoré zároveň slúži ako držiak navrhnutých pneumatických komponentov. Plastové telo bude vyrobené technológiou 3D tlače, z materiálu PLA alebo ABS. Na pripojovaciu prírubu bude pripevnené skrutkami.



Obr. 54) a) celkový pohľad na zostavu, b) časti koncového efektoru

K presnejšiemu určeniu času cyklu je vhodné vypočítať čas, za ktorý sa vytvorí požadovaná hodnota vákuua v pneumatickom obvode. Požadovaná hodnota vákuua je 60% z atmosférického tlaku $101\,325\text{Pa}$, čiže približne 60 kPa . Graf (Obr. 55) zobrazuje čas potrebný na vysatie vzduchu s objemom jedného litru v závislosti na hodnote vákuua pre zvolený ejektor. Komponenty podtlakového koncového efektoru z katalógu firmy Festo sú uvedené v tabuľke (Tab.10).



Obr. 55) Doba odsatia jedného litru vzduchu v závislosti na hodnote vákua p_u a type ejektoru [71]

Tab 10) Komponenty pneumatického obvodu koncového ejektoru

Názov dielu	Katalógové číslo Festo	Objem [cm ³]	Označenie
Hadica (R-Y)	PUN-6x1-BL	8,478	V1
Y spojka	QSMY-6	1,35	V2
Hadica (Y-E)	PUN-6x1-BL	1,413	V3
Ejektor	OVEL-10-H-15-PQ-VQ6-UA-C-A-B2V-H3	-	V4
Hadica (E-P)	PUN-6x1-BL	1,413	V5
Prísavka	ESG-20-BN-HA-QS-F	2,319	V6
Držiak prísavky	ESH-HA-4-QS	0,719	V7

Celkový objem vzduchu v sústave (viď Tab. 10) s jedným ejektorom (do celkového objemu sa počítajú len tie objemy, ktoré sú za ejektorom) [72]:

$$V_T = V_5 + V_6 + V_7 = 1,413 + 2,319 + 0,719 = 4,451 \text{ cm}^3 \quad (14)$$

Doba odsatia objemu vzduchu V_T [72]:

$$t_T = V_T \cdot \frac{t_{10HT}}{1000} \quad (15)$$

$$t_T = 4,451 \cdot \frac{3}{1000} = 13,3 \text{ ms}$$

Doba, za ktorú sa obvod naplní vzduchom s prevádzkovým tlakom a dôjde k pusteniu manipulovaného predmetu [72]:

$$t_R = V_T \cdot \frac{t_{10HR}}{1000} \quad (16)$$

$$t_R = 4,451 \cdot \frac{1}{1000} = 4,45 \text{ ms}$$

Kde: V_T - celkový objem pneumatického obvodu za ejektorom [cm³]

t_T - doba odsatia objemu V_T [s]

t_{10HT} - doba odsatia jedného litru vzduchu k dosiahnutiu 60% vákua pomocou ejektoru OVEL-10-H (vid' Obr. 55) [s]

t_R - doba potrebná k nasatiu objemu vzduchu V_T a pusteniu predmetu [s]

t_{10HR} - čas zavzdušnenia systému po predchádzajúcom odsatí vzduchu (hodnota získaná z katalógového listu pre konkrétny ejektor) [s]

Celkový čas cyklu sa určí sčítaním časov t_T , t_R a času manipulácie s predmetom, ktorý sa zistí pomocou simulácie.

7.4 Prepravka a blister na uloženie hlavíc

Voľba prepraviek vychádza z činnej šírky dopravníku, ktorá je 470mm. Po prieskume trhu bol zvolený výrobca SSI SCHÄFER, konkrétne typ prepraviek 14/6-2 H. Vonkajšie rozmery sú šírka: 314mm, výška: 120mm a hĺbka: 465mm.

Na dno prepravky bude vložený plastový blister, ktorý môže byť vyrobený napríklad z materiálov PLA alebo ABS technológiou 3D tlače, alebo aj odlievaním plastov do formy. Do vybranej prepravky sa zmestí 28 termostatických hlavíc a plastový blister je potrebné vytvárať podľa spodnej časti hlavíc, aby pri preprave pevne držali na danom mieste. Návrh blistru je na obrázku (Obr. 56) a s ním úzko súvisí návrh koncového efektoru.



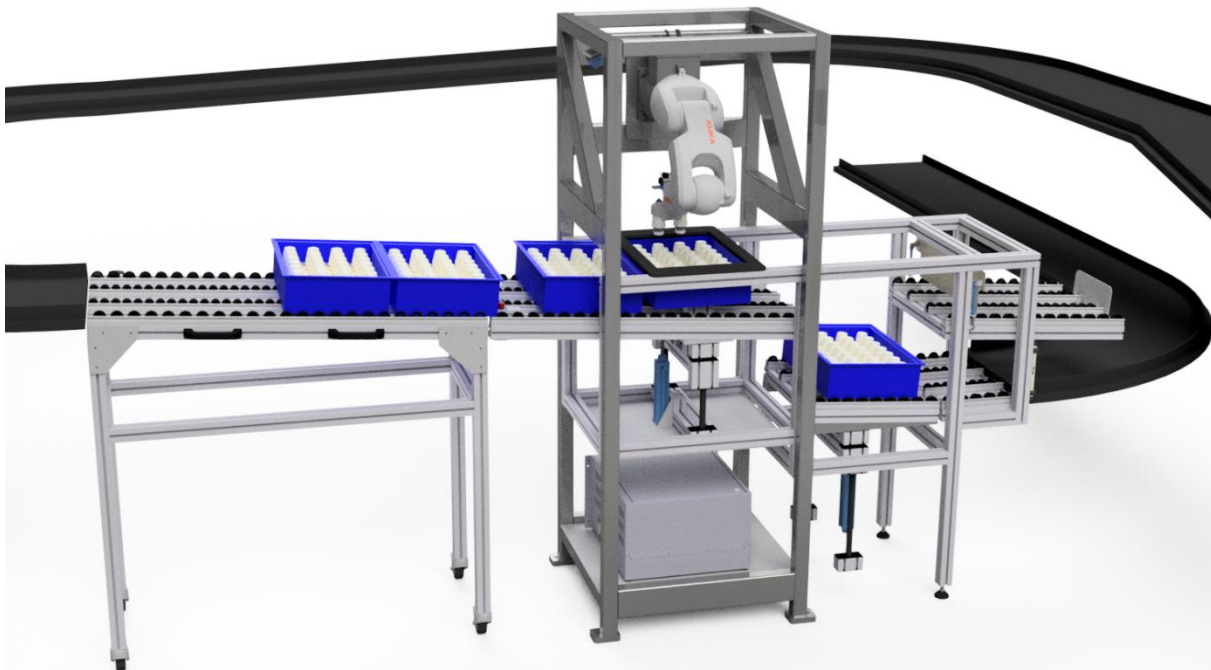
Obr. 56) Prepravka s navrhnutým plastovým blistrom a hlavícami

7.5 Rámová konštrukcia a uloženie robotu

Pre návrh rámovej konštrukcie RP boli využité stavebnicové prvky od dodávateľa Alutec KK. Návrh vychádza z rozmerov a umiestnenia vstupného a výstupného dopravníku, medzi ktoré je vhodne umiestnený dopravníkový systém, pozostávajúci z gravitačných valčekových sklzov s uhlom sklonu 4°. Jednotlivé valčekové trate sú pripevnené na rámovú konštrukciu z hliníkových profilov s rozmerom 45x45mm (Obr. 57). Časť valčekovej trate je umiestnená na samostatnej konštrukcii, pohyblivej na pojazdrových kolieskach, kvôli umožneniu prístupu do zadnej časti RP. Konštrukcia je zostavená s ohľadom na pripojenie ďalších pomocných zariadení, ako pneumatického výtahu na presun prepravky do referenčnej polohy a na presun prepravky na výstupný dopravník, pneumatických zarážok na zastavenie a akumuláciu

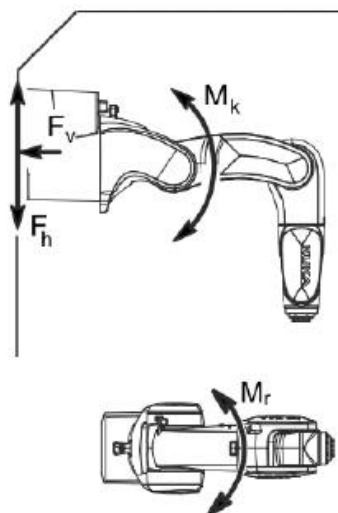
prepraviek, a tiež senzorov. Hliníková konštrukcia je pripevnená k ocelevej zvaranej konštrukcii, na ktorej je pripevnený robot.

Robot je zavesený s prvou osou vo vodorovnej polohe na zvaranej ocelevej konštrukcii, vytvorenej z oceleových jákl profilov z oceli S235JR s rozmerom 50x50x3mm a výstužami s rozmerom 100x50x3mm. Podstava robotu je pripevnená štyrmi skrutkami na platňu, ktorá je zvarená s dvomi výstužami. Celá konštrukcia je postavená na pätkách, cez ktoré sa celok ukotví kotviacimi skrutkami do betónového základu.



Obr. 57) Rámová konštrukcia RP a zvaraný rám robotu

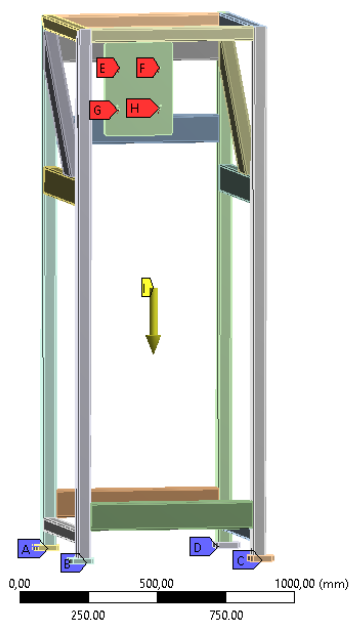
Oceleová konštrukcia by mala byť dostatočne pevná a tuhá aby nedochádzalo k jej deformáciám, čo by mohlo spôsobiť napríklad nepresnosti pri uchopovaní a zakladaní manipulovaných dielov, v horšom prípade poškodenie niektorých častí RP alebo zranenie obsluhy. Preto bola vytvorená statická analýza rámu v softvéri Ansys. Firma Kuka uvádza v špecifikácii k robotu Kuka KR 3 R540 aj hodnoty zaťaženia základne od gravitačnej sily, zotrvačných síl a krútiacich momentov, vznikajúcich pri pohybe robotu (Obr. 58). V analýze boli využité hodnoty maximálnych síl, resp. krútiacich momentov. Robot je pripevnený k ocelevej platni cez 4 skrutky, cez ktoré sa z robotu prenáša zaťaženie na rám. Všetky hodnoty síl aj krútiacich momentov boli v softvéri Ansys zvolené na štyroch dierach pre skrutky, v každom mieste štvrtina z celkovej hodnoty sily, resp. krútiaceho momentu (Obr. 59).



Zaťaženie	Hodnota
F(v normal)	297 N
F(v max)	419 N
F(h normal)	611 N
F(h max)	797 N
M(k normal)	267 Nm
M(k max)	404 Nm
M(r normal)	96 Nm
M(r max)	165 Nm

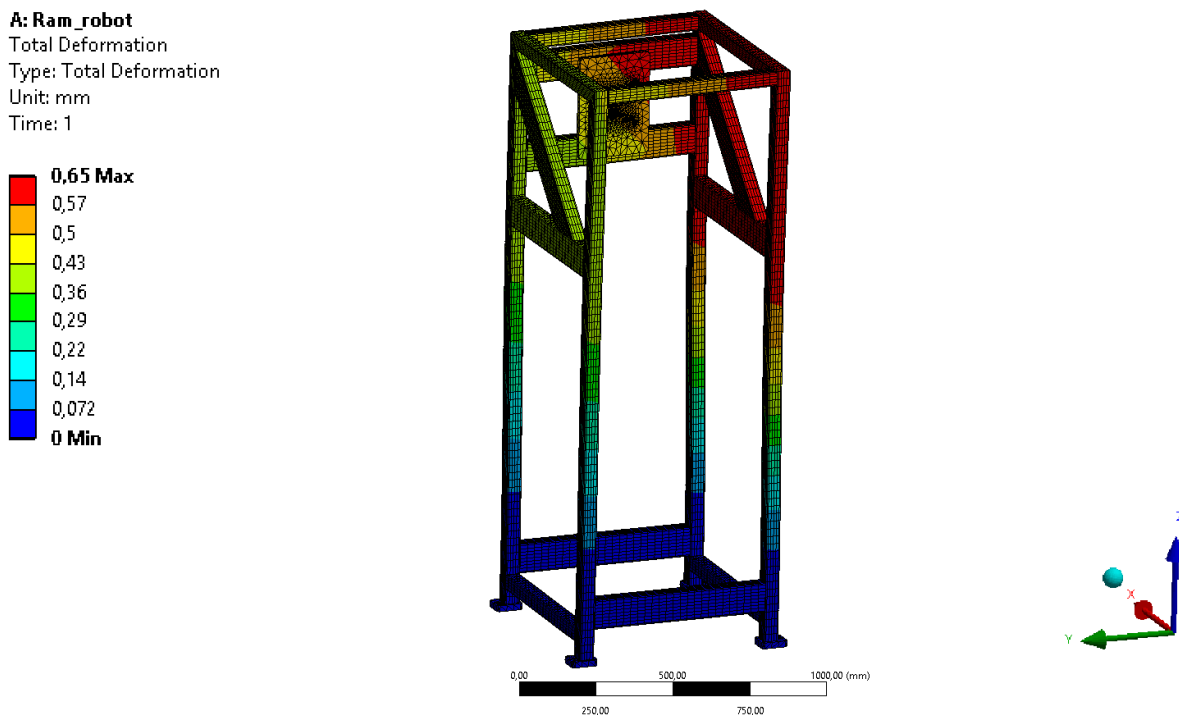
Obr. 58) Sily a momenty pôsobiace na základňu pri pohybe robotu [68]

- A: Ram_robot**
 Static Structural
 Time: 1, s
- A** Fixed Support 1
 - B** Fixed Support 2
 - C** Fixed Support 3
 - D** Fixed Support 4
 - E** Force 1: 96,602 N
Moment: 109,1 N-m
 - F** Force 2: 96,602 N
Moment: 109,1 N-m
 - G** Force 3: 96,602 N
Moment: 109,1 N-m
 - H** Force 4: 96,602 N
Moment: 109,1 N-m
 - I** Standard Earth Gravity: 9806,6 mm/s²



Obr. 59) Okrajové podmienky zadané v programe Ansys

Konštrukcia je ukotvená do základu štyrmi kotviacimi skrutkami, na ktorých mieste boli zvolené štyri pevné väzby (Obr. 59). Na obrázku sú hodnoty síl uvedené ako výslednice jednotlivých síl, resp. krútiacich momentov v príslušnom bode. Celková deformácia, resp. posunutie konštrukcie pri maximálnych hodnotách síl a krútiacich momentov je $0,65\text{mm}$. (Obr. 60).



Obr. 60) Výsledky statickej analýzy v programe Ansys

Smer síl a momentov bol zvolený pre najhorší prípad, t.j. kedy bola celková deformácia najväčšia. Pokiaľ by bol zvolený opačný smer síl a momentov, maximálna deformácia by bola na ľavej strane rámu. Maximálne napätie vzniká v mieste ukotvenia robotu pomocou skrutiek k platni, t.j. v dierach pre skrutky v ráme.

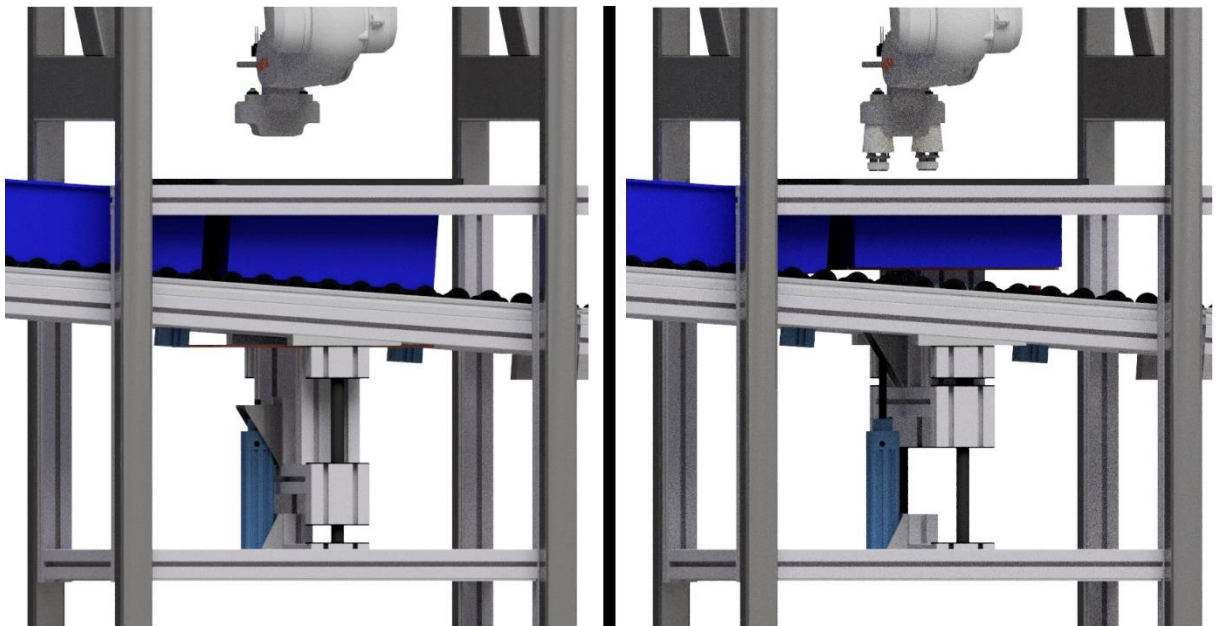
Je dôležité pripomenúť, že sily a momenty uvažované vo výpočtoch sú maximálne a pri navrhovanom RP nebudú dosahovať tak vysokých hodnôt. Pri nájazde robotu do presnej polohy napr. pre zakladanie hlavíc do držiakov kalibračného stroju, bude znížená rýchlosť pohybu robotu. Tým pádom budú sily a momenty prenášané na rám nižšie, a tiež aj celková deformácia rámu menšia, čo vo výsledku znamená presnejší nájazd robotu do stanovenej polohy.

7.6 Pneumatické prvky

V RP je využitých niekoľko pneumatických pohonov, predovšetkým pneumatické valce. Ako už bolo spomínané v predchádzajúcich kapitolách, sú využívané na akumuláciu prepraviek, a tiež na zdvih, resp. presun prepraviek na inú výškovú úroveň. V tejto kapitole je popísaný návrh týchto prvkov. Dodávateľom je firma Festo.

7.6.1 Pneumatický výťah do referenčnej polohy

Pred samotným robotickým zakladaním termostatických hlavíc do kalibračného stroju musí byť jasne stanovená poloha prepravky, resp. hlavíc. Opakovateľnosť vždy rovnakej polohy hlavíc vzhľadom k prepravke je zabezpečená plastovým blistrom, do ktorého vkladá hlavice obsluha na pracovisku výroby a montáže hlavíc. Taktiež musí byť zabezpečená opakovateľnosť polohy prepravky a hlavíc vzhľadom k robotu. To je vyriešené pomocou pneumatického výťahu do referenčnej polohy (Obr. 61). Robot bude nasledovať pevne stanovený program, v ktorom budú uložené presné pozície hlavíc.



Obr. 61) Princíp funkcie pneumatického výťahu do referenčnej polohy. a) spodná poloha, b) vrchná poloha a aretácia prepravky

Princíp funkcie je nasledovný. Prepravka s hlavicami je zastavená na presne určenom mieste zastavovacím valcom. Piestnica pneumatického valcu je cez matice a spojovací plech pevne spojená s hliníkovými profilmi, na ktoré sú upevnené dve lyžiny. Lyžiny sú pri stlačení pieste pod úroveň dopravníkovej trate. Postupným vysunutím piestnice sa zdvíhajú lyžiny a prepravka je nadvihnutá a pritlačená o doraz – oceľový výpalok. Tým je zaručená presná poloha prepravky vzhľadom k robotu a následne sa môže pristúpiť k robotickému zakladaniu. Vedenie pneumatického valcu zabezpečujú priamočiare vedenia s pohyblivou strednou časťou, na ktorú sú pripevnené už zmienené hliníkové profily s piestnicou. Zdvih lyžín, resp. pneumatického valcu, je 125mm . V drážke valcu je tiež vložený magnetický senzor na signalizáciu polohy piestu.

Výber pneumatického valcu

Z katalógu firmy Festo bol vybraný pneumatický valec so zdvihom 125mm a priemerom piestu 32mm , so zámkom v oboch koncových polohách. Označenie piestu DSBC-32-125-E1-PPVA. Výpočet teoretickej sily pneumatického valcu:

$$F_T = S \cdot p \quad [\text{N}] \quad (17)$$

Pri vysúvaní piestnice, dosadením do (17):

$$F_{T_{\text{vys}}} = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot p \quad (18)$$

$$F_{T_{\text{vys}}} = \frac{\pi \cdot 0,032^2}{4} \cdot 600000 = 483\text{N}$$

Pri zasúvaní piestnice, dosadením do (17):

$$F_{T_{\text{zas}}} = \frac{\pi \cdot (D_1^2 - d_1^2)}{4} \cdot p \quad (19)$$

$$F_{Tzas} = \frac{\pi \cdot (0,032^2 - 0,012^2)}{4} \cdot 600000 = 415 N$$

kde: S – plocha piestu [m²]
 p – tlak vzduchu vo valci (6bar) [Pa]
 D_1 – priemer piestu [m]
 d_1 – priemer piestnice [m]

Zistená celková hmotnosť komponentov, ktoré musí pneumatický valec dvíhať, je 15kg. Hodnota bola zistená v programe Autodesk Inventor. Kontrola správnosti výberu pneumatického valcu a výpočet gravitačnej sily, ktorú musí valec prekonať:

$$F_{K1} = m_{K1} \cdot g \quad (20)$$

$$F_{K1} = 15 \cdot 9,81 = 148 N$$

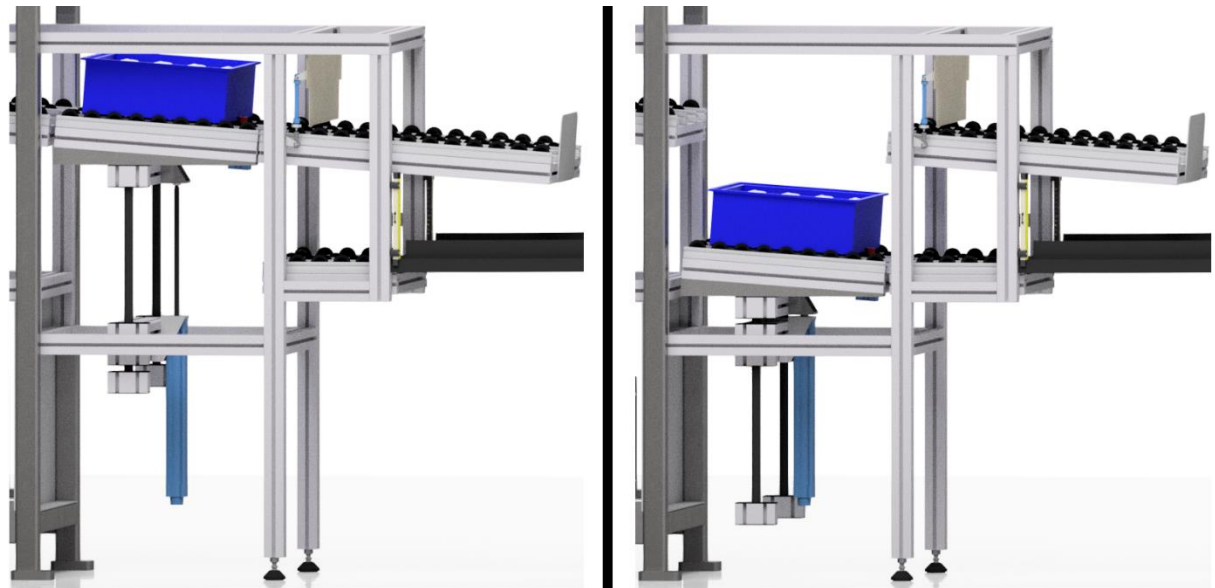
kde: m_{K1} - hmotnosť komponentov [kg]
 g - gravitačné zrýchlenie [m.s⁻²]

Piest musí prekonať aj treciu silu, vznikajúcu v priamočiariom vedení. Tá je ale relatívne malá a preto nie je zahrnutá vo výpočtoch. Celkové vyťaženie valcu je pri vysúvaní piestnice 30%, pri zasúvaní piestnice 35% z maximálnej teoretickej sily F_{Tvyss} a F_{Tzas} , a teda výber je realizovaný správne.

7.6.2 Pneumatický výt'ah na presun prepravky

Výškový rozdiel medzi vstupným a výstupným dopravníkom je značný, a to 400mm. Na prekonanie tohto rozdielu mohla byť využitá gravitácia, resp. valčekové sklzy po celej dĺžke linky. V tom prípade by bol ale sklon dopravníkov príliš veľký, a museli by byť použité mechanizmy na brzdenie rýchlosti prepraviek. Preto bol zvolený prístup, kde je časť výškového rozdielu prekonaná gravitáciou, teda valčekovou traťou s uhlom sklonu 4°, a zvyšná časť rozdielu je prekonaná pneumatickým výt'ahom.

Princíp funkcie výt'ahu je nasledovný (Obr. 62). Po dokončení kalibrácie hlavíc je hotová prepravka uvoľnená z pneumatického výt'ahu do referenčnej polohy, zastavovací valec sa zasunie, a prepravka sa vplyvom gravitačnej sily presunie po valčekovej trati k ďalšiemu pneumatickému výt'ahu. Tam je prepravka zastavená zastavovacím valcom. Piestnica pneumatického valcu je cez matice a spojovací plech pripojená k hliníkovým profilom. Profily sú pripevnené na hornú časť priamočiareho vedenia, ktoré je spojené so samostatným kusom výt'ahu valčekovej trate. Stredná časť priamočiareho vedenia je statická a je pripevnená na rám stroju. Požadovaný zdvih je 290 mm. V drážke valcu je vložený magnetický senzor na signalizáciu polohy piestu.



Obr. 62) Princíp funkcie pneumatického výťahu. a) vrchná poloha, b) spodná poloha

Výber pneumatického valcu

Z katalógu firmy Festo bol vybraný pneumatický valec so zdvihom 290mm a priemerom piestu 40mm , so zámkom v oboch koncových polohách. Označenie piestu DSBC-40-290-E1-PPVA. Hodnoty teoretickej sily pneumatického valcu pre vysúvanie a zasúvanie piestnice:

Pri vysúvaní piestnice, podľa (17):

$$F_{T_{\text{vys}2}} = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot p \quad (21)$$

$$F_{T_{\text{vys}2}} = \frac{\pi \cdot 0,040^2}{4} \cdot 600000 = 754\text{N}$$

Pri zasúvaní piestnice, podľa (17):

$$F_{T_{\text{zas}2}} = \frac{\pi \cdot (D_2^2 - d_2^2)}{4} \cdot p \quad (22)$$

$$F_{T_{\text{zas}2}} = \frac{\pi \cdot (0,040^2 - 0,016^2)}{4} \cdot 600000 = 633\text{N}$$

kde: D_2 – priemer piestu [m]

d_2 – priemer piestnice [m]

Celková hmotnosť pohyblivých komponentov, zistených z modelu v programe Autodesk Inventor je 25kg . Gravitačná sila, ktorú musí valec prekonať je teda:

$$F_{K2} = m_{K2} \cdot g \quad (23)$$

$$F_{K2} = 25 \cdot 9,81 = 246\text{N}$$

kde: m_{K2} - hmotnosť komponentov [kg]

g - gravitačné zrýchlenie [m.s⁻²]

Celkové vyťaženie valca pri vysúvaní piestnice je 33% a pri zasúvaní 39% z maximálnej teoretickej sily $F_{T_{vys}}$ a $F_{T_{zas}}$. Firma Festo odporúča pri návrhu pneumatických valcov využívať len 50% z uvedených teoretických síl, preto bol volený pneumatický valec s priemerom piestu 40mm.

7.6.3 Zastavovacie valce

Po celej dĺžke navrhutej valčekovej dráhy sa nachádzajú celkovo štyri miesta, v ktorých sú umiestnené zastavovacie valce (Obr. 63). V prvom mieste (1) sú umiestnené dva zastavovacie valce, ktoré slúžia na akumuláciu materiálu. Valce prepustia vždy jednu prepravku, ktorá je následne zastavená o druhý zastavovací valec (2). Tretí valec slúži na zastavenie prepravky pred jej zdvihnutím do referenčnej polohy (3). Štvrtý valec je umiestnený na pneumatickom výťahu (4). Po spustení výťahu je zastavovací valec stlačený a prepravka prejde na poháňaný výstupný dopravník.

Zastavovacie valce boli vybrané z katalógu Festo, konkrétne typ DFSP-20-20-S-PA s priemerom piestnu 20mm a zdvihom 20mm. Maximálna prípustná sila nárazu na vysunutú piestnicu je podľa katalógu Festo 1370N. Maximálna prípustná statická sila pôsobiaca na piestnicu je 210N. Prepraviek sa môže na dopravníku naakumulovať niekoľko, preto bude overená statická sila a počet plných prepraviek, ktoré môžu byť vo fronte bez toho, aby došlo k poškodeniu zastavovacieho valca. [73]

Pri výpočte sa vychádza z gravitačnej sily pôsobiacej na prepravku a komponenty v nej, resp. zo zložky gravitačnej sily v smere valčekovej dráhy, ktorá je pod uhlom 4° :

$$\sin \alpha = \frac{F_{Gp}}{F_G} \rightarrow F_{Gp} = F_G \cdot \sin(\alpha) \quad (24)$$

Dosadením do rovnice (24):

$$F_{Gp} = m_p \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (25)$$

$$F_{Gp} = 9,5 \cdot 9,81 \cdot \sin(4^\circ) = 6,5N$$

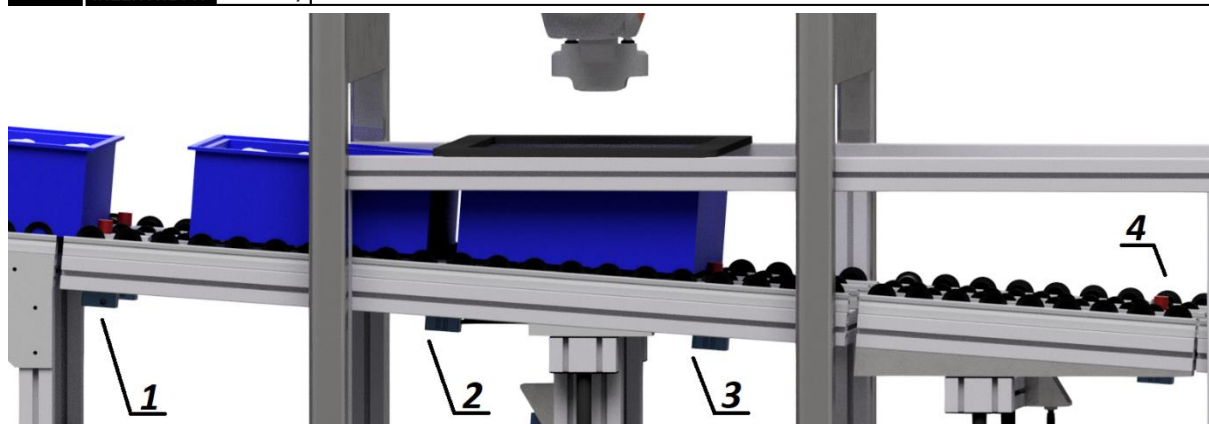
kde: m_p [kg] - hmotnosť komponentov (prepravka, 28ks hlavíc, plastový blister)

α [$^\circ$] – uhol sklonu valčekovej dráhy

F_G [N] – gravitačná sila

F_{Gp} [N] – zložka gravitačnej sily v smere valčekovej dráhy, ktorou prepravka pôsobí na zastavovací valec

Celkovo môže byť teda naakumulovaných 32 prepraviek, ktoré budú na zastavovací valec pôsobiť spoločne silou menšou je povolených 210N. Výpočet platí najmä pre miesto (1), kde sa však nachádzajú dva zastavovacie valce, a teda celkový počet prepraviek môže byť až dvojnásobný. Návrh zastavovacieho valcu je teda realizovaný správne.

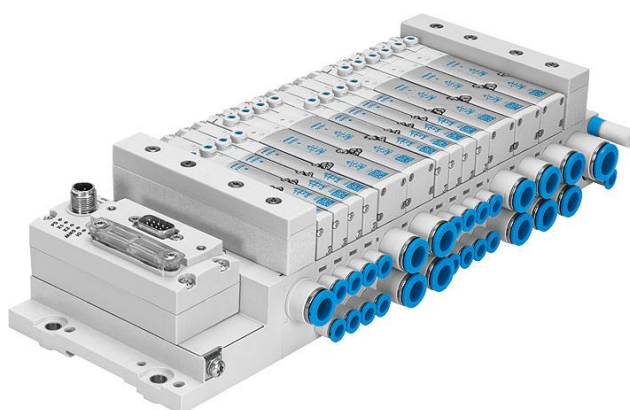


Obr. 63) Poloha zastavovacích valcov na valčekovej trati

7.6.4 Ovládanie pneumatických pohonov

Pre ovládanie pneumatických pohonov sú používané ventily. Tie môžu byť ovládané napríklad elektricky alebo pneumaticky. Najbežnejšie sa v automatizácii využívajú ventily s funkciou 3/2, 5/2 alebo 5/3 (počet ciest/počet polôh). Ventily môžu byť uložené na kompaktnej jednotke ventilového terminálu, ktorá cez integrovaný sieťový uzol komunikuje s nadradenou jednotkou PLC. Druhou možnosťou je uložiť ventily samostatne v tesnej blízkosti pneumatického pohonu, resp. pripevniť ich priamo na príslušný pohon, čoho výsledkom budú kratšie ovládacie časy. Vzhľadom na počet pneumatických pohonov v navrhovanom RP bude využitý ventilový terminál. [74]

Vybraný ventilový terminál je od firmy Festo, typ MPA-L, ktorý je variabilný a je možné ho ľubovoľne rozšíriť až na 32 pozície pre ventily. Každý pneumatický pohon použitý v konštrukcii RP bude ovládaný samostatným ventilom. Pre ovládanie pneumatických valcov budú použité ventily 3/2, resp. 5/3. Celkovo bude na termináli uložených 13 ventilov, použitých na ovládanie pohonov v celom RP, vrátane kalibračného stroju. Pri návrhu terminálu bol použitý konfigurátor Festo. Označenie navrhnutého terminálu 34P-LK-V-U13E-13G.



Obr. 64) Ventilový terminál MPA-L firmy Festo [74]

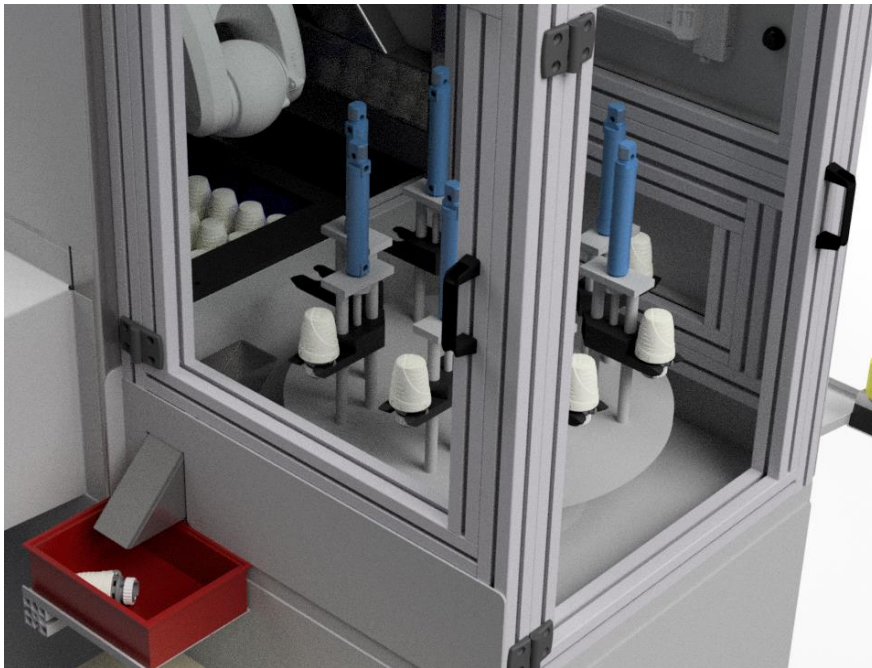
7.7 Kalibračný stroj

Kalibračný stroj bude použitý z aktuálneho stavu pracoviska. Jedná sa o jednocelový stroj, pozostávajúci z otočného stolu so štyrmi pozíciami. Na každej pozícii je dvojica zakladacích držiakov, do ktorých sa zakladajú termostatické hlavice. Zdvih držiakov je ovládaný pneumatickými piestmi. Ako už bolo spomenuté v kap. 6, stroj bude upravený tak, aby na

pozícii č. 4 prebiehalo robotické zakladanie a na pozícii č. 1 ručné zakladanie v prípade manuálneho režimu. Zvyšné pozície č.2 a č.3 sú pracovné. Otočný stôl sa po vykonaní pracovného cyklu otočí vždy o jednu pozíciu. Rám kalibračného stroju bude cez pätky ukotvený do betónového základu.

Do kalibračného stroju je integrovaný sklz, do ktorého robot vkladá zmätky. Tie následne spadnú do pripravenej prepravky (Obr. 65).

V prípade využitia ručného režimu je robot odstavený a obsluha, po otvorení dvierok na pozícii pre ručné zakladanie, zakladá termostatické hlavice do držiakov kalibračného stroju (Obr. 48).



Obr. 65) Zjednodušený model kalibračného stroju a červená prepravka na zmätky.

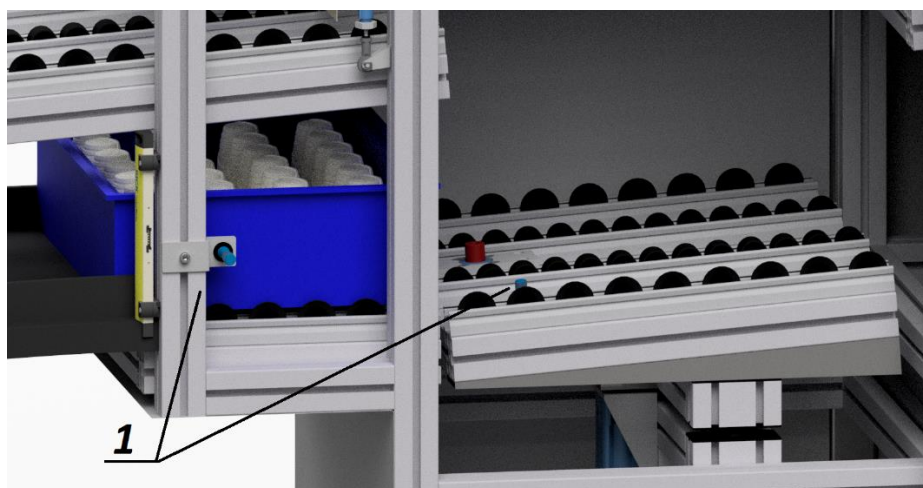
7.8 Senzory

Neoddeliteľnou súčasťou každého automatizovaného pracoviska sú senzory. V navrhovanom RP budú využité najmä na detekciu prítomnosti prepraviek v určitých miestach valčekovej trate. Senzory tiež budú využívané na signalizáciu polohy piestu pneumatických valcov. Na základe spätnej väzby zo senzorov bude riadiaci systém PLC riadiť funkcie jednotlivých zariadení RP, napríklad pneumatických výťahov a zastavovacích valcov.

Prepravky sú vyrobené z plastu, preto je možné vybrať medzi kapacitným senzorom a optickým senzorom. Zvolený bol kapacitný senzor od firmy Sick, s označením CM12-08EBP-KC1, ktorý disponuje snímacou vzdialenosťou od 0 do 8mm. Všetky senzory sú upevnené na ohýbaných plechových držiakoch, ktoré sú primontované k hliníkovému rámu linky. Umiestnené sú v blízkosti zastavovacích valcov a tiež pri výstupnom dopravníku (Obr. 66).

Na detekciu polohy piestu je zvolený magnetický senzor Festo, ktorý je upevnený v drážke pneumatických valcov. Tento senzor sníma magnetické pole permanentného magnetu, umiestneného v pieste valca a nepriamo tak detekuje polohu piestnice. Katalógové označenie senzoru je SME-8M-DS-24V-K-2.5-OE.

Logika riadenia je pre úsek na obrázku (Obr. 66) nasledovná. Po kalibrácii sa prepravka dostane na pneumatický výťah, ktorý je v hornej pozícii. Kapacitný snímač zaznamená prítomnosť prepravky a PLC dá pokyn k zasunutiu piestu na valci pneumatického výťahu. V drážke zastavovacieho valcu aj valcu výťahu je magnetický snímač, ktorý sníma polohu piestnice. Keď sa piest úplne zasunie a teda výťah bude v dolnej polohe, PLC dá pokyn k zasunutiu zastavovacieho valcu a prepravka prejde po sklze na výstupný dopravník. Keď snímač na výstupnom dopravníku zaznamená prítomnosť prepravky, PLC dá s určitým oneskorením pokyn k vysunutiu zastavovacieho valcu a tiež k vysunutiu pneumatického výťahu do hornej polohy.



Obr. 66) Umiestnenie senzorov na časti valčekovej trate

7.9 Kamera

Pre prípad identifikácie polohy a počtu termostatických hlavíc v prepravke v prípade, že nie je naplnená úplne, je použitý kamerový systém. Kamera by mala byť umiestnená na ráme robotu tak, aby zaberala všetky hlavice v prepravke a zároveň aby v snímaní neprekážali žiadne konštrukčné prvky, prípadne robot. Po aretácii prepravky v referenčnej polohe je obsah prepravky nasnímaný a informácie sú spracované v PLC, resp. riadiacom systéme robotu. Použitá je kamera od firmy Sick, s typovým označením Inspector (Obr. 67). Ohnisková vzdialenosť kamery je 6mm a upevnená je vo výške 700mm nad prepravkou, čím je zabezpečený výhľad na všetky kusy hlavíc. [75]



Obr. 67) Kamera Sick Inspector [75]

7.10 Riadiaci systém

Riadenie RP zaisťuje hlavný nadradený programovateľný logický automat (PLC), ktorý komunikuje s periférnymi zariadeniami, riadením robotu, kalibračným strojom, senzormi, a tiež aj s bezpečnostnými prvkami. Na základe informácie z napr. senzorov PLC podľa vopred nastaveného programu riadi výstupné zariadenia, napr. svetlá, relé, stýkače apod.

V pôvodnom stave kalibračného stroju bol použitý zastaralý systém PLC, ktorý bude nahradený. Pre potreby DP bol zvolený bezpečnostný PLC systém od firmy Siemens, konkrétne model SIMATIC S7-1200 FC. Bezpečnostné PLC sa od klasického vyznačuje tým rozdielom, že sú jeho komponenty certifikované podľa normy ISO 13849 a dosahujú bezpečnostnú úroveň PL e. Toto výrazne zjednoduší proces zapájania jednotlivých bezpečnostných komponentov a tiež zníži ich počet napr. bezpečnostných relé (Obr. 68). Potrebné bezpečnostné funkcie sú integrované do jedného kompaktného zariadenia. Tento priemyslový riadiaci systém je určený hlavne pre realizáciu rozličných automatizovaných výrobných úloh.

Standard controller in combination
with an external safety-relay solution



Integrated safety solution with a
fail-safe controller of the S7-1200 series



Obr. 68) a) klasické PLC a bezpečnostné relé, b) bezpečnostné PLC [76]

Riadiaci systém PLC ovláda všetky pneumatické prvky cez terminál ventilov (pneumatické výt'ahy, zastavovacie valce, pneumatické valce kalibračného stroju apod.), ovláda polohovanie otočného stolu kalibračného stroju, a tiež aj všetky procesy prebiehajúce v kalibračnom stroji (frézovacie zariadenie, meracie zariadenie apod.). Musí byť tiež zabezpečená komunikácia medzi riadiacim systémom robotu a jemu nadradeným systémom PLC. Riadiaci systému robotu dostáva od PLC potrebné informácie napr. o prítomnosti prepraviek v stanovenej pozícii alebo o správnosti kalibrácie termostatickej hlavice, teda či je hlavicu potrebné vložiť do prepravky pre hotové kusy alebo pre zmätky. Taktiež ovláda bezpečnostné prvky pracoviska, pričom musí byť zaistená bezpečnosť jednotlivých bezpečnostných prvkov RP na úrovni PL e. Bližší popis a návrh funkčnej bezpečnosti RP je v kap.8.7.

K riadiacemu systému je pripojený dotykový ovládací panel, ktorý sa nachádza na kalibračnom stroji v priestore pre obsluhu. Prostredníctvom tohto panelu obsluha sleduje stav výroby, resp. nastavuje a ovláda výrobu. PLC bude pripevnené do rozvodovej skrine v blízkosti kalibračného stroju.

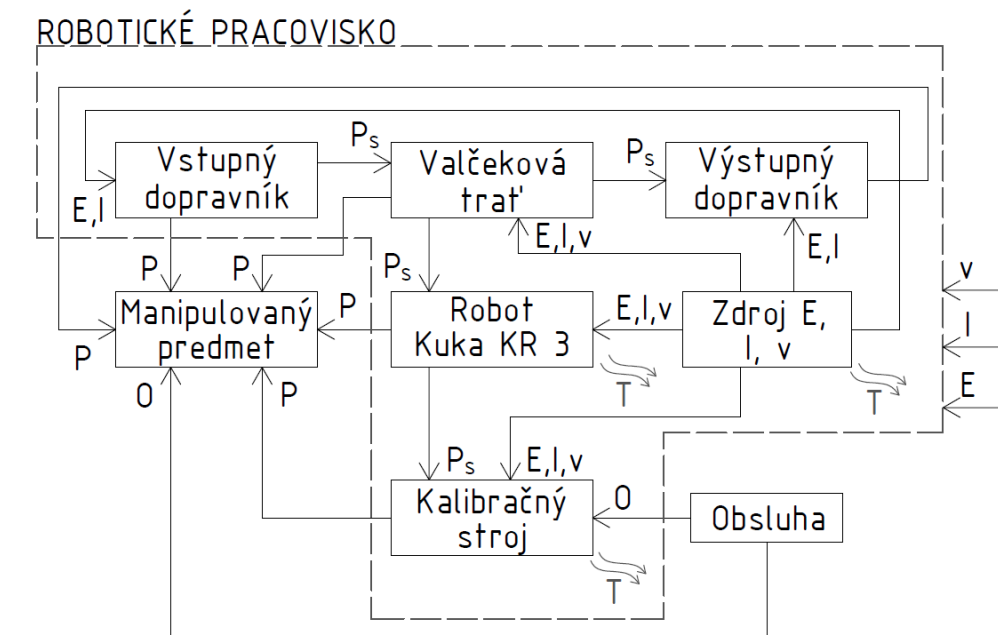
8 BEZPEČNOSTĚ RP

Návrh bezpečnosti pracoviska a analýza rizik má teoretický základ v súvislostiach popísaných v kap. 3.5. V úvode je nutné zdôrazniť, že analýza bezpečnosti pracoviska pri tak komplexnom zariadení ako je RP vyžaduje už určité skúsenosti konštruktéra. V DP je preto zjednodušené popísaný systematický postup identifikácie nebezpečí, ich hodnotenie a znižovanie návrhom vhodných konštrukčných a bezpečnostných prvkov.

8.1 Systémová analýza RP

Prvým krokom pred samotnou analýzou rizik je vytvorenie blokového diagramu zariadenia, v tomto prípade RP. Znázornenie prebieha na niekoľkých rozlišovacích úrovniach. Najvyššia úroveň znázorňuje RP ako celok (Obr. 69), nižšie rozlišovacie úrovne postupne rozdeľujú jednotlivé zariadenia na podzostavy. Blokový diagram tiež obsahuje značenie interakcii medzi jednotlivými prvkami z hľadiska vzájomných väzieb, prenosu energie a informácií.

V prílohe (Príloha 1) sú uvedené blokové diagramy druhého stupňa detailizácie pre prvky vstupný dopravník, valčeková trať, výstupný dopravník, robot Kuka KR 3 a kalibračný stroj.

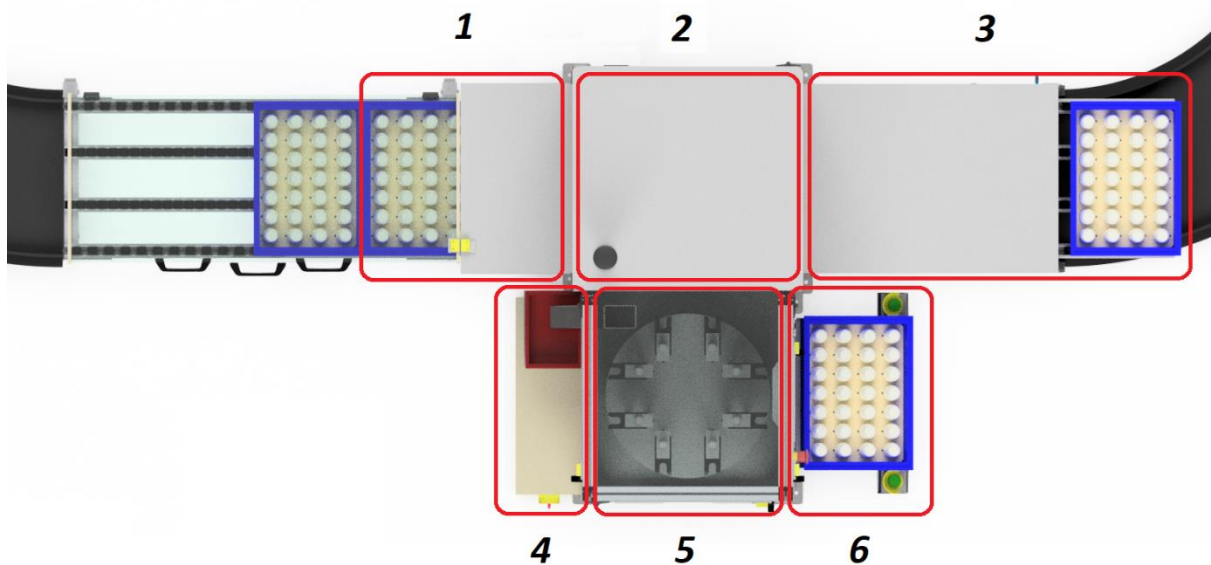


Legenda: E-elektrická energia, 0 - práca obsluhy, v-energia stlačeného vzduchu, P-polohová väzba, I-informačný tok, T-tepelná energia, Ps-pasívna posohová väzba

Obr. 69) Blokový diagram s najvyššou rozlišovacou úrovňou RP

8.2 Identifikácia nebezpečných priestorov RP

Na základe blokových diagramov boli vytipované nasledovné nebezpečné priestory, znázornené do pôdorysu RP (Obr. 70). Priestor vstupného dopravníku (1), pracovný priestor robotu (2), priestor výstupných dopravníkov (3), priestor elektrorozvádzaču (4), pracovný priestor kalibračného stroju (5), pracovný priestor obsluhy pri manuálnom režime (pri ručnom zakladaní) (6).



Obr. 70) Nebezpečné priestory RP

8.3 Analýza zdrojov relevantných nebezpečí RP

Na základe blokových diagramov bola vypracovaná tabuľka, ktorá obsahuje zdroje relevantných nebezpečí, ktoré sa spájajú s jednotlivými komponentami systému RP. Pri tomto procese sa neberie v úvahu krytovanie zariadení, ale vychádza sa z technologickej podstaty realizácie výrobných operácií. Identifikácia relevantných nebezpečí sa vykonáva pre všetky priestory RP, v ktorých hrozí bezprostredné nebezpečenstvo. Každému identifikovanému zdroju nebezpečiu bol priradený typ nebezpečia podľa normy ČSN EN ISO 12100 (kap. 3.5.3). Zoznam zdrojov relevantných nebezpečí je uvedený v prílohe (Príloha 2).

8.4 Analýza významných nebezpečí

Ako bolo uvedené v kap. 3.5.3, pred analýzou rizík je dôležité stanoviť medzné hodnoty strojového zariadenia, resp. RP. Analýza rizík bude riešená pre celý životný cyklus RP.

Pracovisko je umiestnené v uzavretej klimatizovanej miestnosti, pričom prístup do nej nie je nijak zabezpečený a dostať sa do nej môže aj nezaškolený pracovník, ktorý má malé povedomie o nebezpečenstvách hroziacich na pracovisku. Práce spojené s prevádzkou, nastavovaním, kalibráciou a údržbou zariadení RP musí vykonávať pracovník, ktorý je na tieto činnosti špeciálne preškolený.

V analýze rizík je nutné zahrnúť aj možné nesprávne, resp. rizikové používanie zariadenia. RP pracuje buď v automatickom režime, kedy obsluha v prípade potreby len nastavuje výrobu, prípadne dohliada na priebeh výroby a kontroluje kvalitu vyrábaných výrobkov. V manuálnom režime sú robot a niektoré funkcie RP odstavené a obsluha ručne zakladá termostatické hlavice priamo do kalibračného stroju a manuálne spúšťa pracovný cyklus. Oba tieto prípady je taktiež nutné zahrnúť v analýze rizík.

Tabuľka analýzy významných nebezpečí je uvedená v prílohe (Príloha 3).

8.5 Prehľad identifikovaných významných nebezpečí

U posudzovaného RP bolo identifikovaných celkovo 64 nebezpečí. Každé nebezpečie má svoje jedinečné identifikačné číslo (viď Príloha 4).

8.6 Odhad rizika

U každého identifikovaného nebezpečia je potrebné odhadnúť jeho veľkosť. V tomto prípade sa postupuje podľa návodu, popísaného v kap.3.5.3, najmä obrázku (Obr. 21) a iteračnej metódy „Troch krokov“. Odhad rizika je nutné vykonať pre všetky identifikované nebezpečia, pričom sa následne musia prijať opatrenia na zníženie týchto rizík a všetko zaznamenať do formuláru pre odhad rizík. Celkovo bolo vyhodnotených 17 rizík ako neprijateľných (červená farba) a 14 rizík ako prijateľných po preverení (oranžová farba) (viď príloha 4). Pre všetky významné nebezpečenstvá by mal byť vypracovaný formulár odhadu rizika a navrhnuté vhodné opatrenia k zníženiu týchto rizík. Vzhľadom na veľký počet identifikovaných významných rizík je pre potreby DP vytvorený len jeden ukázkový formulár pre odhad rizika. Veľkosť tohto rizika bola znížená prijatím vhodných konštrukčných a bezpečnostných opatrení. Príklad formuláru pre identifikované riziko je v tabuľke Tab. 11.

Tab 11) Formulár pre odhad rizika významného nebezpečia

VUT v Brně, FSI ÚVSSR	FORMULÁR PRE ODHAD RIZIKA		Stroj: Robotické pracovisko pre manipuláciu s termostatickými hlavicami
	spracoval: Peter Kubovčík		Dátum: 20.3.2019
Číslo nebezpečia (ČSN EN ISO 12100)	Id. Číslo	Označenie nebezpečia podľa ČSN EN ISO 12100 1. Mechanické nebezpečie	
1.1	5	Nebezpečie narazenia ramenom robotu alebo jeho časťou (koncovým efektorom)	
Životná etapa stroja: Prevádzka		Nebezpečný priestor: pracovný priestor robotu	
Ohrozené osoby:	Obsluha zariadenia	Prevádzkový stav stroja: za prevádzky	
Popis nebezpečnej situácie/udalosti:	Pri druhoradých zásahoch pri prevádzke v automatickom pracovnom cykle môže dôjsť k narazeniu ramena robotu alebo koncového efektora do tela obsluhy, ktorá sa nachádza v pracovnom priestore robotu. Tiež môže dôjsť k narazeniu robotu do častí rámovej konštrukcie robotu alebo kalibračného stroju, keďže pracovný rozsah robotu je väčší ako priestor limitovaný rámom.		
Počiatkové riziko	Závažnosť možnej škody na zdraví:	S2 - ťažké zranenie	Veľkosť rizika 12
	Početnosť a doba trvania ohrozenia:	A2 - často až trvale	
	Možnosť vyvarovaniu sa nebezpečia:	E3 - sotva možné	
	Pst výskytu nebezpečnej udalosti:	W3 - veľká	
KROK 1: Opatrenia zabudované v konštrukcií (podľa ČSN EN ISO 12100)			
Popis opatrenia: Na rám robotu budú pripevnené pevné ochranné kryty. K zachovaniu dostupnosti k robotu bude pridaný servisný vstup dverami. Vybavenie priestoru vstupného a výstupného dopravníku pevnými ochrannými krytmi. Servisné dvere zo všetkých strán kalibračného stroju.			

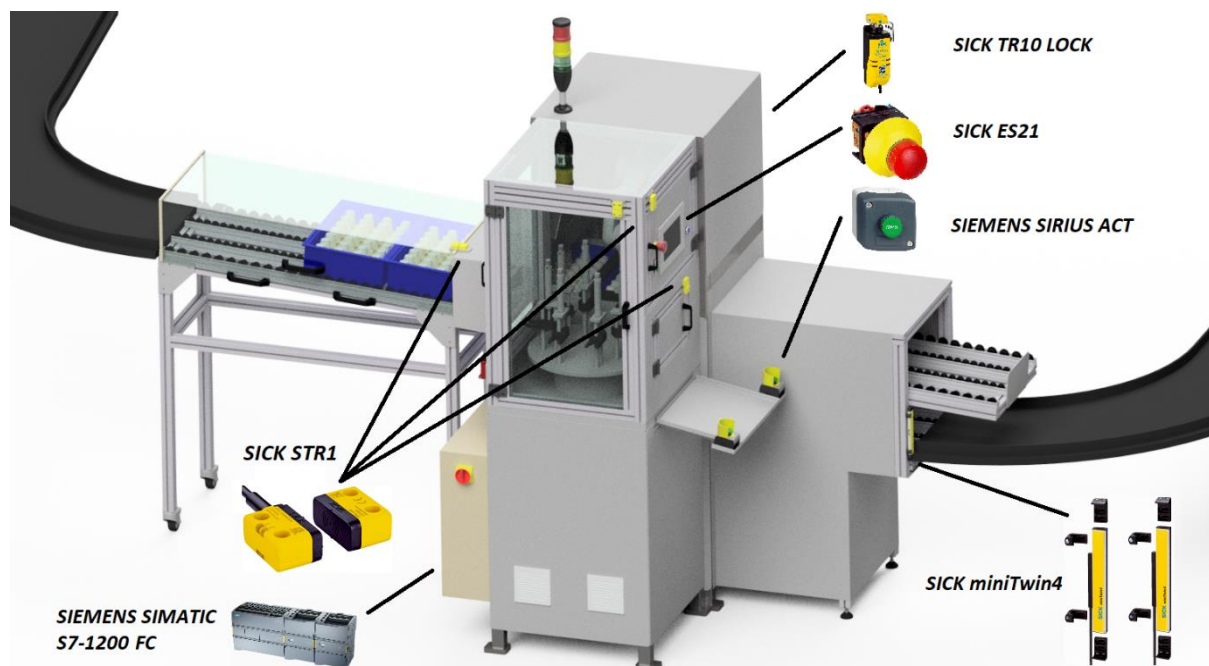
Znížené riziko po opatrení	Závažnosť možnej škody na zdraví:	S2 - ťažké zranenie	Veľkosť rizika 11
	Početnosť a doba trvania ohrozenia:	A2 - často až trvale	
	Možnosť vyvarovaniu sa nebezpečia:	E2 - možné za určitých okolností	
	Pst výskytu nebezpečnej udalosti:	W3 - veľká	
KROK 2: Bezpečnostná ochrana a doplnkové ochranné opatrenia (podľa ČSN EN ISO 12100)			
Popis opatrenia: Vybavenie servisného vstupu k robotu bezpečnostným dverným systémom od firmy Sick. Po otvorení bezpečnostných dverí nebude môcť druhá osoba znovu spustiť automatický pracovný cyklus. Softvérové obmedzenie veľkosti pracovného priestoru robotu tak, aby nedošlo ku kolíziám s rámom alebo inými časťami RP. Vybavenie servisných dvier kalibračného stroju a krytu vstupného dopravníku bezkontaktným snímačom Sick pre monitorovanie uzavretia. Využitie optickej brány od firmy Sick na výstupnom dopravníku. Monitorovanie prvkov zabezpečuje bezpečnostné PLC Siemens S7-1200 FC.			
Znížené riziko po opatrení	Závažnosť možnej škody na zdraví:	S1 - ľahké zranenie	Veľkosť rizika 4
	Početnosť a doba trvania ohrozenia:	A2 - často až trvale	
	Možnosť vyvarovaniu sa nebezpečia:	E2 - možné za určitých okolností	
	Pst výskytu nebezpečnej udalosti:	W2 - stredná	
KROK 3: Informácie pre používanie zariadenia (podľa ČSN EN ISO 12100)			
Popis opatrenia: Upozornenie v návode k použitiu: Pevné ochranné kryty musia byť vždy bezpečne pripevnené k rámu robotu. V prípade nutnosti zásahu obsluhy do pracovného priestoru robotu je nutné najskôr zastaviť automatický pracovný cyklus. Zákaz opätovného spustenia automatického pracovného cyklu v prípade, že sa v nebezpečnom priestore nachádza iná osoba.			
Znížené riziko po opatrení	Závažnosť možnej škody na zdraví:	S1 - ľahké zranenie	Veľkosť rizika 3
	Početnosť a doba trvania ohrozenia:	A2 - často až trvale	
	Možnosť vyvarovaniu sa nebezpečia:	E1 - možné	
	Pst výskytu nebezpečnej udalosti:	W2 - stredná	
VALIDÁCIA:	Opatrenia sú dostatočné	Kubovčík Peter	dňa: 20.3.2019

Je zrejmé, že aj po prijatí opatrení na zníženie rizika je stále prítomné zvyškové riziko,. Užívateľa je nutné s touto skutočnosťou oboznámiť a varovať ho.

8.7 Analýza funkčnej bezpečnosti

Keďže bezpečnosť RP nie je možné zaistiť len vhodnými konštrukčnými prvkami a bezpečnosť RP závisí aj na riadiacom systéme, musí sa pristúpiť aj k návrhu funkčnej bezpečnosti (kap.3.5.4).

V RP je navrhnutých niekoľko bezpečnostných prvkov, ktoré sú monitorované bezpečnostným PLC (Obr. 71).



Obr. 71) Prehľad navrhnutých bezpečnostných prvkov RP

Prvým krokom v analýze je posúdenie rizika (Obr. 24). Robot môže obsluhu spôsobiť vážne poranenia (S2). Obsluha sa môže vystavovať nebezpečenstvu aj viackrát za týždeň (F2), napríklad pri odstraňovaní prevádzkových chýb robotu. Možnosť vyhnúť sa riziku, napríklad pri neočakávanom spustení robotu, je malá (P2). Požadovaná úroveň vlastností pre robot je preto $PL_r = e$. Rovnaká požadovaná úroveň vlastností bola zvolená aj pre kalibračný stroj a dopravníkovú dráhu s pneumatickými výťahmi.

Pre požadovanú úroveň vlastností $PL_r = e$, bude využitá architektúra bezpečnostnej funkcie s kategóriou 4. Pre všetky vybrané vstupné zariadenia, a tiež aj pre bezpečnostné PLC, uvádzajú výrobcovia príslušnú dosiahnutú úroveň vlastností PL v katalógových listoch pre danú súčiastku. V navrhovanom RP boli vybrané také vstupné zariadenia a bezpečnostné PLC, ktoré spadajú do najvyššej kategórie PL e.

Úroveň vlastností PL je nutné pre výstupné zariadenia, napríklad stýkače, vypočítať. Popis návrhu a všetky potrebné výpočty sú uvedené v norme ČSN EN ISO 13849-1 alebo v odbornej literatúre. Pokiaľ je však požadovaná úroveň vlastností $PL_r = e$, musia byť všetky zariadenia, vrátane výstupných, navrhnuté tak, aby bola táto úroveň splnená. K tomu je nutné využiť architektúru bezpečnostnej funkcie kategórie 4, kde musia byť integrované dva výstupné zariadenia, napr. stýkače, pričom bezpečnostné PLC vykonáva krížové monitorovanie výstupov a tiež potrebné diagnostické testy. Zariadenia tiež musia byť navrhnuté tak, aby sa predišlo poruchám so spoločnou príčinou.

8.8 Prehľad navrhnutých bezpečnostných prvkov

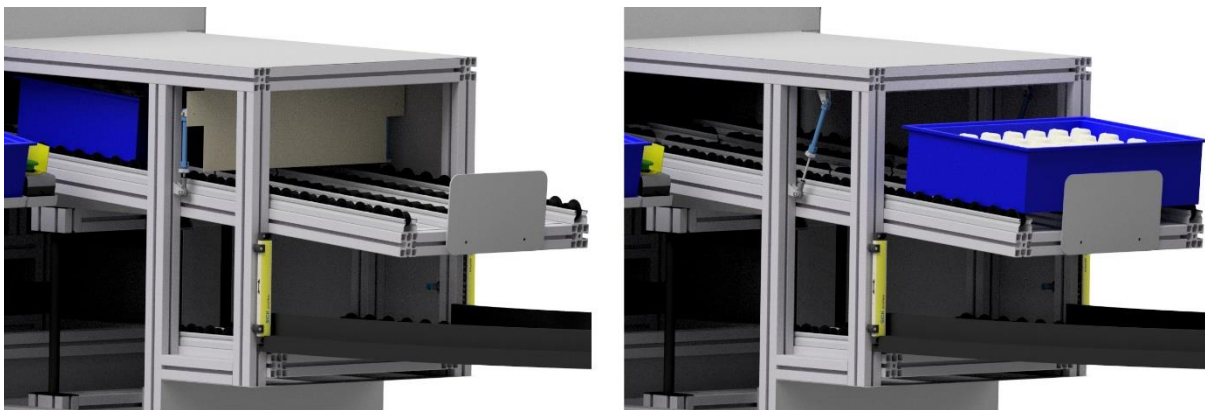
Priestor vstupného a výstupného dopravníku

Vstupný a výstupný dopravník je krytý pevným ochranným krytom tak, že medzera medzi ním a prechádzajúcou prepravkou je 20mm. Avšak, kryty nie sú dostatočne dlhé a v prípade, že doň

vloží obsluha končatinu, hrozí riziko kontaktu napr. s robotom v jeho pracovnom priestore alebo s pneumatickým výťahom. Preto bol kryt vstupného dopravníku predĺžený až na presuvný dopravník. Tento pohyblivý kryt je pripevnený na pántoch a madlom je ho možné v prípade potreby odsunúť. Preto je nutné, aby bolo v priebehu pracovného cyklu zaistené monitorovanie jeho bezpečného zavretia pomocou bezkontaktných snímačov a bezpečnostného PLC. Bezkontaktný snímač je od firmy SICK, označenie STR1-SASF0AC8.

Výstupný tunel, z ktorého vychádzajú prepravky v automatickom režime je vybavený optickou bránou SICK miniTwin4 s označením C4MT-01814ABB03BE0 a rozlíšením 14 mm. Optická brána je vybavená funkciou muting pre rozlíšenie medzi vstupom materiálu (prepravky) a končatinou obsluhy.

Mechanicou závorou je vybavený výstupný tunel, z ktorého si obsluha vyzdvihuje prepravky v prípade manuálneho režimu. Závora sa otvorí len v prípade manuálneho režimu, kedy pneumatické výťahy ani robot nie sú v prevádzke. Poháňaná môže byť napríklad pneumatickými valcami DSNU-8-50-P-A (Obr. 72). Pre názornosť bola zrušená viditeľnosť niektorých pevných ochranných krytov.



Obr. 72) Navrhnuté bezpečnostné opatrenia na výstupnom dopravníku. Niektoré pevné ochranné kryty sú pre lepšiu názornosť skryté.

Optická brána musí byť navrhnutá s ohľadom na normu ČSN EN ISO 13855, ktorá pojednáva o umiestnení ochranných zariadení s ohľadom na rýchlosť priblíženia ľudského tela. Podľa normy sa minimálna vzdialenosť k nebezpečnému priestoru stanoví na základe rovnice [77]:

$$S = (K \cdot T) + C \quad (26)$$

$$S = (K \cdot (T_1 + T_2 + T_3)) + 8 \cdot (d - 14) \quad (27)$$

$$S = (2000 \cdot (0,014 + 0,086 + 0,020)) + 8 \cdot (14 - 14) = 240 \text{ mm}$$

Kde: S – minimálna vzdialenosť [mm]

- Podľa normy ISO 13855 nesmie byť menšia ako 100 mm

K – parameter odvodený z údajov rýchlosti priblíženia ľudského tela [mm/s]

- Podľa normy ISO 13855 má hodnotu 2000mm/s

T – celková doba zastavenia systému [s]

- Je zložená z niekoľkých hodnôt:

Doba T_1 – čas odozvy optickej brány SICK miniTwin4 [78]

Doba T_2 – čas odozvy bezpečnostného PLC Siemens Simatic S7-1200 FC [79]

Doba T_3 – čas odozvy ventilu, resp. spínacia doba elektromagnetického ventilu [74]

C – vzdialenosť vniknutia [mm]

- Hodnota je vyjadrená rovnicou:

$$C = 8 \cdot (d - 14) \quad (28)$$

Kde d je detekčná schopnosť senzoru zariadenia, resp. rozlíšenie vybranej optickej brány SICK miniTwin4 [mm]

- Hodnota C nesmie byť menšia ako 0

Optická brána bola s výhodou umiestnená na hliníkovú konštrukciu, odkiaľ je vzdialenosť k nebezpečnému priestoru (pneumatickému výťahu) 350mm . Musí byť tiež zabezpečené, aby po bezpečnom zastavení nedošlo k uvoľneniu tlaku v pneumatickom pieste a aby piest držal aktuálnu polohu a po resete systému bezpečne pokračoval v pohybe na danú pozíciu.

Pracovný priestor kalibračného stroju

Kalibračný stroj je využitý z pôvodného pracoviska. Sú na ňom zachované všetky pôvodné prvky, tj. otočný stôl, zakladacie držiaky a ich polohovanie pneumatickými piestami, stanica frézovacieho a meracieho zariadenia. Odstránené boli len vyhadzovače z poslednej pozície a stroj bol skrátený. Celý stroj je krytý pevnými a pohyblivými ochrannými krytmí. Po jeho obvode je umiestnených niekoľko dvier k umožneniu prístupu do pracovného priestoru v prípade poruchy. Všetky dvere musia byť vybavené bezkontaktným bezpečnostným snímačom, ktorý monitoruje bezpečné uzavretie dvier (Obr. 71). O správnom návrhu blokovacích zariadení pojednáva norma ČSN EN ISO 14119. V prípade otvorenia dvier v priebehu pracovného cyklu sú okamžite zastavené všetky nebezpečné pohyby v RP, vrátane robotu a kalibračného stroju. Bezkontaktné snímače sú od firmy SICK, typové označenie STR1-SASF0AC8. Tieto spínače spadajú do bezpečnostnej triedy PL e.

Na kalibračnom stroji sa vedľa ovládacieho panelu nachádzajú tlačidlá na štart, zastavenie a reset pracovného cyklu, a tiež tlačidlo núdzového zastavenia. Tlačidlo núdzového zastavenia musí byť navrhnuté v súlade s normou ČSN EN ISO 13850. Všetky tlačidlá a ovládací panel by mali byť umiestnené na ľahko dostupnom mieste a mali by spĺňať ergonomické zásady pracoviska.

Pracovný priestor robotu

Pracovný priestor robotu je krytý pevnými ochrannými krytmí. K pracovnému priestoru robotu je zabezpečený servisný vstup cez dvere zo zadnej časti RP, vybavenými blokovacím zariadením od firmy Sick s katalógovým označením TR10-SLM01C. Systém disponuje istiacou silou 1690N a spĺňa úroveň bezpečnosti PL e pre kontrolu dverí a zámkov.

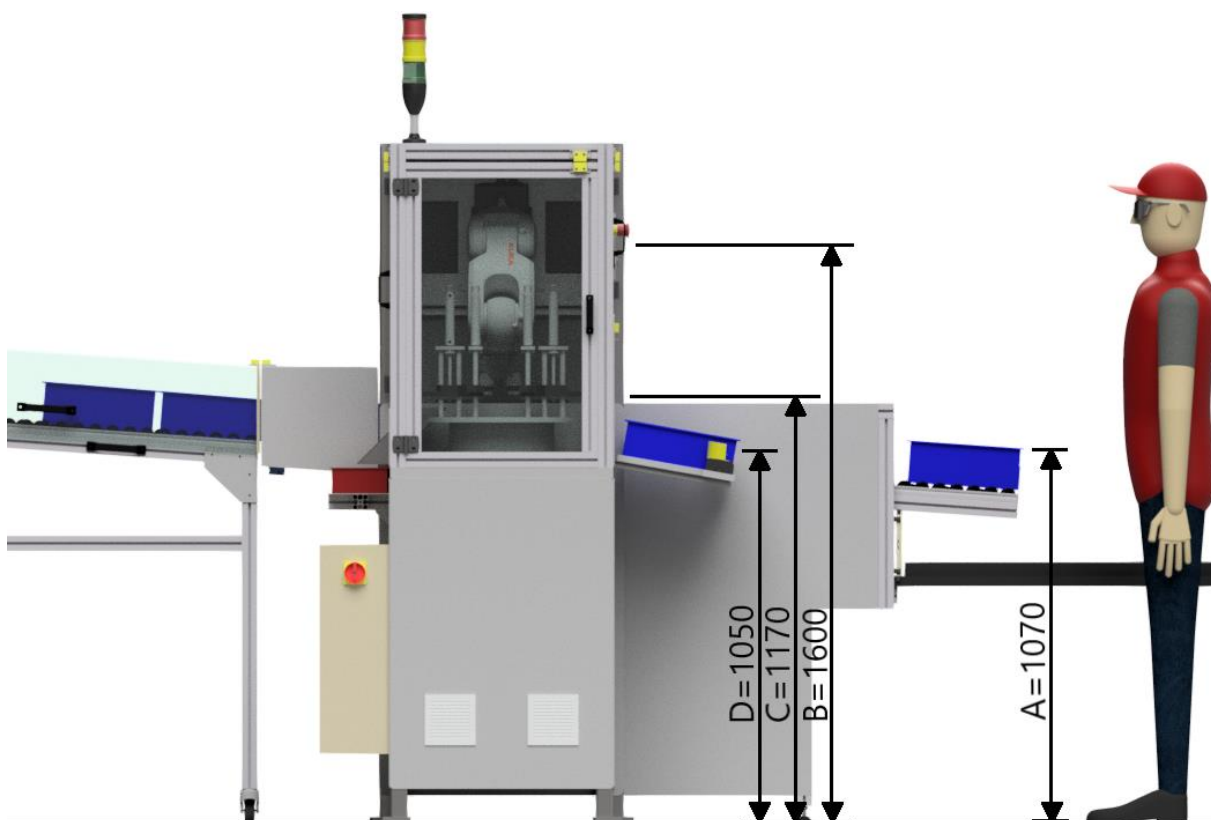
Dosah robotu je väčší ako priestor limitovaný rámom robotu. Preto musí mať robot softvérové obmedzenie programu, resp. osí tak, aby nedošlo ku kolízii s rámom alebo inými časťami RP.

Pracovný priestor obsluhy

V prípade nutnosti pracovať v manuálnom režime z dôvodov poruchy zariadenia, prechodu na iný typ výrobkov apod., musí obsluha ručne zakladať termostatické hlavice do kalibračného stroju. Pre tento prípad musí byť pracovisko navrhnuté aj z ergonomického hľadiska. Dôležité sú najmä nasledovné hodnoty, z ktorých každá sa vzťahuje k podlahe (vid'. Obr. 73):

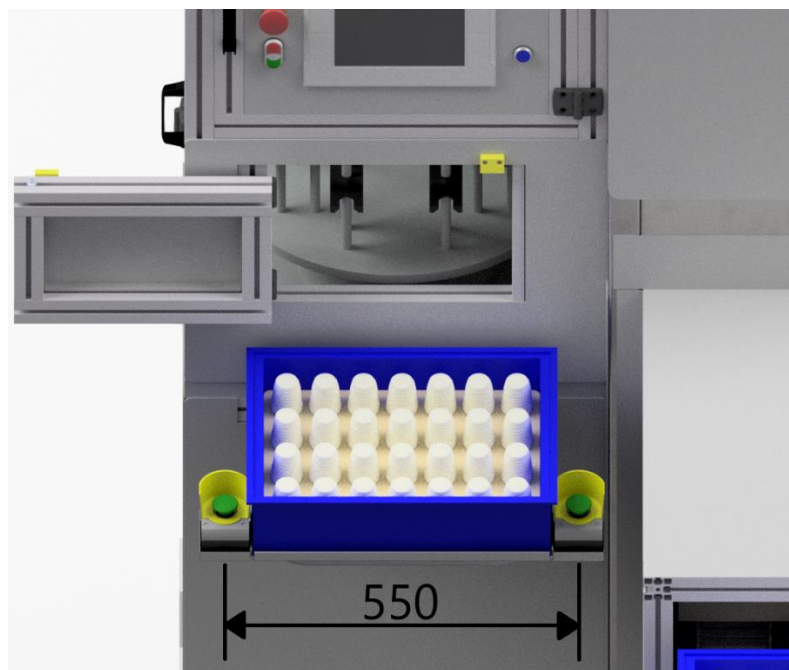
- A – Výška prepravky na gravitačnom dopravníku od podlahy
- B – Výška ovládacieho panelu od podlahy
- C – Výška zakladacích držiakov kalibračného stroju od podlahy
- D – Výška obojručného ovládania od podlahy a výška prepravky na odkladacej ploche pred kalibračným strojom od podlahy

Pracovná rovina a ovládacie prvky strojových zariadení musia byť navrhnuté s ohľadom na telesné rozmery obsluhy, rozsahy pohybov, bezpečné vzdialenosti apod. Pevná pracovná výška pre priemerné vizuálne požiadavky a strednú presnosť je 1195mm , čo vychádza z antropometrických údajov pre Európu podľa normy ISO 14738. Od tejto výšky sa odvíja hodnota C, ktorá je zachovaná z pôvodného stavu kalibračného stroju. Hodnoty A, D vychádzajú z rovnakej normy, a to z nenastaviteľnej pracovnej výšky 1075mm , ktorá umožňuje voľné pohyby rúk pri nízkych vizuálnych požiadavkách. Pracovná výška D bola zvolená ako pevná, avšak pre zvýšenie komfortu a prispôbeniu sa požiadavkám rôznych pracovníkov je možné konštrukciu doplniť o mechanizmus nastavovania výšky. Ovládací panel a ovládacie tlačidlá, vrátane tlačidla núdzového zastavenia, sú umiestnené v takej výške, aby boli ľahko prístupné a viditeľné.



Obr. 73) Ergonómia RP

Pri použití obojručného ovládania musia byť tlačidlá oddelené tak, aby bolo zamedzené vyradenie. V tomto prípade je nutné sa riadiť normou ČSN EN 574+A1. K zamedzeniu vyradenia rukou a laktom jednej paže je nutné, aby bola vzdialenosť medzi tlačidlami aspoň 550mm. Ďalšou z možností zamedzenia vyradenia je oddelenie tlačidiel prepážkami (Obr. 74).



Obr. 74) Ergonómia RP – obojručné ovládanie

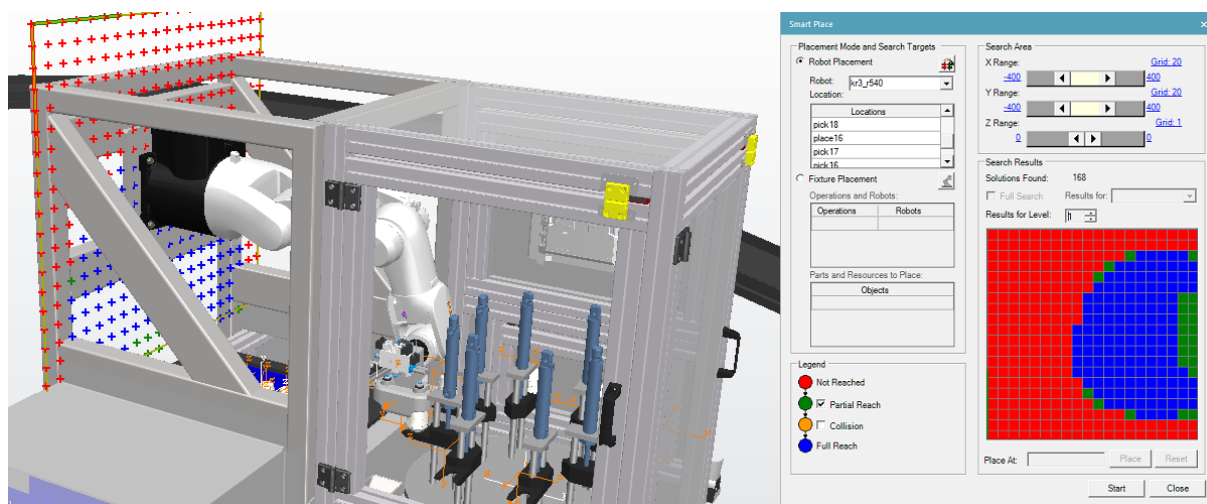
9 SIMULÁCIA VÝROBNÉHO PROCESU

Využitím simulácie v programe Siemens Process Simulate je možné overiť funkčnosť navrhnutého robotického pracoviska, odhaliť kolízne stavy a optimalizovať riešenie. Umožňuje tiež overiť, či riešenie spĺňa požadovaný čas taktu. Základným predpokladom je hotový 3D model v ľubovoľnom CAD softvéri, ktorého komponenty je nutné exportovať do formátu .jt, s ktorým pracuje Process Simulate.

9.1 Overenie dosahu robotu

Po importovaní komponentov RP je nutné definovať ich typy, prípadne kinematiku. Model robotu Kuka KR 3 R540 aj s predpripravenou kinematikou je dostupný priamo v databáze modelov na webe firmy Kuka. Na prírubu robotu bol pomocou tzv. *frame* a intuitívnych funkcií programu (*Mount tool*) pripevnený model koncového efektoru, ktorého uchopovacie prvky (prísavky) museli byť tiež zadané (*Tool definition*). Bolo nutné presne definovať polohu pneumatického výťahu do referenčnej polohy, resp. prepravky aretovanej v referenčnej polohe, z ktorej robot uchopuje termostatické hlavice. Nemenej dôležitá je poloha základacích držiakov, do ktorých robot zakladá termostatické hlavice. Vo všetkých týchto bodoch bol vytvorený *frame* a následne bola využitá funkcia *Smart Place* (Obr. 75).

Funkcia *Smart Place* automaticky určí najvhodnejšiu polohu robotu v závislosti na lokáciách, na ktoré má mať robot dosah, a to konkrétne na základacie držiaky, na všetky pozície pre termostatické hlavice v prepravke a na sklz pre zmätky. Poloha robotu, resp. poloha zvarovaných jákl profilov rámu robotu a poloha základovej dosky, na ktorej je priskrutkovaná základňa robotu, boli upravené tak, aby mal robot dosah na všetky potrebné miesta a zároveň aby bol zachovaný dostatočný priestor pre servisný vstup. Dosah na lokácie je možné overiť aj funkciou *Reach Test*.



Obr. 75) Prostredie Process Simulate a nastavenie vhodnej polohy robotu

9.2 Vytvorenie operácií a simulácia

Pre jednotlivé zariadenia (pneumatické výťahy, zastavovacie valce, robot, otočný stôl kalibračného stroju) boli vytvorené operácie pre ich uvedenie do pohybu. K tomu bolo nutné

definovať počiatočné a koncové lokácie so správnou orientáciou, medzi ktorými sa zariadenia pohybujú. Pri pohyboch robotu medzi počiatočným bodom uchopenia termostatickej hlavice a koncovým bodom založenia hlavice do držiakov stroju bolo nutné definovať body prechodu so správnou orientáciou, ktoré upresňujú pohyb robotu tak, aby nevznikali kolízie s okolitými zariadeniami. Prechod koncového efektoru (resp. bodu TCP) týmito bodmi je vhodné aproximovať, čím sa zvýši plynulosť a rýchlosť pohybov robotu.

Ďalším krokom bola optimalizácia rýchlostí robotu. Rýchlosť musela byť znížená napríklad pri presnom zakladaní hlavice do zakladacích držiakov. Hodnota rýchlosti bola v týchto operáciách nastavená na hodnotu 80mm/s , typ pohybu lineárny LIN.

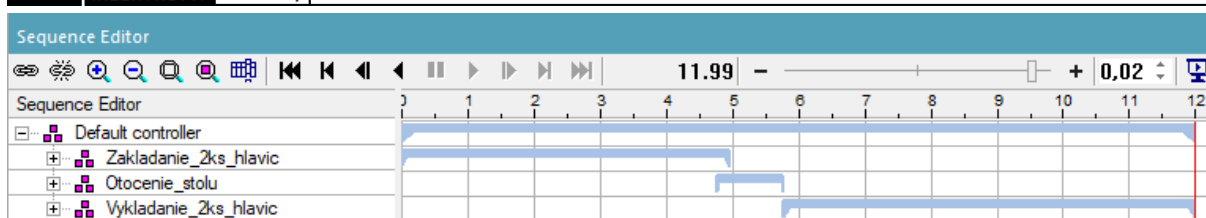
Obzvlášť musel byť kladený dôraz na orientáciu koncového efektoru v priebehu manipulačného cyklu. Správnym nastavením orientácie prechodových bodov a typu pohybu bolo zabezpečené, že koncový efektor a teda aj uchopené hlavice boli vždy vo zvislej polohe, vďaka čomu hlavica nevypadne z úchopu prísavky. Preto bol pri väčšine prechodových bodov nastavený typ pohybu LIN.

Najdôležitejším výstupom celej simulácie je čas, za ktorý robot vyzdvihne dva kusy termostatických hlavíc, založí ich po jednej do zakladacieho držiaku a po otočení otočného stolu najskôr vyzdvihne skalibrované hlavice a následne ich vloží na voľné miesto v prepravke. V prepravke je uložených 28ks termostatických hlavíc a simulácia pre všetky hlavice by bola značne zdĺhavá a komplikovaná. Preto bol zvolený prístup, kedy je nasimulované manipulovanie s hlaviciami zo stredu prepravky, čo je možné považovať za priemernú hodnotu času manipulácie s 2ks hlavíc.

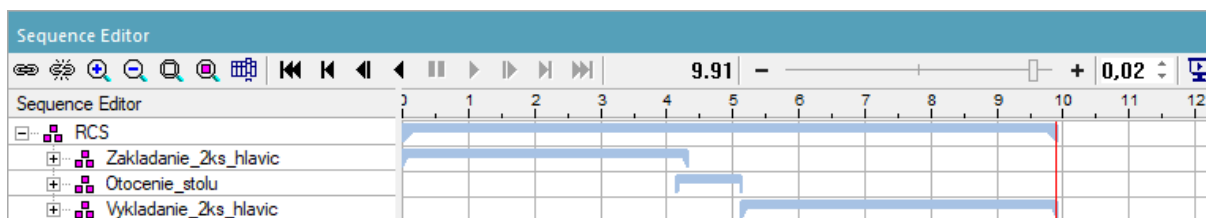
Simulácia bola najskôr realizovaná s východným riadením robotu, štandardne definovaným v programe. Výsledné časy však nemajú veľkú vypovedajúcu hodnotu a aby sa priblížili realite, je nutné použiť riadenie robotu priamo pre roboty Kuka a pripojiť k robotu RCS modul. Tento modul obsahuje dáta priamo od výrobcu, ktoré sú potrebné pre plánovanie pohybov reálneho robotu.

Výsledkom sú dva Ganttové diagramy, prvý pre simuláciu bez RCS modulu (Obr. 76) s celkovým časom manipulácie $11,99\text{s}$. Druhý pre simuláciu s RCS modulom (Obr. 77) s časom manipulácie $9,91\text{s}$. Je zrejmé, že rozdiel v čase je $2,08\text{s}$, takže použitie RCS modulu má veľký význam.

Simuláciou ostatných podstatných operácií (Tab. 12) bola získaná celková hodnota času cyklu na kalibráciu 1ks termostatickej hlavice. Čas kalibrácie 28ks termostatických hlavíc vychádza z hodnoty času kalibrácie 2ks termostatických hlavíc s RCS modulom. Čas cyklu na prepravku je súčtom časov jednotlivých operácií. Táto hodnota je následne prepočítaná na 1ks termostatickej hlavice.



Obr. 76) Ganttov diagram manipulácie s východzím nastavením



Obr. 77) Ganttov diagram manipulácie s RCS modulom

Tab 12) Stanovenie finálneho času cyklu RP

Operácia	Čas [s]	Čas cyklu na prepravku [s]	Čas cyklu na 1ks hlavice [s]
Príjazd prepravky	2,45	143,89	5,1
Aretácia prepravky	1,35		
Kalibrácia 28ks hlavíc	138,74		
Uvoľnenie prepravky	1,35		

Z výsledkov je možné tvrdiť, že čas cyklu zistený simuláciou je nižší ako požadovaný čas taktu 7s pre 1ks hlavice, a teda požiadavka zákazníka bude splnená aj nasadením robotu. Celkovo sa na navrhnutom RP skalibruje pri danom čase cyklu až 700ks hlavíc za hodinu.

10 EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

10.1 Návratnosť investície

Robotické pracovisko bolo navrhované s cieľom znížiť náklady na prevádzku pracoviska, a to znížením počtu pracovníkov a mzdových nákladov. Pre ekonomické zhodnotenie je vhodné vypočítať dobu návratnosti investícií, vložených do projektu RP. Doba návratnosti investícií sa určí ako podiel celkových nákladov na investíciu a celkových úspor, ktoré prinesie zavedenie RP [80]:

$$t_{ROI} = \frac{\text{celkové náklady}}{\text{celkové úspory}} \quad (29)$$

Rovnicu je možné rozpísať do nasledovného tvaru:

$$t_{ROI} = \frac{N_{RP}}{N_{POP} - N_{PRP} - N_{URP}} \quad (30)$$

Kde: t_{ROI} - doba návratnosti investície [rok]

N_{RP} - celkové obstarávacie náklady na projekt RP [Kč]

N_{POP} - prevádzkové náklady na pracovisko v súčasnom stave [Kč/rok]

N_{PRP} - odhadované prevádzkové náklady RP [Kč/rok]

N_{URP} - odhadované náklady na údržbu RP [Kč/rok]

Celkové obstarávacie náklady N_{RP} na nakupované diely spolu s nákladmi na návrh a výrobu RP sú uvedené v tabuľke (Tab. 13).

Tab 13) Obstarávacie náklady na RP

Názov komponentu	Výrobca	Počet ks	Cena [CZK]	Cena [EUR]
Priemyslový robot			800 000	32 000
Robot Kuka KR 3 R540	Kuka	1	800 000	32 000
Controller KR C4 compact				
Konštrukčné prvky			181 250	7 650
Montážny stavebnicový systém	Alutec KK	1	55 000	2 200
Valčekové lišty	Alutec KK	1	5 000	200
Ostatné (spoj. materiál, madlá, pánty, pojazďové kolesá apod.)		1	20 000	1 200
Rám robotu - zváraná konštrukcia		1	60 000	2 400
Pevné ochranné kryty		1	3 750	150
Ostatné konštrukčné prvky (koncový efektor, obrábané diely apod.)		1	37 500	1 500
Pneumatické prvky			172 625	6 905
Ventilový terminál MPA-L	Festo	1	65 000	2 600
Jednotka úpravy stlačeného vzduchu	Festo	1	10 000	400
Pneumatický piest DFSP-32-25-F-PA	Festo	5	12 500	500

Príruba DAMF-F7-32	Festo	5	5 000	200
Pneumatický piest DSBC-40-290-E1-PPVA	Festo	1	3 500	140
Pneumatický piest DSBC-32-125-E1-PPVA	Festo	1	3 000	120
Pneumatický piest DSNU-8-50-P-A	Festo	2	2 000	80
Ejektory OVEL-10-H-15-PQ-VQ6-UA-C-A-B2V-H3	Festo	2	8 000	320
Prísavka ESG-20-BN-HA-QS-F	Festo	2	500	20
Držiak prísavky ESH-HA-4-QS	Festo	2	1 250	50
Senzor polohy piestu SME-8M-DS-24V-K-2.5-OE	Festo	7	4 375	175
Ostatné príslušenstvo (hadice, spojky, rozbočovače apod.)	Festo	1	25 000	1 000
Ostatné konštrukčné diely (upevňovacie prvky, lineárne vedenie apod.)	Festo	1	32 500	1 300
Elektrické a elektronické prvky			332 000	13 280
Riadiaci systém SIMATIC S7-1200 FC - bezpečnostné PLC	Siemens	1	120 000	4 800
HMI dotykový displej Siemens	Siemens	1	12 500	500
Kamera Sick Inspector	SICK	1	70 000	2 800
Kapacitný senzor CM12-08EBP-KC1	SICK	5	10 000	400
Ovládacie tlačidlá	Siemens	1	2 000	80
Nákup SW			80 000	3 200
Ostatné elektronické prvky elektrorozvádzaču		1	37 500	1 500
Bezpečnostné prvky			73 500	2 940
Optická brána C4MT-01814ABB03BE0	SICK	2	37 500	1 500
Bezkontaktný snímač STR1-SASF0AC8	SICK	10	12 500	500
Bezpečnostný zámok TR10-SLM01C	SICK	1	6 250	250
Tlačidlo núdzového zastavenia ES21	SICK	1	1 250	50
Andon	Siemens	1	1 500	60
Obojručné ovládanie Sirius ACT	Siemens	2	2 000	80
Ostatné elektronické prvky (stýkače apod.)		1	12 500	500
Ostatné nakupované diely			132 500	5 300
Prepravka SSI SCHÄFER 14/6-2 H	SCHAFFER	150	45 000	1 800
Plastový blister do prepravky		150	87 500	3 500
Ostatné			205 000	8 200
Úprava kalibračného stroju HW+SW		1	180 000	7 200
Vypratanie súčasného pracoviska		1	12 500	500
Príprava súčasného pracoviska pre integráciu RP		1	12 500	500
Návrh a výroba			650 000	26 000
Návrh konštrukcie			280 000	11 200
Montáž a uvedenie do prevádzky			150 000	6 000
Programovanie			220 000	8 800
Celkové obstarávacie náklady (N_{RP})			2 546 875	102 275

Prevádzkové náklady na pracovisko v súčasnom stave boli získané z firemných údajov. Pracovisko funguje v dvojzmennej prevádzke, na jednu zmenu je prítomný vždy jeden operátor.

Celkovo budú teda ušetrené až dve pracovné sily denne. Ročné náklady na dvoch pracovníkov, vrátane prevádzkových nákladov, údržby a opráv zariadení, sú $N_{POP} = 980\ 000\text{Kč}$.

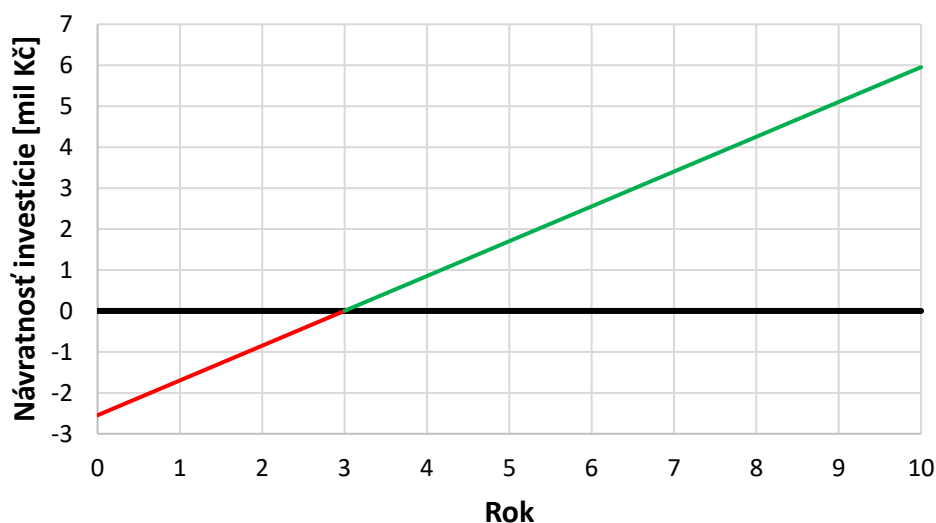
Odhadované prevádzkové náklady RP vychádzajú hlavne z nákladov na spotrebu elektrickej energie a nákladov na spotrebu stlačeného vzduchu. Zo skúseností z podobných typov pracovísk bola hodnota odhadnutá ako $N_{PRP} = 100\ 000\text{Kč}$.

Do výpočtu je nutné zahrnúť aj náklady na údržbu zariadení RP, najmä robotu. Servisné zásahy a údržba sa vykonáva niekoľkokrát do roku, pričom odhadovaná cena zásahov je $N_{URP} = 30\ 000\text{Kč}$.

Dosadením potrebných hodnôt do rovnice 30 je výsledná doba návratnosti:

$$t_{ROI} = \frac{N_{RP}}{N_{POP} - N_{PRP} - N_{URP}} = \frac{2\ 546\ 875}{980\ 000 - 100\ 000 - 30\ 000} = 3 \text{ roky}$$

Návratnosť investície v priebehu časového obdobia niekoľkých rokov je možné prehľadne vyjadriť pomocou grafu (Obr. 78). Po troch rokoch bude investícia do RP vrátená a v ďalších rokoch prinesie pre firmu nemalé finančné úspory. Údaje v grafe sú zjednodušené, medziročné zvýšenie nákladov nie je brané v úvahu.



Obr. 78) Graf návratnosti investície

11 ZHODNOTENIE A DISKUSIA

V priebehu procesu návrhu RP bolo nutné vyriešiť niekoľko zásadných problémov. Zároveň muselo byť prihliadané na obmedzenia, vychádzajúce z pôvodného stavu pracoviska a z požiadaviek firmy a zákazníka. RP muselo byť zapracované do určeného miesta tak, aby boli úpravy na pracovisku čo možno najmenšie. Pôvodná dopravníková dráha musela byť zachovaná a na ňu vhodným spôsobom napojené RP tak, aby bol zabezpečený plynulý tok materiálu.

V ideálnom prípade by bolo vhodné uvažovať o komplexnej automatizácii celej výroby termostatických hlavíc, nie len časti výroby, resp. pracoviska na kalibráciu. Toto však nie je možné najmä z finančného hľadiska. Pripadalo by to v úvahu len v tom prípade, že by sa požiadavky zákazníka na výrobnosť niekoľkonásobne zvýšili a kapacity súčasných pracovísk by boli nedostačujúce.

Možností ako automatizovať pracovisko je niekoľko. Z navrhovaných variant riešenia bola vybraná na základe subjektívneho hodnotenia tá najvhodnejšia. Ako parametre s najväčšou váhou pri rozhodovaní boli zvolené nízke obstarávacie náklady a jednoduchý prístup k pracovnému priestoru obsluhy. Nízky čas cyklu mal nižšiu váhu, keďže primárnym cieľom zavedenia RP nebolo zvýšiť produktivitu, ale znížiť počet pracovníkov a teda znížiť prevádzkové náklady z dlhodobého hľadiska. Zároveň ale musel byť splnený čas taktu, daný pracoviskom montáže. Pokiaľ by sa simuláciou RP zistilo, že čas cyklu je príliš vysoký a RP by bolo úzkym miestom vo výrobe, muselo by sa pristúpiť k alternatívnemu riešeniu, napríklad k variantu s dvomi priemyslovými robotmi s rozdelenými pracovnými úlohami.

Aj keď bola jedným z cieľov DP analýza rizík, nedá sa predpokladať, že bude vykonaná na úrovni, kde budú podchytené všetky riziká a bude vypracovaná do podrobností. Toto si vyžaduje veľkú skúsenosť konštruktéra a tímovú spoluprácu, kde na základe príspevku viacerých členov budú riziká dostatočne podchytené a navrhnuté vhodné opatrenia. Analýza rizík v konštrukcii RP a funkčná bezpečnosť je témou na samostatnú diplomovú prácu.

Kľúčovými parametrami pri vyhodnotení výsledkov je dosahovaný čas cyklu a návratnosť investície. Čas cyklu bol v programe Process Simulate s použitím RCS modulu zistený na 5,1s pre 1ks hlavice, čo je menej ako požadovaný čas taktu 7s. Dosahovaný čas cyklu nie je tak nízky ako na pracovisku v pôvodnom stave, ale použitím robotu sa dosiahlo automatizovanej prevádzky. Odhadovaná návratnosť investície bola určená výpočtom na 3 roky, po uplynutí ktorých prinesie automatizácia pracoviska firme nemalé finančné úspory. Preto je možné konštatovať, že RP spĺňa požiadavky firmy aj zákazníka, a teda návrh je realizovaný správne.

V praxi je návrh RP oveľa komplexnejší ako bolo popísané v diplomovej práci. Chýba viacero zásadných riešení z oblasti elektroniky a električky, pneumatiky, programovania, detailného konštrukčného návrhu, výrobných výkresov a montážnych zostáv a ďalších.

12 ZÁVER

Diplomová práca sa zaoberá návrhom automatizácie časti výroby termostatických hlavíc, konkrétne pracoviska na kalibráciu hlavíc. Výstupom je robotické pracovisko, ktorého komplexný návrh je postupne popísaný v logicky na seba naväzujúcich kapitolách diplomovej práce.

Prvá časť práce je rešeršná a obsahuje základné informácie a poznatky týkajúce sa automatizácie a robotických pracovísk. Obsahuje tiež popis dôležitých komponentov, často využívaných pri stavbe RP. Jednou z častí je aj teoretický základ k vypracovaniu analýzy rizík RP.

Dôležitou kapitolou je systémový rozbor zadania, kde sú podrobne popísané požiadavky firmy a zákazníka na RP, ako požadovaný takt, doba návratnosti investície, preferovaní dodávatelia komponent apod.

Prvým krokom v procese návrhu je dôkladná analýza pracoviska v pôvodnom stave. Samotný proces kalibrácie termostatických hlavíc bol podrobne popísaný, vrátane zakreslenia pôdorysu pracoviska a časovej analýzy procesov na ňom prebiehajúcich.

Následne bolo navrhnutých a popísaných niekoľko možných variant riešenia automatizácie pracoviska, vrátane náčrtu pôdorysu a časovej analýzy. Bolo stanovených niekoľko podstatných kritérií, na základe ktorých bol každý variant komplexne zhodnotený, a to z technického aj ekonomického hľadiska. Najlepší variant bol podrobne rozpracovaný.

V kapitole 7 je popísaný návrh komponentov RP. Bol vybraný priemyslový robot od firmy Kuka, ktorý bol integrovaný do kompaktného RP. Pomocou programu Kuka Load bolo overené, či je vybraný priemyslový robot vyhovujúci pre danú aplikáciu z hľadiska zaťaženia jednotlivých osí. Pre manipuláciu s termostatickými hlavícami bol zvolený podtlakový koncový efektor, ktorého návrh a výber komponentov je podrobne popísaný, vrátane dôležitých výpočtov. Pre prepravu hlavíc boli zvolené plastové prepravky a súčasne bol navrhnutý plastový blister, v ktorom sú hlavice uložené v presne definovanej polohe. Ďalším krokom bol návrh rámovej konštrukcie RP, spolu s návrhom zváraného rámu, na ktorom je pripevnený samotný robot. Pre overenie správneho návrhu bola vykonaná statická analýza zváraného rámu robotu v programe Ansys. Pri návrhu RP bolo využitých niekoľko pneumatických prvkov, najmä na manipuláciu s prepravkami, k ich aretácii v referenčnej polohe pre zakladanie, a tiež k ich akumulácii. Výber týchto komponentov je podložený dôležitými výpočtami. V poslednej časti tejto kapitoly je popísaný návrh a výber senzorov, ventilového terminálu, kamerového systému a riadiaceho systému.

Kapitola 8 sa venuje bezpečnosti pracoviska. Pritom je postupované v súlade s niekoľkými dôležitými normami. Na základe systémovej analýzy RP bola identifikovaná rada nebezpečí, vyplývajúcich z návrhu RP. Bola odhadnutá veľkosť všetkých rizík a pre vybrané významné riziko bol vypracovaný formulár pre odhad rizika. Za účelom zníženia rizík bolo navrhnutých niekoľko bezpečnostných prvkov, ako pevné ochranné kryty, optická brána, blokovacie zariadenie, bezkontaktné snímače apod. Pracovisko bolo navrhnuté tak, aby spĺňalo ergonomické zásady.

Funkčnosť navrhnutého RP bola overená v programe Siemens Process Simulate. Pomocou tohto softvéru bol overený dosah robotu, kolízne stavy a samotné riešenie bolo

optimalizované. Najdôležitejším výstupom simulácie je výsledný čas cyklu. Tým bolo overené, že navrhnuté RP spĺňa požadovaný čas taktu.

Posledným krokom bolo ekonomické zhodnotenie návrhu RP, vrátane výpočtu odhadovanej doby návratnosti investície. Záverom je konštatovanie, že požiadavka firmy na dobu návratnosti investície je splnená.

13 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] BENEŠ, Pavel, Josef JANEČEK, Jindřich KRÁL, et al. *Automatizace a automatizační technika 1: Systémové pojetí automatizace*. Brno: Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-3628-7.
- [2] VELÍŠEK, Karol a Peter KOŠTÁL. MECHANIZÁCIA A AUTOMATIZÁCIA. *Encyklopediapoznania* [online]. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2007 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: https://encyklopediapoznania.sk/data/eknihy/automatizacia_mechanizacia_a_robotizacia/mehanizacia_a_automatizacia.pdf
- [3] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN ISBN978-80-214-4828-5.
- [4] KUKA SmartProduction. In: *KUKA Robotics* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-us/technologies/industrie-4-0/industrie-4-0-smartproduction>
- [5] MARKOFF, JOHN. Skilled Work, Without the Worker. In: *The New York Times* [online]. 2012 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.nytimes.com/2012/08/19/business/new-wave-of-adept-robots-is-changing-global-industry.html>
- [6] Integration-Ready-Robots. In: *LEONI* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.leoni-factory-automation.com/en/products-and-services/integration-ready-robots/>
- [7] WHY DOES IT BEND LIKE THAT?. In: *Opendog.wordpress* [online]. 2015 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://opendog.wordpress.com/2015/02/26/why-does-it-bend-like-that/>
- [8] Základy Priemyselnej robotiky- Základné delenie robotov. *Daily Automation* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://dailyautomation.sk/01-zaklady-priemyselnej-robotiky-zakladne-delenie/>
- [9] Motion systems perspective: Robots in automation. *The Robot Report* [online]. 2018 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.therobotreport.com/motion-systems-application-examples-robots-in-action/>
- [10] Základy Priemyselnej robotiky- 6 osé angulárne roboty. *Daily Automation* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://dailyautomation.sk/6-ose-angularne-roboty/>
- [11] Industrial robots from KUKA. *KUKA Robotics* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-ch/products/robotics-systems/industrial-robots>
- [12] Cartesian robots. *All On Robots* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://www.allonrobots.com/cartesian-robots.html>
- [13] Základy Priemyselnej robotiky- SCARA roboty. *Daily Automation* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://dailyautomation.sk/scara-roboty/>
- [14] SCARA Robot SR-3iA. In: *FANUC* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/de/en/robots/robot-filter-page/scara-series/scara-sr-3ia>
- [15] Základy Priemyselnej robotiky- DELTA Roboty. *Daily Automation* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://dailyautomation.sk/delta-roboty/>
- [16] ABB IRB 340. *RobotWorx* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.robots.com/robots/abb-irb-340>

- [17] BÉLANGER-BARRETTE, Mathieu. What Does Collaborative Robot Mean?. *ROBOTIQ* [online]. 2015 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/what-does-collaborative-robot-mean>
- [18] Invited Talk: Collaborative robot safety requirements for manufacturing. *CLAWAR Association*. [online]. 2016 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://clawar.org/blog/2016/11/23/invited-talk-collaborative-robot-safety-requirements-for-manufacturing/>
- [19] Základy Priemyselnej robotiky- Pracovné charakteristiky. *Daily Automation* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://dailyautomation.sk/02-zaklady-priemyselnej-robotiky-zakladne-parametre/>
- [20] KÁRNÍK, Ladislav. *RTP - navrhování a praktické aplikace: studijní opora*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN ISBN978-80-248-2725-4.
- [21] Dopravníky různých druhů dodá LOGSYS. In: *Evropská databanka* [online]. 2015 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.edb.cz/clanek-3068-dopravniky-ruznych-druhu-doda-logsys>
- [22] Pásové dopravníky lomené. In: *HABERKORN* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/pasove-dopravniky-lomene/>
- [23] HED, Patric. ABB Arc Welding Products. *ABB* [online]. 2010 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://library.e.abb.com/public/e8a36f7cae734a8fa339eac9080f5e30/NewGenerationPositions-new.pdf>
- [24] Vždy v taktu - otočný stůl zaručuje kvalitu. *Deprag* [online]. 2013 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://deprag.com/cs/spolecnost/tiskove-zpravy/presse201304a/>
- [25] Vacuum Gripper for Universal Robots. In: *EMI Corporation* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.emicorp.com/item/KIT%2BUR%2BV/8011-KIT-UR-V-Vacuum-Gripper-for-Universal-Robots/>
- [26] Kuka Robot with Two Finger Gripper Robotiq. In: *Turbosquid* [online]. 2018 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.turbosquid.com/3d-models/kuka-robot-finger-gripper-3d-model-1333484>
- [27] MHM MAGNETIC GRIPPER KIT. In: *Universal Robots* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/plus/end-effectors/mhm-magnetic-gripper-kit/>
- [28] Universal Robots certifies ATI's automated tool changer QC-11. In: *Control design* [online]. 2019 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.controldesign.com/industrynews/2019/universal-robots-certifies-atis-automated-tool-changer-qc-11/>
- [29] BOUCHARD, Samuel. Robot End Effector: Definition and Examples. *Robotiq* [online]. 2014 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/bid/53266/Robot-End-Effector-Definition-and-Examples>
- [30] HAVLÍČEK, Daniel. 7 typů senzorů průmyslových robotů. Znáte je?. *Factory Automation* [online]. 2015 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/7-typu-senzoru-prumyslovych-robotu-znate-je/>
- [31] PITTMAN, Kagan. New Digital Signal Force Torque Sensor for Universal Robots. In: *Engineering* [online]. 2016 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/11334/New-Digital-Signal-Force-Torque-Sensor-for-Universal-Robots.aspx>

- [32] Bin Picking for automated exact object positioning. In: *Blumenbecker* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.blumenbecker.com/industrial-automation/industrial-robotics/bin-picking/>
- [33] Ind. snímač s hranatou konštrukciou. In: *Balluff* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/local/sk/news/product-news/inductive-sensor-with-dimension-40/>
- [34] Kapacitní snímače. In: *SICK* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/detekcni-snimace/kapacitni-snimace/c/g201659>
- [35] Sensors for T-slot cylinders. In: *SICK* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: https://cdn.sick.com/media/docs/1/41/541/Product_information_MZT7_RZT7_Sensors_for_T_slot_cylinders_en_IM0060541.PDF
- [36] Functionality and technology of magnet and cylinder sensors. In: *Baumer* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: https://www.baumer.com/dk/en/service-support/know-how/function-principle/functionality-and-technology-of-magnet-and-cylinder-sensors/a/know-how_function_magnet-cylinder-sensors
- [37] Optický laserový přesný snímač. In: *Balluff* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/local/cz/news/product-news/optical-laser-precision-sensor/>
- [38] Reliable Skid Control in Automotive Bodyshell Construction. In: *Pepperl+Fuchs* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.pepperl-fuchs.com/usa/en/34913.htm>
- [39] Nariadenia, smernice a ďalšie akty. *Európska únia* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: https://europa.eu/european-union/eu-law/legal-acts_sk
- [40] SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY 2006/42/ES zo 17. mája 2006 o strojových zariadeniach a o zmene a doplnení smernice 95/16/ES. *EUR-Lex* [online]. 2006 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/sk/TXT/?uri=CELEX:32006L0042>
- [41] BLECHA, Petr. *Management technických rizik u výrobních strojů* [online]. Brno, 2010 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://www.vutium.vutbr.cz/tituly/pdf/ukazka/978-80-214-4062-3.pdf>. Teze habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.
- [42] SIL or PL? What is the difference?. *TÜV SÜD* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://www.tuv-sud.co.uk/uploads/images/1397220180236544250395/sil-or-pl.pdf>
- [43] Příručka bezpečnosti Bezpečnost strojů – Jokab Safety. *ABB* [online]. 2013 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://library.e.abb.com/public/efb3781390c4499686c1e5f1244db08f/ABB%20Prirucka%20bezpecnosti%20-%20Katalog%20JokabSafety.pdf>
- [44] Bezpečnostné prvky – Úvod. *Daily Automation* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://dailyautomation.sk/01-bezpecnostne-prvky-uvod/>
- [45] Oplocení zařízení. *Haberkorn* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/oploceni-zarizeni/>
- [46] *Blokovanie a monitorovanie ochranných krytov/ dverí* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://dailyautomation.sk/blokovanie-dveri/>
- [47] Bezpečnostní světelné závory obecně. *Teprostroj* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://teprostroj.com/58-bezpecnostni-komponenty-pro-stroje/bezpecnostni-a-nebezpecnostni-svetelne-zavory-a-senzory/1145-bezpecnostni-svetelne-zavory-obecne>
- [48] Machine safety. *Proton EL* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://www.proel.hr/en/machine-safety/>

- [49] Safeguarding a Single-Station Robot Weld Cell. *Banner Engineering* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.bannerengineering.com/us/en/solutions/machine-guarding/safeguarding-a-single-station-robot-weld-cell.html>
- [50] Bezpečnostné nášľapné rohože. *Daily Automation* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://dailyautomation.sk/bezpecnostne-naslapne-rohoze/>
- [51] Pressure-sensitive safety mat PSENmat. In: *PILZ* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.pilz.com/en-IE/eshop/00106002247124/PSENmat-Safety-mat>
- [52] Stack Light Engineering Reference Guide. *Onyx Industries* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: https://www.automation.com/pdf_articles/StackLightEngineeringReferenceGuide.pdf
- [53] Intelligent Andon light systems from WERMA make the operation Lean and Industry 4.0 compliant. In: *Connecting Industry* [online]. 2017 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://www.connectingindustry.com/MaterialsHandlingLogistics/intelligent-andon-light-systems-from-werma-make-the-operation-lean-and-industry-40-compliant.aspx>
- [54] Die Zukunft gehört Robotics 3.0. In: *Industrie.de* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://industrie.de/technik/die-zukunft-gehoert-robotics-3-0/>
- [55] Smarter material handling. *FANUC* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/hr/en/industrial-applications/automated-material-handling>
- [56] Robotic Material Handling. *Kawasaki Robotics* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://robotics.kawasaki.com/en1/applications/robotic-material-handling/>
- [57] The Missing Piece to Complete Your Packaging Line. In: *Douglas* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.douglas-machine.com/products-solutions/palletizers/stratum-robotic-palletizer/>
- [58] Triaflex delta robots and dried fruits packaging: a successful story. In: *Cama group* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://www.camagroup.com/triaflex-delta-robots-dried-fruits-packaging/>
- [59] Robotic Machine Tending. In: *MESH Automation* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://meshautomationinc.com/robotic-machine-tending/>
- [60] Obrábění pomocí robotů. *FRÉZOVÁNÍ V 5 OSÁCH* [online]. 2013 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://www.frezovani-5os.cz/clanky/obrabeni-pomoci-robotu/>
- [61] OWEN-HILL, Alex. CAM / OFFLINE PROGRAMMING / ROBOT MACHINING / ROBOT MANUFACTURING Can a Robot Outperform a CNC Machine for Robot Machining?. *RoboDK blog* [online]. 2018 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://robodk.com/blog/robot-machining-vs-cnc/#comments>
- [62] MIKOŁAJCZYK, Tadeusz. Robot application to surface finish machining. *Research Gate* [online]. 2010 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/228391477_Robot_application_to_surface_finish_machining
- [63] ASSEMBLY ROBOTICS. *Acieta* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.acieta.com/automation-application/assembly-robotics/>
- [64] Assembly Systems. In: *CAPITAL Industries* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.capitalindustries.com/assembly-systems.html>
- [65] Úvod. *AlvaT* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://merenidobycyklu.picktolight.cz/>
- [66] Honeywell, spol. s r.o. *Interné materiály*. Brno, 2019.

- [67] KNOFLÍČEK, Radek. Podklady vedúceho diplomovej práce.
- [68] KR 3 AGILUS Specification. *KUKA Deutschland GmbH* [online]. 2019 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/48ec812b1b2947898ac2598aff70abc0/spez_kr_3_agilus_en.pdf?modified=-1467196355
- [69] IRB 120 Industrial Robot. *Ferret* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://www.ferret.com.au/ODIN/PDF/Showcases/101128.pdf>
- [70] Často kladené otázky - Vakuová technika. *Festo* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.festo.com/cms/cs_cz/9830.htm
- [71] Vakuové ejektory OVEL. *Festo* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/OVEL_CZ.PDF
- [72] Basic principles of vacuum technology, brief overview. *Festo* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/286804/Basic_Vacuum_Technology_Principles.pdf
- [73] Zarážkové válce DFSP. *Festo* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/DFSP_CZ.PDF
- [74] Ventilový terminál MPA-L. *Festo* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_SK/PDF/SK/TYP34-G_SK.PDF
- [75] 2D vision Inspector. *SICK* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.sick.com/tr/en/vision/2d-vision/inspector/c/g114860>
- [76] Basic Controller SIMATIC S7-1200. *Siemens* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://c4b.gss.siemens.com/resources/images/articles/dffa-b10053-03-7600.pdf>
- [77] ČSN EN ISO 13855. *Bezpečnost strojních zařízení - Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. Třídící znak: 833303.
- [78] MiniTwin4. *SICK* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: https://cdn.sick.com/media/docs/5/75/375/Operating_instructions_miniTwin4_Safety_light_curtain_en_IM0033375.PDF
- [79] SIMATIC STEP7 Safety Reaction Time Table SIMATIC S7-1500F / S7-1200F. *Siemens* [online]. 2019 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/93839056/simatic-step7-safety-reaction-time-table-simatic-s7-1500f-s7-1200f?dti=0&lc=en-US>
- [80] BÉLANGER-BARRETTE, Mathieu. How Long to Payback my Robot Investment?. *Robotiq* [online]. 2015 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/how-long-before-i-can-payback-my-robot-investment>

14 ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK

14.1 Zoznam tabuliek

TAB 1) TYPY TERMOSTATICKÝCH HLAVÍC HONEYWELL.....	47
TAB 2) ČASY JEDNOTLIVÝCH PRACOVNÝCH OPERÁCIÍ NA PRACOVISKU (*V PREPRAVKE JE 28KS HLAVÍC, ČAS PREPOČÍTANÝ NA 2KS) 53	
TAB 3) GANTTOV DIAGRAM ČASU CYKLU SÚČASNÉHO PRACOVISKA	53
TAB 4) GANTTOV DIAGRAM ČASU CYKLU PRE VARIANTY 1 A 3	59
TAB 5) GANTTOV DIAGRAM ČASU CYKLU PRE VARIANT 2.....	59
TAB 6) TECHNICKÉ ZHODNOTENIE NAVRHOVANÝCH VARIANT RP ...	61
TAB 7) EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE NAVRHOVANÝCH VARIANT RP	61
TAB 8) PARAMETRE ROBOTU KUKA KR 3 R540 [68].....	65
TAB 9) PRACOVNÝ ROZSAH JEDNOTLIVÝCH OSÍ ROBOTU [68]	65
TAB 10) KOMPONENTY PNEUMATICKÉHO OBVODU KONCOVÉHO EFEKTORU.....	70
TAB 11) FORMULÁR PRE ODHAD RIZIKA VÝZNAMNÉHO NEBEZPEČIA	85
TAB 12) STANOVENIE FINÁLNEHO ČASU CYKLU RP	95
TAB 13) OBSTARÁVACIE NÁKLADY NA RP.....	97

14.2 Zoznam obrázkov

OBR. 1) RP S PRIEMYSLOVÝM ROBOTOM KUKA S VLASTNÝM POJAZDOM [4]	21
OBR. 2) ROBOTIZOVANÝ VÝROBNÝ SYSTÉM S MEDZIOPERAČNOU DOPRAVOU [5]	21
OBR. 3) PRIEMYSLOVÝ ROBOT A JEHO ČASTI. 1-POLOHOVACIE ÚSTROJENSTVO, 2-ORIENTAČNÉ ÚSTROJENSTVO, 3-KONCOVÝ EFEKTOR, 4-RIADIACI SYSTÉM, 5-OVLÁDACÍ PANEL, 6-PRÍVOD ENERGII A MÉDIÍ [6].....	22
OBR. 4) TYPY PRIEMYSLOVÝCH ROBOTOV [7]	23
OBR. 5) 1 -PRIEMYSLOVÝ ROBOT S PARALELNOU KINEMATIKOU, 2 - SENZOR (KAMERA) NA SNÍMANIE POLOHY PREDMETU NA DOPRAVNÍKU, 3 -RIADIACI SYSTÉM [9].....	24
OBR. 6) PRODUKTOVÁ RADA ROBOTOV FIRMY KUKA [11].....	25
OBR. 7) KARTÉZSKY ROBOT FIRMY EPSON [12].....	25
OBR. 8) SCARA ROBOT FIRMY FANUC [14].....	25

OBR. 9) DELTA ROBOT FIRMY ABB [16]	26
OBR. 10) KOLABORATÍVNY ROBOT FIRMY UNIVERSAL ROBOTS [18]	26
OBR. 11) PRÍKLADY DOPRAVNÍKOV. A) VALČEKOVÁ DRÁHA, B) PÁSOVÝ DOPRAVNÍK [21],[22].....	28
OBR. 12) A) OTOČNÝ STÔL V AUTOMATIZOVANEJ VÝROBNEJ BUNKE, B) POLOHOVADLO [23], [24]	28
OBR. 13) KONCOVÉ EFEKTORY. A) MECHANICKÝ, B) PODTLAKOVÝ, C) MAGNETICKÝ [25],[26],[27]	29
OBR. 14) SYSTÉM AUTOMATICKEJ VÝMENY KONCOVÉHO EFEKTORU FIRMY ATI [28]	30
OBR. 15) A) SILOVÝ A MOMENTOVÝ SENZOR FIRMY ROBOTIQ, B) UKÁŽKA VYUŽITIA KAMEROVÉHO SYSTÉMU PRI ÚLOHE TZV. BIN PICKING [31], [32].....	30
OBR. 16) TYPY INDUKČNÝCH SENZOROV FIRMY BALLUFF [33]	31
OBR. 17) TYPY KAPACITNÝCH SENZOROV FIRMY SICK [34].....	31
OBR. 18) A) MAGNETICKÝ SENZOR FIRMY SICK V DRÁŽKE PNEUMATICKÉHO VALCA, B) PRINCÍP FUNKCIE MAGNETICKÝCH SENZOROV [35], [36].....	32
OBR. 19) A) OPTICKÝ SENZOR FIRMY BALLUFF, B) UKÁŽKA POUŽITIA OPTICKÉHO SENZORU PRE DETEKCIU OBJEKTOV [37], [38].....	32
OBR. 20) POSTUP POSÚDENIA RIZIKA PODĽA ČSN EN ISO 12100 [3]	35
OBR. 21) PRÍKLAD GRAFU PRE ODHAD RIZIKA PODĽA ČSN EN ISO 12100 [41] 36	
OBR. 22) ÚROVEŇ VLASTNOSTÍ PL A ÚROVEŇ INTEGRITY BEZPEČNOSTI SIL [42] 37	
OBR. 23) POSTUP POSÚDENIA RIZIKA PODĽA ČSN EN ISO 13849-1 [43]....	38
OBR. 24) ODHAD RIZIKA PRE VÝPOČET POŽADOVANEJ ÚROVNE VLASTNOSTÍ PL _R [43].....	38
OBR. 25) STANOVENÁ ARCHITEKTÚRA PRE KATEGÓRIU B A 1 [3].....	39
OBR. 26) STANOVENÁ ARCHITEKTÚRA PRE KATEGÓRIU 3 A 4 [3].....	39
OBR. 27) PRINCIPIÁLNA SCHÉMA BEZPEČNOSTNÝCH PRVKOV [44].....	40
OBR. 28) OCHRANNÉ OPLOTENIE [45].....	40
OBR. 29) UKÁŽKA POUŽITIA SVETELNEJ ZÁVORY [48].....	41
OBR. 30) UKÁŽKA POUŽITIA LASEROVÉHO SKENERU [49].....	42
OBR. 31) PRÍKLAD POUŽITIA NÁŠEAPNEJ ROHOŽE [51]	42
OBR. 32) SIGNALIZAČNÝ STĹPIK [53].....	43
OBR. 33) PRÍKLAD RP PRE ZVÁRANIE V AUTOMOBILOVOM PRIEMYSLE [54] 43	

OBR. 34) PRÍKLAD RP SO ŠEŠŤOSÍM ROBOTOM PRE MANIPULÁCIU S MATERIÁLOM [57]	44
OBR. 35) PRÍKLAD RP S DELTA ROBOTMI PRE MANIPULÁCIU S MATERIÁLOM [58]	44
OBR. 36) PRÍKLAD RP S PRIEMYSLOVÝM ROBOTOM PRE ZAKLADANIE OBROBKOV DO OBRÁBACIEHO STROJU [59]	45
OBR. 37) UKÁŽKY OBRÁBANIA PRIEMYSLOVÝM ROBOTOM [62].....	45
OBR. 38) PRÍKLAD RP PRE MONTÁŽ S NIEKOLKÝMI PRIEMYSLOVÝMI ROBOTMI [64].....	46
OBR. 39) ZNÁZORNENIE MATERIÁLOVÉHO TOKU PRI VÝROBE TERMOSTATICKÝCH HLAVÍC	49
OBR. 40) LAYOUT SÚČASNÉHO STAVU PRACOVISKA S VYZNAČENÍM UMIESTNENIA BUDÚCEHO RP.....	51
OBR. 41) VSTUP PREPRAVKY S HLAVICAMI DO KLIMATIZOVANEJ MIESTNOSTI [66]	51
OBR. 42) A) PRÍJAZD PREPRAVKY PO DOPRAVNÍKOVEJ DRÁHE KU KALIBRAČNÉMU STROJU, B) KALIBRÁCIA TERMOSTATICKÝCH HLAVÍC V KALIBRAČNOM STROJI [66].....	52
OBR. 43) NÁVRH ROZLOŽENIA RP – VARIANT 1. A) AUTOMATICKÝ REŽIM, B) MANUÁLNY REŽIM	56
OBR. 44) NÁVRH ROZLOŽENIA RP – VARIANT 2. A) AUTOMATICKÝ REŽIM, B) MANUÁLNY REŽIM	57
OBR. 45) NÁVRH ROZLOŽENIA RP – VARIANT 3. A) AUTOMATICKÝ REŽIM, B) MANUÁLNY REŽIM	58
OBR. 46) GRAF VYHODNOTENIA TECHNICKO-EKONOMICKEJ HODNOTY NAVRHOVANÝCH VARIANT RP.....	62
OBR. 47) MODEL NAVRHNUTÉHO RP A JEHO ZÁKLADNÉ ČASTI – AUTOMATICKÝ REŽIM. NIEKTORÉ PEVNÉ OCHRANNÉ KRYTY SÚ SKRYTÉ PRE NÁZORNOSŤ.	63
OBR. 48) MODEL NAVRHNUTÉHO RP A JEHO ZÁKLADNÉ ČASTI – MANUÁLNY REŽIM.....	64
OBR. 49) A) VÝSLEDKY ANALÝZY ZAŤAŽENIA ROBOTU A VSTUPNÉ ÚDAJE, B) ZAŤAŽENIE PRÍRUBY ROBOTU	65
OBR. 50) STATICKÉ ZAŤAŽENIE JEDNOTLIVÝCH OSÍ ROBOTU	66
OBR. 51) DYNAMICKÉ ZAŤAŽENIE JEDNOTLIVÝCH OSÍ ROBOTU	66
OBR. 52) ZNÁZORNENIE PÔSOBIACICH SÍL PRI MANIPULÁCI S HLAVICOU. A) ZDVIH HLAVICE (OS Z), B) PRESUN HLAVICE V OSE X	67
OBR. 53) PRINCÍP FUNKCIE VÁKUOVÉHO EJEKTORU [70]	68
OBR. 54) A) CELKOVÝ POHĽAD NA ZOSTAVU, B) ČASTI KONCOVÉHO EFEKTORU.....	69

OBR. 55) DOBA ODSATIA JEDNÉHO LITRU VZDUCHU V ZÁVISLOSTI NA HODNOTE VÁKUA P_U A TYPE EJEKTORU [71].....	70
OBR. 56) PREPRAVKA S NAVRHNUÝM PLASTOVÝM BLISTROM A HLAVICAMI	71
OBR. 57) RÁMOVÁ KONŠTRUKCIA RP A ZVÁRANÝ RÁM ROBOTU.....	72
OBR. 58) SILY A MOMENTY PÔSOBIACE NA ZÁKLADŇU PRI POHYBE ROBOTU [68].....	73
OBR. 59) OKRAJOVÉ PODMIENKY ZADANÉ V PROGRAME ANSYS.....	73
OBR. 60) VÝSLEDKY STATICKEJ ANALÝZY V PROGRAME ANSYS.....	74
OBR. 61) PRINCÍP FUNKCIE PNEUMATICKÉHO VÝŤAHU DO REFERENČNEJ POLOHY. A) SPODNÁ POLOHA, B) VRCHNÁ POLOHA A ARETÁCIA PREPRAVKY	75
OBR. 62) PRINCÍP FUNKCIE PNEUMATICKÉHO VÝŤAHU. A) VRCHNÁ POLOHA, B) SPODNÁ POLOHA	77
OBR. 63) POLOHA ZASTAVOVACÍCH VALCOV NA VALČEKOVEJ TRATI 79	
OBR. 64) VENTILOVÝ TERMINÁL MPA-L FIRMY FESTO [74].....	79
OBR. 65) ZJEDNODUŠENÝ MODEL KALIBRAČNÉHO STROJU A ČERVENÁ PREPRAVKA NA ZMÄTKY.....	80
OBR. 66) UMIESTNENIE SENZOROV NA ČASTI VALČEKOVEJ TRATE.....	81
OBR. 67) KAMERA SICK INSPECTOR [75]	81
OBR. 68) A) KLASICKÉ PLC A BEZPEČNOSTNÉ RELÉ, B) BEZPEČNOSTNÉ PLC [76].....	82
OBR. 69) BLOKOVÝ DIAGRAM S NAJVYŠŠOU ROZLIŠOVACOU ÚROVŇOU RP 83	
OBR. 70) NEBEZPEČNÉ PRIESTORY RP.....	84
OBR. 71) PREHĽAD NAVRHNUÝCH BEZPEČNOSTNÝCH PRVKOV RP ...	87
OBR. 72) NAVRHNUITÉ BEZPEČNOSTNÉ OPATRENIA NA VÝSTUPNOM DOPRAVNÍKU. NIEKTORÉ PEVNÉ OCHRANNÉ KRYTY SÚ PRE LEPŠIU NÁZORNOSŤ SKRYTÉ.....	88
OBR. 73) ERGONÓMIA RP	90
OBR. 74) ERGONÓMIA RP – OBOJRUČNÉ OVLÁDANIE	91
OBR. 75) PROSTREDIE PROCESS SIMULATE A NASTAVENIE VHODNEJ POLOHY ROBOTU	93
OBR. 76) GANTTOV DIAGRAM MANIPULÁCIE S VÝCHODZÍM NASTAVENÍM	95
OBR. 77) GANTTOV DIAGRAM MANIPULÁCIE S RCS MODULOM.....	95
OBR. 78) GRAF NÁVRATNOSTI INVESTÍCIE.....	99

14.3 Zoznam skratiek

2D	[-]	Dvojdimenzionálny
3D	[-]	Trojdimenzionálny
ABS	[-]	Akrylonitrilbutadiénstyrén
CNC	[-]	Počítačové číslicové riadenie
ČR	[-]	Česká republika
ČSN	[-]	Česká technická norma
EN	[-]	Európska norma
ES	[-]	Európske spoločenstvo
EÚ	[-]	Európska únia
ISO	[-]	Medzinárodná organizácia pre normalizáciu
PL	[-]	Úroveň vlastností
PLA	[-]	polymliečna kyselina
PLC	[-]	Programovateľný logický automat
PL _r	[-]	Požadovaná úroveň vlastností
RCS	[-]	Robot Controller system
RP	[-]	Robotické pracovisko
SIL	[-]	Úroveň integrity bezpečnosti
CAD	[-]	Computer-aided design

14.4 Zoznam symbolov

a	[$m \cdot s^{-2}$]	zrýchlenie
C	[mm]	vzdialenosť vniknutia
D_1	[m]	priemer piestu
d_1	[m]	priemer piestnice
D_2	[m]	priemer piestu
d_2	[m]	priemer piestnice
d_z	[-]	detekčná schopnosť senzoru
F_A	[N]	reakčná sila od zrýchlenia
F_G	[N]	tiažová sila
F_{Gp}	[N]	zložka gravitačnej sily v smere valčekovej dráhy
F_{K1}	[N]	gravitačná sila, ktorú musí prekonať pneumatikový valec
F_{K2}	[N]	gravitačná sila, ktorú musí prekonať pneumatikový valec
F_P	[N]	pridržná sila prísavky

F_{PX}	[N]	normálová zložka trecej sily F_T
F_{PZ}	[N]	sila potrebná k prekonaniu tiažovej sily F_G v ose Z
F_T	[N]	trečia sila
F_{TV}	[N]	teoretická sila pneumatického valca
$F_{T_{vys}}$	[N]	teoretická sila pneumatického valca pri vysúvaní piestnice
$F_{T_{vys2}}$	[N]	teoretická sila pneumatického valca pri vysúvaní piestnice
$F_{T_{zas}}$	[N]	teoretická sila pneumatického valca pri zasúvaní piestnice
$F_{T_{zas2}}$	[N]	teoretická sila pneumatického valca pri zasúvaní piestnice
g	$[m \cdot s^{-2}]$	gravitačné zrýchlenie
g^n	[-]	koeficient dôležitosti
K	[mm/s]	parameter odvodený z údajov rýchlosti priblíženia tela alebo časti tela
l_D	[m]	dĺžka klimatizovanej komory
l_M	[m]	dĺžka medzery medzi prepravkami
l_P	[m]	dĺžka prepravky
m	[kg]	hmotnosť telesa
m_{K1}	[kg]	hmotnosť komponentov
m_{K2}	[m]	hmotnosť pohyblivých komponentov pneumatického výťahu
m_P	[kg]	hmotnosť komponentov (prepravka, 28ks hlavíc, plastový blister)
n_s	[-]	počet pracovných zmien za deň
N_P	[ks]	kapacita klimatizovanej komory
N_{RP}	[Kč]	celkové obstarávacie náklady na projekt RP
N_{POP}	[Kč/rok]	prevádzkové náklady na pracovisko v súčasnom stave
N_{PRP}	[Kč/rok]	odhadované prevádzkové náklady RP
N_{URP}	[Kč/rok]	odhadované náklady na údržbu RP
O_D	[ks/h]	dopravný výkon klimatizovanej komory
p	[Pa]	tlak vzduchu vo valci (6bar)
p_τ	[%]	percentuálne vyjadrenie hodnotených parametrov
S	[-]	bezpečnostný faktor
S_{min}	[mm]	minimálna vzdialenosť
S_P	[m ²]	plocha piestu
T_l	[s]	čas odozvy optickej brány
t_{10HR}	[s]	čas zavzdušnenia systému po predchádzajúcom odsatí vzduchu

t_{10HT}	[s]	doba odsatia jedného litru vzduchu k dosiahnutiu 60% vákua
t_{1h}	[s]	čas, 1h
T_2	[s]	čas odozvy bezpečnostného PLC
T_3	[s]	čas odozvy ventilu
t_D	[s]	čas, ktorý strávi prepravka v klimatizovanej komore
t_n	[-]	váha parametrov multikriteriálneho hodnotenia
T_n	[-]	označenie parametrov multikriteriálneho hodnotenia
t_R	[s]	doba potrebná k nasatiu objemu vzduchu V_T a pusteniu predmetu
t_{ROI}	[rok]	doba návratnosti investície
t_s	[s]	dostupný pracovný čas na 1 zmenu
t_t	[s]	čas taktu na výrobu jednej termostatickej hlavice
t_T	[s]	doba odsatia objemu V_T
V_5	[cm ³]	objem hadice
V_6	[cm ³]	objem prísavky
V_7	[cm ³]	objem držiaku prísavky
v_D	[m.s ⁻¹]	rýchlosť dopravníku klimatizovanej komory
V_T	[cm ³]	celkový objem pneumatického obvodu za ejektorom
Z_p	[ks]	požiadavka zákazníka na 1 deň
ε	[-]	ekonomická stránka hodnotenia variant
τ	[-]	technická stránka hodnotenia variant
μ	[-]	súčiniteľ trenia

15 ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1 – Blokové diagramy

Príloha 2 – Tabuľka zdrojov relevantných nebezpečí RP

Príloha 3 – Analýza významných nebezpečí

Príloha 4 – Tabuľka identifikovaných významných nebezpečí

Príloha 5 – Katalógové listy vybraných zariadení

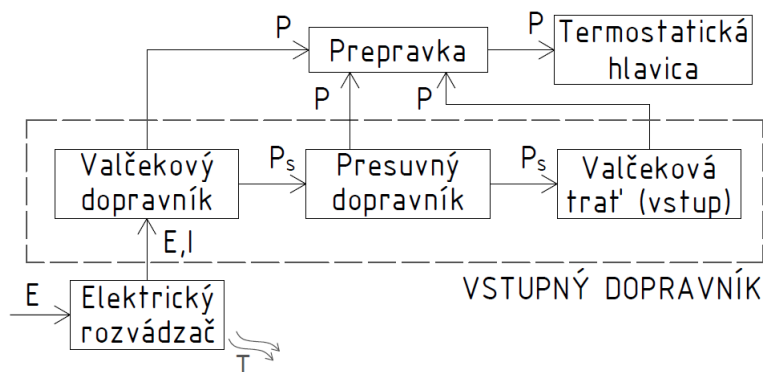
Výkres robotického pracoviska

3D model robotického pracoviska vo formáte .jt

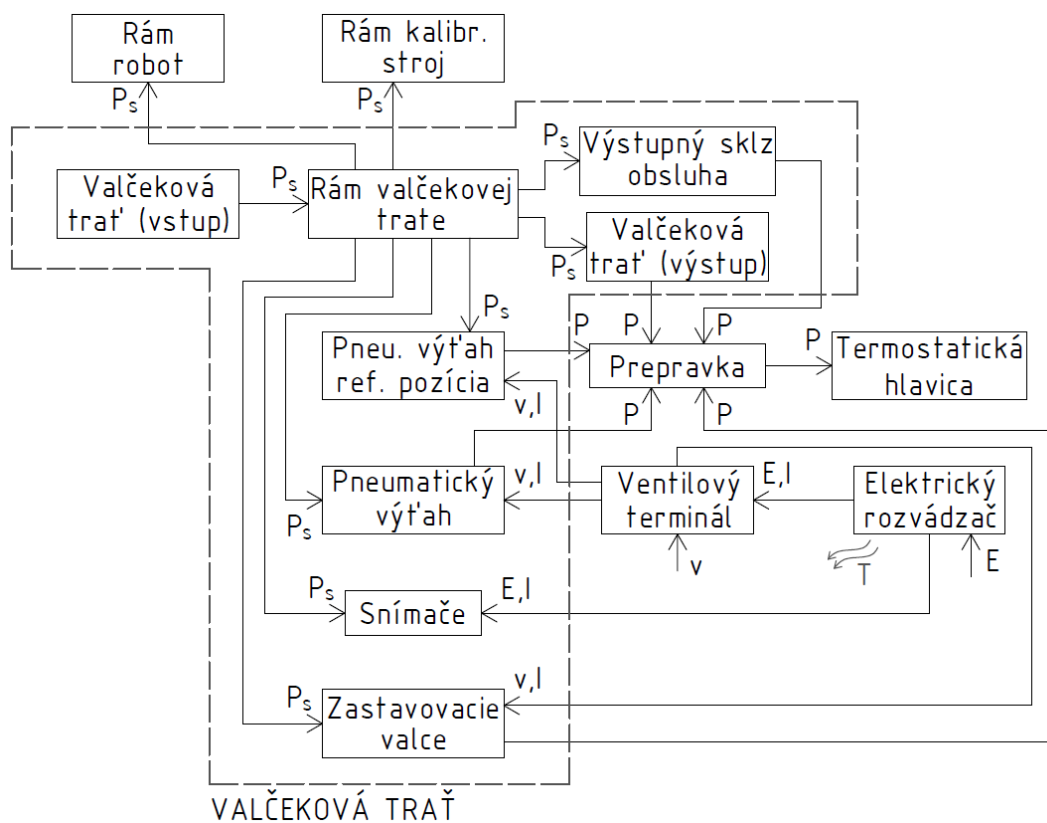
Video simulácie robotického pracoviska

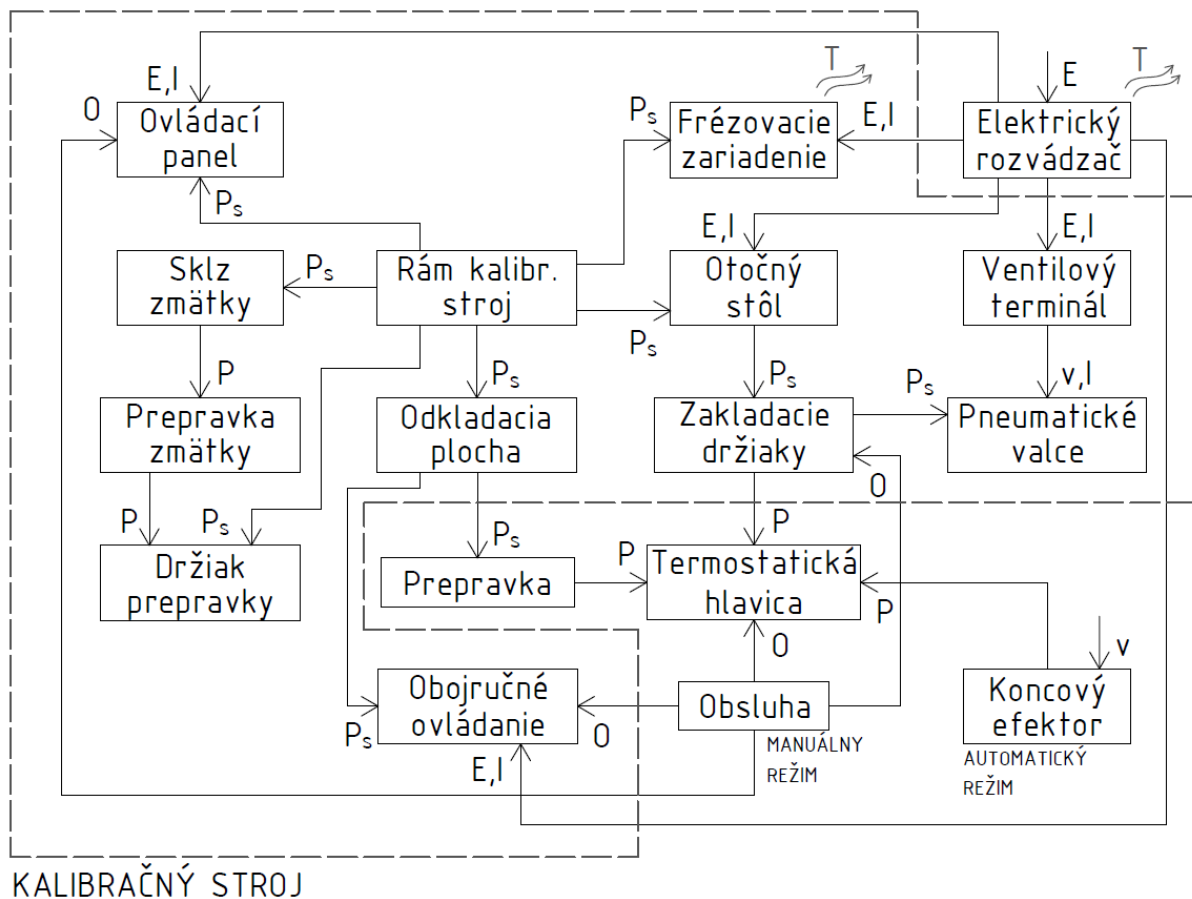
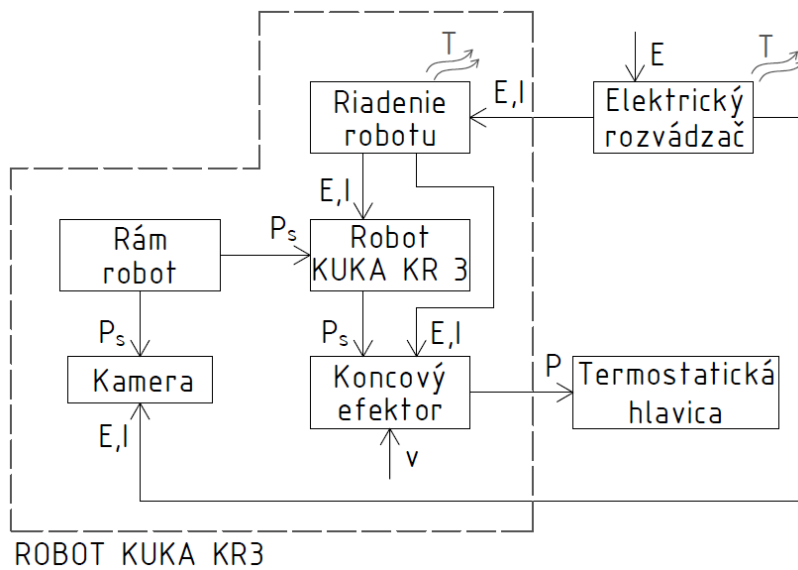
PRÍLOHY

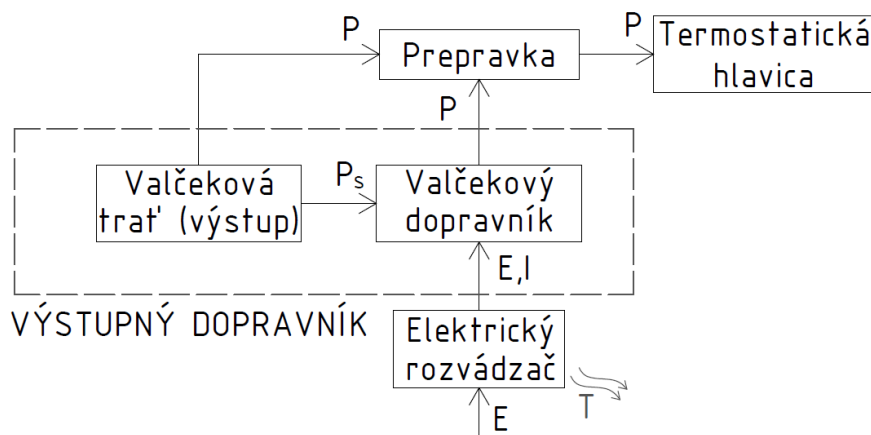
Príloha 1



Legenda: E-elektrická energia, 0 - práca obsluhy, v-energia stlačeného vzduchu,
 P-polohová väzba, I-informačný tok, T-tepelná energia, P_s-pasívna polohová väzba







Príloha 2

Názov komponentu	Poloha komponentu v systéme	Typ nebezpečia podľa ČSN EN ISO 12100
Vstupný dopravník	Priestor vstupného dopravníku	mechanické nebezpečie (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5)
Presuvný dopravník	Priestor vstupného dopravníku	mechanické nebezpečie (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5)
Zastavovací valec	Priestor vstupného dopravníku, pracovný priestor robotu, priestor výstupných dopravníkov	mechanické nebezpečie (1.1, 1.2, 1.8)
Priemyslový robot Kuka KR 3 R540	Pracovný priestor robotu	mechanické nebezpečie (1.1, 1.2, 1.6), nebezpečie hluku (4.1), nebezpečie vibrácií (5.1)
Koncový efektor robotu	Pracovný priestor robotu	mechanické nebezpečie (1.1, 1.2, 1.6, 1.7, 1.8), nebezpečie hluku (4.1), nebezpečie spôsobené poruchou dodávky energie (7.1)
Pneumatický výťah do referenčnej polohy	Pracovný priestor robotu	mechanické nebezpečie (1.1, 1.2, 1.6, 1.7, 1.8), nebezpečie hluku (4.1), nebezpečie spôsobené poruchou dodávky energie (7.1)
Rámová konštrukcia robotu	Pracovný priestor robotu, blízke okolie RP	mechanické nebezpečie (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5), nebezpečie vibrácií (5.1)
Rámová konštrukcia RP	Pracovný priestor robotu, priestor vstupného dopravníku, priestor výstupných dopravníkov, blízke okolie RP	mechanické nebezpečie (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5)
Riadenie robotu Kuka KR C4	Pracovný priestor robotu	elektrické nebezpečie (2.1, 2.2, 2.3), tepelné nebezpečie (3.1)
Kalibračný stroj	Pracovný priestor kalibračného stroju	mechanické nebezpečie (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.6, 1.7), elektrické nebezpečie (2.1), nebezpečie hluku (4.1)
Otočný stôl	Pracovný priestor kalibračného stroju	mechanické nebezpečie (1.1, 1.2, 1.4, 1.6), elektrické nebezpečie (2.1), nebezpečie hluku (4.1) nebezpečie vibrácií (5.1)

Zakladacie držiaky	Pracovný priestor kalibračného stroju	mechanické nebezpečie (1.1, 1.3, 1.4, 1.6, 1.7), ergonomické nebezpečie (6.1)
Rámová konštrukcia kalibračného stroju	Pracovný priestor kalibračného stroju	mechanické nebezpečie (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5)
Elektrický rozvádzač	Priestor elektrorozvádzaču	elektrické nebezpečie (2.1, 2.2, 2.3), tepelné nebezpečie (3.1)
Výstupný dopravník poháňaný	Priestor výstupných dopravníkov	mechanické nebezpečie (1.4, 1.6), elektrické nebezpečie (2.1)
Výstupný dopravník gravitačný	Priestor výstupných dopravníkov	mechanické nebezpečie (1.1, 1.2, 1.4), ergonomické nebezpečie (6.1)
Pneumatický výťah	Priestor výstupných dopravníkov	mechanické nebezpečie (1.1, 1.2, 1.6, 1.7, 1.8), nebezpečie hluku (4.1), nebezpečie spôsobené poruchou dodávky energie (7.1)
Odkladacia plocha pre prepravky	Pracovný priestor obsluhy pri manuálnom režime	mechanické nebezpečie (1.3, 1.4), ergonomické nebezpečie (6.1)
Obojručné ovládanie	Pracovný priestor obsluhy pri manuálnom režime	ergonomické nebezpečie (6.1)
Ovládací panel	Pracovný priestor obsluhy pri manuálnom režime	elektrické nebezpečie (2.1), ergonomické nebezpečie (6.1)
Sklz na zmätky a držiak prepravky na zmätky	Pracovný priestor kalibračného stroju	mechanické nebezpečie (1.3, 1.4)
Ventilový terminál	Pracovný priestor kalibračného stroju	mechanické nebezpečie (1.8)

Príloha 3

ANALÝZA VÝZNAMNÝCH NEBEZPEČÍ				
Por. Číslo	Fáza životného cyklu zariadenia	Typ nebezpečia podľa ČSN EN ISO 12100		Popis nebezpečnej udalosti:
		Stručný popis	Id.Číslo	
1	Doprava			
1.1	Nakladanie, preprava, vykladanie, zdvíhanie	Stlačenie, narazenie, trenie alebo odrenie, porezanie, zakopnutie a pád	1.1-1, 1.2-1, 1.3-1, 1.4-1, 1.5-1	Pád časti zariadenia s následkom narazenia či stlačenia napr. končatín človeka, napr. pri použití vysokozdvížneho vozíka. Riziko zakopnutia a pádu o zariadenia. Riziko odrenia alebo porezania o ostré hrany.
1.2	Rozbaľovanie	Porezanie, trenie alebo odrenie	1.3-2, 1.4-2, 1.3-4, 1.4-3	Pri manipulácii s nožom hrozí porezanie. Porezanie, trenie alebo odrenie hrozí od ostrých hrán stroju.
2	Montáž a inštalácia			
2.1				

	Montáž jednotlivých podzostáv a montáž hlavnej zostavy	Porezanie, trenie alebo odrenie, narazenie, stlačenie	1.1-2, 1.2-2, 1.3-3, 1.4-3	Hrozí trenie alebo odrenie, porezanie, napr. horných končatín o zariadenie alebo o použité náradie. Stlačenie časti tela pri použití napr. žeriavu alebo pri páde časti zariadenia.
2.2	Kotvenie strojov	Zakopnutie a pád	1.5-2	Pri kotvení strojov môže dôjsť k zakopnutiu a pádu obsluhy napr. o prvky kotvenia.
2.3	Pripojenie obslužných médií (stlačený vzduch) k zariadeniu	Uvoľnenie vysokotlaka tekutiny (plynu)	1.8-1, 1.8-2, 1.8-3	Poranenie napr. oka vplyvom vysokotlaka tekutiny (stlačeného vzduchu).
2.4	Pripojenie zariadení ku zdroju elektrickej energie	Zasiachnutie elektrickým prúdom, smrť elektrickým prúdom, požiar	2.1-1, 2.1-2, 2.1-3, 2.1-4, 2.2-1, 2.3-1	Pri pripájaní jednotlivých zariadení ku zdroju elektrickej energie môže dôjsť k zásahu obsluhy elektrickým prúdom, ku kontaktu s živými časťami, čo môže viesť až k usmrteniu a vzniku požiaru.
3	Nastavovanie, kalibrácia, programovanie, testovanie			
3.1	Nastavovanie a overovanie funkčných parametrov zariadení	Narazenie, zásah elektrickým prúdom, zachytenie	1.1-3, 1.1-4, 1.1-6, 1.6, 2.1-2, 2.1-4	Pri nastavovaní parametrov RP (tlak, rýchlosť, apod.), hrozí narazenie končatín obsluhy o pohybujúce sa časti zariadení, napríklad otočného stolu alebo pneumatických pohonov. Zásah elektrickým prúdom pri manipulácii v priestore elektrického rozvádzača.
3.2	Overovanie programu	Narazenie, stlačenie, vymrštenie	1.1-5, 1.1-6, 1.1-7, 1-2-8, 1-2-9, 1.7-2	Náraz robotu, resp. koncového efektoru do obsluhy alebo inej časti stroja. Stlačenie končatiny obsluhy napr. o rám stroju. Vymrštenie predmetu z koncového efektoru.
3.3	Funkčná skúška, preskúšanie	Narazenie, stlačenie, vymrštenie	1.1-4, 1.1-5, 1.1-6, 1.1-7, 1.2-3, 1.2-5, 1.2-6, 1.2-8, 1.7	Vymrštenie predmetu z koncového efektoru alebo z držiakov kalibračného stroju. Tiež môže dôjsť k neočakávanej poruche časti stroja, napr. pneumatických prvkov a narazeniu alebo stlačeniu tela obsluhy.
4	Prevádzka			
4.1	Výber typu výroby a kontrola parametrov výroby	Nepohodlie, únava	6.1-2	Hrozí ergonomické nebezpečenstvo z dôvodu nevhodného návrhu polohy jednotlivých ovládacích

				komponentov, napríklad polohy a výšky ovládacieho panelu.
4.2	Druhoradé zásahy pri prevádzke v automatickom pracovnom cykle	Narazenie, stlačenie, zachytenie, popálenie, zásah elektrickým prúdom	1.1-4, 1.1-5, 1.1-6, 1.2-5, 1.2-6, 1.2-8, 1.6, 2.1-2, 3.1	Zásahom obsluhy alebo nezaškoleného pracovníka do konštrukcie RP v priebehu automatického pracovného cyklu, za účelom napríklad eliminácie zablokovania, miestneho čistenia, odstránenia vady alebo nastavovania zariadení, môže dôjsť k nárazu a zachyteniu tela obsluhy o pohyblivé časti zariadení, napr. robotu, otočného stolu, pneumatických prvkov.
4.3	Opätovné spustenie pracovného cyklu RP po jeho prerušení	Stlačenie, narazenie, zachytenie	1.1-5, 1.1-6, 1.2-6, 1.2-8, 1.6	Stlačenie alebo narazenie častí strojov do tela obsluhy z dôvodu neočakávaného pohybu jednotlivých častí RP, napríklad otočného stolu, robotu, pneumatických výťahov.
4.4	Podávanie prepravky pred stroj	Trenie alebo odrenie, nepohodlie	1.4-3, 6.1-1, 6.1-4, 1.3-5	Pri manuálnom pracovnom cykle si obsluha prenáša prepravky ku stroju, pričom môže dôjsť k odreniu najmä horných končatín o ostré hrany. Hrozia ergonomické nebezpečenstvá z dôvodu nevhodného návrhu konštrukcie zariadení, napríklad výšky odkladacej plochy pre prepravku alebo výšky výstupného dopravníku.
4.5	Ručné zakladanie/vyberanie výrobkov do/zo stroja	Narazenie, stlačenie, zachytenie, trenie alebo odrenie, nepohodlie	1.1-6, 1.2-9, 1.3-6, 1.4-3, 1.6-1, 1.6-2, 1.6-8, 1.7-1, 6.1-1, 6.1-6	Narazenie pohyblivých prvkov konštrukcie (otočného stolu, zakladacích držiakov), do horných končatín obsluhy. Zachytenie horných končatín alebo častí odevu pohyblivými časťami stroju. Nevhodný konštrukčný návrh výšky zakladacích držiakov, výšky odkladacej plochy na prepravku, spôsobí ergonomické nebezpečenie.
4.6	Spúšťanie pracovného cyklu obojručným ovládaním	Narazenie, stlačenie, zachytenie, nepohodlie	1.1-6, 1.2-9, 1.6-1, 1.6-2, 1.6-8, 6,1-3	V prípade nevhodného návrhu obojručného ovládania hrozí náraz pohybujúcich sa častí, napríklad zakladacích držiakov, do tela obsluhy. Hrozí výskyt ergonomických nebezpečení v prípade nevhodne navrhutej výšky ovládania.

4.7	Dlhodobý výskyt obsluhy v blízkosti RP	Nepohodlie, hučanie v ušiach	4.1-1, 4.1-2, 4.1-3, 5.1-1, 5.1-2,	Hrozí nebezpečie hluku s následkom hučania v ušiach, nepohodlia. Pohyblivé časti RP ako robot, otočný stôl, môžu vytvárať vibrácie a tým spôsobovať nepohodlie.
5 Čistenie a údržbové činnosti				
5.1	Demontáž/odstraňovanie častí, súčastí, zariadení RP	Narazenie, stlačenie, trenie alebo odrenie, zásah elektrickým prúdom, nepohodlie	1.1-2, 1.2-2, 1.4-3, 2.1-2, 6.1-5	Riziko narazenia častí tela obsluhy, napríklad horných končatín alebo hlavy o ostré hrany súčastí RP. Pri demontáži robotu môže dôjsť k jeho pádu a narazeniu na telo obsluhy. Zásah elektrickým prúdom pri zásahu do elektroinštalácie.
5.2	Výmena opotrebovaných častí zariadení RP	Trenie alebo odrenie	1.4-1, 1.4-3	Odrenie častí tela obsluhy o ostré hrany častí RP alebo o opotrebovanú, resp. novú súčiastku, napríklad pri výmene koncového efektoru.
5.3	Nastavovanie a kalibrácia zariadení	Narazenie, stlačenie	1.1-5, 1.1-6, 1.2-5, 1.2-6, 1.2-8	Narazenie zariadení do častí tela obsluhy z dôvodu neočakávaného spustenia zariadenia alebo neočakávaného chovania zariadenia, napr. robotu alebo pneumatických prvkov.
5.4	Čistenie zariadení	Porezanie, trenie a odrenie	1.4-3, 1.3-4	Hrozí porezanie o ostré hrany zariadení s možnými následkami infekcie pri dotyku so znečistenými časťami.
6 Hľadanie závad a opravy				
6.1	Vyhľadávanie závady na zariadení	Porezanie, narazenie, stlačenie, popálenie, zásah elektrickým prúdom, nepohodlie, požiar	1.1-4 , 1.1-5, 1.1-6, 1.2-4, 1.2-5, 1.2-7, 1.2-8, 1.3-4, 2.1-2, 2.1-4, 2.3-2, 3.1, 6.1-5	Pri hľadaní závady môže dôjsť k narazeniu, stlačeniu o pohybujúce sa časti RP ako otočného stolu, robotu, pneumatických prvkov. Tiež môže dôjsť k porezaniu o ostré hrany zariadení. Pri zásahu do elektrického rozvádzača môže dôjsť k popáleniu a zásahu elektrickým prúdom, eventuálne k požiaru. Pri zlej dostupnosti zariadení hrozí ergonomické riziko.
6.2	Výmena častí, súčastí, zariadení stroja	Trenie alebo odrenie, zásah elektrickým prúdom	1.4-3, 2.1-4	Pri výmene súčastí môže dôjsť k odreniu o ostré hrany konštrukcie RP. Tiež hrozí zásah elektrickým prúdom, napríklad pri zásahu do elektroinštalácie zariadenia.

6.3	Obnovenie chodu zariadení po poruche	Narazenie, stlačenie, vymrštenie, porucha dodávky energie	1.1-5, 1.1-6, 1.2-8, 1.6, 1.7, 7.1-1, 7.1-2	Hrozí vymrštenie častí stroju v dôsledku nesprávnej montáže, napríklad koncového efektoru a manipulovaného dielu. Tiež hrozí narazenie a stlačenie tela obsluhy pohyblivými časťami RP ako robotu, pneumatických prvkov, otočného stolu.
7	Vyradenie z prevádzky, demontáž			
7.1	Odpojenie od zdroju elektrickej energie a obslužných médií	Zasiahnutie elektrickým prúdom, uvoľnenie vysokotlakej tekutiny (plynu)	2.1-1, 1.8-1, 1.8-2	Hrozí zasiahnutie elektrickým prúdom. Pri odpájaní zariadení od zdroju obslužných médií hrozí poranenie napr. oka obsluhy vplyvom vysokotlakej tekutiny (stlačeného vzduchu).
7.2	Demontáž jednotlivých zariadení RP	Narazenie, stlačenie, trenie alebo odrenie	1.1-2, 1.2-2, 1.4-1	Hrozí stlačenie časti tela obsluhy časťami demontovaných zariadení alebo časťami strojov, ktoré sú pri tom používané, napr. žeriavom. Tiež môže dôjsť k porezaniu o ostré hrany súčastí.
7.3	Zdvíhanie, balenie, nakladanie, preprava a vykladanie častí RP	Stlačenie, narazenie, trenie alebo odrenie, porezanie, zakopnutie a pád	1.1-1, 1.2-1, 1.3-1, 1.4-1, 1.5-1	Pád časti zariadenia s následkom nárazu či stlačenia, napr. končatín človeka, napr. pri použití vysokozdvížneho vozíku. Odrenie a porezanie o ostré hrany. Zakopnutie a pád.

Príloha 4

Id. Číslo	Názov nebezpečia	Odhad veľkosti rizika				
		S	A	E	W	Σ
1	Mechanické nebezpečia:					
1.1	Nebezpečie narazenia					
1.1-1	Nebezpečie narazenia pri manipulácii so zariadeniami RP	S2	A1	E1	W2	6
1.1-2	Nebezpečie narazenia o konštrukciu zariadení pri ich montáži alebo demontáži	S2	A1	E1	W2	6
1.1-3	Nebezpečie narazenia pohyblivou časťou pneumatického pohonu	S2	A2	E2	W2	10
1.1-4	Nebezpečie narazenia pohyblivou časťou pneumatických výťahov	S2	A2	E2	W2	10
1.1-5	Nebezpečie narazenia ramenom robotu alebo jeho časťou (koncovým efektorom)	S2	A2	E3	W3	12
1.1-6	Nebezpečie narazenia pohyblivou časťou otočného stolu kalibračného stroju	S2	A2	E3	W3	12
1.1-7	Nebezpečie narazenia vymršteným predmetom (termostatickou hlavica, koncovým efektorom)	S2	A1	E1	W1	5
1.2	Nebezpečie stlačenia					
1.2-1	Nebezpečie stlačenia pri manipulácii so zariadeniami RP	S2	A1	E1	W2	6

1.2-2	Nebezpečie stlačenia o konštrukciu zariadení pri montáži alebo demontáži	S2	A1	E1	W2	6
1.2-3	Nebezpečie stlačenia medzi prepravkou a pevnými časťami konštrukcie RP alebo ďalšou prepravkou	S1	A2	E2	W1	3
1.2-4	Nebezpečie stlačenia pri manipulácii s presuvným dopravníkom o časti konštrukcie RP	S1	A1	E2	W2	1
1.2-5	Nebezpečie stlačenia medzi pohyblivým pneumatickým pohonom (výťahom) a rámom valčekovej trate	S2	A2	E3	W2	11
1.2-6	Nebezpečie stlačenia pohyblivými časťami pneumatického výťahu do referenčnej polohy o rám valčekovej trate alebo o prepravku	S2	A2	E2	W2	10
1.2-7	Nebezpečie stlačenia zastavovacím valcom o prepravku alebo rám valčekovej trate	S1	A2	E2	W2	4
1.2-8	Nebezpečie stlačenia medzi ramenom robotu alebo jeho časťami a pevnými časťami konštrukcie RP	S2	A2	E3	W3	12
1.2-9	Nebezpečie stlačenia zakladacím držiakom o otočný stôl pri zasúvaní piestu	S2	A2	E3	W3	12
1.3	Nebezpečie porezania					
1.3-1	Nebezpečie porezania pri manipulácii so zariadeniami RP	S1	A1	E2	W1	0
1.3-2	Nebezpečie porezania pri rozbaľovaní o nôž alebo iné ostré nástroje	S1	A1	E2	W1	0
1.3-3	Nebezpečie porezania pri montáži jednotlivých podzostáv a montáži hlavnej zostavy	S1	A1	E2	W2	1
1.3-4	Nebezpečie porezania o ostré hrany rámovej konštrukcie RP	S1	A2	E2	W2	4
1.3-5	Nebezpečie porezania o ostré hrany plechu odkladacej plochy prepravky	S1	A2	E2	W2	4
1.3-6	Nebezpečie porezania o zakladací držiak kalibračného stroju pri rotácii otočného stolu	S1	A2	E2	W3	5
1.4	Nebezpečie trenia alebo odrenia					
1.4-1	Nebezpečie trenia alebo odrenia pri manipulácii so zariadeniami RP	S1	A1	E2	W2	1
1.4-2	Nebezpečie trenia alebo odrenia pri rozbaľovaní o nôž alebo iné ostré nástroje	S1	A1	E2	W1	0
1.4-3	Nebezpečie trenia alebo odrenia o ostré hrany rámovej konštrukcie RP	S1	A2	E2	W2	4
1.5	Nebezpečie zakopnutia a pádu					
1.5-1	Nebezpečie zakopnutia a pádu pri nakladaní, preprave, vykladaní a zdvíhaní	S1	A1	E2	W1	0
1.5-2	Nebezpečie zakopnutia a pádu o kotviace prvky rámovej konštrukcie RP	S1	A1	E2	W1	0
1.6	Nebezpečie zachytenia					
1.6-1	Nebezpečie zachytenia pri rotácii otočného stolu o pohybujúce sa prvky	S2	A2	E2	W3	11
1.6-2	Nebezpečie zachytenia zakladacími držiakmi na otočnom stole pri zasúvaní piestov	S2	A2	E2	W3	11
1.6-3	Nebezpečie zachytenia pohybujúcim sa ramenom robotu alebo jeho časťami	S2	A2	E3	W3	12
1.6-4	Nebezpečie zachytenia pohybujúcim sa pneumatickým výťahom do referenčnej polohy	S2	A2	E2	W3	11
1.6-5	Nebezpečie zachytenia pohybujúcim sa pneumatickým výťahom	S2	A2	E2	W3	11
1.6-6	Nebezpečie zachytenia pohyblivými časťami poháňaného výstupného dopravníku	S1	A2	E3	W3	6
1.6-7	Nebezpečie zachytenia pohyblivými časťami poháňaného vstupného dopravníku	S1	A2	E3	W3	6
1.6-8	Nebezpečie zachytenia frézovacím zariadením kalibračného stroju	S1	A2	E3	W3	6
1.7	Nebezpečie vymrštenia					

1.7-1	Nebezpečie vymrštenia termostatickej hlavice zo zakladacieho držiaku	S1	A2	E2	W1	3
1.7-2	Nebezpečie vymrštenia termostatickej hlavice z koncového efektoru	S1	A2	E2	W1	3
1.7-3	Nebezpečie vymrštenia prepravky z pneumatického výťahu	S1	A1	E2	W1	0
1.8	Nebezpečie uvoľnenia vysokotlakej tekutiny (plynu)					
1.8-1	Nebezpečie uvoľnenia vysokotlakej tekutiny (plynu) z ventilového terminálu	S1	A1	E2	W1	0
1.8-2	Nebezpečie uvoľnenia vysokotlakej tekutiny (plynu) z podtlakového koncového efektoru	S1	A1	E2	W1	0
1.8-3	Nebezpečie uvoľnenia vysokotlakej tekutiny (plynu) z pneumatických piestov v RP	S1	A1	E2	W1	0
2	Elektrické nebezpečia					
2.1	Nebezpečie zasiahnutia elektrickým prúdom					
2.1-1	Nebezpečie zasiahnutia elektrickým prúdom živými časťami	S2	A1	E2	W2	7
2.1-2	Nebezpečie zasiahnutia elektrickým prúdom prvkami elektrorozvádzača	S2	A1	E1	W2	6
2.1-3	Nebezpečie zasiahnutia elektrickým prúdom pripájaním zariadení ku zdroju	S2	A1	E2	W3	8
2.1-4	Nebezpečie zasiahnutia elektrickým prúdom neodborným zásahom do elektroinštalácie zariadení	S2	A1	E2	W3	8
2.2	Nebezpečie usmrtenia elektrickým prúdom					
2.2-1	Nebezpečie usmrtenia elektrickým prúdom živými časťami	S3	A1	E2	W1	12
2.3	Nebezpečie požiaru					
2.3-1	Nebezpečie požiaru spôsobeným skratom a chybným zapojením elektroinštalácie	S2	A1	E1	W1	5
2.3-2	Nebezpečie požiaru spôsobeného prehriatím zariadení	S2	A1	E1	W1	5
3	Tepelné nebezpečia					
3.1	Nebezpečie popálenia					
3.1-1	Nebezpečie popálenia dotykom ohriatych elektrických zariadení elektrorozvádzaču	S1	A1	E2	W2	1
3.1-2	Nebezpečie popálenia dotykom ohriateho zariadenia riadenia robotu	S1	A1	E2	W1	0
3.1-3	Nebezpečie popálenia dotykom ohriateho frézovacieho zariadenia	S1	A2	E2	W1	3
4	Nebezpečie hluku					
4.1	Nebezpečie hučania v ušiach					
4.1-1	Nebezpečie hučania v ušiach vplyvom hlučnosti pneumatických zariadení	S1	A2	E1	W2	3
4.1-2	Nebezpečie hučania v ušiach vplyvom hluku frézovacieho zariadenia	S1	A2	E1	W1	2
4.1-3	Nebezpečie hučania v ušiach pri dlhodobom výskyte obsluhy v blízkosti RP	S1	A2	E1	W2	3
5	Nebezpečie vibrácií					
5.1	Nebezpečie nepohodlia					
5.1-1	Nebezpečie nepohodlia od vibrácií kvôli nesprávne navrhutej konštrukcii rámu robotu	S1	A2	E2	W2	4
5.1-2	Nebezpečie nepohodlia od vibrácií kvôli nesprávne ukotvenej rámovej konštrukcii RP	S1	A2	E2	W2	4
6	Ergonomické nebezpečia					
6.1	Nebezpečie nepohodlia					
6.1-1	Nebezpečie nepohodlia spôsobené nesprávnym návrhom výšky odkladacej plochy pre prepravku	S1	A2	E2	W2	4
6.1-2	Nebezpečie nepohodlia spôsobené nesprávnym návrhom výšky ovládacích prvkov a ovládacieho panelu	S1	A2	E2	W3	5

6.1-3	Nebezpečie nepohodlia spôsobené nesprávnym návrhom obojručného ovládania	S1	A2	E2	W2	4
6.1-4	Nebezpečie nepohodlia spôsobené nesprávnym návrhom výšky výstupného sklzu prepravky pre obsluhu	S1	A2	E2	W2	4
6.1-5	Nebezpečie nepohodlia spôsobené ťažko dostupnými miestami v konštrukcii pri opravách alebo hľadaní závady	S1	A1	E1	W2	0
6.1-6	Nebezpečie nepohodlia spôsobené nesprávnym návrhom výšky zakladacích držiakov	S1	A2	E2	W2	4
7	Nebezpečie spôsobené poruchou dodávky energie					
7.1-1	Nebezpečie straty prídružnej sily koncového efektoru a pádu termostatickej hlavice	S1	A2	E3	W1	4
7.1-2	Nebezpečie pádu pneumatického výtahu pri strate tlaku v pneumatickom pieste	S2	A1	E2	W1	6

Workspace The following diagrams (>>> Fig. 4-2) and (>>> Fig. 4-3) show the load center of gravity, shape and size of the working envelope.

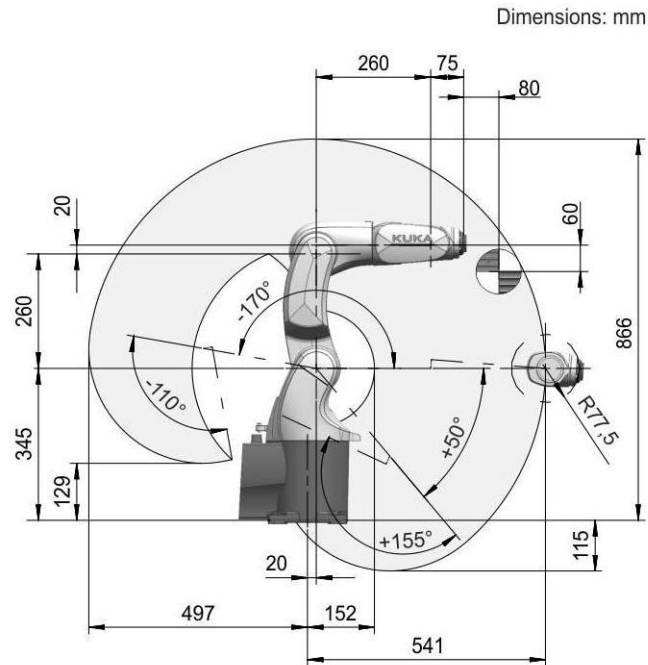


Fig. 4-2: KR 3 R540, working envelope, side view

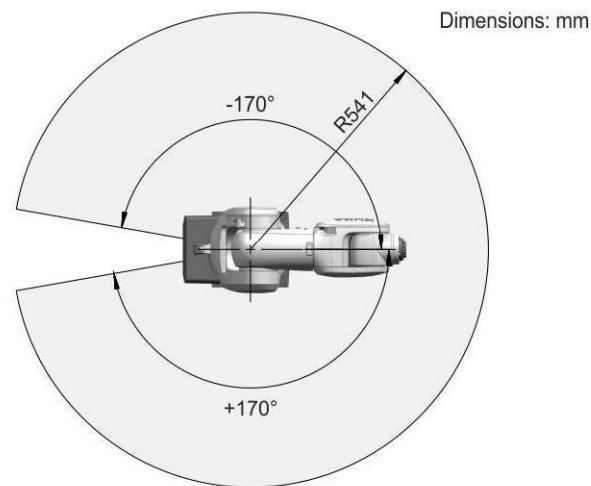


Fig. 4-3: KR 3 R540, working envelope, top view

Inclined installation The robot can be installed anywhere from a 0° position (floor) to a 180° position (ceiling). The following figure shows the possible limitation of the motion range of axis 1, as a function of the angle of inclination of the robot.

Basic principles of vacuum technology

FESTO

Introduction

Step 3: Calculating the holding force and breakaway force

Determining the breakaway force

F_A = Theoretical breakaway force [N]

F_H = Theoretical holding force of the suction gripper [N]
(Result → 45)

n = Number of suction grippers
(2 suction grippers are planned in the problem example)






$$F_A = \frac{F_H}{n}$$

Example:

$$F_A = \frac{93}{2}$$

$$F_A \approx 47 \text{ N}$$

Breakaway force F_A dependent on suction cup diameter and suction cup shape

Round suction cup					Oval suction cup			
Ordering data	Suction cup \varnothing	Standard	Extra deep	Bellows, 1.5 convolutions	Bellows, 3.5 convolutions	Ordering data	Suction cup size	F_A at -0.7 bar
	[mm]							
→ ess	2	0.1 N				→ ess	4x10	2 N
	4	0.4 N					4x20	3.4 N
	6	1.1 N					6x10	2.9 N
	8	2.3 N					6x20	5.9 N
	10	3.9 N		4.7 N	3.9 N		8x20	8 N
	15	8.5 N	9.8 N				8x30	10.9 N
	20	16.3 N	17 N	12.9 N	8.2 N		10x30	15.2 N
	30	40.8 N	37.2 N	26.2 N	20.8 N		15x45	32 N
	40	69.6 N	67.6 N	52.3 N	42.4 N		20x60	62.8 N
	50	105.8 N	103.6 N	72.6 N	63.4 N		25x75	92.5 N
	60	166.1 N	162.5 N				30x90	134.4 N
	80	309.7 N	275 N	213.9 N				
	100	503.6 N	440.8 N					
	150	900 N						
	200	1,610 N						

Breakaway force F_A too low



Reliable range for the problem example



Suction cup diameter too big for workpiece

In this example we opt for 2 suction grippers:

- Round design
- Suction cup diameter 40 mm
- Breakaway force of 69.6 N



Note

The load capacity of the vacuum suction gripper must be greater than the calculated value.

CM12-08EBP-KC1 | CM

CAPACITIVE PROXIMITY SENSORS



Illustration may differ



Ordering information

Type	Part no.
CM12-08EBP-KC1	6051030

Other models and accessories → www.sick.com/CM

Detailed technical data

Features

Housing	Cylindrical thread design
Thread size	M12 x 1
Diameter	Ø 12 mm
Sensing range S_n	0 mm ... 8 mm
Safe sensing range S_s	5.76 mm
Installation type	Non-flush / flush ¹⁾
Switching frequency	Approx. 15 Hz
Connection type	Male connector M12, 4-pin
Switching output	PNP / NPN
Output function	Programmable
Output characteristic	Wire configurable ²⁾
Electrical wiring	DC 4-wire
Adjustment	Single teach-in button (Sensitivity) Cable (Sensitivity)
Enclosure rating	IP68 ^{3) 4)}

¹⁾ For flush mounting, Teach-in necessary.

²⁾ Automatic detection.

³⁾ According to EN 60529.

⁴⁾ 1.3 m water depth / 60 min.

Mechanics/electronics

Supply voltage	10 V DC ... 36 V DC
Ripple	≤ 10 % ¹⁾
Voltage drop	≤ 2.5 V DC ²⁾

¹⁾ Of U_b .

²⁾ At I_a max.

³⁾ Without load.

⁴⁾ Of S_r .

⁵⁾ U_b and T_a constant.

⁶⁾ For non-flush installation min. 1 x S_n and sensor grounded.

C4MT-01814ABB03BE0 | miniTwin4

SAFETY LIGHT CURTAINS



Ordering information

Type	Part no.
C4MT-01814ABB03BE0	1207097

Other models and accessories ⇒ www.sick.com/miniTwin4

Detailed technical data

Features

Usage	miniTwin4 as a standalone device or cascade end unit				
Mounting system type	C-fix or L-fix bracket				
Resolution	14 mm				
Protective field height	180 mm				
Scanning range	<table border="0"> <tr> <td>Minimum</td> <td>0 m ... 4 m</td> </tr> <tr> <td>Typical</td> <td>0 m ... 5 m</td> </tr> </table>	Minimum	0 m ... 4 m	Typical	0 m ... 5 m
Minimum	0 m ... 4 m				
Typical	0 m ... 5 m				
Response time	≤ 14 ms ¹⁾				
Synchronization	Optical, without separate synchronization				

¹⁾ Standalone devices, no cascaded systems. Other response times can be found in the operating instructions.

Safety-related parameters

Type	Type 4 (IEC 61496-1)
Safety integrity level	SIL3 (IEC 61508) SILCL3 (EN 62061)
Category	Category 4 (EN ISO 13849)
Performance level	PL e (EN ISO 13849)
PFH_D (mean probability of a dangerous failure per hour)	Standalone system: 4.3×10^{-9} (EN ISO 13849)
T_M (mission time)	20 years (EN ISO 13849)
Safe state in the event of a fault	At least one OSSD is in the OFF state.

Functions

	Functions	Delivery status
Restart interlock	✓	Deactivated
External device monitoring (EDM)	✓	Deactivated
Beam coding	Automatic	

STR1-SASFOAC8 | STR1

NON-CONTACT SAFETY SWITCHES



Ordering information

Type	Part no.
STR1-SASFOAC8	1073212

Other models and accessories → www.sick.com/STR1



Detailed technical data

Features

System part	Sensor and actuator
Sensor principle	Transponder
Number of safe outputs	2
Auxiliary contact (AUX)	1 (Switching behavior complementary to OSSDs)
Safe switch on distance S_{so}	
Active front sensor surface	10 mm
Active side sensor surface	6 mm
Safe switch off distance S_{sr}	25 mm
Active sensor surfaces	3
Actuation directions	5
Coding	Permanently coded

Safety-related parameters

Safety integrity level	SIL3 (IEC 61508), SILCL3 (EN 62061)
Category	Category 4 (EN ISO 13849)
Performance level	PL e (EN ISO 13849)
PFH_D (mean probability of a dangerous failure per hour)	$5,21 \times 10^{-9}$ (EN ISO 13849)
T_M (mission time)	20 years (EN ISO 13849)
Type	Type 4 (EN ISO 14119)
Actuator coding level	High coding level (EN ISO 14119)
Safe state in the event of a fault	At least one safety-related semiconductor output (OSSD) is in the OFF state.

Functions

Safe series connection	With T-connector (without diagnostics) With Flexi Loop (with diagnostics)
-------------------------------	--

Interfaces

Connection type	Cable with plug M12, 8-pin
Length of cable	0.2 m
Cable material	PVC

TR10-SLM01C | TR10 Lock

SAFETY LOCKING DEVICES



Ordering information

Type	Part no.
TR10-SLM01C	6054761

Other models and accessories ⇒ www.sick.com/TR10_Lock

Detailed technical data

Features

Sensor principle	Transponder
Number of safe outputs	2
Coding	Universally coded
Locking force F_{max}	1,690 N (EN ISO 14119)
Locking force F_{Zh}	1,300 N (EN ISO 14119)
Actuation directions	4
Approach speed	≥ 2 mm/s

Safety-related parameters

Safety integrity level	SIL3 (IEC 61508)
Category	Category 4 (EN ISO 13849)
Performance level	PL e (EN ISO 13849)
PFH_D (mean probability of a dangerous failure per hour)	9.1×10^{-10} (EN ISO 13849)
T_M (mission time)	20 years (EN ISO 13849)
Type	Type 4 (EN ISO 14119)
Actuator coding level	Low coding level (EN ISO 14119)
Safe state in the event of a fault	At least one safety-related semiconductor output (OSSD) is in the OFF state.

Functions

Safe series connection	With T-connector (without diagnostics) With Flexi Loop (with diagnostics)
-------------------------------	--

Interfaces

Connection type	Cable with plug M12, 8-pin
Length of cable	0.2 m
Cable material	PVC