

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY**

Evidenčné číslo: FEI-104376-86428

**TESTOVACIE PRACOVISKO S KAWASAKI ROBOTOM
DIPLOMOVÁ PRÁCA**

2021

Bc. Patrik Herčút

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY**

Evidenčné číslo: FEI-104376-86428

**TESTOVACIE PRACOVISKO S KAWASAKI ROBOTOM
DIPLOMOVÁ PRÁCA**

Študijný program: Robotika a kybernetika
Názov študijného odboru: kybernetika
Školiace pracovisko: Ústav robotiky a kybernetiky
Vedúci záverečnej práce: Ing. Ladislav Körösi, PhD.
Konzultant: Ing. Martin Juhás, PhD.

Bratislava 2021

Bc. Patrik Herčút



ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študent: **Bc. Patrik Herčút**

ID študenta: 86428

Študijný program: robotika a kybernetika

Študijný odbor: kybernetika

Vedúci práce: Ing. Ladislav Körösi, PhD.

Miesto vypracovania: Ústav robotiky a kybernetiky

Názov práce: **Testovacie pracovisko s Kawasaki robotom**

Jazyk, v ktorom sa práca vypracuje: slovenský jazyk

Špecifikácia zadania:

Cieľom diplomovej práce je koncepčný návrh a riadenie testovacieho pracoviska so strojovým videním.
Pracovisko je určené pre výskumné a vývojové účely v oblasti kontroly kvality pneumatík.

Úlohy:

1. Naštudujte možnosti využitia robota Kawasaki pri kontrole kvality pneumatík.
2. Vytvorte koncepčný návrh testovacieho pracoviska. Pri riešení uvažujte s robotom Kawasaki, rotačným stolom na zabezpečenie rotácie pneumatík s riadením pomocou PLC Siemens, ako aj stojanom s kalibračnými vzormi pre kamery.
3. Navrhnite elektrické a pneumatické zapojenia pracoviska v inžinierskom prostredí Eplan.
4. Navrhnite a implementujte programové riešenie riadenia pracoviska. Uvažujte s využitím prostredia TIA Portal pre PLC časť, ako aj jazyka AS pre programovanie robota.
5. Vytvorte používateľskú dokumentáciu.
6. Funkčnosť navrhnutých riešení overte pomocou vybraných experimentov a výsledky vhodne vyhodnot'.

Riešenie zadania práce od: 21. 09. 2020

Dátum odovzdania práce: 14. 05. 2021

Bc. Patrik Herčút

študent

prof. Ing. Jarmila Pavlovičová, PhD.
vedúci pracoviska

prof. Ing. Jarmila Pavlovičová, PhD.
garantka studijného programu

SÚHRN

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Študijný program:

Robotika a kybernetika

Autor:

Bc. Patrik Herčút

Diplomová práca:

Testovacie pracovisko s Kawasaki robotom

Vedúci záverečnej práce:

Ing. Ladislav Körösi, PhD.

Konzultant:

Ing. Martin Juhás, PhD.

Miesto a rok predloženia práce:

Bratislava 2021

Abstrakt text

Kľúčové slová: kľúčové slovo1, kľúčové slovo2, kľúčové slovo3

ABSTRACT

SLOVAK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IN BRATISLAVA
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY

Study Programme:	Robotics and cybernetics
Author:	Bc. Patrik Hercút
Master's thesis:	Test Workspace with Kawasaki Robot
Supervisor:	Ing. Ladislav Körösi, PhD.
Consultant:	Ing. Martin Juhás, PhD.
Place and year of submission:	Bratislava 2021

Abstract in EN

Keywords: keyword1, keyword2, keyword3

Pod'akovanie

I would like to express a gratitude to my thesis supervisor.

Obsah

Úvod	1
1 Využitie priemyselného robota pre inšpekciu pneumatík	3
1.1 Inšpekcia	3
1.2 Inšpekcia pri výrobe pneumatík	4
1.3 Priemyselné roboty a manipulátory	5
1.4 Metódy analýzy vhodnosti robotizácie procesu	5
1.5 Priemyselný robot Kawasaki RS10N	6
1.5.1 Riadiaca jednotka E40	7
1.6 Využitie priemyselného robota pri inšpekčnom skenovaní povrchu pneumatík .	9
1.6.1 Koncept automatizovaného skenovania	10
1.7 Využitie priemyselného robota pri kalibrácii kamier	11
2 Koncepčný návrh testovacieho pracoviska	13
2.1 Používateľské rozhranie pracoviska	15
2.2 Priemyselný počítač	15
2.3 Riadiaci systém	16
2.4 Rotačný stôl	17
2.5 Kalibračný vzor pre kamery	18
2.6 Decentralizované vstupno-výstupné zariadenie	18
2.7 Bezpečnostné prvky pracoviska	19
2.7.1 Bezpečnostný obvod v prípade bezpečnostného PLC	20
2.7.2 Bezpečnostný obvod v prípade klasického PLC	20
Záver	21
Zoznam použitej literatúry	22

Zoznam obrázkov a tabuliek

Obrázok 1.1	Diagram analýzy robotizácie procesu [5]	6
Obrázok 1.2	Pracovný priestor priemyselného robota Kawasaki RS10N [7]	7
Obrázok 1.3	Riadiaca jednotka Kawasaki E40 [8]	8
Obrázok 1.4	Zapojenie bezpečnostného obvodu 1TR [9]	9
Obrázok 1.5	Znázornenie spôsobov skenovania povrchu pneumatík	10
Obrázok 1.6	Rozšírenie pracoviska o druhý priemyselný robot a dopravník	11
Obrázok 1.7	Robotizované pracovisko pri kalibrácii kamier	12
Obrázok 2.1	Diagram vývoja pracoviska	13
Obrázok 2.2	Koncepčný návrh testovacieho pracoviska	14
Obrázok 2.3	Monitor SIMATIC IFP1900 [10]	15
Obrázok 2.4	Priemyselný počítač SIMATIC IPC427E Box PC [10]	15
Obrázok 2.5	PLC SIMATIC S7-1500(F), CPU 1516(F)-3 PN/DP [10]	16
Obrázok 2.6	Model rotačného stola	17
Obrázok 2.7	Krokové znázornenie upevňovania pneumatiky v rotačnom stole	18
Obrázok 2.8	Decentralizovaná periféria SIMATIC ET 200SP [10]	18
Obrázok 2.9	Bezpečnostný skener Sick 3000 [11]	19
Obrázok 2.10	Bezpečnostný obvod v prípade použitia bezpečnostného modulu digitálnych vstupov	20
Obrázok 2.11	Bezpečnostný obvod v prípade použitia bezpečnostného relé	20
Tabuľka 1.1	Špecifikácia osí priemyselného robota Kawasaki RS10N [7]	7

Úvod

Pneumatika, ako jediné spojenie medzi vozovkou a automobilom, predstavuje neoddeliteľnú súčasť cestnej dopravy. Svoj úspech žne už od obdobia, kedy boli v devätnásatom storočí predstavené prvé pokusy o použitie prírodného kaučuku ako obvodovej časti kolesa. Tieto pokusy boli najprv vedené na zlepšenie jazdných vlastností bicyklov, no veľmi rýchlo sa začalo s týmto nápadom experimentovať vo väčšej škále. Netrvalo dlho, a do zámeru sa dostali aj vtedajšie motorové vozidlá. Pneumatika bol jedným so spôsobov ako nie len zvyšovať komfort prepravy, ale aj dosahovať čoraz vyššiu rýchlosť dopravných prostriedkov. Od týchto čias sa neustály vývoj a zdokonaľovanie pneumatík nezastavil.

Dnešné predpovede ukazujú, že globálny trh s pneumatikami porastie do roku 2025 o viac ako štyri percentá. V prepočte na množstvo vyrobených kusov ročne sa jedná rádovo o stovky miliónov. Tento trend majú na svedomí faktory, ako rozmach agrárnej mechanizácie, zvyšujúci sa cestovný ruch, rozširovanie firemných a súkromných vozových parkov a teda výsledne rastúca hustota vozidiel na cestách. Celkový nárast vozidiel zákonite zvyšuje aj potrebu pneumatík. Jednou zo skutočností je tá, že pneumatika predstavuje spotrebny materiál a po určitom počte najazdených kilometrov je potrebná jej výmena. S opotrebovaním pneumatík má okrem najazdených kilometrov súvis preťažovanie vozidla, poškodená geometria diskov resp. zavesenia kolies, nesprávne nahustenie pneumatík a iné. Potrebu výmeny umocňuje aj realita, že pneumatika je jediným kontaktným bodom vozidla s vozovkou. Snímanie aktuálneho stavu pneumatík považujeme za štandardnú výbavu automobilov už v strednej triede. Udržanie pneumatiky čo najdlhšie v prevádzkyschopnom stave je snahou ušetriť finančné náklady a zachovať životné prostredie. Veľký podiel ojazdených pneumatík totiž končí na skládkach. Úsilie vlád o budovanie odpadového hospodárstva núti kláštor doraziť na možnosť ich recyklácie. Svetovo najväčší podiel recyklovaných pneumatík (vyše deväťdesiat percent), je práve v EÚ. Zásluhu na tom má aj zdaňovanie výrobcov pneumatík, ktorý tak prispievajú na likvidáciu a recykláciu ich výrobkov [1].

Z hľadiska životného cyklu výrobku je recyklácia konečnou fázou a cieľom výrobných spoločností je v prvom rade produkcia. Na zabezpečenie bezchybných výrobkov slúžia rôzne inšpekčné a meracie procesy v priebehu výrobných operácií. Práve v tomto segmente pôsobí aj spoločnosť ME-Inspection SK. Inšpekčné a meracie zariadenia z dielne tejto spoločnosti skvalitňujú a zefektívňujú výrobu v prevádzkach po celom svete.

Cieľom tejto diplomovej práce je vytvorenie koncepčného návrhu a riadenia pracoviska na výskumné a vývojové účely práve v oblasti kontroly kvality pneumatík. Hlavnou súčasťou pracoviska je priemyselný robot od spoločnosti Kawasaki. Úlohou priemyselného robota

je polohovanie zariadení strojového videnia, ktoré sú využívané pri procese inšpekcie kvality pneumatík. Pracovisko je momentálne vo vývojovej fáze, pričom sa do budúcnosti uvažuje aj nad jeho nasadením do výrobného závodu.

Diplomová práca sa zaobrá modernizáciou vývojového pracoviska, ktoré v súčasnosti nesplňa všetky požiadavky a nároky spoločnosti. Pracovisko bolo v minulosti navrhnuté pre potreby inšpekčného skenovania povrchu pneumatík. Postupom času prišli aj nové možnosti využitia priemyselného robota, ktorý je súčasťou vývojového pracoviska. Jedným z procesov, ktoré sú pomerne často vykonávané, je kalibrácia kamier. Pri tomto procese je pomerne dôležité presné a bezchybné polohovanie kalibrovanej kamery na určenú pozíciu. Priemyselný robot túto schopnosť nepochybne má, a tak vznikla požiadavka rozšírenia tohto pracoviska aj pri procese kalibrácie kamier.

Nekalibrované kamery sú neskôr využívané v iných inšpekčných, či testovacích zariadeniach vyrábaných firmou ME-Inspection SK.

Modernizácia pracoviska má popri rozšírení o proces kalibrácie odzrkadlit' aj potreby nového hardvérového vybavenia. Nepôjde pritom iba o konštrukčné usporiadanie a mechanické prvky. Zmeny so sebou prinesú aj nový riadiaci systém. So zmenou riadiaceho systému bude spojené vytvorenie obslužných programov, a tiež zaistenie bezpečnosti pracoviska podľa príslušných noriem a štandardov.

Nová hardvérová konfigurácia si zas vyžiada zmeny v elektrickom zapojení a teda aj v elektrickej dokumentácii. Samozrejme je, že súčasti, ktoré nie je potrebné modernizovať budú v pracovisku ponechané. K záverečným úlohám bude patrili overenie činnosti pracoviska a vytvorenie jeho projektovej dokumentácie.

1 Využitie priemyselného robota pre inšpekciu pneumatík

Táto kapitola sa zoberá možnosťami využitia priemyselného robota pri návrhu testovacieho pracoviska pre inšpekčné účely v oblasti testovania pneumatík. Priemyselný robot v pracovisku nesie úlohu integračného činiteľa a prostredníctvom svojich pohybov polohuje zariadenie strojového videnia.

Podľa toho s akým typom strojového videnia robot manipuluje, rozpoznávame tieto dve konfigurácie pracoviska:

- *inšpekčné skenovanie povrchu pneumatík,*
- *automatizované kalibrovanie kamier.*

Bližšou špecifikáciou týchto konfigurácií sa zaoberá podkapitola (1.6) a (1.7). Ostatné podkapitoly približujú problematiku priemyselných robotov a ich efektívny využitím. Priemyselný robot, ktorý je súčasťou testovacieho pracoviska je robot RS10N od spoločnosti Kawasaki. Podkapitola (1.5) špecifikuje jeho základné parametre ako aj spôsoby tvorby programu.

Začnime však s procesom inšpekcie, ktorý je jedným s procesov zaradených v sekvenčií výrobných operácií.

1.1 Inšpekcia

Inšpekcia vo výrobe predstavuje prostriedok, pomocou ktorého sa dajú zistit' nedostatky v kvalite výrobného systému. Aj napriek pokročilej automatizácii vo výrobných systémoch, je inšpekcia zvyčajne vykonávaná ľuďmi. Aktivity inšpekcie sú často časovo aj finančne náročné, pričom nepridávajú výrobku žiadnu pridanú hodnotu. Navyše je inšpekcia vo veľa prípadoch vykonávaná až po ukončení výrobného procesu. Preto ak bol inšpekciami zistený chybný výrobok je neskoro vykonávať potrebné úpravy vo výrobnom procese. Vyrobene výrobky, ktoré nespĺňajú štandardy kvality musia byť zlikvidované alebo opravené, čo v konečnom dôsledku zvyšuje náklady na výrobu. Moderné postupy kontroly kvality dali podnet vzniku nasledovným postupom inšpekcie [2]:

- automatizovaná inšpekcia,
- senzorické systémy reálneho času vykonávajúce inšpekcii počas, alebo ihned' po výrobnom procese,
- spätnovázobné riadenie výrobných operácií a monitorovanie procesných premenných, ktoré určujú kvalitu výrobku,

- používanie softvérových nástrojov na sledovanie a analýzu meraní senzorov pre štatistické riadenie procesu,
- moderné inšpekčné metódy a senzorické technológie kombinované s počítačovými systémami za účelom automatizácie výkonu senzorických systémov.

1.2 Inšpekcia pri výrobe pneumatík

Každý výrobca pneumatík je povinný dodržiavať špecifický postup inšpekčných a testovacích protokolov, tak aby jeho výrobkom zaistil spoločnosť, trvanlosť a celkovú kvalitu. Počas výrobného procesu sú vykonávané rôzne inšpekčné procedúry, ktoré odhalujú možné nedostatky. Tieto nedostatky sú zväčša spôsobené chybami vo výrobe, alebo použitím nekvalitného materiálu. Podľa štadií výrobného procesu delíme inšpekciu pri výrobe pneumatík do niekoľkých skupín [3]:

- *Predvýrobná inšpekcia* – kontrola stavu a spôsobilosti strojov sa vykonáva ešte pred začatím výroby. Cieľom je overiť, či vybavenie a zariadenia používané pri výrobe sú v prevádzkyschopnom stave. Stroje ktoré vykazujú známky poškodenia je potrebné opraviť, alebo nahradit.
- *Inšpekcia vstupných materiálov* – materiály, ktoré vykazujú známky poškodenia nebudú vstupovať do výrobného procesu.
- *Inšpekcia počas výroby* – zahájením výroby pneumatík prejde vstupný materiál rôznymi oddeleniami ako prípravy zmesi, ryhovanie, zostavovanie, vytvrzovanie. V prípade vzniku chyby čiastočný výrobok nepostupuje do ďalšej fázy výroby.
- *Vizuálna inšpekcia* – ukončením výrobného procesu sú všetky pneumatiky podrobenej vizuálnej kontrole a tiež röntgenu, pomocou ktorého sa vyhodnocuje stav vnútornej štruktúry pneumatiky.
- *Kontrola uniformity a vyváženia* – testy sú vykonávané na základe kategórie a produktovej špecifikácie pneumatiky, ktorá prešla vizuálnou inšpekciou.
- *Výstupná inšpekcia* – účelom tohto procesu je odhaliť zostávajúce možné chyby výrobku a prípady pri ktorých mohlo prísť k poškodeniu počas predchádzajúcich testov.

Na rozdiel od výrobných a montážnych operácií inšpekcia nemení vlastnosti a geometriu spracovávaného materiálu. Inšpekcia priamo nepridáva hodnotu produktu, avšak je potrebná pre úspešné ukončenie výroby pneumatiky a uistenie sa, že pneumatika má požadovanú kvalitu a vlastnosti.

1.3 Priemyselné roboty a manipulátory

Priemyselné roboty a manipulátory môžeme charakterizovať ako elektromechanickú sústavu s vyšším stupňom integrovanej elektroniky schopnú predmety uchopovať, prenášať, obrábať, alebo montovať. Sú to univerzálne automatizované zariadenia vykonávajúce pohyby podobné s pohybmi ľudskej ruky, či paže. Priemyselné roboty majú tieto základné vlastnosti, ktorými za zásadne odlišujú od ostatných strojov [4]:

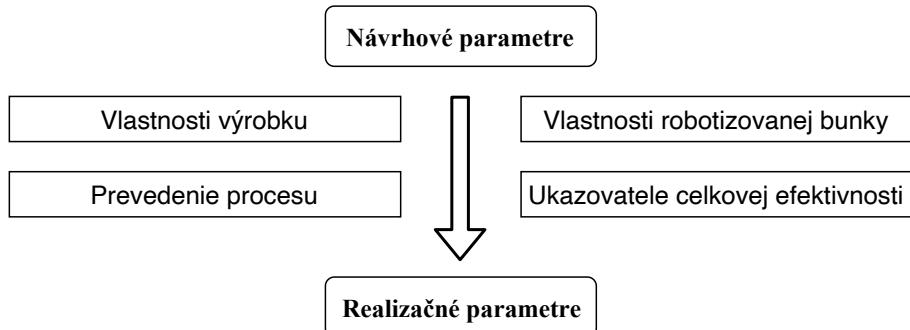
- *Ciel'ová orientácia* – zadaná úloha je rozdelená na sekvenčné čiastkové ciele. Robot následne naplánuje zodpovedajúce činnosti a vykonáva ich tak aby boli dosiahnuté synchronizované.
- *Flexibilita* – schopnosť robota prispôsobiť sa okoliu pomocou automatickej výmeny efektorov, alebo výberom riadiacich algoritmov.
- *Programovateľnosť* – možnosťou zmeny programu sa robot stáva univerzálne použiteľným strojom.
- *Automatická činnosť* – robot môže pracovať bez podpory človeka so schopnosťou vykonávať zložitú postupnosť úloh podľa určitého programu.
- *Výmena informácií* – robot dokáže komunikovať s okolím a na základe výmeny informácií ovplyvňovať okolie tak, aby boli dosiahnuté stanovené ciele. Táto interakcia sa uskutočňuje pomocou rôznych senzorov.
- *Mechanické pôsobenie* – priemyselný robot dokáže vykonávať mechanické zmeny okolia, teda je schopný objekty uchopovať a prenášať.

Pomocou týchto základných vlastností dokážeme odlišiť priemyselné roboty od iných strojov používaných v podnikoch. Predpokladom do budúcnosti je rastúci dopyt po využívaní týchto univerzálnych zariadení.

1.4 Metódy analýzy vhodnosti robotizácie procesu

Zavádzanie robotizácie v priemysle sa podnecuje v čoraz širšom spektri výrobných procesov. Určenie, či robotizácia daného procesu je, alebo nie je vhodná, je dôležitý ukazovateľ. Na to ako správne posúdiť výhodnosť nasadenia robota na daný proces slúžia rôzne hodnotiace kritéria. Na jednej strane je to efektivita využitia priemyselného robota, no nemenej dôležité sú aj ďalšie rozhodovacie metódy. K rozhodovaniu dospevia znalec (expert), ktorý musí dokonale rozumieť danému procesu a tiež by mal byť oboznámený s faktormi ovplyvňujúcimi efektívne využitie

priemyselných robotov. Existujú viaceré koncepčné modely hodnotenia vhodnosti nasadenia robota pri danej operácií, ktoré fungujú na rekurzívnom rozhodovacom postupe [5].



Obr. 1.1: Diagram analýzy robotizácie procesu [5]

Na Obr. 1.1 môžeme vidieť analytický model zohľadňujúci štyri skupiny parametrov: vlastnosti výrobku, vlastnosti robotizovanej bunky, prevedenie procesu a všeobecné ukazovatele efektívnosti. Prvé dve skupiny sú parametre na úrovni návrhu, teda produktové portfólio výrobcov a ich výrobných procesov. Druhé dve skupiny sú výstupy zohľadňujúce zmeny vo výrobe a jej následnú efektívnosť. Tiež sem paria finančné náklady, dosiahnutá úroveň všeobecných cieľov, zmeny kompetencie zamestnancov a iné. Interakcia týchto skupín určuje úroveň vhodnosti nasadenia priemyselného robota na danú operáciu [5].

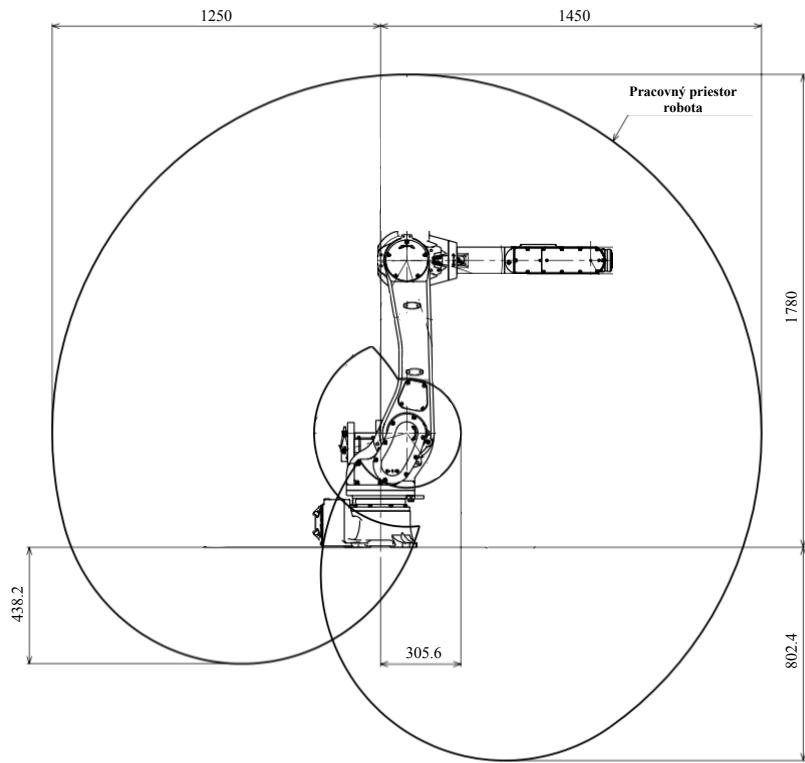
Existuje množstvo ďalších metód a prístupov pomocou ktorých dokážeme analyzovať vhodnosť nasadenia priemyselného robota pre danú aplikáciu. Môže pritom ísť o montážnu, manipulačnú, alebo inú operáciu.

1.5 Priemyselný robot Kawasaki RS10N

História výroby priemyselných robotov vo firme Kawasaki pretrváva už od roku 1968, kedy bola podpísaná licenčná zmluva s americkou spoločnosťou Unimate. Už nasledujúci rok sa odštartovala výroba prvých priemyselných robotov Kawasaki-Unimate 2000 na území Japonska. Od tejto doby spoločnosť prevádzkuje viaceré divízie pre výskum a vývoj robotov tak, aby výrobky stále napredovali a dokázali udržať krok s konkurenciou [6].

Priemyselný robot Kawasaki RS10N patrí do kategórie malých až stredných robotov s ich užitočnou nosnosťou do 80 kilogramov. Roboty z tejto kategórie sa vďaka kompaktnému dizajnu, pracovnému rozsahu a dosahovaným rýchlosťam pohybov dajú použiť v širokej škále aplikácií ako manipulácia s materiálom, montáž, alebo obsluha strojov. Šest' osí priemyselný robot Kawasaki RS10N s vyznačeným pracovným priestorom môžeme vidieť na Obr. 1.2.

Užitočná nosnosť robota RS10N je 10 kilogramov s maximálnym dosahom 1,450 metra. Celkový pracovný priestor je špecifikovaný na Obr.1.2. Výrobcom udávaný parameter opako-



Obr. 1.2: Pracovný priestor priemyselného robota Kawasaki RS10N [7]

vateľnosti na montážnej obrube nástroja je ± 0.03 milimetre [7].

Ďalšie parametre robota ako typ pohybu, pracovný rozsah, maximálna rýchlosť v jednotlivých osiach je uvedený v Tab. 1.1.

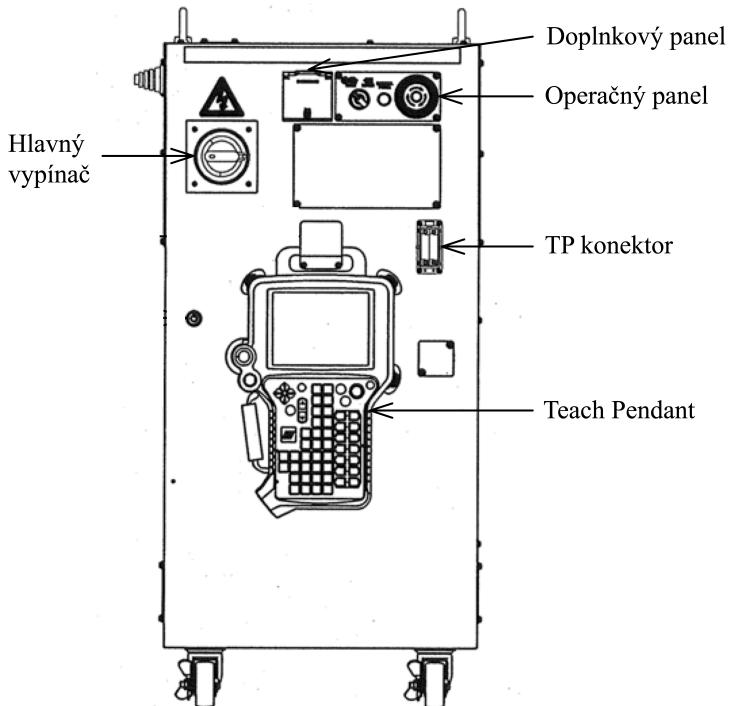
Tabuľka 1.1: Špecifikácia osí priemyselného robota Kawasaki RS10N [7]

Typ pohybu	Pracovný rozsah	Rýchlosť pohybu
otáčavý (JT1)	+180° ~ -180°	250°/s
rotačný (JT2)	+145° ~ -105°	250°/s
rotačný (JT3)	+150° ~ -163°	215°/s
krútiaci (JT4)	+270° ~ -270°	365°/s
rotačný (JT5)	+145° ~ -145°	380°/s
krútiaci (JT6)	+360° ~ -360°	700°/s

1.5.1 Riadiaca jednotka E40

Riadenie pohybu priemyselného robota Kawasaki RS10N zabezpečuje riadiaca jednotka Kawasaki E40. Riadiaca jednotka je určená pre riadenie priemyselných robotov so šiestimi stupňami volnosti. Sieťové napájanie riadiacej jednotky je 380-415V $\pm 10\%$, hmotnosť riadiacej jed-

notky je 145 kilogramov a jej rozmery sú 1200x550x550 (výška, šírka, hĺbka) milimetrov [8]. Znázornenie riadiacej jednotky E40 spolu s popisom hlavných častí môžeme vidieť na Obr. 1.3.



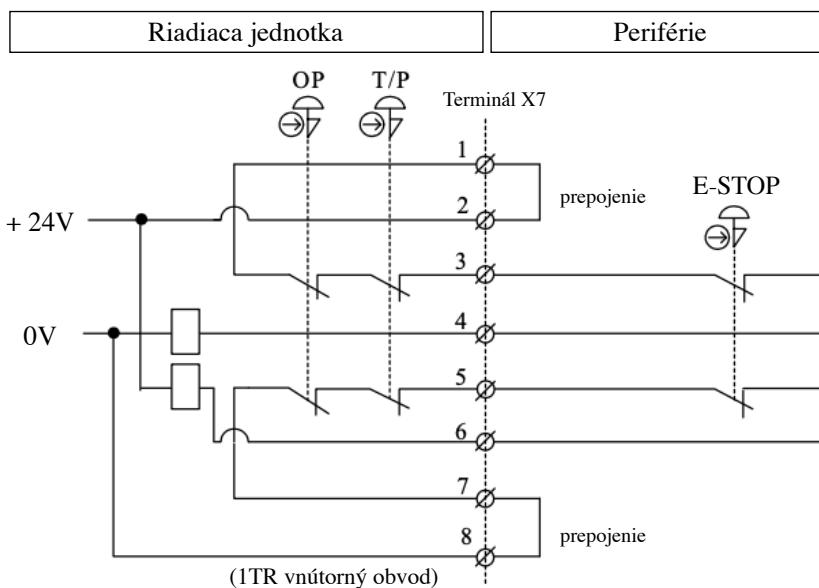
Obr. 1.3: Riadiaca jednotka Kawasaki E40 [8]

Pre tvorbu programov pre priemyselný robot Kawasaki RS10N je možné použiť zariadenie Teach Pendant, alebo počítač. Teach Pendant je ovládač s dotykovým displejom, ktorý je pripojený k riadiacej jednotke. Programovanie robota prostredníctvom tohto zariadenia sa radí k metódam online programovania. Tento spôsob neumožňuje vytvárať program pri spustenom procese, čo môže mať negatívny vplyv na dĺžku prestojov v prevádzke. Pri spustenom procese v automatickom móde vieme cez Teach Pendant sledovať vnútorné stavy a chod programu. Programovanie pomocou počítača predstavuje výhodu v možnosti využitia rôznych simulačných nástrojov. Využitím týchto nástrojov je možné program vytvoriť mimo pracoviska a to bez zásahu do prevádzkyschopného stavu. Pri simulačne vytvorenom programe je však stále potrebná jeho korekcia na reálnom zariadení [8].

Riadiace jednoty série E podporujú programovacie jazyky AS a Block Step. Na určenie natočenia sú využité absolútne enkódery umiestnené v klíboch robota. Kontrola pohybu je možná pomocou klíbovej, lineárnej, alebo kruhovej interpolácie. Možnosti komunikácie pomocou protokolov DeviceNET, PROFIBUS, PROFINET, INTERBUS-S, Ethernet/IP, CC-Link, podľa štandardu IEC 61158 [8].

V prípade ohrozenia, alebo nebezpečnej udalosti obsahuje riadiaca jednotka bezpečnostný

modul. Úlohou bezpečnostného modulu je rýchle a spôsobilivé zastavenie činnost' robota v prípade identifikácie safety udalosti. Takáto udalosť môže nastat' napr. v prípade stlačenia núdzového stop tlačidla operátorm. Schematické zapojenie bezpečnostného obvodu môžeme vidieť na Obr. 1.4.



Obr. 1.4: Zapojenie bezpečnostného obvodu 1TR [9]

Riadiaca jednotka obsahuje v základnej konfigurácii dve bezpečnostné stop tlačidlá. Prvé je umiestnené na vonkajšej strane dverí riadiacej jednotky s označením *OP*. Druhé bezpečnostné tlačidlo *T/P* je zabudované v ovládacom panely Teach Pendant. V prípade ručného ovládania tak má operátor tlačidlo vždy v dosahu.

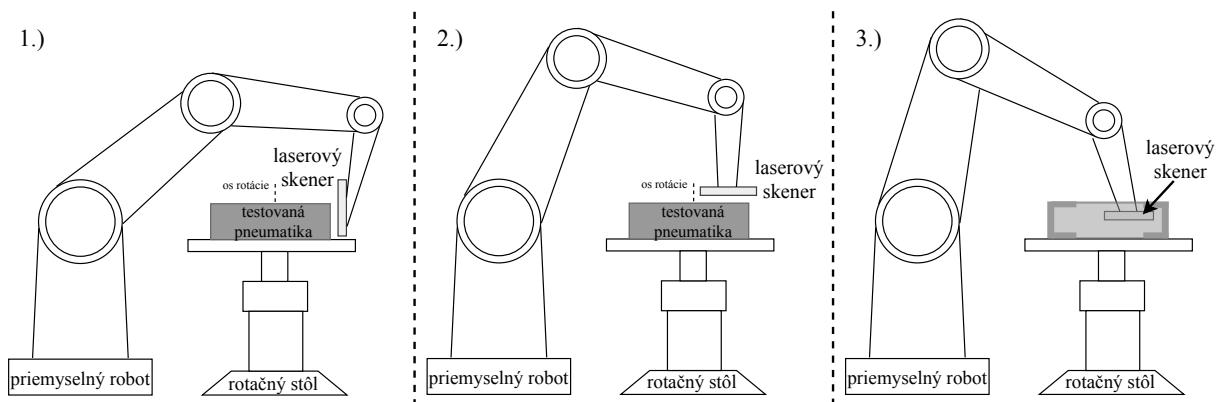
Vnútorný obvod bezpečnostného zapojenia je napájaný napäťom +24V a vyvedený na svorky (2,6) *terminálu X7*. V periférnej časti je potrebné fyzické prepojenie medzi svorkami (1-2) a (7-8). Do externej časti sa ďalej pripájajú ďalšie núdzové stop tlačidlá, pre ktoré platí dvoj vodičové zapojenie zabezpečujúce redundanciu obvodu. Celý obvod je pod stálym napäťom +24V a všetky bezpečnostné prvky fungujú na princípe normálne spojeného stavu [9].

1.6 Využitie priemyselného robota pri inšpekčnom skenovaní povrchu pneumatík

V koncepte vývojového pracoviska plní priemyselný robot Kawasaki RS10N úlohu integračného činiteľa. Svojimi naplánovanými pohybmi polohuje zariadenia strojového videnia na definované miesto. Pri konfigurácii skenovania povrchu pneumatík je koncovým článkom reťazca laserový skener. Pomocou laserového skenera sa zaznamenávajú povrchové údaje testovanej

pneumatiky. Pri jednoúčelovom testovacom pracovisku, kde by prebiehalo napríklad len skenovanie bočnice pneumatiky by mohol funkciu priemyselného robota nahradíť jednoduchší, viac osí polohovací systém. Takýto systém s niekoľkými stupňami voľnosti pohybu v kartézskom priestore by postačoval aj v prípade, že sa rozmery testovaných pneumatík menia. Ak máme k dispozícii priemyselný robot, môžeme uvažovať s prevádzaním nasledovných spôsobov skenovania pneumatiky:

1. skenovanie behúna, obvodovej časti pneumatiky,
2. skenovanie bočnice pneumatiky,
3. skenovanie vnútornej časti pneumatiky.



Obr. 1.5: Znázornenie spôsobov skenovania povrchu pneumatík

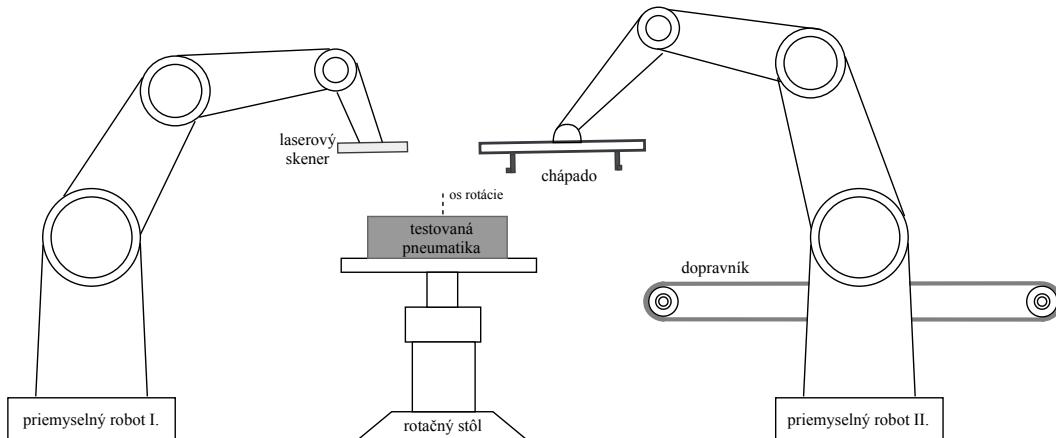
Tieto testy je možné takisto realizovať pod rôznym uhlom náklonu laserového skenera. Využitie priemyselného robota nám tak dáva neobmedzené variácie a spôsoby vykonávania testov. Zmena spôsobu testovania je späť iba so zmenou programu robota, resp. definovania nových polôh. Vyššie uvedené spôsoby skenovania povrchu pneumatík sú graficky znázornené na Obr. 1.5. Rotačný stôl v pracovisku zabezpečuje rotáciu pneumatík počas testovania. Princíp jeho činnosti bližšie uvádzajú podkapitola (2.2).

V takomto návrhu testovacieho pracoviska je stále potrebná jeho manuálna obsluha. Obsluhu vykonáva operátor, ktorý ukladá testovanú pneumatiku na rotačný stôl. V rámci úvah do budúcnosti a možnosti nasadenia testovacieho pracoviska do reálnej prevádzky je vhodné uvažovať, akým spôsobom automatizovať proces testovania.

1.6.1 Koncept automatizovaného skenovania

Z dielne technologického oddelenia prišiel návrh d'alej možnosti rozšírenia testovacieho pracoviska v budúcnosti. Tento návrh takisto rieši otázku celkovej automatizácie v prípade pravi-

delného a častého vykonávania testov. Pri súčasnom návrhu je potrebná manuálna obsluha pracoviska. Úlohou operátora v pracovisku je uložiť pneumatiku na rotačný stôl, následne spustiť proces testovania a po jeho dokončení pneumatiku zo stola odobrat'. Do budúcnia je samozrejme vhodné uvažovať s možnosťou odbremenenia operátora od takejto formy monotónnej činnosti. Pri tejto myšlienke vieme pracovisko rozšíriť o dopravník, po ktorom by pneumatika prichádzala na testovanie. Manipuláciu s pneumatikou by mohol zabezpečiť druhý priemyselný robot vybavený chápdom. Takto navrhnuté usporiadanie pracoviska môžeme vidieť na Obr. 1.6.



Obr. 1.6: Rozšírenie pracoviska o druhý priemyselný robot a dopravník

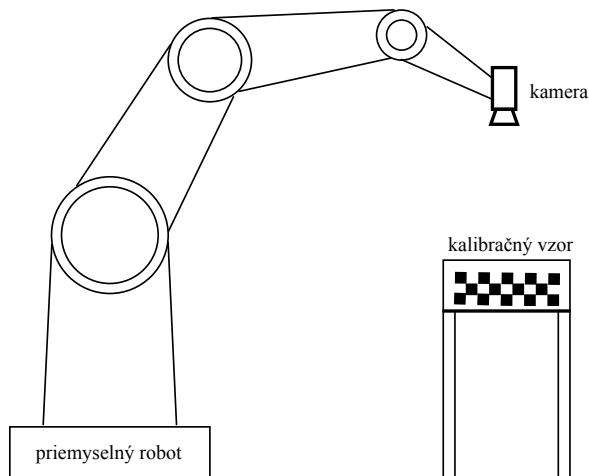
Po dokončení testu by druhý priemyselný robot pneumatiku opäť premiestnil na dopravníkový pás, po ktorom by pneumatika postupovala k ďalším operáciám.

Takéto riešenie by zvýšilo autonómnosť pracoviska a neprítomnosťou operátora v procese by sa zvýšila celková bezpečnosť. Pridanie druhého priemyselného robota by si však vyžiadalo značné finančné náklady. Pri vývojovom koncepte pracoviska je však nanajvýš vhodné uvažiť celkové ciele a možnosti do budúcnia. V súčasnosti je kladená požiadavka aj na využitie pracoviska pri kalibrácii kamier.

1.7 Využitie priemyselného robota pri kalibrácii kamier

Vývojové pracovisko so zriadením jedného priemyselného robota Obr. 1.5, je možné menšiu zmenou usporiadania premeniť na automatizovaný systém kalibrácie kamier Obr. 1.7.

Zmena pracoviska by pozostávala vo výmene koncového efektora z laserového skenera za kameru. Rotačný stôl by bol nahradený stojanom s kalibračným vzorom. Úloha robota by pozostávala v polohovaní kamery na presne stanovené pozície, pri ktorých by bol kalibračný vzor zosenímaný. Po napolohovaní kamery do všetkých pozícii by výsledkom boli snímky vzoru z rôznych perspektív pohľadu. Ked'že sú rozmyty, poloha vzoru a poloha kamery známe vieme prepočítať skreslenie kamery, teda odhaliť nedokonalosť jej geometrie. Dosiahnuté zistenie



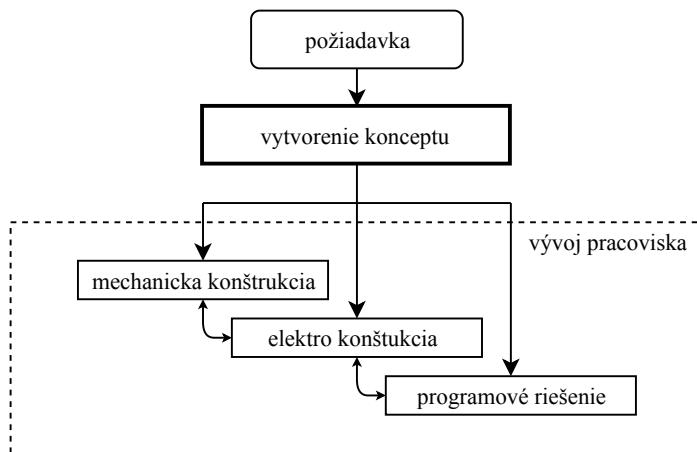
Obr. 1.7: Robotizované pracovisko pri kalibrácii kamier

vieme použiť na výslednú kalibráciu kamery. Takto nekalibrovaná kamera môže byť použitá pri ďalších inšpekčných strojoch.

Pri oboch konfiguráciách vývojového pracoviska, či už pri kontrole kvality pneumatík, alebo kalibrácií kamier uvažujeme využitie priemyselného robota Kawasaki s typovým označením RS10N.

2 Koncepčný návrh testovacieho pracoviska

Koncepčný návrh pracoviska pozostáva zo základného usporiadania a výberu jednotlivých pod-systémov, ktoré pracovisko obsahuje. Koncept je v podstate návrh, ktorý je predložený potencionálnemu zákazníkovi vo forme prezentácie po podaní jeho požiadavky. Slúži na vytvorenie základnej predstavy zákazníka o finálnej podobe zariadenia, a to ešte pred zahájením jeho výroby. Sú v ňom opísané základné hardvérové komponenty, zabezpečenie komunikácie medzi nimi, či ďalšie potrebné softvérové vybavenie pracoviska. Keďže sa jedná o návrhový koncept, jeho zmeny sú postupne dodaľované a konzultované. Koncept takisto súži aj pri určovaní približnej sumy zhotovenia a sprevádzkovania pracoviska. Po následnej dohode medzi zákazníkom a zhotoviteľom je možné koncepčný návrh v nasledujúcich fázach pretvoriť na funkčné zariadenie. Zaradenie konceptu pred vývojové fázy môžeme vidieť na Obr. 2.1.

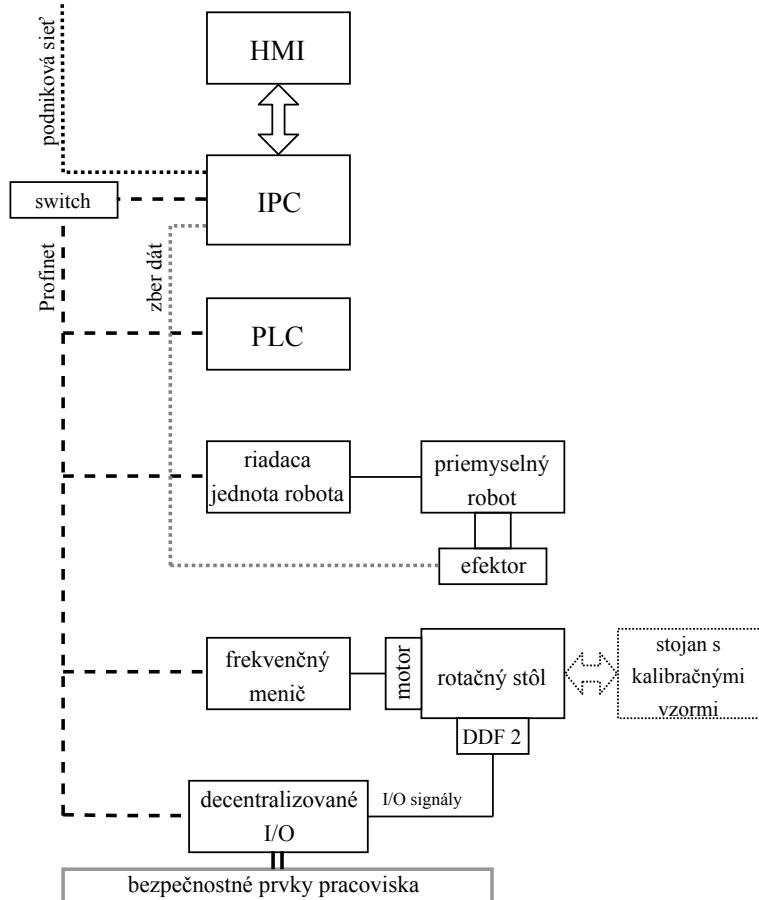


Obr. 2.1: Diagram vývoja pracoviska

Vytvorenie koncepčného návrhu je prvým krokom po predložení požiadavky. Podľa vytvoreného konceptu sa následne môže začať ďalší vývoj pracoviska. Konštrukčné oddelenie môže začať pracovať na modeloch, z ktorých budú pozostávať konštrukčné a mechanické prvky zariadenia. Pri vývoji elektrotechnickej konštrukcie sa začína s vytváraním dokumentácie elektrického a pneumatického zapojenia v príslušnom softvére. Podľa tejto dokumentácie budú neskôr zhotovené rozvádzace a ďalšie energetické obvody zariadenia. Po dokončení všetkých konštrukčných prvkov je možné prepojenie elektrickej a mechanickej časti do jedného celku. Posledným krokom je vytvorenie programu zariadenia.

Tieto fázy vývoja zariadenia sú v chronologickej nadväznosti a je dôležité aby medzi sebou interagovali. Predávaním informácií sa odhalujú nedostatky v návrhu, ktoré je potrebné čo najskôr odstrániť. Vylúčením všetkých chýb je formovaná finálna podoba zariadenia.

Schematické znázornenie koncepcného návrhu testovacieho pracoviska môžeme vidieť na Obr. 2.2. V takomto návrhu sú blokovo znázornené hlavné subsystémy pracoviska.



Obr. 2.2: Koncepcný návrh testovacieho pracoviska

V koncepcnom návrhu sa uvažuje s dvoma možnosťami využitia pracoviska. V prvom prípade je to využitie pracoviska pri skenovaní povrchu pneumatík (1.6). Pri takejto konfigurácii je v pracovisku umiestnený rotačný stôl, ktorý slúži na upevňovanie a rotáciu pneumatík počas testovania. Pracovisko má byť takisto využiteľné aj pri automatizovanej kalibrácii kamier (1.7). V tomto prípade je potrebná výmena rotačného stola za stojan, ktorý obsahuje kalibračné vzormi. Zmenu tohto usporiadania znázorňuje bodkovaná šípka na Obr. 2.2.

V tejto kapitole bude ďalej priblížený výber a základná charakteristika jednotlivých hardvérových častí pracoviska mimo priemyselného robota a jeho riadiacej jednotky, ktoré boli uvedené v podkapitole (1.5).

2.1 Používateľské rozhranie pracoviska

Ako grafické rozhranie medzi operátorom a pracoviskom slúži devätnásť palcový displej SIMATIC IFP1900 Obr. 2.3. Jedná sa o dotykový panel s obslužnou aplikáciou vytvorenou v SIMATIC WinCC. Pomocou tejto aplikácie bude možné testovacie pracovisko nielen ovládať ale aj monitorovať všetky jeho činnosti. Po vykonaní testu bude na obrazovke monitora zobrazené jeho výhodnotenie.



Obr. 2.3: Monitor SIMATIC IFP1900 [10]

Operátor tak bude mať nielen prehľad o stave zariadenia, ale aj o výsledkoch získaných testovaním. Panel bude zabudovaný do vonkajšej strany hlavného rozvádzaca, ktorý sa nachádza mimo pracovný priestor priemyselného robota. Tým bude operátor v bezpečnej vzdialenosť od pohyblivých častí.

2.2 Priemyselný počítač

Grafický panel SIMATIC IFP1900 Obr. 2.3, slúžiaci ako rozhranie medzi operátorom a procesom, je v rámci hardvérovej konfigurácie pripojený k priemyselnému počítaču SIMATIC IPC427E Box PC Obr. 2.4.



Obr. 2.4: Priemyselný počítač SIMATIC IPC427E Box PC [10]

Priemyselný počítač sa nachádza vo vnútri hlavného rozvádzaca. Je vybavený operačným systémom Windows 10 IoT Enterprise a taktiež obslužnými aplikáciami pre spracovávanie dát získaných z testovania. Prepojenie počítača so zariadením strojového videnia môžeme vidieť na Obr. 2.2. So zreteľom na objem spracovávaných dát by mali byť výkonové vlastnosti počítača dostatočné.

2.3 Riadiaci systém

V rámci prípravy konceptu pracoviska boli preberané dve možnosti výberu hardvérového PLC systému. Pri oboch možnostiach sa jednalo o radu SIMATIC S7-1500 s CPU 1516 SIMATIC S7-1500 s CPU 1516. Rozdiel pozostával v integrite bezpečnosti systému. Verzia s integrovanou bezpečnostnou funkcionálitou je rádovo nákladnejšia, ale predstavuje výhody v možnostiach zabezpečenia pracoviska pred neželanými udalosťami. Problematiku bezpečnosti pracoviska v prípade výberu tohto typu PLC zariadenia preberá podkapitola (2.7.1).



Obr. 2.5: PLC SIMATIC S7-1500(F), CPU 1516(F)-3 PN/DP [10]

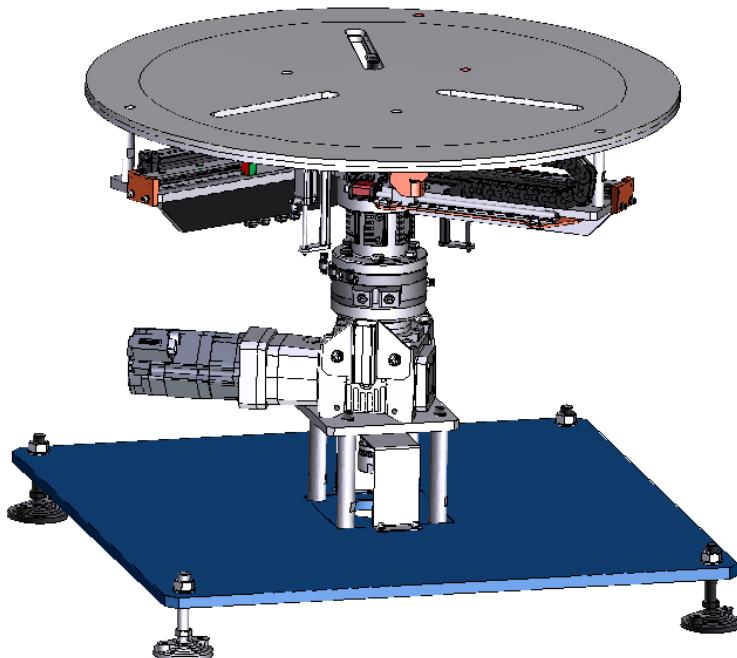
Riadiaci systém je v rámci hierarchie nadradeným voči ostatným podsystémom testovacieho pracoviska. Sú tu sústredené všetky snímané veličiny mimo dát získavaných strojovým videním. Tieto dáta sú z hľadiska riadenia pracoviska nezávislé a preto ich riadiaci systém môže zanedbávať.

Hardvérovú reprezentáciu oboch PLC systémov môžeme vidieť na Obr. 2.4. Pri PLC systéme s integrovanou bezpečnosťou je za označením pridané písmeno (F) označujúce (fail-safe) zariadenie.

2.4 Rotačný stôl

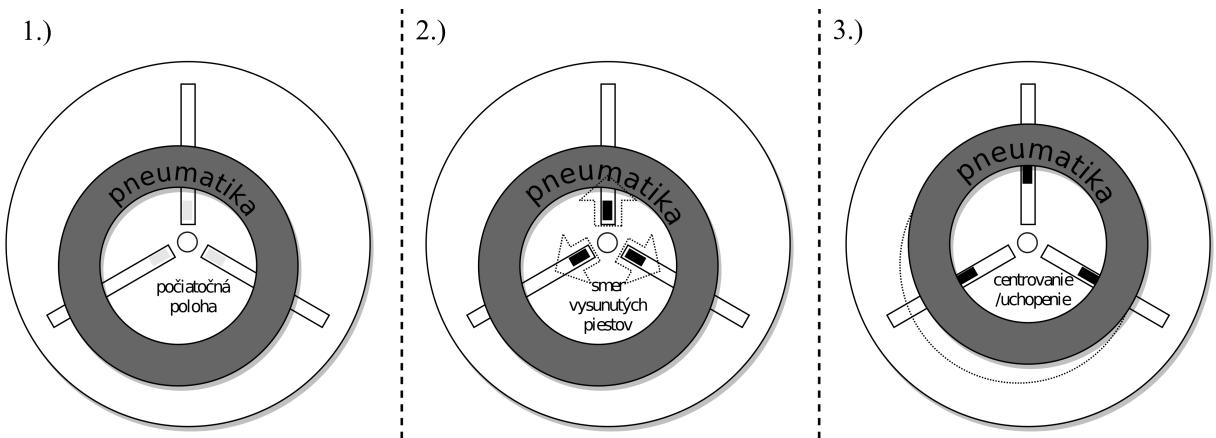
Rotačný stôl Obr. 2.6, vykonáva tieto tri základné operácie:

- upevnenie testovanej pneumatiky,
- centrovanie testovanej pneumatiky,
- rotáciu testovanej pneumatiky.



Obr. 2.6: Model rotačného stola

Upevnenie a centrovanie pneumatiky prebieha simultánne pomocou troch párov pneumatických piestov. Pred testovaním sú piesty umiestnené v základnej pozícii pod rovinou stola 1.). Ak operátor položí pneumatiku na rovinu stola a zaháji testovanie, piesty sa vysunú zo základnej konfigurácie v strede rotačného stola, t.j. vo vnútornej časti testovanej pneumatiky. Následne sa piesty začnú vysúvať smerom k okraju rotačného stola 2.). Po dosiahnutí vnútorného okraja pneumatiky, pohyb piestov pneumatiku vycentruje a upevní jej pozíciu v strede stola 3.). Grafické znázornenie procesu upevňovania pneumatiky môžeme vidieť na Obr. 2.7.



Obr. 2.7: Krokové znázornenie upevňovania pneumatiky v rotačnom stole

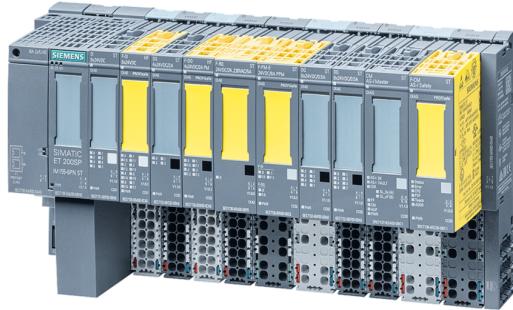
Rotácia stola zabezpečuje synchrónny motor Siemens Simotics 1FK7103-2AC71-1PB0 s výkonom 0.6 kW, maximálnym momentom 10.5 Nm a maximálnymi otáčkami 9000 rpm [10]. Riadenie otáčok motora umožňuje frekvenčný menič Sinamics S120. Na prenos tlakového vzduchu k piestom a signálov k snímačom slúži rotačný kĺb Schunk DDF 2. Kĺb umožňuje nepretržitú rotáciu stola v požadovanom smere bez nutnosti návratu do domovskej pozície.

2.5 Kalibračný vzor pre kamery

Introduction to calibration pattern ect.

2.6 Decentralizované vstupno-výstupné zariadenie

Na zber vstupný a riadenie výstupných signálov využíva riadiaci systém decentralizovanú perifériu SIMATIC ET 200SP. Do tohto zariadenia je možné radíť moduly pre zber signálov, alebo rôzne výstupné, či napájacie moduly. Príklad zostavy periférie môžeme vidieť na Obr. 2.8.



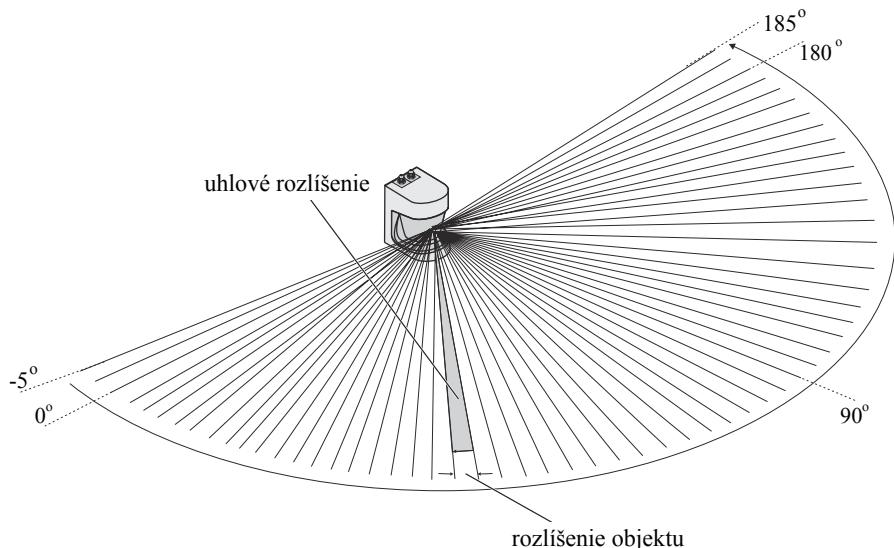
Obr. 2.8: Decentralizovaná periféria SIMATIC ET 200SP [10]

Podstatou použitia zariadenia je redukcia kabeláže k senzorom a akčným členom. Peri-

féria dokáže komunikovať z nadradeným PLC pomocou zbernice Profinet s využitím jedného prepojenia.

2.7 Bezpečnostné prvky pracoviska

V rámci nárokov na bezpečnosť sa bude v pracovisku mimo štandardných bezpečnostných tlačidiel nachádzať aj bezpečnostný skener SICK S3000 Obr. 2.9. Zariadenie dokáže monitorovať priestor v zornom poli 190 stupňov. Snímaný priestor je tiež možné rozdeliť do niekoľkých zón s rôznymi charakterom vygenerovanej udalosti. Ak sa napríklad v zóne, ktorá je v pracovisku, ale mimo pracovný priestor robota signalizuje pohyb, zariadenie vyšle signál, ktorý bude interpretovaný ako upozornenie na opustenie pracoviska. V prípade že skener identifikuje pohyb v pracovnom priestore robota kde môže dosť k zraneniu pri jeho pohybe, zariadenie bude interpretovať udalosť obdobnú so stlačením stop tlačidla [11].

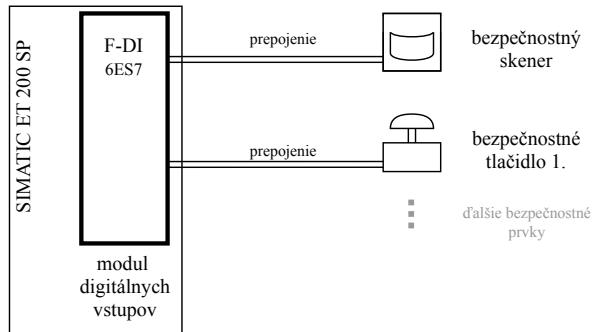


Obr. 2.9: Bezpečnostný skener Sick 3000 [11]

Princíp merania priestoru je na báze doby letu infračerveného lúča. Na základe času vyslania a prijatia lúča, zariadenie vypočíta vzdialenosť objektu, od ktorého sa vyslaný lúč odrazil. Vo vnútri skenera sa nachádza rovnomerne rotujúce zrkadielko, ktoré vychýľuje impulzy lúča v uhlovom rozsahu -5 až 185 stupňov. Uhlové rozlíšenie impulzov môže byť 0.25 alebo 0.5 stupňa, čo umožňuje dosiahnuť rozlíšenie objektu 30 až 150 milimetrov. Vďaka takémuto princípu aktívneho skenovania, nepotrebuje bezpečnostný laserový skener externé prijímače ani iné zdroje infračerveného svetla [11].

2.7.1 Bezpečnostný obvod v prípade bezpečnostného PLC

V prípade výberu hardvérového PLC SIMATIC S7-1500F (2.3), budú výstupy bezpečnostných zariadení pripojené do bezpečnostného modulu digitálnych vstupov. Tento modul je súčasťou decentralizovaného vstupno-výstupného zariadenia SIMATIC ET 200 SP (2.6). Znázornenie pripojenia zariadení do modulu môžeme vidieť na Obr. 2.10. Ďalšie bezpečnostné tlačidlá sú do modulu pripojené rovnako ako bezpečnostné tlačidlo 1.

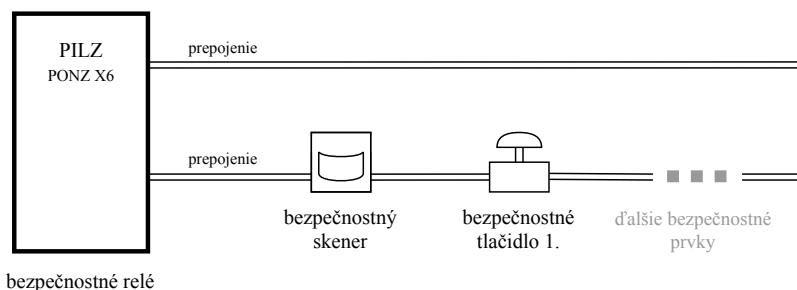


Obr. 2.10: Bezpečnostný obvod v prípade použitia bezpečnostného modulu digitálnych vstupov

Hlavnou výhodou použitia bezpečnostného PLC a bezpečnostného modulu, je možnosť využitia aplikačného profilu ProfiSafe. Protokol zabezpečuje vytvorenie bezpečnej komunikácie medzi zariadeniami. Takto zabezpečenou sietou vieme dosiahnuť vyššiu úroveň bezpečnosti SIL. Nevýhodou sú vyššie náklady na nákup týchto zariadení.

2.7.2 Bezpečnostný obvod v prípade klasického PLC

Ak pri návrhu neuvažujeme použiť bezpečnostné PLC (2.3), musíme do konceptu pridať bezpečnostné relé, ktoré bude súčasťou bezpečnostného obvodu pracoviska. Zariadenia ako bezpečnostný skener, alebo núdzové stop tlačidlá budú sériovo radené do tohto obvodu. Znázorne nie bezpečnostného obvodu môžeme vidieť na Obr. 2.11.



Obr. 2.11: Bezpečnostný obvod v prípade použitia bezpečnostného relé

Bezpečnostné relé neustále kontroluje obvod a v prípade identifikovania zmeny stavu odpojí potrebné zariadenia od napájania.

Záver

Conclusion is going to be here.

Zoznam použitej literatúry

1. RESEARCH, Market. *Global Tires Industry* [online]. ID-5379599. Report Linker, 2020-09 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/04/02/2010877/0/en/Global-Tires-Industry.html>.
2. DUCHOŇ, F. *Výrobné systémy a CIM*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2015. ISBN 978-80-227-4446-1.
3. QUALITY, INTOUCH. *Tire inspection: QC China* [online]. 2014 [cit. 2020-12-23]. Dostupné z: <https://www.intouch-quality.com/blog/tire-inspection-qc-china>.
4. VELÍŠEK K. - KATALINIČ, B. *Priemyselné roboty a manipulátory*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2006. ISBN 80-227-2492-0.
5. KANGRU, T. – RIIVES. J. – MAHMOOD. K. et al. *Suitability analysis of using industrial robots in manufacturing* [online]. 2019 [cit. 2020-09-23]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/337276388_Suitability_analysis_of_using_industrial_robots_in_manufacturing.
6. KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD. *History of Robot Division* [online]. 2018 [cit. 2020-09-23]. Dostupné z: <http://global.kawasaki.com/en/corp/profile/division/robot/history.html>.
7. KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD. *Standard specifications RS010NFF60* [online]. 3rd. 2018 [cit. 2020-10-02]. Dostupné z: <https://docplayer.net/90067350-Standard-specifications-rs010nff60.html>.
8. KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD. *Kawasaki Robot Controller E Series Operating Manual* [online]. 4rd. 2012-12 [cit. 2020-10-02]. Dostupné z: https://www.academia.edu/35619530/Kawasaki_Robot_Controller_E_Series_Operation_Manual.
9. KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD. *Kawasaki Robot Controller E Series External I/O manual* [online]. 14rd. 2017-08 [cit. 2020-10-04]. Dostupné z: https://robotics.kawasaki.com/userAssets1/productPDF/E_Controller-Installation_and_Connection_Manual-E.pdf.

10. SIEMENS. *Industry Mall: Online catalogue and online ordering system for Digital Industries and Smart Infrastructures* [online]. Version 4.93.0. 2021-01-01 [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/goos/WelcomePage.aspx?language=en®ionUrl=/>.
11. SICK SENSOR INTELLIGENCE, AG. *Operating instructions S3000* [online]. Ver. 8009942/ZA18/2011-12. 2019 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.sick.com/us/en/opto-electronic-protective-devices/safety-laser-scanners/s3000-standard/c/g187231>.