



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

VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ AUTOMATICKÉHO ODSTRANĚNÍ SKOŘEPINY ODLITKU

VIRTUAL COMMISSIONING OF AUTOMATIC INVESTMENT CASTING SHELL REMOVAL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Pavol Vach

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Mikuláš Szabari, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Pavol Vach
Studijní program:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Mikuláš Szabari, Ph.D.
Akademický rok:	2023/24

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

Virtuální zprovoznění automatického odstranění skořepiny odlitku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student navrhne a virtuálně zprovozní robotické pracoviště určeno pro odstranění skořepiny z odlitku pro technologii investment casting. Robotické pracoviště bude schopno pracovat pružně s několika různými skořepinami a bude verifikovat dosažený výsledek. Vstupem a výstupem bude paletizovaný díl.

Cíle diplomové práce:

Rešerše v dané oblasti.
Rozbor řešené problematiky.
Návrh pracoviště
Virtuální zprovoznění.
Návrh řízení a HMI.
Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

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

KOLÍBAL, Zdeněk a Zdeněk KADLEC. Průmyslové roboty II. Konstrukce výstupních hlavic a periférií. Brno: PC DIR, 1993, 165 s. ISBN 80-214-0533-3.

SICILIANO, Bruno a Oussama KHATIB. Springer Handbook of Robotics. Berlin: Springer, 2008. ISBN 978-3-540-23957-4.

NOF, Shimon. Springer Handbook of Automation. Berlin: Springer, 2009. ISBN 978-3-540-78830-0.

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

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Cieľom diplomovej práce je navrhnuť a virtuálne sprevádzkovať robotické pracovisko pre automatické odstraňovanie škrupín z odliatkov pre technológiu investment casting. V teoretickej časti je zhrnutý prehľad programovania priemyselných robotov, PLC a softvérov pre virtuálne sprevádzkovanie. Následne je popísaná technológia odlievania investment casting. V rozbere riešenej problematiky sú popísané zadané súčiastky a analyzované metódy odstraňovania škrupín z odliatkov so zameraním na automatizáciu tohto procesu. Ďalej nasleduje návrh usporiadania pracoviska, virtuálne sprevádzkovanie jeho modelu, návrh riadenia a používateľského rozhrania.

ABSTRACT

The aim of the diploma thesis is to design and virtually commission a robotic workplace for the automatic removal of shells from castings for investment casting technology. The theoretical part summarizes an overview of programming of industrial robots, PLCs and software for virtual commissioning. Subsequently, the investment casting technology is described. In the analysis of problematics, there is a description of assigned components and analysis of methods for removing shells from castings with a focus on the automation of this process. This is followed by the design of the workplace layout, the virtual commissioning of its model, the design of the control and user interface.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Robotické pracovisko, virtuálne sprevádzkovanie, Process Simulate, TIA Portal, odlievanie do vytaviteľného modelu, odstránenie škrupiny

KEYWORDS

Robotic workplace, virtual commissioning, Process Simulate, TIA Portal, investment casting, shell removal

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VACH, Pavol. Virtuální zprovoznění automatického odstranění skořepiny odlitku [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157950>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Mikuláš Szabari.

POĎAKOVANIE

Týmto ďakujem Ing. Mikulášovi Szabarimu, Ph.D., za jeho ochotu, cenné pripomienky a rady, ktoré mi poskytol pri vypracovávaní diplomovej práce. Taktiež by som chcel poďakovať rodine a blízkym za ich podporu v priebehu celého štúdia.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, vypracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Mikuláša Szabariho, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 23.5.2024

.....

Pavol Vach

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVÁCIA	17
3	PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA	19
3.1	Priemysel 4.0	19
3.2	Charakteristika automatizácie, robotizácie a digitalizácie	20
3.3	Programovanie priemyselných robotov	23
3.3.1	On-line programovanie	23
3.3.2	Off-line programovanie	24
3.4	Virtuálne sprevádzkovanie a použitý softvér	25
3.4.1	Softvér pre simuláciu	26
3.4.2	PLC a softvér pre programovanie	27
3.4.3	Softvér pre vzájomnú komunikáciu programov	29
3.5	Strojové videnie.....	29
3.6	Odlievacie metódy vytaviteľného modelu	30
4	SYSTÉMOVÝ ROZBOR RIEŠENEJ PROBLEMATIKY	33
4.1	Rozbor zadaných súčiastok	33
4.1.1	Súčiastka č. 1 – Odliatok obežného kolesa čerpadla.....	33
4.1.2	Súčiastka č. 2 – Odliatok redukčnej príruby	34
4.2	Voskový model a keramická škrupina	35
4.3	Zvýšenie stupňa automatizácie odstraňovania škrupín z odliatkov	36
4.3.1	Analýza metód používaných pre odstraňovanie škrupín z odliatkov.....	37
4.3.2	Automatizácia procesu	38
4.4	Rozšírenie pracoviska o tryskacie stanovište	41
4.4.1	Tryskacie zariadenie.....	41
4.4.2	Filtračné zariadenie	42
5	NÁVRH PRACOVISKA	43
5.1	Layout pracoviska	43
5.1.1	Takt pracoviska	44
5.2	Zariadenie pre odstraňovanie škrupín z odliatkov	46
5.2.1	Vysokotlaková jednotka	46
5.2.2	Koncový efektor pre tlakové čistenie.....	46
5.2.3	Priemyselný robot pre proces čistenia.....	48
5.2.4	Konštrukcia bunky pre vysokotlakové čistenie.....	52
5.3	Automatizačné prvky	53
5.3.1	Koncový efektor pre manipuláciu s materiálom	53
5.3.2	Priemyselný robot pre manipuláciu s materiálom.....	54
5.3.3	Výstupná kontrola	57
5.4	Senzory	58
5.5	Bezpečnosť	59
6	VIRTUÁLNE SPREVÁDZKOVANIE	61
6.1	Model pracoviska	61
6.2	Definícia kinematiky komponentov	61
6.2.1	Definícia kinematiky manipulačného koncového efektora.....	62
6.2.2	Definícia kinematiky polohovadla	62
6.3	Definovanie robotov a dopravníkov	63

6.4	Tvorba operácií a robotických programov	64
6.5	Ovládacie signály a logické bloky	65
6.5.1	Robotické signály.....	66
6.5.2	Logické bloky	67
6.6	Materiálový tok.....	67
7	NÁVRH RIADENIA A HMI.....	69
7.1	Riadiace zariadenia	70
7.2	PLC program.....	70
7.2.1	Funkčné bloky.....	72
7.3	HMI.....	76
7.4	Simulácia.....	77
8	ZÁVER A ODPORÚČANIE PRE PRAX.....	81
9	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	83
10	ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK	88
10.1	Zoznam použitých skratiek	88
10.2	Zoznam použitých symbolov	88
10.3	Zoznam obrázkov.....	89
10.4	Zoznam tabuliek.....	91
11	ZOZNAM PRÍLOH	93

1 ÚVOD

Automatizácia a mechanizácia procesov sa stáva čoraz viac významným prvkom v každodennom živote. Je možné sa s ňou stretnúť v rôznych odvetviach, od procesov vo výrobe a organizácii skladov až po automatizované procesy v zdravotníctve, poľnohospodárstve či obchodnej sieti.

Táto práca týkajúca sa virtuálneho sprevádzkovania automatizovaného odstraňovania škrupín z odliatkov má viesť k uľahčovaniu namáhavej a náročnej práce človeka. To je aj jedným z hlavných motívov automatizovania procesov. Taktiež je to aj jeden z dôvodov prečo sa autor rozhodol vypracovať túto prácu. Spolu s využívaním moderných technológií a dnes v praxi nevyhnutných výpočtových prostriedkov, sa to javí ako dobrá príležitosť a zároveň cenná skúsenosť do praxe.

Cieľom tejto diplomovej práce je vytvoriť virtuálne sprevádzkovanie robotického pracoviska, kde bude odsimulovaný celý proces odstraňovania škrupiny z odliatku pre technológiu výroby presných odliatkov metódou vytaviteľného modelu (investment casting). Robotické pracovisko bude schopné pracovať pružne s niekoľkými rozmermi škrupín a následne verifikovať dosiahnuté výsledky. Takéto riešenie by v praxi mohlo viesť k zvýšeniu efektívnosti, zníženiu jednotlivých časov, chybovosti a nákladov na prevádzku v porovnaní so súčasným riešením, kde sa využíva manuálna práca človeka. Vstupom a výstupom z robotického pracoviska budú diely umiestnené na paletách.

V úvode teoretickej časti bude stručne popísaná automatizácia, priemyselné roboty a ich programovanie. V ďalšej časti bude popísané programovanie PLC, prehľad softvérov pre virtuálne sprevádzkovanie a na koniec teoretickej časti odlievanie odliatkov metódou vytaviteľného modelu. Praktická časť bude zameraná na systémový rozbor riešenej problematiky, kde budú popísané zadané súčiastky a analýza metód pre odstraňovanie škrupín z odliatkov so zameraním na automatizáciu tohto procesu. Ďalej nasleduje návrh pracoviska, z ktorého vychádza jeho 3D model, ktorý je následne využitý pre virtuálne sprevádzkovanie. Potom bude navrhnuté riadenie s využitím PLC automatu, ktorý bude spojený s rozhraním HMI a prebehne simulácia procesu. Na záver bude práca zhodnotená a budú navrhnuté prípadné odporúčania pre prax.

2 MOTIVÁCIA

V dnešnej dobe, kedy je snahou do čo najväčšej miery redukovať chybovosť v nie len výrobných procesoch, sa čoraz viac uplatňujú prvky virtuálnej reality alebo aj simulovania procesov bez ich samotnej fyzickej podstaty.

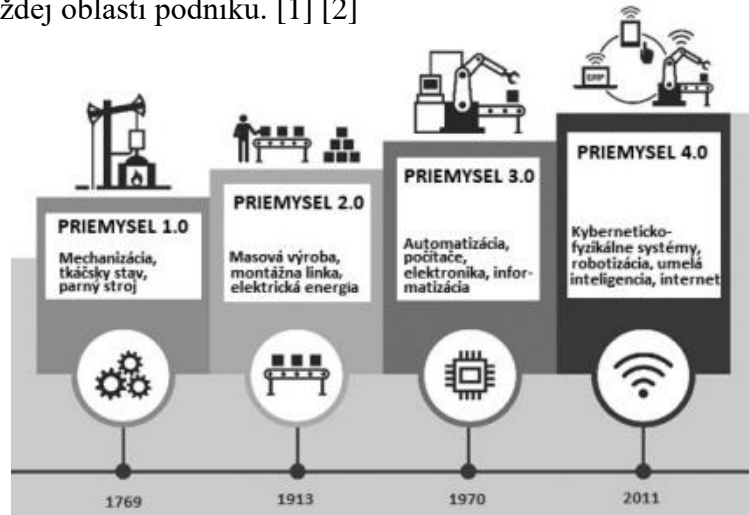
Tento trend, kedy sa snažíme dosiahnuť zvýšenia efektivity sa prenáša aj do návrhu pracovísk, kedy sa model tohto pracoviska najskôr navrhne a odsimuluje virtuálne. Takéto vynaložené úsilie významne zvyšuje pravdepodobnosť dosiahnutia uspokojivého výsledku a odhalenia chýb v konštrukcii, elektrickej inštalácii či programe ešte pred samotnou fyzickou stavbou zariadenia alebo pracoviska. To vedie k redukcii času potrebného na nastavovanie fyzického systému. Taktiež je v prípade vzniku porúch alebo požiadavky na zmeny možné pružnejšie reagovať.

Z tohto hľadiska je prirodzené, že firmy sa v nasledujúcich rokoch začnú čoraz viac prikláňať tomuto trendu, z dôvodu šetrenia zdrojov a zrýchľovania procesov. To následne povedie aj k zvýšenej miere investícií firiem a ich dodávateľov v tejto oblasti.

3 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

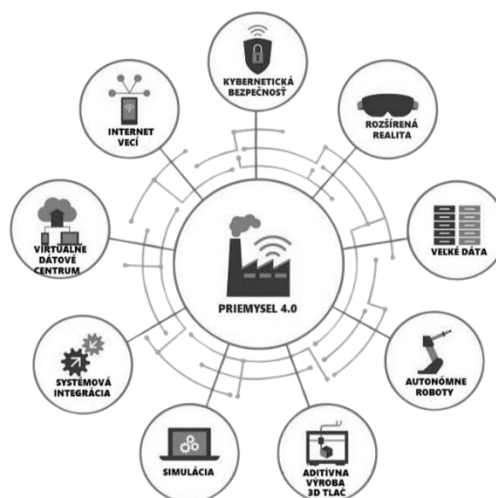
3.1 Priemysel 4.0

Priemysel 4.0 označuje proces optimalizácie výrobných postupov, ktorej cieľom je zvýšenie produkcie za použitia najmodernejších technologických poznatkov. Je často označovaný ako štvrtá priemyselná revolúcia. Hlavným rozdielom oproti tretej priemyselnej revolúcii je, že počítače používa nielen na automatizáciu a výrobu, ale aj na synchronizáciu zariadení a procesov v každej oblasti podniku. [1] [2]



Obr. 1) Priemyselné revolúcie [3]

Základ štvrtej priemyselnej revolúcie tvoria nové technológie aplikované vo výrobnom procese, ako napríklad umelá inteligencia, robotika, IoT (Internet of Things), autonómne vozidlá, kvantové počítače, 3D tlač, nanotechnológie a ďalšie. Jej uplatnenie je zatiaľ čiastočné a to najmä v kozmickom, automobilovom či elektrickom priemysle. Priemysel 4.0 znamená digitalizáciu a zosieťovanie vnútro podnikových procesov. Predstavuje akúsi aplikáciu IoT do výroby a vytvorenie priemyselného internetu vecí (IIoT - Industrial Internet of Things). [3]



Obr. 2) Vybrané technológie priemyslu 4.0 [3]

Priemysel 4.0 je založený na technológiách ako [4]:

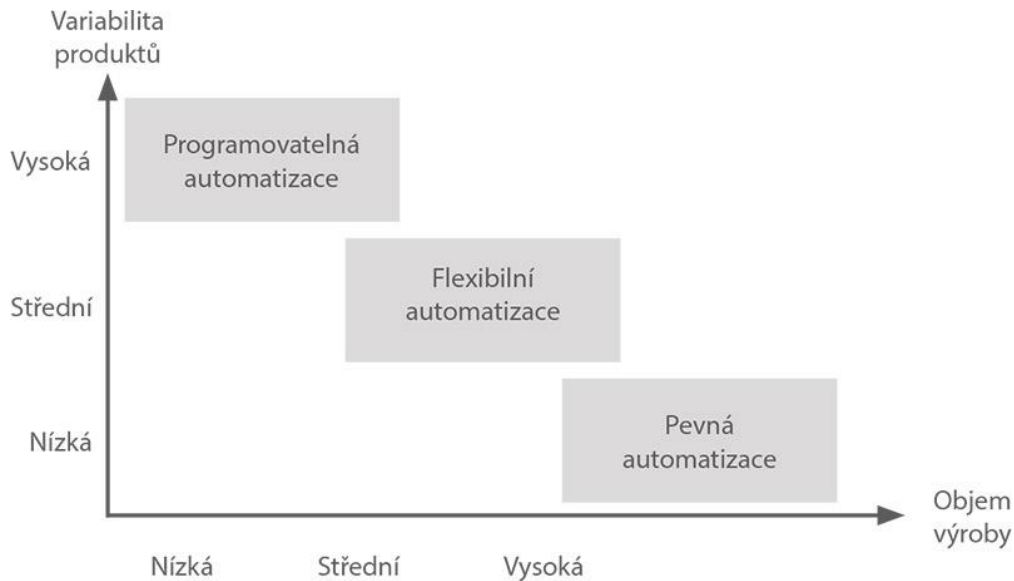
- **Veľké dáta** – koncept sa vzťahuje na veľké, zložité a rôznorodé súbory údajov, ktoré ovplyvňujú organizačné rozhodovanie spoločnosti a jej stratégiu,
- **Autonómne roboty** – uľahčenie implementácie robotov do výrobného procesu, schopnosť strojového učenia,
- **Simulácia** – simulačné nástroje plnia podpornú úlohu v procesoch súvisiacich s výrobou tým, že podporujú udržateľné výrobné prostredie. Podporujú taktiež zvýšenie efektivity, skrátenie časov a chybovosti pri práci na reálnych systémoch, pretože ponúkajú možnosť systém previesť do virtuálneho prostredia a vykonávať tu jeho sprevádzkovanie prípadne testovanie,
- **Internet vecí** – jeho hlavnou úlohou je prepojiť fyzické objekty a systémy pomocou internetu, za účelom zberu, analyzovania a monitorovania dát,
- **Virtuálne dátové centrum** – sú to zdieľané platformy, ktoré využívajú viacerí používatelia ako dátové úložiská (napríklad Google Drive, Microsoft Azure),
- **Aditívna výroba** – spadá sem napríklad 3D tlač. Týka sa vysoko flexibilnej výroby a prispôsobeniu sa zákazníkovi, používaná pre menšie série,
- **Rozšírená realita** – je interaktívna technológia, ktorá umožňuje prepojenie medzi virtuálnym a reálnym svetom. Táto technológia zlepšuje interakciu medzi človekom a strojom, ktorú je možno využiť napríklad pri údržbe alebo kontrole,
- **Kybernetická bezpečnosť** – so zakomponovaním internetu do výrobných systémov je nutné dbať predovšetkým na bezpečnosť a ochranu týchto systémov pred kybernetickými útokmi,
- **Systémová integrácia** – integrovanie fyzických objektov do seba pomocou inteligentných sietí.

3.2 Charakteristika automatizácie, robotizácie a digitalizácie

Automatizácia je proces, ktorý vedie k postupnému nahrádzaniu ľudí pri vykonávaní pracovných úloh a to za pomoci počítačov, strojov, priemyselných robotov a technologických zariadení. Tento proces si kladie za cieľ zlepšenie kvality výrobkov, potlačenie monotónnej práce, zvýšenie efektivity a produktivity procesov. Ďalším z dôležitých dôvodov je aj dosiahnutie vyššej bezpečnosti pri práci a to najmä pri práci zahŕňajúcej zdvíhanie ťažkých bremien alebo v prostredí v ktorom prichádzajú ľudia do styku s nebezpečnými a život ohrozujúcimi látkami. V praxi sa automatizácia používa v rôznych odvetviach priemyslu akými sú výroba potravín, farmaceutických výrobkov či výroba automobilov. [5]

Systémy priemyselnej automatizácie je možné na základe ich úrovne flexibility a integrácie rozdeliť do troch základných kategórií [6] [7]:

- **Pevná automatizácia** – tiež známa ako tvrdá automatizácia, uplatnenie v hromadnej výrobe,
- **Programovateľná automatizácia** – systémy riadené počítačovým programom, procesy sa môžu meniť na základe kódu, ktorý je v programe aktuálne spustený,
- **Flexibilná automatizácia** – sa zvyčajne využíva v dávkových procesoch s rôznymi produktmi, kedy je systém schopný prechádzať z jedného typu produktu na ďalší bez časovej straty.

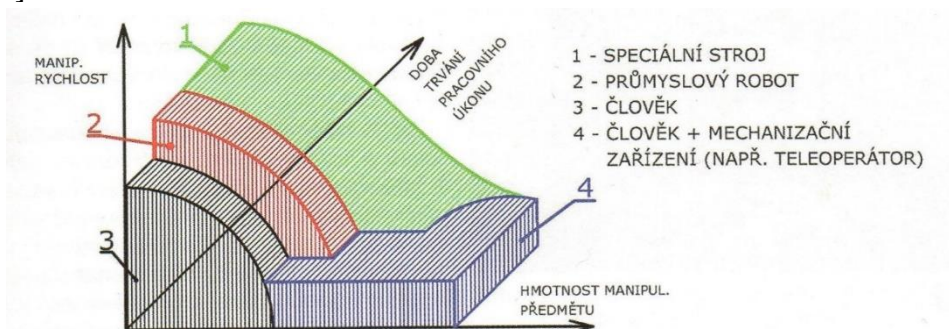


Obr. 3) Typy automatizačních systémů [6]

Robotizácia je proces, kedy prebieha automatizovanie pracovných postupov za pomoci robotov a počítačov. Hlavným z dôvodov využívania robotov je ich vysoká pružnosť a možnosť ich nasadiť v širokom spektre prostredí, a to od potravinárskeho priemyslu s vysokými požiadavkami na čistotu a hygienu pri práci až po použitie v náročnom a nebezpečnom prostredí, ako napríklad pri vysokých teplotách alebo v prostredí s nebezpečenstvom výbuchu. Využívanie robotov vedie taktiež k zlepšeniu produktivity a kvality práce, pretože roboty sú schopné vykonávať opakujúce sa úlohy s väčšou rýchlosťou a presnosťou ako ľudia. [5]

Medzi najväčších svetových výrobcov robotov patria firmy KUKA, FANUC a ABB. Poskytujú široké portfólio priemyselných robotov a automatizačných prostriedkov a to aj spolu so silným miestnym zastúpením v oblasti obchodu a servisných služieb. Roboty sa stávajú súčasťou manipulačných systémov na základe výberu vhodného typu manipulátoru. Výber vhodného typu manipulátoru závisí predovšetkým na druhu pracovného procesu, tvare a hmotnosti manipulovaného predmetu, na parametroch manipulácie, pracovnom prostredí, dobe trvania pracovných úkonov, atď. [8]

Z týchto podmienok sa zostavujú často aj viacrozmerné diagramy, vymedzujúce použitie jednotlivých typov manipulačných prostriedkov. Príklad takéhoto diagramu, pre závislosť hmotnosti predmetu, manipulačnej rýchlosti a času trvania práce je znázornený na obr. 4. [8]



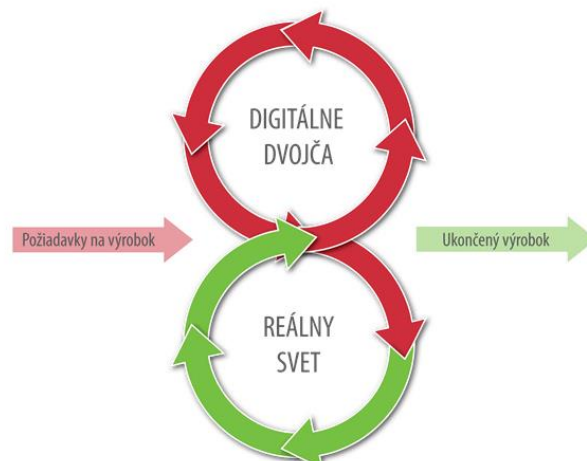
Obr. 4) Viacrozmerný diagram s oblastmi použití manipulačních prostředků [8]

Digitalizácia je spojená so zavádzaním nových digitálnych technológií v podnikoch, môžeme ju považovať za prvý stupeň digitalizácie informácií a dát. Je zameraná na implementáciu digitálnych technológií do podnikových procesov. Z pohľadu podniku označuje digitalizovanie špecifickej oblasti, procesu alebo vytvorenie digitálneho pracoviska. Takéto pracovisko napomáha napríklad pri podpore nových technológií u zamestnancov, kam sa radia mobilné zariadenia, riadiace alebo komunikačné platformy. [9]

Digitálne dvojča reprezentuje virtuálnu kópiu reálneho (fyzického) objektu, napríklad obrábacieho stroja alebo robotického pracoviska. Je základným nástrojom Priemyslu 4.0 pre zvyšovanie efektívnosti výroby. [10]

Návrh digitálneho dvojčata sa skladá z troch hlavných častí [10]:

- Fyzické objekty v reálnom priestore,
- Digitálne objekty vo virtuálnom priestore,
- Previazanie virtuálneho a reálneho objektu na základe pripojených dát a informácií.



Obr. 5) Digitálne dvojča [10]

Účelom digitálneho dvojčata je navrhovať, testovať a vyrábať výrobok vo virtuálnom prostredí. To znamená, že napríklad prípadné zmeny v konštrukcii pri zistení problému je možné riešiť úpravou modelu a netreba vyrábať nový diel. Fyzická výroba zariadenia či výrobku sa teda zahajuje až po príprave výrobku v digitálnom prostredí. [10]

Zložitejšie reálne zariadenia sa potom prostredníctvom senzorov prepoja so svojim digitálnym dvojčatom, takže dvojča obsahuje všetky prevádzkové informácie na základe ktorých môže byť funkčnosť zariadenia optimalizovaná. Používa sa pre monitorovanie, diagnostiku a prognostiku napríklad u leteckých motorov, turbín elektrární alebo výrobných zariadení. [10]

3.3 Programovanie priemyselných robotov

Priemyselné roboty je možné programovať rôznymi spôsobmi. V súčasnosti je najpoužívanejšou metóda on-line, kedy obsluha programuje robot priamo na pracovisku za pomoci ručného ovládacieho panelu (teach pendants). Ďalším možným spôsobom je programovanie v režime off-line. Táto metóda je založená na softwarovom systéme, ktorý umožňuje 3D virtuálnu simuláciu konkrétneho robotického pracoviska. [8]

Tab 1) Programovacie jazyky podľa výrobcov robotov [11]

Výrobca	Programovací jazyk
ABB	RAPID
KUKA	KRL
FANUC	Fanuc Robotics
MITSUBISHI	MELFA
YASKAWA	Inform

3.3.1 On-line programovanie

Prebieha priamo na pracovisku, kedy programátor manipuluje s reálnym robotom ručne, alebo pomocou prenosných zariadení.

Existujú dva spôsoby on-line programovania a to [12]:

- Pomocou teach pendants (jednotky ručného riadenia) – podľa British Automation and Robot Association je takýmto spôsobom programovaných okolo 90% robotov. Je to zariadenie pripomínajúce tablet, ktoré ovláda všetky dostupné funkcie robotu a pohyby jednotlivých kĺbov. Prostredníctvom pendantsu je možné zakladať programy, pohybovať sa priestorom a ukladať do programu jednotlivé body, konfigurácie a ovládacie signály. Teach pendant je napojený ku kontroléru robotu a dodáva sa skoro s každým robotom,
- Manuálna manipulácia s robotom – tento spôsob je o niečo intuitívnejší na rozdiel od teach pendantsu. Robotom je pohybované uchopením ramena alebo joystickom. Obdobne ako pri programovaní teach pendantsom aj tu programátor ukladá do programu jednotlivé body. Týmto spôsobom nie je možné zadávať presné súradnice, precízne navedenie do bodov je tak o niečo zložitejšie avšak na druhú stranu je to metóda rýchlejšia.



a) Pomocou teach pendantsu



b) Manipulácia s robotom

Obr. 6) Spôsoby on-line programovania [12]

Medzi výhody on-line programovania možno zaradiť [12]:

- Prebieha priamo na pracovisku – programátor má prehľad o skutočnom stave pracoviska, o rozmiestnení komponentov a pozícii prekážok,
- Testovanie programu v priebehu programovania – práca na reálnom robote umožňuje hneď vyskúšať funkčnosť a efektivitu programu.

Medzi nevýhody on-line programovania možno zaradiť [12]:

- Straty vo výrobe – v priebehu programovania je robot v stave nečinnosti, čo vedie k zníženiu produkcie preto je potrebné dobu programovania čo najviac skrátiť,
- Náročnosť programovania – programovanie môže byť v prípade zložitých pohybov a dlhých pracovných cyklov fyzicky náročné.

3.3.2 Off-line programovanie

U tejto metódy sa nepracuje priamo na pracovisku, ale je využité virtuálne 3D prostredie pre simuláciu robotických operácií. Pre tento druh programovania je teda potrebné mať modely robotu, koncového efektoru a pracoviska s tým, že ich umiestnenie v priestore by malo byť čo najpresnejšie, ako v realite. Výsledkom je animácia robotu vykonávajúceho naprogramované operácie, vďaka čomu je možné overiť funkčnosť logiky programu, kolízie či samotný dosah robotu. [13]

Asi najpodstatnejšiu úlohu zohráva softvérové rozhranie, ktoré tento typ programovania umožňuje. Takýto softvér by mal obsahovať napríklad modely robotov spolu s ich vlastnosťami alebo rozhranie pre ovládanie. Najväčší výrobcovia robotov ponúkajú vlastný simulačný softvér, príklady sú uvedené v tab. 2. Existujú aj softvéry, cez ktoré je možné obecné programovať robotov od väčšieho počtu výrobcov a obsahujú knihovne už s týmito robotmi, jedná sa napríklad o softvér RoboDK. [13]

Tab 2) Softvér pre off-line programovanie podľa výrobcov robotov [14] [15] [16]

Výrobca	Programovací softvér
ABB	RobotStudio
KUKA	KUKA.Sim
FANUC	Roboguide
MITSUBISHI	MELFA-Works
YASKAWA	MotoSim

Medzi výhody off-line programovania možno zaradiť [13]:

- Minimalizácia strát vo výrobe – nie je potrebné prerušiť prevádzku robotu,
- Relatívna jednoduchosť – intuitívna a jednoduchá práca v simulačnom softvéri,
- Testovanie niekoľkých variant programu – časovo výhodnejšie vykonávať v simulačnom softvéri.

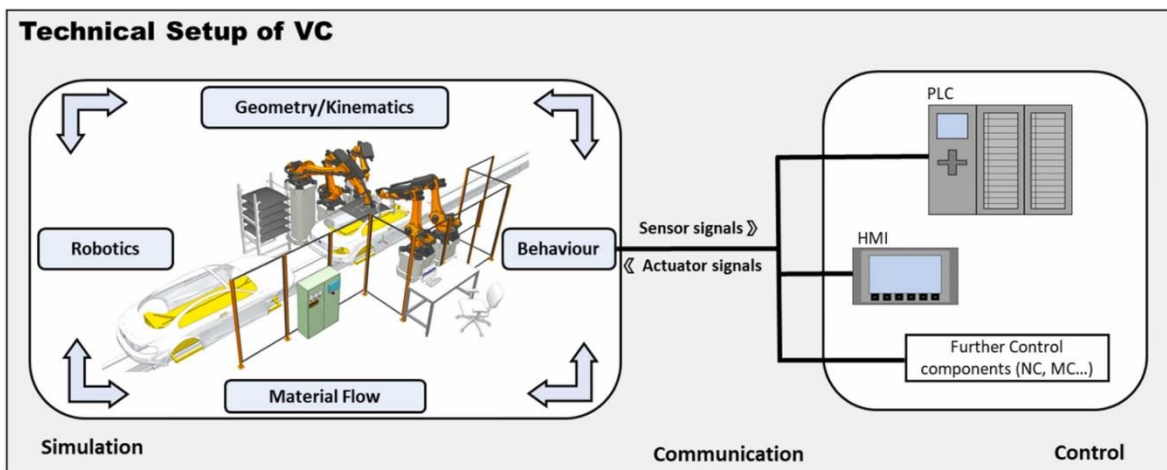
Medzi nevýhody off-line programovania možno zaradiť [13]:

- Presnosť 3D modelov – modely a ich pozícia v priestore nemusia zodpovedať realite, čo je nutné potom doladiť na pracovisku,
- Potreba dodatočného testovania programu – simulácia nemusí odhaliť všetky problémy a kolízne stavy, napríklad káblových zväzkov, ktoré nie sú súčasťou simulácie.

3.4 Virtuálne sprevádzkovanie a použitý softvér

Virtuálne sprevádzkovanie digitálneho dvojčaťa strojného zariadenia znamená počítačovo simulovať chovanie jeho 3D modelu, pričom jeho vlastnosti, kinematika, PLC program a komunikácia s riadiacim systémom sú úplne totožné s reálnym strojom. Pri inštalácii nových prvkov do výrobných systémov je čas veľmi drahý, pretože často dochádza k výpadkom v produkcii v dôsledku odstávky stroja. Avšak pomocou virtuálneho sprevádzkovania je možné otestovať naprogramovaný riadiaci systém, ovládacie obrazovky či výrobnú linku dopredu a bez akýchkoľvek výpadkov produkcie a rizík možného poškodenia stávajúceho zariadenia vyskúšať. [17]

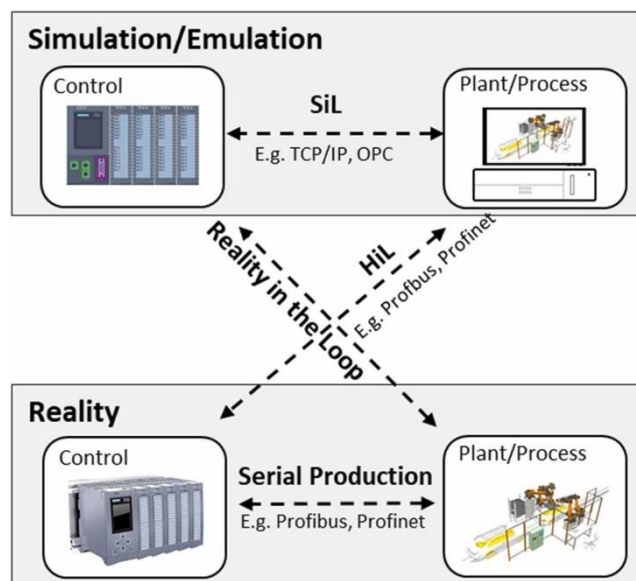
Virtuálne sprevádzkovanie spolu s integrovaným vývojom mechaniky, elektroniky a automatizácie ako celku slúžia ako podstatný nástroj pri realizácii strojov v najkratšej možnej dobe. Fázu uvedenia stroja do prevádzky je možné podstatne skrátiť za pomoci prepojenia virtuálneho modelu stroja s reálnym fyzickým systémom. Potenciál urýchlenia sprevádzkovania výrobného systému či stroja s využitím virtuálneho sprevádzkovania sa pohybuje okolo 70%. [18]



Obr. 7) Štruktúra virtuálneho sprevádzkovania [19]

Spôsobu konfigurácie virtuálneho sprevádzkovania [19]:

- **Model in the loop** – prvý krok prototypových riadiacich algoritmov, ktoré ešte neboli implementované v programovacom jazyku PLC. Programovanie sa vykonáva v modelovom jazyku (napr. MATLAB/Simulink),
- **Software in the Loop (SiL)** – predstavuje simuláciu, kedy je riadiaci program implementovaný v bežnom programovom jazyku PLC a načítaný do emulovaného riadenia (PLC beží virtuálne). Výmena signálov medzi simulačným nástrojom a riadením prebieha cez virtuálnu komunikačnú perifériu (napr. OPC, TCP/IP, zdieľaná pamäť),
- **Hardware in the Loop (HiL)** – je pokročilejšia úroveň testovania, kedy sa riadiaci kód načíta priamo do reálneho hardvéru, ktorý je potom pripojený k simulovanému zariadeniu v simulačnom programe cez reálnu komunikačnú perifériu (napr. Profibus, Profinet, EtherCAT),
- **Reality-in-the-Loop** – predstavuje prepojenie reálneho systému s virtuálnym kontrolným systémom. Cieľom je monitorovať, analyzovať a vyhodnocovať proces tak, aby sa predišlo poškodeniu a redukovali sa straty.



Obr. 8) Konfigurácia virtuálneho sprevádzkovania [19]

Pri virtuálnom sprevádzkovaní sa využívajú viaceré nástroje, ktoré zabezpečujú vizualizáciu, logiku procesu, kinematiku či nástroje pre prepojenie a prenos signálov medzi jednotlivými programami.

3.4.1 Softvér pre simuláciu

Simulačný softvér slúži predovšetkým pre vizualizáciu daného procesu a sprostredkovanie signálov. Pracuje sa v ňom priamo s 3D modelmi zariadení, súčiastok či robotov, ktoré sa rozmiestňujú v prostredí ktoré daný simulačný prostriedok ponúka. Modelom, ktoré vykonávajú pohyby sa v tomto prostredí definuje ich kinematika. Využíva sa programov, ktoré umožňujú aj off-line programovanie robotov. Vizualizácia virtuálneho zariadenia zvyšuje dôveru používateľa vo výsledky simulácie, pretože je možné priamo sledovať priebeh procesu, nadväznosť operácií či prípadne odsledovať možné kolízie alebo bezpečnostné nedostatky. Taktiež je možné experimentovať a vziať do úvahy rôzne scenáre, ktoré by mohli nastať a sledovať reakciu systému. [19]

Vybraný simulačný softvér od výrobcov robotov:

- **RobotStudio**

Prostredníctvom RobotStudia od výrobcu ABB je možné naprogramovať a nasimulovať presnú kópiu robotického pracoviska. Disponuje technológiou virtuálneho kontroléru, ktorý zabezpečuje, že pohyby robotov vo virtuálnom prostredí budú presne zodpovedať tým v realite. [20]

- **KUKA.Sim**

Softvér KUKA.Sim od výrobcu KUKA umožňuje off-line programovanie robotov, ktoré je spojené s celým virtuálnym uvedením do prevádzky. Pokrýva celý proces plánovania, od návrhu procesu cez materiálové toky až po PLC kód. [21]

- **Roboguide**
FANUC ROBOGUIDE je simulátor výrobných buniek, má implementované vyhodnocovanie doby cyklov pomocou interného virtuálneho ovládača. Modifikované šablóny softvéru umožňujú zjednodušené nastavovanie polohovadiel, prídavných osí či skupín zariadení. [22]
- **MELFA-Works**
Je doplnkový nástroj pre SolidWorks, ktorý možno použiť na simuláciu priemyselných robotov Mitsubishi ale aj na simuláciu výrobných systémov. Pre úpravy programov a zmeny parametrov sa využíva RT Toolbox 3. [15]
- **Motosim**
Je simulačné prostredie of firmy Yaskawa. Prostredníctvom off-line programovania, 3D simulácie a virtuálneho riadenia robotov umožňuje odsimulovať celé robotické bunky. Ponúka taktiež zobrazovanie pendantu, ktorý je totožný s reálnym používateľským rozhraním. [16]
- **Process Simulate**
Softvér od výrobcu Siemens, ktorý slúži ako nástroj pre plánovanie, zostavenie a sprevádzkovanie pracovísk. Je možné doň nahrat' robotov od rôznych výrobcov, vytvárať zariadenia ako dopravníky alebo senzory a k nim pripojiť signály či funkčné bloky. Signály je možné ďalej prepojiť s PLC, na ktorom beží skutočný kód a to prostredníctvom Siemens TIA Portal a PLCSIM Advanced alebo softvéru OPC UA a skutočných programov robotu. [23]

3.4.2 PLC a softvér pre programovanie

V dnešnej dobe pomerne malý počítač v prevedení pre použitie v priemysle. Je riadený mikroprocesorom s vlastným operačným systémom, ktorý je vyhotovený tak, aby riešil úlohy v real-time režime. PLC komunikuje z okolím pomocou vstupných a výstupných periférií (karty vstupov/výstupov), na ktoré sú privádzané resp. odosielané signály. Signály môžu byť binárne (0 alebo 1) alebo analógové. Na kartu vstupov sa najčastejšie privádzajú signály zo senzorov a na kartu výstupov sú odosielané signály pre ovládanie akčných členov napríklad meničov motorov či ventilových ostrovov. Spracovanie vstupných signálov podľa vytvoreného algoritmu (programu) zabezpečuje riadiaca logika (CPU), ktorá potom upravuje výstupy na požadovaný stav. [24]

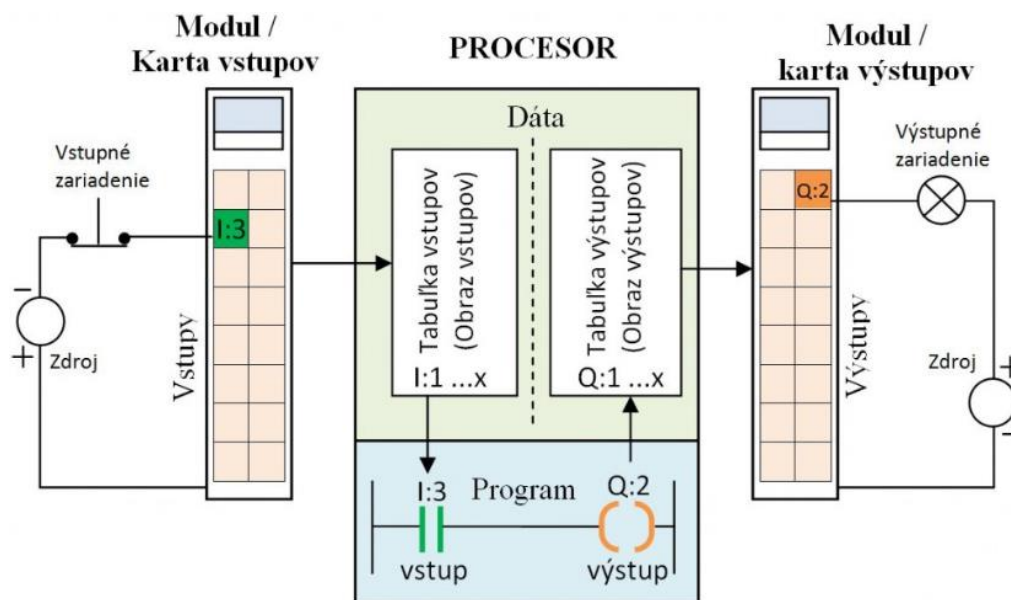
Okrem bežných periférií sa využívajú aj rozhrania pre komunikáciu s obsluhou, prípadne s programátorom (HMI) či periférie slúžiace pre pripojenie PLC k sieti, aby mohlo prípadne komunikovať s ďalšími PLC. [24]

Programovanie PLC sa vykonáva prostredníctvom štandardizovaných jazykov definovaných v IEC 61131 – 3. Dôvodom pre štandardizáciu bolo zjednotenie programovacích jazykov kvôli prehľadnosti a zvýšeniu efektivity. [26]

Medzi programovacie jazyky PLC patria [26]:

- Instruction List (IL) – postupnosť inštrukcií, programovací jazyk nižšej úrovne, ktorý je veľmi podobný assembleru. Jazyk je vhodný pre menšie projekty,
- Structured text (ST) – štruktúrovaný text, programovací jazyk vyššej úrovne, je možné ho prirovnať k programovacím jazykom C či Pascal,
- Ladder Diagrams (LD) – jazyk kontaktných (reléových) schém, je možné ho prirovnať k tvorbe elektrických reléových schém. Patrí medzi grafické spôsoby programovania a z dôvodu jednoduchosti sa radí medzi tie najpoužívanejšie,

- Function Block Diagram (FBD) – jazyk funkčných blokov, grafický spôsob programovania, pre programovanie sa využívajú funkčné bloky na ktoré sa pripájajú vstupy a výstupy,
- Sequential Function Chart (SFC) – aj tento jazyk je možno považovať za grafický spôsob programovania, v súčasnosti s obľubou využívaný pre vytváranie sekvenčných programov (sled po sebe nasledujúcich udalostí).



Obr. 9) Základná schéma PLC [25]

Softvér pre programovanie PLC:

- **TIA Portal**
 Je to softvérový balík, vyvinutý spoločnosťou Siemens a jeho cieľom je integrácia viacerých vývojových nástrojov pre automatizačné zariadenia. Vývojové prostredie je zodpovedné za programovanie a konfiguráciu PLC, HMI a frekvenčných meničov Siemens. Umožňuje programovať viacerými jazykmi, podporuje komunikačné protokoly Profibus, Profinet a AS-I (Actuator Sensor Interface). Samotné programovanie je založené na architektúre rozdelenej do blokov OB (Organization Blocks), FC (Functions), FB (Function Blocks) a DB (Data Blocks). [27]
- **TwinCAT 3**
 Tento automatizačný softvér od firmy Beckhoff integruje real-time riadenie s funkciami PLC, NC a CNC v jednom balíku. Riadiace jednotky sa programujú za pomoci TwinCAT Engineering (XAE) podľa programových štandardov IEC 61131-3. Kód potom beží v prostredí TwinCAT Runtime (XAR), čo je multitaskingový operačný systém a beží paralelne na hostiteľskom operačnom systéme. [28]
- **GX Developer**
 Softvér od výrobcu Mitsubishi, podporuje všetky automaty MELSEC. Vyznačuje sa používateľsky prívetivým rozhraním a jednoduchou štruktúrou. Podporuje jazyky ako IL, LD či SFC. [29]

3.4.3 Softvér pre vzájomnú komunikáciu programov

Tento druh softvéru slúži pre prepojenie jednotlivých programov. Toto prepojenie pozostáva primárne zo sprostredkovania jednotlivých signálov, či už medzi PLC a simulačným prostredím alebo medzi jednotlivými simulačnými prostrediami.

Softvér pre vzájomnú komunikáciu:

- **PLCSIM Advanced**

Program od firmy Siemens, ktorý slúži ako náhrada za hardvér. Je možné ho využívať pre simuláciu chovania PLC z rady S7-1500, kedy sa v tomto programe simuluje run-time PLC. Využíva sa pre testovanie v TIA Portal, napríklad so sledovanými hodnotami, s web serverom, komunikáciou OPC UA, simulovaným HMI a pod. Môže simulovať aj run-time programu Process Simulate, v stave keď je nastavený na beh z externého PLC. [30]

- **SIMIT**

Je platforma zaisťujúca všetky dôležité komunikačné prepojenia medzi automatizačným a simulačným prostredím. V prípade konfigurácie HiL sa program nahráva priamo do skutočného automatizačného systému, kedy následne za pomoci jednotky SIMIT Unit môžeme tento hardvér prepojiť so simulačným prostredím pomocou protokolu Profinet alebo Profibus. Systém však funguje aj bez reálnych hardvérových komponentov, kedy v rámci konfigurácie SiL je možné program nahráť do emulačného systému akým je napríklad PLCSIM Advanced. [31]

- **VRC server**

Virtual Robot Controller server je program, ktorý slúži pre prepojenie programu Process simulate s ďalšími simulačnými prostrediami ako napríklad RobotStudio od ABB. Využíva sa z dôvodu, keď je potrebné dosiahnuť presnú dynamiku pohybov robotu pri simulácii v Process simulate. Slúži pre prenos pohybov robotov a sprostredkovanie signálov.

3.5 Strojové videnie

Strojové videnie, alebo aj priemyselný kamerový systém, ktorého cieľom je zdigitalizovať skúmaný objekt na obrázok a podrobiť ho analýze. Výsledkom takejto analýzy môže byť napríklad informácia o kvalite produktu, zistenie chybných výrobkov či určenie polohy objektu pre jeho následné uchopenie priemyselným robotom a pod. Priemyselné kamerové systémy sú rýchle, presné, robustné s dobrou opakovateľnosťou. Používajú sa napríklad pre kontrolu súčiastok na dopravníkovom páse, ktorá môže byť vykonávaná rádovo v milisekundách, čo predstavuje výrazné zrýchlenie kontroly kvality a zvýšenie kvality. [32]

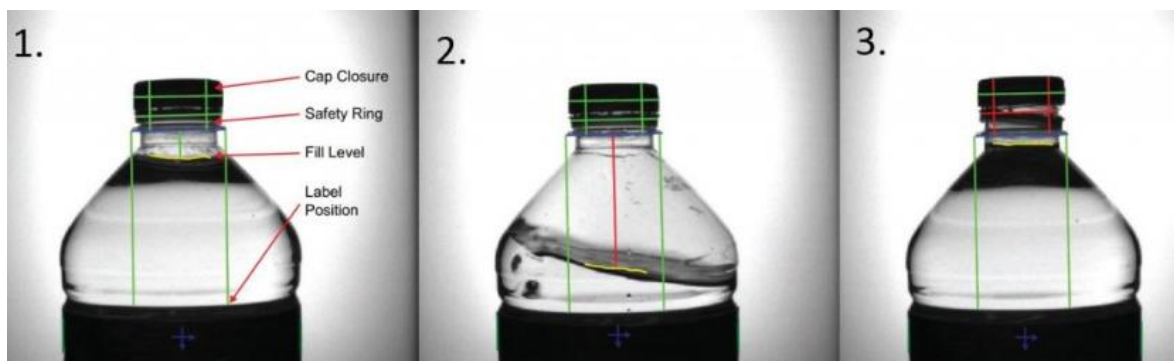
Strojové videnie sa skladá z niekoľkých funkčných celkov ktorými sú kamerový systém (snímač obrazu, objektív), osvetlenie, jednotka na spracovanie dát či komunikačný modul. [33]

Objektív – slúži pre zachytenie obrazu, ktorý je následne prenesený do snímača obrazu. Na kvalite objektívu záleží kvalita a rozlíšenie samotného snímaného objektu, pričom kvalitnejšie objektívy sú spravidla vo vyššej cenovej kategórii. [33]

Snímač obrazu – je čip, ktorý transformuje svetelné signály na elektrické. Slúži na premenu obrazu do digitálnej podoby – fotky zloženej z pixelov (čím viac pixelov tým je záber detailnejší). [33]

Centrálna vyhodnocovacia jednotka – jedná sa o časť, ktorá sa zaoberá spracovaním a vyhodnotením digitálneho obrazu prijatého zo snímača obrazu. Proces vyhodnocovania môže byť vykonávaný priamo v kamerovom systéme alebo externe v počítači. [33]

Komunikácia – kamerové systémy sú schopné komunikovať s externými zariadeniami za účelom výmeny dát (PLC, robot, atď.). Najjednoduchšia je komunikácia prostredníctvom digitálnych vstupov a výstupov, avšak pri väčšom množstve dát je s výhodou možné použiť komunikačné siete a protokoly (RS 232, Ethernet TCP/IP, Profinet, atď.). [33]



Obr. 10) Príklad kontroly fľaše s vodou [32]

Popis obr. 10 [32]:

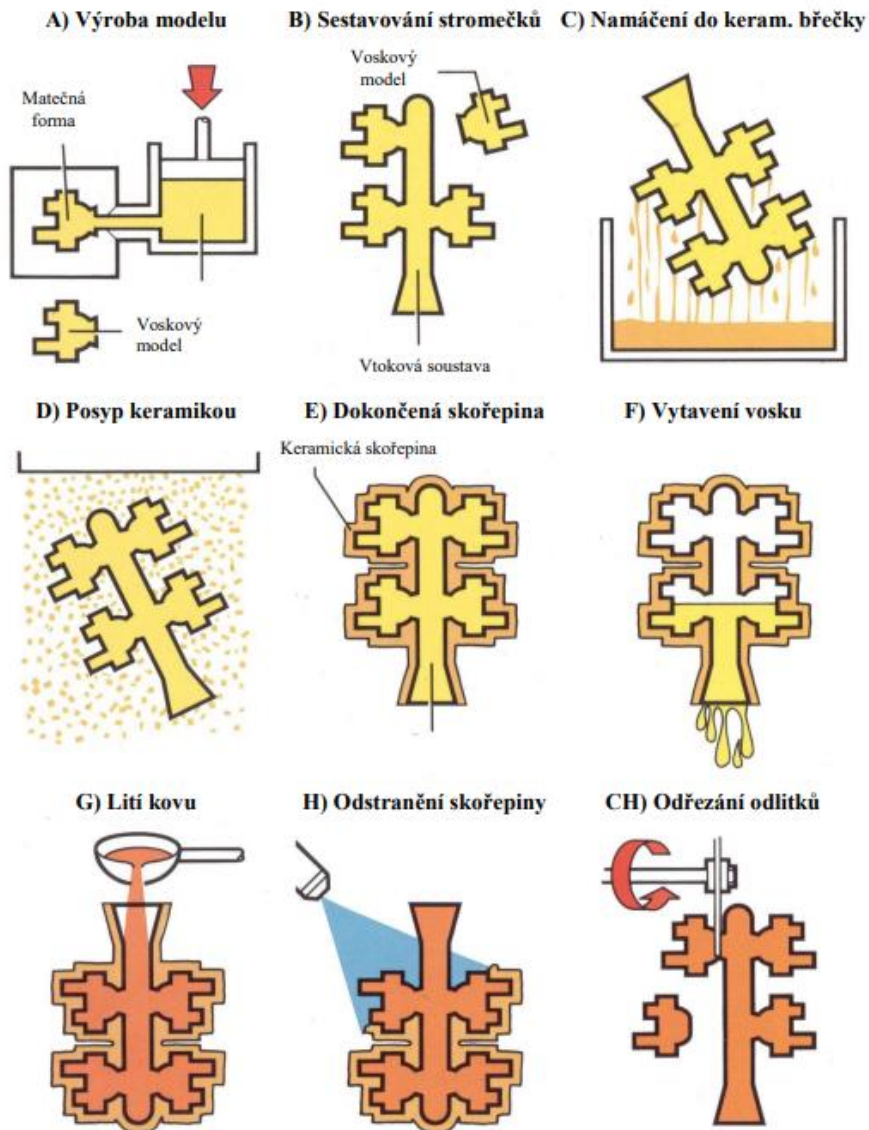
1. Kontrola úspešná,
2. Kontrola neúspešná – detekcia nesprávnej hladiny kvapaliny vo fľaši,
3. Kontrola neúspešná – detekcia nesprávne uzavretej fľaše.

3.6 Odlievania metódou vytaviteľného modelu

Existuje celá škála metód odlievania odliatkov. Voľba toho najvhodnejšieho spôsobu pre daný druh odliatku závisí od druhu zliatiny, požadovaného stupňa presnosti, minimálnej hrúbky steny, požadovaných mechanických vlastností, veľkosti a hmotnosti odliatku, počtu vyrábaných kusov ale aj dostupnosti príslušného procesu. Presnosť jednotlivých rozmerov, ale aj kvalita povrchu a celkový vzhľad sú dané stupňom presnosti. Ako hlavné kritérium pre výber najvhodnejšej metódy odlievania je väčšinou cena. [34]

Odlievania metódou vytaviteľného modelu (Investment Casting) sa vo všeobecnosti používa pre výrobu komponentov zložitého tvaru, ktoré vyžadujú zvýšené tolerancie, tenšie steny a vyššiu kvalitu povrchu než akú je možné dosiahnuť odlievaním do pieskových foriem. Charakteristickým znakom tohto typu odlievania je spôsob výroby foriem, kedy sa vstrekaním do foriem vytvoria voskové modely – obr. 11/A), následne sa s ďalšími modelmi pripája k vtokovej sústave ktorá je taktiež z vosku – obr. 11/B). Takto vytvorený voskový strom sa potom postupne obaluje keramikou hmotou. Pre dosiahnutie optimálnej hrúbky formy sa strieda namáčanie do keramickej brečky (spojivo) a posýpanie keramikou práškom (ostrivo) – obr. 11/C, D, E). Po tomto nasleduje ohrev formy v špeciálnej peci, kde vosk vytečie von a forma sa vyžihá obr. 11/F). Forma sa následne predhreje v peci a odlieva sa do nej roztavený kov obr. 11/G). Na koniec nasledujú dokončovacie operácie, ako odstránenie škrupiny z odliatku obr. 11/H) a odrezanie jednotlivých kusov obr. 11/CH). [35] [36]

Voskové modely je možné vyrábět taktiež metódou rapid prototyping, kedy sa pomocou 3D tlačiarne a voskového filamentu vytvoria modely. Je to spôsob vhodný pre menšie série odlievok, pričom sa primárne šetrí náklady na výrobu formy pre vstrekovanie vosku.



Obr. 11) Postup odlievania metódou vytaviteľného modelu [35]

4 SYSTÉMOVÝ ROZBOR RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

V tejto kapitole je na riešený problém nahliadané z komplexného hľadiska vo vnútorných aj vonkajších súvislostiach. Hlavnou úlohou je skúmanie, analýza a konštruovanie zložito organizovaných objektov či systémov. Predmet skúmania aj samotný proces skúmania sú definované ako systémy so zameraním na vnútorné i vonkajšie väzby. Na základe vzťahov medzi systémami sa v závislosti od rozlišovacej úrovne rozdeľuje systém na jednotlivé časti pri ktorých skúmaní sa vychádza zo systému ako takého vrátane jeho cieľov. [37]

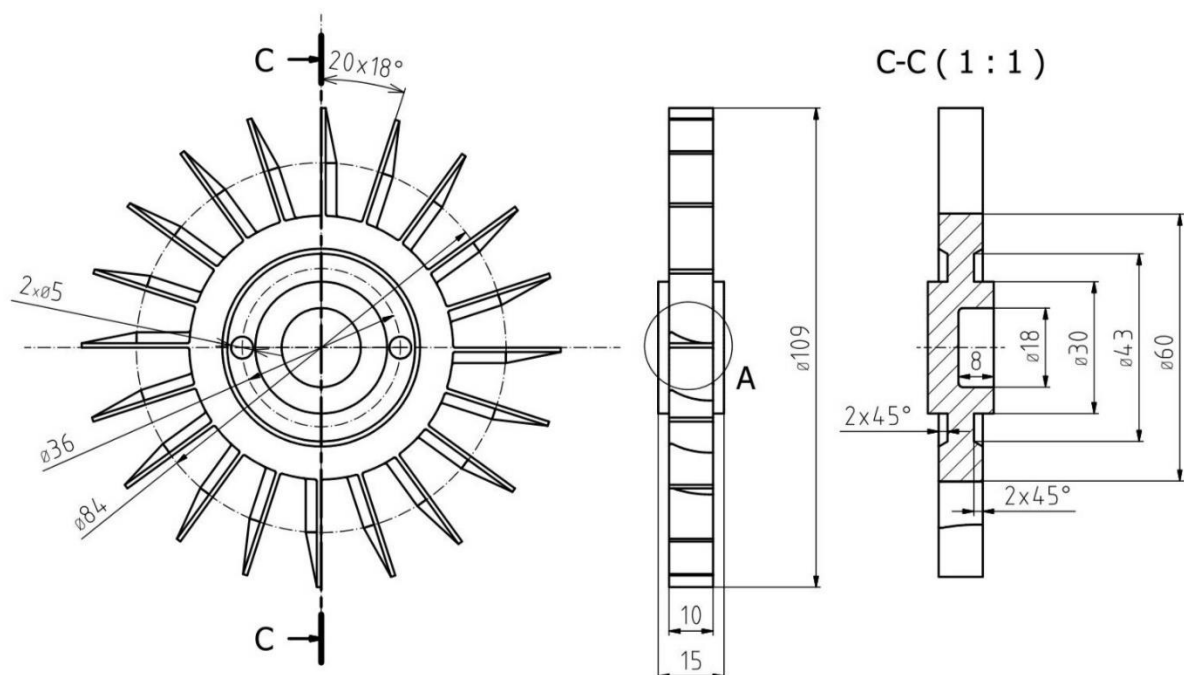
Účelom tejto práce je navrhnuť robotické pracovisko, ktoré bude slúžiť pre automatizované odstraňovanie škrupín z odliatkov pre technológiu odlievania do vytaviteľného modelu (Investment Casting). Ako vstup do pracoviska bude na dopravníku prichádzať paleta s neočistenými odliatkami a výstupom bude paleta s očistenými odliatkami. Proces bude zahajovať pracovník prostredníctvom používateľského rozhrania.

4.1 Rozbor zadaných súčiastok

Sú zadané dva typy odliatkov, ktoré budú v danom pracovisku podrobené procesu čistenia od keramickej škrupiny. Jedná sa o odliatky buď zložitejšieho tvaru, alebo so zvýšenými požiadavkami na presnosť a kvalitu povrchu. Zvolená metóda umožňuje dosiahnutie týchto kvalitatívnych požiadaviek, čím sa súčasne redukuje množstvo dokončovacích operácií, či už rezania, brúsenia alebo obrábania.

Odlievanie metódou vytaviteľného modelu sa volí pri menších výrobných sériách, maximálne desiatky tisíc kusov. Toto číslo však do veľkej miery závisí na komplexnosti, rozmeroch a váhe daného odliatku či vybavenosti konkrétnej zlievarne. U väčších množstiev sa volí odlievanie do trvalých foriem, kde sa do nich z hľadiska návratnosti oplatí investovať. [38]

4.1.1 Súčiastka č. 1 – Odliatok obežného kola čerpadla



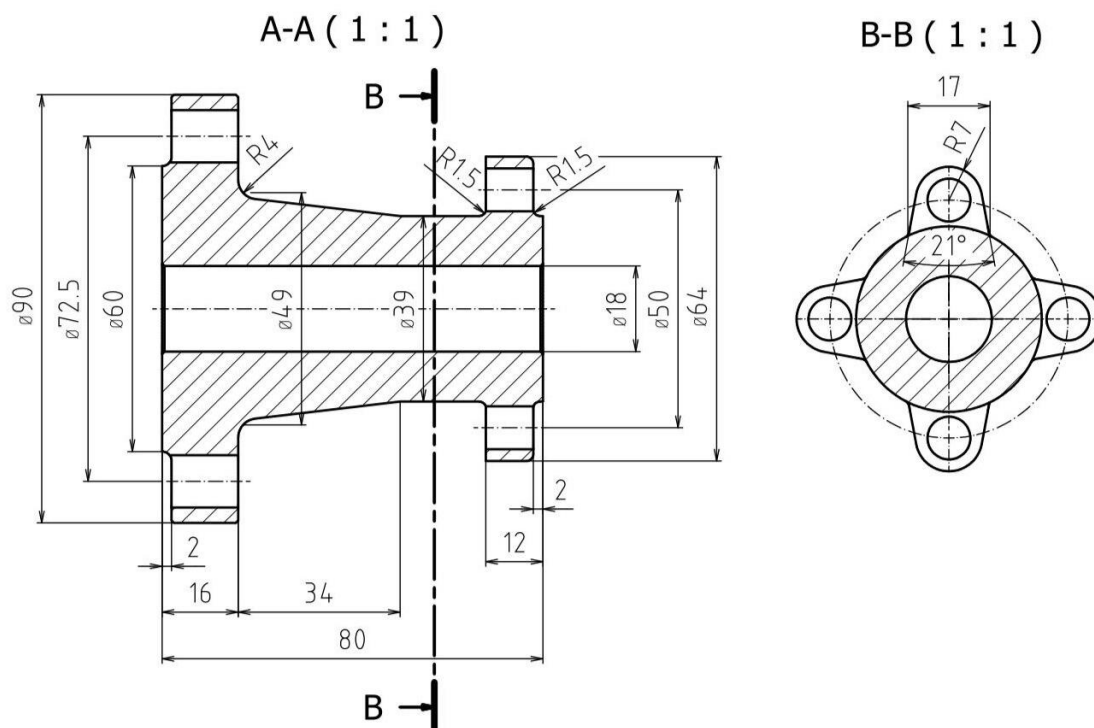
Obr. 12) Výkres odliatku obežného kola

Na obr. 12 je výkres odliatku obežného kola čerpadla a podľa tohto výkresu je zhotovený voskový model. Model obsahuje technologické prídavky, ktoré sú potrebné či už pre odlievanie alebo následné dokončovacie operácie. Lopatky kola a diery pre demontáž budú vďaka vyššej dosahovanej kvalite tohto typu odlievania zhotovené do finálnej podoby.

Parametre súčiastky a jej spracovania:

- Materiál: liatina EN-GJS-600-3,
- Hmotnosť: 0,25 kg,
- Opracovanie povrchu: tryskanie abrazívom,
- Potrebný takt pracoviska: 40 s (90 ks/hod).

4.1.2 Súčiastka č. 2 – Odliatok redukčnej príruby



Obr. 13) Výkres odliatku redukčnej príruby

Príruba bude z veľkej časti odliata do finálnej podoby, až na čelné dotykové plochy tesnení, na ktorých je požadovaná vyššia rozmerová presnosť a kvalita povrchu.

Parametre súčiastky a jej spracovania:

- Materiál: liatina EN-GJS-500-7,
- Hmotnosť: 1,25 kg,
- Opracovanie povrchu: tryskanie abrazívom,
- Potrebný takt pracoviska: 35 s (102 ks/hod).

Na kvalitu hotového odliatku do veľkej miery vplýva akosť voskového modelu. Tieto sa zhotovujú rôznymi spôsobmi, napríklad gravitačným odievaním, odstreknutím za zvýšeného tlaku alebo u menších sérií s využitím metód rapid prototypingu. [35]

4.2 Voskový model a keramická škrupina

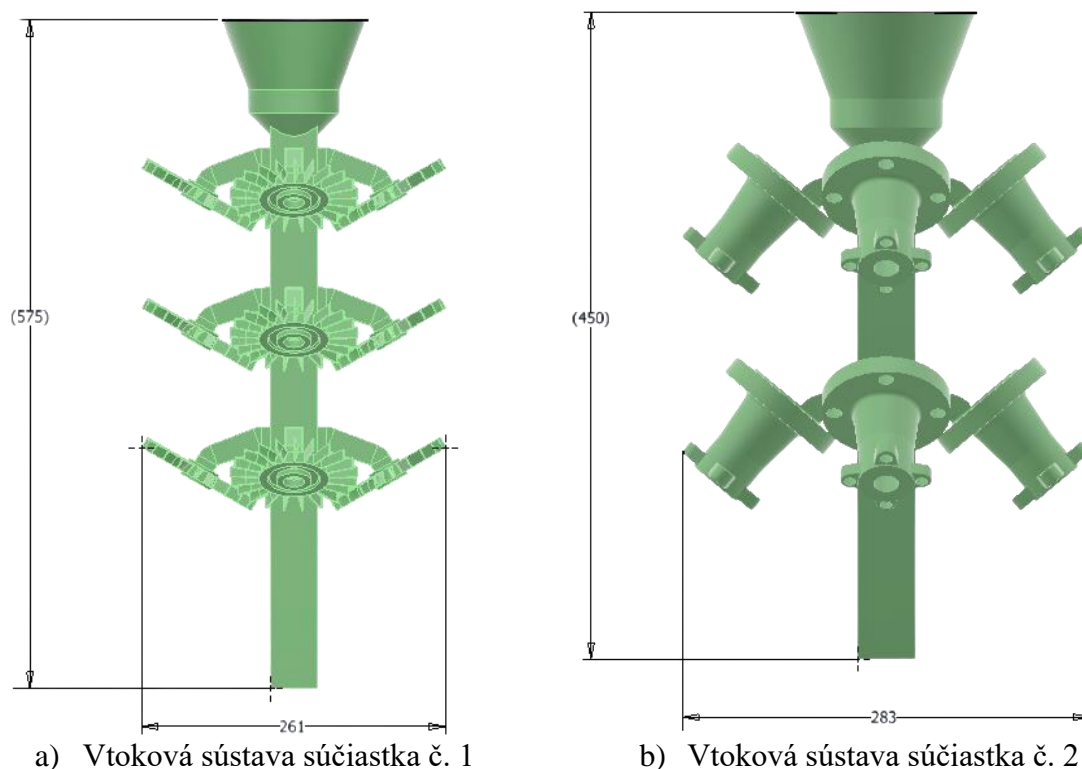
Voskový model má podobu samotného očisteného odliatku. Rozmery sa mierne odlišujú, čo je spôsobené samotným teplotným namáhaním formy a odliatku ale prevažne procesom tuhnutia kedy sa kov zmršťuje.

Tab 3) Porovnanie rozmerovej presnosti u odlievania [39]

Rozmer	Odlievanie do trvalých foriem	Odlievanie do pieskových foriem	Odlievanie metódou vytaviteľného modelu
Do 25 mm	± 0,050 mm	± 2,0 mm	± 0,25 mm
Do 50 mm	± 0,075 mm	± 2,0 mm	± 0,35 mm
Do 70 mm	± 0,100 mm	± 2,0 mm	± 0,40 mm
Do 100 mm	± 0,125 mm	± 3,0 mm	± 0,50 mm

Zostavovanie modelu (stromčeku) prebieha min. 24 hodín po odliatí kvôli stabilizácii. Podstatou tohto procesu je zostavenie modelov odliatkov do tzv. „stromčeku“ a to pomocou lepenia alebo spájkovania. Tvar stromčeku ovplyvňuje spôsob pripojenia modelov, techniku obalovania, vytavovania, čistenia či oddeľovania odliatkov od vtokovej sústavy. [35]

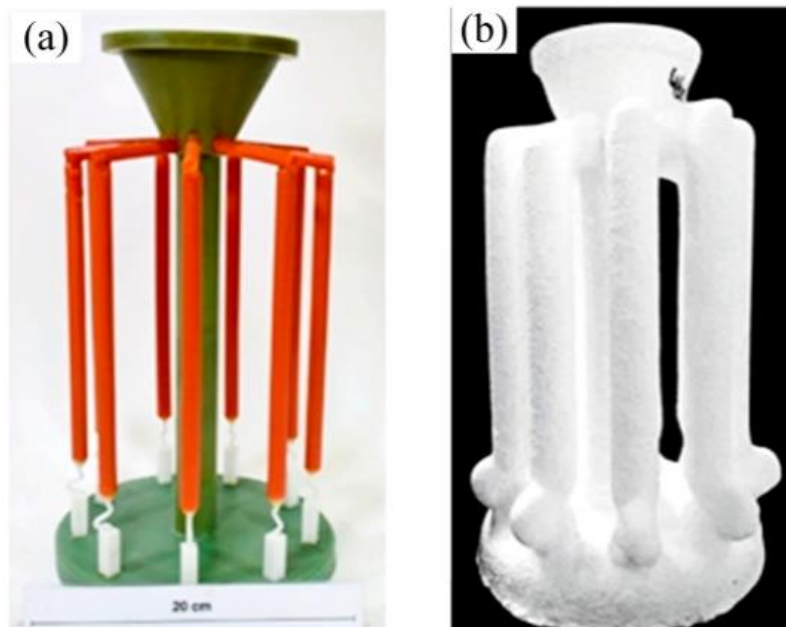
Model vtokovej sústavy (stromčeku) pre súčiastku č. 1 na obr. 14/a) a pre súčiastku č. 2 na obr. 14/b).



Obr. 14) Modely vtokových sústav

Keramická škrupina sa vytvorí postupným namáčaním modelu (stromčeku) do keramickej brečky. Tá sa skladá zo spojiva (alkosoly alebo hydrosoly) a plniva (najčastejšie kremenná múčka). Po ponorení do keramickej brečky, následnom vytiahnutí a okvapkaní nasleduje nanosenie posypového materiálu – ostriva. [35]

Po usušení počiatocnej vrstvy sa tento proces opakuje pre dosiahnutie hrubšej a pevnejšej keramickej steny (materiál sa na seba nabaľuje). Bežne sa hrúbka tejto keramickej vrstvy pohybuje v rozmedzí od 5 do 15 mm. To znamená, že keramická forma s odliatym kovom bude mať rozmery voskového modelu obr. 15/a) zväčšené o hrúbku keramickej vrstvy t. j. približne o 20 mm väčšie rozmery obr. 15/b). [40]



Obr. 15) Porovnanie voskového modelu a keramickej škrupiny [41]

Nakoniec sú formy ponechané približne 16-48 hodín pre vysušenie napríklad na vzduchu, pričom je riadená teplota, vlhkosť a prúdenie vzduchu v okolí. Nasleduje vytavenie vosku zo škrupín v peciach či špeciálnych zariadeniach, žihanie škrupín a samotné odlievanie kovu do škrupín. [40] [35]

4.3 Zvýšenie stupňa automatizácie odstraňovania škrupín z odliatkov

Proces odstraňovania škrupín nasleduje po vychladnutí foriem. Podstatou je očistiť čo najväčšiu plochu odliatku tak, aby bolo možné ďalšie spracovanie. Ďalšími krokmi, ktoré môžu nasledovať po odstránení škrupiny, sú odrezávanie jednotlivých dielcov od vtokovej sústavy, tryskanie povrchu, obrábanie, nanášanie ochranných náterov alebo ďalšie obdobné dokončovacie operácie.

Z obecného hľadiska tento proces predstavuje prácu v prostredí so zvýšeným hlukom, prašnosťou či vlhkosťou v kombinácii s často náročnou manipuláciou odliatkami v dôsledku ich hmotnosti. Cieľom automatizovania tohto procesu je teda eliminovanie pre človeka namáhavej a zdravotne nepriaznivej činnosti v súčinnosti so zvyšovaním produktivity. Pri oboch zadaných súčiastkach, ktoré budú podrobené čistiacemu procesu je taktiež na výkrese uvedené dodatočné čistenie povrchu prostredníctvom tryskania. V tomto smere existuje priestor pre ďalšie zvýšenie stupňa automatizácie a to prostredníctvom integrácie tryskacieho stanovišťa.

4.3.1 Analýza metód používaných pre odstraňovanie škrupín z odliatkov

Existuje viacero spôsobov, ktorými sa odstraňujú škrupiny z odliatkov. Medzi tieto metódy patrí napríklad čistenie za pôsobenia rázov, tryskanie, pieskovanie či ručné čistenie vysokotlakovým vodným lúčom. [42]

V tejto podkapitole bude zhrnutá bližšia analýza čistenia vysokotlakovým vodným lúčom s využitím robota. Táto metóda bola zvolená z dôvodu vysokej účinnosti odstránenia škrupiny, čo je dosahované vďaka pomerne dobrému riadeniu a ovládaniu smeru pôsobenia sily od tlakového lúča. Robot je zvolený z dôvodu automatizovania procesu čistenia a odstránenia manuálnej práce. Na obr. 16 je vyobrazené typické usporiadanie robotickej bunky pre čistenie odliatkov od keramických škrupín, kde je využité vysokotlakové čerpadlo a systém dýz, ktorý je nesený robotom. Pracovisko obsahuje taktiež polohovadlo s otočnými vretenami a upínacími prípravkami.



Obr. 16) Usporiadanie robotickej bunky pre čistenie odliatkov vysokotlakovým vodným lúčom [42]

- | | |
|---------------------------|----------------------|
| 1. Vysokotlaková jednotka | 5. Polohovadlo |
| 2. Odliatok | 6. Robot |
| 3. Upínač | 7. Pracovný priestor |
| 4. Rotačná os | 8. Bunka |

Keramická škrupina sa na začiatku procesu čistenia rozpadá na väčšie kusy a ku koncu sa rozpadá na zrnitý materiál podobný piesku. Pracovný priestor musí zabezpečiť zachytenie tohto rozsahu úlomkov a taktiež použitej kvapaliny. Súčasťou pracovného priestoru môže byť taktiež automatický oplach, ktorý slúži pre lepšie odvedenie odpadového materiálu. Proces trvá približne niekoľko minút, tento čas závisí od veľkosti a zložitosti konkrétneho odliatku. [42]

Pracovisko na obr. 16 ako také predstavuje určitý stupeň automatizácie čistiaceho procesu, avšak stále je tu prítomná manuálna činnosť v podobe zakladania a odoberania očistených odliatkov.

4.3.2 Automatizácia procesu

Pre automatizovanie sa využívajú zariadenia, ktorých vhodnou kombináciou a riadením sa docielia ich vzájomná súčinnosť bez potreby obsluhy. Tieto zariadenia bývajú spravidla ovládané prostredníctvom jedného či viacerých riadiacich systémov. Pri vychádzaní z pracoviska na obr. 16 proces prebieha čiastočne automaticky. Takto usporiadané pracovisko je možné ďalej rozšíriť prostredníctvom manipulačného robota, dopravníkov, senzorov, prípravkov a ďalších zariadení, čím je možné dosiahnuť prakticky bez obslužnej prevádzky.

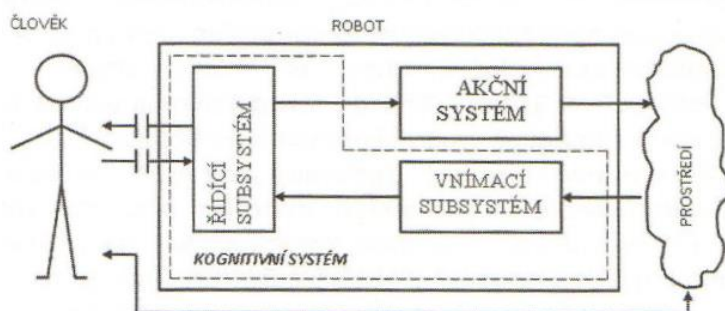
Priemyselné roboty

Priemyselné roboty sú v podstate viacosové univerzálne využiteľné manipulátory s programovateľným spôsobom pohybu. Vybavujú sa koncovými efektormi či rôznymi druhmi technologických hlavíc a môžu realizovať manipulačné či technologické úlohy. Najbežnejšie sú spolu s ich ovládaním riešené ako súprava zahŕňajúca riadiaci systém (kontrolér), programovaciu jednotku pre on-line programovanie (teach pendant), dátové a napájacie prepojenia a samotné telo robota. [43]

V robotickom pracovisku budú využité dva šesťosové priemyselné roboty, z dôvodu ich vysokej flexibility pohybu, veľkému množstvu rôznych variant a dostupnosti. Jeden robot bude umiestnený priamo v bunke pre čistenie vodným lúčom a bude osadený technologickou hlavícou pre riadenie lúča vysokotlakovej kvapaliny. Ďalší robot bude umiestnený v priestore pracoviska a jeho úlohou bude manipulácia s odliatkami.

Z hľadiska systémového pojatia roboty predstavujú integrovaný kybernetický systém, ktorý sa skladá z troch subsystémov [8]:

- Vnemový (senzorický) subsystém – sprostredkúva väzbu s prostredím a obsahuje rôzne zložky podľa fyzikálneho charakteru sledovanej veličiny,
- Riadiaci a rozhodovací subsystém – spracováva informácie uložené v jeho pamäti a informácie prichádzajúce zo senzorického subsystému, podľa čoho ďalej rozhoduje o úkonoch, ktoré bude robot vykonávať,
- Akčný (motorický) subsystém – ovplyvňuje prostredie a v dôsledku pôsobenia naň ho mení. Radí sa do oblasti technickej robotiky a je možné rozlíšiť rôzne zložky tohto systému.



Obr. 17) Systémové pojatie robotov [8]

Proces čistenia vodným lúčom kladie vyššie požiadavky na výber robota v dôsledku nutnosti predpokladať priame pôsobenie vody na jeho rám, vysokú vlhkosť prostredia alebo zvýšenú prašnosť v priestoroch zlievarne. Robot pre proces čistenia bude zaťažovaný tlakovou kvapalinou opúšťajúcou trysku a jeho dosah musí zabezpečovať dostatočný prístup k čistým odliatkom a to z viacerých strán.

Na manipulačný robot sú kladené podobné požiadavky, a to aby odolával prašnosti či pôsobeniu zvýšenej vlhkosti a vody v jeho okolí. Robot bude zaťažovaný od tiažovej sily manipulovaných odliatkov a jeho dosah musí umožňovať odoberanie odliatkov z paliet na dopravníkoch a ich zakladanie do ďalších zariadení.

Koncové efekторы robotov

Koncový efektor je samostatne funkčná a aplikačne špecializovaná časť subsystému robotu, ktorá je mechanicky spojená s koncovým členom mechanizmu robotu. Jeho určením je uchopovanie predmetov manipulácie, kontrolné operácie, prípadne realizácia určitých technológií, ako napríklad čistenia, zvarovania či lepenia. Podľa charakteru efektoru je dané samotné využitie akčného mechanizmu priemyselného robotu. [44] [45]

Koncové efekторы PRaM je možné z konštrukčného hľadiska rozdeliť na [44]:

- Technologické,
- Manipulačné (chápadlá),
- Kombinované,
- Špeciálne.

Priemyselný robot pre proces čistenia bude mať na prírupe umiestnený koncový efektor schopný ovládať tlakový lúč, a to ako jeho spustenie (prostredníctvom ventilu), tak smer udávaný polohou dýzy. Koncový efektor pre manipuláciu s materiálom (odliatkami) slúži k uchopovaniu objektov za účelom zmeny ich polohy. Je nesený na prírupe manipulačného robotu a jeho súčasťou môžu byť akčné členy či senzory.

Prvky, ktoré sú v priamom kontakte s uchopovaným materiálom sa nazývajú „úchopové prvky“ (môžu byť aktívne alebo pasívne). Na rozdiel od aktívnych úchopových prvkov tie pasívne neumožňujú regulovanie úchopovej sily. To znamená, že pasívne hlavice umožňujú len uchopenie objektu a jeho uvoľnenie je potrebné vykonať vonkajším zásahom. Aktívne úchopové hlavice sú vybavené regulovateľnými aktívnymi úchopovými prvkami. [44] [8]

Manipulačný koncový efektor bude vo výsledku vybavený aktívnymi úchopovými prvkami, tak aby bol schopný automatizovane a v krátkom časovom intervale upínať a uvoľňovať manipulované objekty. Úchopové prvky musia taktiež zabezpečovať spoľahlivé upnutie a dostatočnú upínaciu silu. Účinnosť upínacej sily je v niektorých prípadoch možné modifikovať. To je možné napríklad zvýšením koeficientu trenia v mieste dotyku manipulovaného materiálu a úchopových prvkov pomocou pogumovania dotkových plôch.

Dopravníky

Sú dôležitou súčasťou automatizovaných systémov, kde zabezpečujú plynulý pohyb materiálu bez zásahu človeka. Slúžia pre dopravu sypkých hmôt aj jednotlivých dielov a rozdeľujú sa na dopravníky s ťažným prvkom a bez ťažného prvku. Ako ťažný prvok sa rozumie napríklad nekonečný dopravný pás alebo reťaz. [46]

Funkčné prvky mechanického dopravníku [46]:

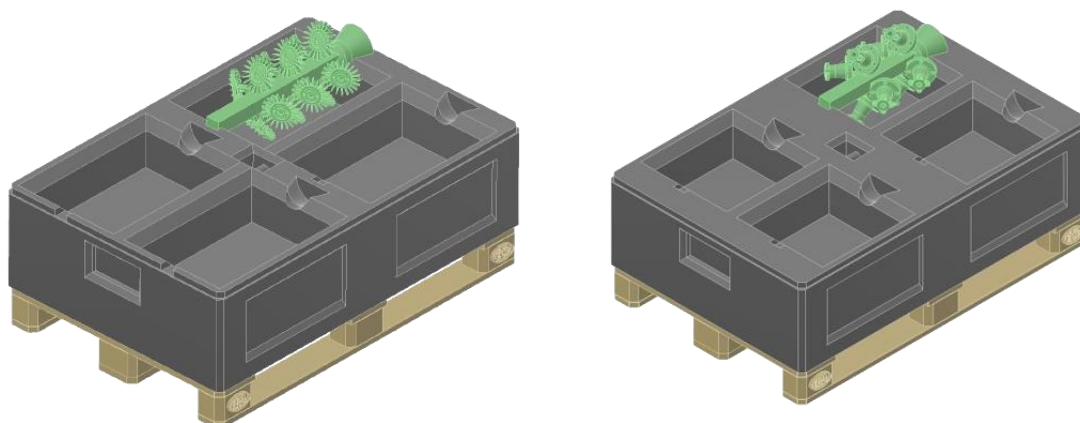
- Pohybový prvok – ktorý je poháňaný hnacím ústrojenstvom, zaistuje pohyb premiestňovanému materiálu,
- Ložný prvok – na ktorom je položený presúvaný materiál,
- Nosný prvok – cez ktorý sa prenáša zaťaženie na rám dopravníku.



Obr. 18) Valčekový dopravník určený pre palety [47]

Valčekové dopravníky slúžia primárne pre dopravu kusového materiálu vyšších hmotností. Pre menšie dopravné vzdialenosti sa využívajú samostatne, avšak pri väčších vzdialenostiach sa zostavujú do väčších dopravných celkov. [48]

V pracovisku budú použité dva valčekové dopravníky a to pre prísun a odsun odliatkov. Odliatky budú umiestnené v prípravkoch, ktoré zabezpečujú ich vzájomnú polohu voči paletе. Palety s odliatkami budú na dopravníku taktiež zarovnané do požadovanej pozície, a to prostredníctvom lišt.



Obr. 19) Prípravky pre polohovanie odliatkov na paletе

Presná pozícia odliatkov je žiaduca z dôvodu použitia manipulačného robotu. Odliatky, ktoré budú v takýchto prípravkoch opúšťať pracovisko je možné s výhodou ďalej automatizovane (manipulátorom, robotom) spracovávať. Napríklad pri odrezávaní jednotlivých kusov od vtokových sústav. Prípravky sú vytvarované tak, aby spoľahlivo sedeli na paletách a na vrchu majú osadenie pre stohovanie ďalších radov.

Použitá bude štandardná Euro paleta s rozmermi 1200 x 800 mm. Hmotnosť 4 kusov odliatkov a 1 prípravku (1 rad) je v prípade súčiastky č. 1 $m_{p1} = 71,2$ kg a pre súčiastku č. 2 $m_{p2} = 89$ kg, prípravky s odliatkami budú stohované v 4 radoch. Minimálna nosnosť Euro palety je 1000 kg a nosnosť väčšiny paletových dopravníkov je rovnako okolo 1000 kg, to znamená, že dané rozloženie je vyhovujúce.

Pre manipuláciu chybnými kusmi je možné použiť pásový dopravník, a to pre predpokladaný nižší počet takýchto chybných kusov. Zároveň odsun týchto dielcov dopravníkom umožní fungovať bez prípadných zásahov do pracovného priestoru, kedy by sa tieto diely vyberali ručne a pracovný proces by sa prerušil. Tieto diely môžu byť umiestnené na dopravníku voľne, pretože sú stabilné a ich ďalšie spracovanie (dočistenie) by sa vykonávalo manuálne.

Polohovadlo

Ako súčasť bunky pre čistenie odliatkov vodným lúčom slúži pre výmenu odliatkov v pracovnom priestore. Polohovadlo by malo zabezpečiť dostatočne presnú pozíciu odliatkov, tak aby bolo možné s nimi manipulovať prostredníctvom robotu. Polohovadlo nesie prídavné rotačné osy, ktoré otáčajú upínačmi. Otáčanie odliatkami je požadované v priebehu čistenia, kedy sa robot s tryskou pohybuje pozdĺž odliatku a otryskáva škrupinu.

Požiadavkou na upínače je, aby boli ovládateľné automaticky (napr. pneumaticky, hydraulicky ovládané skľučovadlo) a poskytovali dostatočnú upínaciu silu. Polohovadlo poskytuje významnú výhodu tým, že pri súčasne prebiehajúcim cykle čistenia umožňuje vykonávať upnutie ďalšieho odliatku.

Pre účely polohovania odliatkom v prostredí, kde pôsobí voda a rôzne nečistoty je žiaduci vyšší stupeň ochrany zariadenia IP. Taktiež je potrebné dbať na tesnosť a aby neprichádzalo k nadmerným únikom kvapaliny do okolia.

Vysokotlaková jednotka

Je jednou z hlavných častí zariadenia pre odstraňovanie škrupiny, slúži ako zdroj vysokotlakovej kvapaliny. Skladá sa z čerpadla, motoru, pripojovacích rozhraní, okruhu nízkotlakovej kvapaliny, regulačných ventilov či elektrickej výbavy. Existuje viacero typov jednotiek, podľa použitého čerpadla.

Typy čerpadiel [49]:

- Čerpadlo s kľukovým hriadeľom – je čerpadlo s priamym pohonom, kvapalina je stlačovaná pomocou piestov. Vyžadujú zložitejší potrubný systém a častejšiu údržbu,
- Radové hydraulické zvyšovacie čerpadlá – využíva sa hydraulický pohon piestov pre stláčanie kvapaliny na požadovaný tlak. Ich účinnosť a stálosť tlaku je v porovnaní s čerpadlom s kľukovým hriadeľom nižšia, avšak vyžadujú menej údržby,
- Paralelné hydraulické zvyšovacie čerpadlá – pracujú na podobnom princípe ako radové, ale s využitím viacerých paralelne sa pohybujúcich piestov sa docieli nižšieho kolísania tlaku.

4.4 Rozšírenie pracoviska o tryskacie stanovište

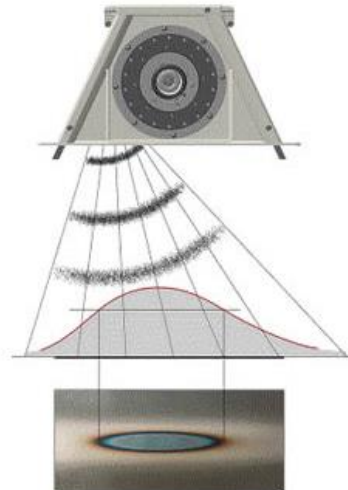
V rámci zvýšenia automatizácie je pracovisko doplnené aj o tryskacie stanovište. Slúži pre abrazívne čistenie povrchov s rôznymi druhmi nečistôt, či za účelom zvýšenia kvality povrchu pred nanášaním náterov, a pod. Tryskacie zariadenie bude obsluhované pomocou manipulačného robotu. Bol vybraný spôsob tryskania metacími kolesami, čo je dnes často používaná technológia v strojárskom či automobilovom priemysle a tam, kde je potrebné zvýšiť účinnosť a rýchlosť tryskania.

4.4.1 Tryskacie zariadenie

Hlavnou časťou zariadenia je metacie koleso, ktoré je poháňané elektromotorom s individuálnym výkonom. Metacie lopatky rotujúce vnútri kolesa rozmetávajú abrazívny materiál pod určitým uhlom na tryskaný povrch odliatku (obr. 20/b)). Proces tryskania prebieha v uzavretej komore, ktorá je vybavená odsávaním a príslušenstvom pre recykláciu abrazíva. Abrazívum do metacích kolies dopadá zhora pôsobením gravitácie a po vymrštení na čistený objekt dopadá do zbernej nádoby, z ktorej je pomocou skrutkového a korčekového dopravníku vyvezené opäť do záchytnej nádoby.



a) Tryskací stroj závesného typu



b) Metacie koleso

Obr. 20) Tryskacie zariadenie a metacie koleso [50] [51]

Súčasťou tryskacích zariadení je aj PLC, ktoré riadi zavážanie materiálu, otáčanie tryskaných objektov či otáčky motorov prostredníctvom frekvenčného meniča (čo sa využije napríklad pri tryskaní dielov náchylných na deformácie). Niektoré tryskače využívajú aj viacero metacích kolies pre väčší záber, tak aby bolo dosiahnutého otryskania čo najväčšej plochy. [50]

Typy tryskacích strojov [50]:

- Priebežný – materiál sa typicky pohybuje po valčekovej dráhe a prechádza tryskacou komorou,
- Bubnový – súčiastky sa nachádzajú v rotačnom bubne a je na nich metané abrazívum,
- Závesný – súčiastky sú buď samostatne alebo ich je viacero zavesených na háku, ten sa potom v pracovnom priestore pohybuje a rotuje pričom sú ostreľované abrazívom,
- Špeciálny – určené pre individuálne potreby používateľov.

Odliatky, ktoré prešli čistením vodným lúčom obsahujú stopové množstvo vody, čo je potrebné zohľadniť pri výbere abrazíva. Existuje množstvo rôznych druhov abrazív, ktoré nepodliehajú korózii či si zachovávajú sypkú podobu aj vplyvom vyššej vlhkosti. Ako príklad takýchto materiálov je možné uviesť hliníkový/nerezový sekaný drôt, duroplast, nerezový granulát, či medený sekaný drôt. Bolo by možné využiť taktiež zariadenie pre vysušenie odliatok pred zavezením do pracovného priestoru tryskača, či prípadne sušiť odliatky aj v pracovnom priestore pred začatím samotného tryskania.

4.4.2 Filtračné zariadenie

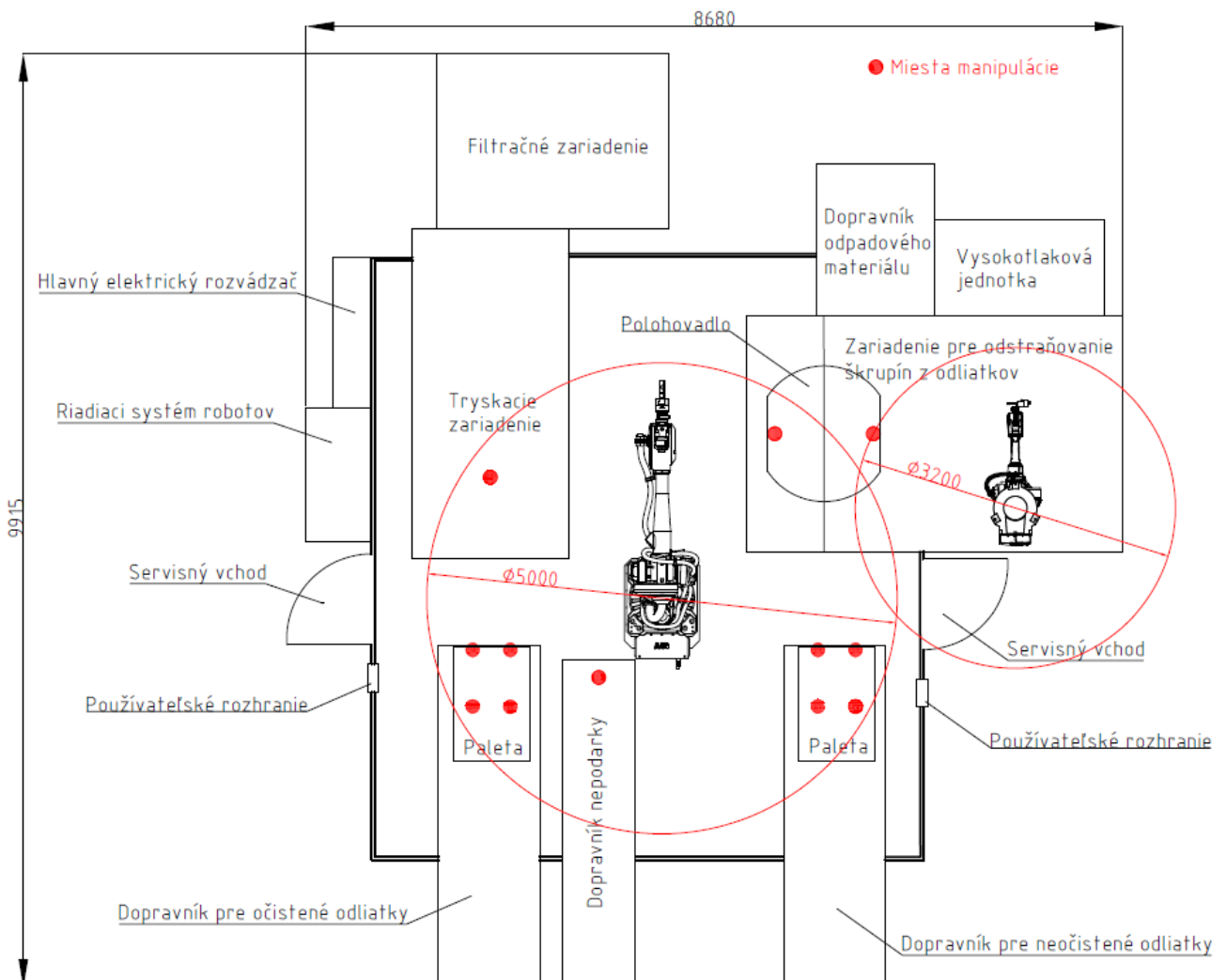
Pri tryskaní sa uvoľňujú prachové častice, ktoré vznikajú či už trieštením použitého abrazíva alebo pri oddeľovaní častíc nečistôt z tryskaného povrchu. Takýto vznikajúci prach je v mnohých prípadoch vysoko nebezpečný pre dýchacie ústrojenstvo človeka a môže viesť až k trvalým následkom. Z tohto dôvodu sa súčasne s tryskacími zariadeniami používajú aj filtračné zariadenia. Tieto zariadenia odsávajú znečistený vzduch z pracovného priestoru tryskača a odlučujú z neho nežiaduce prachové častice. Tieto zariadenia bývajú modifikovateľné tak, aby sa prispôbili konkrétnej aplikácii a to použitím rozličných druhov filtračných vložiek. Takto prečistený vzduch môže byť následne vracaný naspäť do vnútorných priestorov, alebo pokiaľ je to nežiaduce môže byť vyfukovaný mimo do ovzdušia.

5 NÁVRH PRACOVISKA

Ako je už v názve kapitoly uvedené, ďalej bude riešené samotné usporiadanie pracoviska. U návrhu budú zohľadnené všetky ovplyvňujúce aspekty, ktoré boli uvádzané v predchádzajúcich kapitolách a súčasne rozšírené konkrétnymi výpočtami u navrhovaných komponentov. Na začiatku bude riešené rozloženie jednotlivých zariadení v priestore (layout) a výpočet taktu pracoviska. V ďalšej časti bude riešené zariadenie pre odstránenie škrupín z odliatok, automatizačné zariadenia a nakoniec návrh základných senzorov a bezpečnostných prvkov.

5.1 Layout pracoviska

Predstavuje návrh, ktorý reprezentuje rozmiestnenie prvkov pracoviska s ohľadom na prístupnosť zariadení, dosahy, zastavanú plochu či nadväznosť na ďalšie pracoviská. Približne v strede pracoviska bude umiestnený manipulačný robot, ktorého dosah by mal byť minimálne 5000 mm (podľa obr. 21). Popri robote sú z oboch strán paletové dopravníky spolu s pásovým dopravníkom na chybné očistené odliatky, pričom všetky sú orientované jedným smerom.



Obr. 21) Layout pracoviska

V okolí pracovného priestoru manipulačného robotu sa taktiež predpokladá použitie bezpečnostných prvkov pre zamedzenie vstupu do tohto priestoru v priebehu pracovného cyklu. Zastavaná plocha pracoviska pre takéto usporiadanie predstavuje predbežne 56,5 m².

5.1.1 Takt pracoviska

Medzi obzvlášť dôležité parametre pracoviska sa radí rýchlosť s akou je schopné spracovávať dané odliatky. Táto rýchlosť závisí na viacerých faktoroch, a to či už na veľkosti výrobnjej série, časových požiadavkách zákazníka, zložitosti a veľkosti súčiastok alebo na trvaní predchádzajúcich operácií. Vo všeobecnosti je výhodnejšie, keď je výrobnosť pri 100 % vyťaženie pracoviska porporčne vyššia než výrobnosť požadovaná, čo zabezpečí prípadné vykrytie strát pri neplánovaných opravách či prestojoch.

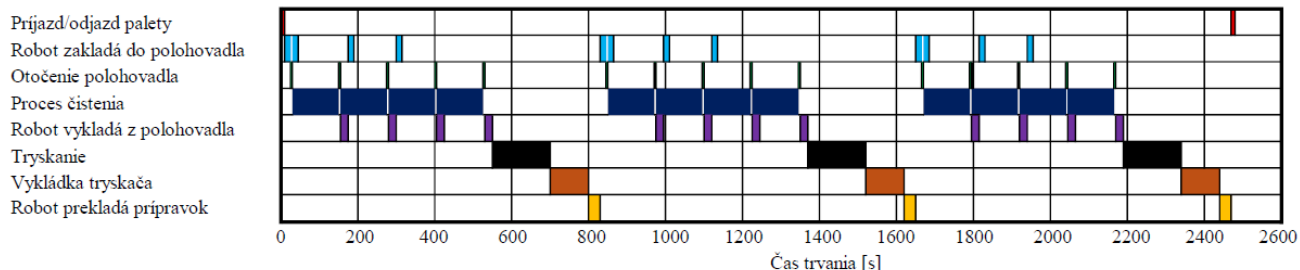
Do výpočtu taktu vstupujú časy jednotlivých operácií. Trvanie robotických operácií bolo stanovené prostredníctvom simulačného programu, kde vstupujú informácie o polohách jednotlivých bodov, rýchlostiach a zrýchlení robotu. Časy ostatných operácií boli stanovené experimentálne na základe ich priemerných rýchlostí, a to z dôvodu, že sú do veľkej miery závislé na veľkosti a zložitosti manipulovaných dielcov.

Skutočnosť, že technologické operácie sú závislé od rozmerov a tvaru spracovávaných odliatkov je potrebné zahrnúť aj do jednotlivých časov, a to odlišením súčiastky č.1 a 2. Manipulačné časy zostávajú rovnaké, pretože súčiastky sú hmotnostne na približne rovnakej úrovni preto nie je predpokladané, že by vyžadovali individuálne zrýchlenia či rýchlosti. Zmena nastáva u času čistenia a tryskania, kedy súčiastka č. 2 (redukčná príruha) je na odliatkovom strome v menšom počte a je tvarovo jednoduchšia v porovnaní so súčiastkou č.1.

Tab 4) Časy jednotlivých operácií

Operácia	Časy súčiastka č.1 [s]	Časy súčiastka č.2 [s]
Príjazd/odjazd palety	10	10
Robot zakladá do polohovadla	16,4	16,4
Otočenie polohovadla	3	3
Proces čistenia	120	105
Robot vykladá z polohovadla	19,5	19,5
Tryskanie	180	145
Vykládka z tryskača	99,2	99,2
Robot prekladá prípravok	27,8	27,8

Tieto časy boli následne usporiadané do Ganttovho diagramu tak, že na seba nadväzujú jednotlivé operácie podľa toho ako budú vykonávané. Diagram reprezentuje časový priebeh čistenia 12 odliatkových stromov, ktoré sú v prípravkoch na paletách. Z palet sú po jednom kuse zakladané robotom do polohovadla zariadenia pre čistenie odliatkov, kedy po otočení sa zahajuje proces čistenia. Proces prebieha súčasne so zakladaním ďalšieho dielu. Po skončení tejto operácie sa diely presunú na záves tryskacieho zariadenia. Záves tryskacieho zariadenia má kapacitu pre nesenie 4 odliatkových stromov. Za procesom tryskania nasleduje vyloženie odliatkov zo závesu do prípravkov, pričom medzitým robot vykoná verifikáciu očisteného povrchu. Pri vyložení celého prípravku (4 kusy odliatkov) robot prekladá prípravok z palety s neočistenými dielmi na paletu s očistenými.



Obr. 22) Ganttov diagram pracovných operácií pre súčiastku č.1

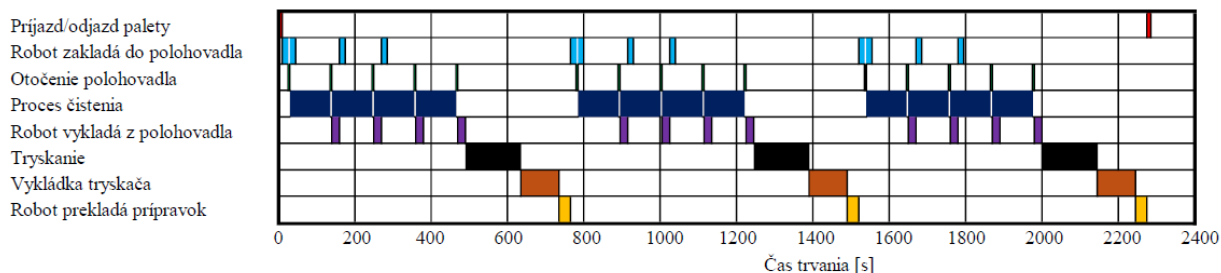
Takt pracoviska pre spracovanie súčiastky č. 1 pri 100 % vyťaženosti sa následne zistí pomocou vzťahu (1), kde je vyjadrený pomer počtu kusov spracovaných v jednom cykle pracoviska k celkovému času od zavezenia palety vstupných dielov až po vyvezenie dielov po spracovaní.

$$t_{s1} = \frac{n_{o1} * n_{p1}}{\frac{t_{c1}}{3600}} [ks/hod] \quad (1)$$

- kde: t_{s1} [ks/hod] takt súčiastka č. 1,
 t_{c1} [s] čas cyklu,
 n_{o1} [ks] počet odliatkov v strome,
 n_{p1} [ks] počet odliatkových stromov na palete.

Čas cyklu vzhľadom na diagram na obr. 22 vychádza na $t_{c1} = 2517$ s. Počet odliatkov v strome je pri súčiastke č. 1 $n_{o1} = 12$ a počet odliatkových stromov na palete je $n_{p1} = 12$. Po dosadení do vzorca (1) dostávame:

$$t_{s1} = \frac{12 * 12}{\frac{2517}{3600}} = 205 \text{ ks/hod}$$



Obr. 23) Ganttov diagram pracovných operácií pre súčiastku č. 2

Takt pracoviska pre spracovanie súčiastky č. 2 sa zistí obdobne za použitia vzťahu (2), pričom čas cyklu vzhľadom na diagram na obr. 23 vychádza na $t_{c2} = 2232$ s. Počet odliatkov v strome je pri súčiastke č. 1 $n_{o2} = 8$ a počet odliatkových stromov na palete je $n_{p2} = 12$.

$$t_{s2} = \frac{n_{o2} * n_{p2}}{\frac{t_{c2}}{3600}} = \frac{8 * 12}{\frac{2232}{3600}} = 154 \text{ ks/hod} \quad (2)$$

5.2 Zariadenie pre odstraňovanie škrupín z odliatkov

Toto zariadenie ako také predstavuje robotickú bunku, ktorá bude integrovaná v rozsiahlejšom robotickom pracovisku, ktoré zabezpečuje jej automatizovanú obsluhu. Skladá sa z konštrukcie (zahŕňajúcej nosné prvky, kryty), vysokotlakovej jednotky, armatúr, polohovadla, pracovného priestoru, robotu a jeho súčastí, tesnení, dopravníku pre odpadový materiál, elektrorozvádzača, sensorických a bezpečnostných systémov, atď. V nasledujúcich podkapitolách bude riešený návrh a výber niektorých najpodstatnejších súčastí tohto zariadenia.

5.2.1 Vysokotlaková jednotka

Pracovisko bude obsahovať čerpaciu jednotku od výrobcu PRO-JETTING a to konkrétne DNV elektrickú vysokotlakovú jednotku s čerpadlom s kľukovým hriadeľom. Čerpadlo má hlavu z nerezovej ocele a je vybavené príslušným regulátorom frekvencie, prostredníctvom ktorého je možné upravovať otáčky motoru a tým priamo ovplyvňovať prietok pri zachovaní dostatočného tlaku. [52]



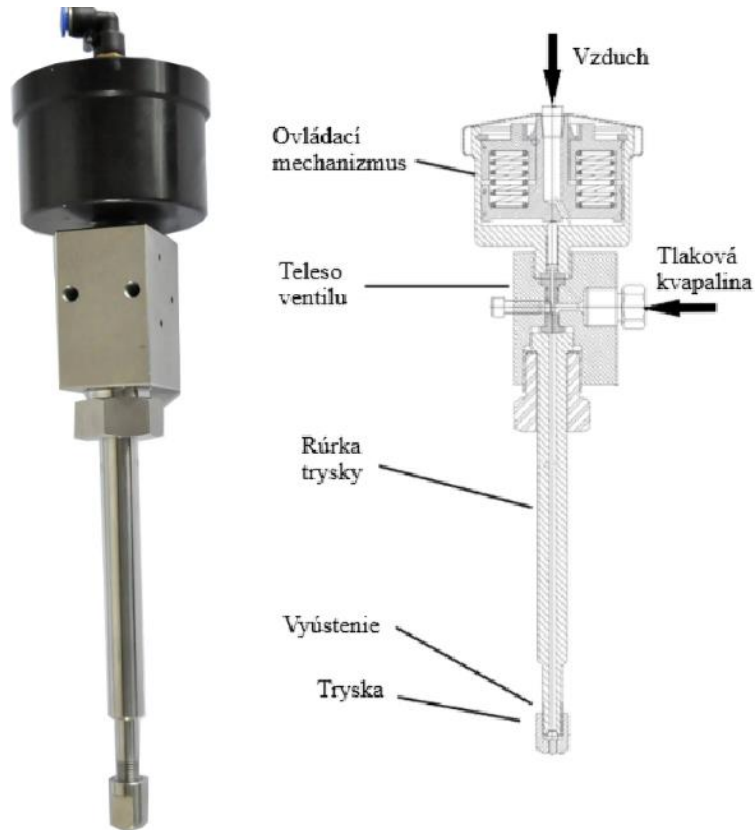
Obr. 24) PRO-JETTING DNV vysokotlaková jednotka [52]

Tab 5) Technické parametre vysokotlakovej jednotky [52]

Parametre jednotky HDE1500_21PRO	
Prietok Q [m ³ /s]	0,00035
Výkon [kW]	60
Maximálny tlak [MPa]	150
Napájacie napätie [V]	400

5.2.2 Koncový efektor pre tlakové čistenie

Efektor pre tlakové čistenie je v podstate technologická hlavica robotu s pripojením tlakovej kvapaliny, slúžiaca pre nasmerovanie vodného lúča do požadovaných miest. Skladá sa z pneumatického ovládacieho mechanizmu ventilu, telesa ventilu, rúrky, dýzy či prípadných senzorov.



Obr. 25) Akčný člen koncového efektoru pre tlakové čistenie [53]

Keďže proces čistenia prebieha prostredníctvom pôsobenia sily od tlakovej kvapaliny na škrupinu, robot s týmto efektorom bude zaťažovaný reakciou k sile od kvapaliny vychádzajúcej z trysky. [54]

Pre potrebu výberu robotu je potrebné vedieť túto silu. Ďalej bude realizovaný jej približný výpočet (so zanedbaním vplyvu prostredia a strát v potrubí). Vysokotlakové čistenie od keramických foriem vyžaduje tlak okolo 70 MPa, avšak do veľkej miery záleží na druhu, veľkosti a materiáli čistených odliatok, tak aby neprišlo k ich poškodeniu. Priemery dýz pre výkonné vysokotlakové čistenie sa pohybujú približne od 0,5 do 1,6 mm ale podľa požadovanej rýchlosti kvapaliny či tlaku je možné použitie aj iných priemerov. [55]

Rýchlosť prúdenia kvapaliny, ktorá opúšťa dýzu s prierezom S sa vypočíta pomocou vzťahu (3). [56]

$$v = \frac{Q}{S} \left[\frac{m}{s} \right] \quad (3)$$

kde: v [m/s] rýchlosť prúdenia,
 Q [m³/s] maximálny prietok,
 S [mm²] prierez dýzy.

Maximálny prietok je $Q = 0,00035 \text{ m}^3/\text{s}$, a prierez dýzy s priemerom 1,1 mm je $S = 0,95 \text{ mm}^2 = 0,95 \times 10^{-6} \text{ m}^2$. Rýchlosť je potom podľa vzťahu (3) :

$$v = \frac{0,00035}{0,95 \cdot 10^{-6}} = 368,42 \frac{m}{s}$$

Tlak požadovaný pre dosiahnutie tejto rýchlosti je podľa upravenej Bernoulliho rovnice. [57]

$$p_1 = p_2 + \frac{\rho * v^2}{2} \quad (4)$$

kde: v [m/s] rýchlosť prúdenia,
 p_1 [Pa] tlak v prostredí kam kvapalina vychádza,
 p_2 [Pa] tlak potrebný k dosiahnutiu výtokovej rýchlosti,
 ρ [kg/m³] hustota vody.

Atmosférický tlak $p_1 = 101325$ Pa, hustota vody pri 20°C je $\rho = 998$ kg/m³. Požadovaný tlak je potom (4) :

$$p_1 = 101325 + \frac{998 * 368,42^2}{2} = 67,83 * 10^6 \text{ Pa} = 67,83 \text{ MPa}$$

Aplikáciou rovnice momentu hybnosti a zákona akcie a reakcie po úpravách dostávame vzťah pre výpočet približnej reakčnej sily koncového efektoru (5). [56]

$$F_1 = \rho * S * v^2 \quad (5)$$

$$F_1 = 998 * 0,95 * 10^{-6} * 368,42^2 = 128,69 \text{ N}$$

Kde: v [m/s] rýchlosť prúdenia,
 F_1 [N] reakčná sila koncového efektoru,
 S [mm²] prierez dýzy,
 ρ [kg/m³] hustota vody.

5.2.3 Priemyselný robot pre proces čistenia

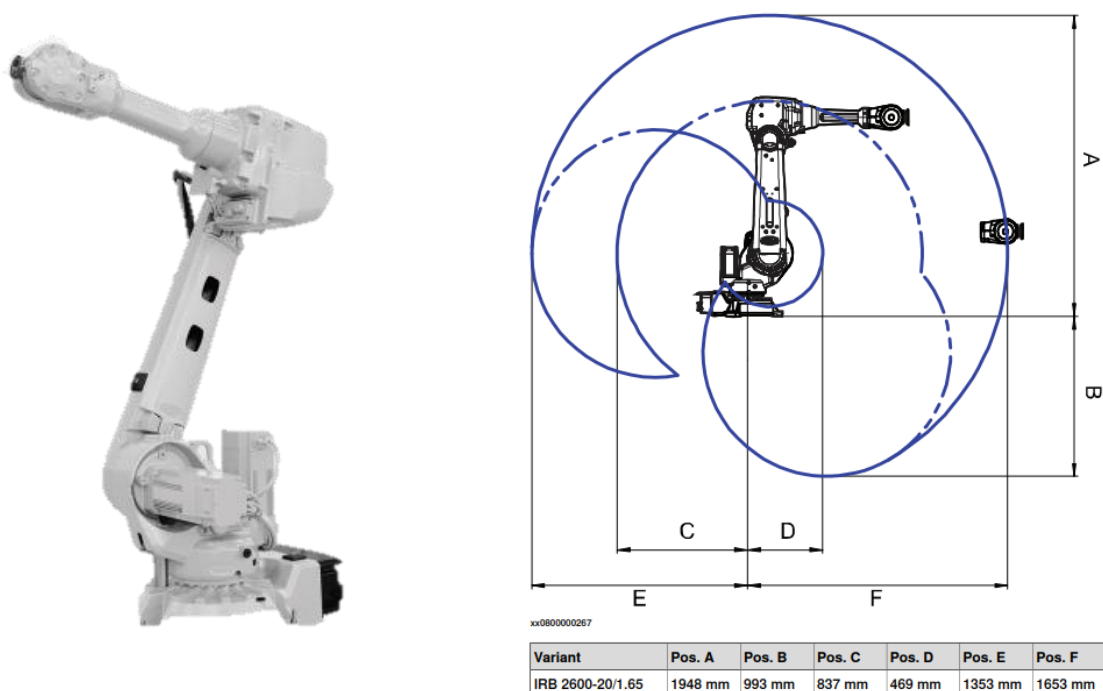
Pri výbere robotu je nutné dbať na dosiahnutie spomínaných požiadaviek (odolnosť voči vlhkosti, priamemu pôsobeniu kvapaliny, prachu, únosnosť či dosah). Priemyselný robot bude zvolený z portfólia výrobcu ABB, ktorý ponúka špeciálnu verziu robotov prispôbených na prácu v týchto podmienkach s prídavným označením Foundry Plus 2.

Toto označenie predstavuje zvýšené krytie robotu, tak aby bol schopný pracovať v prostredí zlievarne. Krytie je pre celého robota od základne až po zápästie IP 67 čo je v súlade s normou IEC 60529 a znamená, že elektrické priestory sú utesnené proti vode a nečistotám. Taktiež je zvýšená ochrana citlivých častí oproti štandardnej verzii. [58]

Vlastnosti verzie Foundry Plus 2 [58]:

- Vylepšené tesnenie na ochranu pred vniknutím nečistôt do dutín,
- Prídavná ochrana kabeláže a elektroniky,
- Dodatočné kryty, ktoré chránia dutiny,
- Robustné konektory,
- Príruba robotu s niklovým povlakom,
- Ochrana proti hrdzi na spojovacích prvkoch a nechránených častiach,
- Možnosť umývania robotu pomocou vhodného zariadenia.

Pre využitie v pracovisku čistenia odliatok bol zvolený robot od výrobcu ABB a to konkrétne typ IRB 2600 – 20/1,65.



a) ABB IRB 2600 – 20/1,65

b) Pracovný rozsah

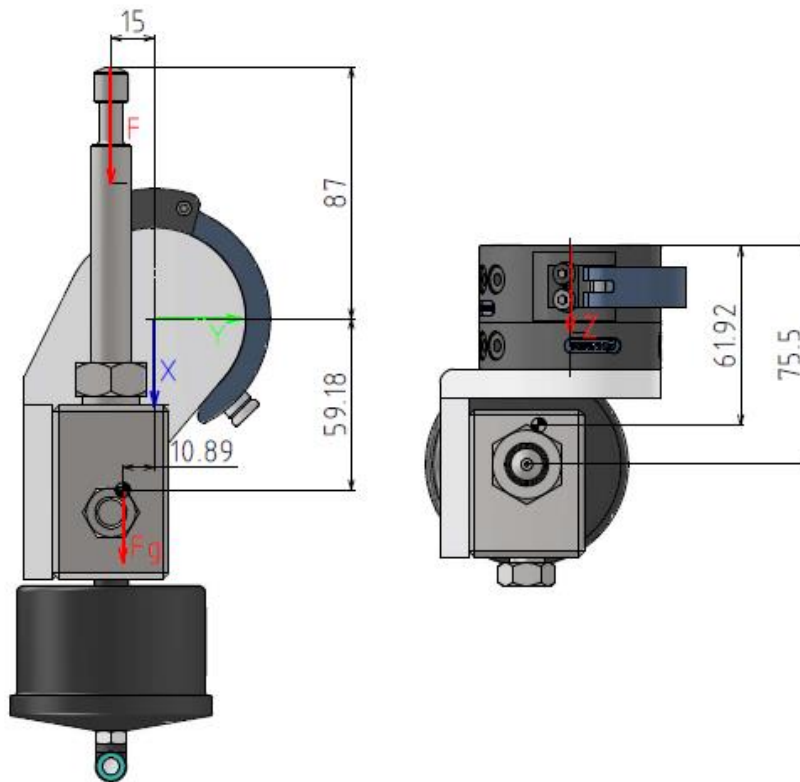
Obr. 26) Robot pre proces čistenia a jeho pracovný rozsah [58]

Z dôvodu zvýšenej ochrany bude robot montovaný na strop čistiacej bunky, tak aby na ňom nezostávala zachytená voda. Tento spôsob montáže umožňuje lepší odvod nečistôt z pracoviska skrz dlážku. Aby nedochádzalo ku zvýšenému opotrebovaniu prevodoviek, mala by byť v tejto montážnej polohe doplnená prídavná expanzná nádobka pre olej na prevodovke osy 1. [58]

Tab 6) Technické parametre robotu [58]

Robot	IRB 2600 – 20/1,65
Nosnosť [kg]	20
Dosah [m]	1,65
Riadenie	IRC5/OmniCore V250XT
Krytie	IP 67 (Foundry Plus 2)
Opakovateľnosť presného nájazdu do bodu [mm]	0,04
Hmotnosť [kg]	272

Pri výbere robotu je potrebné taktiež overiť jeho únosnosť, aby neprichádzalo k preťažovaniu a bol schopný pracovať s predpísanou presnosťou, dynamikou a životnosťou. Na obr. 27 je znázornené silové pôsobenie, kedy na prírubu robotu pôsobí silové a momentové zaťaženie od reakčnej sily vodného lúča a taktiež samotnej gravitačnej sily od hmotnosti koncového efektoru. Koncový efektor sa skladá z akčného členu (dýza a spúšťací mechanizmus), držiaku a systému výmeny od firmy SCHUNK SHS.



Obr. 27) Silové pôsobenie koncového efektoru

Gravitačná sila má pôsobisko v ťažisku a reakčná sila v mieste, kde vodný lúč opúšťa dýzu. Pre výpočet je uvažovaná poloha robotu, kedy reakčná aj gravitačná sila pôsobia jedným smerom a dochádza tak k najmenej priaznivým zaťažovacím okolnostiam. Sily pôsobia v ose X a vytvárajú tak momenty M_z a M_y k prírubu robotu. Pôsobiská síl sa odlišujú, avšak z rozmerov je zrejmé, že ťažisko sa nachádza v ose Z a Y bližšie stredu príruby robotu. S uvažovaním týchto okolností a prihliadnutím na momentové pôsobenie od týchto síl je možné vykonať zjednodušenie a sily sčítať s tým, že pôsobisko výslednej sily bude v mieste pôsobiska reakčnej sily. Týmto zjednodušením sa výpočet pohybuje na bezpečnejšej strane, kedy by za použitia momentových rovníc vychádzala veľkosť ekvivalentnej gravitačnej sily v pôsobisku reakčnej sily nižšia.

Výsledná sila pôsobiaca na prírubu robotu sa potom určí pomocou vzťahu (6). Gravitačná sila má pri hmotnosti koncového efektoru $m_1 = 3,53$ kg veľkosť $F_g = 34,63$ N.

$$F_V = F_g + F_1 \quad (6)$$

$$F_V = 34,63 + 128,69 = 163,32 \text{ N}$$

Kde: F_V [N] výsledná pôsobiaca sila,
 F_1 [N] reakčná sila koncového efektoru,
 F_g [N] gravitačná sila od hmotnosti koncového efektoru.

Pre porovnanie s diagramom na obr. 28 je potrebný prepočet na hmotnostný ekvivalent podľa rovnice (7).

$$m_e = \frac{F_V}{g} \quad (7)$$

$$m_e = \frac{163,32}{9,81} = 16,65 \text{ kg}$$

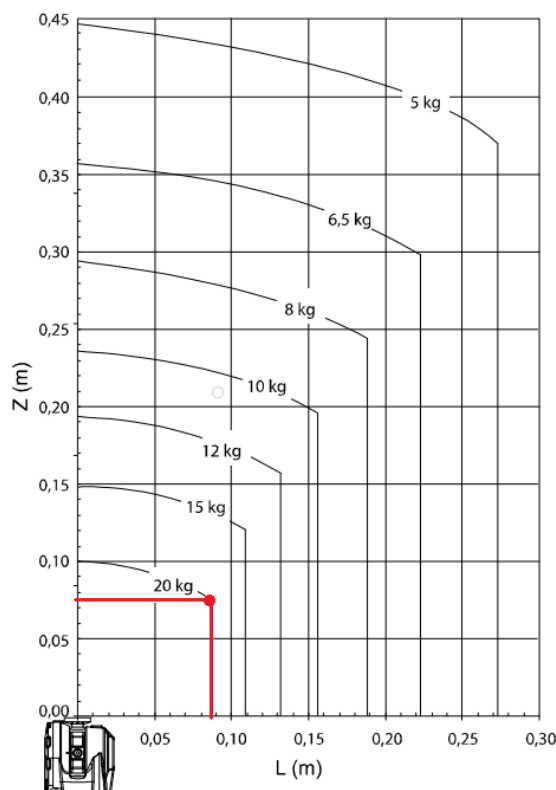
Kde: F_V [N] výsledná pôsobiaca sila,
 m_e [kg] hmotnostný ekvivalent,
 g [m/s²] gravitačné zrýchlenie.

Vzdialenosť pôsobiska sily v ose Z je $z = 75,5$ mm a vzdialenosť kolmú na osu Z je potrebné dopočítať z hodnôt vzdialenosti v ose X ($x = 87$ mm) a Y ($y = 15$ mm). Vzdialenosť L, ktorá je kolmá na osu Z sa vypočíta podľa vzťahu (8).

$$L = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (8)$$

$$L = \sqrt{87^2 + 15^2} = 88,3 \text{ mm}$$

Kde: L [mm] kolmá vzdialenosť na osu Z,
 x [mm] súradnica pôsobiska sily v ose X,
 y [mm] súradnica pôsobiska sily v ose Y.



Obr. 28) Zátěžový diagram robotu s vyznačeným pôsobiskom sily [58]

Z diagramu vyplýva, že pri danom umiestnení má robot nosnosť 20 kg, to znamená, že pre danú aplikáciu a podmienky je vyhovujúci.

Dress Pack robotu sa v tomto prípade skladá z vysokotlakových hadíc, či pre vyššie tlaky používaných potrubí. Oceľové potrubia sú potom namotané vo veľkom počte závitov okolo jednotlivých kĺbov robotu aby nezamedzovali pohybu a boli dostatočne poddajné. Ďalej je do koncového efektoru vedený stlačený vzduch, či popripade signálové vodiče pre informácie o stave efektoru. Taktiež sa používajú rôzne príchytky, spojky či hadice pre vedenie káblov prípadne rôzne závesy pre odľahčenie vedených potrubí a kabeláže.

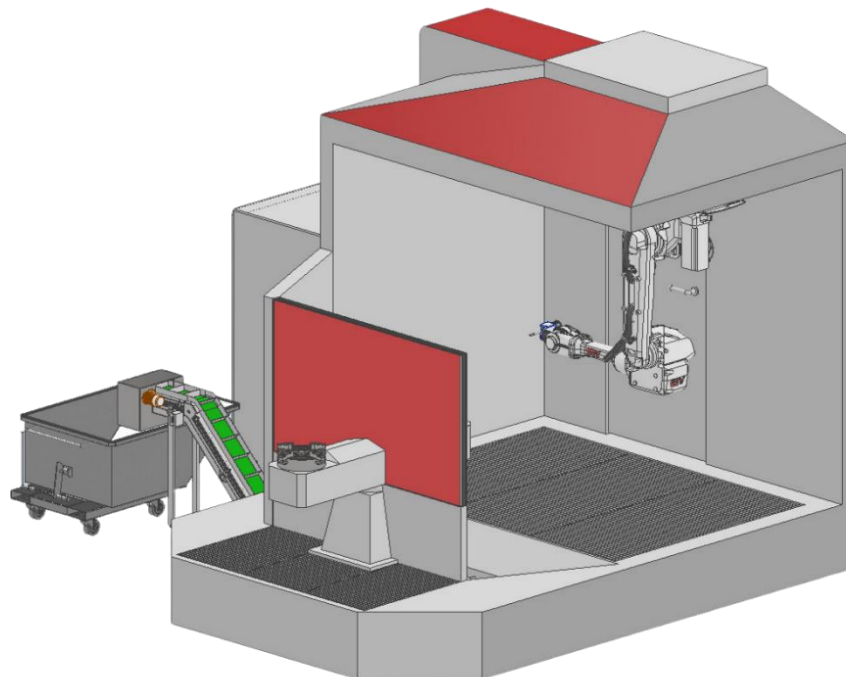


Obr. 29) Spôsoby vedenia tlakových hadíc ku koncovému efektoru [59] [60]

5.2.4 Konštrukcia bunky pre vysokotlakové čistenie

Bunka je konštrukčne navrhnutá tak, aby zabezpečovala tesnosť a neprichádzalo k únikom kvapaliny či keramických úlomkov do okolia. Spodná časť je tvorená samotným rámom, zariadeniami, rozvodmi a záchytnou nádobou kvapaliny. Pod miestom, kde budú padať úlomky škrupín sa nachádza dopravník, ktorý bude kontinuálne vyvážať úlomky do debne mimo zariadenia. Úlomky budú na dopravník navádzané zošikmenými plochami v spodnej časti zariadenia. Kvapalina je zo záchytnej nádoby odčerpávaná, filtrovaná do zbernej nádoby a ďalej ju je možné v procese používať až dokiaľ nepríde k jej trvalému znehodnoteniu.

Ďalej taktiež obsahuje filtračný systém, ktorý slúži k úprave vzduchu z dôvodu vysokej vlhkosti a rozptýlených vodných pár v ovzduší. Vnútna časť bunky, ktorá prichádza do kontaktu s koróznym prostredím je vyrobená z nehrdzavejúcej ocele. Takisto sú tu dvere pre vstup obsluhy alebo údržby. Časti ako osvetlenie, snímače, spínače či ďalšie pomocné zariadenia musia spĺňať dostatočný stupeň krytia a odolnosti voči korózii. Do vnútra je možné zabudovať trysky pre automatický oplach a čistenie pracovného priestoru. Na bočnej stene bunky bude umiestnený priezor z transparentného polykarbonátu, skrz ktorý bude možné sledovať čistiaci cyklus a prípadne pozastaviť či zastaviť pomocou používateľského rozhrania nachádzajúceho sa v blízkosti. Ďalšie súčasti bunky, nastavenia, či použité zariadenia sú predmetom samotnej technológie alebo dodatočných úprav pri následnej reálnej prevádzke.



Obr. 30) Bunka vysokotlakového čistenia

5.3 Automatizačné prvky

Pomocou týchto prvkov či zariadení bude v konkrétnom prípade obsluhované stanovište čistenia tlakovým lúčom a tryskacie stanovište. Pre tieto účely bude slúžiť manipulačný robot v súčinnosti s dopravníkmi. Ďalej je potrebné zabezpečiť taktiež automatizovanú kontrolu očistených dielov, informácie o stave pracoviska či samotnú celkovú bezpečnosť.

5.3.1 Koncový efektor pre manipuláciu s materiálom


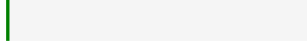
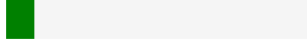
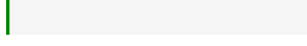
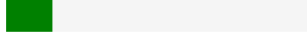

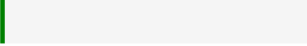
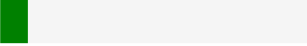
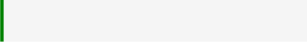
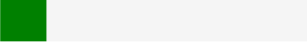

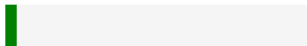

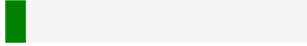
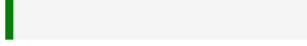
Koncový efektor bude nesený manipulačným robotom a jeho úlohou je premiestňovanie odliatkov z prípravkov na paletách a medzi jednotlivými stanovišťami v robotickom pracovisku. Bude taktiež prispôsobený pre odkladanie prípravkov z paliet v momente, kedy príde k ich vyprázdneniu, či naopak k zakladaniu prípravkov na paletu očistených odliatkov pri jeho naplnení.

Odliatky budú uchopované za koncovú časť štvorcového prierezu, pomocou prizmatických úchopových prvkov. Koncový efektor bude schopný manipulovať ako s očistenými, tak aj neočistenými odliatkami v keramických škrupinách. Vybraný bol pneumatický univerzálny uchopovač JGP- P 300-1-AS s udržiavaním úchopovej sily od firmy SCHUNK.

Tab 7) Technické údaje univerzálneho uchopovača JGP- P 300-1-AS [61]

Technické údaje JGP- P 300-1-AS	
Zdvih na čeľust' [mm]	35
Zatváracia sila [N]	8200
Hmotnosť [kg]	17,2
Odporúčaná hmotnosť obrobku [kg]	33
Nominálny prevádzkový tlak [bar]	6
Doba uzatvárania/doba otvárania [s]	0,4/0,7
Presnosť opakovania [mm]	0,05

Pre voľbu koncového efektoru bol využitý asistent dimenzovania uchopovania od firmy SCHUNK. Kde na základe údajov o polohe uchopovacej sily, ťažiska, veľkosti zrýchlení, rozmerov úchopových prvkov, hmotnosti manipulovaného objektu, atď. je vygenerovaný zoznam uchopovačov, ktoré vyhovujú daným požiadavkám. Po zvolení uchopovača zo zoznamu sa zobrazia údaje o stupni využitia koncového efektoru.

a) Odliatok súčiastka 1		%	Vypočítané	Menovité	Koeficient bezpečnosti
Uchopovacia sila		47.5 %	3419.7 N	7193.7 N	1.5
F_z		1.3 %	170.1 N	13000.0 N	1.5
M_x		9.6 %	34.5 Nm	360.0 Nm	1.5
M_y		1.1 %	3.9 Nm	360.0 Nm	1.5
M_z		15.3 %	36.5 Nm	239.0 Nm	1.5
b) Odliatok súčiastka 2		%	Vypočítané	Menovité	Koeficient bezpečnosti
Uchopovacia sila		46.9 %	3371.9 N	7193.7 N	1.5
F_z		1.6 %	205.5 N	13000.0 N	1.5
M_x		9.2 %	33.3 Nm	360.0 Nm	1.5
M_y		1.1 %	3.9 Nm	360.0 Nm	1.5
M_z		15.1 %	36.0 Nm	239.0 Nm	1.5
c) Paleta s prípravkom		%	Vypočítané	Menovité	Koeficient bezpečnosti
Uchopovacia sila		83.4 %	6000.3 N	7193.7 N	1.5
F_z		3.9 %	506.6 N	13000.0 N	1.5
M_x		16.2 %	58.2 Nm	360.0 Nm	1.5
M_y		6.9 %	24.9 Nm	360.0 Nm	1.5
M_z		2.9 %	7.0 Nm	239.0 Nm	1.5

Obr. 31) Stupeň využitia koncového efektoru pri manipulácii s predmetmi [61]

Na základe asistenta dimenzovania je možné zhodnotiť, že koncový efektor je vyhovujúci a to aj pre najmenej priaznivý prípad zaťažovania pri manipulácii prípravkom s paletou na konci cyklu.

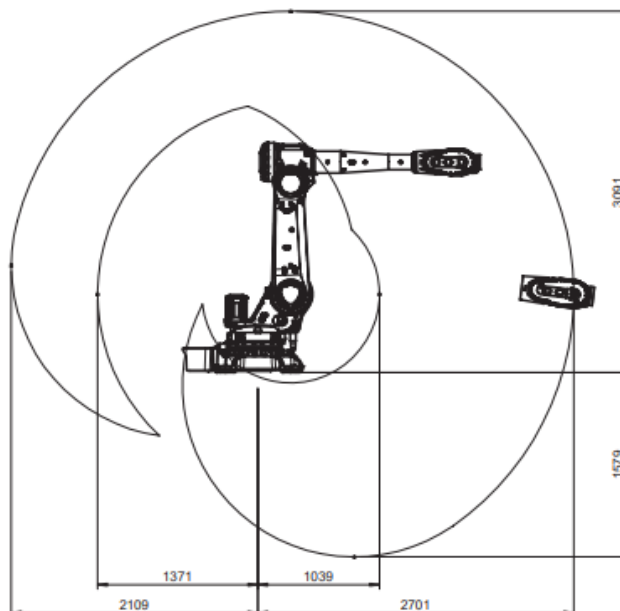
5.3.2 Priemyselný robot pre manipuláciu s materiálom

Podobne ako pri výbere robotu pre čistenie vodným lúčom, aj pri tomto manipulačnom robote sú kladené vyššie požiadavky na odolnosť voči koróznemu prostrediu, prachu, abrazívam či keramickým časticiam. Vybraný bol robot od výrobcu ABB typ IRB 5710-90/2,7 vo verzii Foundry Plus 2 s krytím IP 67.

Robot bude umiestnený na podstavci pre lepší dosah a vyvýšenie od podlahy z dôvodu jeho vyššej ochrany. Robot nesie manipulačný efektor, ktorý je pripojený k jeho príruke prostredníctvom systému výmeny SCHUNK SHS. Tento systém výmeny zahŕňa ako vzduchový, tak aj elektrický prechod.



a) ABB IRB 5710 – 90/2,7



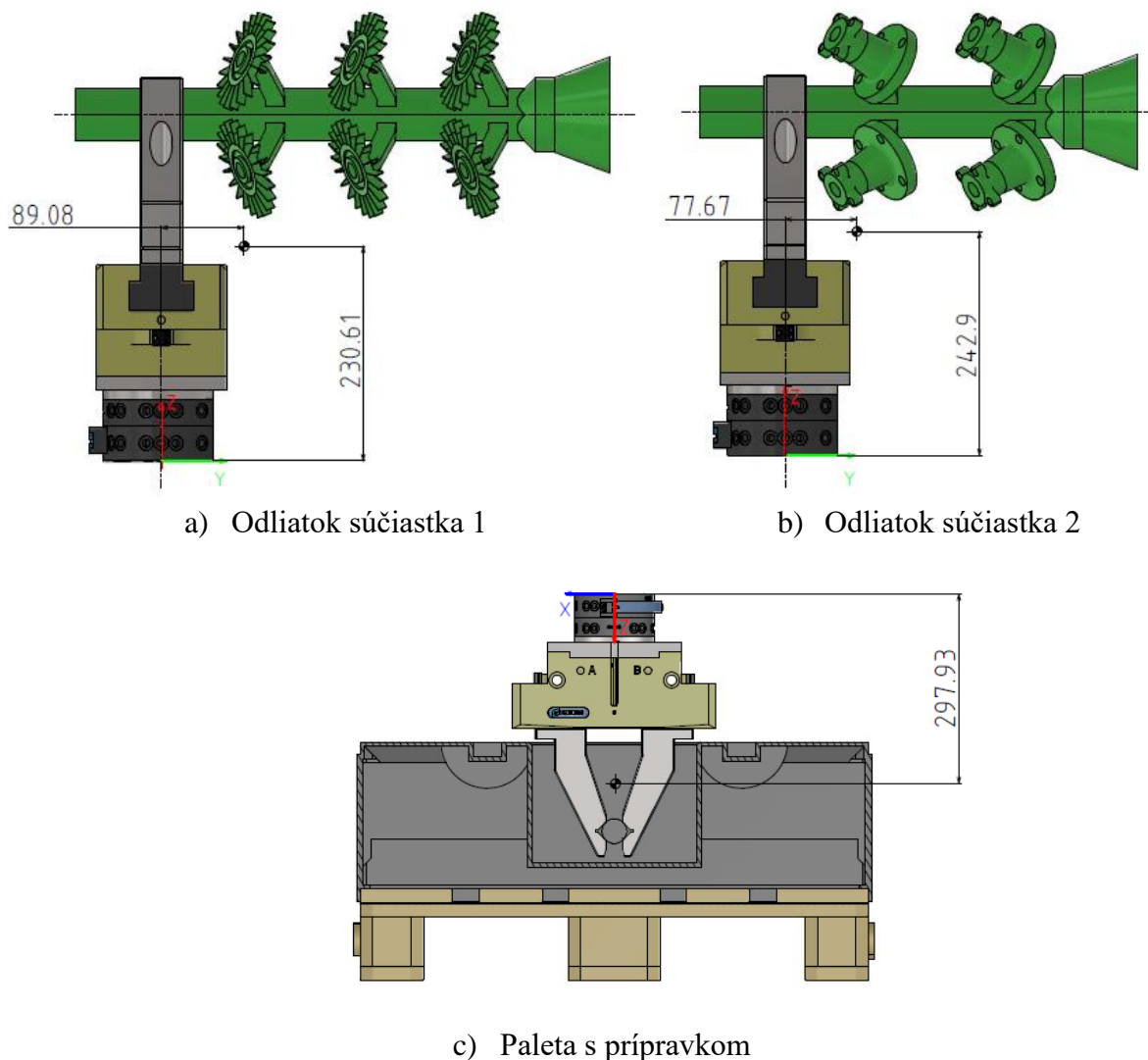
b) Pracovný rozsah

Obr. 32) Manipulačný robot a jeho pracovný rozsah [62]

Tab 8) Technické parametre robotu [62]

Robot	IRB 5710 – 90/2,7
Nosnosť [kg]	90
Dosah [m]	2,7
Riadenie	OmniCore V250XT/OmniCore V400XT
Krytie	IP 67 (Foundry Plus 2)
Opakovateľnosť presného nájazdu do bodu [mm]	0,03
Hmotnosť [kg]	830

Ďalej bude overená nosnosť robotu v danej konfigurácii. Na obr. 33 je znázornená poloha ťažiska pri manipulácii s odliatkami, pričom je bráný ohľad na rozdielne druhy týchto odliatkov podľa súčiastok. Robot bude manipulovať taktiež s plastovými prípravkami na paletách, ktoré majú hmotnosť $m_{\text{prípravok}} = 7 \text{ kg}$ a paletou spojenou s prípravkom na konci cyklu čistenia s hmotnosťou $m_{\text{prípravok_paleta}} = 27 \text{ kg}$.

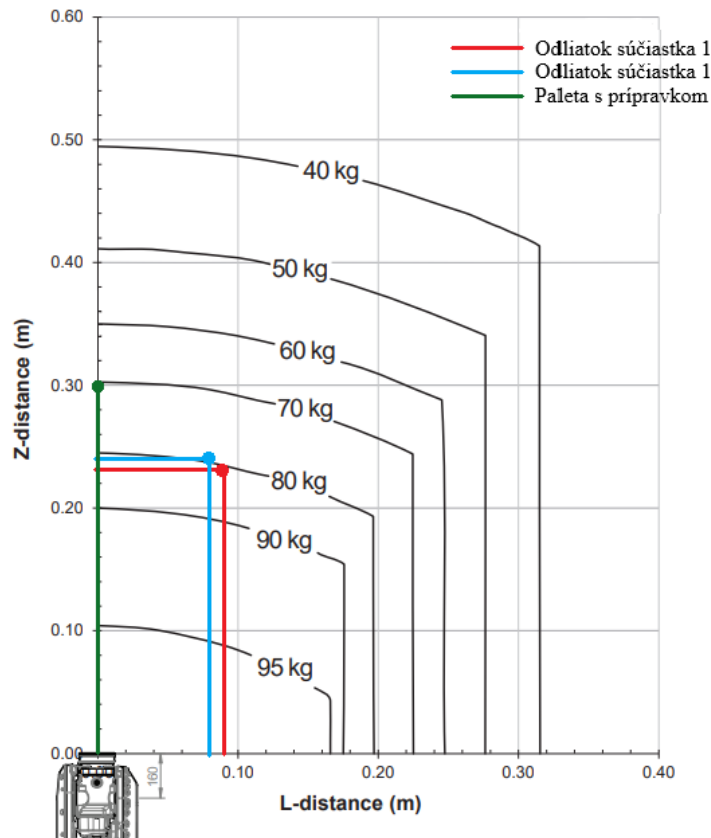


Obr. 33) Vzďialenosť silového pôsobenia pri manipulácii s odliatkami

Pre odliatok na obr. 33/a) je vzdialenosť ťažiska v ose Z, $z = 230,61$ mm. V ose X je koncový efektor a odliatok vycentrovaný, to znamená, že vzdialenosť ťažiska $x = 0$ mm, pre osu Y je $y = 89,08$ mm. Vzdialenosť L, ktorá je kolmá na osu Z potom netreba dopočítavať a je rovná $L = y$. Váha tohto stromu odliatkov je $m_1 = 16,06$ kg.

Pre odliatok na obr. 33/b) je vzdialenosť ťažiska v ose Z, $z = 242,9$ mm. V ose X ($x = 0$ mm) a Y ($y = 77,67$ mm). Vzdialenosť L je potom $L = y$. Váha tohto stromu odliatkov je $m_2 = 20,5$ kg.

Pri manipulácii s paletou a prípravkom je na obr. 33/c) je vzdialenosť ťažiska v ose Z, $z = 297,93$ mm. V ose X ($x = 0$ mm) a Y ($y = 0$ mm). Vzdialenosť L je potom $L = 0$. Váha týchto objektov je $m_{\text{prípravok_paleta}} = 27$ kg.



Obr. 34) Zátťažový diagram robota s vyznačeným pôsobiskom sily [62]

Z diagramu vyplýva, že robot je pre danú aplikáciu vyhovujúci. Jeho nosnosť pre dané vzdialenosti ťažísk je pre manipulované odliatky do 80 kg a pre paletu s prípravkom do 70 kg.

5.3.3 Výstupná kontrola

Medzi požiadavky na pracovisko sa radí aj jeho schopnosť automaticky overovať dosiahnuté výsledky. To znamená, že je potrebné vyhodnotiť či sú odliatky očistené dostatočne. Pre tieto účely bude využité strojové videnie pre snímanie odliatkových stromov opúšťajúcich tryskacie stanovište. Kamera pre snímanie bude umiestnená tak, aby robot pri manipulácii s odliatkami nemusel vykonávať zbytočné pohyby navyše, to znamená popri trajektórii tryskač – paleta.

Pre spracovanie obrazu je vybraný programovateľný a konfigurovateľný 2D kamerový senzor, ktorý je schopný zachytávať obraz plochy. Takýto kamerový senzor pre priemyselné použitie ponúka napríklad firma SICK a jej model InspectorP65x. Tento model ponúka veľký snímací dosah a vysoké rozlíšenie (2 – 4 Mpx) a je možné ho programovať skrz aplikáciu Nova InspectorP. Kamera má zabudovanú centrálnu vyhodnocovaciu jednotku a pripojovacie rozhrania pre napájanie, kedy napájacie napätie je 24 V a komunikáciu, ktorá je možná prostredníctvom protokolov Ethernet, CAN, Ethernet/IP či Profinet. [63]



Obr. 35) Kamerový senzor SICK InspectorP65x [63]

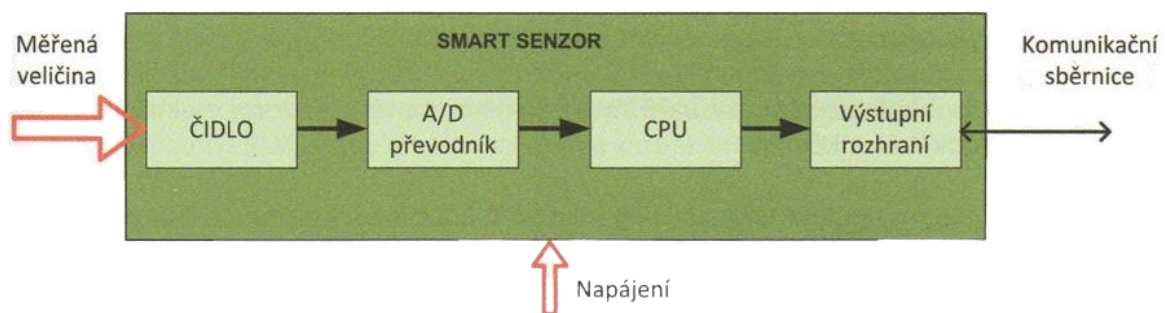
Poznávacím znakom nedostatočne očisteného odliatku je zvyškové množstvo keramickej škrupiny na jednotlivých odliatkoch stromu. Rozoznávanie tohto zvyškového množstva je možné na základe bielej farby škrupiny, ktorá sa odlišuje od kovového odtieňa odliatku. Pri rozpoznaní takto nedostatočne očisteného odliatku bude nasledovať jeho odloženie na pásový dopravník, kde na jeho konci ho preberie pracovník pre dočistenie.

5.4 Sensory

Používajú sa vtedy, keď chceme aby riadiaci systém reagoval na zmeny sledovaných parametrov zmenami u riadených prvkov, a to podľa programu, ktorý beží v riadiacom systéme. Sensor je vstupným blokom meracieho reťazca, ktorý je v priamom styku s meraným prostredím. Pomocou citlivej časti (čidla) sníma meranú veličinu a prevádza ju na elektrický signál.

Senzor sa skladá z troch častí [44]:

- Vstupná časť – umožňuje vstup meranej veličiny, ktorú prevádza na elektrický signál. Zaisťuje ochranu senzoru proti pôsobeniu nežiaducich rušení,
- Vnútoraná časť – spracováva vstupný elektrický signál a kompenzuje vplyv okolia (napr. teploty). Vnútoraná časť sa skladá z prevodníkov A/D a D/A, pamäti, komparátorov, generátorov a mikroprocesorov,
- Výstupná časť – zaisťuje komunikáciu senzora s riadiacou jednotkou.



Obr. 36) Vnútorané usporiadanie senzoru [44]

Riešené pracovisko bude obsahovať veľké množstvo senzorov, slúžiacich či už pre detekciu polohy alebo prípadne tlaku, prietoku, výšky hladiny a pod. Veľké množstvo týchto senzorov je špecifických pre dané technológie zakomponované v pracovisku a preto si ich správny výber a použitie vyžaduje pomerne komplexné znalosti týchto konkrétnych technológií. Z tohto dôvodu budú ďalej popísané niektoré vybrané základné senzory použité v pracovisku. Medzi senzory sa radia aj niektoré bezpečnostné prvky, tie však budú ďalej zhrnuté v nasledujúcej kapitole.

Senzory prítomnosti

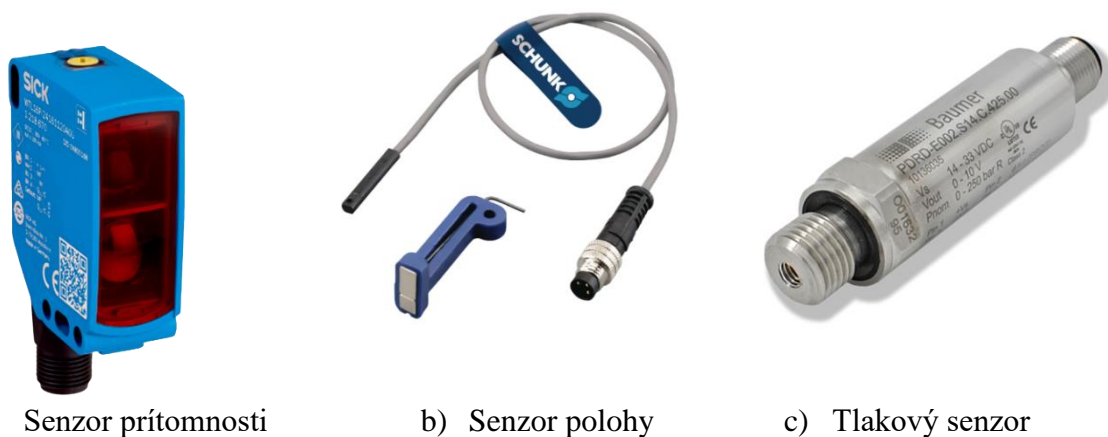
Pre snímanie prítomnosti paliet na dopravníkoch a kusov na pásovom dopravníku budú využité optické senzory. Optické senzory pracujú na princípe lúča svetla, ktorý vychádza z vysielača a vracia sa do prijímača. Pre danú aplikáciu je možné použiť napríklad optoelektronický snímač W16 od firmy SICK. Tento snímač obsahuje vysielač aj prijímač v jednom puzdre a pracuje na princípe zaočneného pozadia. Kedy v dôsledku prítomnosti predmetu v zornom poli sa časť svetelného lúča odráža späť do prijímača a podľa jeho intenzity sa následne signál vyhodnocuje. Snímač komunikuje s prostredím pomocou protokolu IO-Link, napájaný môže byť napätím od 10 do 30 V a má dosah 100 až 1500 mm. [64]

Senzor polohy

U manipulačného koncového efektoru je potrebné overiť skutočné uzatvorenie, či uvoľnenie úchopových prvkov. Keďže tento efektor je navrhnutý pre manipuláciu s viacerými rozmermi (odliatok so škrupinou/očistený odliatok) je žiaduce overovať viacero polôh uzatvorenia. Pre tento účel bol vybraný analógový snímač polohy MMS 22-A od firmy SCHUNK, ktorý bezkontaktné zisťuje priblíženie magnetu a tým monitoruje priamo pohyb pneumatického piestu vo vnútri koncového efektoru. Vracia nepretržitý výstupný signál a v kombinácii so systémom SCHUNK FPS je možné určovať až päť polôh čel'ustí. [65]

Tlakový senzor

Služi pre monitorovanie tlaku kvapaliny v technologickej hlavici pre proces čistenia. Na túto aplikáciu je vhodný napríklad tlakový snímač od firmy Baumer a to konkrétne PDRx s meracím rozsahom 0 až 160 MPa. Tento senzor je analógový s nerezovým puzdrom a má triedu krytia IP 67. [66]



Obr. 37) Použité snímače [64] [65] [66]

5.5 Bezpečnosť

Asi najpodstatnejšou časťou pri návrhu pracoviska je zaistenie bezpečnosti obsluhy, údržby či iných osôb pohybujúcich sa v okolí pracoviska. Pracovisko by malo spĺňať bezpečnostné štandardy a nepredstavovať bezpečnostné riziko pre svoje okolie ale aj životné prostredie ako také. Pre splnenie bezpečnostných požiadaviek je obecné nutné vykonať analýzu rizík a ich následné zníženie. Riziká sa znižujú postupne a to pomocou opatrení v konštrukcii, v bezpečnostnej ochrane a pomocou informácií pre používanie. V tejto kapitole budú zhrnuté prvky ochrany, ktoré predstavujú špeciálne zariadenia či konštrukčné súčasti s ochrannou funkciou. Tieto prvky významne znižujú riziko vzniku rôznych druhov nebezpečí (mechanické, elektrické, a pod.).

Ochranné oplotenie

V pracovisku bude použité oceľové ochranné oplotenie vo forme stavebnicového systému. Funkciou takéhoto bezpečnostného oplotenia je oddelenie nebezpečného pracovného priestoru od miest, kde sa pohybujú ľudia. V tomto prípade bude plotom oddelený manipulačný priestor robotu ABB IRB 5710. Použité boli plotové bloky rôznych šírok, ktorých spájaním je možné docieľiť požadovaných dĺžok. Ďalej sú v oplotení integrované servisné vchody, slúžiace pre vstup pracovníkov vykonávajúcich montáž, údržbu či nastavovanie zariadení.

Zámky dverí

Keďže oplatenie obsahuje servisné vstupy, je potrebné ich zaistiť voči otvoreniu v priebehu pracovného cyklu. Pre takéto zaistenie dverí je možno využiť celú škálu monitorovacích či blokovacích zariadení. Pre zaistenie vstupu boli zvolené mechanické západky SICK MB1 v kombinácii s blokovacím zariadením SICK TR110 Lock s istením monitorovaným RFID.

Blokovacie zariadenie má voliteľný prvok pre odblokovanie únikovej cesty, čo umožňuje odistenie zariadenia v prípade nutnosti. Variant s dvomi osvetlenými tlačidlami potom umožňuje ovládanie signálov otvorenia dverí či resetovania priamo na blokovacom zariadení. [67]

Tlačidlo núdzového zastavenia

Nazýva sa aj Emergency Stop a slúži pre núdzové zastavenie stroja, či v tomto prípade celého pracoviska (pohybujúcich sa častí ako sú roboty, dopravníky, a pod.). K takémuto zastaveniu dochádza pri hroziacom nebezpečenstve pre osoby alebo možnej kolízii zariadenia. Po stlačení musí prísť k čo najrýchlejšiemu zastaveniu a samotné tlačidlo musí byť ľahko prístupné a jasne viditeľné. Núdzové zastavenie spolu s kategóriami zastavenia sú definované normou ISO 13850 – Bezpečnosť strojných zariadení – Funkcia núdzového zastavenia. [68]

Svetelné závory

Sú použité pre zaistenie bezpečnosti v mieste vstupu a výstupu paliet s odliatkami. Konkrétne riešenie prostredníctvom bezpečnostných svetelných závor SICK M4000 Advanced spolu s mutingovou jednotkou UE403 predstavujú efektívne spojenie pre automatickú prepravu materiálu. Rôzne druhy adaptérov a modulárny koncept umožňujú ich flexibilnú montáž. Je možné voliť z viacerých variant, ktoré sa líšia počtom svetelných lúčov a ich rozstupom. [69]



a) Zámok dverí



b) Tlačidlo núdzového zastavenia



c) Svetelné závory

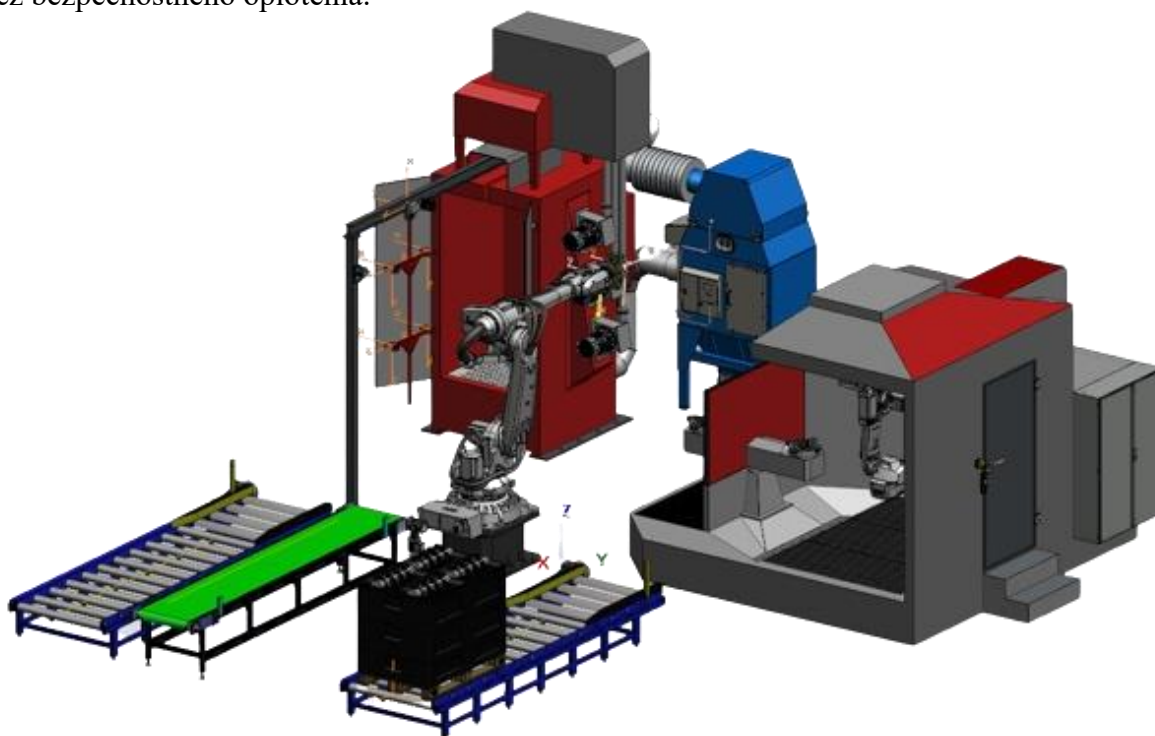
Obr. 38) Bezpečnostné prvky [67] [68] [69]

6 VIRTUÁLNE SPREVÁDZKOVANIE

Pozostáva z vytvorenia 3D modelu robotického pracoviska v simulačnom prostredí, definovania jednotlivých komponentov, ich funkcie prípadne kinematiky. Nasleduje tvorba operácií, robotických programov, ovládacích signálov či materiálového toku. Pre virtuálne sprevádzkovanie bol vybraný program Process Simulate od výrobcu Siemens a bude prebiehať v konfigurácii Software in the Loop. Výsledkom takéhoto virtuálneho sprevádzkovania bude po návrhu riadenia simulácia priebehu procesu.

6.1 Model pracoviska

Ako prvý krok sú do simulačného prostredia vložené jednotlivé modely. Modely boli uložené vo formáte s príponou „.jt“ a pred importom do programu sa vložia do súboru s príponou „.cojt“. Pred ich samotným nahraním sa definuje ich typ (napr. koncový efektor, dopravník). Výsledný model tvoria zariadenia popísané v systémovom rozbere a v návrhu pracoviska. Usporiadanie pracoviska je na základe jeho layoutu. Pre každý z modelov bol zvolený súradnicový systém, ktorý reprezentuje jeho umiestnenie v priestore vzhľadom k vzťažnému súradnicovému systému v strede pracoviska. Pre prehľadnosť je na obr. 39 model bez bezpečnostného oplotenia.



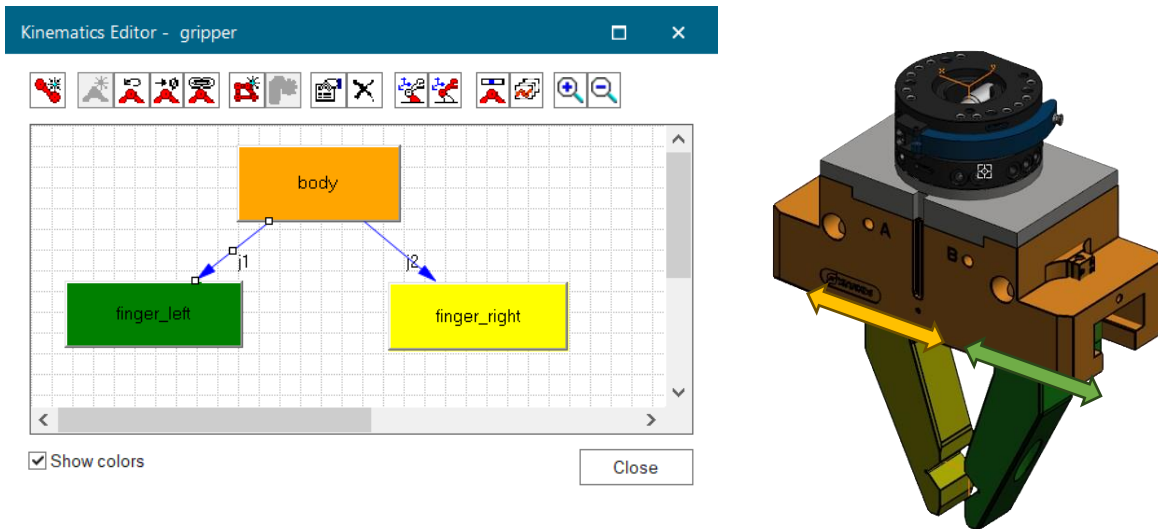
Obr. 39) Model pracoviska v prostredí programu Process Simulate

6.2 Definícia kinematiky komponentov

Používa sa pre komponenty, ktoré majú vykonávať pohyby. Typicky sa jedná o pohyby čel'ustí koncových efektorov, upínačov či prípravkov. Okno sprostredkujúce toto nastavenie sa nachádza na záložke „Modeling“ a nazýva sa konkrétne „Kinematics Editor“. V tejto záložke je taktiež okno „Tool Definition“, ktoré slúži pre definovanie koncových efektorov, ich súradnicových systémov a úchopových prvkov.

6.2.1 Definícia kinematiky manipulačného koncového efektoru

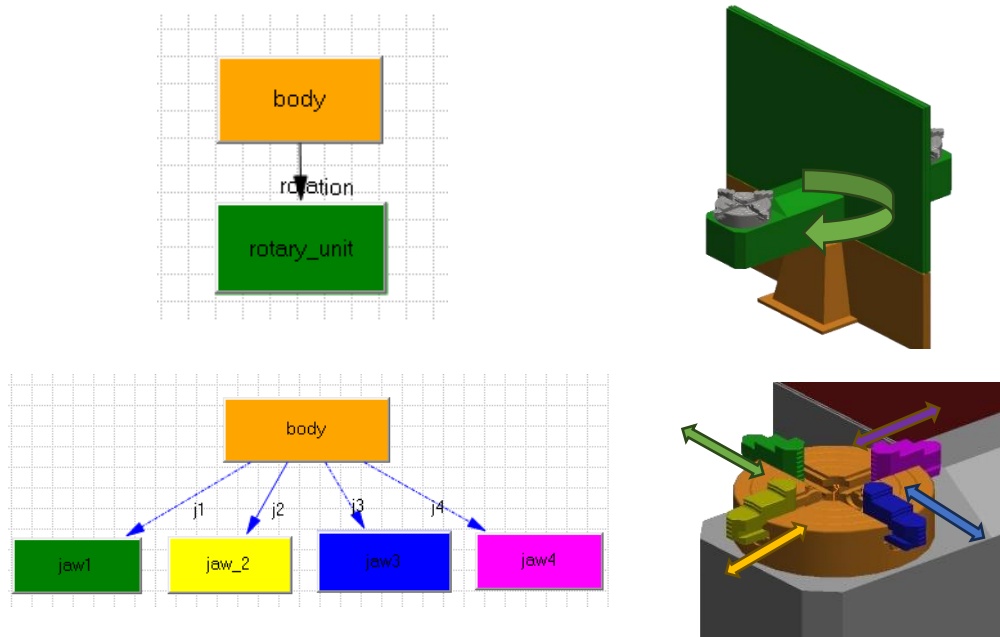
V okne „Kinematics Editor“ boli vytvorené 3 elementy predstavujúce nepohyblivé telo (body), ľavý úchopový prvok (finger_left) a pravý úchopový prvok (finger_right). Do týchto elementov boli potom vložené príslušné časti koncového efektoru. Následne boli medzi elementami vytvorené prepojenia „j1“ a „j2“ predstavujúce jednotlivé pohyby objektov voči nepohyblivému telu. Prepojenia boli definované ako posuvné s limitom zdvihu čelustí 35 mm podľa technických údajov od koncového efektoru. Nakoniec boli vytvorené pozície čelustí v „Pose Editor“ a to pozície pre dva stavy, kedy je efektor zatvorený alebo otvorený.



Obr. 40) Definovanie koncového efektoru

6.2.2 Definícia kinematiky polohovadla

Prebieha obdobne ako ostatné definície kinematiky, odlišuje sa len v konkrétne nastavovaných pohyboch. Pre rotačnú časť polohovadla je nastavené otáčanie okolo jej osy pre 2 polohy. Na rotačnej časti sú nesené upínacie skľučovadlá, ktoré budú slúžiť pre upínanie a otáčanie odliatkami.



Obr. 41) Definovanie polohovadla a upínacieho skľučovadla

6.3 Definovanie robotov a dopravníkov

Tieto špecifické zariadenia, ktoré majú vykonávať určitú funkciu je potrebné na začiatku definovať. Na rozdiel od manipulovania objektom z bodu A do bodu B prostredníctvom operácie poskytujú takéto zariadenia možnosť zapojiť do procesu signály a logické bloky.

Roboty

Modely robotov boli prevzaté z internetových stránok výrobcu, kde je možnosť si zvoliť priamo verziu vhodnú pre program Process Simulate v príslušnom formáte. Spolu s modelmi sa v priečinku nachádzajú aj systémové údaje potrebné pre bližšie nastavenie robotu.

V prvom kroku po vložení modelu robotu bol zvolený výrobca a verzia RobotWare 6.11 pre oba roboty s kontrolérmi ABB IRC5 v okne na obr. 42. Ako Motion Planner bol zvolený štandardný typ MOP, ktorý riadi pohyby robotu interným softvérom programu Process Simulate. Tento spôsob riadenia pohybu má však v porovnaní s typom VRC nevýhodu v podobe menej presného chovania dynamiky robotov. Ďalej nasledovalo nahranie dát „base.sys“ v záložke „Robot Setup“, ktoré obsahujú dáta o rýchlostiach, typoch pohybov či konfiguráciách robotov. Po týchto základných nastaveniach nasledovalo priradenie koncového efektoru robotu a to prostredníctvom okna „Mount Tool“.

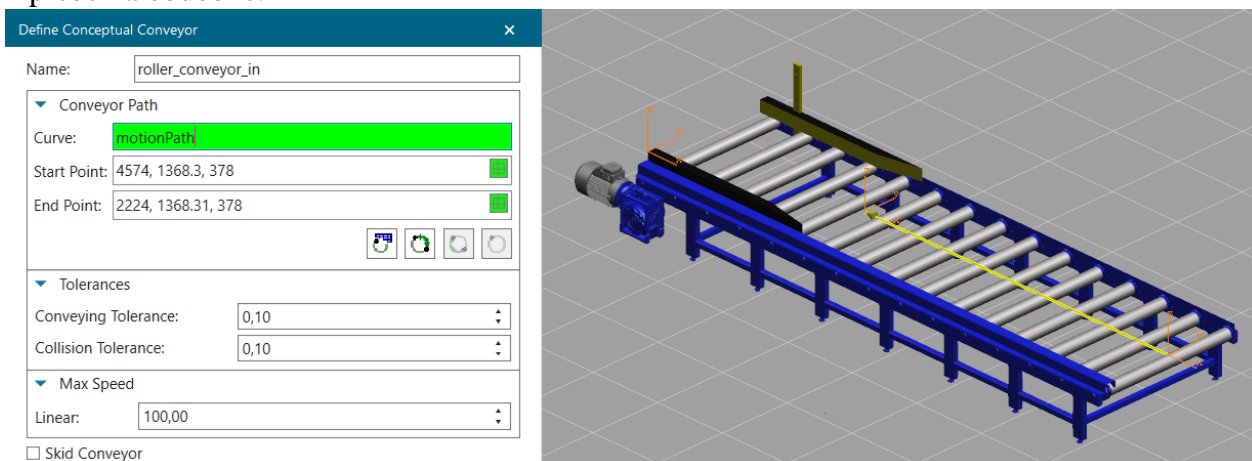
Robot Name	Controller			Motion Planner	RRS		Virtual Robot Controller			
	Name	Version	RCS Version		Manipulator Type	Status	Host	Port	Name	Program Points
jRB5710_MH3_90kg	Abb-Rapid	6.11 RW6		MOP		-----				
irb2600_20_185_03	Abb-Rapid	6.11 RW6		MOP		-----				

Obr. 42) Nastavenie robotických kontrolérov

Dopravníky

Na začiatku sa objekt definuje ako dopravník a v modelovacom stave sa mu vytvorí začiatkový a koncový bod. Medzi tieto dva body bola vložená krivka, ktorá predstavuje dráhu pohybu materiálu. Následne sa v záložke „Control“ zvolila možnosť „Define Conveyor“. V zobrazenom okne na obr. 43 sa potom zvolila krivka pohybu materiálu, rýchlosť pohybu a tolerancie od ideálnej dráhy.

Dopravníku sa vytvorí taktiež riadiaca logika vo forme „Logic Bloku“ s ovládacími signálmi, ktorá bude viac popísaná v ďalších kapitolách. Definícia ostatných dopravníkov prebehla obdobne.

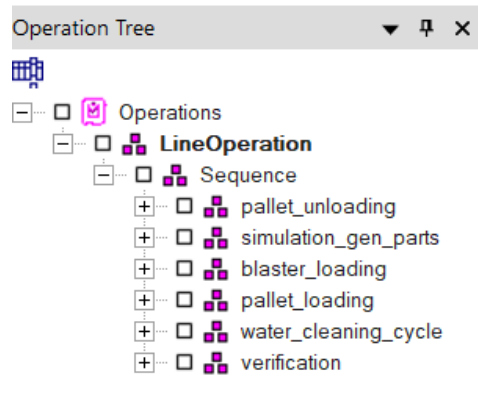


Obr. 43) Definovanie paletového dopravníku

6.4 Tvorba operácií a robotických programov

Operácie predstavujú jednotlivé činnosti, ktoré sa v simulácii vykonávajú a nachádzajú sa v záložke „Operations“. Bolo použitých niekoľko typov operácií:

- „New Compound Operation“ – Združuje viaceré operácie do menších celkov. Bolo vytvorených niekoľko takýchto hlavných operácií, ktoré zahŕňajú manipulačné činnosti alebo generovanie simulovaných súčiastok pre konkrétne časti pracovného cyklu. Operácie súvisiace s generovaním a ukončovaním vizualizácie súčiastok sú sústredené v „simulation_gen_parts“ pričom v ostatných záložkách sú združené manipulačné a robotické operácie,
- „New Non – Sim Operation“ – Je to operácia, ktorá nie je naviazaná k žiadnej konkrétnej vizualizovanej súčiastke. Pre jej definovanie sa použije len názov a cieľová nadradená Compound Operation. Tento typ operácie bol v rámci práce použitý pre ukončovanie vizuálneho zobrazovania súčiastok a to po dokončení cyklu, resetovaní, alebo pred spustením nasledujúcej operácie s rozdielnym charakterom,
- „New Object Flow Operation“ – Tento typ operácie je možné využiť pre vytvorenie samotného pohybu medzi 2 bodmi či po dráhe. Taktiež pre generovanie súčiastok, ktorými je možné ďalej manipulovať pomocou robotu, dopravníku alebo zariadenia napr. obr. 45/a). K operácii je naviazaná konkrétna súčiastka a je možné definovať aj ostatné parametre ako napríklad úchopový súradnicový systém alebo dobu trvania,
- New Generic Robotic Operation – Táto operácia bola vytvorená konkrétne pre každú robotickú manipuláciu, alebo činnosť technologického charakteru. Pre jej definovanie je nutné určiť robot ktorý operáciu vykonáva, nástroj ktorý nesie či prípadne nadradenú Compound Operation. Vytvorenie operácie pre manipuláciu odlietkom je na obr. 45/b).



Obr. 44) Združené operácie

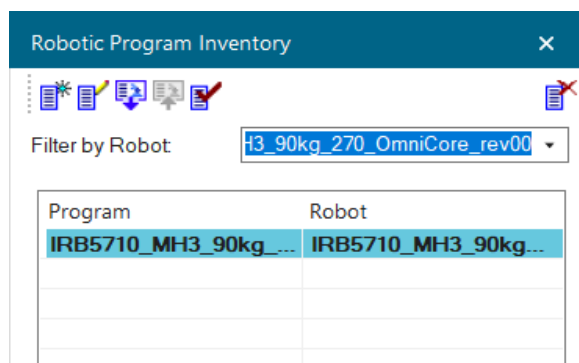
a) Vytvorenie object flow operácie

b) Vytvorenie robotickej operácie

Obr. 45) Tvorba operácií

Do vytvorených robotických operácií je následne potrebné vložiť body v priestore, ktoré tvoria trajektóriu robotu. Pre konkrétne body je možné nastaviť konfiguráciu robotu, nástrojové dáta, dáta pracovného objektu, typ pohybu, rýchlosť, OLP príkazy, atď. V rámci OLP príkazov sa nastaví ovládanie koncového efektoru, prípadne riadenie signálov.

Následne bol z takto pripravených robotických operácií vytvorený program pre robot. Robotický program sa vytvoril priamo v ponuke u robotu a to v záložke „Robotic Program Inventory“. Po jeho vložení do Path Editoru sem boli presunuté jednotlivé operácie, ktorým sa priradilo číslo v kolónke „Path#“. Prostredníctvom tohto čísla bude neskôr prebiehať spúšťanie jednotlivých programov.



Obr. 46) Robotický program

Paths & Locations	Config	Tool Da...	Wobj D...	Motion ...	Speed ...	Zone D...	Load D...	OLP Commands	Duration	Path #
IRB5710_MH3_90kg_270_OmniCore_rev00...									21.81	650
pallet_pick									26.75	660
pallet_pick_1									26.95	670
pallet_pick_2									13.29	10
cast_pick_1									13.09	20
cast_pick_2									13.58	30
cast_pick_3									13.28	40
cast_pick_4									12.99	50
cast_pick_5									12.58	60
cast_pick_6									13.24	70
cast_pick_7									12.76	80
cast_pick_8									15.25	90
cast_pick_9									12.77	100

Obr. 47) Zobrazenie robotického programu v Path Editor

6.5 Ovládacie signály a logické bloky

Signály slúžia pre riadenie zariadení, operácií, či ako spätná väzba v kombinácii so senzormi. Rozdeľujú sa na výstupné a vstupné, avšak pri práci s programom Process Simulate je nutné brať ohľad na ich označovanie, ktoré je z pohľadu PLC. Všeobecné signály je možné vytvoriť v okne „Signal Viewer“, u robotov sa tvoria signály robotické a je možné ich tvoriť aj priamo v logických blokoch.

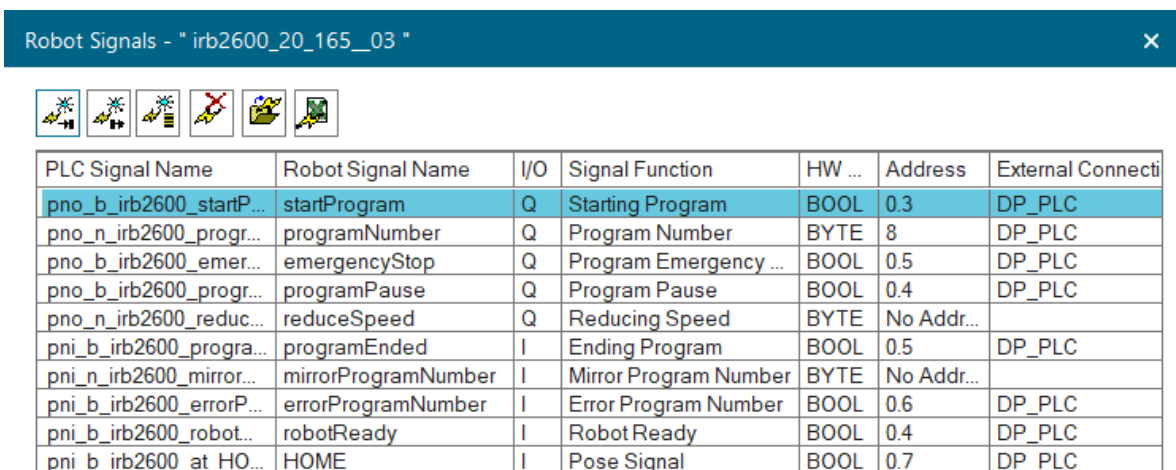
Signal Name	Type	Robot Signal Name	Address	IEC Format	PLC Connected	External Connect	Resource	Comment	Memory
pno_b_IRB5710_startProgram	BOOL	startProgram	0.0	Q0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	DP_PLC	● IRB5710_MH3_90k		<input type="checkbox"/>
pno_b_IRB5710_programPause	BOOL	programPause	0.1	Q0.1	<input checked="" type="checkbox"/>	DP_PLC	● IRB5710_MH3_90k		<input type="checkbox"/>
pno_b_IRB5710_emergencyStop	BOOL	emergencyStop	0.2	Q0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	DP_PLC	● IRB5710_MH3_90k		<input type="checkbox"/>
pno_b_irb2600_startProgram	BOOL	startProgram	0.3	Q0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	DP_PLC	● irb2600_20_185_		<input type="checkbox"/>
pno_b_irb2600_programPause	BOOL	programPause	0.4	Q0.4	<input checked="" type="checkbox"/>	DP_PLC	● irb2600_20_185_		<input type="checkbox"/>
pno_b_irb2600_emergencyStop	BOOL	emergencyStop	0.5	Q0.5	<input checked="" type="checkbox"/>	DP_PLC	● irb2600_20_185_		<input type="checkbox"/>
b_roller_conveyor_out_Stop	BOOL		0.6	Q0.6	<input checked="" type="checkbox"/>	DP_PLC	● roller_conveyor_ou		<input type="checkbox"/>
b_roller_conveyor_out_Start	BOOL		0.7	Q0.7	<input checked="" type="checkbox"/>	DP_PLC	● roller_conveyor_ou		<input type="checkbox"/>
pni_b_IRB5710_robotReady	BOOL	robotReady	0.0	I0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	DP_PLC	● IRB5710_MH3_90k		<input type="checkbox"/>
pni_b_IRB5710_programEnded	BOOL	programEnded	0.1	I0.1	<input checked="" type="checkbox"/>	DP_PLC	● IRB5710_MH3_90k		<input type="checkbox"/>
pni_b_IRB5710_errorProgramNum	BOOL	errorProgramNumber	0.2	I0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	DP_PLC	● IRB5710_MH3_90k		<input type="checkbox"/>
pni_b_IRB5710_at_HOME	BOOL	HOME	0.3	I0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	DP_PLC	● IRB5710_MH3_90k		<input type="checkbox"/>

Obr. 48) Vytvorené výstupné (v hornej časti) a vstupné signály

Na obr. 48 je pohľad na vytvorené signály v okne „Signal Viewer“. Signály majú priradené adresy a prepojenie s externým PLC, čo znamená, že budú prenášané cez komunikačné rozhranie. Je tu taktiež zobrazený názov signálu, dátový typ, priradenie k robotu či použitie signálu v logickom bloku.

6.5.1 Robotické signály

Boli vytvorené pre každý robot v pracovisku zvlášť. Keďže Process Simulate nebude prepojený s ďalším externým programom, pre simuláciu reálneho chovania robotov sú vytvorené základné robotické signály.



PLC Signal Name	Robot Signal Name	I/O	Signal Function	HW ...	Address	External Connecti
pno_b_irb2600_startP...	startProgram	Q	Starting Program	BOOL	0.3	DP_PLC
pno_n_irb2600_progr...	programNumber	Q	Program Number	BYTE	8	DP_PLC
pno_b_irb2600_emer...	emergencyStop	Q	Program Emergency ...	BOOL	0.5	DP_PLC
pno_b_irb2600_progr...	programPause	Q	Program Pause	BOOL	0.4	DP_PLC
pno_n_irb2600_reduc...	reduceSpeed	Q	Reducing Speed	BYTE	No Addr...	
pni_b_irb2600_progra...	programEnded	I	Ending Program	BOOL	0.5	DP_PLC
pni_n_irb2600_mirror...	mirrorProgramNumber	I	Mirror Program Number	BYTE	No Addr...	
pni_b_irb2600_errorP...	errorProgramNumber	I	Error Program Number	BOOL	0.6	DP_PLC
pni_b_irb2600_robot...	robotReady	I	Robot Ready	BOOL	0.4	DP_PLC
pni_b_irb2600_at_HO...	HOME	I	Pose Signal	BOOL	0.7	DP_PLC

Obr. 49) Robotické signály pre robot ABB IRB 2600

Medzi tie najdôležitejšie signály pre chod robotu, ktoré boli použité patrí:

- „programNumber“ – Do tejto premennej je posielané číslo programu, ktorý sa má následne spustiť. Základný dátový typ je BYTE, avšak pri manipulačnom robote musel byť použitý typ INT z dôvodu väčšieho množstva programov,
- „startProgram“ – Po prechode do stavu TRUE spustí robotický program podľa nastaveného čísla,
- „programPause“ – Pre zastavovanie programu, napríklad pri vstupe do pracoviska,
- „emergencyStop“ – Núdzové zastavenie robotu, pri porušení bezpečnostných opatrení alebo v dôsledku stlačenia tlačidla núdzového zastavenia,
- „programEnded“ – Signál, ktorý predstavuje spätnú väzbu o dokončení programu pre PLC,
- „errorProgramNumber“ – Zabezpečuje informáciu o zadaní nesprávneho čísla programu,
- „robotReady“ – V momente, kedy robot nevykonáva žiadnu činnosť je tento signál v stave TRUE,
- „HOME“ – Signál je v stave TRUE, keď sa robot nachádza v HOME pozícii.

6.5.2 Logické bloky

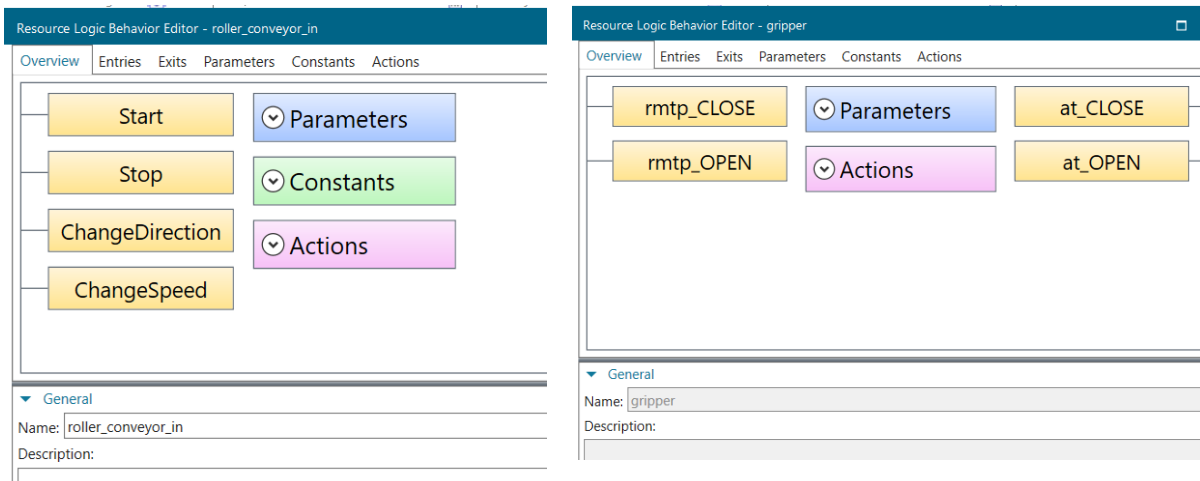
Logické bloky sa viažu k určitým zariadeniam, kedy je v nich prepojená vnútorná logika ovládania s vonkajšími signálmi. Môžu byť použité aj pre jednoduché prepojenie signálov.

Logický blok dopravníkov

Skladá sa z vstupov a vnútornej logiky. Na vstupné premenné logického bloku Start, Stop a Change Direction sú privedené príslušné všeobecné signály s adresou a napojením k PLC. Po zmene stavu niektorých z týchto signálov dochádza k aktivácii logického bloku, kde sa prostredníctvom prvku „Actions“ spustí požadovaná činnosť.

Logický blok koncového efektoru

Obsahuje vstupné aj výstupné premenné, kedy pri aktivácii niektorých z dvoch vstupov dochádza k vykonaniu príslušnej akcie. Jedná sa napríklad o pohyb úchopových čeľustí do pozície CLOSE a upnutie objektu v stave, kedy je nastavený signál „rmtpl_CLOSE“ na hodnotu TRUE. Výstupné signály potom predstavujú spätnú väzbu koncového efektoru a stávajú sa aktívne po fyzickom dosiahnutí danej polohy, čo môže slúžiť ako kontrola samotného upnutia. Výstupné vnútorné signály boli prepojené s adresnými signálmi pre komunikáciu s PLC, kde budú využité pre riadenie priebehu procesu.



a) Logický blok dopravníku

b) Logický blok koncového efektoru

Obr. 50) Logické bloky v prostredí programu Process Simulate

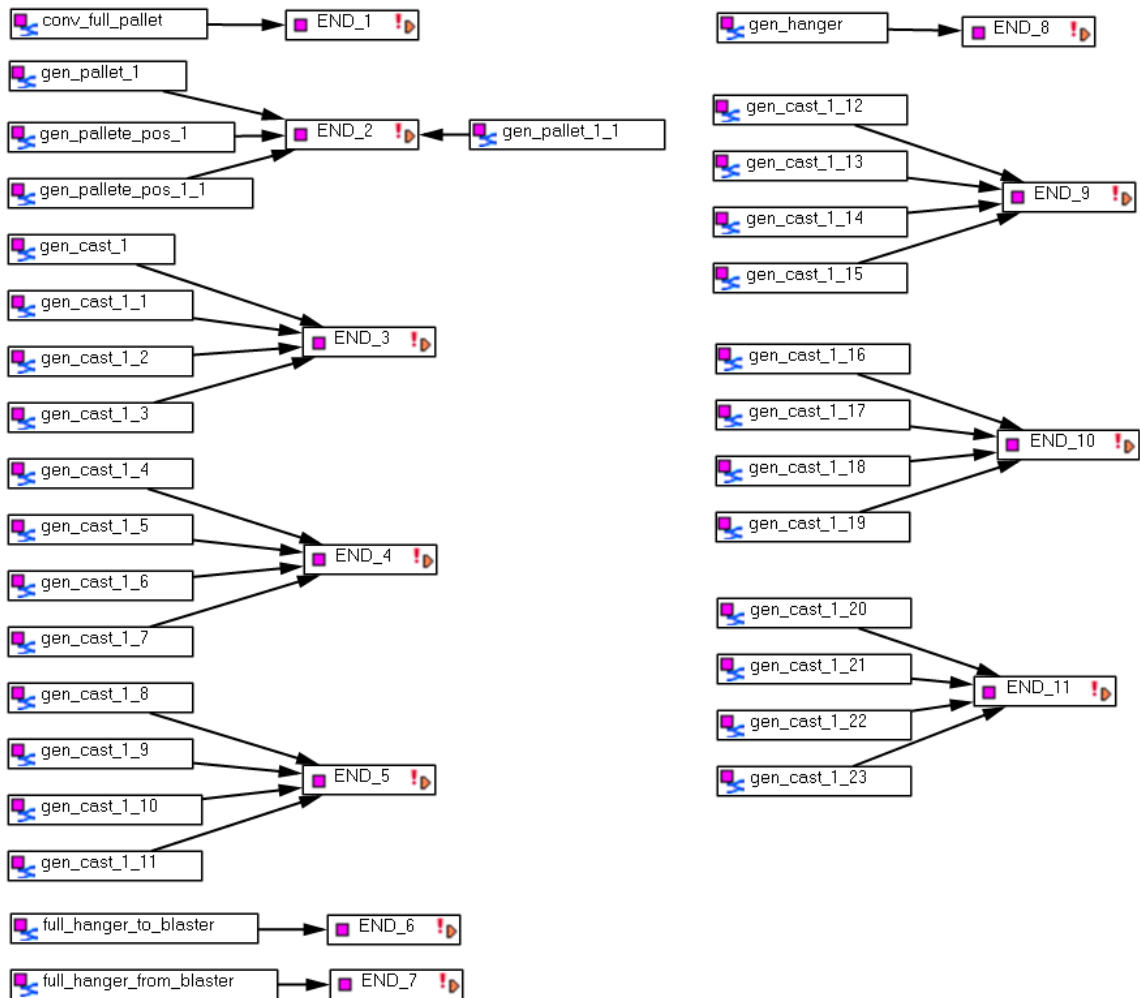
Logický blok pre generovanie súčiastok

Tento blok slúži pre priradenie väčšieho množstva signálov riadiacich operácie za pomoci niekoľkých adresovaných signálov z PLC. Bol použitý z dôvodu zníženia počtu použitých signálov obsluhujúcich generovanie súčiastok pre účely simulácie.

6.6 Materiálový tok

Je jedným z najpodstatnejších prvkov, ktoré je potrebné nakonfigurovať pre spoľahlivý priebeh simulácie v Line Simulation Mode. Materiálový tok bol nastavený v okne „Material Flow Viewer“, do ktorého sa vkladajú jednotlivé operácie s „Operation Tree“. Jeho účelom je, aby dochádzalo k samotnému generovaniu vizuálneho zobrazenia súčiastok a ich zanikaniu. Medzi tieto dve operácie generovania a zanikania sa potom vkladajú tie, do ktorých v priebehu existencie zobrazené súčiastky vstupujú.

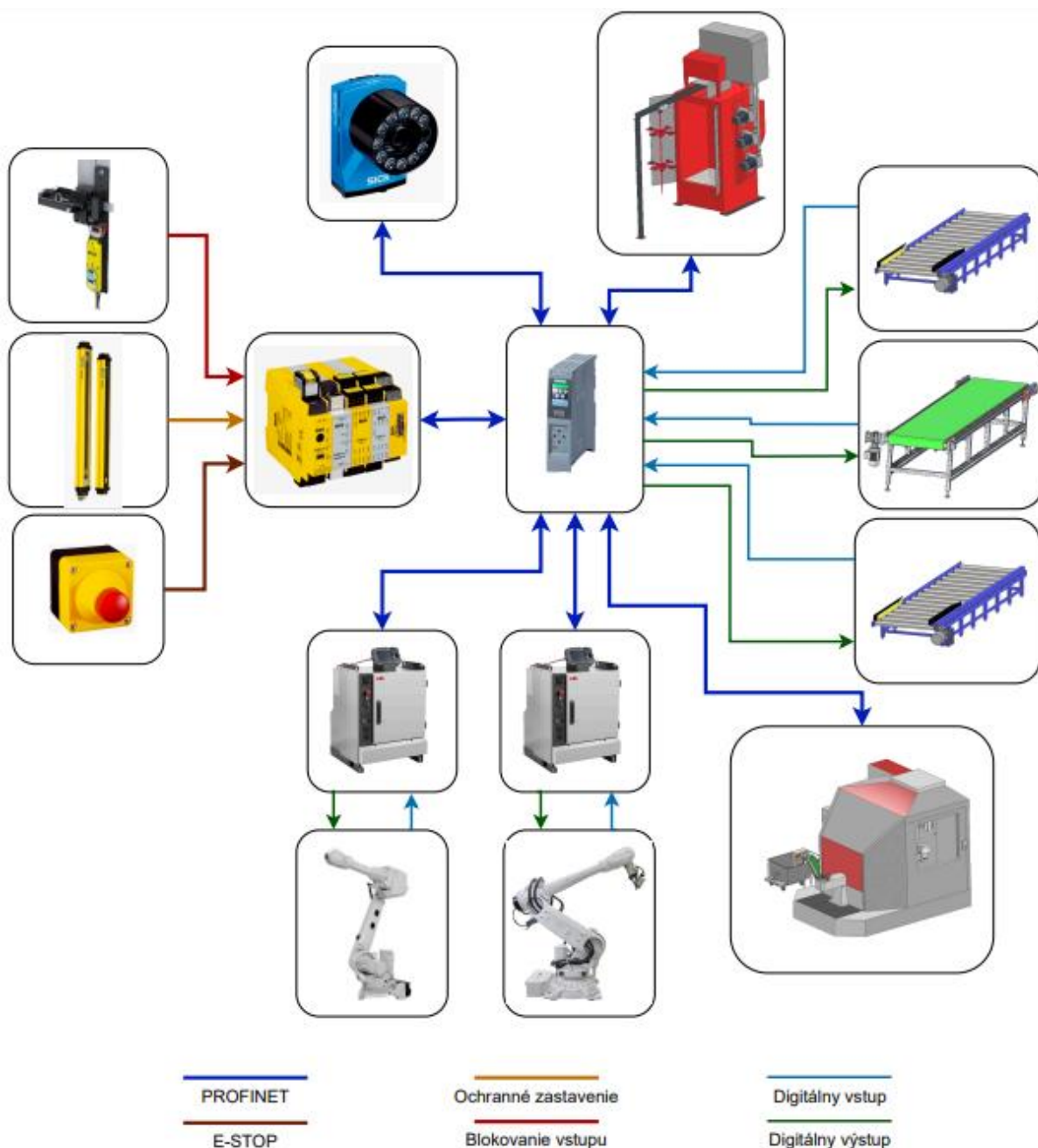
Takto prepracovaný materiálový tok je dôležitý obzvlášť pri simulácii, kedy beh programu zabezpečuje samotný Process Simulate (Cyclic Event Evaluation). V tomto konkrétnom prípade bude beh programu prebiehať na PLC. To znamená, že operácie sú spúšťané výhradne signálmi, ktoré sú k nim pripojené. Vytvorený materiálový tok bol tak zjednodušený do podoby na obr. 51, kedy na začiatku sú modely zobrazené a je možné s nimi v simulácii vykonávať požadované akcie. V momente, kedy je potrebné modely súčiastok vymazať sa potom spustí operácia „END_x“. V okamihu, kedy do „END_x“ vstupuje viacero operácií dochádza k eliminácii všetkých modelov do nich vstupujúcich.



Obr. 51) Materiálový tok

7 NÁVRH RIADENIA A HMI

Obsahom tejto kapitoly je popis štruktúry riadenia, komunikácie medzi jednotlivými zariadeniami, programu a používateľského rozhrania. Keďže sa jedná o pomerne komplexnú bunku, bolo zvolené riadenie nadradeným PLC. Do tohto PLC by pri reálnej stavbe pracoviska takéhoto rozsahu vstupovalo a vystupovalo množstvo signálov spojených s ovládaním zariadení a signálov informujúcich o ich stave. Samotný proces a ovládanie vyžaduje rovnako pomerne zložitý program, čomu je potrebné prispôbiť voľbu PLC. Komunikácia medzi jednotlivými zariadeniami, senzormi, používateľským rozhraním či kontrolérmi robotov bude potom sprostredkovaná bežne používanými protokolmi, akými sú napríklad Profinet či IO-Link.



Obr. 52) Schéma komunikácie pracoviska

7.1 Riadiace zariadenia

PLC

Ako už bolo spomenuté, o najvyššiu úroveň riadenia sa bude starať PLC. PLC sa volí s ohľadom na požadovaný výkon, jeho funkciu, veľkosť pamäti pre program, modularitu či rôzne rozšírenia. Pre toto konkrétne pracovisko bolo zvolené PLC od firmy Siemens a to presnejšie model SIMATIC S-7-1500 s procesorom 1511-1 PN. Tento model ponúka 150 KB pamäti pre program a 1 MB pre dáta. Model je možné rozširovať o rôzne moduly. Tieto rozšírenia môžu slúžiť pre priame pripojenie vstupov a výstupov, prípadne pre komunikáciu po rôznych protokoloch.

Robotické kontroléry

Každý z robotov bude mať priradený vlastný kontrolér. Kontrolér je spravidla od rovnakého výrobcu ako robot a obstaráva sa spolu s ním. Pre aplikáciu v pracovisku je zvolený typ IRC 5. Tento kontrolér bude slúžiť predovšetkým pre ovládanie pohybov robotu, výpočet dráh a komunikáciu s koncovým efektorom. Taktiež bude komunikovať s hlavným PLC, kedy bude prijímať signály súvisiace so spúšťaním či zastavovaním pohonov, nahrávaním programov a ich následným spúšťaním. Ako spätnú väzbu bude odosielať informácie o aktuálnom stave robotu, alebo informácie o stave bezpečnostných okruhov.

Bezpečnostná jednotka

Existuje množstvo bezpečnostných jednotiek, z ktorých každá umožňuje rôznu stupeň programovania bezpečnostných funkcií či modularity. Táto jednotka typicky umožňuje prepojenie jednotlivých bezpečnostných zariadení a ich ovládanie. Bude taktiež prepojená s PLC čo umožní ich vzájomné ovládanie.

Riadenie tryskacieho zariadenia

Toto zariadenie bude mať integrované vlastné PLC. PLC bude obsahovať program, ktorý bude schopný riadiť celý cyklus tryskania a taktiež pripojené filtračné zariadenie. Bude komunikovať s nadradeným PLC prostredníctvom Profinet-u a to hlavne s informáciami o štarte, pozastavení, obnovení, chybe, resetovaní či skončení pracovného cyklu.

7.2 PLC program

Pre tvorbu programu bol využitý softvér od výrobcu Siemens a to TIA Portal v18. Na začiatku bolo nutné zvoliť vybrané PLC. Potom nasledovala tvorba adresovaných vstupných a výstupných signálov v záložke „PLC tags“, ktoré budú slúžiť pre komunikáciu s programom Process Simulate. V reálnom prevedení systému by sa tieto signály prepájali priamo k fyzickým zariadeniam prostredníctvom komunikácie.

	Name	Tag table	Data type	Address ▲	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...
50	b_gen_full_hanger_part_2	Default tag table	Bool	%Q4.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
51	b_END_10_start	Default tag table	Bool	%Q4.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
52	b_gen_full_hanger_part_3	Default tag table	Bool	%Q4.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
53	b_END_11_start	Default tag table	Bool	%Q4.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
54	pno_n_IRB5710_programNum...	Default tag table	Uint	%QW5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
55	pno_n_irb2600_programNum...	Default tag table	Byte	%QB7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

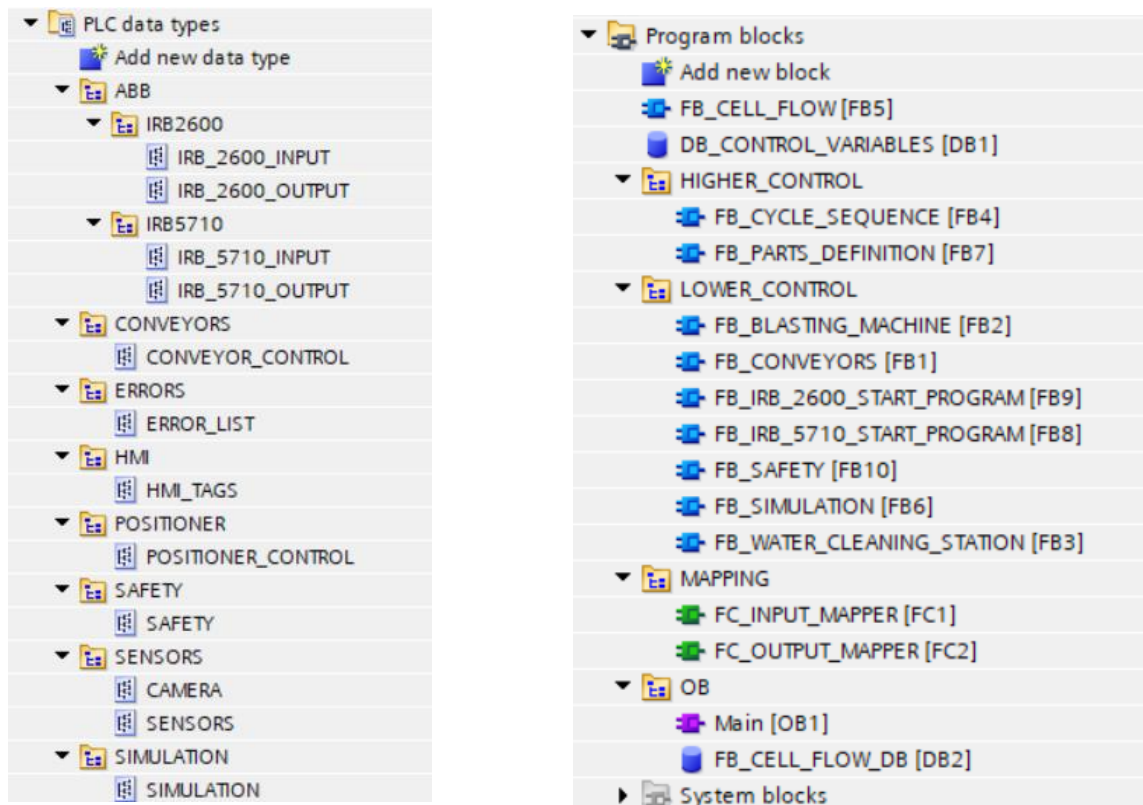
Obr. 53) Signály v programe TIA Portal

Na obr. 53 je príklad niekoľko vytvorených signálov. Tieto konkrétne signály sú výstupné a majú priradené rôzne dátové typy. Dátový typ Bool zaberá 1 Bit pamäte, to znamená, že v jednom Byte je možné mať týchto signálov celkovo 8.

Pre výber robotického programu, ktorý bude spustený je však vyžadované, aby bola odosielaná premenná v číselnom tvare. To znamená, že u signálu s číslom programu bol pre robot IRB 2600 zvolený dátový typ Byte, umožňujúci zadávanie čísiel v rozsahu 0-255. V tomto prípade signál zaberá celý Byte, na obrázku konkrétne „QB7“.

Pre robot IRB 5710 je počet programov podstatne vyšší, z tohto dôvodu bola zvolená premenná UINT s rozsahom hodnôt 0-65535 zaberajúca 2 celé Byte (na obrázku sa jedná o signál s adresou „QW5“).

Po vytvorení signálov prišla na rad tvorba dátových štruktúr, obsahujúcich potrebné signály v záložke „PLC data types“. Vytvorenie týchto zložiek so signálmi má za cieľ priniesť do programu vyššiu prehľadnosť, čo je obzvlášť pri komplikovanejších programoch nezanedbateľnou výhodou. Signály z týchto zložiek boli následne prepojené do dátovej štruktúry v záložke „Program blocks/DB_CONTROL_VARIABLES“ a priradené prostredníctvom funkcií „FC_INPUT_MAPPER“ a „FC_OUTPUT_MAPPER“ k premenným v „PLC tags“.



a) Dátové štruktúry

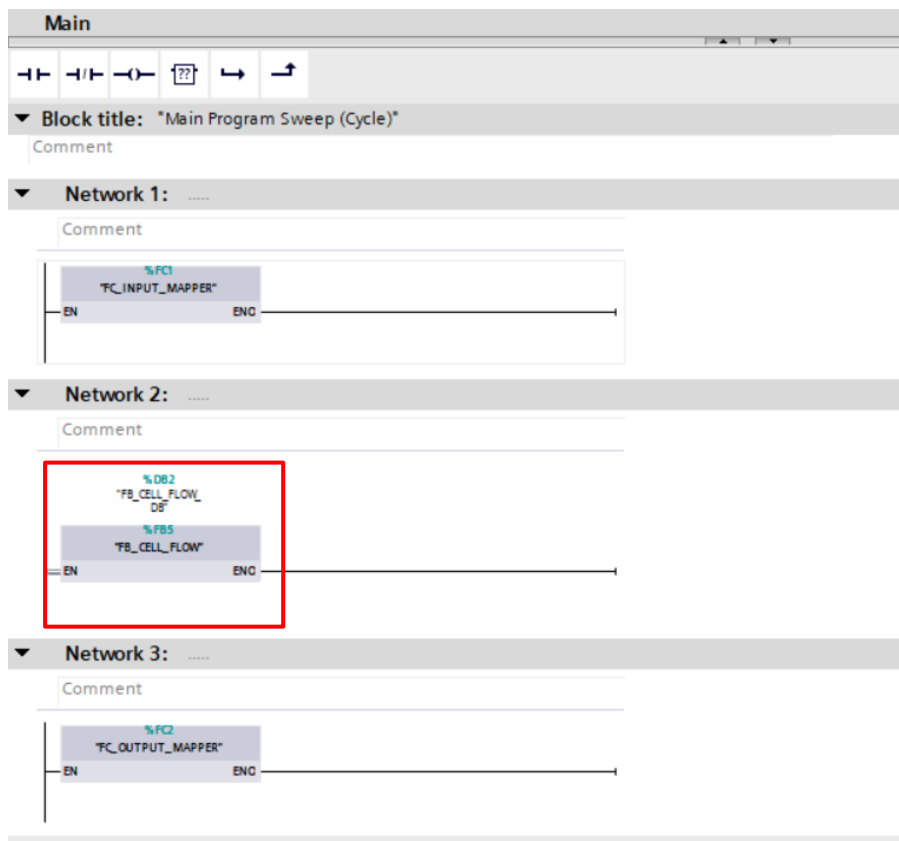
b) Programové bloky

Obr. 54) Štruktúra dát a programových blokov programu

V ďalšom kroku bola vytvorená zložka s názvom „LOWER_CONTROL“, a v nej jednotlivé funkčné bloky nižšej úrovne riadenia. Takáto úroveň nižšieho riadenia poskytuje zjednodušenie hlavného programu, kedy sa vytvoria menšie čiastkové programy volané programovým blokom vyššej úrovne riadenia. To znamená, že funkčné bloky zo záložky „HIGHER_CONTROL“ priradujú jednotlivé signály k tým z „LOWER_CONTROL“. Analogicky to funguje s priradením premenných k funkčným blokom zo záložky „HIGHER_CONTROL“, kde sú signály priradené v najvyššom funkčnom bloku „FB_CELL_FLOW“.

Jednotlivé funkčné bloky taktiež obsahujú premenné (vnútorné signály) a konštanty pre svoj vlastný chod, tie sa nachádzajú priamo vo funkčných blokoch. Na obr. 55 sa nachádza obrázok so zachyteným vnútro programu „Main“. Sú tu priradené signály k najvyššej úrovni funkčného bloku „FB_CELL_FLOW“ a to prostredníctvom jeho vlastného dátového bloku. Taktiež sa tu nachádza mapovanie signálov pomocou funkcií, ktoré zabezpečuje čítanie vstupných premenných na začiatku programu „Main“ a zapisovanie do výstupných premenných na konci tohto programu.

Program „Main“ je spracovávaný každú skenovaciu periódu PLC. Za túto periódu dochádza k spomenutému čítaniu a zápisu signálov pričom medzi tým sa spúšťa funkčný blok „FB_CELL_FLOW“ a ďalšie v ňom volané funkčné bloky.



Obr. 55) Program „Main“

7.2.1 Funkčné bloky

V nasledujúcich odstavcoch budú popísané tie najdôležitejšie funkčné bloky z hľadiska riadenia procesu a znázornené ich vývojové diagramy. Tieto funkčné bloky sú primárne prispôbené pre beh simulácie, to znamená, že v prípade implementácie do reálneho systému by prešli určitými zmenami. Toto sa týka napríklad odstránenia signálov spojených so simulačnou logikou (generovaním dielov, materiálovým tokom, a pod.) alebo doplnenia funkčných blokov súvisiacich s ovládaním reálnych robotov.

„FB_CYCLE_SEQUENCE“

Jedná sa o najrozsiahljší funkčný blok zo zložky „HIGHER_CONTROL“, ktorý riadi celý priebeh pracovného cyklu. Jeho základným znakom je riadenie prostredníctvom stavového automatu, štruktúrou CASE.

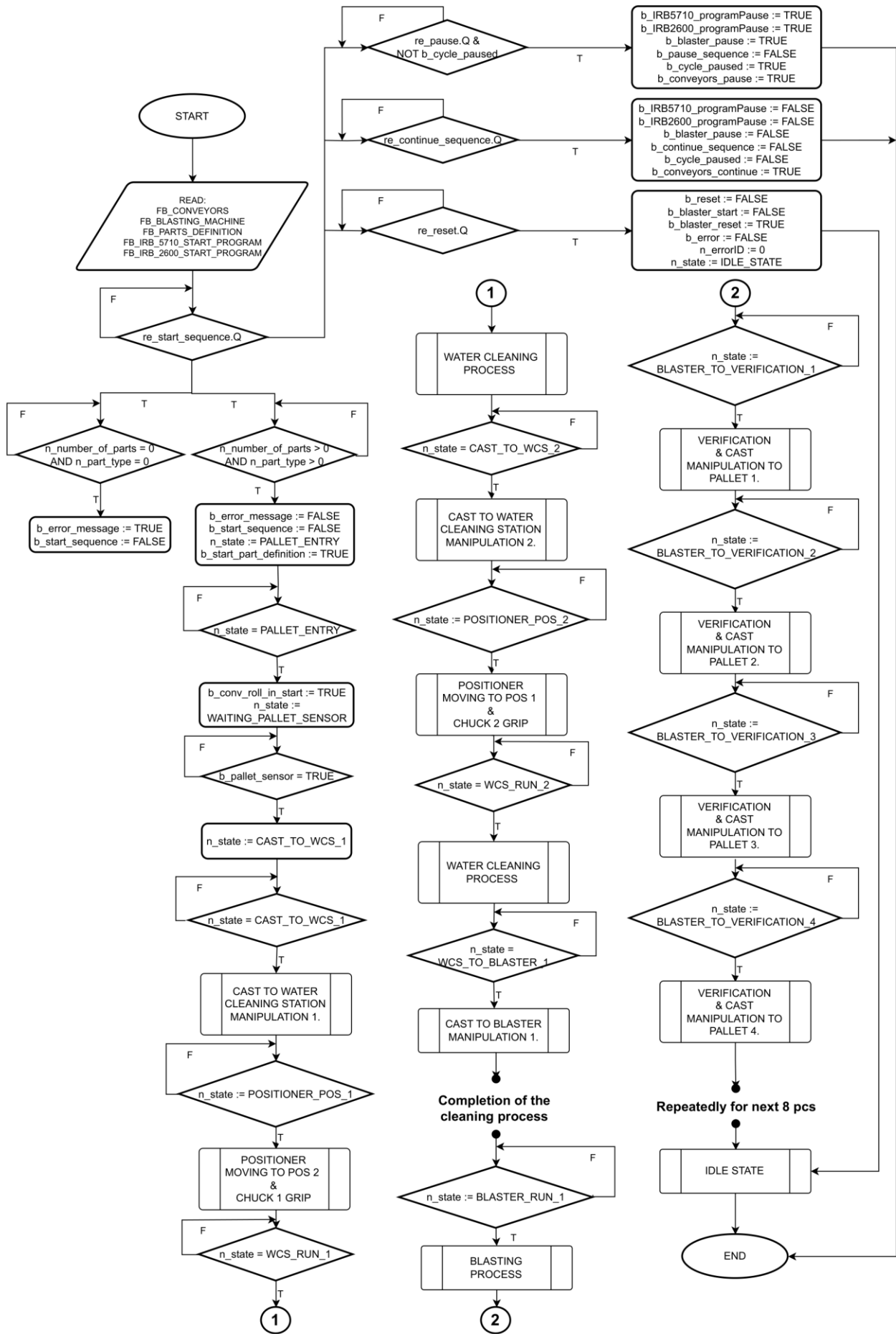
Vstupujú sem všetky funkčné bloky spojené s riadením pracoviska. Na obr. 56 je znázornený jeho vývojový diagram, v ktorom je z dôvodu vyššej zložitosti zobrazená len zjednodušená časť pracovného cyklu.

Funkčný blok je vo všeobecnosti riadený pomocou tlačidiel z používateľského rozhrania, patrí sem tlačidlo „Start Sequence“, „RESET“, „PAUSE“ a „CONTINUE“. Signály z týchto tlačidiel sú privedené do softvérových snímačov nástupných hrán, kedy po stlačení niektorého z nich dochádza k splneniu podmienky štruktúry IF a vykonaniu požadovaných operácií. V reálnom pracovisku by pred samotným umožnením spustenia tohto bloku muselo prebehnúť spustenie pohonov, avšak v stávajúcej konfigurácii, kedy sa jedná primárne o simuláciu bol tento krok vynechaný.

Pred spustením pracovného cyklu je nutné zadať typ odliatku, ktorý bude spracovávaný a počet odliatkových stromov nachádzajúcich sa na palete. Potom nasleduje spustenie prostredníctvom tlačidla „Start Sequence“. Na začiatku prebehne načítanie informácií z bloku „FB_PARTS_DEFINITION“, kde sa nachádzajú údaje o číslach robotických programov pre konkrétny typ odliatku a počet súčiastok na paletu. Spustením dochádza k aktivácii štruktúry CASE a jej prechodu do stavu „PALLET_ENTRY“, kde sa spúšťa dopravník a do pracoviska vstupuje naplnená paleta. Po príchode palety nastáva zakladanie prvého odliatku do polohovadla zariadenia pre odstraňovanie škrupín z odliatkov. Po otočení polohovadla sa spúšťa cyklus odstraňovania škrupiny, pričom sa do polohovadla založí 2. kus. Po ukončení čistenia prvého odliatku a otočení polohovadla sa začína čistiť 2. kus a manipulačný robot simultánne prekladá očistený odliatok do závesu tryskacieho zariadenia a ešte pred dokončením čistenia zakladá do polohovadla 3. kus. Takto cyklus pokračuje až do očistenia všetkých kusov umiestnených v hornom prípravku na paletu.

Po zaplnení háku tryskača dochádza k zavezeniu háku do vnútra tryskača a k spusteniu cyklu. Po jeho dokončení prichádza na rad manipulácia odliatkami pred kameru, ktorá zosníma, či je odliatok očistený správne alebo nesprávne (odošle signál). Robot pri tejto kontrole nasmeruje odliatok na kameru postupne z dvoch strán, kedy pri jeho zastavení pred kamerou vysielá kontrolér signál pre zosnímanie obrazu podľa programu. Podľa výsledku tejto verifikácie sa potom program rozhoduje či dôjde k založeniu do pripravenej palety alebo na dopravník pre nesprávne očistené kusy. Pri uvažovaní prípadu plne naloženej palety (12 ks) po tomto prišlo k spracovaniu prvých 4 ks a nasleduje odloženie horného prípravku pre prístup k ďalšej vrstve odliatkov. V prípade, že boli všetky kusy očistené správne, bol prípravok založený priamo na paletu na výstupnom dopravníku.

Tento proces sa pre ďalšie spracovanie kusov opakuje. Program je spracovaný tak, aby sa pri odložení nepodarkového kusu zakladal ďalší dobrý kus na jeho miesto a neprichádzalo k vynechaným miestam v prípravku. Toto vedie k uľahčeniu programovania v prípade požadovaného automatického spracovania v ďalšej operácii kedy sú odliatky naukladané postupne. Rovnako pri ťažších kusoch sa tieto nachádzajú na paletu nižšie a koncentrovane, čo vedie k nižšiemu ťažisku a vyššej bezpečnosti.



Obr. 56) Funkčný blok „FB_CYCLE_SEQUENCE“

„FB_IRB_5710_START_PROGRAM“

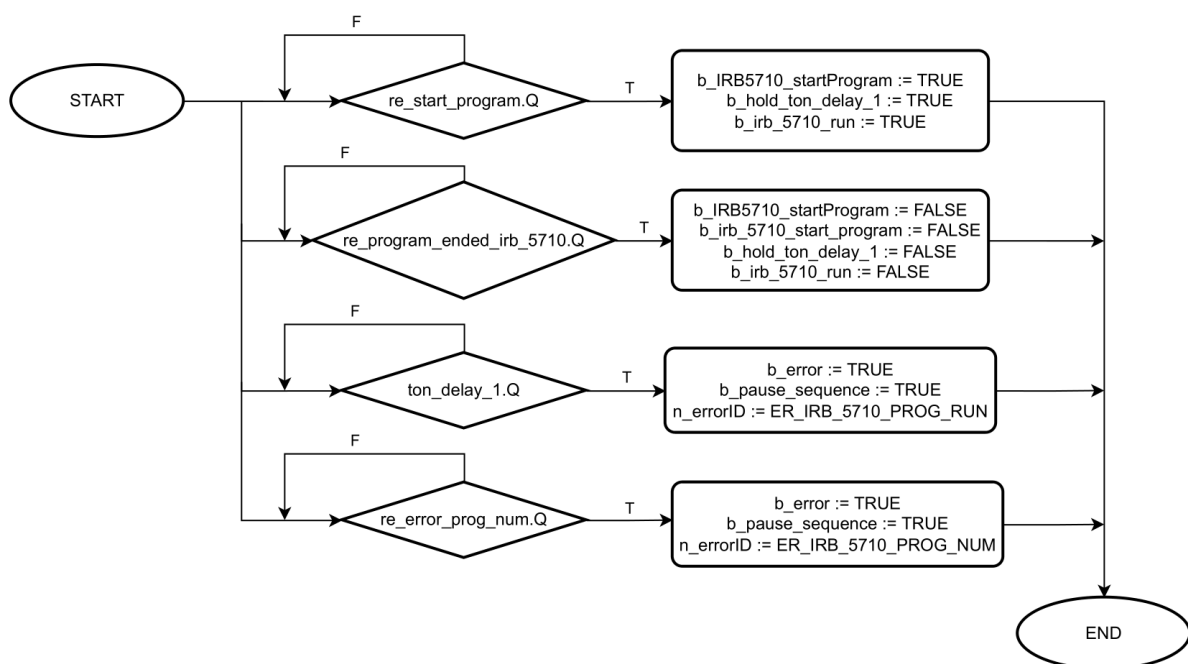
Služi primárne pre spúšťanie robotických programov a vyhodnocovanie prípadných problémov s ich spúšťaním alebo priebehom. Obdobný blok bol využitý aj pre riadenie spúšťania robotu IRB 2600. Aktivácia tohto bloku prebieha v sekvencii funkčného bloku „FB_CYCLE_SEQUENCE“ a to po nastavení príslušného čísla programu. Po jeho aktivácii dochádza k spusteniu robotu a pri dokončení programu sa signál pre spustenie resetuje. Pri prekročení stanoveného časového limitu pre dokončenie programov, alebo pri probléme so stanoveným číslom programu, dochádza k vypísaniu príslušných chybových označení.

„FB_CONVEYORS“

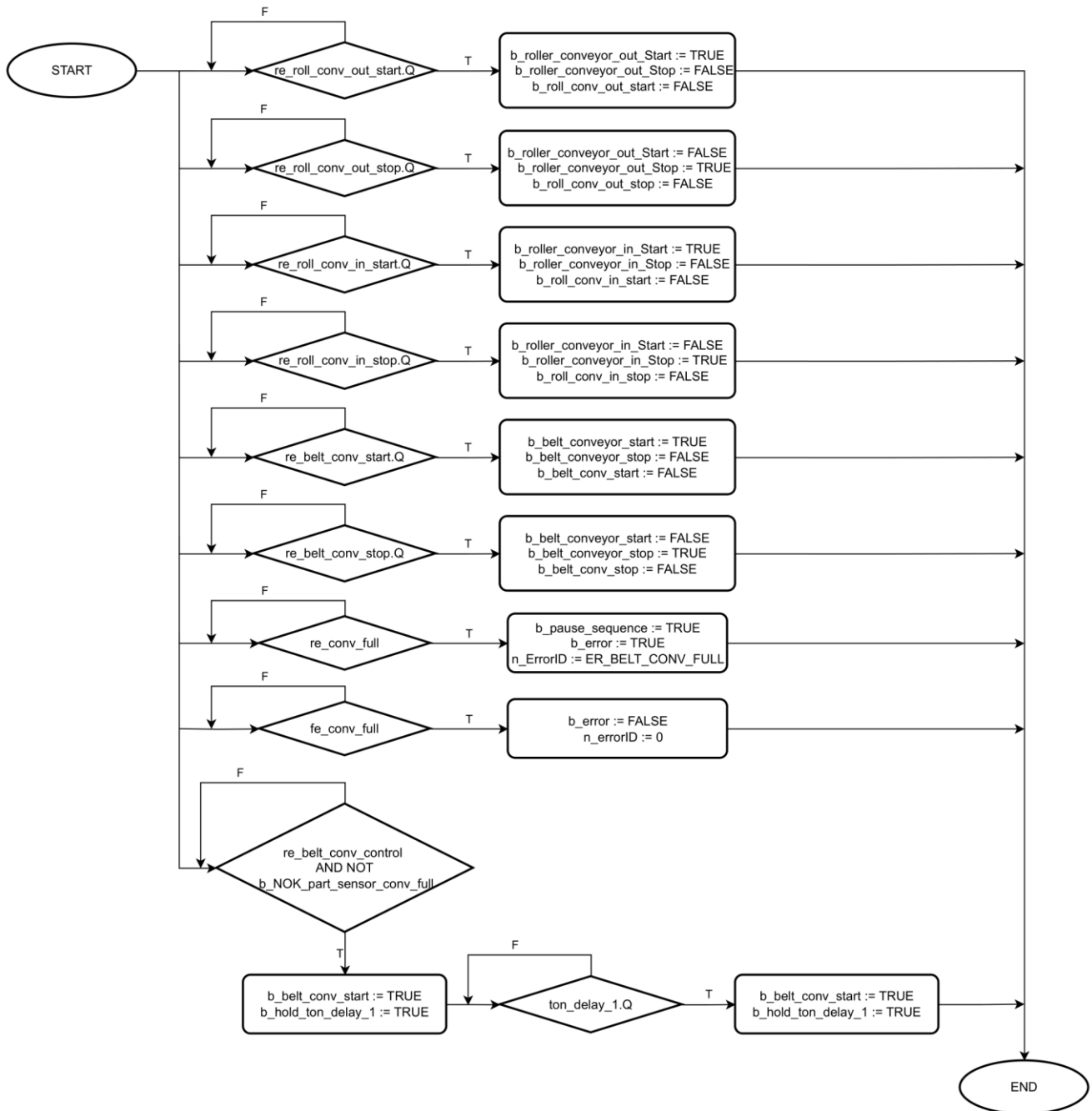
Tento funkčný blok riadi zapínanie a vypínanie príslušných dopravníkov spúšťaných v pracovnej sekvencii, čo vedie k zníženiu počtu signálov v nej používaných. V bloku sú použité detektory nábežných hrán spúšťacích signálov a ich výstupy priamo vstupujú do podmienok IF. Pri riadení pásového dopravníku po odložení nesprávne očisteného dielu zabezpečuje jeho zastavenie v prípade zaplnenia týmito kusmi. V tomto prípade sa na obrazovke používateľského rozhrania vypíše chybový kód a cyklus sa pozastaví až do odloženia týchto kusov pracovníkom.

„FB_BLASTING_MACHINE“

Služi pre riadenie simulácie tryskacieho cyklu, kedy je snahou nasimulovať ovládanie integrovaného PLC tryskacieho zariadenia. Vstupom do funkčného bloku sú informácie o štarte tryskacieho cyklu, pauzovaní, resetovaní či počte tryskaných kusov. Hlavným prvkom tohto bloku je štruktúra CASE a popri riadení cyklu sa stará taktiež o vizualizáciu materiálového toku. Tento cyklus pozostáva z ovládania pojazdu závesného háku, ovládania dverí tryskača, generovania nových súčiastok a časového oneskorenia, ktoré predstavuje tryskanie v komore. Pri reálnom zariadení by bolo potrebné brať ohľad na polohovanie samotného háku, tak aby zastavoval vždy v požadovanej polohe pre manipuláciu robotom.



Obr. 57) Funkčný blok „FB_IRB_5710_START_PROGRAM“

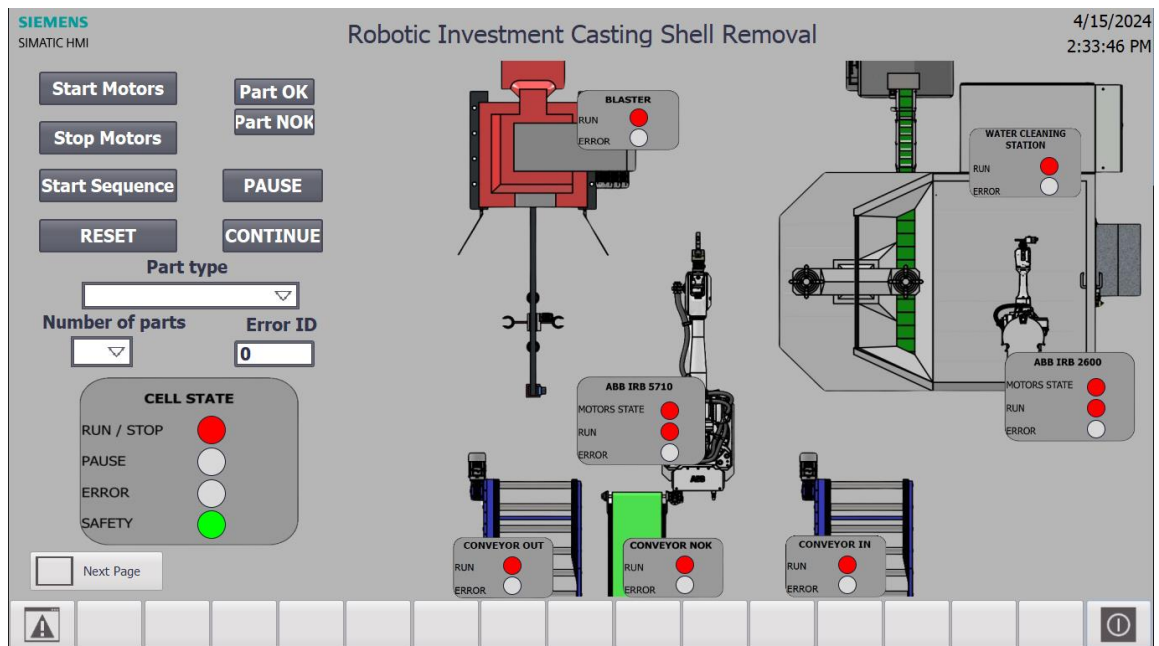


Obr. 58) Funkčný blok „FB_CONVEYORS“

7.3 HMI

Alebo aj používateľské rozhranie predstavuje platformu pre ovládanie pracoviska personálom. Najčastejšie sa jedná o rôzne panely s ovládacími tlačidlami, klávesnicami či priamo panely s dotykovou obrazovkou.

V tomto konkrétnom prípade bol zvolený dotykový panel používateľského rozhrania od výrobcu Siemens a to konkrétne TP1900 Comfort s 19 palcovou obrazovkou a štandardným komunikačným rozhraním Profinet. Z dôvodu väčšej rozlohy pracoviska sú zvolené tieto panely 2 a budú umiestnené pri oboch servisných vstupoch do pracoviska.



Obr. 59) Návrh používateľského rozhrania

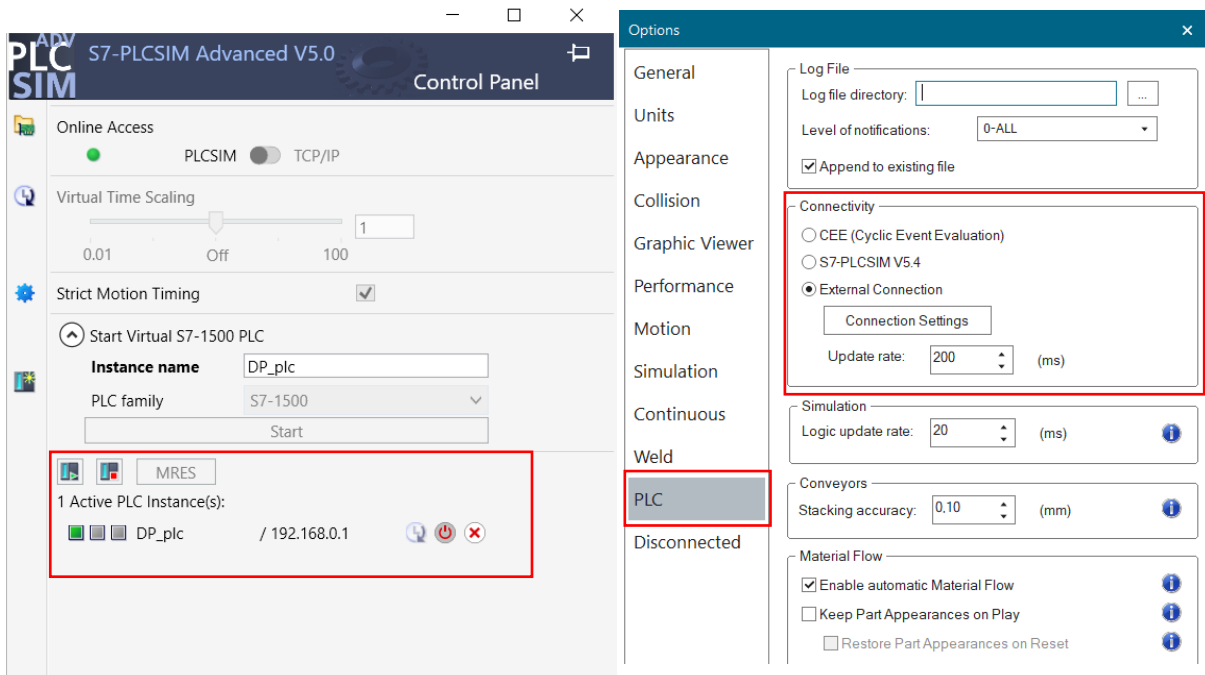
Pre výber tohto konkrétneho panelu a jeho konfiguráciu bol podobne ako pre programovanie použitý program TIA Portal, ktorý ponúka paletu nástrojov pre jeho návrh. Na začiatku boli vytvorené ovládacie tlačidlá pre simuláciu spúšťania/zastavovania pohonov, inicializáciu pracovného cyklu, jeho pozastavenie, a pod. Pre voľbu typu odliatku a počtu kusov na palete slúžia polia s možnosťou výberu. Obrazovka taktiež znázorňuje bunky s indikátormi stavu pracoviska a jednotlivých komponentov.

Po vytvorení vizuálnej stránky obrazovky nasledovala tvorba signálov pre prepojenie s ovládacími prvkami a indikátormi. Tieto signály boli vytvorené v záložke „HMI tags“ a prepojené s príslušnými signálmi od PLC a to z dátovej štruktúry „DB_CONTROL_VARIABLES“. U návrhu používateľského rozhrania je potrebné brať ohľad aj na možné nechcené stlačenie niektorého z tlačidiel, ktoré by mohlo spôsobiť škody či zbytočné zastavenia cyklu. Z tohto dôvodu je napríklad v priebehu pracovného cyklu obmedzené zadávanie do výberových polí alebo opätovné stlačenie tlačidla pre štart procesu. Na obrazovke sa nachádzajú aj tlačidlá „Part OK“ a „Part NOK“, ktorými je simulovaný signál z kamery a rozhoduje sa s nimi o stave odliatku v momente keď sa nachádza pred kamerou.

7.4 Simulácia

Bola využitá pre otestovanie chodu celého procesu vo virtuálnom prostredí. Výstupom z nej sú videá, ktoré sú súčasťou príloh práce ako samotný výsledok virtuálneho sprevádzkovania. Pre odsimulovanie daného procesu v stávajúcej konfigurácii je potrebné nastaviť programy Process Simulate a TIA Portal tak, aby medzi nimi prebiehala vzájomná výmena adresovaných signálov.

Toto prepojenie programov bolo sprostredkované prostredníctvom programu S7 - PLCSIM Advanced, kedy na začiatku bola s využitím tohto programu vytvorená inštancia emulovaného PLC s názvom „DP_plc“. To znamená, že program bude zabezpečovať simuláciu behu reálneho procesoru PLC. Po spustení vytvorenej inštancie s priradenou IP adresou (zvýraznenej na obr. 60 a)) bolo potrebné k nej pripojiť programy.

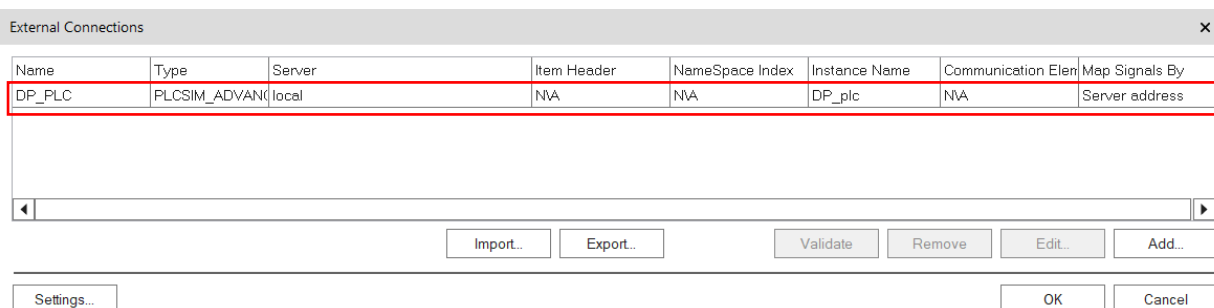


a) Nastavenie PLCSIM Advanced

b) Nastavenie Process simulate

Obr. 60) Prepojenie programov

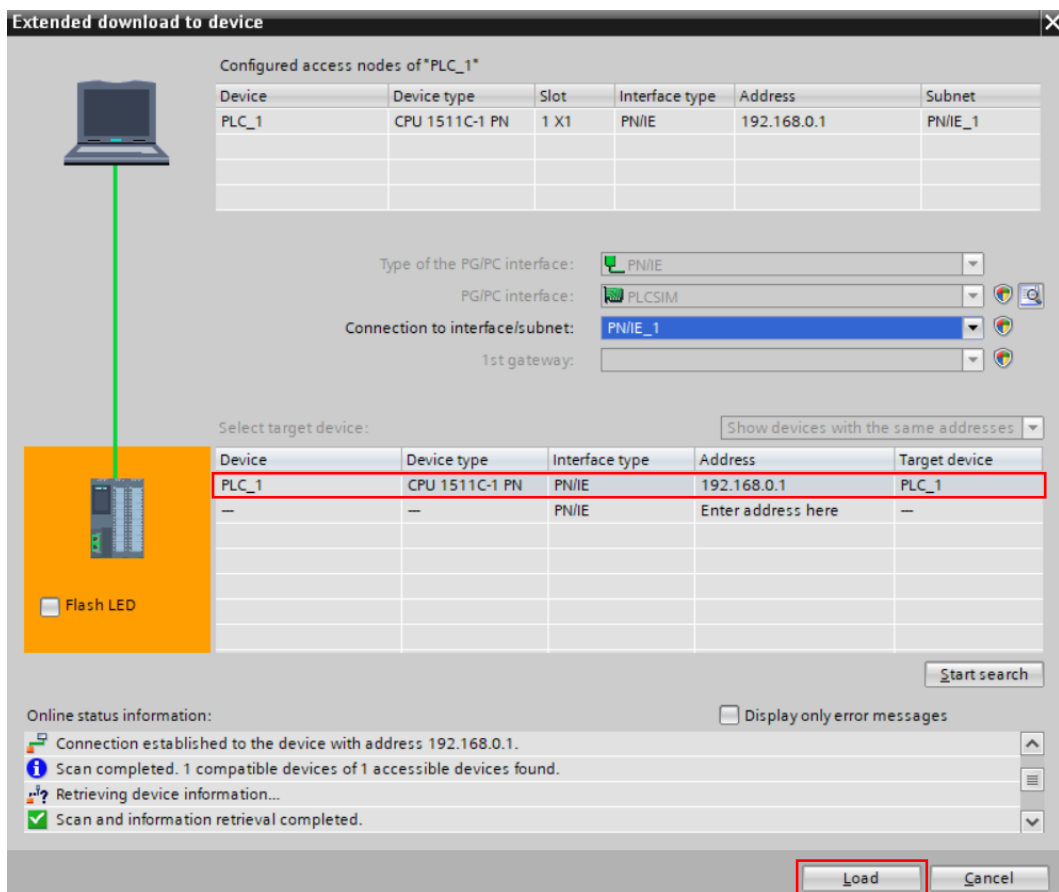
V Process Simulate toto prepojenie prebehlo v okne „Options“, kde sa v záložke „PLC“ nastavila možnosť pripojenia k externému PLC. V okne „Connection Settings“ na obr. 61 bolo potom pridané prepojenie a previazané so spustenou inštanciou. Pri takto nakonfigurovanom programe potom beží run – time simulácie na emulovanom PLC.



Obr. 61) Vytvorené externé prepojenie v programe Process Simulate

V programe TIA Portal bolo zo zoznamu zariadení zvolené PLC a následne vybraná ikona z hornej lišty „Download to device“. Po otvorení okna na obr. 62 a spustení vyhľadávania dostupných zariadení prebehlo nájdenie emulovaného PLC, do ktorého sa program kliknutím na možnosť „Load“ nahral. Takto pripravená simulácia PLC sa potom spustila výberom ikony „Start Simulation“.

Pre spustenie procesu je po načítaní používateľského rozhrania potrebné spustiť taktiež simuláciu v programe Process Simulate a to v „Line Simulation Mode“. Na obrazovke používateľského rozhrania sa potom vyberie typ odliatku a počet kusov na paleta. Generovanie modelov súčiastok je nastavené vždy na 12 kusov (plná paleta). Pracovná sekvencia sa po tomto inicializuje tlačidlom „Start Sequence“. Sekvencia prebieha automaticky, v moment kedy sa odliatky dostanú ku kontrole kamerou je potrebné zvoliť ručne kam sa má odliatok odložiť.



Obr. 62) Nahrávanie programu do emulovaného PLC

8 ZÁVER A ODPORÚČANIE PRE PRAX

Táto diplomová práca mala za cieľ návrh a virtuálne sprevádzkovanie robotického pracoviska pre automatizované odstraňovanie škrupín z odliatkov pre technológiu odlievania metódou vytaviteľného modelu.

V teoretickej časti práce je na úvod stručne popísaná podstata automatizácie, digitalizácie a robotizácie systémov, ich charakteristika a členenie. Následne je podrobnejšie zhrnuté programovanie priemyselných robotov a jeho konkrétne spôsoby, virtuálne sprevádzkovanie a softvér pre jeho realizáciu či popis PLC a ich programovanie. Ku koncu tejto kapitoly je krátke vysvetlenie strojového videnia a pre bližšie pochopenie procesu charakteristika odlievania metódou vytaviteľného modelu.

Praktická časť je zameraná na rozbor riešenej problematiky, návrh pracoviska, virtuálne sprevádzkovanie a s ním spojený návrh riadenia a používateľského rozhrania. Na začiatku bolo potrebné na riešenú problematiku nahliadnuť dôslednejšie a rozobrať ju na menšie čiastkové úlohy. S prihliadnutím na tento fakt bol ako prvý vykonaný rozbor zadaných súčiastok, ktoré budú do pracoviska vstupovať vo forme odliatkových stromov. Jedná sa o dva druhy odliatkov a to konkrétne obežné koleso čerpadla a redukčnú prírubu. Z tohto rozboru vyplynuli presne dané požiadavky na výkon pracoviska, kedy je potrebné brať ohľad na požadovaný takt spracovania súčiastok, ich veľkosť, hmotnosť či materiál. Nasledovala analýza súčasne využívaných metód pre odstraňovanie škrupín z odliatkov, čo ďalej smerovalo k riešeniu zvýšenia stupňa automatizácie tohto procesu. Ako výsledok tejto analýzy bola zvolená metóda odstraňovania škrupín vysokotlakovým vodným lúčom, ktorá je už v praxi z časti automatizovaná. Podstatou bolo tento spôsob ďalej rozvinúť do takej miery, aby pracovník do procesu vstupoval len minimálne. Tohto je dosiahnuté s využitím automatizačných zariadení ako dopravníky, polohovadlo, priemyselný robot, a pod. V rámci zvýšenia automatizácie je pracovisko taktiež doplnené o tryskacie stanovište pre abrazívne čistenie a to z dôvodu, že takúto úpravu povrchu si vyžaduje drvivá väčšina odliatkov.

Následne bolo riešené usporiadanie pracoviska, kedy bol vytvorený jeho orientačný layout a modely použitých zariadení. Potom prebehol návrh priebehu pracovného procesu s využitím Ganttových diagramov. Približný takt pre spracovanie obežného kolesa čerpadla vyšiel viac ako dvojnásobný než takt požadovaný. Takt pre spracovanie redukčnej príruby je väčší približne o 51 % oproti taktu požadovanému. Toto je možné považovať za vyhovujúci výsledok. Nasledovala voľba robotu použitého v zariadení pre odstraňovanie škrupín z odliatkov. Podľa predbežne zvolených parametrov je únosnosť robotu vyššia o približne 20 % oproti zaťaženiu. Ďalej bol zvolený priemyselný robot pre manipuláciu s materiálom, ktorý bude zaťažovaný hmotnosťou prenášaných objektov a neseného koncového efektoru. Na koniec tejto kapitoly bola zvolená kamera pre vizuálnu kontrolu očistených odliatkov a popísané niektoré dôležité senzorické a bezpečnostné prvky pracoviska vedúce k zvýšeniu výkonnosti a bezpečnosti celého procesu.

V záverečných kapitolách bolo riešené virtuálne sprevádzkovanie v programe Process Simulate, do ktorého boli importované definované 3D modely a nakonfigurovaná logika simulácie. Nasledovala tvorba PLC programu v spojení s návrhom používateľského rozhrania s využitím programu TIA Portal.

Za výsledok samotného virtuálneho sprevádzkovania je možné považovať simuláciu pracovného cyklu. Vizuálny priebeh simulácie je sprostredkovaný programom Process Simulate, kedy na jeho pozadí beží pracovný proces ovládaný z emulovaného PLC.

Na záver je možné zhrnúť, že práca splňuje a zaoberá sa všetkými stanovenými cieľmi, ktoré boli zadané. Súčasťou práce je aj kompletný virtuálne sprevádzkovaný model pracoviska spolu s programom určeným pre simuláciu.

Ako jedno z doporučení pre prax, by bolo vhodné spomenúť lepšiu voľbu vstupných parametrov pre výpočet silovej reakcie od tlakovej kvapaliny vyúsťujúcej z koncového efektoru pre odstraňovanie škrupín z odliatok. Týmto je možné optimalizovať voľbu robotu, ktorý tento efektor nesie. Reakčná sila sa výrazne mení v závislosti na konfigurácii trysky a čerpadla, ktorých vhodné nastavenie je však otázkou prevažne praktických skúseností a testovania. Ďalším odporúčaním pre prax môže byť úprava riadiaceho programu, kde je priestor pre skrátenie pracovného cyklu a tým zvýšenie výkonnosti. Avšak táto úprava vedie k zvýšeniu zložitosti programu.

9 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] *Priemysel 4.0*. Online. Viac o Priemysle 4.0. 2024. Dostupné z: <https://priemyselstyrinula.sk/viac-o-priemysle-4-0/>. [cit. 2024-04-16].
- [2] *Čo je priemysel 4.0 a ako funguje?* Online. SkyPlanner. 2024. Dostupné z: <https://skyplanner.ai/sk/zdroje-sk/co-je-priemysel-4-0-a-ako-funguje/>. [cit. 2024-04-16].
- [3] POPJAKOVÁ, Dagmar a MINTÁLOVÁ, Tatiana. *PRIEMYSEL 4.0, ČO MU PREDCHÁDZALO A ČO HO CHARAKTERIZUJE: GEOGRAFICKÉ SÚVISLOSTI*. Online. In: Acta Geographica Universitatis Comenianae. 2019. Dostupné z: http://actageographica.sk/stiahnutie/63_2_03_Popjakova_Mintalova.pdf. [cit. 2024-04-17].
- [4] ERBOZ, Gizem. *How to Define Industry 4.0: The Main Pillars Of Industry 4.0*. Online. ResearchGate. 2017. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/326557388_How_To_Define_Industry_40_Main_Pillars_Of_Industry_40. [cit. 2024-04-17].
- [5] *Robotizácia: Význam a využitie*. Online. ABB. 2023. Dostupné z: <https://abbrobotika.sk/slovník/robotizacia/>. [cit. 2024-04-17].
- [6] *Typy automatizačních systémů*. Online. ElektroPrůmysl. 2021. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/typy-automatizacnich-systemu>. [cit. 2024-04-17].
- [7] *Different Types of Automation*. Online. Control Freaks. 2020. Dostupné z: <https://www.controlfreaksltd.co.uk/different-types-of-automation/>. [cit. 2024-04-16].
- [8] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [9] MORHÁČ, Martin. *Čo je digitalizácia a digitálna transformácia? Urobme si poriadok v pojmoch a významoch*. Online. Industry4UM. 2022. Dostupné z: <https://industry4um.sk/co-je-digitalizacia-a-digitalna-transformacia-urobme-si-poriadok-v-pojmoch-a-vyznamoch/>. [cit. 2024-04-17].
- [10] *Industry 4.0 - Digitálne dvojča, CPS, IoT, Big Data, Cloud, PLM*. Online. Industry 4.0. 2024. Dostupné z: <https://industry4.sk/o-industry-4-0/technologie/#tech7>. [cit. 2024-04-17].
- [11] *What is the main industrial robotic programme language used to robot control?* Online. Quora. 2023. Dostupné z: <https://www.quora.com/What-is-the-main-industrial-robotic-programme-language-used-to-robot-control>. [cit. 2024-04-17].
- [12] MICHALČÍK, Jakub. *Online programovanie robotov*. Online. DailyAutomation. 2024. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/online-programovanie-robotov>. [cit. 2024-04-17].
- [13] MICHALČÍK, Jakub. *Offline programovanie robotov*. Online. DailyAutomation. 2024. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/offline-programovanie-robotov>. [cit. 2024-04-17].
- [14] *Softvér pre roboty*. Online. Robotika - Procus. 2024. Dostupné z: <https://www.procus.sk/sk/robotika/>. [cit. 2024-04-17].

- [15] *MELFA-Works*. Online. MITSUBISHI ELECTRIC. 2024. Dostupné z: <https://www.mitsubishielectric.com/fa/products/rbt/robot/smerit/mw/index.html>. [cit. 2024-04-17].
- [16] *Robot Programming Simulator - MotoSim*. Online. Yaskawa. 2024. Dostupné z: <https://www.motoman.com/en-us/products/software/simulation>. [cit. 2024-04-17].
- [17] *Virtuální zprovoznění - budoucnost průmyslu*. Online. [SIEMENS]. SIEMENS Visions. C1996–2024. Dostupné z: <https://www.visionsmag.cz/virtualni-zprovozneni-meni-budoucnost-prumyslu>. [cit. 2024-04-17].
- [18] *Virtuální zprovoznění*. Online. Siemens Software. 2015. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/media/country/engage/Produktovy%20Oletak%20-%20Virtualni%20zprovozeni_tcm47-8618.pdf. [cit. 2024-04-17].
- [19] STRIFFLER, Nikolai a VOIGT, Tobias. *Concepts and trends of virtual commissioning – A comprehensive review*. Online. Science Direct. 2023. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612523002145>. [cit. 2024-04-17].
- [20] *RobotStudio® Suite*. Online. ABB. 2024. Dostupné z: https://new.abb.com/products/robotics/cs/robotstudio?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=SE_Roboty_Brand&utm_term=Roboty&gclid=Cj0KCQiA2KitBhCIARIsAPPMEhJCr6BG6QA0FIseW7iTAZzUPA6Bx3z23v3BAtlxMeCxpI7ruLMpimYaAqRyEALw_wcB. [cit. 2024-04-17].
- [21] *KUKA.Sim*. Online. KUKA AG. 2024. Dostupné z: <https://www.kuka.com/sk-sk/produkty-a-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/softv%C3%A9r/pl%C3%A1novanie-projektovanie-servis-bezpe%C4%8Dnos%C5%A5/kuka,-d-,sim>. [cit. 2024-04-17].
- [22] *ROBOGUIDE*. Online. FANUC. 2024. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/sk/sk/robots/pr%C3%ADslu%C5%A1enstvo/roboguide>. [cit. 2024-04-17].
- [23] *Process Simulate*. Online. Siemens Software. 2024. Dostupné z: <https://plm.sw.siemens.com/cs-CZ/tecnomatix/products/process-simulate-software/>. [cit. 2024-04-17].
- [24] *PLC - Programovatelný logický automat*. Online. PLC AUTOMATIZACE. 2016. Dostupné z: <http://www.plc-automatizace.cz/knihovna/plc.htm>. [cit. 2024-04-17].
- [25] MARČAN, Peter. *Princip PLC*. Online. DailyAutomation. 2024. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/005-zakladny-princip-plc>. [cit. 2024-04-17].
- [26] MARČAN, Peter. *Programovacie jazyky PLC*. Online. DailyAutomation. 2024. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/01-programovacie-jazyky-plc>. [cit. 2024-05-12].
- [27] LINS, Letácio. *The Complete Practical Guide to Siemens Tia Portal Programming*. Online. SolisPLC. 2024. Dostupné z: <https://www.solisplc.com/tutorials/a-practical-guide-to-siemens-tia-portal-programming>. [cit. 2024-05-12].
- [28] *Open, PC-based control technology*. Online. BECKHOFF. 2024. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/en-us/products/automation/>. [cit. 2024-05-12].
- [29] *GX Developer*. Online. Mitsubishi Electric Factory Automation. 2024. Dostupné z: https://sk.mitsubishielectric.com/fa/products/cnt/plc/plceng/other_eng/gx_developer. [cit. 2024-05-12].

- [30] *SIMATIC S7-PLCSIM Advanced*. Online. Siemens Czech Republic. C1996 - 2024. Dostupné z: <https://www.siemens.com/cz/cs/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-plcsim.html>. [cit. 2024-05-12].
- [31] *Simulační platforma SIMIT*. Online. Siemens Czech Republic. C1996 - 2024. Dostupné z: <https://www.siemens.com/cz/cs/products/automation/industry-software/simit.html>. [cit. 2024-05-12].
- [32] *Úvod do strojového videnia*. Online. MARČAN, Peter. DailyAutomation. 2024. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/01-strojove-videnie-uvod>. [cit. 2024-05-12].
- [33] MARČAN, Peter. *Základné komponenty strojového videnia*. Online. DailyAutomation. 2024. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/strojove-videnie-zakladne-komponenty>. [cit. 2024-05-12].
- [34] *Odlievanie odliatkov*. Online. Zlievarenstvo. 2018. Dostupné z: https://zlievarenstvo.mtf.stuba.sk/?page_id=172. [cit. 2024-05-12].
- [35] HORÁČEK, Milan. *ROZMĚROVÁ PŘESNOST ODLITKŮ VYRÁBĚNÝCH METODOU VYTAVITELNÉHO MODELU*. Online. Odbor Slévárenství. 2009. Dostupné z: <https://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/sites/default/files/clanky/technologie-vytavitelneho-modelu/technologie-vytavitelneho-modelu.pdf>. [cit. 2024-05-12].
- [36] POLI, Corrado. *Metal Casting Processes*. Online. Science Direct. 2007. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/investment-casting>. [cit. 2024-05-12].
- [37] *Prístup systémový*. Online. FILIT OTVORENÁ FILOZOFICKÁ ENCYKLOPÉDIA. 1999. Dostupné z: https://dai.fmph.uniba.sk/~filit/fvp/pristup_systemovy.html. [cit. 2024-05-12].
- [38] *Investment Casting vs Die Casting: Which Is Suitable for Your Application*. Online. RAPID DIRECT. 2022. Dostupné z: <https://www.rapiddirect.com/blog/investment-casting-vs-die-casting/>. [cit. 2024-05-12].
- [39] *Difference between Sand casting, Die casting and Investment casting*. Online. Engineering Product Design. C2017 - 2024. Dostupné z: https://engineeringproductdesign.com/sand-die-investment-casting/#Production_Volume. [cit. 2024-05-12].
- [40] *Investment Casting*. Online. Engineering Product Design. C2017 - 2024. Dostupné z: <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/investment-casting/>. [cit. 2024-05-12].
- [41] YANG, Qiang; ZHU, Xintao; WANG, Fu; MA, Dexin a WU, Jiantao. *A Study of Sliver in C-Shaped Grain Selectors during Investment Casting of Single-Crystal Superalloy*. Online. MDPI. C1996 - 2024. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2075-4701/13/6/1102>. [cit. 2024-05-12].
- [42] *Robotic Waterjet Investment Casting Shell Removal*. Online. Progressive SURFACE. C2016 - 2024. Dostupné z: <https://www.progressivesurface.com/waterjetcleaning/robotic-waterjet-investment-casting-shell-removal.htm>. [cit. 2024-05-12].

- [43] *Priemyselny robot, štruktúra, funkcie, klasifikácia, manipulátor, servisny robot, humanoidny robot.* Online. Encyklopédia poznania. 2021. Dostupné z: <https://encyklopediapoznania.sk/clanok/9437/priemyselny-robot-struktura-funkcie-klasifikacia-manipulator-servisny-robot-humanoidny-robot>. [cit. 2024-05-12].
- [44] KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty II: Konstrukce výstupních hlavíc a periferií : <<Určeno pro posl. fak. stroj. Vys. učení techn. v Brně>>. Učební texty vysokých škol.* Brno: PC-DIR, 1993. ISBN 80-214-0533-3.
- [45] LAŠ, Juraj. *Efektory priemyselnych robotov.* Online. DailyAutomation. 2024. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/efektory-priemyselnych-robotov>. [cit. 2024-05-12].
- [46] ŠŤASTNÝ, Vítězslav. *Dopravníky.* Online. Techportal. 2010. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/dopravniky-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EIDzobldhBp5eoD2T5OK9qprJfTGJxQrnQ/>. [cit. 2024-05-12].
- [47] *PALETOVÉ DOPRAVNÍKY.* Online. LOGSYS. 2017. Dostupné z: https://www.logsys.cz/cs/xadmin/xcatalogue/default/product?url=paletove-dopravniky&id=55&Galleryimage_page=2. [cit. 2024-05-12].
- [48] *Valčkové dopravníky.* Online. Haberkorn. 2018. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/sk/valcekove-dopravniky/>. [cit. 2024-05-12].
- [49] *Differences in Waterjet Pump Technology.* Online. SCM GROUP. 2024. Dostupné z: <https://www.scmgroup.com/en/news-events/news/differences-in-waterjet-pump-technology.n68713.html>. [cit. 2024-05-12].
- [50] *Tryskání metacími koly.* Online. TRYTECH. 2024. Dostupné z: <https://www.trytech.cz/o-tryskani/tryskani-metacimi-koly/>. [cit. 2024-05-12].
- [51] *Wheel Blasting Machines.* Online. ActOn FINISHING. 2024. Dostupné z: <https://acton-finishing.co.uk/wheel-shot-blasting-machines/>. [cit. 2024-05-12].
- [52] *DNV Electric High pressure Units.* Online. Projetting. 2024. Dostupné z: <https://www.pro-jetting.com/en/products/high-pressure-units/dnv-electric-high-pressure-units/>. [cit. 2024-05-12].
- [53] *Pure Water Jet Cutting Head for Waterjet Cutting Machine.* Online. Made-in-China. C1998 - 2024. Dostupné z: <https://shyuanhong.en.made-in-china.com/productimage/rvFmyEdMHTpJ-2f1j00MTgfQZedYVoR/China-Pure-Water-Jet-Cutting-Head-for-Waterjet-Cutting-Machine.html>. [cit. 2024-05-12].
- [54] *Vzorové riešenie.* Online. Korešpondenčný seminár UFO. 2024. Dostupné z: <https://ufo.fks.sk/ulohy/riesenia/1874/#fnref1>. [cit. 2024-05-12].
- [55] *NLB-PRODUCT-REMOVAL.* Online. NLB Corporation. 2017. Dostupné z: <https://www.nlbcorp.com/wp-content/uploads/2012/07/NLB-Product-Removal1.pdf>. [cit. 2024-05-12].
- [56] *EXPERIMENT #5: IMPACT OF A JET.* Online. Applied Fluid Mechanics Lab Manual. 2019. Dostupné z: <https://uta.pressbooks.pub/appliedfluidmechanics/chapter/experiment-5/>. [cit. 2024-05-12].
- [57] KLIMKO, Marek. *BERNOULLIHO ROVNICE.* Online. Mechanika tekutin. Dostupné z: https://home.zcu.cz/~kovarikp/MT/cviceni/cviceni_MT_9.pdf. [cit. 2024-05-12].

- [58] *Product specification IRB 2600*. Online. ABB. 2023. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC035959-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. [cit. 2024-05-12].
- [59] *Water Jet Stripping System with Articulated Arm Robot*. Online. Progressive SURFACE. C2016 - 2024. Dostupné z: <https://www.progressivesurface.com/waterjetcleaning/rwj-4000f-40-1m-diameter-ultra-high-pressure-water-jet-stripping-system-with-abb-robot.htm>. [cit. 2024-05-12].
- [60] *IWM's Robotic Waterjet Cutter Machine*. Online. International Waterjet Machines. C2002 - 2024. Dostupné z: https://www.iwmwaterjet.com/waterjet_robot.html. [cit. 2024-05-12].
- [61] *JGP-P 300-1-AS*. Online. SCHUNK. 2024. Dostupné z: <https://schunk.com/sk/sk/uchopovacie-systemy/paralelny-uchopovac/jgp-p/jgp-p-300-1-as/p/000000000001460299>. [cit. 2024-05-12].
- [62] *Product specification IRB 5710*. Online. ABB. 2023. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC075188-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>. [cit. 2024-05-12].
- [63] *Průmyslové zpracování obrazu: InspectorP65x*. Online. SICK. 2024. Dostupné z: <https://www.sick.com/sk/cs/catalog/vyrobky/prumyslove-zpracovani-obrazu-a-identifikace/prumyslove-zpracovani-obrazu/inspectorp65x/v2d654p-2mewha6/p/p467252?tab=detail>. [cit. 2024-05-12].
- [64] *Optoelektronické snímače: W16*. Online. SICK. 2024. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/catalog/vyrobky/detekcni-senzory/optoelektronicke-snimace/w16/wtb16i-24161120a00/p/p512144?tab=detail>. [cit. 2024-05-12].
- [65] *Analógový snímač polohy*. Online. SICK. 2024. Dostupné z: https://schunk.com/sk/sk/uchopovacie-systemy/snimace/mms-22-a/c/PGR_2883. [cit. 2024-05-12].
- [66] *Rychlý snímač tlaku pro hydraulické systémy*. Online. PROFESS. 2024. Dostupné z: https://www.profess.cz/cs/pci/produkty/mereni_tlaku/prumyslove_snimace_tlaku/rychly-snimac-tlaku-pro-hydraulicke-systemy. [cit. 2024-05-12].
- [67] *TR110 Lock*. Online. SICK. 2024. Dostupné z: https://cdn.sick.com/media/docs/4/84/684/product_information_tr110_lock_en_i_m0082684.pdf. [cit. 2024-05-12].
- [68] CHUPAČ, Lukáš. *Emergency STOP / Núdzové zastavenie*. Online. DailyAutomation. 2024. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/emergency-stop>. [cit. 2024-05-12].
- [69] *Bezpečnostní světelné závory*. Online. SICK. 2024. Dostupné z: <https://www.sick.com/sk/cs/catalog/vyrobky/safety/bezpecnostni-svetelne-zavory/m4000-advanced-ap/c/g305783?tab=overview>. [cit. 2024-05-12].

10 ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK

10.1 Zoznam použitých skratiek

3D	Trojrozmerný
CPU	Central Processing Unit
DB	Data Block
FB	Function Block
FBD	Function Block Diagram
FC	Function
HiL	Hardware in the Loop
HMI	Human Machine Interface
IEC	International Electrotechnical Commission
IIoT	Industrial Internet of Things
IL	Instruction List
IoT	Internet of Things
IP	Ingress Protection
LD	Ladder Diagram
MOP	Motion Planner
OB	Organization Block
PLC	Programmable Logic Controller
PRaM	Priemyselné roboty a manipulátory
RFID	Radio Frequency Identification
SFC	Sequential Function Chart
SiL	Software in the Loop
ST	Structured text
VC	Virtual Commissioning
VRC	Virtual Robot Controller

10.2 Zoznam použitých symbolov

F_1	reakčná sila koncového efektoru	[N]
F_g	gravitačná sila od hmotnosti koncového efektoru	[N]
F_v	výsledná pôsobiaca sila	[N]
g	gravitačné zrýchlenie	[m/s ²]
L	kolmá vzdialenosť na osu Z	[mm]
m_1	hmotnosť odlietkového stromu súčiastka č. 1	[kg]

m_2	hmotnosť odliatkového stromu súčiastka č. 2	[kg]
m_e	hmotnostný ekvivalent,	[kg]
m_{p1}	hmotnosť 4 odliatkov a prípravku pre súčiastku č. 1	[kg]
m_{p2}	hmotnosť 4 odliatkov a prípravku pre súčiastku č. 2	[kg]
$m_{prípravok}$	hmotnosť prípravku	[kg]
$m_{prípravok_paleta}$	hmotnosť prípravku s paletou	[kg]
n_{o1}	počet odliatkov v strome súčiastka č. 1	[ks]
n_{p1}	počet odliatkových stromov na palete súčiastka č. 1	[ks]
p_1	tlak v prostredí kam kvapalina vychádza	[Pa]
p_2	tlak potrebný k dosiahnutiu výtokovej rýchlosti	[Pa]
Q	maximálny prietok	[m ³ /s]
S	prierez dýzy	[mm ²]
t_{c1}	čas cyklu súčiastka č. 1	[s]
t_{c2}	čas cyklu súčiastka č. 2	[s]
t_{s1}	takt súčiastka č. 1	[ks/hod]
t_{s2}	takt súčiastka č. 2	[ks/hod]
v	rýchlosť prúdenia	[m/s]
x	súradnica pôsobiska sily v ose X	[mm]
y	súradnica pôsobiska sily v ose Y	[mm]
ρ	hustota vody	[kg/m ³]

10.3 Zoznam obrázkov

Obr. 1) Priemyselné revolúcie [3]	19
Obr. 2) Vybrané technológie priemyslu 4.0 [3].....	19
Obr. 3) Typy automatizačných systémov [6]	21
Obr. 4) Viacrozmerný diagram s oblasťami použitia manipulačných prostriedkov [8].....	21
Obr. 5) Digitálne dvojča [10].....	22
Obr. 6) Spôsobý on-line programovania [12].....	23
Obr. 7) Štruktúra virtuálneho sprevádzkovania [19]	25
Obr. 8) Konfigurácia virtuálneho sprevádzkovania [19].....	26
Obr. 9) Základná schéma PLC [25].....	28
Obr. 10) Príklad kontroly fľaše s vodou [32]	30
Obr. 11) Postup odlievania metódou vytaviteľného modelu [35]	31
Obr. 12) Výkres odliatku obežného kolesa.....	33
Obr. 13) Výkres odliatku redukčnej príruby.....	34
Obr. 14) Modely vtokových sústav	35
Obr. 15) Porovnanie voskového modelu a keramickej škrupiny [41]	36

Obr. 16) Usporiadanie robotickej bunky pre čistenie odliatkov vysokotlakovým vodným lúčom [42]	37
Obr. 17) Systémové pojatie robotov [8]	38
Obr. 18) Valčekový dopravník určený pre palety [47].....	40
Obr. 19) Prípravky pre polohovanie odliatkov na paletu	40
Obr. 20) Tryskacie zariadenie a metacie koleso [50] [51]	42
Obr. 21) Layout pracoviska.....	43
Obr. 22) Ganttov diagram pracovných operácií pre súčiastku č.1	45
Obr. 23) Ganttov diagram pracovných operácií pre súčiastku č. 2	45
Obr. 24) PRO-JETTING DNV vysokotlaková jednotka [52].....	46
Obr. 25) Akčný člen koncového efektoru pre tlakové čistenie [53].....	47
Obr. 26) Robot pre proces čistenia a jeho pracovný rozsah [58]	49
Obr. 27) Silové pôsobenie koncového efektoru	50
Obr. 28) Záťažový diagram robotu s vyznačeným pôsobiskom sily [58].....	51
Obr. 29) Spôsoby vedenia tlakových hadíc ku koncovému efektoru [59] [60].....	52
Obr. 30) Bunka vysokotlakového čistenia.....	53
Obr. 31) Stupeň využitia koncového efektoru pri manipulácii s predmetmi [61]...	54
Obr. 32) Manipulačný robot a jeho pracovný rozsah [62]	55
Obr. 33) Vzdialenosť silového pôsobenia pri manipulácii s odliatkami	56
Obr. 34) Záťažový diagram robotu s vyznačeným pôsobiskom sily [62].....	57
Obr. 35) Kamerový senzor SICK InspectorP65x [63]	57
Obr. 36) Vnútorne usporiadanie senzoru [44].....	58
Obr. 37) Použité snímače [64] [65] [66]	59
Obr. 38) Bezpečnostné prvky [67] [68] [69]	60
Obr. 39) Model pracoviska v prostredí programu Process Simulate.....	61
Obr. 40) Definovanie koncového efektoru	62
Obr. 41) Definovanie polohovadla a upínacieho skľučovadla	62
Obr. 42) Nastavenie robotických kontrolérov	63
Obr. 43) Definovanie paletového dopravníku	63
Obr. 44) Združené operácie	64
Obr. 45) Tvorba operácií	64
Obr. 46) Robotický program	65
Obr. 47) Zobrazenie robotického programu v Path Editor	65
Obr. 48) Vytvorené výstupné (v hornej časti) a vstupné signály	65
Obr. 49) Robotické signály pre robot ABB IRB 2600	66
Obr. 50) Logické bloky v prostredí programu Process Simulate	67
Obr. 51) Materiálový tok.....	68
Obr. 52) Schéma komunikácie pracoviska	69
Obr. 53) Signály v programe TIA Portal.....	70
Obr. 54) Štruktúra dát a programových blokov programu	71
Obr. 55) Program „Main“	72
Obr. 56) Funkčný blok „FB_CYCLE_SEQUENCE“	74
Obr. 57) Funkčný blok „FB_IRB_5710_START_PROGRAM“	75
Obr. 58) Funkčný blok „FB_CONVEYORS“	76

Obr. 59) Návrh používateľského rozhrania	77
Obr. 60) Prepojenie programov	78
Obr. 61) Vytvorené externé prepojenie v programe Process Simulate.....	78
Obr. 62) Nahrávanie programu do emulovaného PLC	79

10.4 Zoznam tabuliek

Tab 1) Programovacie jazyky podľa výrobcov robotov [11]	23
Tab 2) Softvér pre off-line programovanie podľa výrobcov robotov [14] [15] [16]24	
Tab 3) Porovnanie rozmerovej presnosti u odlievania [39].....	35
Tab 4) Časy jednotlivých operácií	44
Tab 5) Technické parametre vysokotlakovej jednotky [52]	46
Tab 6) Technické parametre robotu [58]	49
Tab 7) Technické údaje univerzálneho uchopovača JGP- P 300-1-AS [61]	53
Tab 8) Technické parametre robotu [62]	55

11 ZOZNAM PRÍLOH

1. 2024_DP_Vach_Pavol_217738_Program
 - Projekt z programu TIA Portal obsahujúci zdrojový kód k PLC. (formát .zap18)
2. 2024_DP_Vach_Pavol_217738_Studie_PS
 - Štúdia z programu Process Simulate s modelom pracoviska. (formát .pszx)
3. 2024_DP_Vach_Pavol_217738_Video
 - Video s priebehom simulácie. (formát .mp4)