



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**NÁVRH ROBOTICKÉ BUŇKY PRO VÝROBU PLOŠNÝCH
DÍLŮ**

DESIGN OF A ROBOTIC CELL FOR FLAT PARTS PRODUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Závodský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Pochylý

BRNO 2021

Zadaní diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Martin Závodský
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	Ing. Aleš Pochylý
Akademický rok:	2020/21

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

Návrh robotické buňky pro výrobu plošných dílů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na návrh pracoviště s průmyslovými roboty pro výrobu plošných dílců o různých rozměrech. Práce se zabývá výběrem hlavních komponent a jejich umístěním – návrhem layoutu pracoviště a návrhem koncových efektorů/upínacích přípravků. V rámci návrhu pracoviště bude využit SW Siemens Process Simulate pro detailní simulaci výroby a ověření funkčnosti navrženého řešení ve virtuálním prostředí.

Cíle diplomové práce:

Specifikace zadání – rozbor zadané problematiky.

Návrh možností řešení pro zadaný typ aplikace.

Konstrukční návrh dílčích částí pracoviště (koncové efekторы, přípravky, oplocení, krytování apod.)

Ověření funkčnosti řešení ve virtuálním prostředí – v SW Siemens Process Simulate.

Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4.

NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0.

MONKMAN, G. J., HESSE, S., STEINMANN, R. SCHUNK, H. Robot Grippers. Wiley-VCH Verlag, 2007. 463 s. ISBN 978-3527406197.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Táto diplomová práca sa zaoberá problematikou návrhu robotickej bunky pre zautomatizovanie obsluhy drevoobrábacieho stroja. Úlohou robota je manipulácia so zadanými laminovanými drevotriekovými doskami rôznych rozmerov, pred i po obrobení strojom. Dosky sú do bunky privázané na paletách v troch možných variantoch uloženia. Po stručnej rešeršnej časti boli vytvorené koncepčné návrhy rozloženia bunky. Optimálny a ďalej rozpracovaný návrh vzišiel na základe zvolených hodnotiacich kritérií. Ďalšia časť práce pozostáva z konštrukčných návrhov a postupov pri výbere jednotlivých komponentov. Tie boli následne využité na tvorbu simulačného modelu v softvéri Tecnomatix Process Simulate (Siemens). Pomocou neho bola overená funkčnosť rozloženia bunky, navrhnutá logika riadenia a zistený čas manipulačného cyklu slúžiaceho pre informatívny výpočet ročnej výrobnosti. Výsledný návrh bol v závere zhodnotený i z ekonomického hľadiska s dôrazom na návratnosť počiatočnej investície.

ABSTRACT

This master's thesis deals with the design of a robotic cell for the automation of woodworking machine tending. The task of the robot is to manipulate with the specified laminated chipboards of various sizes, before and after machining. The boards are brought to the cell on pallets in three possible placement variants. After a brief research part, conceptual designs of cell layout were created. The optimal and further elaborated design came as a result of selected evaluation criteria. The next part of the thesis consists of designs and selection processes of individual components. These were later used to create a simulation model in Tecnomatix Process Simulate software (Siemens), that helped to verify the functionality of the cell layout, design the control logic and acquire the time of the manipulation cycle used for informative calculation of annual production. In the end, the final design was evaluated from an economic point of view with an emphasis on the return of the initial investment.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Robotická bunka, priemyselná automatizácia, návrh rozloženia, paletizácia, obsluha výrobného stroja, simulačný model, ekonomické zhodnotenie

KEYWORDS

Robotic cell, industrial automation, layout design, palletization, production machine tending, simulation model, economic evaluation

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

ZÁVODSKÝ, Martin. Návrh robotické buňky pro výrobu plošných dílů [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133154>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Aleš Pochylý.

POĎAKOVANIE

Týmto by som rád poďakoval Ing. Alešovi Pochylému za cenné rady, pripomienky a odbornú pomoc pri spracovaní tejto diplomovej práce. Za podporu počas celého štúdia by som chcel ale poďakovať najmä svojej rodine.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

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

V Brne dňa 19.5. 2021

.....

Bc. Martin Závodský

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVÁCIA	17
3	PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA	19
3.1	Automatizácia a robotika	20
3.1.1	Automatizácia manipulácie s materiálom	21
3.1.2	Manipulačné koncové efekty	22
3.1.3	Lineárne pojazďové jednotky	23
3.1.4	Súradnicové systémy robota	24
3.1.5	Senzory v robotike	25
3.2	Simulačné a off-line programovacie softvérové prostredia	27
3.2.1	Siemens Tecnomatix Process Simulate	28
3.2.2	ABB RobotStudio	29
3.2.3	Fanuc Robotguide	29
4	ŠPECIFIKÁCIA ZADANEJ PROBLEMATIKY	31
4.1	Manipulované objekty	31
4.2	Popis procesu a pracoviska	31
5	NÁVRH ROZLOŽENIA ROBOTICKEJ BUNKY	33
5.1	Variant A	33
5.2	Variant B	34
5.3	Variant C	34
5.4	Zhodnotenie a výber výsledného variantu	35
6	NÁVRH A VÝBER KOMPONENTOV PRACOVISKA	37
6.1	Návrh koncového efektora	37
6.2	Výber robota	40
6.3	Realizácia lineárneho pojazdu robota	42
6.4	Výber CNC stroja	45
6.5	Návrh ochranného oplotenia a výber bezpečnostných prvkov	45
7	SIMULAČNÝ MODEL V PROCESS SIMULATE	49
7.1	Definícia, vloženie a práca s modelmi	49
7.2	Definícia kinematiky	50
7.3	Nastavenie robota a definícia jeho nástroja	50
7.4	Vytvorenie modelu pre udalostne riadenú simuláciu	51
7.4.1	Vytvorenie dráhy robota	51
7.4.2	Materiálový tok	51
7.4.3	Logické bloky a signály	52
7.4.4	Riadenie priebehu simulácie	53
7.5	Vyhodnotenie simulácie	54
8	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE	57
8.1	Súčasný náklady na prevádzku	57
8.2	Náklady na robotizované pracovisko	57
8.3	Návratnosť investície	59
9	ZÁVER A DOPORUČENIE PRE PRAX	61
10	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	63

11 ZOZNAM SYMBOLOV, TABULIEK A OBRÁZKOV	67
11.1 Zoznam symbolov	67
11.2 Zoznam tabuliek	67
11.3 Zoznam obrázkov	67
12 ZOZNAM PRÍLOH.....	69

1 ÚVOD

Robotika hrá v dnešnom rýchlo sa rozvíjajúcom svete veľmi významnú rolu v oblasti priemyselnej výroby, ktorej neoddeliteľnou súčasťou nepochybne je. Robotizované pracoviská už dávno nie sú výsadou výhradne veľkosériovej či hromadnej výroby, stále častejšie nachádzajú uplatnenie i v podnikoch s nižším výrobným objemom. Rastúci trend robotizácie teda možno pozorovať takmer vo všetkých odvetviach priemyselnej výroby, od rôznorodých technologických operácií v automobilovom priemysle až po menej náročné manipulačné úlohy v potravinárstve či farmaceutike. Hlavným argumentom podporujúcim postupné nahradzovanie ľudského faktora vo výrobe sú predovšetkým znížené nároky na ľudské zdroje, a to za zvýšenej produktivity, kvality a celkovej efektivity. Z dlhodobého hľadiska dochádza k značným ekonomickým úsporám. Častým dôvodom realizácie robotizovaného pracoviska je i zníženie fyzickej náročnosti pracovníkov, či zvýšenie bezpečnosti. Pre splnenie všetkých požiadaviek plynúcich zo zamerania daného pracoviska je nevyhnutné vypracovať vhodný návrh, čím sa zaoberá i táto diplomová práca.

Ako názov napovedá, cieľom tejto diplomovej práce je vytvoriť koncepčný návrh robotickej bunky pre výrobu plošných dielov. Diely sú reprezentované laminovanými drevotrievkovými doskami rôznych rozmerov, ktoré sú obrábané na vhodne zvolenom CNC stroji. Úlohou robota je nahradenie manuálnej práce operátora stroja pri manipulácii s doskami uloženými na vstupných paletách a následné založenie obrobenej dosky na výstupnú paletu pri zachovanom uložení. Pracovný takt bunky zadaný nie je.

Rešeršná časť práce je venovaná problematike robotických manipulačných úloh s dôrazom na paletizáciu a popisu dielčích systémov, bežne využívaných na tieto účely. Následne je potrebné detailne rozobrať požiadavky zadania na pojednávané pracovisko.

Po zvolení najvhodnejšieho návrhového variantu rozloženia robotickej bunky podľa predom stanovených hodnotiacich kritérií, musia byť pre splnenie požadovanej funkčnosti bunky navrhnuté a zvolené jej jednotlivé komponenty. S ohľadom na relevantné bezpečnostné normy musí byť bunka vybavená i viacerými bezpečnostnými prvkami. Na základe výsledného návrhového rozloženia budú 3D modely komponentov umiestnené do virtuálneho prostredia softvéru Siemens Process Simulate, s cieľom overiť funkčnosť uvažovaného riešenia najmä z pohľadu dosahu robota do požadovaných pracovných bodov. V rámci tejto časti bude priblížená práca s množstvom softvérových nástrojov umožňujúcim vytvorenie kinematickej štruktúry komponentov, bezkolíznej pracovnej dráhy robota či jednoduchej logiky riadenia pracoviska s využitím signálov. I napriek nezadanej požiadavke na takt pracoviska je v pláne kalkulácia potenciálnej ročnej výrobnosti, ktorá bude vychádzať zo zisteného času jedného manipulačného cyklu. Na tento účel posluží RCS modul simulujúci kontrolér reálneho robota.

Na záver bude vypracované stručné technicko-ekonomické zhodnotenie porovnávajúce celkové náklady na realizáciu navrhutej bunky s pôvodnými prevádzkovými nákladmi, s cieľom zistiť návratnosť počiatočnej investície.

2 MOTIVÁCIA

Záverečné práce orientované na navrhovanie, simulovanie či virtuálne sprevádzkovanie robotizovaných pracovísk reagujú na neustále narastajúce požiadavky trhu v oblasti automatizácie. Len málokto v súčasnosti spochybní tvrdenie, že robotické technológie budú v nasledujúcich rokoch prevládať a stále výraznejšie ovplyvňovať naše životy. Napriek obširnej diskusii o rastúcej nezamestnanosti vplyvom robotiky verím, že sa v budúcnosti budeme na roboty pozerat' skôr ako na technológiu zlepšujúcu kvalitu života. Výsledkom týchto technologických zmien bude nárast dopytu po kvalifikovaných pracovníkoch, stojacich za sofistikovanou a kreatívnou prácou na návrhoch a sprevádzkovaní robotických buniek.

Práve táto téma plná výziev a problematiky súčasnej praxe ma v rámci štúdia na *Ústave výrobných strojů, systémů a robotiky* zaujala najviac. Svoj záujem o robotiku som mal možnosť rozvíjať formou viacerých predmetov, kde som sa okrem iného stretol s množstvom teoretických i moderných praktických úloh. Jedným z faktorov ovplyvňujúcich výber témy bola veľmi pozitívna skúsenosť so softvérom Tecnomatix Process Simulate od spoločnosti Siemens, ktorá mi pomohla vytvoriť všeobecný prehľad v tomto odbore a poskytla cenné základy pre spracovanie tejto diplomovej práce.

3 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

Požiadavka na zvýšenie produktivity znížením doby odstávky výrobných zariadení v posledných rokoch výrazne posilnila využitie simulácií nielen v sektore robotiky. Simulácia zväčša zahŕňa vstupno-výstupný tok jednotlivých komponentov, vrátane všetkých technologických či bezpečnostných zariadení. V prípade, že v simulácii pracujeme už s reálnymi vlastnosťami a komunikačným rozhraním zariadení, hovoríme o tzv. virtuálnom sprevádzkovaní. Práve virtuálne sprevádzkovanie v praxi ponúka celkom nové možnosti návrhov či optimalizácie výrobných pracovísk.

Jednou z mnohých výhod, ktoré virtuálne uvedenie do prevádzky pred samotnou implementáciou a integráciou výrobného systému a použitých technológií ponúka, je možnosť testovať a overovať správnosť navrhnutých riešení so značnou časovou úsporou. Zámerom je odhaliť a zabrániť prípadným technickým problémom, ktoré sa vyskytujú v neskorších fázach inštalácie a zároveň môže prispieť k zlepšeniu kvality softvéru. Tým sa na danom pracovisku v budúcnosti výrazne uľahčí technologický prechod. Na to, aby bolo virtuálne sprevádzkovanie ako koncept úspešné, si vyžaduje plnohodnotnú spoluprácu všetkých podieľajúcich sa pracovných disciplín [1].

Podkladom pre virtuálne sprevádzkovanie sú CAD (z anglického computer-aided design) modely, ktoré sú v zvolenom simulačnom softvéri doplnené o logickú blokovú štruktúru, definujúcu chovanie jednotlivých komponentov. Na takto vytvorenú logickú štruktúru, na základe pneumatických či elektrotechnických schém, sa pripájajú signály vstupujúce do kontroléra robota alebo PLC (z anglického programmable logic controller). Z pohľadu PLC programu má simulované zariadenia na starosti simulačná jednotka pozostávajúca z riadiaceho PLC (napr. Simatic, Beckhoff) či jeho softvérového simulátora (napr. PLC Sim Advanced, OPC) a integrovaného vývojového prostredia (napr. TIA Portal, TwinCAT) [2].

Znalosť tvorby a aplikácie simulácií vo virtuálnom prostredí v nadväznosti na reálnu výrobu je v súčasnosti jedným z kľúčových nástrojov pre úspech mnohých spoločností.



Obr. 1) Priebeh virtuálneho sprevádzkovania [2]

3.1 Automatizácia a robotika

Aktuálna situácia vo svete predstavuje pre mnohé priemyselné spoločnosti veľké výzvy. Jasne sa ukazuje, že vysoko automatizovaná výroba je jediným spôsobom ako môžu spoločnosti reagovať na súčasné i budúce požiadavky trhu s požadovaným stupňom flexibility. Pri získavaní konkurenčnej výhody je teda tento prístup k výrobe dôležitejší ako kedykoľvek predtým [3].

Automatizácia sa všeobecne definuje ako etapa rozvoja techniky, charakterizovaná využitím moderných výpočtových a riadiacich technológií. Pomocou nich prebiehajú čiastkové i kompletne výrobné, riadiace a iné procesy, podľa predom stanoveného programu, bez priameho zásahu človeka. Úplná účasť človeka však nie je vylúčená, nakoľko nastavuje, kontroluje a zásobuje stroje pre ich správnu funkciu. Predpokladá sa ale, že stroje časom preberú aj tieto úlohy. Riešenie jednotlivých úloh v automatizácii je ovplyvnené najmä typom výroby. Tej sú následne po technologickej a ekonomickej stránke prispôsobené použité technické prostriedky. V oblasti kusovej a malosériovej výroby dominujú pružné automatizačné výrobné systémy, ktoré možno ľahko prispôbovať novým podmienkam. Vo veľkosériovej, hromadnej až nepretržitej výrobe prevláda tzv. tvrdá automatizácia. Čo sa týka trendov vo výrobnej automatizácii, zreteľ je kladený hlavne na zvyšovanie kvality, spoľahlivosti, životnosti a redukciu nákladov, energií, surovín a času. Základné etapy automatizovanej výroby možno rozčleniť nasledovne [4]:

- *Automatizácia pracovného cyklu* – zavádzanie automatov a poloautomatov do prevádzok.
- *Automatizácia sústavy strojov* – tvorenie automatických liniek, zahŕňa rozličné výrobné operácie.
- *Komplexná automatizácia výrobných procesov* – realizácia automatizovaných dielní či celých závodov, využitie riadiacich systémov.

Roboty možno považovať za najpokročilejšie automatické systémy, robotiku zase za interdisciplinárny vedecký a technický odbor venujúci sa navrhovaniu, konštruovaniu a využívaniu mechanických robotov. Priemyselná robotika je veľkým a rýchlo meniacim sa odvetvím. Technológia robotov sa za posledných niekoľko desaťročí rovnako ako objem a rozmanitosť nasadenia výrazne zmenila. Robot v súčasnosti predstavuje akýsi komplex pozostávajúci z niekoľkých dielčích systémov a zariadení, ktoré poskytujú [5]:

- mechanické schopnosti (pohyb a sila),
- zmyslové schopnosti (orientácia a detekcia),
- rozumové schopnosti (kontrola, rozhodovanie a pamäť).

Aby bolo možné pokryť potreby priemyslu, návrhy robotov musia spĺňať požiadavky pre čo najširšiu škálu potenciálnych aplikácií. Z dôvodu náročnosti splnenia tejto požiadavky dávajú výrobcovia zákazníkovi na výber z tried odlišujúcich sa maximálnym užitočným zaťažením, počtom robotických osí či objemom pracovného priestoru. Práve vďaka škálovateľnosti si roboty postupne našli cestu do mnohých oblastí výroby. Bežnými aplikáciami sú napr. robotické zvarovanie, montáž, nanášanie náterov, manipulácia s materiálom či balenie [6,7].

Robotická bunka pozostáva spravidla z minimálne jedného robota s kontrolérom a perifériami usporiadanými na danú aplikáciu ako sú koncové efektory, senzorické systémy, bezpečnostné prvky či zariadenia rozširujúce mobilitu. Odhaduje sa, že celkové náklady

na realizáciu robotickej bunky sú v porovnaní so samotným robotom štvornásobné. Zvyčajne je však robotizáciou dosahovaná vysoká návratnosť investícií aj napriek vysokým počiatocným nákladom. Väčšina robotov dnes operuje v bunkách za bezpečnostnými bariérami, ktorých úlohou je držať ľudí v bezpečnej vzdialenosti, no do popredia sa dostáva i kolaboratívna robotika, ktorá umožňuje priamu spoluprácu robota s človekom [7].

V nasledujúcich podkapitolách je bližšie špecifikovaná vybraná problematika slúžiaca ako podklad pre vypracovanie praktickej časti práce.

3.1.1 Automatizácia manipulácie s materiálom

Manipulácia sa všeobecne považuje za komplexný súbor akcií, ktorého cieľom je pohybom prepraviť objekt v konkrétnom čase a priestore z jedného miesta na druhé. Objektami sú v priemyselnej výrobe rôzne súčiastky a nástroje. Číselne je poloha a orientácia objektov v priestore popísaná šiestimi parametrami – X, Y, Z, A, B, C. Súbor viacerých manipulačných činností, ktorými sa dosahuje výsledného manipulačného cieľu potom nazývame operáciou. Aby bola manipulačná úloha efektívna a úspešná, musia byť náležite zohľadnené a umožnené jej tri nasledovné časti [5,8]:

- uchopovacia akcia,
- pohyby (manipulácia v širšom zmysle),
- uvoľňovacia akcia.

Pri navrhovaní robotizovaných výrobných systémov predstavuje manipulácia s materiálom významnú rolu. Vhodne riešená automatizovaná manipulácia odstraňuje namáhavú a monotónnu manuálnu prácu. Zároveň zvyšuje bezpečnosť práce a znižujú priestorové nároky celej operácie. Nevyhnutný je teda dôkladný rozbor priestoru pracoviska, podmienok pre vkladanie polotovarov či odoberanie hotových výrobkov z pracovného priestoru výrobného stroja. Manipuláciu s materiálom možno rozdeliť do niekoľkých základných skupín [8]:

- materiálový tok,
- riešenie manipulácie s materiálom,
- medzioperačná a operačná manipulácia,
- manipulácia s odpadom,
- skladovanie výrobkov, polotovarov a materiálu,
- kontrola a balenie.

Pre účely tejto práce je najrelevantnejšia operačná manipulácia, ktorá zahŕňa celý obslužný proces stroja pri výrobe. Konkrétne sa jedná o paletizáciu a depaletizáciu po obrobení výrobným strojom. Využívané budú tzv. systémové palety štandardizovaných rozmerov, ktoré sú určené k preprave orientovane uložených súčastí, umožňujúce ich automatizovanú manipuláciu. Na technológii paletizácie a depaletizácie sa značne podieľajú i periférne zariadenia rozširujúce funkciu robota. Spomenuté budú dve základné, a to koncové efekторы a lineárne jednotky [8].

3.1.2 Manipulačné koncové efekторы

Koncové efekторы či výstupné hlavice predstavujú v automatizovanom robotickom systéme najdôležitejšie periférne zariadenia robota. Účelom tých manipulačných (často tiež označované ako chápadlá) je uchopovanie objektov, ich fixácia počas premiestňovania a uvoľnenie v požadovanej polohe v priestore.

Akt uchopenia je realizovaný prostredníctvom úchopových prvkov, častí prichádzajúcich do priameho styku s manipulovanými objektmi. Podľa schopnosti ovládania úchopovej sily rozlišujeme aktívne a pasívne prvky. Pasívne, na rozdiel od aktívnych, nemôžu úchopovú silu ovládať a k uvoľneniu objektu je potreba vonkajšieho mechanického zásahu. Podľa spôsobu generovania úchopovej sily a charakteru styku s objektom delíme úchopové prvky na [8]:

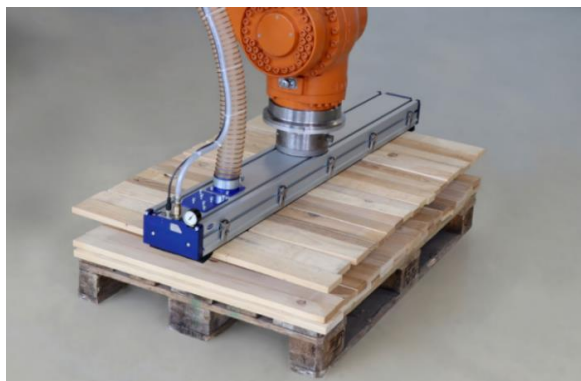
- Mechanické;
 - aktívne (hydromotor, pneumotor alebo elektromotor),
 - pasívne (napr. odpružené čel'uste).
- Podtlakové;
 - aktívne (ejektory a vývevy),
 - pasívne (deformačné prísavky).
- Magnetické;
 - aktívne (elektromagnety),
 - pasívne (permanentné magnety).
- Špeciálne.

Rovnaké rozdelenie možno aplikovať na manipulačné koncové efekторы. Práve návrh a voľba vhodného konštrukčného riešenia je v oblasti manipulačných úloh najväčšou výzvou, keďže každý z uvedených typov má svoje výhody i obmedzenia. Niektoré robotické aplikácie si však kladú požiadavku na viaceré manipulačné operácie s využitím jedného robota. V takom prípade je využitá buď technológia automatickej výmeny koncových efektorov približujúca pracovisko k autonómnosti, alebo je navrhnutý univerzálny či multifunkčný koncový efektor. Návrh efektora závisí predovšetkým od konkrétneho implementovaného robota (hlavne od jeho nosnosti), uchopovaného objektu, manipulačnej úlohy a pracovného prostredia. Koncový efektor sa preto právom považuje za súčasť celkového návrhu automatizovaného výrobného systému [8,9].

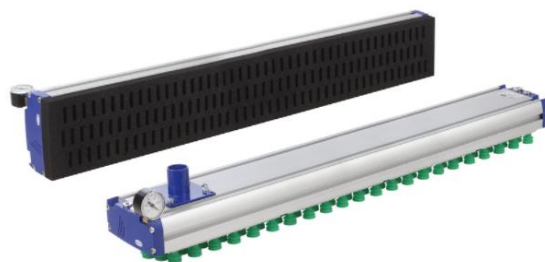
Nakoľko je táto práca zameraná na návrh robotickej bunky na výrobu plošných dielov rôznych rozmerov, bolo tomu potrebné prispôbiť voľbu úchopových prvkov. V tomto prípade boli zvolené aktívne podtlakové prvky, ktoré ponúkajú množstvo riešení či už z pohľadu tvorby vákua alebo konštrukcie efektora. Z hľadiska nákladov je na tvorbu vákua najvýhodnejšie využiť ejektory, tryskové zariadenia fungujúce na princípe Venturiho trubice, v ktorých je podtlak vytvorený pretakaním stlačeného vzduchu [8]. Konvenčným riešením je využitie samostatných prísaviek napojených či už na spoločný efektor, alebo má každá svoj vlastný, s ktorou tvorí jeden celok.

Existujú však mnoho sofistikovanejšie a univerzálnejšie systémy, označované ako lokálne uchopovacie systémy (obr. 2). K dispozícii sú vo variantoch s integrovaným generátorom vákua alebo s prípojkou pre jeho externé generovanie. Vďaka svojej robustnej a ľahko udržiavateľnej hliníkovej konštrukcii je tento systém obzvlášť vhodný na vykonávanie manipulačných úloh v náročných podmienkach. Okrem toho sú vďaka svojej nízkej hmotnosti

a kompaktným rozmerom ideálne na prácu s priemyselnými robotmi, často i v dvojitej konfigurácii. Úchopovými prvkami (obr. 3) týchto lokálnych systémov sú buď drobné prísavky, alebo tesniaca pena vhodná na prácu s drsnejším materiálom [10].



Obr. 2) Aplikácia lokálneho uchopovacieho systému [10]



Obr. 3) Varianty úchopových prvkov [10]

3.1.3 Lineárne pojazďové jednotky

Zariadenia slúžiace k premiestňovaniu robota medzi dvomi a viacerými pracovnými miestami podstatne rozširujúce celkový pracovný priestor robota. Ich veľkou výhodou je implementácia formou externej osi, vďaka čomu sa na ich riadenie využíva rovnaký kontrolér ako na robot. Na výber je rovnako ako u robotov z viacerých variantov z pohľadu nosnosti, montážnej polohy, ale i rýchlosti či konštrukčných prvkov [11].

Základom lineárnej jednotky je pojazďová dráha, po ktorej sa pohybuje nosný vozík robota najčastejšie s využitím prevodového systému pastork – hrebeň. Otáčky servomotora sú redukované v ozubení prevodovky a prenášané pastorkom zaberajúcim s hrebeňom, ktorý je pevnou súčasťou pojazďovej dráhy, výsledkom čoho dochádza k posuvu vozíka. Prepojenie motorovej a ovládacej kabeláže sa zväčša realizuje pomocou flexibilného nosiča, tzv. energetickej reťaze. Nespornou výhodou tohto systému je skutočnosť, že umožňuje nasadenie viacerých robotov pohybujúcich sa rôznymi smermi na jednej lineárnej jednotke [8].

Najefektívnejšie využitie pracovného priestoru umožňuje portálový dizajn lineárnych jednotiek (obr. 5) vyplývajúci z požiadavky na pracoviská čo najmenších rozmerov [11].



Obr. 4) KUKA 250-3 [11]

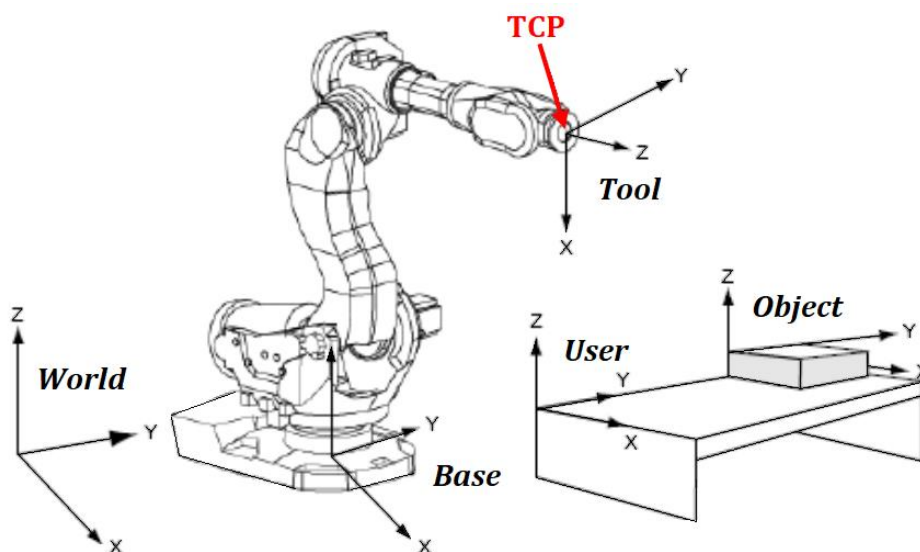


Obr. 5) KUKA KR 30-2 JET [11]

3.1.4 Súradnicové systémy robota

Pohyb kĺbov robota a jeho koncového efektoru možno opísať vo viacerých súradnicových systémoch. Tieto súradnicové systémy uľahčujú realizáciu rôznych riadiacich funkcií vrátane tvorby off-line programu, jeho úpravy či prekopírovanie z jedného robota do druhého. Pri riadení pohybu nás zaujíma predovšetkým poloha koncového bodu robota TCP (z anglického tool centre point) vzhľadom k základni, na ktorej je robot umiestnený. Pokiaľ k robotu nie je pripojený žiaden nástroj, tak sa tento bod nachádza v strede jeho montážnej príruby. V prípade potreby natáčania jednotlivých kĺbov robota v kladnom i zápornom smere sa využíva osový súradnicový systém. Ďalej rozlišujeme (obr. 6) [8,12]:

- *Súradnicový systém nástroja (Tool)* – systém vychádzajúci z bodu TCP, ktorý je definovaný užívateľom v závislosti od geometrie a rozmerov nástroja. Orientácia sa zvyčajne volí tak, aby jednotlivé osi smerovali do priestoru.
- *Súradnicový systém základne (Base)* – je prepojený so stacionárnou základňou robota. Os Z je bežne orientovaná kolmo od základne do priestoru. Programovo vhodný v prípade, že je robot namontovaný na podlahe.
- *Svetový súradnicový systém (World)* – je výhodný najmä ak viacero robotov pracuje v rovnakom pracovnom priestore, umožňuje im vzájomnú komunikáciu. Bežne sa definuje v počiatku robotickej bunky, ak je však robot vybavený lineárnou jednotkou, nachádza sa v jej počiatku. Vzťahujú sa na neho všetky ostatné súradnicové systémy.
- *Užívateľský súradnicový systém (User)* – je špecifický pre každý technologický či manipulačný proces. Používa sa na definovanie prípravkov alebo pracovných plôch, ktoré majú rôzne polohy a orientácie.
- *Objektový súradnicový systém (Object)* – je zameraný na objekt v priamej nadväznosti na užívateľský súradnicový systém. Naprogramované polohy sú vždy definované vo vzťahu k tomuto súradnicovému systému. V prípade posuvu či natočenia objektu je teda nutné upraviť len objektový súradnicový systém, rovnako tak pri zmene polohy či orientácie prípravku stačí pozmeniť ten užívateľský.



Obr. 6) Súradnicové systémy robota [12]

3.1.5 Senzory v robotike

Interakcia medzi robotom a jeho pracovným prostredím je všeobecne založená na stave tohto prostredia, zahŕňajúc vlastnosti jednotlivých objektov, ale i na stave samotného robota a jeho mechanizmov. Aby bolo teda možné robot plnohodnotne riadiť, je potrebné poznať mechanické a fyzikálne vlastnosti prostredia a daných objektov, ich polohu a orientáciu, natočenie jednotlivých osí robota, rýchlosti, prenášané sily a ďalšie. To je realizovateľné pomocou senzorov a prevodníkov buď integrovaných priamo do počítačových systémov, alebo len poskytujúcich vstupné údaje pre počítač. Zvyčajne sa senzory nachádzajú v blízkosti kinematických väzieb robota, ich najvyššiu koncentráciu však spravidla majú koncové efekторы [13].

Existuje niekoľko spôsobov klasifikácie senzorov používaných v robotike v závislosti od toho, čo a akým spôsobom snímajú. Jedným zo základných je na [7,13]:

- *Interné* – poskytujú informácie o parametroch popisujúcich stav robota ako je poloha jednotlivých kĺbov, rýchlosť pohybu, zrýchlenie, krútiaci moment motora, napätie, teplota, sila pôsobiaca na koncový efektor a iné.
- *Externé* – generujú informácie o stave okolitého prostredia ako je tvar pracovných objektov, ich poloha a orientácia, vzdialenosť k nim, interakčné sily, trenie a ďalšie špecifické údaje potrebné k vykonaniu danej operácie.

Senzory môžeme rozlíšiť i podľa toho, či sú aktívne alebo pasívne. Aktívne zasahujú do prostredia formou vlastného žiarenia a vlastnosti prostredia tak merajú na základe spätnej reakcie (odrazu). Obvykle sú robustnejšie, nakoľko vyvíjajú nad meraným signálom určitú kontrolu. Pasívne naopak vyhodnocujú len žiarenie prijaté z okolia. Vzhľadom k skutočnosti, že interné senzory sú bežne pasívne, sa toto rozdelenie uplatňuje najmä u externých, ktoré sú predmetom záujmu tejto práce. Konkrétne nás bude z dôvodu požiadavky na integrovanú inteligenciu koncového efektora zaujímať skupina externých senzorov využiteľná na detekciu prekážok, ktorú je ešte možné členiť nasledovne [7,14]:

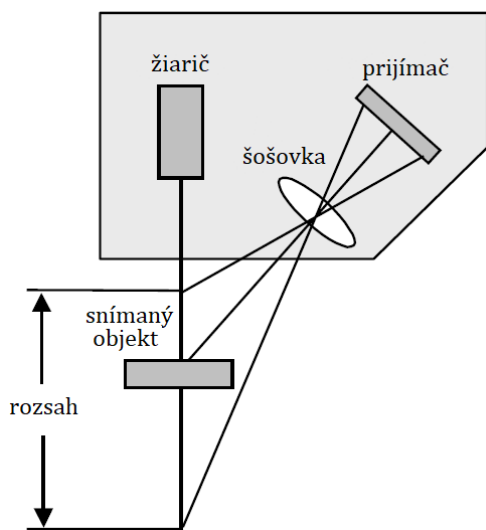
- Optické senzory (infračervené a laserové),
- Ultrazvukové senzory,
- Dotykové a približovacie senzory.

V robotike sa u optických senzorov bežne využíva viacero metód: optická triangulácia, meranie doby letu lúča a fotoelektrika. Optické triangulačné senzory (obr. 7) pozostávajú zo žiariča (laser alebo infračervená LED), šošovky a prijímača (detektor citlivý na polohu dopadu lúča – PSD). Poloha dopadajúceho lúča na detektor je potom úmerná vzdialenosti od meraného objektu. Výhodou tejto metódy je vysoké rozlíšenie, ale za cenu menšieho pracovného rozsahu. Aj senzory merajúce dobu letu lúča obsahujú žiarič a prijímač (fotodióda). Vzdialenosť objektu je dopyčítaná na základe rýchlosti svetla a časového rozdielu medzi impulzom vygenerovaným žiaričom a impulzom na prijímači po odrazení lúča. Vzdialenosť objektu v prípade fotoelektrického senzora využívajúceho LED ako žiarič odpovedá intenzite svetla na prijímači (fototranzistor alebo fotoelektrický článok). Laserové senzory sú v porovnaní s infračervenými presnejšie, ale aj drahšie a rozmernejšie [9].

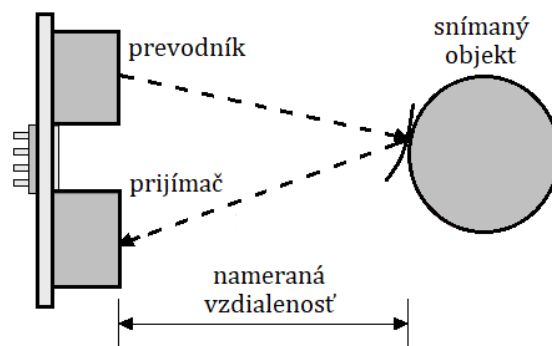
Ultrazvukové senzory (obr. 8) pracujú na podobnom princípe ako optické snímače, ktoré merajú dobu letu lúča. Namiesto svetelného impulzu je však v piezoelektrickom (schopnosť vytvárať elektrický náboj mechanickou deformáciou) alebo elektrostatickom prevodníku generovaný zvukový impulz, ktorý je po odrazení od objektu detegovaný prijímačom.

Časový rozdiel medzi emitovaným signálom a jeho ozvenou je tak úmerný vzdialenosti objektu. Frekvencia zvukových impulzov s dĺžkou okolo 1 ms je vyššia ako 20 kHz, teda mimo počuteľný rozsah človeka. Sensory sú primárne určené do stabilného prostredia, keďže veľké teplotné zmeny ovplyvňujú rýchlosť zvuku a teda aj kvalitu výstupu zo senzoru. Napriek tomu sa jedná o veľmi praktické a využiteľné sensorové systémy [9,14].

Dotykové i približovacie senzory slúžia v robotike zväčša ako indikátory prítomnosti pracovného objektu. Patria medzi najpoužívanejšie sensorické systémy koncových efektorov. Detekcia dotykových sensorov zahŕňa priamy fyzický kontakt snímača s objektom, zatiaľ čo približovacie detegujú prítomnosť objektu v predstihu. Oba typy sensorov môžu byť založené na rôznych fyzikálnych princípoch – induktívne, kapacitné, magnetické (Hallow jav), optické, ultrazvukové či fotoelektrické [14].



Obr. 7) Princíp funkcie optickej triangulácie [9]



Obr. 8) Princíp funkcie ultrazvukových sensorov

Samostatnou skupinou, ktorú taktiež nemožno opomenúť pri návrhu robotickej bunky je bezpečnostná sensorika. Vo všeobecnosti sa využíva v tých častiach robotickej bunky, v ktorých dochádza k nebezpečnému automatizovanému pohybu. Tieto ochranné zariadenia v porovnaní s oplotením a dvermi neobmedzujú manipuláciu ani transport materiálu a umožňujú lepší výhľad do priestoru bunky. Pokrývajú požiadavky na zabezpečenie a kontrolu nebezpečných miest najmä z pohľadu prístupu obsluhy. Najviac používané sú optické (laserové či LED) svetelné závesy pracujúce na princípe detekcie prerušenia svetelného lúča, čo má za následok odoslanie vypínacieho signálu robotu predstavujúcemu nebezpečný stav. U aktívneho (jednocestného) prevedenia sú vysielateľ i prijímač v samostatných puzdrách, pasívne (reflexné) však pozostáva z jedného puzdra a naproti umiestnenej odrazovej jednotky. V prípade nižšieho počtu svetelných lúčov ako šesť je reč o tzv. svetelných mrežiach. Ďalšími častými bezpečnostnými prvkami sú laserové skenery, senzory dverí, nášľapné rohože, kamerové systémy a iné [8,15].

3.2 Simulačné a off-line programovacie softvérové prostredia

Konvenčné on-line robotické programovanie, pri ktorom je program vytváraný manuálnym navádzaním robota do jednotlivých pozícií za pomoci tzv. teach pendantu priamo na mieste inštalácie robota a následným uložením do pamäti riadiaceho systému, je najmä z dôvodu svojej časovej náročnosti čoraz viac nahradzované off-line riešeniami. To je možné za pomoci softvéru, ktorý dokáže reprezentovať reálne vlastnosti a parametre robota spoločne s rozhraním pre jeho ovládanie. Umožňuje tak robotické bunky navrhovať, testovať a modifikovať úplne off-line. V súčasnosti už existuje veľké množstvo dodávateľov týchto neustále sa rozvíjajúcich softvérových riešení pre simuláciu a off-line programovanie (OLP) robotických aplikácií. Napriek tomu, že často zamieňané termíny simulácia a OLP spolu veľmi úzko súvisia, je ich potrebné rozlišovať.

Simulácia robotickej bunky predstavuje 3D vizuálne znázornenie pohybu jedného či viacerých robotov po zadaných trajektóriách v blízkosti ďalších polohovateľných zariadení. Predchádza sa ňou predovšetkým kolíziám robota s okolitým prostredím, singularitám (matematicky nepredvídateľné body) a prekročeniu limitných hodnôt natočenia jednotlivých robotických kĺbov. Často sa využíva i na prezentačné účely navrhutej koncepcie. Je predpokladom pre OLP [16].

Off-line programovanie (OLP) rozširuje simulačný model o kód špecifický pre danú robotickú aplikáciu, ktorý je vytvorený bez prítomnosti fyzického robota. Pre zabezpečenie presnosti reálneho technologického či manipulačného procesu je však pred nahratím programu do fyzického riadiaceho systému robota nutná kalibrácia. OLP má totiž zmysel až po odstránení všetkých odchýlok od reálneho prostredia. Náročnú kalibráciu predovšetkým z pohľadu 3D modelov preto možno považovať za najväčšiu nevýhodu tejto programovacej metódy, výhody však nepochybne prevládajú [16,17]:

- *Overovanie funkčnosti programov* – dôležité na predvídanie a optimalizáciu skutočného správania robota, možnosť testovania viacerých variantov programu.
- *Minimalizácia výrobných prestojov* – zmenu robotického programu je možné realizovať bez potreby narušenia už prebiehajúcej výroby (programovanie paralelné s výrobou), najvýraznejší vplyv na zvyšovanie produktivity a znižovanie nákladov.
- *Programovanie komplexných aplikácií* – v porovnaní s on-line programovacím prístupom jednoduchá tvorba a úprava programov zložitých robotizovaných operácií s množstvom pracovných bodov (zváranie, laserové rezanie, robotické obrábanie, lakovanie a pod.).
- *Zvýšená bezpečnosť práce* – rozbor a následné zamedzenie nebezpečných limitných stavov, programátor mimo pracovnej oblasti robota.

Takmer každý popredný výrobca robotov dnes disponuje svojim vlastným simulačným a OLP softvérovým balíkom, ktorý obsahuje virtuálne kópie reálnych riadiacich systémov a sady nástrojov na prácu s robotmi danej značky. Potom existujú univerzálne softvéry umožňujúce použitie takmer všetkých dostupných robotov rôznych výrobcov s ich vzájomne odlišnými programovacími jazykmi, do ktorých postprocesory prevádzajú vytvorený program.

V nasledujúcich podkapitolách sú bližšie popísané tie najpoužívanejšie simulačné a OLP softvéry, počínajúc tým, ktorý bol využitý pri tvorbe tejto práce.

3.2.1 Siemens Tecnomatix Process Simulate

Process Simulate (PS) je modulárny simulačný nástroj patriaci do rodiny komplexného portfólia digitálnych výrobných riešení Tecnomatix. Uľahčuje návrh a overenie výrobných procesov pred ich implementáciou vo fyzickej podobe v pokročilom dynamickom 3D prostredí. To je schopné napodobňovať realistické správanie týchto procesov a optimalizovať časy cyklov a postupnosti jednotlivých operácií. PS je vysoko škálovateľný softvér, ktorý poskytuje rôznym inžinierskym disciplínam údaje a sady nástrojov na skúmanie procesov v rôznych štádiách a perspektívach. Užívateľovi dovoľuje zasahovať do rôznych segmentov výroby ako sú napr. montážne procesy, kontinuálne procesy (zváranie, lepenie, lakovanie a pod.) a množstvo ďalších simulovaných procesov v spoločnom prostredí. To umožňuje simulovať kompletne robotické bunky vrátane práce ľudí s prihliadnutím na ergonómiu. Uvedené procesy je možné riadiť prostredníctvom off-line programu, interného i externého PLC alebo logických blokov jednotlivých komponentov. Snahou je doceliť realistické správanie riadiacich systémov a logiky PLC. Softvér možno z hľadiska zamerania rozdeliť na nasledovné podmoduly [18]:

- *Process Simulate Assembly* – slúži na overenie realizovateľnosti montážneho procesu daného výrobku za pomoci zvoleného nástroja a pomáha stanoviť čo najefektívnejšie poradie dielčích procesov montáže. Zároveň zabráňuje možným kolíziám a určuje najkratšiu dobu cyklu.
- *Process Simulate Human* – umožňuje realistickú simuláciu ľudských činností s cieľom overiť dosah, bezpečnosť a dodržiavanie priemyselných štandardov ergonómie.
- *Process Simulate Spot Weld* – pomáha navrhovať technologický proces bodového zvárania od počiatočnej fázy plánovania až po off-line programovanie.
- *Process Simulate Robotics* – poskytuje možnosti návrhu bezkolíznej dráhy robotov a optimalizuje ich pracovné cykly. Návrh a úprava robotických kinematických štruktúr i štruktúr ďalších komponentov pracoviska je taktiež možná.
- *Process Simulate Commissioning* – podmodul určený na simulovanie reálneho PLC programu so skutočným hardvérom prostredníctvom softvérového simulátoru (napr. PLC Sim Advanced, OPC) a reálnych robotických programov, umožňuje prácu v najvernejšom virtuálnom prostredí pre uvedenie do prevádzky.

V softvérovom prostredí Process Simulate rozlišujeme dva typy simulácií, a to simuláciu v štandardnom časovo závislom režime (Standard Mode) a udalosťami riadenú simuláciu (Line Simulation Mode). V prvej spomínanej nasledujú operácie postupne za sebou a každej je priradený časový interval, ktorý reprezentuje čas potrebný na jej vykonanie. Pri simulovaní reálnych prevádzok sa však využíva druhý uvedený typ simulácie, nakoľko umožňuje riadenie operácií v závislosti od udalostí (signálov) na vstupe riadiaceho systému.

Majoritná časť tejto práce je realizovaná práve v Tecnomatix Process Simulate najnovšej verzii 16.0.2, ktorá priniesla množstvo novinek a vylepšení [19]:

- *Novinky pre prácu s robotickým programom* – panel na komunikáciu s programom, rozšírená OLP syntax a paralelné úlohy robotov KUKA (KRC); vylepšené OLP ABB Rapid (ihneď aplikovateľné XML súbory); možnosť prepojenia simulovaného robota na virtuálny kontrolér (VRC) pre roboty ABB cez RoboStudio a roboty Fanuc cez RobotGuide.

- *Nové možnosti simulácie ľudských činností* – automatické generovanie ergonomických správ, možnosť vytvorenia animácií snímaním vlastného pohybu (motion capture), realistické modifikovateľné postavy.
- *Ďalšie nové funkcie* – integrácia virtuálnej reality (VR), nástroj na simulovanie práce s rukami (live hands), podpora simulácií autonómnych vozíkov (AGV) a autonómnych mobilných robotov (AMR), senzor detekcie a dosahu svetla LiDAR, rozšírená podpora CAD softvérov a iné.

3.2.2 ABB RobotStudio

RobotStudio je inovatívny simulačný nástroj primárne určený na konfiguráciu a programovanie robotov značky ABB. Užívateľom umožňuje vďaka technológii *VirtualRobot* pracovať s virtuálnym riadiacim systémom IRC5, teda presnou kópiou skutočného systému, ktorý riadi roboty v reálnej výrobe. V dôsledku toho sú výstupom softvéru neuveriteľne realistické simulácie využívajúce rovnaké programy a konfiguračné súbory ako roboty na pracovisku. Prenos vygenerovaného off-line programu RAPID do reálneho riadiaceho systému umožňuje funkcia *Transfer*. Okrem off-line programovania je podporovaný aj on-line programovací prístup s využitím reálneho fyzického systému IRC5 [20].

RobotStudio obsahuje celú radu ďalších užívateľsky prívetivých funkcií, ako napr. *AutoPath* a *AutoReach* (automatické generovanie dráhy podľa kontúry objektu a overenie dosahu), *AutoConfiguration* (automatické definovanie konfigurácie robota pre celú dráhu), *Collision Detection* (detekcia kolízií v priebehu simulácie), *Import Geometry* (import rôznych CAD formátov), *Virtual FlexPendant* (grafická reprezentácia reálneho riadiaceho panelu), *Rapid Editor* (nástroj na úpravu a optimalizáciu programu), *Smart Component* (definovanie základnej logiky simulovaných objektov) a mnoho iných [20].

3.2.3 Fanuc Robotguide

Robotguide je vhodný najmä na prácu s robotmi od japonskej značky Fanuc. Pracuje s virtuálnym riadiacim systémom robotov Fanuc, čo opäť zaručuje vysokú presnosť simulácie. Robotické bunky je možné navrhovať, testovať a upravovať úplne off-line s minimálnym dopadom na produkciu. Okrem podpory importu CAD formátov je dispozíciou i rozsiahla knižnica produktov spoločnosti. Integrovaná je taktiež softvérová funkcia vizualizácie reálneho riadiaceho panelu. Robotguide je navrhnutý tak, aby bol intuitívny a jednoduchý na použitie, vhodný je teda i pre menej skúsených užívateľov.

Softvér taktiež zahŕňa mnoho špecifických programovacích nástrojov pre konkrétne aplikácie, ako napr. manipulácia s materiálom (*HandlingPRO*, *iRPickPRO*), odhľovanie súčastí (*ChamferingPRO*), paletizácia (*PalletPRO*), zváranie (*WeldPRO*) či lakovanie (*PaintPRO*). Medzi pokročilé funkcie patrí automatický výpočet najvýhodnejšej pozície z pohľadu doby cyklu a pracovnej úlohy (*Autoplace*), výpočet spotreby energie (*Duty*), vizualizácia pokrytia pri nanášaní náterov (*Spray*). Ďalšími sú koordinácia pohybu viacerých robotov (*Coord*), inteligentná simulácia bin pickingu (*Vision*), či simulácia chovania kabeláže upevnenej na robotovi (*Cable*) [21].

4 ŠPECIFIKÁCIA ZADANEJ PROBLEMATIKY

Cieľom diplomovej práce je vytvoriť a overiť funkčnosť návrhového konceptu robotizovaného pracoviska pre obsluhu drevoobrábacieho stroja prostredníctvom simulácie vo virtuálnom prostredí softvéru Siemens Process Simulate. Úlohou robota je nahradiť manuálnu prácu obsluhy pri manipulácii s doskami, nie je teda požadovaný presný výrobný takt. Na pracovisko je zo zadania kladených viacero konkrétnych požiadaviek, ktoré sú širšie rozvedené v nasledujúcich podkapitolách.

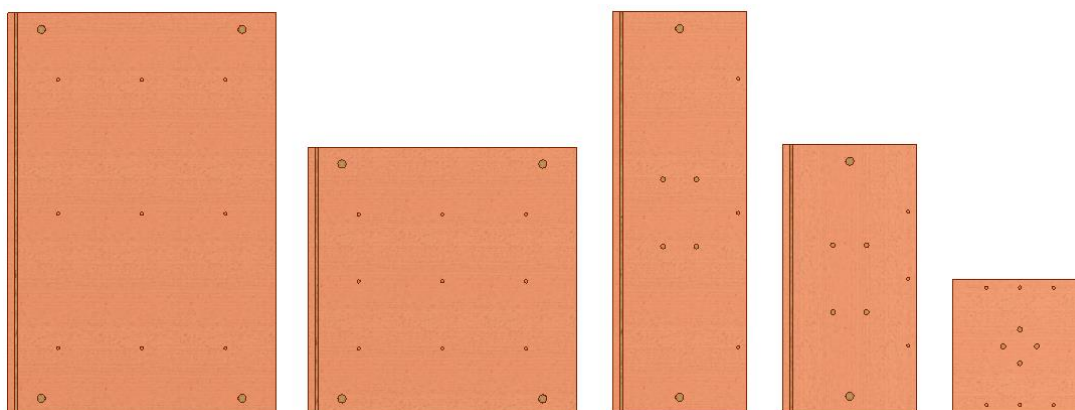
4.1 Manipulované objekty

Zadanými objektami manipulácie sú laminované drevotrieskové dosky o hrúbke 18 mm v piatich rozmerových variantoch spracovaných v nadchádzajúcej tabuľke (tab. 1).

Tab. 1) Parametre zadanych dosiek

	1	2	3	4	5
Dĺžka [mm]	1200	800	1200	800	400
Šírka [mm]	800	800	400	400	400
Hmotnosť [kg]	12	8	6	4	2
Obrábací čas [s]	36	32	30	26	22

Robot prostredníctvom vhodného koncového efektora dochádza do kontaktu s doskami pred i po obrobení drevoobrábacím strojom. Podoba výsledného produktu závisí od potrieb zákazníka, pre účely tejto práce však bolo zvolené nasledovné rozloženie drážok a dier (obr. 9) a odhadnutý čas ich obrobenia.

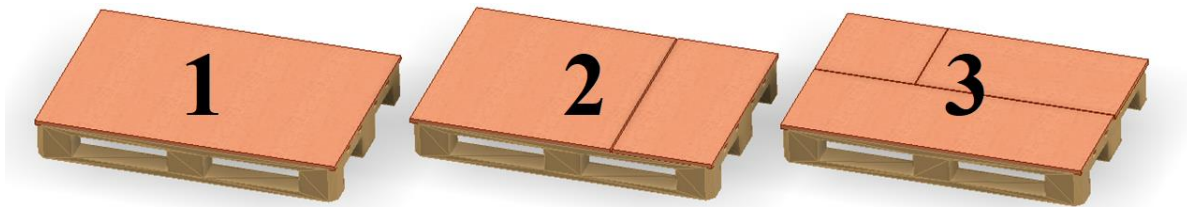


Obr. 9) Rozmerové varianty dosiek po obrobení (zoraďené podľa tab. 1)

4.2 Popis procesu a pracoviska

Dosky na vstupe budú bez prekladov poukladané na europaletách s normalizovanými rozmermi 1200 × 800 × 144 mm (D × Š × V) v troch možných variantoch uloženia (obr. 10) do maximálnej výšky 1 m, čo by odpovedalo 55 kusom dosiek (990 mm). Po privezení palety

obsluhou dôjde k postupnému odoberaniu dosiek robotom a ukladaniu na stôl drevoobrábacieho stroja (1 ukladacia pozícia). Po obrobení budú hotové kusy zo stola stroja preložené na výstupnú paletu pri zachovanom uložení ako na vstupnej palette. Odvoz plne naloženej palety má na starosti obsluha.



Obr. 10) Varianty uloženia dosiek

Pracovisko je možné rozdeliť na prelínajúce sa pracovné priestory obsluhy a robota. V pracovnom priestore obsluhy prebieha výmena paliet, ale aj robotické odoberanie a nakladanie dosiek. Tento priestor preto musí obsahovať prvky zabezpečujúce túto kooperáciu a zároveň umožniť kontinuálnu prevádzku bez zastavenia pri výmene vstupnej alebo výstupnej palety, čo je ďalšou požiadavkou práce. Na pracovný priestor robota je zase kladená požiadavka vstupu obsluhy za účelom manuálnej obsluhy stroja (napr. v prípade poruchy robotického systému), či vykonania plánovaných servisných operácií.

Niektoré komponenty využité pri návrhu robotickej bunky boli zadaním preferované, iné zvolené na základe uváženia a dostupných informácií. Drevoobrábacím strojom bude horizontálne CNC vŕtacie centrum a na manipuláciu s doskami bude s ohľadom na ďalej uvedené kritéria zvolený vhodný robotický systém. Medzi ďalšie prvky potrebné pre fungovanie bunky, ktoré budú taktiež v návrhu zahrnuté, patria elektrické rozvádzače zariadení, kontrolér zaisťujúci riadenie robota či bezpečnostné oplotenie.

5 NÁVRH ROZLOŽENIA ROBOTICKEJ BUNKY

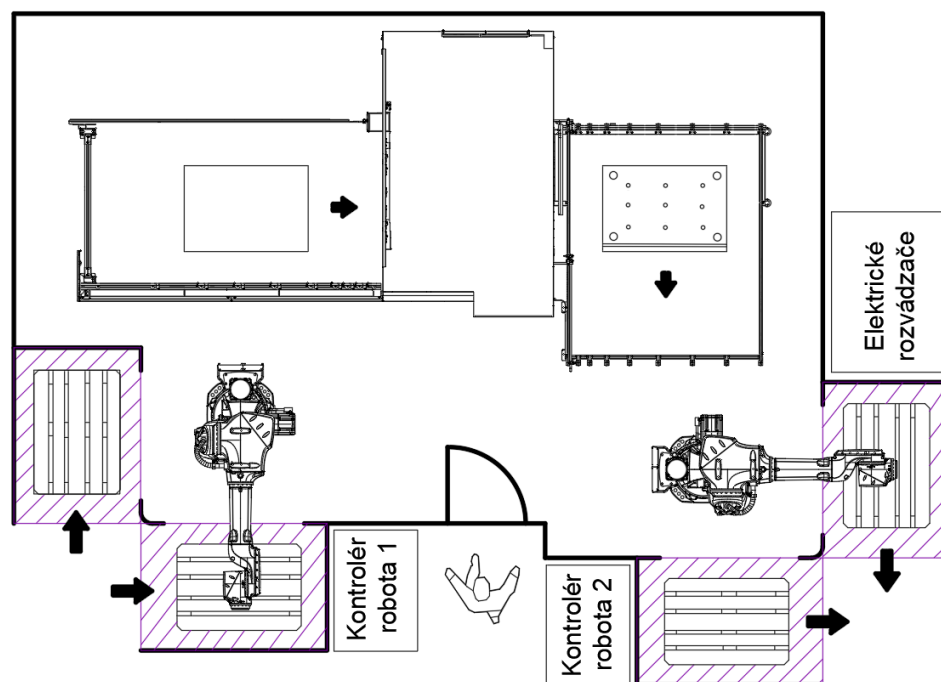
S ohľadom na splnenie uvedených požiadaviek zo zadania boli vypracované tri prvotné návrhy rozloženia (layout) zvolených čiastkových systémov robotizovaného pracoviska pre daný typ aplikácie. Okrem týchto požiadaviek však treba dbať na množstvo iných faktorov uvedených v poslednej podkapitole tejto časti práce ako hodnotiace kritériá, na základe ktorých bol zvolený variant návrhu pre ďalšie rozpracovanie. V praxi však má rozhodujúce slovo pri výbere zákazník. Správny výber rozloženia bunky je kľúčový pre dodržanie limitujúcich podmienok, zaistenie požadovanej funkcie a celkového úspechu projektu.

Počet paliet v navrhovanej bunke vyplýva z požiadavky na kontinuálnu prevádzku a je vo všetkých návrhových variantoch rovnaký a postačujúci. Dve vstupné a dve výstupné palety sú v jednotlivých vizualizáciách rozlíšené smerom šípky. Ďalšou spoločnou črtou je šrafovanie fialovej farby v okolí paliet, ktoré označuje zabezpečený pracovný priestor obsluhy pri prevádzke.

5.1 Variant A

V návrhovom variante A (obr. 11) sú na obsluhu drevoobrábacieho stroja použité dva samostatné roboty. Tie sú ukotvené tak, aby každý dosiahol na stôl stroja a dve palety, medzi ktorými daný robot prechádza podľa pokynov operátora. Priestor pracoviska je prehľadný a dostačujúci na vykonanie plánovaných servisných operácií i prípadnú manuálnu obsluhu stroja.

So zreteľom na obrábacie časy jednotlivých dosiek možno predpokladať, že nevýhodou tohto variantu bude najmä vznik neproduktívnych časov robotov. Použitie dvoch robotických systémov by sa výrazne podpísalo na počiatočnej investícii, nakoľko by boli potrebné i dva koncové efektory a riadiace systémy.

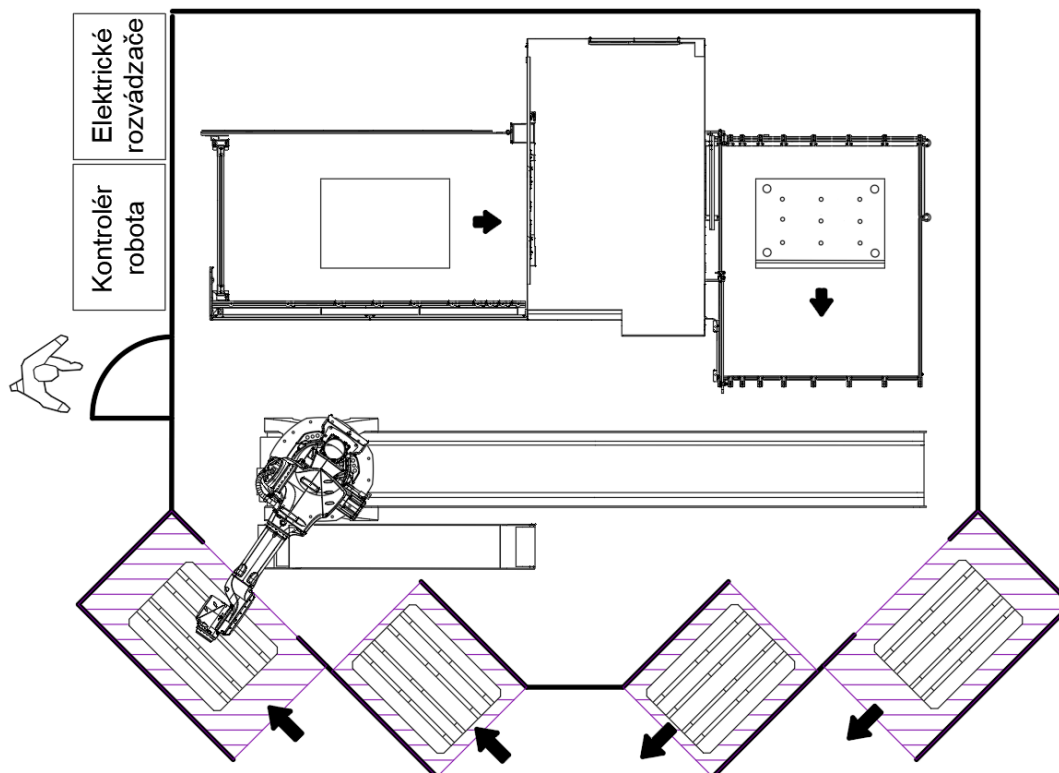


Obr. 11) Návrh rozloženia bunky – variant A

5.2 Variant B

Koncepcia variantu B (obr. 12) je založená na použití jedného robota s rozšírenou mobilitou prostredníctvom lineárnej jednotky, ktorá predstavuje siedmu externú os robota. Robot je vďaka nej schopný obsluhovať celý drevoobrábací stroj sám, čo zvyšuje jeho celkové časové využitie. Aplikácia jedného robota sa tak javí ako postačujúca a finančne menej náročná možnosť.

Na druhej strane by lineárna jednotka obmedzovala pohyb operátora či servisných technikov po pracovisku. V porovnaní s nasadením dvoch robotov by tento variant rozloženia dosahoval nižšej výrobnosti, čomu ale z dôvodu nezadaného taktu nie je prikladaný veľký dôraz.

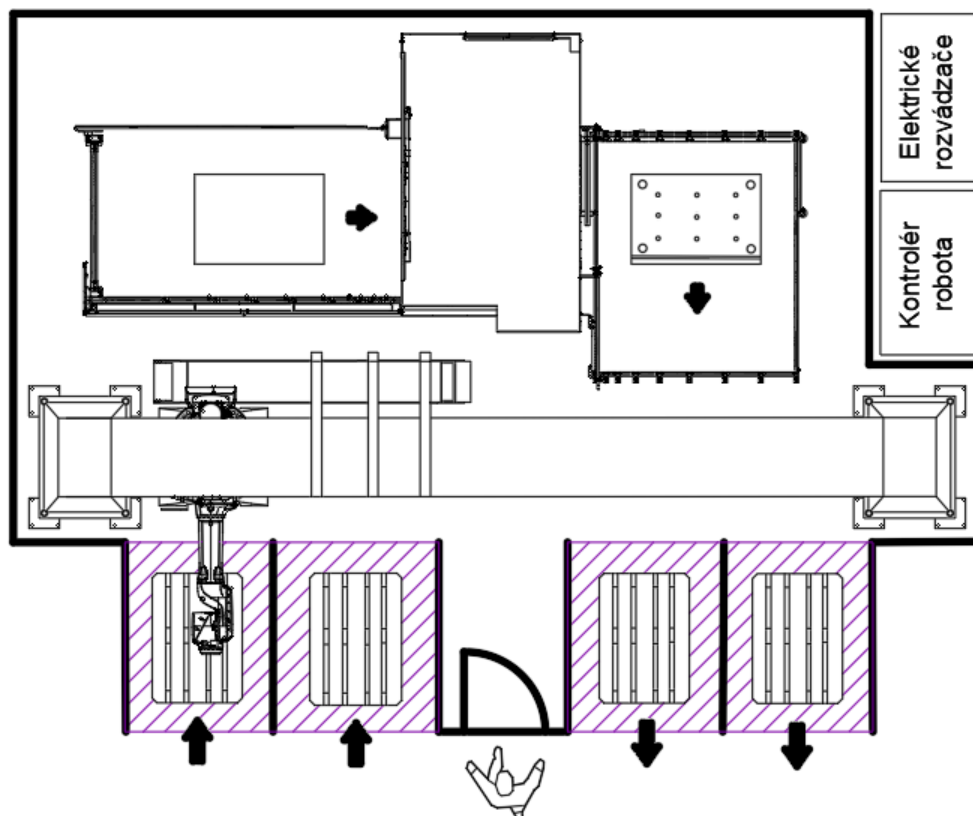


Obr. 12) Návrh rozloženia bunky – variant B

5.3 Variant C

Dispozícia pracovného priestoru variantu C (obr. 13) je podobne ako u predchádzajúceho návrhu založená na využití jedného pracovného robota na lineárnej jednotke. V tomto prípade by však bola celá lineárna jednotka s robotom zavesená na nosnej konštrukcii dimenzovanej podľa maximálneho zaťaženia. Vďaka tejto konštrukcii by bolo možné využiť celkový potenciál priestoru bunky na relatívne malej ploche zástavby. Spomedzi ostatných variantov ponúka variant C najpriestranejší priestor pre prípadnú manuálnu prácu operátora stroja a servisné operácie.

Možným rizikom v tomto variante by mohla byť nesprávne navrhnutá či zvolená nosná konštrukcia, čo by časom mohlo viesť k fatálnym následkom.



Obr. 13) Návrh rozloženia bunky – variant C

5.4 Zhodnotenie a výber výsledného variantu

Výber konštrukčne a ekonomicky najvýhodnejšieho návrhového variantu je realizovaný na základe porovnania. Za týmto účelom bolo zvolených niekoľko relevantných hodnotiacich kritérií, ktoré sú reprezentované váhovými koeficientami 1 až 5, kde 5 predstavuje najplyvnejšie kritérium. Jednotlivé varianty potom nadobúdajú hodnoty symbolizujúce mieru splnenia kritéria vzostupne od 1 do 3. Z nastavených podmienok hodnotenia teda vyplýva, že variant s najvyšším počtom bodov po prenasobení váhami kritérií a sčítaní je považovaný za najlepšie riešenie. Nutné je podotknúť, že body i váhy kritérií boli priradené na základe subjektívneho uváženia, založeného na predstavách o fungovaní v reálnej prevádzke.

Ako je zrejmé z nasledujúcej tabuľky (tab. 2), ďalej rozpracovaný bude variant C.

Tab. 2) Výber variantu bunky

Hodnotiace kritérium	Váha kritéria	Variant A	Variant B	Variant C
Plocha zástavby a jej využitie	4	2	2	3
Pohyb po bunke (operátor, servisný technik)	5	2	1	3
Vyťaženosť robota/robotov	3	1	3	3
Výrobnosť	2	3	2	2
Počiatkové náklady	4	1	3	2
	Σ	31	38	48

6 NÁVRH A VÝBER KOMPONENTOV PRACOVISKA

Táto kapitola práce je zameraná na popis konštrukčných návrhov niektorých z komponentov zvoleného variantu pracoviska a na zdôvodnenie výberu tých nakupovaných. Na tvorbu a úpravu 3D modelov bol využitý softvér Autodesk Inventor Professional.

6.1 Návrh koncového efektora

Ako už bolo uvedené v teoretickej časti práce, pri návrhu sa počítalo s využitím aktívnych podtlakových úchopových prvkov, ktoré sú na manipuláciu s plochými dielmi najvhodnejšie. Konštrukciu bolo potrebné prispôbiť najmä požiadavke pre manipuláciu s doskami rôznych rozmerov a hmotností, Do úvahy sa brala i celková hmotnosť koncového efektora v nadväznosti na následný výber robota.

Nevyhnutným predpokladom vhodne zvolených úchopových prvkov je výpočet teoreticky potrebnej úchopovej sily pri najrizikovejších podmienkach. Pre tento účel boli vyhodnotené tri, pre danú úlohu relevantné prípady manipulácie s doskami (obr. 14). Vstupom do výpočtov teoreticky potrebnej úchopovej sily pneumatického koncového efektora sú nasledujúce hodnoty:

- Hmotnosť najväčšej (1200 × 800) dosky: $m = 12 \text{ kg}$,
- Maximálne zrýchlenie robota vo všetkých osiach: $a = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,
- Gravitačná konštanta: $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,
- Koeficient trenia (drevo): $\mu = 0,5$,
- Súčiniteľ bezpečnosti: $S = 2$.

Prvý prípad (1) popisuje časť manipulačnej operácie, kedy robot odoberá či ukladá dosku vertikálnym pohybom pri horizontálnej polohe úchopových prvkov (obr. 15) [22].

$$F_{U_1} = m \cdot (g + a) \cdot S \quad (1)$$

$$F_{U_1} = 12 \cdot (9,81 + 10) \cdot 2 = 475,44 \text{ N}$$

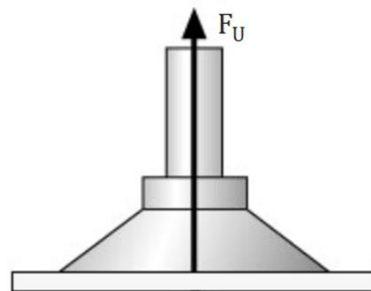
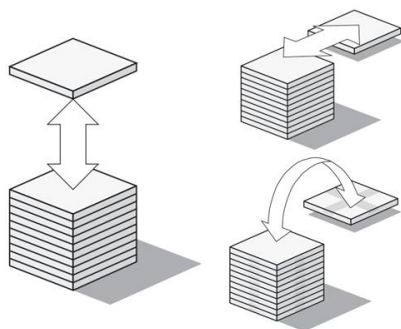
V priebehu manipulačnej úlohy robot miestami využíva i horizontálny pohyb koncového člena pri horizontálnej polohe úchopových prvkov (2), rovnako ako rotačný pohyb, pri ktorom sa prvky dostávajú aj do vertikálnej polohy (3) [22].

$$F_{U_2} = m \cdot \left(g + \frac{a}{\mu}\right) \cdot S \quad (2)$$

$$F_{U_2} = 12 \cdot \left(9,81 + \frac{10}{0,5}\right) \cdot 2 = 715,44 \text{ N}$$

$$F_{U_3} = \frac{m}{\mu} \cdot (g + a) \cdot S \quad (3)$$

$$F_{U_3} = \frac{12}{0,5} \cdot (9,81 + 10) \cdot 2 = 950,88 \text{ N}$$



Obr. 14) Možné pohyby pri manipulácii [22] Obr. 15) Horizontálna poloha prísavky [22]

Ako je z výsledkov zrejmé, najhoršia situácia z pohľadu teoreticky potrebnej úchopovej sily nastáva v treťom uvedenom prípade. Konvenčným riešením, pre ktoré sú i vyššie uvedené výpočty primárne určené by bolo stanovenie počtu prísaviek a dopočítanie hodnoty úchopovej sily na jednu z nich. Na účely uchopenia boli ale v tomto prípade zvolené lokálne uchopovacie systémy od spoločnosti Schmalz s označením *FXP-S-SVK 640 3R18* (obr. 16), ktoré ponúkajú na rozdiel od prísaviek množstvo výhod. Najvýraznejšou je integrácia generátora vakuua (ejektoru), čo výrazne uľahčuje štruktúru pneumatického zapojenia. Zvolená dvojitá konfigurácia týchto systémov spĺňa požiadavky na úchopovú silu s dostatočnou rezervou. Ďalšie technické údaje a funkcie sú uvedené v nasledujúcej tabuľke (tab. 3) [23].

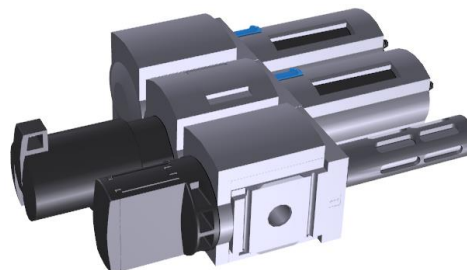
Tab. 3) Technické parametre zvoleného uchopovacieho systému [23]

<i>Uchopovací systém FXP-S-SVK 640 3R18</i>		
Rozmery (D × Š × V)	[mm]	640 × 130 × 109
Typ materiálu úchopového člena	[-]	Tesniaca pena
Spotreba vzduchu	[l/min]	375
Úchopová sila pri -0,25 bar	[N]	820
Hmotnosť	[kg]	3,6
Prídavné funkcie	[-]	Prachový filter, kontrolné ventily (nasávanie/odfuk)

Z pohľadu pneumatického zapojenia je v tomto prípade potrebné riešiť len prívod stlačeného vzduchu. Pre tento účel bola zvolená jednoduchá servisná jednotka na úpravu vzduchu *MSB6-3/8:C4:J7:II-WP* (obr. 17) od spoločnosti Festo, pozostávajúca z ručne ovládaného zapínacieho ventilu a filtru (5 μm) s tlakovým regulátorom (0,3 – 7 bar). Dodatočne bol pre splnenie požadovanej čistoty vzduchu v doplnený i jemnejší filter (1 μm) [24].

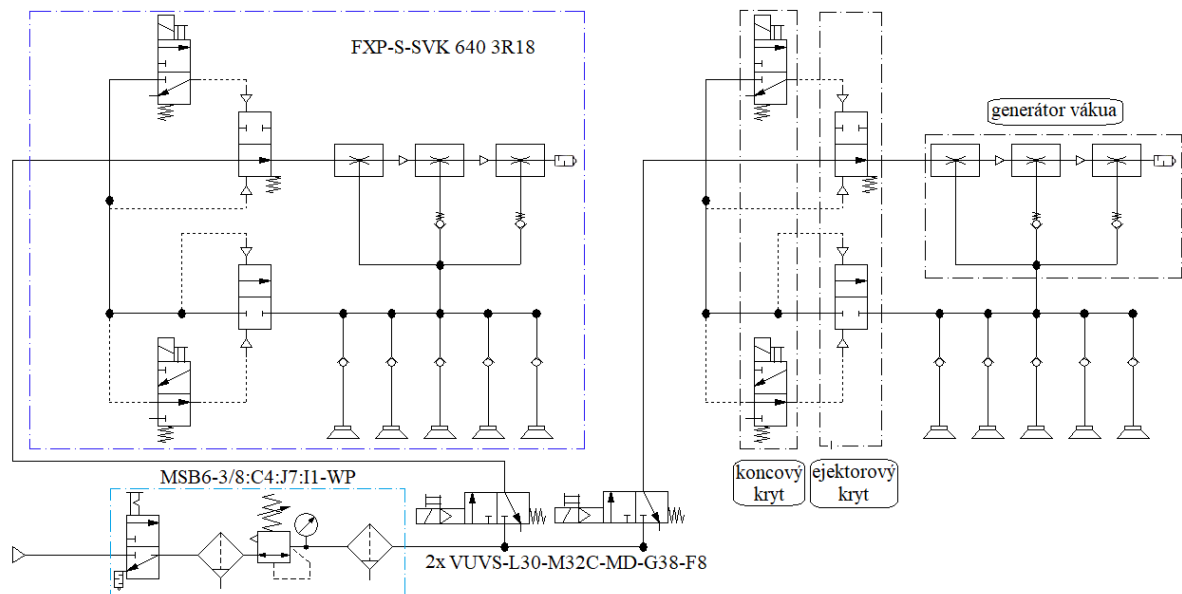


Obr. 16) FXP-S-SVK 640 3R18 [23]



Obr. 17) MSB6-3/8:C4:J7:II-WP [24]

Zapojením dvoch zvolených uchopovacích systémov zo samostatnými zatváracími ventilmi *VUVS-L30-M32C-MD-G38-F8* a jednotky na úpravu stlačeného vzduchu dostávame nasledujúcu pneumatickú schému (obr. 18).



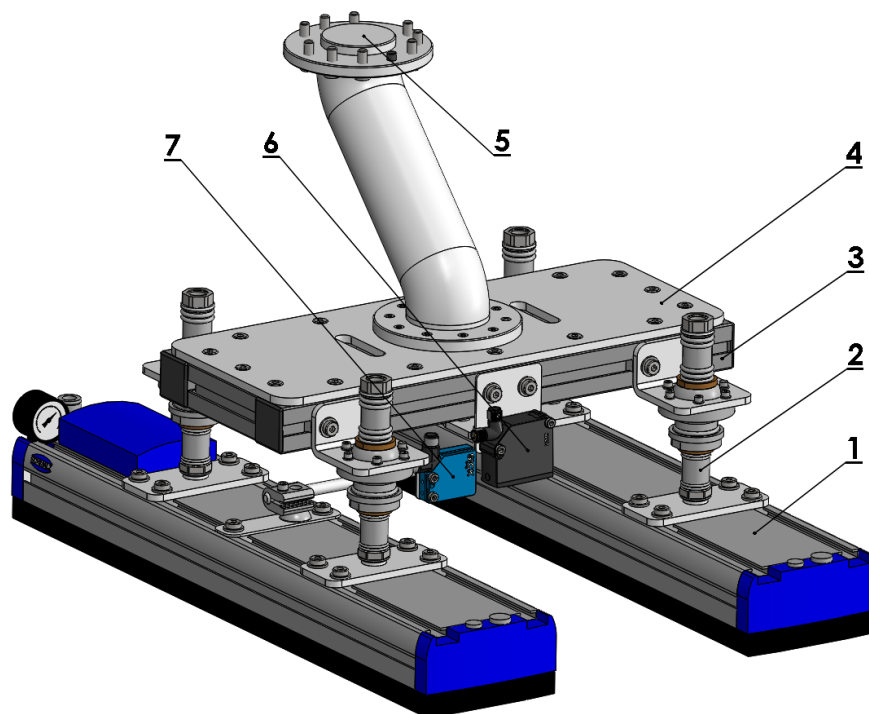
Obr. 18) Pneumatická schéma zapojenia koncového efektoru [24,25]

Ďalej bol koncový efektor vybavený senzorickým systémom od spoločnosti SICK pre meranie vzdialenosti k odoberaným dielom v dôvodu meniaceho sa počtu kusov na palete a pre overenie natočenia dosiek s cieľom presného uchopovania. Na meranie vzdialenosti, ktoré je realizované z bezpečnej východiskovej polohy nad paletou, bol zvolený senzor s označením *DT20-P214BS03*. Natočenie dosiek je možné overiť na základe vzájomného vzťahu koncového bodu (TCP) a súradnicového systému bázy. Účelom senzoru *WT12L-2B551* je detekcia troch nábežných hrán dosky (1 na kratšej a 2 na dlhšej strane), pričom je zaznamenávaná poloha TCP. V prípade odchylenia od požadovaného natočenia sa upraví súradnicový systém bázy, čo umožní vždy presné uchopenie dosky v strede. Takto overená je vždy prvá, prípadne niekoľko ďalších s predpokladom súhlasného natočenia zvyšných dosiek v danom stĺpci. Relevantné parametre oboch senzorov sú uvedené v tabuľke nižšie (tab. 4).

Tab. 4) Technické parametre zvolených senzorov [26,27]

	<i>SICK DT20-P214BS03</i>	<i>SICK WT12L-2B551</i>
Rozsah snímania	100 – 600 mm	30 – 200 mm
Druh svetla	Viditeľné červené svetlo	Viditeľné červené svetlo
Vysielač svetla	Laser	Laser
Druh pripojenia	Konektor M12, 5-pinový	Konektor M12, 5-pinový
Technológia	Meranie vzdialenosti využitím laserovej triangulácie	Reflexné svetelné spínanie (zACLonené pozadie)
Trieda laseru	1	2

Na základe zvolených prvkov bol vytvorený finálny návrh koncového efektora, ktorého celkové rozmery ($D \times \check{S} \times V$) sú $640 \times 452 \times 439$ mm a hmotnosť 22,374 kg (obr. 19). Základom jeho nosnej konštrukcie sú hliníkové profily spojené fixačnými uholníkmi, ku ktorým je skrutkami M8 pripevnená upevňovacia doska a štyri pružné piesty Schmalz s označením *FST-FLEX 25 HD1 G1/2-AG G3/8-IG* slúžiace na výškovú kompenzáciu pri odbere dosky z palety [28]. Vedenie kabeláže senzoru pre detekciu nábežných hrán je umožnené prostredníctvom vyfrézovaných drážok v upevňovacej doske. Na pripojenie efektora ku koncovej osi robota bola navrhnutá príruha s deviatimi skrutkami M8 a valcovým strediacim kolíkom zaisťujúcim správnu orientáciu. Odsadenie príruby bolo realizované pre zlepšenie dosahu robota.



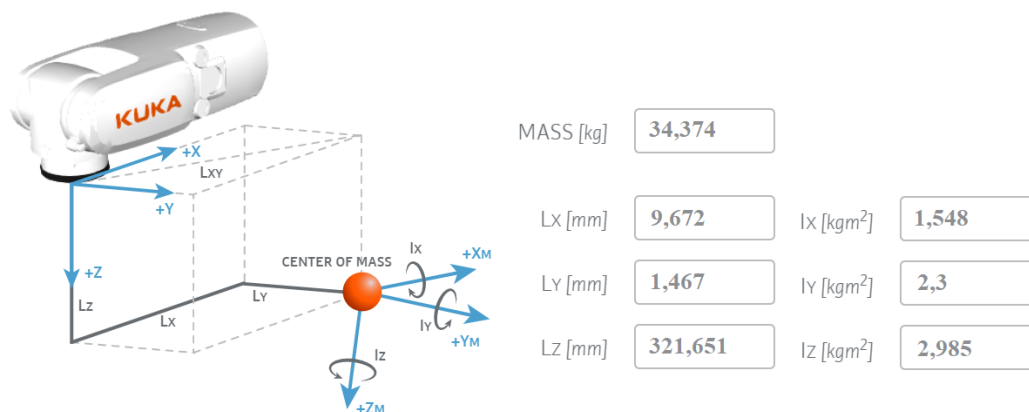
Obr. 19) Koncový efektor pre manipuláciu s doskami:

- 1 – uchopovací systém (2x), 2 – pružný piest s obojsmerným tlmením (4x),
- 3 – konštrukcia z hliníkových profilov, 4 – upevňovacia doska, 5 – montážna príruha,
- 6 – senzor pre meranie vzdialenosti, 7 – senzor pre detekciu nábežných hrán

6.2 Výber robota

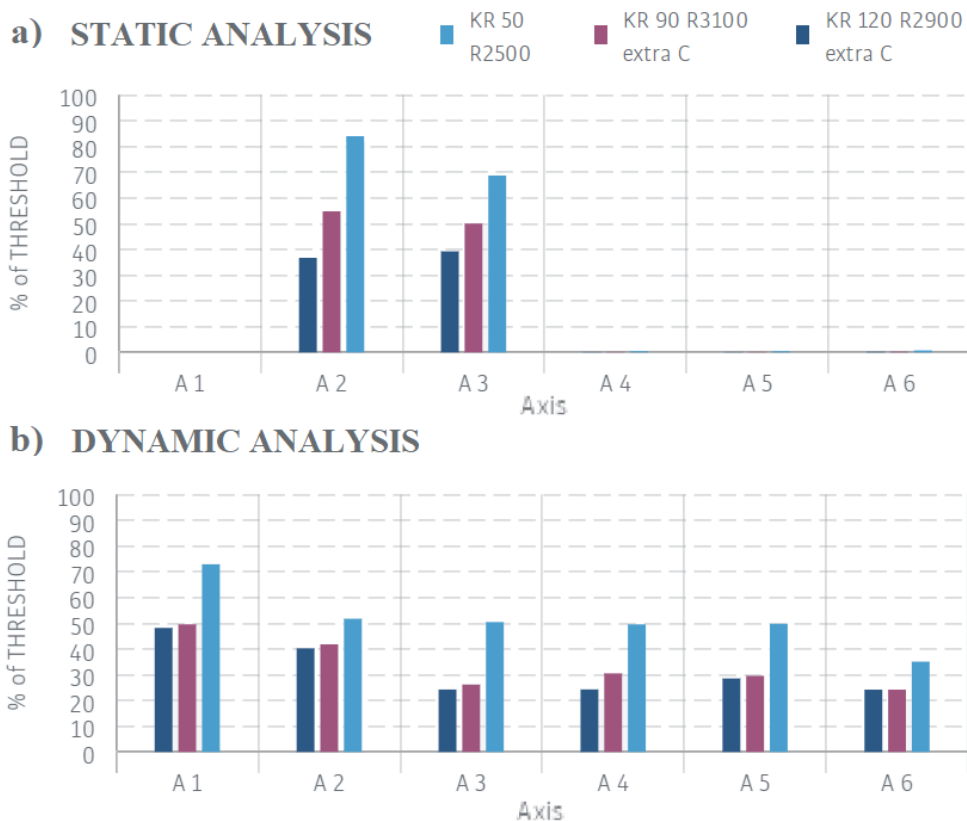
Po zvolení najideálnejšieho rozloženia bunky, definovaní manipulovaných objektov a návrhu koncového efektora prišiel rad na výber vhodného robota. Ako už bolo u rozpracovaného variantu zmienené, na obsluhu celej bunky bude použitý jeden, a to šesťosý robot s rozšírenou mobilitou. Tento robot musí spĺňať viacero požiadaviek ako nosnosť, dosah, montážnu polohu prípadne cenu, ktorú by bol zákazník ochotný investovať. Z dôvodu dostupnosti rozširujúceho RCS (Robot Controller Simulation) modulu robotov značky Kuka na ÚVSSR, bol výber robota obmedzený len na produkty tohto výrobcu. Pomocou tohto modulu zahŕňajúceho dynamické chovanie je zo simulácie možné určiť časy jednotlivých operácií, ktoré sa približujú realite. V tejto práci bude ale modul použitý len pre informačné účely, nakoľko nebol zadaný takt pracoviska, ktorý by bolo potrebné overiť. Proces výberu robota bol formou overujúceho výpočtu statického i dynamického zaťaženia jeho jednotlivých osí výrazne uľahčený prostredníctvom online nástroja Kuka Compose.

Hlavným vstupným parametrom je maximálna manipulovaná hmotnosť (m), ďalej sa zadávajú vzdialenosti ťažiska koncového efektora od stredu príruby robota (L_x, L_y, L_z) a momenty zotrvačnosti k jednotlivým osiam vzhľadom k ťažisku plne naloženého efektora (I_x, I_y, I_z). Všetky uvedené hodnoty boli zistené softvérom Autodesk Inventor Professional. Využitý bol tiež mód pre paletizáciu, ktorý počíta s natáčaním šiestej osi ako na obr. 20.



Obr. 20) Vstupné parametre pre výber robota v Kuka Compose [29]

Približný požadovaný dosah robota 2500 mm bol odhadnutý z predbežného rozloženia pracoviska v softvéri Siemens Process Simulate a poslednou požiadavkou je schopnosť prevádzky pri závesnej montážnej polohe. Pre porovnanie zaťaženi na jednotlivých osiach boli zvolené tri najvhodnejšie roboty spĺňajúce nosnosť, dosah i montážnu polohu pre danú aplikáciu (v označení je prvá hodnota nosnosť, druhá dosah): KR 50 R2500, KR 90 R3100 extra C, KR 120 R2900 extra C.



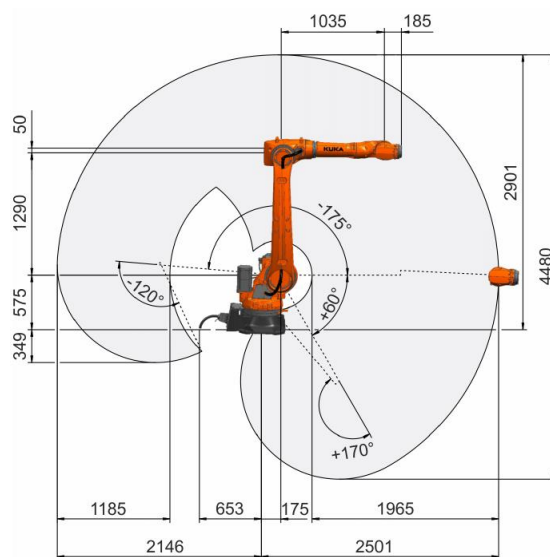
Obr. 21) Zaťaženie jednotlivých robotických osí: a) statické, b) dynamické [29]

V praxi sa bežne doporučuje nepresiahnuť hodnotu 85 % maximálneho statického aj dynamického zaťaženia na jednotlivých osiach, čo ako je možné vyčítať z grafov bolo dodržané u všetkých troch robotov. S ohľadom na závesnú konštrukciu, po ktorej sa robot bude pohybovať, sa ako ideálny zdá byť model *KR 50 R2500*. Jedná sa o najmenšieho a tým pádom i najľahšieho spomedzi uvedených. Zvyšné dva modely boli zahrnuté do výpočtu ako záloha pre prípad nevyhovujúcich hodnôt zaťaženia, nakoľko sa tak ale nestalo boli z výberu vyradené.

Ako je teda zrejmé, do robotickej bunky bol zvolený robot strednej nosnosti *KR 50 R2500* spĺňajúci všetky počiatkové podmienky. Dosiahnuteľná opakovateľnosť je $\pm 0,05$ mm a o prevádzku sa stará, pre túto kategóriu odporúčaný, kontrolér KR C4 (obr. 22). Na obr. 23 je zachytený pracovný priestor tohto robota (hodnoty v mm) [30].



Obr. 22) Kuka KR C4 [31]



Obr. 23) Pracovný priestor KR 50 R2500 [30]

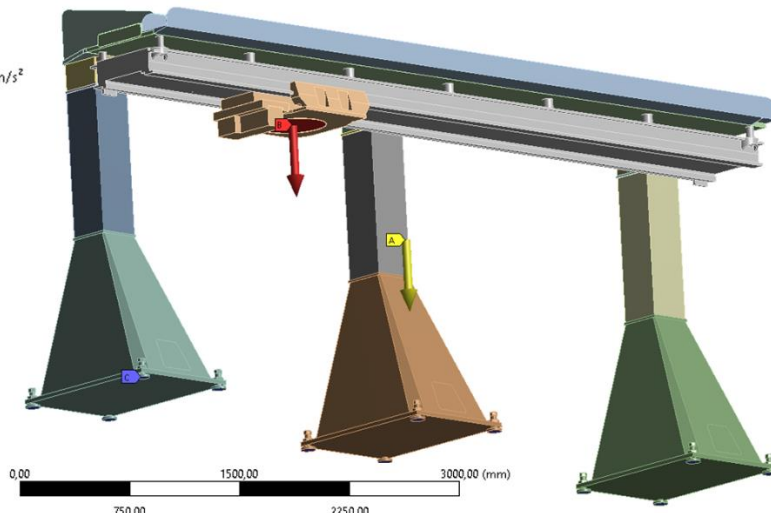
6.3 Realizácia lineárneho pojazdu robota

Vzhľadom k dostupnosti širokého sortimentu produktov od rôznych výrobcov a záťažovým podmienkam zvoleného robota s koncovým efektorom, boli uvažované dve realizovateľné riešenia pojazdu:

- Zavesená lineárna jednotka Kuka KL 1000-2,
- Güdel TMO-2-C.

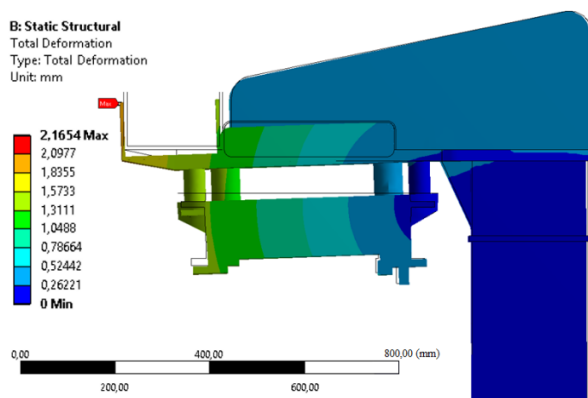
Pôvodným zámerom bolo využiť lineárnu jednotku Kuka KL 1000-2, ktorá je vhodná pre kategóriu robotov strednej nosnosti ako je i zvolený Kuka KR 50 R2500. Ukotvená bola na nosnej konštrukcii inšpirovanej produktami od spoločnosti Güdel, konkrétne verziou TMO-C-3. Tá bola zvolená na základe hmotnosti 8 m dlhej lineárnej jednotky, ktorá pre konštrukciu spoločne s pojazdom predstavuje nadbytočných 2720 kg. Nižší záťažový variant produktu záťažovým podmienkam nevyhovel. Riešenie bolo následne overené zjednodušenou výpočtovou analýzou realizovanou v softvéri Ansys Workbench. Ako je znázornené na obr. 24, vstupnými podmienkami bola záťaž robota s plne naloženým koncovým efektorom 5800 N, vplyv gravitácie, votknutie kotvenia a samozrejme hmotnosti jednotlivých komponentov ako 320 kg vozík a 2400 kg pojazdomá os. Konštrukcia je vyrobená z materiálu S355J2H odpovedajúcemu ČSN 11503. Za najrizikovejšiu bola označená poloha vozíka s robotom medzi podperami, v ktorej sa robot pri manipulácii pohybuje najčastejšie. [32,33]

B: Static Structural
 Static Structural
A Standard Earth Gravity: 9806,6 mm/s²
B Remote Force: 5800, N
C Fixed Support

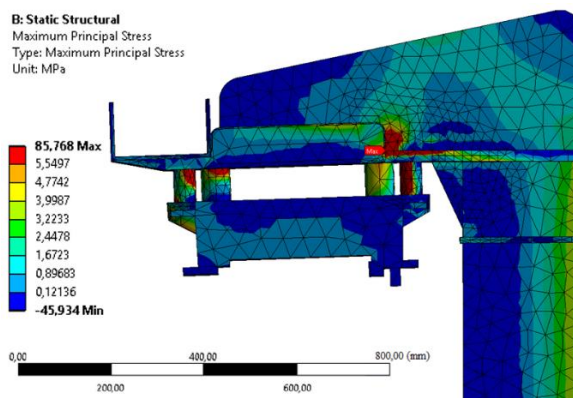


Obr. 24) Vstupné podmienky výpočtovej analýzy

Takto definovaný model bol overovaný z hľadiska celkovej deformácie (obr. 25) a napät'ových podmienok v konštrukcii (obr. 26).



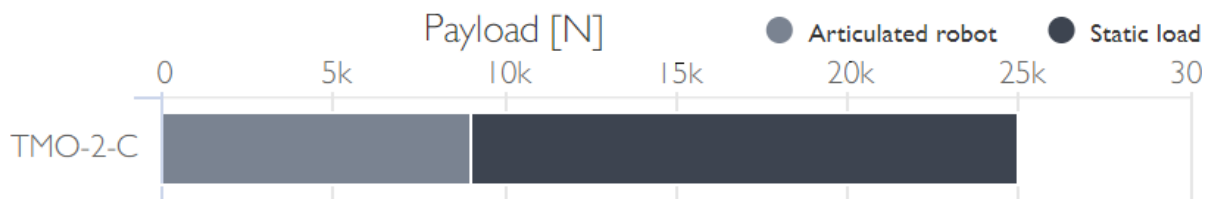
Obr. 25) Maximálna deformácia



Obr. 26) Maximálne hlavné napätie

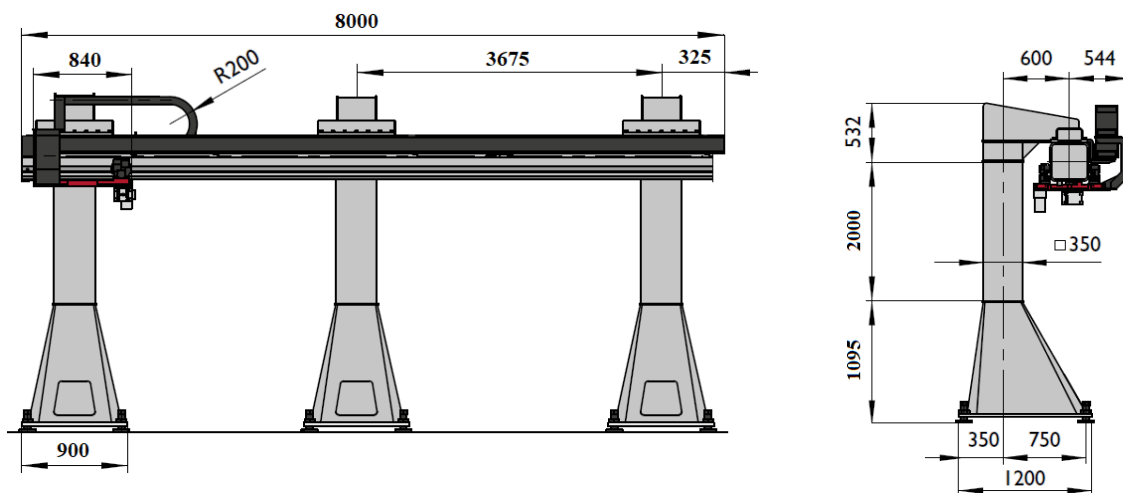
Maximálnu deformáciu možno pozorovať v oblasti pohybu energetickej reťaze (priamo nad vozíkom) a maximálne hlavné napätie v miestach styku podpier a vrchnej montážnej časti. Uvedené hodnoty posuvov a napätí ani zďaleka nedosahujú medzného stavu materiálu, masívna oceľová konštrukcia sa tak javí viac než bezpečná.

Druhou možnosťou je voľba vhodného produktu priamo od výrobcu s garanciou splnenia záťažových nárokov. Konkrétne bol zvolený model Güdel TMO-2-C s využitím nástroja pre dimenzovanie robota, ktorý je dostupný priamo na webovej stránke výrobcu. Ako už bolo vyššie uvedené, záťaž plne naloženého robota pri pojednávanej manipulačnej úlohe je 5800 N a konštrukcia túto požiadavku spĺňa s dostatočnou rezervou (obr. 27) [33].



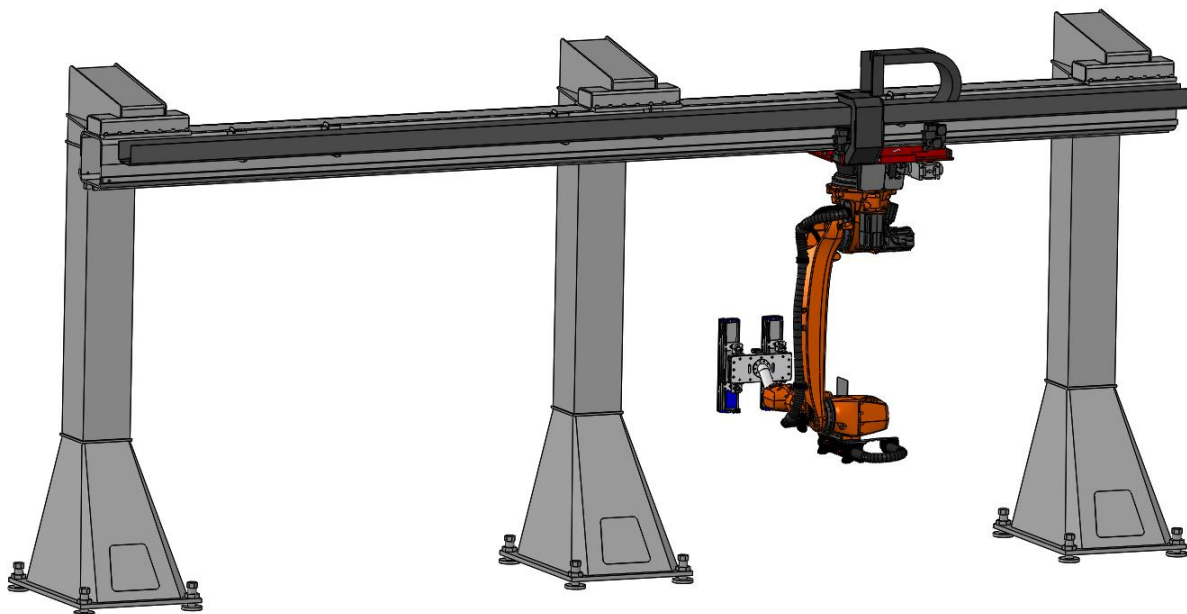
Obr. 27) Maximálne zaťaženie produktu Güdel TMO-2-C [33]

Najväčšou výhodou tohto riešenia je priama integrácia podstatne ľahšej lineárnej osi do závesnej konštrukcie, v dôsledku čoho tiež klesajú požiadavky na masívnosť celej konštrukcie. Maximálna rýchlosť vozíka o hmotnosti 180 kg je $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, výsledná rozmerová konfigurácia konštrukcie je znázornená na nasledujúcom obrázku (obr. 28) [33].



Obr. 28) Rozmerová konfigurácia produktu Güdel TMO-2-C [33]

Navrhnuté i zvolené komponenty robotической pracovnej bunky boli súbežne softvérovo overované v simulačnom prostredí Siemens Tecnomatix Process Simulate. Práve tam sa ukázal prvý návrh riešenia ako nevhodný z rozmerového hľadiska. S prihliadnutím na požiadavku priestranosti bunky bola zvolená menej rozmerovo náročná konštrukcia Güdel TMO-2-C. Kompletnú zostavu robota KR 50 R2500, nosnej konštrukcie s pojazdom a navrhnutého koncového efektora je možné vidieť na obrázku 29.



Obr. 29) Zostava robota KR 50 R2500, nosnej konštrukcie s pojazdom Güdel TMO-2-C a koncového efektora

6.4 Výber CNC stroja

Jedným z bodov zadania bol aj výber drevoobrábacieho CNC stroja vhodný pre danú aplikáciu. Výber stroja Morbidelli Uniflex S (obr. 30) bol inšpirovaný reálnym pracoviskom nemenovanej firmy, v ktorom je jeho obsluha realizovaná manuálne. Jedná sa o horizontálne CNC obrábacie centrum pre operácie vrtania, frézovania, drážkovania a narážania kolíkov. Operačná jednotka sa skladá z dvoch nezávislých vrtacích agregátov, pričom každá je vybavená až 31 vertikálnymi a maximálne 10 horizontálnymi vretenami, čo je pri správnej konfigurácii zárukou nízkych výrobných časov. V simulácii bol z dôvodu nedostupnosti CAD dát od výrobcu využitý zjednodušený názorný model, ktorého základné zástavbové rozmery ale odpovedajú realite [34].



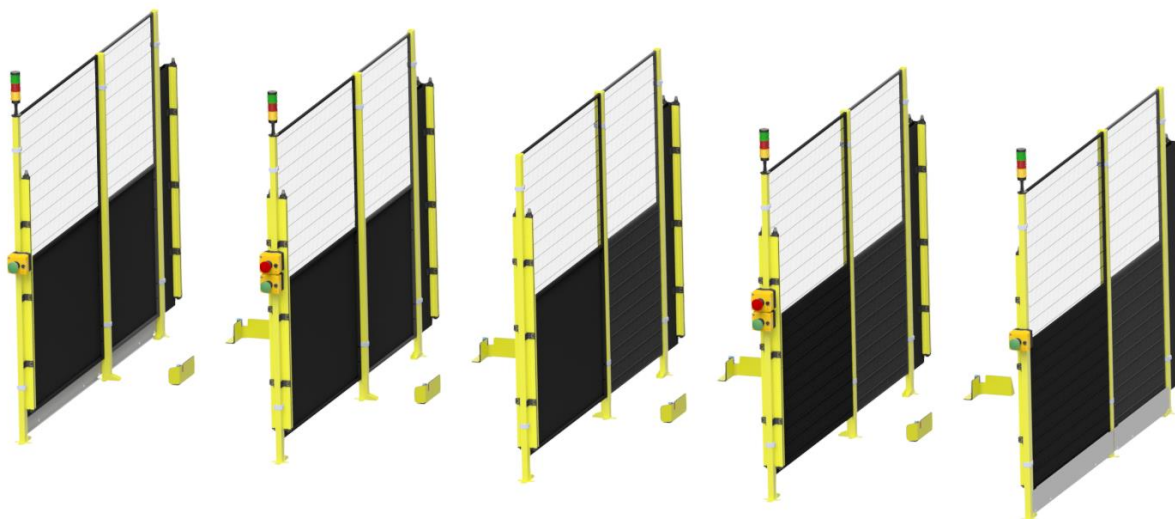
Obr. 30) CNC Morbidelli Uniflex S [34]

6.5 Návrh ochranného oplotenia a výber bezpečnostných prvkov

Ochranné oplotenie je neodmysliteľnou súčasťou každého robotizovaného pracoviska, ktoré by malo byť s ohľadom na požiadavky noriem navrhnuté tak, aby zamedzilo nebezpečnému kontaktu obsluhy s pohybujúcim sa robotickým ramenom, manipulovaným objektom, či inými perifériami robotickej bunky. Často sa navrhuje na mieru, čo má za následok úsporu priestoru vo výrobnej hale. Na výber sú pletivové, oceľové či polykarbonátové panely upevňované na univerzálne stĺpiky s cieľom získať čo najoptimálnejšie riešenie pre požiadavky zákazníka. Pre účely tejto práce bolo oplotenie navrhnuté z produktov od spoločnosti TROAX s normalizovanou výškou pletivového panelu 2200 mm [35].

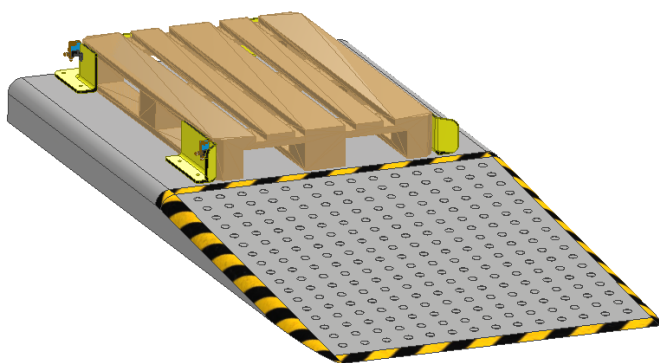
O parametroch ochranných konštrukcií pojednáva norma ČSN EN ISO 13857 definujúca bezpečné vzdialenosti k zamedzeniu dosahu do nebezpečných priestorov hornými i dolnými končatinami. Tabuľkovo rozlišuje či je riziko vymedzené oplotením malé alebo veľké. S uvažovaním veľkého rizika je ďalej potrebné určiť maximálnu výšku nebezpečného priestoru, teda najvyšší pracovný bod robota. Ten bol vyčítaný z naprogramovanej dráhy v simulácii a stanovený na hodnotu 2900 mm, a to v momente nájazdu na vrchnú dosku plne naloženej palety. Táto výška už nie je z pohľadu dosahu hornou končatinou relevantná, ale pri pohybe robota vo výškovom rozmedzí 2000 – 2600 bolo potrebné dodržať vodorovnú bezpečnú vzdialenosť 400 mm od oplotenia. Vo všetkých častiach oplotenia bola taktiež dodržaná bezpečná vzdialenosť 120 mm zo zreteľom na veľkosť oka pletiva 20 × 100 mm, uvedená priamo výrobcom [36].

Najdôležitejšími časťami bunky sú z pohľadu bezpečnej prevádzky vstupné a výstupné kóje pre palety (obr. 31), ktoré boli taktiež navrhnuté o ohľadom na požiadavky noriem. Každá kója je vymedzená už spomenutých oplotením, ktoré bolo ešte dodatočne z bočných strán doplnené kryciami plechmi. Ich účelom je zabrániť prípadnému riziku pri pokuse o dosah do pracovného priestoru spodnou 150 mm medzerou pod oplotením. Paleta je obsluhou založená do navrhnutého dorazu vybaveného dvomi senzormi *WT12L-2B551* od firmy Sick, kontrolujúcimi správnu polohu palety [27,36].

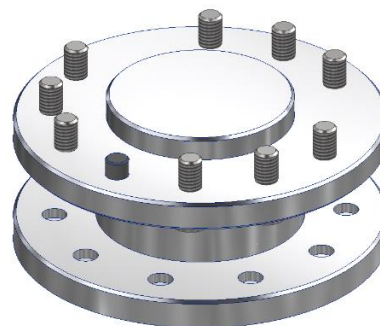


Obr. 31) Vstupné a výstupné kóje robotizovaného pracoviska

Skúšobné odsimulovanie manipulačnej operácie ukázalo, že kľúčovým parametrom návrhu rozloženia je poloha palety a s tým spojený dosah robota na všetky rozmerové varianty dosiek. Na základe tejto skutočnosti bolo odskúšaných viacero variantov riešenia. Jedným z nich bolo využitie nájazdovej rampy (obr. 32) s miernym sklonom v pomere výšky k dĺžke 1:12, ktorej úlohou bolo zlepšenie dosahu robota. Uvedené riešenie zároveň umožňovalo skrátenie stredovej časti dielu s montážnou prírubou (obr. 33). Z pohľadu zákazníka sa ale nejedná o vhodné riešenie, nakoľko by štyri potrebné rampy predstavovali ďalšie nezanedbateľné položky na zozname celkových nákladov bunky. Použitý bol teda pôvodný návrh s odsadenou koncovou prírubou, ako je uvedené v kapitole 6.1.

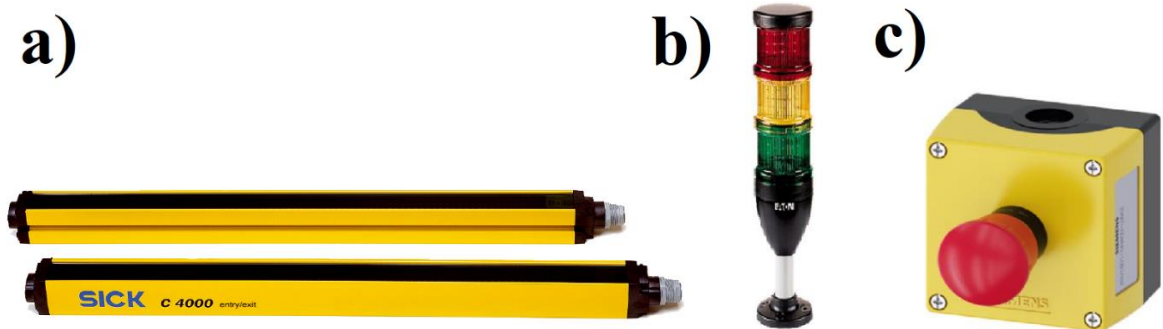


Obr. 32) Variant s nájazdovou rampou



Obr. 33) Skrátenie dielu s montážnou prírubou

Bezpečnosť obsluhy (obr. 34) pri výmene palety majú na starosti dvojice svetelných závesov typu *C4000 Entry/Exit* taktiež od firmy Sick s rozlíšením 20 mm a výškou ochranného pásma 1500 mm na vonkajšej i vnútornej strane, svetelná signalizácia a dobre dostupné červené tlačidlá núdzového zastavenia [37].



Obr. 34) Bezpečnostné prvky vstupných a výstupných kóji: a) Sick C4000 Entry/Exit [37], b) signalizačný maják [38], c) tlačidlo núdzového zastavenia [39]

Aby bezpečnostné svetelné závesy mohli správne plniť svoju ochrannú funkciu, musia byť podľa normy ČSN EN ISO 13855 inštalované v dostatočnej vzdialenosti od najbližšieho nebezpečného miesta. Vstupnými hodnotami do základného kontrolného výpočtu bezpečnej vzdialenosti (5) sú [30,40]:

- Prístupová rýchlosť ľudského tela: $K = 1600 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$,
- Doba robotického systému Kuka KR 50 R2500: $T = 0,37 \text{ s}$,
- Dodatočná vzdialenosť (4): $C = 48 \text{ mm}$,
- Rozlíšenie svetelného závesu: $d = 20 \text{ mm}$.

$$C = 8 \cdot (d - 14) \quad (4)$$

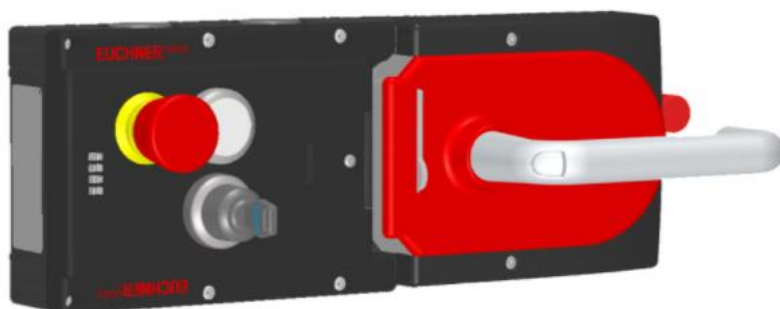
$$C = 8 \cdot (20 - 14) = 48 \text{ mm}$$

$$S = (K \cdot T) + C \quad (5)$$

$$S = (1600 \cdot 0,37) + 48 = 640 \text{ mm}$$

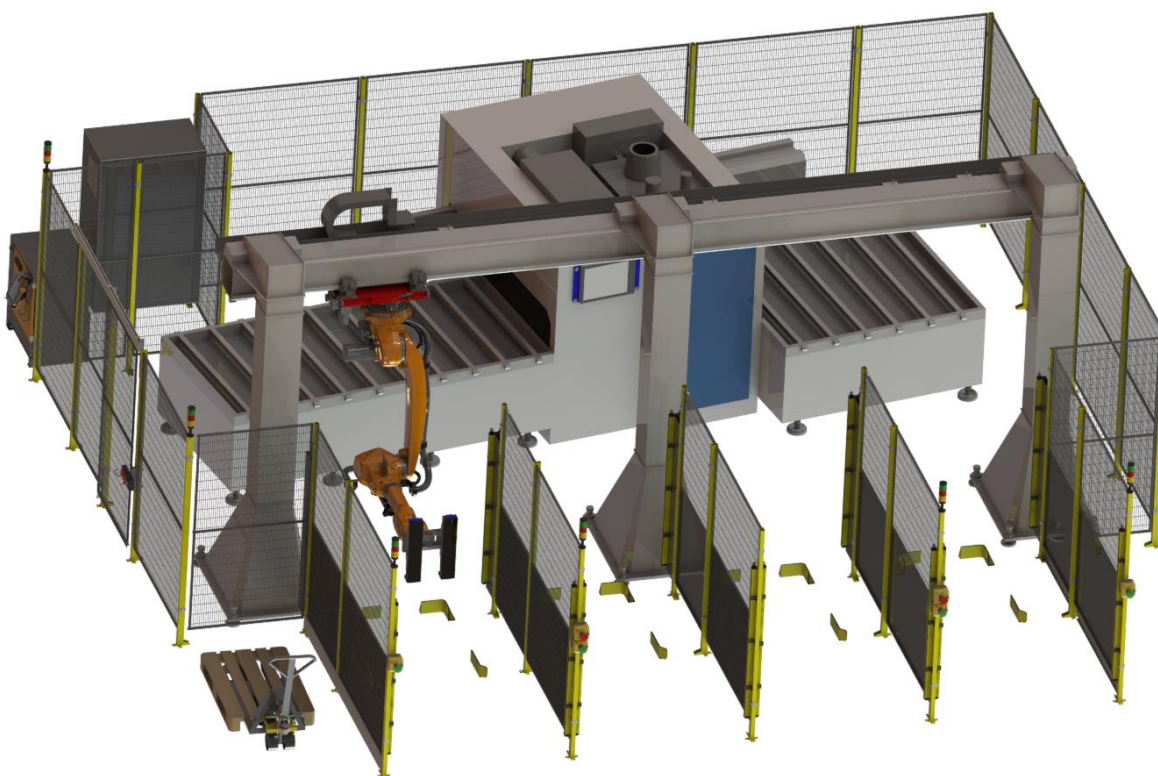
Vstup obsluhy do oblasti kóje je teda prípustný len v čase, kedy je robot vzdialený od svetelného závesu zvnútra bunky vzdialený aspoň 640 mm. Zaškolená obsluha sa bude riadiť podľa svetelnej signalizácie. Rozsvietené červené svetlo indikuje, že daná kója je využívaná robotom a je do nej zamedzený prístup. Už prerušenie prvého vonkajšieho svetelného závesu vyvolá núdzové zastavenie s nevyhnutným reštartom pracovného cyklu. Sprístupnená kója za účelom výmeny palety je označená zeleným svetlom. V tomto čase je deaktivovaný prvý svetelný záves, a až prerušenie druhého aktivovaného závesu vyvolá núdzové zastavenie. Po opustení kóje je potrebné potvrdiť výmenu palety tlačidlom, čo bude mať za následok opätovnú aktiváciu vonkajšieho a deaktiváciu vnútorného optického závesu spoločne so zmenou svetelnej signalizácie na žltú farbu. Touto farbou je označená kója s nedávno vymenenou paletou, v ktorej ale zatiaľ robot nepracuje. V prípade nesprávneho založenia palety do dorazu ostane na signalizačnom majáku svietiť zelené svetlo a je požadovaná urýchlená náprava.

Pre zabezpečenie servisného vstupu bol zvolený bezpečnostný dverový systém MGB (obr. 35) od firmy Euchner, ktorý je príkladom implementácie normy ČSN EN ISO 14119 v praxi. Tá pojednáva o zásadách pre konštrukciu a voľbu blokovacích zariadení pre zaistenie bezpečnosti strojných zariadení. Zámok zabráňuje otvoreniu dverí v automatickom pracovnom režime bunky istiacou silou 2000 N. Systém je zložený z vyhodnocovacieho modulu so širokou modularitou ovládacích tlačidiel, modulu vonkajšej kľučky a únikového odist'ovacieho prvku pre prípad potreby rýchleho opustenia bunky. Zvolená konfigurácia obsahuje otočný spínač s kľúčom pre spustenie automatického režimu, podsvietené tlačidlo pre pozastavenie cyklu a tlačidlo núdzového zastavenia. Robotický operátor je o priebehu prevádzky informovaný dodatočnou svetelnou signalizáciou na strane servisného vstupu [41].



Obr. 35) Bezpečnostný zámok Euchner typu MGB [41]

Vo výslednom rozložení bunky došlo v porovnaní s návrhovým variantom k miernym pozičným zmenám s ohľadom na správnu funkciu. Celé kompletne vybavené a zabezpečené robotizované pracovisko na zástavbovej ploche 9275×8670 mm je zachytené na nasledujúcom obrázku (obr. 36).



Obr. 36) Navrhnuté robotizované pracovisko

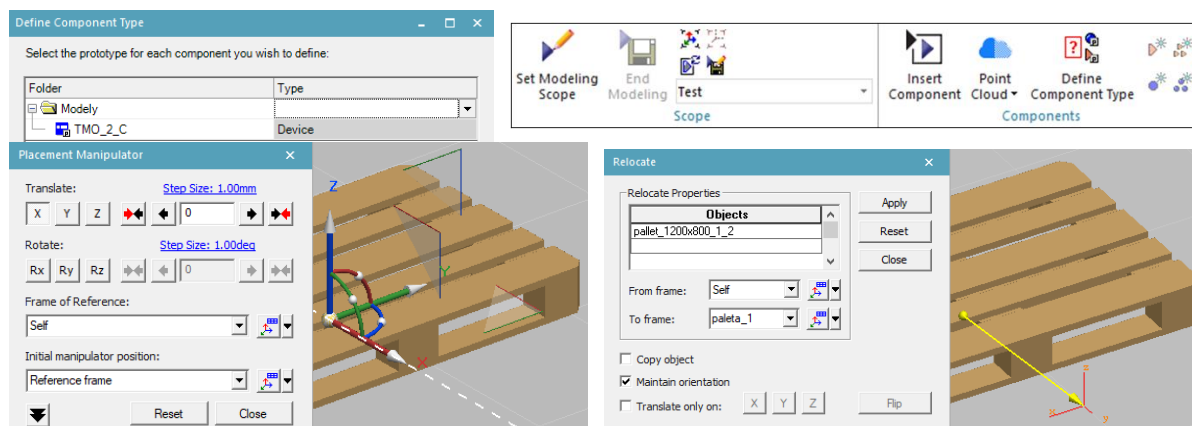
7 SIMULAČNÝ MODEL V PROCESS SIMULATE

Kapitola podrobne popisuje vypracovanie simulačného modelu navrhnutého pracoviska v najnovšej verzii 16.0.2 softvéru Siemens Process Simulate (ďalej len PS). Ten poslúžil k optimalizácii navrhnutého riešenia z pohľadu konštrukcie a rozvrhnutia jednotlivých komponentov, k overeniu funkčnosti i zisteniu operačných časov. Simulačný model bol vytváraný súčasne s konštrukčnými návrhmi podobne ako je tomu v praxi, vďaka čomu bola väčšina problémov s dosahom či kolíziami rýchlo odhalená a odstránená. Ako už bolo uvedené i v teoretickej časti práce (kapitola 3.2.1), v PS je možné pracovať v dvoch odlišných režimoch. Nakoľko robotickej bunke nebol zo zadania priradený požadovaný takt, v nasledujúcich podkapitolách bude pojednávané najmä o udalostne riadenej simulácii (*Line Simulation Mode*), v ktorej hrajú signály významnejšiu rolu ako čas. V závere kapitoly bude ale využitý i časovo závislý režim (*Standard Mode*), a to na účely zostavenia sekvencie operácií a zistenie času jedného manipulačného cyklu, ktorý je podkladom pre informatívne výpočty obrobených kusov v navrhnutej bunke.

7.1 Definícia, vloženie a práca s modelmi

Jednotlivé modely komponentov bunky boli uložené v simulácii podporovanom formáte *.jt* do samostatných vhodne umiestnených adresárov s príponou *.cojt*. V nich sú okrem geometrických reprezentácií prvkov uchovávané i informácie o mechanických vlastnostiach týchto prvkov formou súboru *.xml*. Pred vloženíom modelu je ešte potrebné definovať typ komponentu, ktorý model reprezentuje. S využitím funkcie *Define Component Type* je možné model definovať ako robot, dopravník, koncový efektor, senzor, pracovnú súčiastku a mnoho ďalších. Takto definované modely boli do simulácie vkladané funkciou *Insert Component*.

Vložené modely boli podľa návrhového rozloženia bunky umiestnené na svoje príslušné pozície pomocou funkcie *Placement Manipulator* či *Relocate*. PS obsahuje tiež množstvo funkcií na dodatočnú modifikáciu modelov, či základné nástroje pre modelovanie jednoduchých 3D komponentov. Využívaná bola najmä funkcia *Set Modeling Scope*, ktorá okrem iného umožňuje upravovať a pridávať nové pracovné súradnicové systémy (*frames*) modelu. Aby bolo možné tieto súradnicové systémy ďalej využívať, je ich potrebné nastaviť ako viditeľné (*Set Objects to be Preserved*) i po dokončení úprav (*End Modeling*).

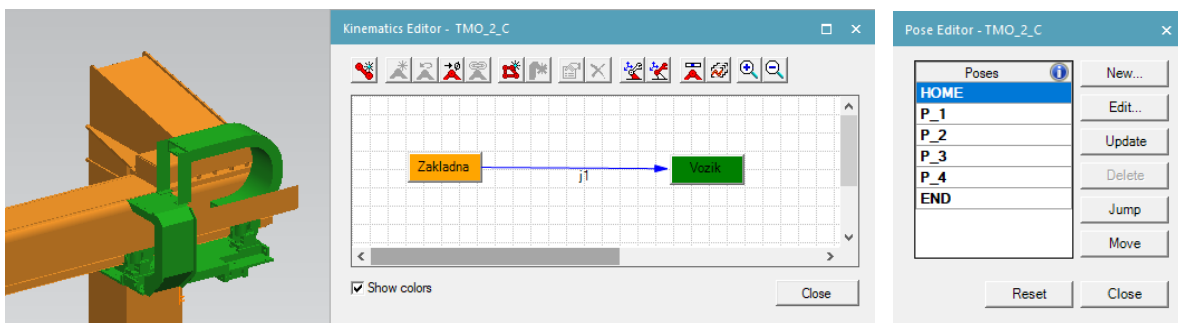


Obr. 37) Základné nástroje pre prácu s modelmi

7.2 Definícia kinematiky

Kinematická štruktúra sa definuje u komponentov typu zariadenie (*Device*), ktoré vykonávajú translačný či rotačný pohyb relevantný pre funkčnosť robotической bunky. Kinematická štruktúra modelu robota už je preddefinovaná výrobcou Kuka a navrhnutý koncový efektor nedisponuje žiadnymi pohyblivými časťami. To však neplatí pre model nosnej konštrukcie s lineárnym pojazdom, ktorého pohyb bol s ohľadom na rozsahové obmedzenia náležite zadefinovaný.

Model bol rozdelený na farebne rozlíšenú nepohyblivú časť nosnej konštrukcie a pohyblivý pojazďový vozík pre robot pomocou funkcie *Kinematics Editor*. Vzájomné vzťahy týchto dvoch častí popisuje pohybová väzba s označením *j1*. Nastavený bol translačný pohyb s rozsahom 6960 mm. Pre ďalšiu prácu s modelom boli nástrojmi *Pose Editor* zadefinované i základné polohy tejto kinematickej dvojice, zahŕňajúc pracovné polohy nad jednotlivými paletami (P_1 – P_4).



Obr. 38) Nástroje pre definovanie kinematickej štruktúry

7.3 Nastavenie robota a definícia jeho nástroja

Model koncového efektora bol v simulačnom prostredí doplnený o súradnicový systém v strede montážnej príruby pre pripojenie k robotu a tri pracovné súradnicové systémy TCP, čo umožňuje využívať dva uchopovacie systémy zvlášť i spoločne. Pred upevnením na robot musel byť model ešte dodatočne definovaný pomocou nástroja *Tool Definition*. V dialógovom okne nástroja bol zvolený typ efektora (*Gripper*), pracovný *TCP Frame*, pripojovací *Base Frame* a časti koncového efektora prichádzajúce do styku s manipulovaným objektom. Takto definovaný nástroj bol upevnený na robot pomocou nástroja *Mount Tool*.

Na základný model robota bol dodatočne upevnený i doplnkový modul na ochranu kabeľáže, ktorý bol s robotom združený do spoločnej komponenty. Pre sprístupnenie všetkých funkcií modelu robota v simulačnom prostredí mu bol v *Controller Settings* priradený riadiaci systém Kuka Krc najnovšej ponúkanej verzie v8.7. Aby bolo možné prepínať medzi tromi pracovnými súradnicovými systémami TCP, bolo ich potrebné zadefinovať i v sprístupnenom nástroji Robot Setup (*Base and Tool Setup*). Zadefinované boli i systémy základní typu *BASE* vo výhodných pozíciách rohov pracovných stolov stroja a jednotlivých palet. Na záver bol robot upevnený v závesnej polohe na pojazďový vozík nosnej konštrukcie, ktorá bola robotu s využitím nástroja *Robot Properties* priradená ako externá os rozširujúca jeho mobilitu.

7.4 Vytvorenie modelu pre udalostne riadenú simuláciu

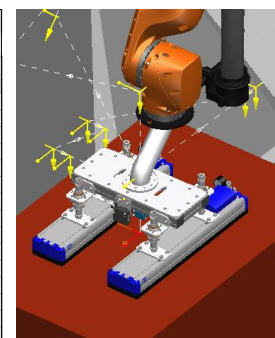
Po úspešnom zvládnutí predchádzajúcich krokov je možné pristúpiť k tvorbe robotických operácií pre odsimulovanie jedného manipulačného cyklu s doskou najväčších rozmerov (1200 × 800), ktorá pre bezkolíznu prevádzku predstavuje najväčšiu výzvu. Modelová situácia vytvorená v udalostne riadenej simulácii popisuje začiatok zmeny, keď obsluha priväza prvú plne naloženú paletu do krajnej vstupnej kóje, zatiaľ čo robot je odstavený vo východzej pozícii na vzdialenejšom okraji lineárneho pojazdu.

7.4.1 Vytvorenie dráhy robota

Manipulačná operácia bola rozdelená na dve programové časti, čo uľahčilo neskorší proces zautomatizovania prevádzky s využitím riadiacich signálov. Obe časti pozostávajú zo všeobecnej robotickej operácie (*Generic Robotic Operation*) doplnenej o pracovné body aktívneho súradnicového systému TCP a OLP príkazy pre uchopenie a uvoľnenie manipulovanej dosky v príslušných polohách. Na procesy optimalizácie a testovania dráhy bol využitý nástroj *Path Editor* (obr. 39), v ktorom je možné upravovať zvolené parametre operácie ako typ pohybu (*Motion*), presnosť nájazdu do daného bodu (*Zone*), aktívny nástroj (*Tool Nr*), súradnicový systém základne (*Base Nr*), prejazdovú rýchlosť (*Speed*), konfiguráciu robota (*Config*) či polohu externej osi (*Ext1*).

Vo väčšine bodov bol nastavený pohyb z bodu do bodu (PTP) s výnimkou nájazdových a výjazdových pracovných bodov, v ktorých bol nastavený lineárny pohyb (LIN). Prvá časť programu obsahuje i kontrolné zaznamenávanie nábežných hrán s požiadavkou na vysokú presnosť nájazdu (FINE) so zníženou rýchlosťou (20 %). Toto nastavenie bolo aplikované i na ukladacie a uchovacie pozície. U prejazdových bodov bola nastavená maximálna rýchlosť (100 %) a nižšia presnosť nájazdu (C_DIS 50 mm). Na záver bol overený dosah do všetkých bodov s využitím nástroja *Reach Test*.

Pathe & Locations	Duration	OLP Commands	Motion	Zone	Base Nr	Tool Nr	Speed	Config	Ext1
PR_01	41.31								
home	0.00		PTP	C_DIS 50 mm	0 - WorldFrame	1 (Fr) - grip_01	100 %	S 6 T 27	6961 mm
pracovna_poloha	1.72		PTP	C_DIS 50 mm	0 - WorldFrame	1 (Fr) - grip_01	100 %	S 6 T 27	6300 mm
bod_001	4.78		PTP	C_DIS 50 mm	1 - Paleta_1	1 (Fr) - grip_01	100 %	S 6 T 27	2500 mm
bod_002	1.50		PTP	C_DIS 50 mm	1 - Paleta_1	1 (Fr) - grip_01	100 %	S 6 T 26	2000 mm
bod_003	1.92		PTP	C_DIS 50 mm	1 - Paleta_1	1 (Fr) - grip_01	100 %	S 6 T 50	900 mm
bod_004	2.58		PTP	C_DIS 50 mm	1 - Paleta_1	1 (Fr) - grip_01	100 %	S 4 T 28	900 mm
najazd_hrana_1	2.68		PTP	FINE	1 - Paleta_1	1 (Fr) - grip_01	20 %	S 4 T 60	900 mm
hrana_1	0.38		PTP	FINE	1 - Paleta_1	1 (Fr) - grip_01	20 %	S 4 T 60	900 mm
najazd_hrana_2	3.05		PTP	FINE	1 - Paleta_1	1 (Fr) - grip_01	20 %	S 4 T 28	900 mm
hrana_2	0.36		PTP	FINE	1 - Paleta_1	1 (Fr) - grip_01	20 %	S 4 T 28	900 mm
najazd_hrana_3	0.76		PTP	FINE	1 - Paleta_1	1 (Fr) - grip_01	20 %	S 4 T 28	900 mm
hrana_3	0.33		PTP	FINE	1 - Paleta_1	1 (Fr) - grip_01	20 %	S 4 T 28	900 mm
najazd_pick	0.76		PTP	FINE	1 - Paleta_1	1 (Fr) - grip_01	100 %	S 4 T 28	900 mm
PICK_1	0.89	# Destination Gripper	LIN	FINE	1 - Paleta_1	1 (Fr) - grip_01	0.5 m/s	S 4 T 28	900 mm
vyjazd_pick	1.70		LIN	FINE	1 - Paleta_1	1 (Fr) - grip_01	0.5 m/s	S 4 T 60	900 mm

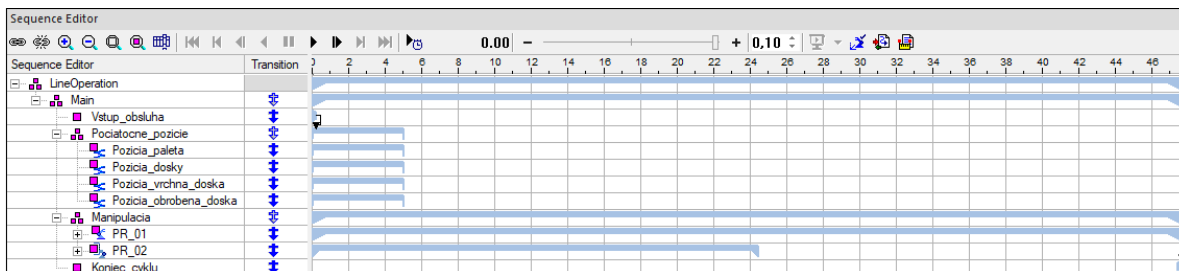


Obr. 39) Ukážka práce s Path Editorom

7.4.2 Materiálový tok

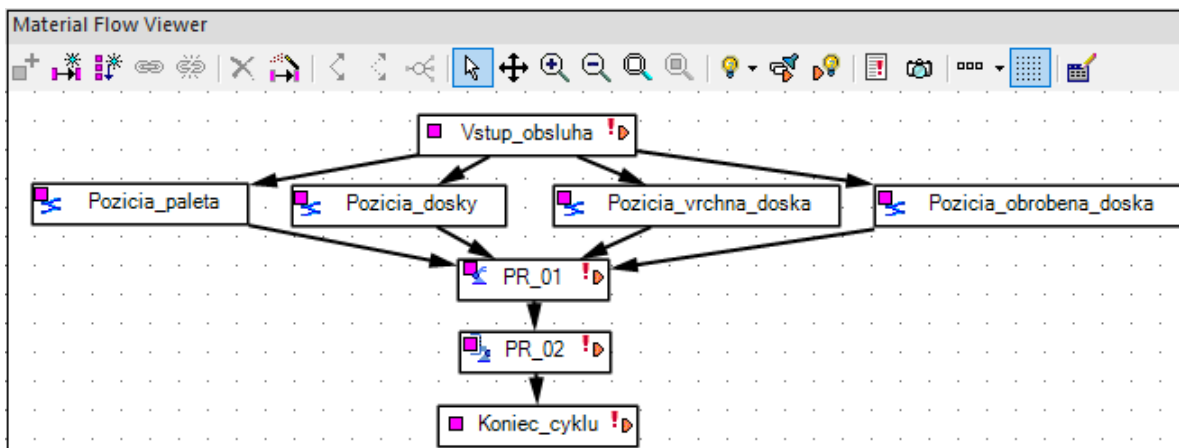
Podmienkou práce s udalostne riadenou simuláciou je vytvorenie materiálového toku, ktorý predstavuje sled operácií definujúci priebeh pracovnej súčiastky od jej vstupu (vygenerovanie) až po výstup (zánik) v danej operácii. Nakoľko sa ale jedná o simuláciu jedného manipulačného cyklu (jednej dosky), výstup súčiastky bude z materiálového toku vynechaný. Pre realizáciu uvedeného bolo potrebné simuláciu doplniť o dodatočné operácie. Počiatočné pozície vygenerovaných súčastí zahŕňajú paletu, vrchnú dosku na paletu, zvyšné dosky

reprezentované kvádom príslušných rozmerov a obrobenú dosku umiestnenú vo vnútornej časti stroja boli definované s využitím operácie toku objektov (*Object Flow Operation*). Ďalej bola vytvorená nesimulovaná operácia (*Non-Sim Operation*), ktorej prechod (*Transition*) bol zviazaný s vytvoreným manuálne ovládaným signálom predstavujúcim založenie palety obsluhou (Vstup_obsluha). V nástroji *Sequence Editor* (obr. 40) bola následne táto operácia prepojená s operáciami počítačových pozícií objektov. Na záver bola pridaná ďalšia nesimulovaná operácia (Koniec_cyklu), ktorej úlohou bolo aby generované objekty nemizli po jednom manipulačnom cykle.



Obr. 40) Ukážka práce so Sequence Editorom

Prípravené operácie boli prepojené v nástroji *Material Flow Viewer* (obr. 41). Po spustení simulačnej sekvencie už je možné generovať vstupné objekty.



Obr. 41) Definovanie materiálového toku simulácie

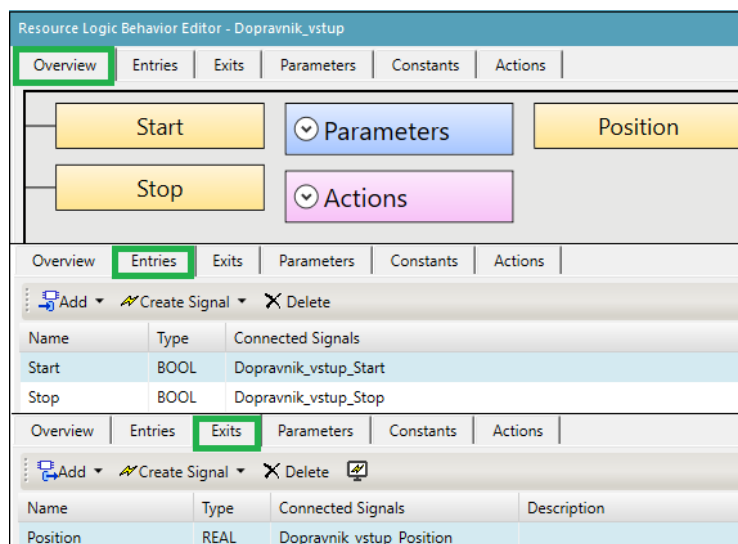
7.4.3 Logické bloky a signály

Po vytvorení dráhy robota a definovaní materiálového toku je ďalej potrebné rozpohybovať vstupnú a výstupnú dosku na stole obrábacieho stroja. Pre tento účel boli z tenkých kvádrov vytvorené tri jednoduché dopravníky s využitím nástroja *Define Conveyor*. Smer pohybu určuje vytvorená krivka po zedefinovaní označená ako *motionPath*.

Takto vytvoreným dopravníkom sú automaticky priradené tzv. logické bloky (obr. 42), ktoré prepájajú ich základné funkcie (v tomto prípade *Start*, *Stop*) s výstupnými signálmi PLC. To umožňuje ich efektívne povelovanie či kontrolu pozície (*Position*). Logický blok bol manuálne priradený i modelu lineárneho pojazdu, ktorý je tiež možné formou vstupného signálu uviesť do jednej z preddefinovaných polôh (kapitola 7.2), či kontrolovať jeho výskyt v týchto polohách. Logické bloky je možné vytvárať a upravovať prostredníctvom nástrojov

Create Logic Resource a *Edit Logic Resource*. Pre simulačné účely tejto práce bolo využité softvérovo integrované cyklické vyhodnocovanie CEE (*Cyclic Event Evaluation*).

Rovnako významnú rolu ako dopravníky hrajú pri zautomatizovaní procesu senzory. S pomocou nástroja *Sensors* a *Edit Sensor* boli vytvorené dva optické senzory snímajúce prítomnosť palety na príslušných pozíciách paletového dorazu (kapitola 6.5) a jeden na vstupe obrábacieho stroja snímajúci prítomnosť dosky. Pre automatické sprevádzkovanie sú veľmi dôležité i predvolené signály robota vygenerované v nástroji *Robot Signals* (obr. 43), a to najmä *startProgram*, *programNumber*, *programEnded* a *emergencyStop*.



Obr. 42) Logické bloky vstupného dopravníka

PLC Signal Name	Robot Signal Name	I/O
KR50_R2500_startProgram	startProgram	Q
KR50_R2500_programNumber	programNumber	Q
KR50_R2500_emergencyStop	emergencyStop	Q
KR50_R2500_programPause	programPause	Q
KR50_R2500_programEnded	programEnded	I
KR50_R2500_mirrorProgramNumber	mirrorProgramNumber	I
KR50_R2500_errorProgramNumber	errorProgramNumber	I
KR50_R2500_robotReady	robotReady	I
KR50_R2500_at_HOME	HOME	I

Obr. 43) Robotické signály

7.4.4 Riadenie priebehu simulácie

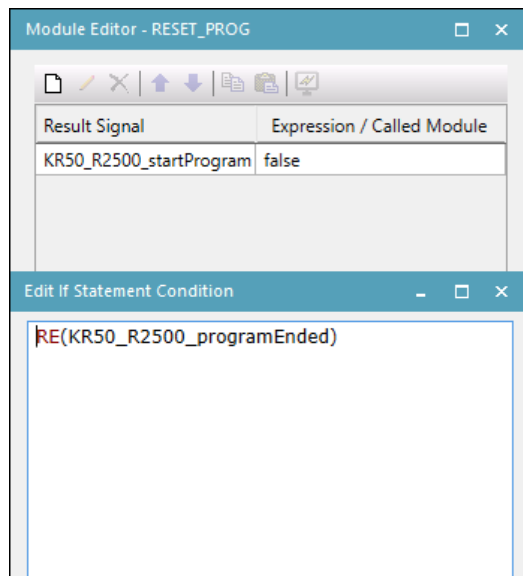
Pre prehľad vytvorených signálov slúži nástroj *Signal Viewer*. Signály dôležité pre riadenie navrhutej bunky boli následne vložené do nástroja *Simulation Panel* (obr. 44), ktorý umožňuje kontrolu výstupov i manuálne spínanie signálov na to určených (*Forced Value*). V simulácii je manuálne spínaný signál predstavujúci založenie palety obsluhou (Vstup_obsluha), signál potvrdenia výmeny palety (Tlacidlo_potvrdenie_vymeny) a signál svetelného závesu kóje (Svetelny_zaves_1-1) pre overenie funkcie núdzového zastavenia. Aby bolo ďalej možné meniť program pomocou signálu KR50_R2500_programNumber, programové časti manipulácie boli rozlíšené číselne (Path #).

Logika pracoviska zahŕňajúca nadväznosť jednotlivých signálov bola vytvorená prostredníctvom nástroja *Modules Viewer*. Pracuje s modulmi, ktoré umožňujú priradzovanie výstupných hodnôt signálov za určitých podmienok IF. Nakoľko sa nejedná o veľmi komplexný a prehľadný nástroj, vytvorená logika neodpovedá reálnym možnostiam prevádzky a slúži najmä pre softvérové odsimulovanie jedného manipulačného cyklu. Nutné je tiež podotknúť, že v udalostne riadenej simulácii nebolo uvažované s obrábacím časom dosky.

Robot je uvedený do prevádzky v prípade správne založenej palety a potvrdenej výmeny, pri prerušení svetelného závesu ale dochádza k núdzovému zastaveniu. Po skončení prvého programu bol vykonaný reset (obr. 45) umožňujúci funkčnosť druhej programovej časti. Logika dopravníkov bola vytvorená v závislosti na ich polohe. Vytvorená logika simulácie je detailnejšie spracovaná v priloženom vývojovom diagrame (**príloha č. 1**).

Simulation	Inputs	Outputs	Forced	Forced Value	Address
Diplomova_praca					
Vstup_obsluha	■		☑	■	I
Tlacidlo_potvrdenie_vymeny	■		☑	■	I
KR50_R2500_startProgram		●		■	Q
KR50_R2500_programNumber		0		0	Q
KR50_R2500_programEnded	■			■	I
KR50_R2500_emergencyStop		●		■	Q
Svetelny_zaves_1-1	■		☑	■	I
Senzor_paleta_1-1	■			■	I
Senzor_paleta_1-2	■			■	I
Senzor_vstup_stroj	■			■	I
Dopravnik_vstup_Pozicia	0,00			0,00	I
Dopravnik_vstup_Start		●		■	Q
Dopravnik_vstup_Stop		●		■	Q
Dopravnik_vystup_1_Pozicia	0,00			0,00	I
Dopravnik_vystup_1_Start		●		■	Q
Dopravnik_vystup_1_Stop		●		■	Q
Dopravnik_vystup_2_Pozicia	0,00			0,00	I
Dopravnik_vystup_2_Start		●		■	Q
Dopravnik_vystup_2_Stop		●		■	Q
TMO_2_C_at_HOME	■			■	I
TMO_2_C_at_P_1	■			■	I
TMO_2_C_at_P_2	■			■	I
TMO_2_C_at_P_3	■			■	I
TMO_2_C_at_P_4	■			■	I
TMO_2_C_at_END	■			■	I

Obr. 44) Ukážka práce so Simulation Panelom

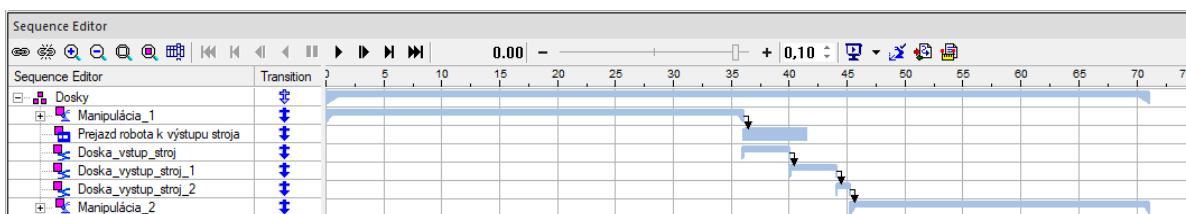


Obr. 45) Reset robotického programu

7.5 Vyhodnotenie simulácie

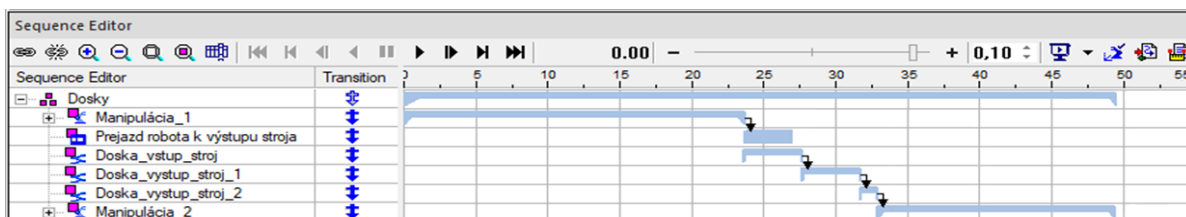
Vytvorením simulačného modelu bola náležite overená funkčnosť navrhnutého rozloženia pracoviska pri manipulácii robota s najväčším zadaným rozmerom dosky (1200 × 800). V predchádzajúcich kapitolách bola podrobne popísaná práca s udalostne riadeným režimom simulácie, ktorý oproti časovo závislému režimu umožňuje hlbší pohľad na podstatu automatizovaného chodu robotizovaného pracoviska.

Časovo závislý režim bol využitý na účely overenia dosahu robota a bezkolíznej prevádzky pri manipulácii so zvyšnými rozmerovými variantami dosiek. Všetky simulované varianty boli tiež zaznamenávané (**príloha č. 2**). Manipulačné dráhy jednotlivých dosiek vychádzajú z rovnakého konceptu, v dôsledku čoho možno na Ganttových diagramoch bez využitia RCS modulu pozorovať zhodný čas operácii jedného cyklu pre všetky rozmerové varianty 71 s (obr. 46). Časy strojných posuvov vychádzajú z uvažovanej rýchlosti 0,5 m/s.



Obr. 46) Ganttov diagram manipulačnej úlohy bez využitia RCS modulu

Výsledný čas odpovedajúci použitiu reálneho kontroléra, ktorý bol získaný vďaka RCS modulu ale odpovedá hodnote 49 s, čo je o 22 s menej (obr. 47).



Obr. 47) Ganttov diagram manipulačnej úlohy s využitím RCS modulu

Nutné je poznamenať, že na takt pracoviska nebola zo zadania kladená žiadna požiadavka, preto len ťažko možno povedať či je časová hodnota vyhovujúca, alebo je potrebná optimalizácia.

Čas jedného manipulačného cyklu bol doplnený o odhadovaný čas obrábania jednotlivých dosiek (kapitola 4.1) a ďalej spracovaný v nasledujúcej tabuľke (tab. 5).

Tab. 5) Časové výstupy simulácie

	Rozmerový variant dosky	Obrábací čas	Celkový čas na jednu dosku	Celkový čas pre max. počet dosiek na palete (55 ks)
	[mm]	[s]	[s]	[hod]
1	1200 × 800	36	85	1,299
2	800 × 800	32	81	1,238
3	1200 × 400	30	79	1,207
4	800 × 400	26	75	1,146
5	400 × 400	22	71	1,085

S uvažovaním 3-zmennej prevádzky a odhadnutých časov plánovaných či neplánovaných pozastavení prevádzky (15 dní), je podľa dopytu od zákazníkov možné ročne obrobiť približne 4545 plne naložených paliet typu **1**, 2476 typu **2** alebo 1717 paliet typu **3** (obr. 10).

8 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

Automatizácia obsluhy drevoobrábacieho stroja umožňuje elimináciu monotónnej a fyzicky relatívne náročnej manuálnej práce operátora, zvýšenie presnosti uloženia paletizovaných dielov a produktivity celého pracoviska. Rozhodujúcim faktorom pred realizáciou robotickej bunky je ale cena. Vypracované technicko-ekonomické zhodnotenie pojednáva o celkových nákladoch na realizáciu navrhutej robotickej bunky, zahŕňajúc použité technológie a odvedenú prácu podieľajúcich sa zamestnancov. Porovnaním týchto nákladov so súčasnými odhadnutými nákladmi na prevádzku bola v závere tejto kapitoly stručne zhodnotená návratnosť počítačnej investície.

8.1 Súčasné náklady na prevádzku

Manuálnu obsluhu stroja v súčasnosti zabezpečuje vždy jeden operátor pri 3-zmennom režime prevádzky. Pri odhade celkových ročných nákladov (tab. 6) bolo okrem hrubej mzdy zamestnancov potrebné počítať i s odvodmi za ich zdravotné a sociálne poistenie. Do výslednej sumy boli započítané i ďalšie náklady spojené s dovolenkami, školeniami, benefitmi či PN stavmi zamestnancov, ktoré boli celkovo odhadnuté na 60 % z ročných nákladov na jedného zamestnanca.

Tab. 6) Celkové ročné náklady súčasnej prevádzky

Položka	Cena
	[€]
Hrubá mesačná mzda zamestnanca	1 000
Zdravotné poistenie 9%	90
Sociálne poistenie 24,8 %	248
Mesačné náklady na jedného zamestnanca	1 339
Ročné náklady na jedného zamestnanca	16 056
Celkové ročné náklady na 3-zmennú prevádzku pracoviska (zahŕňajúc dovolenky, školenia, benefity, PN)	57 802

8.2 Náklady na robotizované pracovisko

Celkové počítačné náklady na realizáciu robotizovaného pracoviska zahŕňajú odhadnuté ceny na zákazku vyrobených dielov (tab. 7), u výrobcov zistené ceny väčšiny nakupovaných položiek s 8 % maržou (tab. 8) a odhadnutú cenu práce zamestnancov firmy (tab. 9).

Tab. 7) Ceny vyrobených dielov

Vyrobený diel	Množstvo	Cena/kus	Celková cena
	[ks]	[€]	[€]
Príruba koncového efektora	1	320	320
Montážna doska koncového efektora	1	170	170
Konštrukcia paletového dorazu	4	145	580
Uchytenie vnútorných svetelných závesov	4	60	240
		Σ	1310

Tab. 8) Ceny nakupovaných položiek

Nakupovaná položka	Výrobca	Množstvo	Cena/kus	Celková cena
		[ks]	[€]	[€]
Robot <i>KR 50 R2500</i> , Kontrolér <i>KR C4 + SmartPAD</i>	Kuka	1	37 000	37 000
Lineárna os <i>TMO-2-C</i>	Güdel	1	35 000	35 000
Lokálny uchopovací systém <i>FXP-S-SVK 640 3R18</i>	Schmalz	2	3 077	6 154
Pružinový piest <i>FST-FLEX 25 HD1</i>	Schmalz	4	332	1 328
Senzor pre meranie vzdialenosti <i>DT20-P214BS03</i>	Sick	1	380	380
Reflexný svetelný senzor <i>WT12L-2B551</i>	Sick	9	240	2 160
Svetelné závesy <i>C4000 Entry/Exit</i>	Sick	8	735	5 880
Príslušenstvo k senzorom (kabeláž, uchytenie)	Sick	1	1 070	1 070
Jednotka na úpravu vzduchu <i>MSB6-3/8:C4:J7:II-WP</i>	Festo	1	1 040	1 040
Pneumatické príslušenstvo (hadice, konektory, ventily)	Festo	1	150	150
Oplotenie (dvere, stĺpiky, panely)	Troax	1	5 450	5 450
Bezpečnostný zámok <i>MGB</i>	Euchner	1	770	770
Signalizačný maják	Eaton	6	230	1 380
Riadiace tlačidlá	Siemens	6	60	360
PLC riadiaci systém, rozvádzačová technika	Siemens	1	9 600	9 600
Σ				107 722
Σ (8 % marža)				116 340

Tab. 9) Cena odvedenej práce zamestnancov firmy

Typ práce	Počet ľudí	Počet dní	Sadzba	Celková cena
			[€/hod]	[€]
Strojná konštrukcia	1	16	44	5 280
Strojná montáž	2	12	36	6 480
Elektro projektovanie	1	14	44	4 620
Elektro montáž	2	10	36	5 400
Simulácia/off-line programovanie	1	8	46	2 760
PLC programovanie	1	12	48	4 320
Odlad'ovanie programu na mieste	1	10	46	3 450
Dokumentácia, návody na obsluhu	1	4	35	1 050
Σ				33 360

Po pripočítaní 10 % prirážky predstavujúcej zisk firmy k súčtu všetkých uvedených nákladov získavame finálnu sumu počiatocnej investície (tab. 10). Tejto hodnote sa v praxi venuje značná pozornosť, nakoľko má najvýraznejší vplyv na spokojnosť oboch zúčastnených strán.

Tab. 10) Počiatocná investícia robotizovaného pracoviska

Cena nakupovaných položiek	116 340 €
Cena vyrobených dielov	1 310 €
Cena za odvedenú prácu	33 360 €
Σ	151 010 €
Σ (10 % prirážka firmy)	166 111 €

8.3 Návratnosť investície

Návratnosť investície udáva dobu, počas ktorej by robotická bunka zarábala výhradne na svoju realizáciu. Počíta sa ako podiel celkovej investície na robotizované pracovisko k súčasným ročným prevádzkovým nákladom (6).

$$\text{Návratnosť investície} = \frac{\text{Náklady na robotizované pracovisko}}{\text{Súčasný prevádzkový náklad}} \quad (6)$$

$$\text{Návratnosť investície} = \frac{166\,111}{57\,802} = 2,874 = 2 \text{ roky a } 10,49 \text{ mesiaca}$$

Vypočítané 2 roky a necelých 11 mesiacov možno považovať za dobrý výsledok spĺňajúci obecnú uvádzanú 3-ročnú požiadavku. Tento údaj ale vzhľadom k viacerým odhadnutým cenám treba brať s rezervou.

9 ZÁVER A DOPORUČENIE PRE PRAX

V diplomovej práci bol úspešne navrhnutý koncept robotickej bunky na výrobu plošných dielov, pričom boli splnené všetky ciele vyplývajúce zo zadania práce. V jednotlivých kapitolách bol celý pracovný postup od tvorby prvotných návrhov až po technicko-ekonomické zhodnotenie detailne popísaný.

Po stručnej rešeršnej časti venovanej všeobecnej problematike návrhu a sprevádzkovania robotizovaného pracoviska bolo podrobnejšie špecifikované zadanie. Hlavným účelom robota v bunke je nahradenie manuálnej práce operátora pri obsluhu drevoobrábacieho CNC stroja. Predmetmi manipulačnej úlohy je päť rozmerovo odlišných variantov laminovaných drevotrieskových dosiek, poukladaných na paletách v troch možných variantoch uloženia. Spôsob obrobenia jednotlivých dosiek bol zvolený a obrábacie časy odhadnuté.

S ohľadom na požiadavky zadania práce na kontinuálnu prevádzku a priestrannosť bunky boli vytvorené tri návrhové varianty rozloženia, ktorých spoločnou črtou sú dve vstupné a dve výstupné kóje pre výmenu palety. Na základe predom stanovených hodnotiacich kritérií bol pre ďalšie rozpracovanie zvolený variant C, ktorý odstraňuje väčšinu nedostatkov konkurenčných riešení. Jedná sa o variant s jedným robotom, ktorého mobilita je značne rozšírená prostredníctvom závesnej konštrukcie s lineárnym pojazdom. Riešenie nie je obmedzujúce z hľadiska pohybu po bunke, neproduktívny čas robota je redukovaný.

Ďalšia časť sa zaoberá návrhom a výberom jednotlivých komponentov bunky. Ako prvý bol navrhnutý koncový efektor o hmotnosti 22,374 kg, pre ktorý boli s ohľadom na potrebnú úchopovú silu zvolené dva univerzálne lokálne uchopovacie systémy. Zvolené modely s integrovaným generátorom vakuu boli doplnené o jednotku na úpravu vzduchu a rozvádzacími ventilmi, spoločne znázornenými na pneumatickej schéme. V závislosti na hmotnosti plne naloženého koncového efektora bol následne zvolený robot Kuka KR50 R2500 s dostatočnou nosnosťou (50 kg) i dosahom (2500 mm), ako neskôr ukázala simulácia. Maximálne statické zaťaženie robota bolo analýzou stanovené na hodnotu 82 %, čo spĺňa obecné odporúčania. V prípade konštrukcie s lineárnym pojazdom boli uvažované dve možné riešenia. Navrhnutá konštrukcia s upevnenou lineárnou jednotkou bola vyhodnotená ako bezpečná, no ako ukázal simulačný model nevyhovujúca z hľadiska rozmerov. Z tohto dôvodu bol zvolený menej priestorovo náročný model TMO-2-C od spoločnosti Güdel. So zreteľom na relevantné bezpečnostné normy bola celá bunka oplotená a vybavená viacerými prvkami zaisťujúcimi bezpečnosť obsluhy pri výmene palety a plynulý chod prevádzky.

Funkčnosť všetkých komponentov v rámci výsledného rozloženia bunky bola priebežne overovaná vo virtuálnom prostredí softvéru Siemens Process Simulate. V rámci tejto časti bol celý proces tvorby simulačného modelu od vytvorenia bezkolíznej pracovnej dráhy robota až po návrh zjednodušenej logiky riadenia pracoviska s využitím signálov dôkladne popísaný. I napriek nezadanej požiadavke na takt bunky bol s využitím RCS modulu stanovený čas jedného manipulačného cyklu na hodnotu 49 s, ktorá bola podkladom pre výpočet potenciálnej ročnej výrobnosti.

V poslednej časti je spracované technicko-ekonomické zhodnotenie navrhutej robotickej bunky. Porovnaním celkovej počiatkovej investície na jej realizáciu s pôvodnými

prevádzkovými nákladmi bola návratnosť investície stanovená na 2 roky a necelých 11 mesiacov.

Navrhnutý koncept robotickej bunky sa podľa výsledkov javí ako vhodné riešenie pre automatizáciu pojednávaného manipulačného procesu, ktoré by mohlo byť realizované i v praxi. Treba ale brať ohľad na skutočnosť, že úloha síce bola inšpirovaná aplikáciou reálneho zákazníka, no spracovanie návrhov a ich zhodnotenie bolo čisto subjektívnou prácou autora. S ohľadom na dodatočné požiadavky, či priestorové a finančné možnosti zákazníka by teda pracovisko mohlo podliehať ďalším zmenám.

Aplikácia robotickej paletizácie má z každého uhľa pohľadu veľký prínos. Je odstránená monotónna a fyzicky náročná manuálna práca, po zaškolení i zvýšená kvalifikácia zamestnancov. Nakoľko je bunka koncipovaná ako univerzálna, je možné meniť i sortiment bez zásahu do návrhu.

10 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- 1 ALBO, Anton a Petter FALKMAN. A standardization approach to Virtual Commissioning strategies in complex production environments: *Procedia Manufacturing*, Volume 51 [online]. Elsevier (ScienceDirect), 2020, 1251-1258 [cit. 2021-02-05]. ISSN 2351-9789. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.175>
- 2 Virtuální zprovoznění - budoucnost průmyslu [online]. Praha: Siemens, 2018 [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <https://www.industryforum.cz/virtualni-zprovozneni-meni-budoucnost-prumyslu>
- 3 Automation and digitalization offer a significant competitive edge in a volatile market environment [online]. Nuremberg: Siemens, 2020 [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/automation-and-digitalization-offer-significant-competitive-edge-volatile-market>
- 4 MALEGA, Peter. Význam a úloha automatizácie výrobných systémov [online]. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2011 [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <https://www.sjf.tuke.sk/umpadi/taipvpp/2011/index.files/clanky/Peter%20Malega%20Vyznam.pdf>
- 5 CECCARELL, Marco. Fundamentals of Mechanics of Robotic Manipulation: International Series on Microprocessor-Based and Intelligent Systems Engineering [online]. Springer, Dordrecht, 2004 [cit. 2021-02-06]. ISBN 978-1-4020-2110-7. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2110-7_1
- 6 Why Robotic Automation is the Future in Manufacturing. Robotic Industries Association [online]. Ann Arbor, Michigan, USA, 2019 [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <https://www.robotics.org/blog-article.cfm/Why-Robotic-Automation-is-the-Future-in-%20Manufacturing/176>
- 7 SICILIANO, B. a KHATIB O. Springer Handbook of Robotics [online]. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008 [cit. 2021-02-06]. ISBN 978-3-540-23957-4.
- 8 KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- 9 KURFESS, Thomas R. Robotics and Automation Handbook. London: CRC Press, 2005. ISBN 9780849318047.
- 10 SCHMALZ [online]. 72293 Glatten - Germany, 2021 [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://www.schmalz.com/en/>
- 11 Industrial robotics KUKA: Linear units and positioners [online]. KUKA, 2017 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka_pb_positioners_linear_units_en.pdf
- 12 LEHTLA, TÕNU. INTRODUCTION TO ROBOTICS [online]. Tallinn: TTU, Dept. of Electrical Drives and Power Electronics, 2008 [cit. 2021-02-12]. Dostupné z: http://host.bglot.com/ABB/Introduction_to_robotics.pdf
- 13 MORECKI, Adam a Józef KNAPCZYK. Sensors and Transducers Used in Robots . In: Basics of Robotics [online]. International Centre for Mechanical Sciences. Vienna: Springer, 1999 [cit. 2021-02-14]. ISBN 978-3-7091-2532-8. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-7091-2532-8_10

- 14 JURIŠICA, Ladislav a kolektív. Roboty do vonkajšieho prostredia [online]. Bratislava: ATP Journal (STU, Fakulta elektrotechniky a informatiky), 2007 [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://www.atpjournalsk/buxus/docs/online66.pdf>
- 15 Sensor Intelligence. SICK Slovakia [online]. Düsseldorf - Germany, 2021 [cit.2021-02-17]. Dostupné z: <https://www.sick.com/sk/cs/>
- 16 Demystifikace programování robotů [online]. Český Těšín, Vše o průmyslu, 2019 [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: <https://www.vseoprumsly.cz/robotizace/roboty-software/demystifikace-programovani-robotu.html>
- 17 NETO, Pedro a Nuno MENDES. Robotics and Autonomous Systems: Direct off-line robot programming via a common CAD package, Volume 61 [online]. Elsevier (ScienceDirect), 2013, 896-910 [cit. 2021-02-19]. ISSN 0921-8890. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2013.02.005>
- 18 Process Simulate: Manufacturing process verification in powerful 3D environment [online]. Siemens, 2011 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/en_gb/Images/7457_tcm642-80351.pdf
- 19 Tecnomatix 16 - What's new? [online]. USA - Dallas (Plano), Siemens, 2020 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <https://community.sw.siemens.com/s/article/Tecnomatix-16-What-is-new#human>
- 20 Product specification – ABB RobotStudio [online]. ABB Group, 2020 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC026932-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- 21 FANUC: Simulation Software ROBOGUIDE [online]. FANUC Europe Corporation, 2019 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/en/robots/accessories/roboguide>
- 22 Theoretical Holding Force of a Suction Cup [online]. J. Schmalz [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-knowledge/the-vacuum-system-and-its-components/system-design-calculation-example/theoretical-holding-force-of-a-suction-cup/>
- 23 Area Gripping Systems FXP [online]. J. Schmalz [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/area-gripping-systems-and-end-effectors/vacuum-area-gripping-systems-fxp-fmp/area-gripping-systems-fxp-306649/>
- 24 Kombinácie jednotiek úpravy vzduchu MSB, rad MS [online]. Festo spol. s r.o., 2016 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/sk_sk/data/doc_sk/PDF/SK/MS-CONFIG-COMBINATION_SK.PDF
- 25 Operating Instructions FXP / FXP-S [online]. J. Schmalz, 2020 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: https://pimmedia.schmalz.com/Dokumente/Bedienungsanleitung/10/1001/100138/10013800904/BAL_10.01.38.00904_en-EN_04.pdf
- 26 DT20-P214BS03: Senzory pro měření vzdálenosti [online]. Waldkirch, Nemecko: Sick, 2021 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: https://cdn.sick.com/media/pdf/6/46/046/dataSheet_DT20-P214BS03_1051547_cs.pdf
- 27 WT12L-2B551: Malé optoelektronické snímače [online]. Waldkirch, Nemecko: Sick, 2021 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: https://cdn.sick.com/media/pdf/1/41/341/dataSheet_WT12L-2B551_1047958_cs.pdf

- 28 Suspension Flexible FST-FLEX [online]. J. Schmalz [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/mounting-elements/suspension-rigid-flexible-set/suspension-flexible-fst-flex-307556/>
- 29 Kuka Compose [online]. Ausburg, Nemecko: KUKA [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://compose.kuka.com>
- 30 Kuka Iontec: KR 50 R2500 [online]. Ausburg, Nemecko: KUKA [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/6b77eecacfe542d3b736af377562ecaa/0000334818_cs.pdf?rev=31dd3c5e7a094ccf8336199b2f716c79&hash=C179108F4EE83520DF8CC9B492FEA5A2
- 31 KUKA KR C4 [online]. Augsburg, Nemecko: KUKA, 2021 [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/sk-sk/produkty-a-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/riadenia-robota/kr-c4>
- 32 Kuka Industrial Robotics: Linear units and positioners [online]. Ausburg, Nemecko: KUKA [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka_pb_positioners_linear_units_en.pdf?rev=413d16f330aa450c81ec925dd96e6084
- 33 Güdel Robotics: Product list [online]. Langenthal, Švajčiarsko [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://gudel.picturepark.com/Website/Download.aspx?DownloadToken=dba31b8a-f2a7-40db-abd8-a311c35265d2&Purpose=AssetManager&mimeType=application/pdf#page=178>
- 34 Horizontální CNC vrtací centrum UNIFLEX S [online]. Rokycany, CZ: Italcomma Moravia, 2021 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.italcomma.cz/stroj/uniflex-s>
- 35 Ochranné riešenia pre strojové zariadenia v oblasti automatizácie a robotiky [online]. Trnava, SK: TROAX [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: http://my.troax.com/sites/default/files/ar_24_sk_1.pdf
- 36 ČSN EN ISO 13857: Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu k nebezpečným místům horními a dolními končetinami. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- 37 C4000 Entry/Exit: Bezpečnostní světelné závěsy [online]. Waldkirch, Nemecko: Sick, 2021 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: https://cdn.sick.com/media/pdf/6/86/386/dataSheet_C40P-1502CI010_p16386_cs.pdf
- 38 Signalizační sloupky SL7 [online]. Eaton, 2015 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <http://www.eatonelektrotechnika.cz/cz/signalizacni-sloupky-sl7.html>
- 39 Industry Mall: Pushbuttons and indicator lights in the enclosure for AS-Interface [online]. Mnichov, Nemecko: Siemens, 2021 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/3SU1801-0NA00-2AA2>
- 40 Bezpečnost strojů realizovaná světelnými závoryami [online]. Automatizace.HW.cz, 2014 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-a-zarizeni-realizovana-svetelnymi-zavesy>
- 41 Multifunctional Gate Box MGB [online]. Leinfelden-Echterdingen, Nemecko: Euchner [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.euchner.de/cs-cz/vyroby/multifunctional-gate-box-mgb/multifunctional-gate-box-mgb-ar/mgb-l1he-ara-r-121227/#techdata-tab>

11 ZOZNAM SYMBOLOV, TABULIEK A OBRÁZKOV

11.1 Zoznam symbolov

m	Hmotnosť manipulovaného objektu	[kg]
a	Maximálne zrýchlenie robota	[m. s ⁻²]
g	Gravitačná konštanta	[m. s ⁻²]
μ	Súčiniteľ trenia	[-]
S	Koeficient bezpečnosti	[-]
F_{U_1}	Úchopová sila koncového efektora (prípád 1)	[N]
F_{U_2}	Úchopová sila koncového efektora (prípád 2)	[N]
F_{U_3}	Úchopová sila koncového efektora (prípád 3)	[N]
K	Prístupová rýchlosť ľudského tela	[mm. s ⁻¹]
T	Dobeh robotického systému	[s]
C	Dodatočná vzdialenosť	[mm]
d	Rozlíšenie svetelného závesu	[mm]
S	Bezpečná vzdialenosť svetelných závesov	[mm]

11.2 Zoznam tabuliek

Tab. 1) Parametre zadanych dosiek	31
Tab. 2) Výber variantu bunky	35
Tab. 3) Technické parametre zvoleného uchopovacieho systému [23]	38
Tab. 4) Technické parametre zvolených senzorov [26,27]	39
Tab. 5) Časové výstupy simulácie	55
Tab. 6) Celkové ročné náklady súčasnej prevádzky	57
Tab. 7) Ceny vyrobených dielov	57
Tab. 8) Ceny nakupovaných položiek	58
Tab. 9) Cena odvedenej práce zamestnancov firmy	58
Tab. 10) Počiatočná investícia robotizovaného pracoviska	59

11.3 Zoznam obrázkov

Obr. 1) Priebeh virtuálneho sprevádzkovania [2]	19
Obr. 2) Aplikácia lokálneho uchopovacieho systému [10]	23
Obr. 3) Varianty úchopových prvkov [10]	23
Obr. 4) KUKA 250-3 [11]	23
Obr. 5) KUKA KR 30-2 JET [11]	23
Obr. 6) Súradnicové systémy robota [12]	24
Obr. 7) Princíp funkcie optickej triangulácie [9]	26
Obr. 8) Princíp funkcie ultrazvukových senzorov	26
Obr. 9) Rozmerové varianty dosiek po obrobení (zoraďené podľa tab. 1)	31
Obr. 10) Varianty uloženia dosiek	32

Obr. 11) Návrh rozloženia bunky – variant A	33
Obr. 12) Návrh rozloženia bunky – variant B	34
Obr. 13) Návrh rozloženia bunky – variant C	35
Obr. 14) Možné pohyby pri manipulácii [22].....	38
Obr. 15) Horizontálna poloha prísavky [22]	38
Obr. 16) FXP-S-SVK 640 3R18 [23]	38
Obr. 17) MSB6-3/8:C4:J7:I1-WP [24]	38
Obr. 18) Pneumatická schéma zapojenia koncového efektora [24,25]	39
Obr. 19) Koncový efektor pre manipuláciu s doskami:.....	40
Obr. 20) Vstupné parametre pre výber robota v Kuka Compose [29]	41
Obr. 21) Zaťaženie jednotlivých robotických osí: a) statické, b) dynamické [29].....	41
Obr. 22) Kuka KR C4 [31]	42
Obr. 23) Pracovný priestor KR 50 R2500 [30]	42
Obr. 24) Vstupné podmienky výpočtovej analýzy	43
Obr. 25) Maximálna deformácia	43
Obr. 26) Maximálne hlavné napätie	43
Obr. 27) Maximálne zaťaženie produktu Güdel TMO-2-C [33].....	43
Obr. 28) Rozmerová konfigurácia produktu Güdel TMO-2-C [33].....	44
Obr. 29) Zostava robota KR 50 R2500, nosnej konštrukcie s pojazdom Güdel TMO-2-C a koncového efektora.....	44
Obr. 30) CNC Morbidelli Uniflex S [34]	45
Obr. 31) Vstupné a výstupné kóje robotizovaného pracoviska	46
Obr. 32) Variant s nájazdovou rampou	46
Obr. 33) Skrátene dieľu s montážnou prírubou	46
Obr. 34) Bezpečnostné prvky vstupných a výstupných kójí: a) Sick C4000 Entry/Exit [37], b) signalizačný maják [38], c) tlačidlo núdzového zastavenia [39]	47
Obr. 35) Bezpečnostný zámok Euchner typu MGB [41]	48
Obr. 36) Navrhnuté robotizované pracovisko	48
Obr. 37) Základné nástroje pre prácu s modelmi	49
Obr. 38) Nástroje pre definovanie kinematickej štruktúry	50
Obr. 39) Ukážka práce s Path Editorom	51
Obr. 40) Ukážka práce so Sequence Editorom	52
Obr. 41) Definovanie materiálového toku simulácie.....	52
Obr. 42) Logické bloky vstupného dopravníka	53
Obr. 43) Robotické signály.....	53
Obr. 44) Ukážka práce so Simulation Panelom.....	54
Obr. 45) Reset robotického programu	54
Obr. 46) Ganntov diagram manipulačnej úlohy bez využitia RCS modulu.....	54
Obr. 47) Ganntov diagram manipulačnej úlohy s využitím RCS modulu.....	54

12 ZOZNAM PRÍLOH

- Príloha č. 1 – Vývojový diagram simulovaného cyklu (*Vývojový_diagram.pdf*)
- Príloha č. 2 – Video simulácie (*Video_DP_Závodský.mp4*)
- Príloha č. 3 – 3D model robotickéj bunky (*Návrh_bunky.stp*)

Výkresová dokumentácia:

- Príloha č. 4 – Výkres zostavy koncového efektora (*3_DP_ÚVSSR_1-01.pdf*)
- Príloha č. 5 – Výkres zostavy oplatenia (*2_DP_ÚVSSR_1-02.pdf*)
- Príloha č. 6 – Výkres rozloženia pracoviska (*2_DP_ÚVSSR_1-00.pdf*)