



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

DIGITÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ ROBOTIZOVANÉ OBSLUHY OBRÁBĚCÍHO STROJE

DIGITAL COMMISSIONING OF ROBOTIC MACHINE TOOL OPERATOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Tecl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Michal Tecl
Studijní program:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Jan Vetiška, Ph.D.
Akademický rok:	2021/22

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:

Digitální zprovoznění robotizované obsluhy obráběcího stroje

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Stále aktuálním cílem průmyslu je zvyšování produktivity práce. Možností jak tohoto cíle dosáhnout robotizace rutinních činností. Jednou z takových je obsluha obráběcích strojů. Cílem práce je zjistit aktuální stav dané problematiky z ohledem na rychlost přípravy nové výroby.

Cíle diplomové práce:

Rešerše současného stavu.
Systémový rozbor.
Tvorba modelové úlohy.
Digitální zprovoznění modelové úlohy.

Seznam doporučené literatury:

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

KOLÍBAL, Z. a kol.: Roboty a robotizované výrobní technologie. VUTIUM Brno, 2016, ISBN 978-80-214-4828-5.

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou digitálního zprovoznění robotizované obsluhy CNC obráběcích strojů. V rešeršní části jsou rozebrány jednotlivé typy průmyslových robotů včetně jejich výhod a nevýhod pro dané použití. Dále je popsáno několik softwarů používaných pro digitální zprovoznění a jsou popsány možnosti komunikací mezi obráběcí stroji a roboty. V praktické části je vytvořena modelová úloha obsluhy dvou CNC strojů. Je vybrán vhodný robot, nástroje robotu, zásobníky dílců a je zpracován 3D model celého pracoviště. V závěrečné části dojde k vytvoření jak programu pro robot, tak programu pro PLC řídící celé pracoviště.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the issue of digital commissioning of robotic operation of CNC machine tools. In the research part, individual types of industrial robots are analysed, including their advantages and disadvantages for the given application. Furthermore, several software used for digital commissioning are described and the possibilities of communication between machine tools and robots are described. In the practical part, a model task of operating two CNC machines is created. A suitable robot, robot tools, part magazines are selected, and a 3D model of the entire workplace is processed. In the final part, both a program for the robot and a program for the PLC controlling the entire workplace will be created.

KLÍČOVÁ SLOVA

Digitální zprovoznění, průmyslový robot, robotické pracoviště, PLC, Robot Studio, TwinCAT, multikriteriální analýza variant

KEYWORDS

Digital commissioning, industrial robot, robotic workplace, PLC, Robot Studio, TwinCAT, multicriteria analysis of variants

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TECL, Michal. Digitální zprovoznění robotizované obsluhy obráběcího stroje. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139441>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Vetiška.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu své diplomové práce Ing. Janu Vetiškovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a veškerou další pomoc, kterou mi během tvorby této práce poskytl.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Vetišky, Ph.D a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Havlíčkově Brodě dne 19. 5. 2022

.....

Michal Tecl

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	REŠERŠE SOUČASNÉHO STAVU	15
2.1	Tvrdá automatizace – transferové linky.....	15
2.2	Pružné výrobní systémy	16
2.3	Průmyslové manipulátory	17
2.4	Průmyslové roboty	18
2.4.1	Kartézské roboty	18
2.4.2	Kloubové roboty	19
2.4.3	Scara roboty	20
2.4.4	Roboty s paralelní kinematikou	21
2.5	Robotizovaná obsluha CNC.....	22
2.5.1	Jednouúčelové zakladače.....	22
2.5.2	Obsluha průmyslovým robotem	22
2.5.3	Obsluha průmyslovým robotem se strojovým viděním.....	23
2.5.4	CNC stroj s integrovaným robotickým ramenem	24
2.5.5	Robot to go	25
2.5.6	Obsluha kolaborativním robotem	26
2.6	Komunikace mezi robotem a CNC strojem	27
3	DIGITÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ	29
3.1	Software využívaný pro digitální zprovoznění	30
3.2	Digitální dvojče.....	32
4	TVORBA MODELOVÉ ÚLOHY	35
4.1	Parametry modelového pracoviště.....	35
4.1.1	Popis rozložení	35
4.1.2	Model obráběného dílu	37
4.1.3	Činnost pracoviště	37
5	SYSTÉMOVÝ ROZBOR	39
5.1	Výběr robotu	39
5.2	Návrh umístění průmyslového robotu	40
5.2.1	Volba hodnotících kritérií.....	40
5.2.2	Stanovení vah jednotlivým kritériím	40
5.3	Popis jednotlivých variant	41
5.3.1	Robot umístěný na podlaze.....	41
5.3.2	Robot umístěný na nízkém podstavci	42
5.3.3	Robot umístěný na vysokém podstavci	43
5.3.4	Robot zavěšený ze stropu	44
5.4	Hodnocení jednotlivých variant.....	45
6	DIGITÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ MODELOVÉ ÚLOHY	47
6.1	Tvorba 3D modelů pracoviště.....	47
6.1.1	Soustruhy	47
6.1.2	Zásobníky polotovarů a obrobků	48
6.1.3	Robot	50
6.1.4	Nástroj robota	50
6.1.5	Ověření nosnosti robotu v závislosti na těžišti nástroje	52
6.1.6	Doplňkové prvky stanice	53

6.2	Oplocení a bezpečnostní prvky	54
6.2.1	Ochranné oplocení.....	54
6.2.2	Oplocení v režimu obsluhy jednoho stroje.....	55
6.2.3	Tlačítka nouzového zastavení	56
6.2.4	Zámky a sensory dveří	56
6.2.5	Výsledný model pracoviště	57
6.3	Tvorba robotického programu	57
6.3.1	Tvorba jednotlivých programů.....	58
6.4	Tvorba programu pro řídicí PLC	59
6.4.1	Komunikace TwinCAT - RobotStudio	59
6.4.2	Struktury a globální list proměnných	60
6.4.3	Uspořádání programu řídicího systému	62
6.4.4	Vizualizace	64
6.4.5	Limity simulace.....	67

ZÁVĚR 69

7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	71
8	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	74
8.1	Seznam zkratk.....	74
8.2	Seznam tabulek.....	74
8.3	Seznam obrázků.....	74
9	SEZNAM PŘÍLOH.....	77

1 ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá digitálním zprovozněním robotizované obsluhy CNC obráběcího stroje, která dnes velmi často nahrazuje člověka při monotónní činnosti. Problematika je řešena od teoretického popisu různých výrobních systémů, jednotlivých typů robotů, programů pro jejich zprovoznění přes tvorbu modelové úlohy, její systémový rozbor až po následné digitální zprovoznění této úlohy.

V teoretické části práce jsou popsány jednotlivé typy výrobních linek, různé varianty průmyslových robotů včetně jejich výhod a nevýhod pro různá řešení problémů. Roboty jsou také řešeny z hlediska stupně jejich automatizace. Rešeršní část se dále zabývá různým softwarem pro digitální zprovožňování a možnostmi komunikací mezi jednotlivými stroji.

V praktické části je nejprve vytvořena modelová úloha, konkrétně jde o obsluhu pracoviště se dvěma soustruhy průmyslovým robotem. Tato úloha je pak systémově rozebrána, dojde k výběru vhodného robota, určení jeho vhodného umístění pomocí multikriteriální analýzy.

Dále jsou zvoleny veškeré další zařízení nutné pro digitální zprovoznění pracoviště, je vytvořen 3D model celého pracoviště. Ten je následně v programu RobotStudio doplněn o simulace chování a simulace výstupních signálů. Jsou vytvořeny dráhy robotů a z nich jednotlivé robotické programy.

V poslední části je vytvořen PLC program pro řídicí systém celé stanice. V něm je možné ovládat stanici jako celek a přepínat a nastavovat režimy práce stanice. Nakonec jsou vytvořeny obrazovky uživatelského rozhraní.

Na závěr dojde ke kosimulaci RobotStudia společně se simulací PLC programu, čímž dojde k ověření funkce všech použitých komponent a veškeré programy budou připraveny na testování na reálném zařízení.

2 REŠERŠE SOUČASNÉHO STAVU

Automatizace v průmyslu zažívá v posledních letech nebývalý rozmach. Vzhledem k nedostatku zaměstnanců na pracovním trhu a neustálému zvyšování nárokových požadavků na produktivitu a kvalitu jsou pro firmy investice do automatizace a robotizace stále atraktivnější. Velkou částí procesu automatizace je používání průmyslových robotů. Ty nahrazují lidskou práci při obsluze nejrůznějších výrobních strojů od CNC obráběcích center po ohraňovací lisy. Další aplikací jsou svařovací a lakovací operace. V neposlední řadě nacházejí uplatnění v řadě logistických operací jako jsou různé paletizace, depaletizace a mezioperační manipulace.

Při využití průmyslových robotů pro obsluhu obráběcích strojů je jejich nejčastějším úkolem zajištění takzvaných "Pick and place" operací. Při těchto operacích robot přesouvá výrobky z palet, beden nebo přídružených dopravníků do obráběcího stroje. Po dokončení operace odebírá průmyslový robot hotový výrobek a ukládá ho na požadované místo. Na základě sofistikovanosti robotu se pak k těmto činnostem často přidávají i další činnosti jako výměna nástrojů nebo přípravků.

Použitím průmyslových robotů místo lidské obsluhy při obsluze CNC obráběcího stroje můžeme vyřešit mnoho problémů. Prvním z nich je navýšení taktu stroje, neboť robot je schopen díl nebo nástroj vyměnit rychleji než člověk. Dále robot řeší problém s nedostatkem zaměstnanců, kdy je robot k dispozici 24 hodin denně 7 dní v týdnu bez ohledu na situaci na trhu práce. Použitím robota je možné zvýšit kvalitu a současně snížit zmetkovitost. Poslední problém, který řeší nasazení průmyslového robota nastává, když je práce nebo pracovní prostředí pro člověka příliš nebezpečné, hlučné nebo je tato činnost manuálně příliš namáhavá.

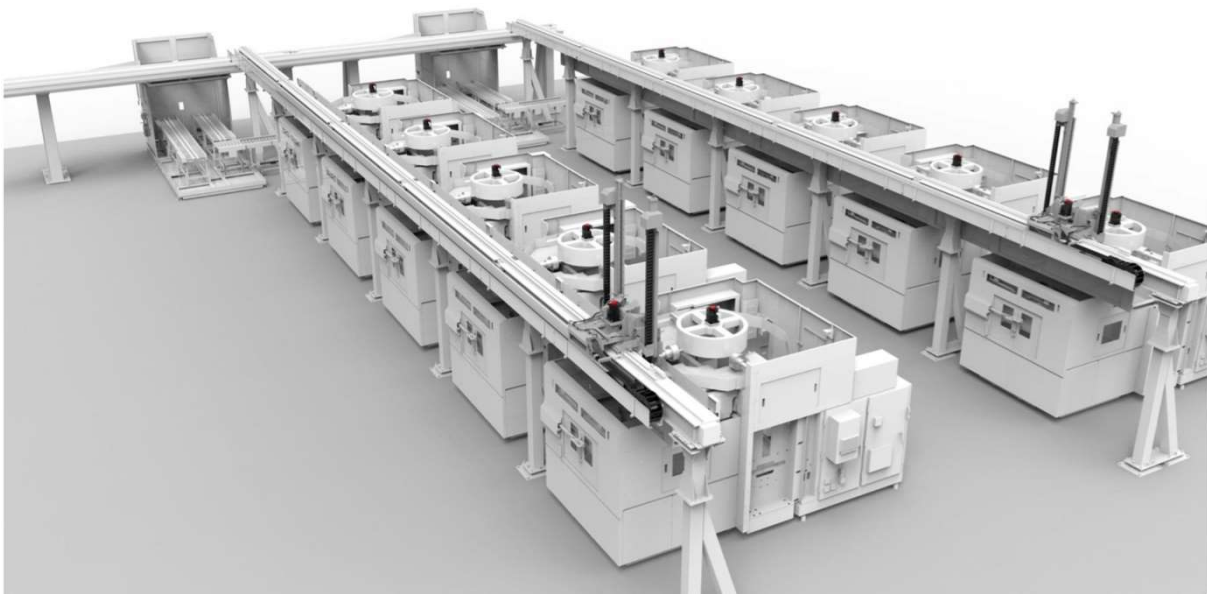
Z hlediska stupně automatizace můžeme průmyslové roboty a jejich aplikaci rozdělit na několik kategorií. To, která kategorie je nejvýhodnější pro konkrétní aplikaci, záleží především na množství kusů, které potřebujeme vyrábět, komplikovanosti daného výrobního procesu a variabilitě výroby.

2.1 Tvrdá automatizace – transferové linky.

Typickým příkladem tvrdé automatizace jsou transferové linky. Jsou to soustavy jednoúčelových programově řízených výrobních strojů. Tok materiálů ve většině případů jde pouze jedním směrem a jednotlivá pracoviště jsou vzájemně nezastupitelná. Manipulaci mezi pracovišti zajišťují jednoúčelové manipulátory často v kombinaci s paletovými dopravníky. Stroje i manipulátory jsou vybaveny speciálními přípravky pro konkrétní aplikaci.

Tento typ linek je vždy určen pouze pro jeden typ výrobku, který je ale schopen vyrábět s velmi vysokou produktivitou ve velkých sériích. Výroba zde probíhá obvykle v nepřetržitém provozu a vyžaduje jen malé množství obslužného personálu. Výrobnost bývá v řádech stovek tisíc až milionů kusů ročně. Pro změnu vyráběného typu je nutné fyzicky vyměnit některé části linky. [1]

V poslední době některé vlastnosti transferových linek přibližují pružným výrobním systémům. Jednoúčelové obráběcí stroje jsou postupně nahrazovány číslicově řízenými obráběcími stroji, které disponují automatickou a rychlou výměnou nástrojů, tím jsou schopné zastoupit několik jednoúčelových strojů při zachování jejich produktivity. [1]

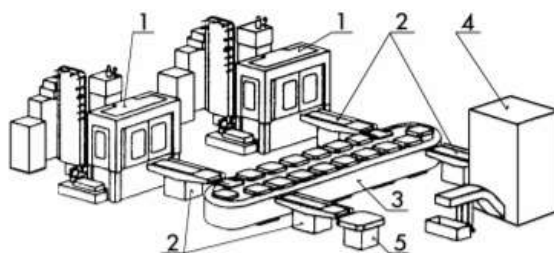


Obr. 1) Příklad transferové linky [2]

2.2 Pružné výrobní systémy

Pružný výrobní systém je tvořen soustavou výrobních strojů a činností, které zajišťují výrobu tvarově a technologicky podobných součástí. Vyráběné součásti mají tedy podobné nároky na technologii výroby. Typickým uspořádáním pružných výrobních systémů pro operace třískového obrábění je, že jsou stroje rozděleny dle operací na jednotlivé výrobní buňky. Každá výrobní buňka se skládá alespoň ze dvou výrobních jednotek. Výrobní jednotkou většinou nazýváme jednotlivé stroje jako obráběcí centra, soustruhy, automatické skladové jednotky nebo obslužné roboty a manipulátory. Pro každou výrobní buňku je zajištěna automatická výměna nástrojů a obrobků. Pro práci každého stroje výrobní buňky je nutný počítač, který řídí celý proces jako celek. [3]

Uspořádání jednotlivých pružných výrobních buněk nazýváme strukturami pružných výrobních systémů. Každá tato struktura musí být navržena tak, aby splňovala všechny na ní kladené požadavky, a to výrobní, manipulační, přepravní a skladovací. Z velkého množství možných struktur patří mezi základní typy struktury A, B a C. U struktury typu A je využívána pouze jedna transportní pozice, která se ale může pohybovat v obou směrech. U typu B dochází k jednosměrnému toku obrobku na oběžné dráze s mnoha přepravními pozicemi. Typ C umožňuje přepravit obrobek v libovolném čase do libovolného místa. [1]



- 1 - Obráběcí centrum SABOMATIC 630
- 2 - Otočný výměník technologických palet
- 3 - Oválný zásobník technologických palet pro 18 obrobků
- 4 - Mycí stanice obrobků
- 5 - Vstup / výstup PVS

Obr. 2) Pružný výrobní systém PVS 630 [1]

Výhodou pružného výrobního systému oproti transferovým linkám je především snadné a rychlé přizpůsobení se na změny jak v parametrech vyráběných součástí, tak i na změny v počtu vyráběných kusů. [1]

2.3 Průmyslové manipulátory

Průmyslové manipulátory jsou strojní zařízení, která slouží pro usnadnění těžké manipulační práce člověku. Tvoří je pevné kovové rameno, které se může za pomoci pneumatických, hydraulických nebo jiných mechanismů pohybovat a orientovat v prostoru. Za pomoci průmyslového manipulátoru může obsluha odebírat těžká břemena rychle, pohodlně a bezpečně. [4]

Na rozdíl od průmyslových robotů tedy při použití průmyslových manipulátorů nedochází k automatizaci výroby, lidská obsluha je zde stále nutná k ovládní manipulátoru. Na druhou stranu díky člověku je zachována vysoká flexibilita procesu. Proto se hodí převážně tam, kde kvůli komplexnosti operace nelze využít nebo se nevyplatí použít průmyslový robot. Důležitou schopností manipulátoru je přesouvat objekty o hmotnosti, kterou není člověk schopen bezpečně zvednout mimo své těžiště. [4]

Průmyslové manipulátory se dají dělit podle několika kritérií. Jedním z nich je dělení dle zdroje energie, a to na pneumatické, hydraulické, elektrické a mechanicky znásobující lidskou sílu. Dalším způsobem dělení mohou být manipulátory rozčleněny na manipulátory kotvené do podlahy, stropu nebo stěny. [4]

Příkladem průmyslového manipulátoru je zařízení MAXIPARTNER EQUO od společnosti Dalmecc. Jako zdroj energie využívá stlačený vzduch, dokáže obslužit prostor o poloměru 4,5 metru při nosnosti až 900 Kg. [5]



Obr. 3) Průmyslový manipulátor MAXIPERNER EQUO [6]

2.4 Průmyslové roboty

Průmyslové roboty jsou z definice automaticky řízené programovatelné víceúčelové manipulátory, jejichž pohyb musí být říditelný ve třech nebo více osách. Tyto roboty nejčastěji dělíme dle počtu nezávislých os, ve kterých se mohou pohybovat a jejich celkového kinematického uspořádání. Každý robot je složen několika tuhých těles. Tato tělesa jsou pospojována pomocí pohyblivých spojů. Ty mohou být rotační, translační, válcové a kulové. Spoje společně s tělesy, která spojují, vytváří kinematický řetězec průmyslového robotu. [7]

Postupným vývojem se dospělo k tomu, že pouze některá konkrétní uspořádání jsou použitelná v technické praxi. Od nich se pak odvíjí konstrukce většiny dnes na trhu dostupných strojů. Příklady v praxi nejčastěji používaných typů robotů jsou popsány dále. [7]

2.4.1 Kartézské roboty

Kartézský robot se skládá ze tří translačních os zapojených v sérii za sebou. První osa bývá také často zdvojená, aby bylo dosaženo vyšší tuhosti robotu. Tyto roboty se pohybují pouze v kartézském souřadném systému a jejich řízení, a tedy i řídicí systém, je poměrně jednoduchý, neboť nemusejí počítat s inverzní kinematikou. Další výhodou těchto robotů je poměrně vysoká nosnost a přesnost. Problémem tohoto typu robotů je pak nákladná výroba a údržba dlouhých lineárních os a také ne příliš vysoká rychlost pohybu.

Příkladem kartézského robotu je stroj na obrázku 4 od výrobce Kuka, konkrétně portálový robot KUKA KR 300L se jmenovitou nosností 300 Kg a maximální délkou první lineární osy až 45 m.



Obr. 4) Lineární robot KUKA [8]

2.4.2 Kloubové roboty

Kloubové roboty se staly nejběžnějším typem robotů používaných v průmyslu. Jsou definovány jako roboty, které obsahují otočné klouby často nazývané jako osy. Tyto klouby jsou poháněny servopohony a u typických robotů tohoto typu jich bývá čtyři až šest. Každá další osa tedy robotu přidává jeden stupeň volnosti umožňující nezávislý pohyb koncového efektoru. První osa je obvykle kolmá k zemi a umožňuje otáčení celého robota, na ní je pak kolmo napojena další osa, která umožňuje pohyb prvního ramene. Další osy jsou pak vždy napojené na osy předchozí a tvoří tak celý kinematický řetězec, který se už liší v závislosti na konkrétním provedení daného výrobce. [9]

Pro svůj velký počet stupňů volnosti tyto roboty schopny napodobovat pohyby lidské ruky. To je předurčuje k užití ve výrobních linkách, kde uplatňují svoji flexibilitu. Řízení kloubových robotů je podstatně složitější než u kartézských robotů, neboť zahrnuje výpočty inverzní kinematiky a dynamiky v prostoru s mnoha stupni volnosti, přičemž některých poloh je možné dosáhnout i více způsoby. Jejich typickým použitím jsou manipulační operace s díly, montážní operace, svařování, lakování nebo nanášení lepidel. Kloubové roboty nabízí mnoho výrobců robotů, ale nejčastěji se setkáváme s výrobky firem FANUC, Yaskawa Motoman, ABB a KUKA.

Příklad kloubového robota je produkt na obrázku 5 společnosti ABB konkrétně IRB 2600. Jedná se o univerzální šestiosý kloubový robot s nosností 12 – 20 kg v závislosti na konkrétní variantě. [9]



Obr. 5) Průmyslový robot společnosti ABB – IRB 2600 [11]

2.4.3 Scara roboty

Název Scara robotů vychází z anglického názvu Selective Compliance Articulated Robot Arm, což lze doslovně přeložit jako selektivní kompatibilní kloubové robotické rameno. Základem uspořádání scara robotů jsou dvě kloubové vazby umístěné tak, že je rameno schopno dosáhnout jakéhokoliv bodu v jedné rovině. Jde tedy vlastně o specifickou variantu kloubového robota. Na toto rameno je pak vždy jako první nebo poslední člen připojena translační vazba v rovině kolmé na pohyb ramene. Tímto uspořádáním vznikne válcový pracovní prostor. V praxi má tento typ robota uplatňuje při operacích, kde je potřeba velmi rychlá manipulace s lehčími předměty. Výhodou tohoto typu je tedy velmi vysoká rychlost pohybu, přesnost a flexibilita. Nevýhodou pak může být menší jmenovitá nosnost a malý rozsah pohybu v ose Z. [12]

Roboty typu scara nabízí většina výrobců průmyslových robotů. Jedno z možných řešení je SCARA Robot SR-3iA na obrázku 6 od výrobce FANUC. Tento robot má užitečné zatížení 3 kg a dosah 400 mm. [12]



Obr. 6) SCARA Robot SR-3iA od výrobce FANUC [13]

2.4.4 Roboty s paralelní kinematikou

Roboty s paralelní kinematikou jsou ve většině případů založeny na třech ramenech, která umožňují rychlý a přesný pohyb. V porovnání se se sériovou kinematikou jsou jednotlivé řetězce krátké a jednoduché což zajišťuje tuhost koncového efektoru robotu. Díky lehké konstrukci přesnému polohování je tento ty robotů používán nejčastěji pro pick and place operace. Vzhledem ke své stavbě jsou tyto roboty připojovány ke stropům stanic přímo nad pracoviště, které obsluhují. Tím je na rozdíl od kartézských a kloubových robotů možné ušetřit značný prostor. Kartézské a kloubové roboty je sice také možné připevnit ke stropu, ale vzhledem k jejich hmotnostem a uspořádání to často přináší další komplikace a není to možné provést ve všech případech. [14]

Jako příklad robotu s paralelní kinematikou je zde uveden stroj společnosti ABB konkrétně IRB 360 FlexPicker. Jde o 140 kg vážícího robota schopného dle konfigurace pohybovat s předměty o hmotnosti 1 až 8 kg. [15]



Obr. 7) Paralelní robot IRB 360 FlexPicker™ [16]

2.5 Robotizovaná obsluha CNC

Vývoj CNC obráběcích strojů a průmyslových robotů probíhá téměř souběžně a jejich využití se mnohdy překrývá. Příkladem je situace, kdy je průmyslový robot využit přímo pro obráběcí operace, nebo je naopak CNC stroj schopen provádět některé manipulační operace. Tyto možnosti jsou ale použitelné jen v některých specifických případech a běžně se pro dosažení požadované přesnosti a produktivity používají tyto stroje jako kombinace průmyslový robot a obráběcí stroj. [17]

Použití průmyslový robot jako obsluhu obráběcího stroje můžeme jak u nových instalací, tak u již starších strojů, které dosud obsluhuje člověk. Při nahrazení člověka robotem získáváme klíčové výhody. [17]

První z nich je efektivita. Robot může pracovat 24 hodin denně 7 dní v týdnu bez pauz a dovolených. Zároveň zbavujeme zaměstnance velmi repetitivní činnosti a můžeme ho nadále využít pro sofistikovanější úkoly. [17]

Dalšími získanými výhodami jsou rychlost a přesnost. Robot může dělat některé operace rychleji než člověk, ale některé mohou být i pomalejší. Důležité ale je, že zakládání i vykládání dílců ze stroje je konzistentní, a to jak z časového, tak i z prostorového hlediska. [17]

Robot také může pracovat v prostředích nebezpečných pro člověka například za zvýšeného hluku, teploty nebo prašnosti. Vzhledem k tomu, že prostor, ve kterém je robot umístěn, je během provozu pro člověka většinou nepřístupný, nemusí být ani uzavřený ochranný kryt stroje během činnosti CNC. Robot tak může v čase obrábění provádět kontrolu kvality nebo měnit nástroje, pokud to daný obráběcí stroj umožňuje. [17]

S použitím robotu přicházejí ale i komplikace, neboť bez lidské práce ztrácíme možnost reagovat na komplexní problémy, které mohou nastat a které by člověk mohl odhalit. Robot bude vždy kontrolovat pouze věci, na které byl naprogramován. [17]

2.5.1 Jednoučelové zakladače

Ve velkosériové výrobě se často můžeme setkat s použitím jednoučelových zakladačů. Ty jsou nejčastěji provedeny jako portálové manipulátory umístěné přímo nad obráběcí stroje. Pro použití tohoto řešení je nutné mít speciálně navržené stroje s možností vkládání obrobků shora. Jedná se o jedno z nejproduktivnějších řešení využívané například v transferových linkách.

Jakákoliv změna vyráběné součásti pak znamená nutnost přestavby nebo výměny částí samotného zakladače.

2.5.2 Obsluha průmyslovým robotem

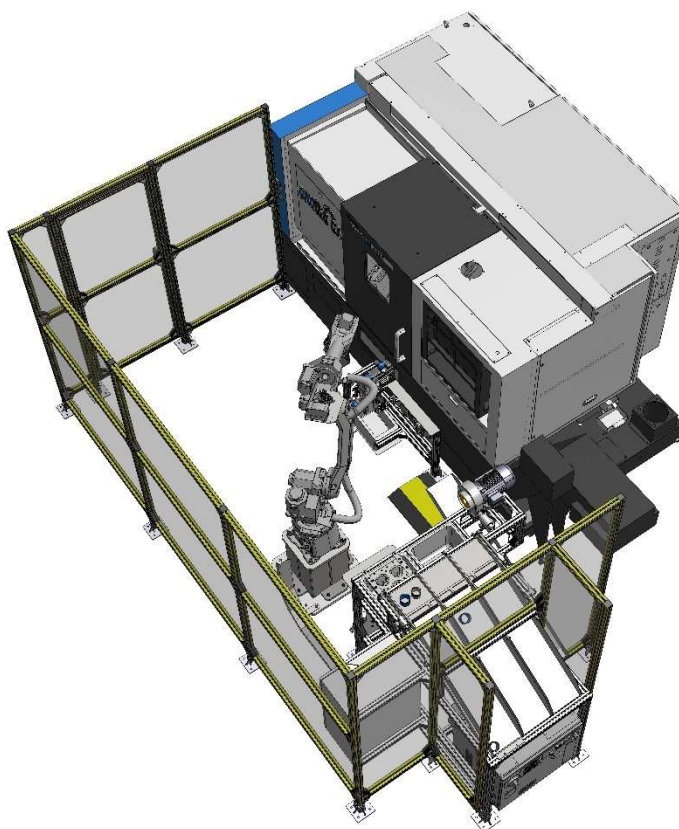
Stacionární roboty v rámci robotických buněk jako obsluha obráběcích strojů představují vyšší stupeň automatizace. Nejčastěji se pro tento účel používají 6-ti osé roboty vybavené speciálním koncovým efektem, který je určen pro manipulaci s konkrétními obrobky nebo paletkami, na kterých jsou obrobky upnuty.

Pro řízení robotu existují dvě základní koncepce, v prvním případě je robot kompletně řízen přímo řídicím systémem CNC obráběcího stroje. Ve druhém případě je robot řízen svým vlastním řídicím systémem dle výrobce daného robotu. S CNC strojem pak komunikuje pomocí signálů, které si navzájem vyměňují. Tyto signály mohou obsahovat od základních informací o dokončení cyklu a požadavku na výměnu obrobku až po velmi komplexní komunikaci o pozicích a opotřebení nástrojů.

Vzhledem k tomu, že robotizované buňky jsou navrženy na bezobslužný nebo téměř bezobslužný provoz, musí být robot automaticky zásobován novými díly a musí mít hotové díly kam odkládat. To může být zajištěno pomocí dopravníků, které obrobky automaticky převážejí na další operace v rámci výrobního procesu. Další variantou jsou paletkové zásobníky a paletkové regály. Na paletky jsou jednou za delší čas upnuty obrobky a robot v kombinaci se zásobníkem automaticky tyto paletky vyměňuje. V případě menších dílů jsou pro odvod hotových dílců někdy dostačující i gravitační skluzy. V závislosti na konkrétní operaci může robot obsluhovat i několik zařízení ve svém dosahu nebo být umístěn na kolejnici a obsluhovat celou řadu obráběcích a dalších strojů.[18]

Prostory takovýchto robotických buněk musí být kompletně zabezpečeny proti vstupu osob, které by stroje mohly zranit. To je provedeno kompletním oplocením a uzamčením všech vstupů po dobu provozu strojů. Další možností je vybavení nebezpečného prostoru sensory, které mohou detekovat člověka a okamžitě zpomalit a zastavit svůj pohyb. [18]

Flexibilita průmyslovým robotem obsluhovaných CNC strojů je podstatně vyšší než při použití jednoúčelových manipulátorů. Provádět změny programu robotu je možné relativně snadno a především díky off-line programování může být buňka během vytváření a testování změn v provozu až do poslední chvíle. V závislosti na změně geometrie vyráběných součástí může být nutné měnit koncové efekty robotu, tuto operaci je ale možné plně automatizovat.



Obr. 8) Příklad robotického pracoviště [19]

2.5.3 Obsluha průmyslovým robotem se strojovým viděním

Pro robot se strojovým viděním platí téměř vše, co bylo uvedeno o běžných průmyslových robotech, s tím, že funkcionality je rozšířena strojové vidění. Hlavním využitím této technologie je navádění na objekty, jejich rozmístění dopředu neznáme nebo ho není možné přesně

definovat. Tuto schopnost dělíme na dvě skupiny, a to na 2D navádění a 3D navádění. V prvním případě je robot schopen rozpoznat předmět a najet na pozici v jedné rovině. U 3D vidění je robot schopen rozpoznat polohu i orientaci dílu v prostoru a požadovaný předmět správně uchopit. [20]

Jedním ze způsobů pro generování 3D dat pro strojové vidění robotu je analýza, jak dopadá laserový paprsek na díl nebo na hromadu dílů. Laserový profil se měří pomocí senzoru 2D strojového vidění a při známé vzdálenosti mezi laserem a senzorem lze obdržet 3D informaci. Řídicí systém při známém předpokládaném tvaru skenovaných předmětů dokáže rozlišit polohy a orientace jednotlivých předmětů a navrhnout trajektorii pro jejich uchopení. Tento proces pracuje s mračky bodů a je výpočtově poměrně náročný. [20]



Obr. 9) PLB robotický bin picking systém firmy Sick [20]

2.5.4 CNC stroj s integrovaným robotickým ramenem

Jednou z možností, jak snadno automatizovat obsluhu procesu třískového obrábění bez nutnosti investovat do dalších zařízení robotů a práce systémových integrátorů je použití stroje s továrně zabudovaným robotickým ramenem. Tyto systémy jsou řízeny přímo řídicím systémem obráběcího stroje a mohou využívat jeho souřadnicové systémy. [21]

Výrobce takovýchto řešení je například společnost Okuma. Ta nabízí produkt Armroid. Jedná se o integrované robotické rameno určené především pro soustružnické a víceúčelové operace. Jeho hlavním úkolem je práce na zakládání a vykládání obrobku do stroje. Kromě toho ale dokáže provádět i množství dalších doplňkových operací během samotného obráběcího procesu. Koncový efektor robotického ramene může být vybaven tryskou pro chlazení a vyplachování třísek, který přivádí kapalinu přímo do místa řezu. Další doplňkovou funkcí ramene je podpírání obrobku při specifických operacích. [21]

Využití robotického ramene nevyžaduje složité programování, rameno je programováno pomocí počáteční a koncové souřadnice a řídicí systém sám vypočítává optimální bezkolizní dráhu. [21]



Obr. 10) Obráběcí stroj se zabudovaným robotickým ramenem [21]

2.5.5 Robot to go

Systém robot to go je produktem společnosti DMG MORI sloužící pro flexibilní a modulární automatizaci. Jedná se o modulární systém sestávající z průmyslového robotu, zásobníků pro polotovary a zásobníku na obrobené kusy. [22]

Pro programování těchto systémů není nutná znalost v oblasti programování průmyslových robotů, místo toho je zde použito intuitivní dialogem řízené programování, kde je program vytvářen pomocí předem vytvořených bloků metodou drag and drop. Robot používaný v těchto modulech je vybaven systémem bezpečného zastavení, kdy se při přiblížení osoby nejdříve zpomalí a při dalším přiblížování zcela zastaví. Takto vytvořené robotizované pracoviště tedy není nutné oplocovat ani jinak zabezpečovat před vstupem osob. [22]

Nevýhodou tohoto systému je především jeho omezení pouze na kompatibilní stroje od firmy DMG MORI. [22]

Obdobné řešení nabízí i společnost Halter, oproti produktu DMG MORI je ale zcela univerzální, a je tedy schopno pracovat s téměř jakýmkoli CNC strojem od různých výrobců.



Obr. 11) Řešení robot to go společnosti Halter [23] (vlevo)

Obr. 12) Řešení robot to go společnosti DMG MORI [24] (vpravo)

2.5.6 Obsluha kolaborativním robotem

Základním konceptem kolaborativních robotů je jejich schopnost pracovat vedle nebo přímo s lidmi a současně udržet maximální možnou úroveň bezpečnosti pro tyto lidi. Pro dosažení těchto vlastností musí být kolaborativní robot vybaven množstvím senzorů, které ho jsou schopné zastavit v případě kolize. Z toho vyplývá obrovská flexibilita těchto zařízení, neboť pro jejich zprovoznění není nutné vytvářet komplexně zabezpečenou robotizovanou výrobní buňku. Mohou tedy nahradit člověka provádějícího opakovanou činnost již během několika hodin. Maximální flexibilitě je přizpůsobený i způsob, jakým jsou tyto roboty programovány. [25]

V případě zprovoznění kolaborativního robota jako obsluhy CNC obráběcího stroje může zkušenému pracovníkovi tento proces trvat méně než 2 hodiny. Kolaborativní roboty je obecně možné programovat dvěma způsoby. Prvním z nich je klasický způsob, kdy je předem vytvořen standární robotický program a ten je na požadovaném stanovišti doladěn. Druhým způsobem je takzvaná funkce Direct teaching, při které je rameno robotu postupně ručně přesouváno do jednotlivých pozic, které bude robot později projíždět. Následně jsou do takto vytvořeného programu doplněna řídicí logika a robot je připraven k práci. Vzhledem k tomu, že kolaborativní roboty jsou při obsluze CNC strojů často použity na pozicích, které se nijak neupravují pro robotickou obsluhu, robot nemusí provádět téměř žádnou přímou komunikaci se strojem, který obsluhuje. Jeho činnost je pak přesnou kopií lidské činnosti, a to včetně otevírání ochranného krytu, stisknutí tlačítka start a vyčkávání kontrolky oznamující dokončení operace. Pro dosažení vyšší produktivity nebo spolehlivosti je ale možné přímou komunikaci pomocí některé průmyslové sběrnice použít. [26]

Příkladem použití kolaborativního robota je obsluha CNC soustruhu. Robot je na svou pozici přemístěn a ustaven, poté je pomocí funkce direct teaching vytvořen program

a pracoviště je připraveno k provozu. V tomto případě zde byl použit kobot Hanwha typ HRC-S užitným zatížením 5 kg a dosahem 930 mm. [26]



Obr. 13) Kolaborativní robot jako obsluha CNC stroje [26]

2.6 Komunikace mezi robotem a CNC strojem

Z hlediska komunikace mezi robotem a CNC obráběcím strojem existují čtyři základní možnosti.

První z těchto možností je ve své podstatě nulová komunikace. Tato možnost se nejčastěji uplatňuje při použití kolaborativních robotů, kdy robot není s obráběcím strojem nijak propojen, a tak získává informace stejně jako by je získával člověk. Při použití této metody celý proces plně spoléhá na robota, který vykonává všechny operace od sledování indikační kontrolky o dokončené operaci přes otevírání dveří a výměnu obrobků až po spouštění stroje tlačítkem pro obsluhu.

Druhou variantou je řízení procesu z řídicího systému robotu. Robot je s obráběcím strojem propojen pomocí průmyslových komunikačních sběrnic jako například PROFINET, EtherCAT nebo Ethernet IP. Vzhledem k tomu, že často není nutné, aby tato komunikace probíhala realtimeově, je možné použít například i komunikační protokol OPC UA. V tomto případě si může CNC stroj s robotem vyměňovat jakékoliv potřebné informace od stavu procesu přes informace o pozicích nástrojů (pokud to řídicí systém stroje umožňuje) až po signály zajišťující bezpečnost. V případě starších strojů je tuto komunikaci možné nahradit pomocí jednoduchých booleovských signálů, které mohou být řízeny NC programem CNC stroje. Tyto signály mohou být i zpětně čitelné obráběcím strojem, který může na základě jejich hodnot provádět operace jako spouštění části programu nebo otevírání automatických dveří.

Přesným opakem výše popsané metody je případ, kdy je proces řízen řídicím systémem obráběcího stroje. Vzhledem k tomu, že robot během svého provozu často dělá i další operace mimo CNC stroj, je tato metoda méně výhodná. Její největší využití je především u robotických ramen integrovaných přímo do obráběcích strojů. V tomto případě používá robot i CNC stroj v podstatě jeden společný řídicí systém.

Poslední možností je řízení procesu pomocí externího PLC. V tomto případě je samostatné PLC napojeno jak na řídicí systém robotu, tak na řízení obráběcího stroje a pouze zadává úkoly jednotlivým připojeným zařízením. Toto řešení se hodí především pro případy, kdy je v rámci jedné linky použito více robotů nebo více obráběcích strojů. Výhodou tohoto řešení je jeho relativně snadná rozšiřitelnost v případě, že je linka doplněna další stroje a zařízení, nevýhodou pak nejvyšší počáteční náklady z prezentovaných řešení.

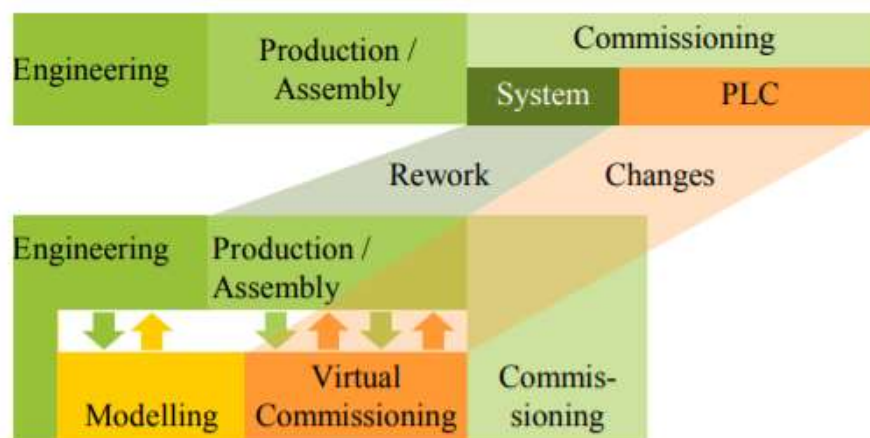
3 DIGITÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ

Digitální zprovoznění je technika využití virtuální simulační technologie k ověření funkce, konstrukce a programu na virtuálním modelu stroje před jeho nasazením do provozu na skutečném stroji. [27]

Uvádění strojů do provozu je nedílnou součástí výroby automatizovaných linek, která běžně nastává až v úplném závěru tohoto procesu. Tato část výroby obvykle trvá méně než 25 % celkového času, ale dochází při ní k nejčastějším zdržením. Dle odhadů dochází až k 70 % zdržení v důsledku problému s řídicími systémy. Cíle použití digitálního zprovoznění jsou tedy především umožnit vývoj a testování softwaru už během výroby strojních zařízení. Tím je zásadně sníženo množství problémů v softwaru během nasazení na reálných strojích. Při použití digitálního zprovoznění také dosáhneme celkově vyšší kvality vytvořeného řídicího softwaru, zkrátíme celkový čas potřebný pro uvedení strojů do provozu, snížíme riziko poškození strojů vinou chyby v řídicím systému a snížíme čas náklady na zaškolení obsluhy. [27]

Prvotním záměrem virtuální zprovozňování bylo řešení problémů při spojování výrobních systémů a integraci PLC. Pro automatizační průmysl přináší virtuální zprovoznění mnoho výhod, pro jeho správnou implementaci musí virtuální model být dostatečně přesnou reprezentací skutečného problému. To bylo především v minulosti velký problém, ale s rozvojem 3D CAD a CAM technologií společně se stále se rozšiřující podporou softwaru jak od vývojářů simulačních programů, tak od výrobců jednotlivých zařízení je tento problém stále snadněji řešitelný. [27]

První použití virtuálního zprovoznění se datuje do roku 1999, kdy mělo poprvé napomáhat při vývoji strojů. V té době ale hardwarové vybavení tehdejších počítačů mělo velké problémy, zvláště se simulacemi PLC v reálném čase. Také náklady na potřebný hardware byly často příliš vysoké, aby vyvážili výhody jejich použití. S velmi rychlým vývojem výkonu počítačů už v roce 2006 mohlo použití virtuální testování ušetřit až tři čtvrtiny času při uvádění strojů do provozu. [27]



Obr. 14) Schéma principu časové úspory při využití digitálního zprovoznění [28]

3.1 Software využívaný pro digitální zprovoznění

Software určený na virtuální zprovoznování strojů, výrobních linek, výrobních buněk nebo celých výrobních závodů nabízí hned několik prodejců. Příkladem těchto prodejců jsou společnosti jako Siemens PLM Software, Visual Components, Machineering, Dassault Systèmes, ISG-virtuos, Emulate3D nebo Xcelgo. [29]

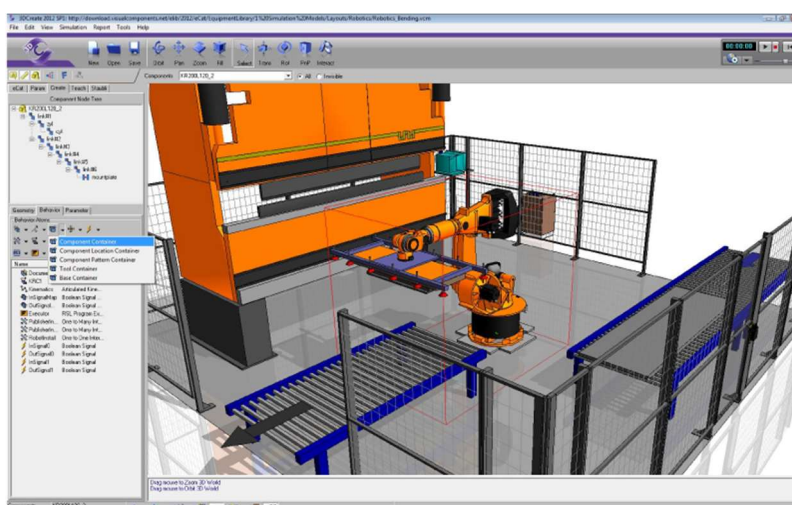
Ke zhodnocení vhodnosti softwaru pro použití při virtuálním zprovoznění je třeba kontrolovat parametry jako kvalitní, jasné a přehledné grafické prostředí a musí umožňovat simulace založené na reálných nebo simulovaných signálech. Další důležitou funkcí těchto softwarů jsou detekce kolíží a možnost provádět simulace diskrétních událostí. V neposlední řadě je také velmi důležité, aby software měl podporu značek PLC a HMI, byl schopen provádět simulace v napojení na další simulační nástroje a výstup z těchto simulací byl snadno přenositelný na skutečné zařízení. [29]

Visual Components

Visual Components je program stejnojmenné firmy určený pro 3D simulace robotických pracovišť, výrobních procesů a zařízení v moderním uživatelském prostředí. Tento program umožňuje vytvořit kompletní simulaci automatizované výroby a všech spolupracujících procesů. Pro chod programu a provádění simulace není třeba dalších softwarů, i když je tato funkce také částečně podporována. [30]

Software umožňuje tvorbu programů pro roboty, kontrolu kolíží a dosahů robotů a simulaci spolupráce několika robotů. Dále je zde možnost simulace dalších zařízení jako dopravníky, uchopovače a servozásobníky. Program také obsahuje elektronickou knihovnu komponent a robotů od všech velkých výrobců jako ABB, FANUC, Stäubli a dalších. Pro roboty nenacházející se v těchto knihovnách jsou zde doplňky pro tvorbu a vkládání vlastních robotů. V posledních verzích byly také přidány funkce pro simulace fyziky jako gravitace, odrazy v závislosti na materiálových vlastnostech. [30]

Tento software je placený a jeho funkce jsou rozděleny do tří kategorií na základě zaplacené varianty. Pro vzdělávací nekomerční účely jsou nabízeny zkušební verze tohoto softwaru. [30]



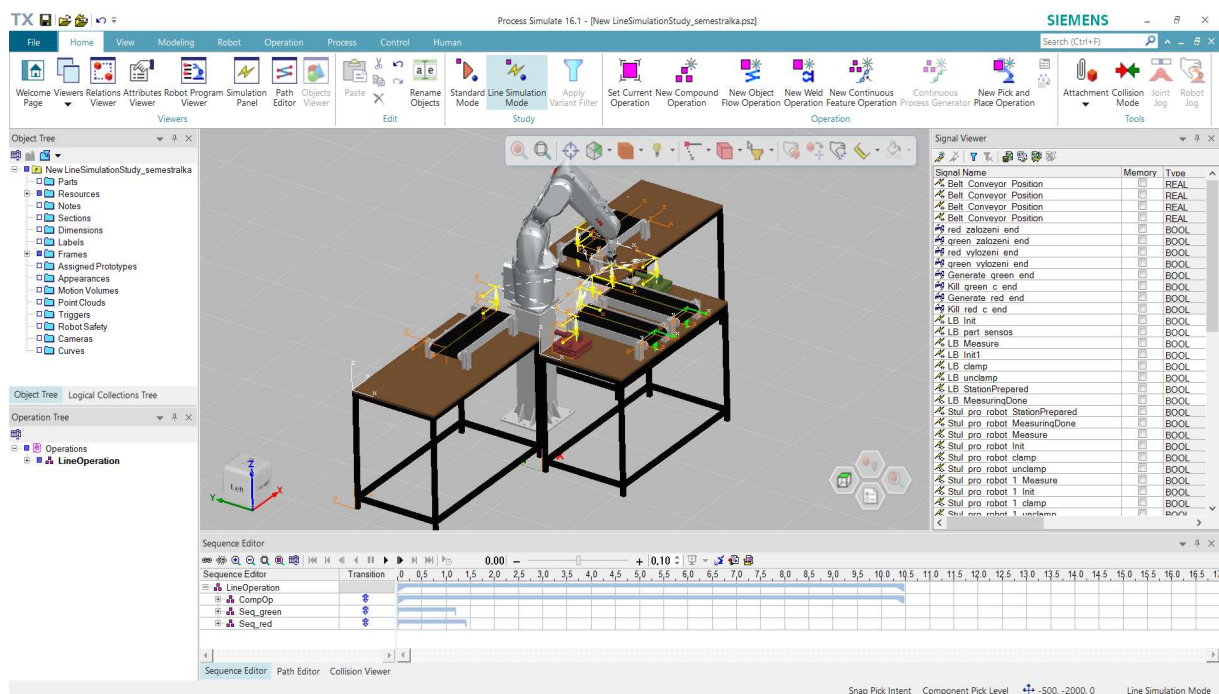
Obr. 15) Prostředí programu Visual Components [30]

Tecnomatix Process Simulate

Software Tecnomatix Process Simulate má podobné určení jako předem popsány Visual Components. V tomto případě program vyvíjí společnost Tecnomatix, která spadá pod Siemens.

Tecnomatix Process Simulate slouží k přesné simulaci výrobních a procesních operací. Nejčastěji je tento program využíván pro simulaci robotických operací jako svařování, lakování nebo pick and place operace a řešení kinematiky robotů. Dalšími funkcemi tohoto programu je detekce kolizí, řízení externích os robotů a simulaci dalších zařízení v rámci výrobní linky. V programu lze testovat i montážní postupy a díky tomu je ještě před začátkem výroby upravit a optimalizovat činnosti pracovníků, a i nastavení výrobních zařízení. Další oblastí simulace, která se v tomto softwaru dá testovat, je logistika a celkový materiálový tok. Pomocí simulace diskretních událostí je program schopen analyzovat a vizualizovat výrobní kapacitu a výkonnost, a tím pomoci identifikovat kritická místa výroby, pohyb materiálu a využití strojů. To vše je možné provádět u různých variant jednoho procesu současně. Poslední nedílnou součástí softwaru Tecnomatix Process Simulate je simulace lidí a jejich ergonomie. To umožňuje tvorbu ergonomických a bezpečných pracovišť a snížení nákladů na testování pracovišť se skutečnými lidmi.[10].

Tecnomatix Process Simulate umožňuje dva typy simulace. V prvním případě je výrobní proces simulován jako Ganttův diagram a jednotlivé operace jsou dle tohoto diagramu spuštěny. Tento způsob časově řízené simulace je zde nazván jako Standart mode. Druhou variantou je takzvaná událostně řízená simulace. Zde je každá operace spuštěna vnějšího signálu z řídicího PLC nebo na základě dokončení jiné operace v rámci simulace. V tomto softwaru je tento typ simulace nazván jako Line Simulation mode.

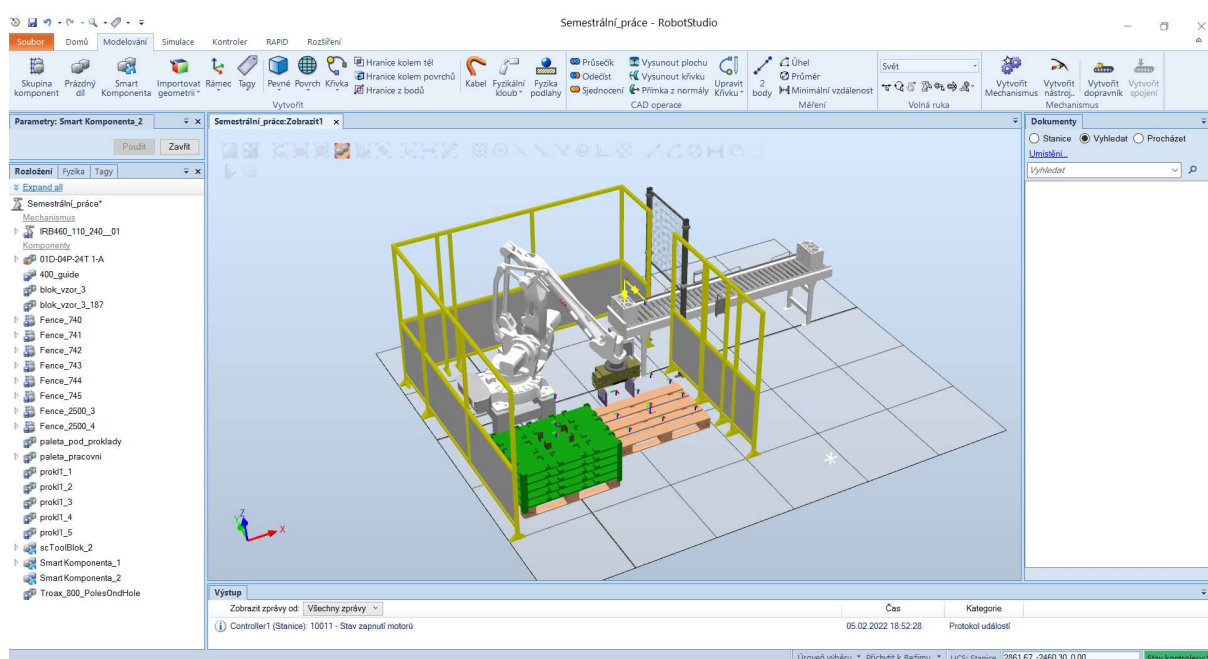


Obr. 16) Prostředí programu Tecnomatix Process Simulate

RobotStudio

Software RobotStudio® je nástroj na off-line programování robotů a robotických pracovišť a jejich simulování vyvíjený společností ABB. Na rozdíl od dvou výše popsaných programů umožňuje RobotStudio práci pouze s roboty ABB, a není tudíž tak univerzálním softwarem. RobotStudio je založeno na Virtuálním řídicím systému od ABB, který je přesná kopie reálného softwaru, který je nainstalovaný v samotných řídicích systémech skutečných robotů ve výrobě. Simulace v něm jsou proto velmi realistické a vždy s využitím reálných robotických programů a konfiguračních souborů, stejných jako jsou ty použité přímo ve výrobě.

Samozřejmostí je možnost simulace dalších zařízení v rámci robotizovaného pracoviště, jako jsou dopravníky, uchopovače, zásobníky a další zařízení. Software celkově nabízí moderní a přehledné uživatelské rozhraní, ale jak základní program, tak balíčky funkcí pro specifická použití jsou placené.



Obr. 17) Prostředí programu RobotStudio

3.2 Digitální dvojče

Digitální dvojče je virtuální model, který je navržen tak, že přesně reflektuje skutečný model. Na rozdíl od simulací sloužících pouze pro zprovoznění daného zařízení je digitální dvojče užitečné během celého životního cyklu stroje nebo zařízení. Reálný model je vybaven senzory pro snímání všech podstatných veličit modelovaného zařízení. Data z těchto senzorů jsou promítána zpět do virtuálního modelu, který pak může být použito pro detekci nebezpečných stavů, simulace možných změn v řízení nebo optimalizaci procesů ve stroji. [31]

Existuje několik typů digitálních dvojčat v závislosti na úrovni detailů, s jakou je vytvořené a řešené digitální dvojče. Tyto typy pak nejčastěji určují oblast použití těchto dvojčat. Prvním typem digitálních dvojčat jsou Component twins. Jedná se o základní prvek digitálních dvojčat, který je řešen na úrovni jednotlivých komponent. Další úroveň je Asset twins. V tomto případě jsou řešeny interakce mezi dvěma nebo více komponentami. O úroveň výše v měřítku digitálních dvojčat stojí System twins. Ty řeší, jak fungují jednotlivé Asset twins jako celky. Poslední a nejvyšší úroveň digitálních dvojčat jsou Process twins. Jedná se o řešení problémů

jednotlivých procesů na úrovni celého výrobního závodu. V tomto makro pohledu je pak vidět, jak se jednotlivé systémy ovlivňují mezi sebou a jak to ovlivňuje efektivitu celé výroby. [31]

Hlavní výhodou digitálních dvojčat jsou data, která poskytují výzkum a vývoj v oblasti navrhování zařízení a predikce jeho chování v budoucnu. Ve fázi, kdy je produkt již v provozu, může digitální dvojče díky monitorování a simulacím vést k dosažení lepších parametrů jako efektivita zařízení nebo kvalita výroby. V závěrečné životní fázi produktu může digitální pomoci rozhodnout kdy je třeba zařízení nebo jeho část vyřadit nebo opravit a tyto operace také odsimulovat. [31]

4 TVORBA MODELOVÉ ÚLOHY

Cílem modelové úlohy je ukázat možnosti obsluhy obráběcího stroje pomocí průmyslového robota. Tato činnost bude konkrétně demonstrována digitálním zprovozněním robotizovaného pracoviště. Na tomto pracovišti bude průmyslový robot obsluhovat dva CNC soustruhy, bude zajišťovat činnosti jako zakládání a vykládání dílců, manipulace s polotovary a paletizace hotových dílců. Pro navržení takového pracoviště a jeho následné virtuální zprovoznění bude třeba nadefinovat následující parametry.

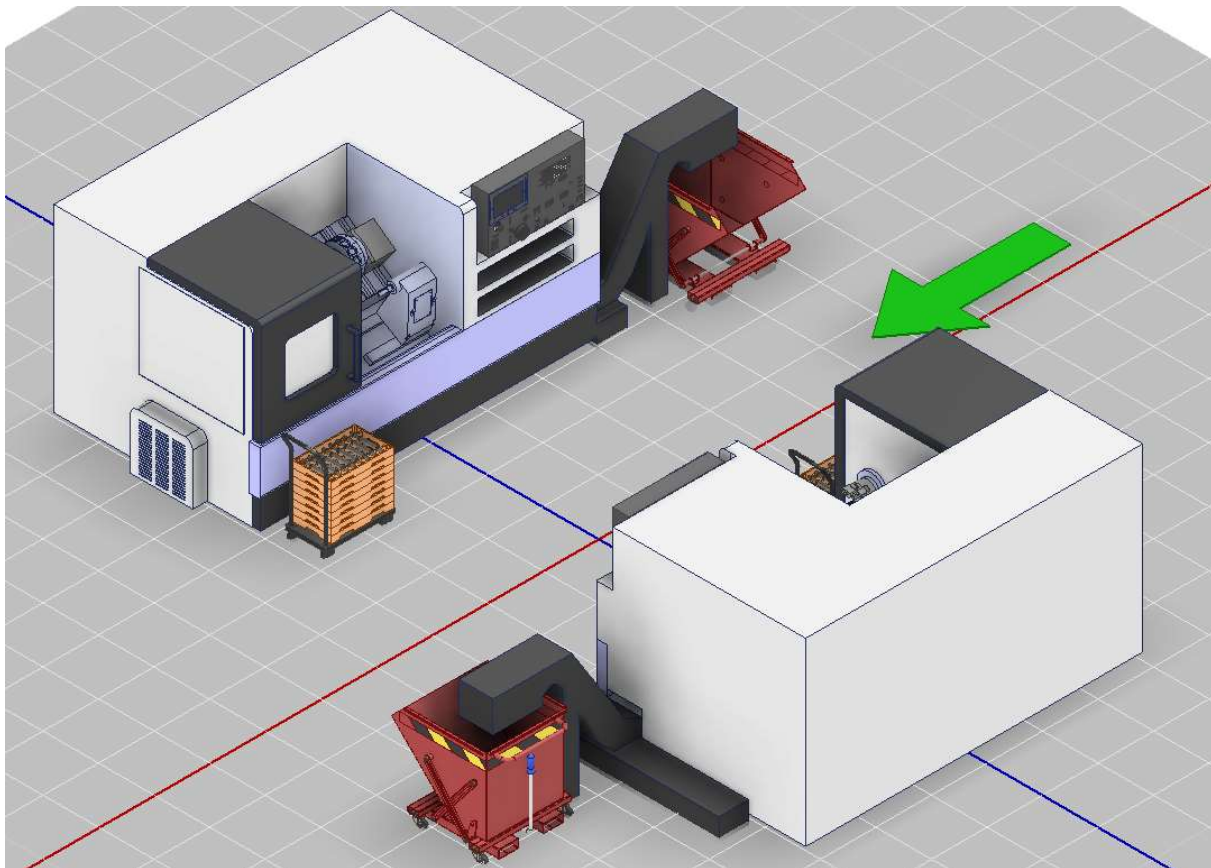
4.1 Parametry modelového pracoviště

4.1.1 Popis rozložení

V modelové úloze jsou použity dva stroje DOOSAN LYNX 300 M. Ty jsou umístěny zrcadlově proti sobě, jak je vidět na obrázku 18. Po robotizaci tohoto pracoviště by měl oba tyto stroje obsluhovat jeden průmyslový robot umístěny tak, aby bezpečně dosáhl všech potřebných pozic na strojích a zásobnících. Tento CNC soustruh využívá řídicí systém Sinumerik 825D a komunikace s robotem bude zajištěna pomocí sítě profinet přes řídicí PLC. Tyto dva stroje pracují paralelně na obrábění hřidelí popsanych v následující kapitole. Výroba probíhá v dávkách o velikostech v řádu několika stovek kusů. Stroje jsou obsluhovány lidskou obsluhou, přičemž jeden člověk zvládá obsluhovat oba stroje.

Cílem robotizace pracoviště je kompletní nahrazení lidské obsluhy tak, aby se jediné zásahy týkali doplňování polotovarů a vyvážení hotových dílů přibližně jednou až dvakrát za směnu. Robotické pracoviště musí být také postaveno tak, aby mohlo být provozováno jak v režimu, kdy jsou v nečinnosti robotu oba stroje obsluhovatelny člověkem, tak v režimu, kdy je jeden stroj obsluhován člověkem a druhý je přístupny člověku. Dalším požadavkem je zachování aktuálního rozložení strojů.

Soustruhy jsou umístěny proti sobě tak, že vzdálenost os jejich vřeten je 3,3 metru. Pokud bude tedy robot umístěn ideálně uprostřed jeho minimální dosah musí být 1,7 metru. Z hlediska přístupu je ulička mezi stroji přístupná z obou stran pracoviště, polotovary jsou ale zaváženy ze směru znázorněného na obrázku zelenou šipkou. Proto bude nutné robotizované pracoviště koncipovat tak, aby bylo možné polotovary zavážet z této strany.



Obr. 18) Rozložení pracoviště modelové úlohy

Parametry soustruhu DOOSAN LYNX 300 M:

Počet řízených os	3
Oběžný průměr nad ložem [mm]	651
Max. průměr soustružení [mm]	370
Max. délka soustružení [mm]	712
Max. průměr soustružené tyče [mm]	76
Průměr sklícidla [mm]	255
Otáčky – [ot./ min].	3500
Výkon motoru - kW (15 min/Cont.)	15 / 15 / 11
Počet nástrojů	12
Počet rotačních nástrojů	12
Otáčky rotačních nástrojů [ot/min]	5000
Váha stroje v [kg]	4050
Zdroj: Tecnotrade [32]	

4.1.2 Model obráběného dílu

Obráběným dílem v rámci modelové úlohy je ocelová hřídel vyráběná z polotovaru o délce 300 mm a průměru 30 mm. Hmotnost tohoto polotovaru odpovídá přibližně 1,7 kg. Robotické pracoviště ale může být v budoucnu použito i na jiné druhy obrobků, přičemž budeme uvažovat s maximální délkou polotovaru 400 mm a průměrem 50mm. Tomuto polotovaru by odpovídala hmotnost 6,16 kg, proto budou další klíčové komponenty pracoviště, jako je robot a jeho nástroj, dimenzovány na tuto hmotnost. Vzhledem k hmotnosti samotného gripperu, který bude schopen upínání jak polotovaru, tak hotového obrobku současně, bude požadovaná nosnost robotu minimálně 15 kg.



Obr. 19) Obráběný dílec

4.1.3 Činnost pracoviště

V automatickém režimu jsou hřídele obráběny na obou soustruzích paralelně. Polotovar je vložen do stroje a strojně upnut do vřetena. Následně je spuštěna první část obráběcího procesu, která trvá 3 minuty. Stejná činnost je zopakována na druhém stroji. Po obrobení první části hřídele je stroj zastaven, dojde k manuálnímu otočení hřídele a spuštění druhé části obrábění, trvající další 2 minuty. Nakonec je ze stroje obrobek vyjmut, je vložen nový polotovar, hotový obrobek je vložen na paletu a celý proces se opakuje.

Pro automatizaci pracoviště musí být celý tento proces plně automatizován s tím, že jedinou činností obsluhy bude zavážení polotvarů, odvážení hotových obrobků a vyvážení špon.

5 SYSTÉMOVÝ ROZBOR

5.1 Výběr robotu

Pro výběr robotu byly v první řadě vybrány relevantní parametry vycházející ze zadání modelové úlohy. V první byl určen přibližný takt, ve kterém bude robot pracovat. Obrobení jednoho kusu trvá celkem 5 minut. Při paralelní činnosti obou soustruhů tedy bude vyráběno maximálně 24 kusů za hodinu. Robot ale musí nejen zakládat díly, ale v polovině jejich obráběcího procesu musí díly otáčet. Pokud tedy bude uvažováno s dvojitým gripem, který zvládne během jedné manipulace díl vyjmout i vložit nový, bude robot provádět celkem 48 manipulací za hodinu.

Vzhledem k počtu manipulací za hodinu a také nutnosti zachování velké flexibility pracoviště bude výběr robotu zaměřen na univerzální kloubové průmyslové roboty.

$$(1) \text{ Maximální takt} = \frac{\text{počet strojů}}{t_{\text{obráběcí}}} = \frac{2}{\frac{5}{60} \text{ hod}} = 24 \text{ ks/hod}$$

Dalším parametrem je maximální nosnost robotu. Ta vychází z maximální velikosti polotovaru, se kterým robot bude teoreticky manipulovat. Dle zadání jsou tyto rozměry průměr 50 mm a délka 450 mm. Tomu odpovídá hmotnost 6,93 kg. Pro použití dvojitého gripperu a ponechání rezervy na hmotnost samotného gripperu bude minimální požadovaná nosnost robotu 16 kg.

$$(2) m_{\text{max}} = \rho * V = \rho * \frac{\pi * d^2}{4} * v = 7850 * \frac{\pi * 0,05^2}{4} * 0,4 = 6,16 \text{ kg}$$

Posledním parametrem nutným pro základní výběr robotu je dosah. Jeho minimum přímo vychází z rozložení pracoviště a konkrétně vychází 1,7 metru. Pro zachování rezervy bude minimální požadovaný dosah robotu uvažován 1,9 metru.

Tyto parametry byly zadány do nástroje od společnosti ABB pro volbu vhodného robotu. Z tohoto vyhledávání vyšly 2 potenciální varianty a to IRB 4400 a IRB 4600. Robot IRB 4400 je nabízen ve dvou variantách, přičemž jedna z nich dosahuje nosnosti 60 kg, a byla by tedy zbytečně naddimenzovaná pro dané použití, druhá varianta nabízí nosnost pouze 10 kg, což bylo vyhodnoceno jako nedostatečné. Robot IRB 4600 je nabízen ve čtyřech variantách, přičemž jako nejvhodnější pro použití v této modelové úloze odpovídá varianta s nosností 20 kg a s dosahem 2,5m. Tento dosah poskytne značnou flexibilitu v otázkách umístění jednotlivých pozic, kterých bude robot muset dosáhnout. Pro další postup je tedy zvolen robot **IRB 4600-20/2.50**.

Select your robot by...

Applications	Payload	Reach
Any	16 - 60 (kg)	1.8 - 2.55 (m)

Products

Name	Payload	Reach
IRB 4400	10-60 kg	1.95-2.55 m
IRB 4600	20-60 kg	2.05-2.55 m

Obr. 20) Rozhraní pro volbu robotu ABB

5.2 Návrh umístění průmyslového robotu

Pro další postup je třeba zvolit vhodné umístění robotu v rámci pracoviště. Byly tedy vypracovány čtyři varianty možného umístění. Tyto varianty jsou podrobně popsány v následující kapitole. Pro tyto varianty byly následně vybrány hodnotící kritéria, kterým byla metodou párového srovnání přiřazeny váhy. Poté byly jednotlivé varianty obodovány ve všech hodnocených kritériích. Nakonec byla provedena multikriteriální analýza metodou pattern, ze které vyšla nejvhodnější varianta.

5.2.1 Volba hodnotících kritérií

Jednoduchost řešení – V tomto kritériu je řešeno, jak komplikované je dané řešení jako celek, zda je nutný nákup nebo konstrukce dalších dílů a zařízení nebo zda jsou zde nějaké speciální požadavky na halu, ve které robot bude umístěn nebo na samotného robotu. Nejjednodušší řešení dostane nejvyšší bodové ohodnocení.

Dosah – V kritériu dosah je řešeno, jak dané umístění ovlivní možný dosah robotu při porovnání s ostatními variantami.

Složitost údržby – Hodnocení, jak dané umístění robotu komplikuje údržbu.

Složitost montáže – Hodnocení, jak dané umístění robotu komplikuje samotnou montáž robotu na dané umístění.

Prostor, který robot zabírá při práci v plně automatickém režimu – Toto kritérium řeší, jak robot při své činnosti v plně automatickém provozu omezuje prostor. Toto kritérium je ze všech kritérií nejméně podstatné, protože vzhledem k nutnosti zabezpečení pracoviště ochranným plotem není tento prostor příliš relevantní.

Prostor, který robot zabírá při obsluze pouze jednoho stroje – Obdobně jako u předchozího kritéria je toto kritérium méně významné. Tento parametr ovlivňuje pouze jaký prostor zůstane pro lidskou obsluhu při obsluze pouze jednoho stroje a určuje tedy pozici plotu rozdělujícího pracoviště při práci v tomto režimu.

Prostor, který zabírá robot při provozu stanice v manuálním režimu – Při manuálním režimu pracoviště je důležité kolik prostoru zbývá kolem robotu pro člověka, který se kolem něj pohybuje. Proto je tento parametr relativně důležitý.

5.2.2 Stanovení vah jednotlivým kritériím

K určení vah u zvolených kritérií byla použita metoda párového srovnání. Při této metodě je každé kritérium porovnáno se všemi ostatními kritérii a z této dvojice je vždy vybráno to důležitější. To je vždy zapsáno do tabulky 1, ve které jsou pak jednotlivá vítězná kritéria spočítána a dle těchto počtů je sestaveno pořadí.

Tab 1) Určení předběžného pořadí hodnotících kritérií

Určení vah kritérií metodou párového srovnání									
Kritérium	Jednoduchost	Dosah	Složitost údržby	Složitost montáže	Prostor v auto. r.	Prostor v 1+1 r.	Prostor v man. r.	Suma	Pořadí
Jednoduchost	Jednoduchost	Dosah	Jednoduchost	Jednoduchost	Jednoduchost	Jednoduchost	Prostor v man. r.	5	3
Dosah		Dosah	Dosah	Dosah	Dosah	Dosah	Prostor v man. r.	6	2
Složitost údržby			Složitost údržby	Složitost údržby	Složitost údržby	Složitost údržby	Prostor v man. r.	4	4
Složitost montáže				Složitost montáže	Složitost montáže	Složitost montáže	Prostor v man. r.	3	5
Prostor v auto. r.					Prostor v auto. r.	Prostor v 1+1 r.	Prostor v man. r.	1	7
Prostor v 1+1 r.						Prostor v 1+1 r.	Prostor v man. r.	2	6
Prostor v man. r.							Prostor v man. r.	7	1

Kritéria jsou následně zapsána do další tabulky, a to v pořadí, které vzniklo v předchozím výpočtu. Každá jednotlivá dvojice kritérií je pak posuzovaná z hlediska toho, jak moc spolu vzájemně souvisejí. Jeden bod dostanou kritéria, která jsou na sobě velmi závislá, dva body pak ta, která spolu jen částečně souvisí, a tři body ta, která jsou zcela nezávislá. Body v každém řádku jsou následně sečteny. Tyto součty jsou pak poděleny celkovým součtem všech kritérií, čímž je získána výsledná váha. Celý tento postup je znázorněn v tabulce 2, ve které jsou také vidět výsledné váhy jednotlivých kritérií.

Tab 2) Stanovení výsledné váhy jednotlivých kritérií

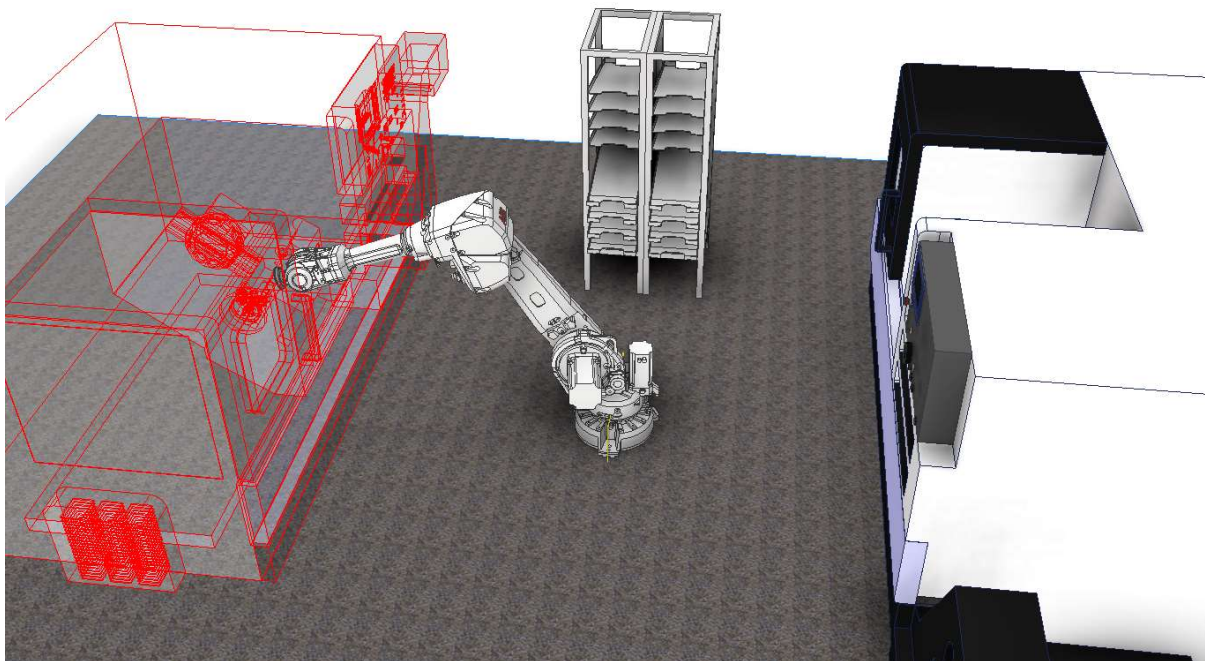
Kritérium	Prostor v man. r.	Dosah	Jednoduchost	Složitost údržby	Složitost montáže	Prostor v 1+1 r.	Prostor v auto. r.	Suma	Váha
Prostor v man. r.	1	3	3	3	3	1	1	15	0,250
Dosah		1	3	3	3	3	3	16	0,267
Jednoduchost			1	2	2	3	3	11	0,183
Složitost údržby				1	1	3	3	8	0,133
Složitost montáže					1	3	3	7	0,117
Prostor v 1+1 r.						1	1	2	0,033
Prostor v auto. r.							1	1	0,017
							suma	60	1

5.3 Popis jednotlivých variant

5.3.1 Robot umístěný na podlaze

Umístění a ukotvení průmyslového robota přímo k podlaze haly je nejjednodušším možným řešením. Robot je schopen dosáhnout na všechny požadované pozice, ale jeho dosah je mírně snížen oproti variantě, kdy je umístěn na menším podstavci.

Tato varianta umístění umožňuje jednoduchou montáž i snadný přístup k robotu při údržbě. V případě nečinnosti robotu robot částečně omezuje prostor pro manuální obsluhu soustruhů. V režimu automatické obsluhy pouze jednoho stroje je bezpečný prostor pro obsluhu druhého stroje také mírně omezen.

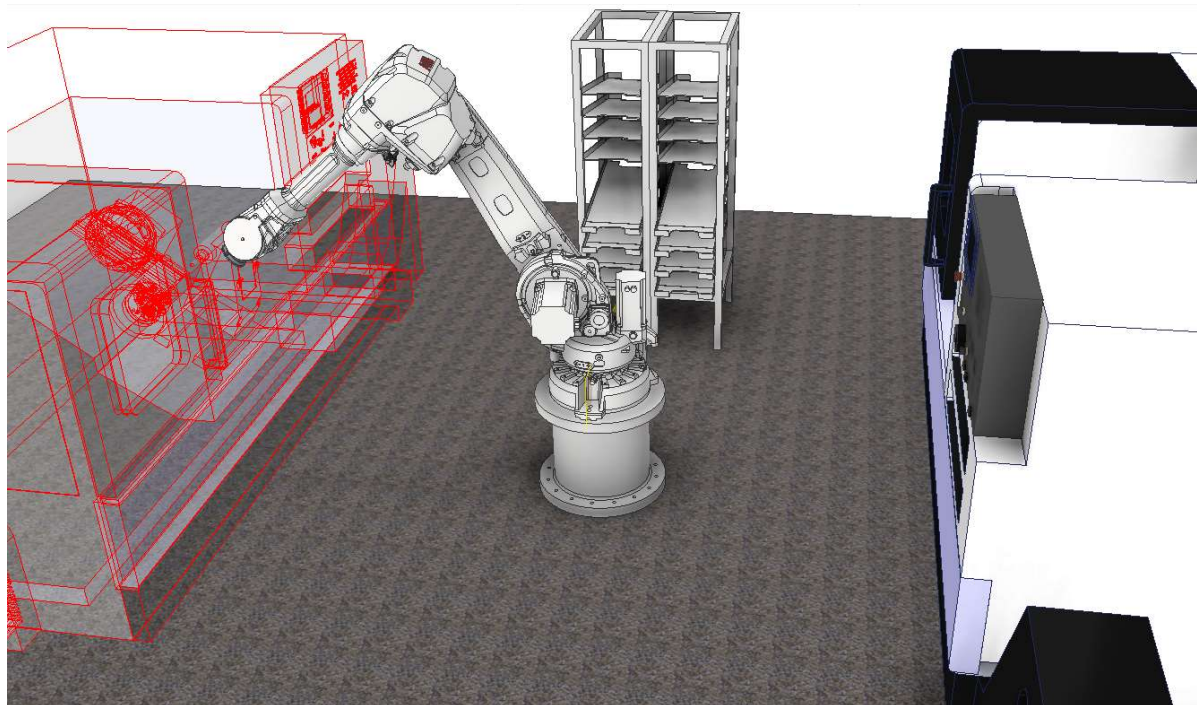


Obr. 21) Umístění robotu varianta 1

5.3.2 Robot umístěný na nízkém podstavci

V případě umístění a ukotvení průmyslového robota na podstavec o takové výšce, aby se jeho oblast jeho maximálního dosahu nacházela ve výšce vřeten soustruhů, je maximalizován možný dosah. Robot je tak schopen dosáhnout všech požadovaných pozic s větším odstupem od singulárních poloh jednotlivých os. Kvůli nutnosti nákupu samotného podstavce a dalšího spojovacího materiálu je třeba tuto variantu považovat za mírně složitější než varianta umístění na podlaze.

I tato varianta umístění umožňuje jednoduchou montáž a téměř stejně snadný přístup k robotu při údržbě jako varianta umístění na podlaze. V případě nečinnosti robotu robot stejně jako v předchozí variantě částečně omezuje prostor pro manuální obsluhu soustruhů a v režimu automatické obsluhy pouze jednoho stroje je bezpečný prostor pro obsluhu také druhého stroje také omezen.



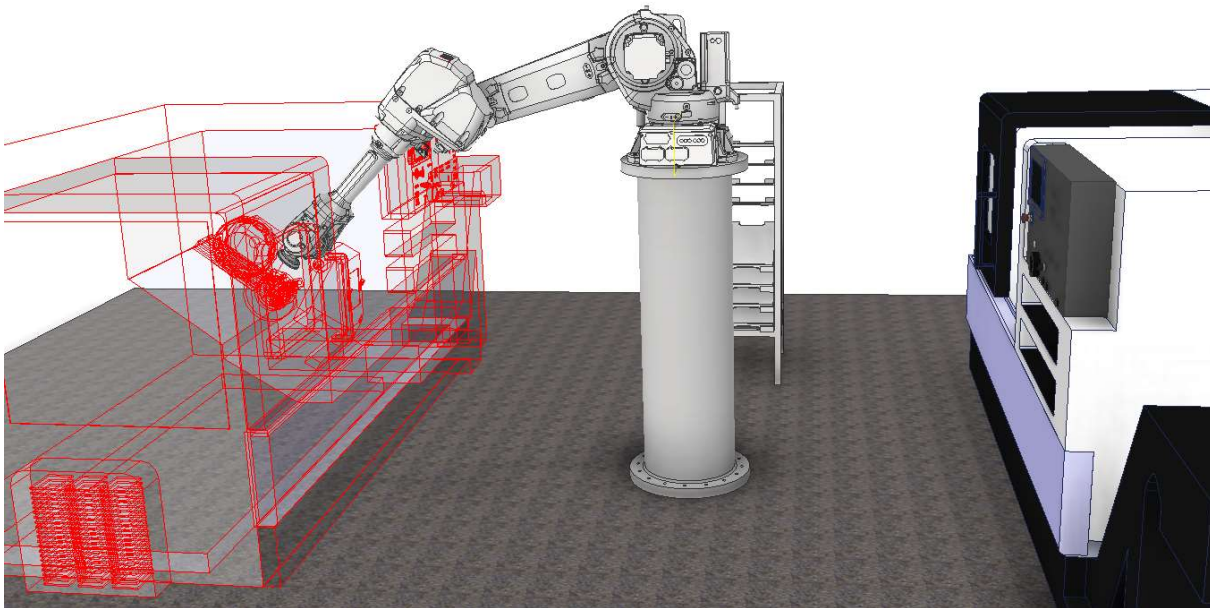
Obr. 22) Umístění robotu varianta 2

5.3.3 Robot umístěný na vysokém podstavci

Výhodou tohoto řešení je, že v případě nečinnosti robotu robot zabírá menší prostor. Při provozu v režimu automatické obsluhy pouze jednoho stroje tato varianta umožňuje jednodušší zajištění bezpečnosti pro manuální obsluhu druhého stroje a méně omezuje její pracovní prostor.

Varianta s umístěním robotu na vysoký podstavec představuje oproti dvěma předchozím variantám složitější řešení. Dosah robotu je také omezen tím, že jeho pracovní prostor je umístěn nad osami vřeten soustruhů. I v této variantě je ale schopen dosáhnout všech požadovaných poloh.

V tomto případě jsou montáž i údržbové práce komplikovanější. Robot je umístěn 1,8 metru na rovinou podlahy a pro jakoukoliv práci v této výšce bude nutné použití zdvihacích zařízení a zabezpečení pracovníků.



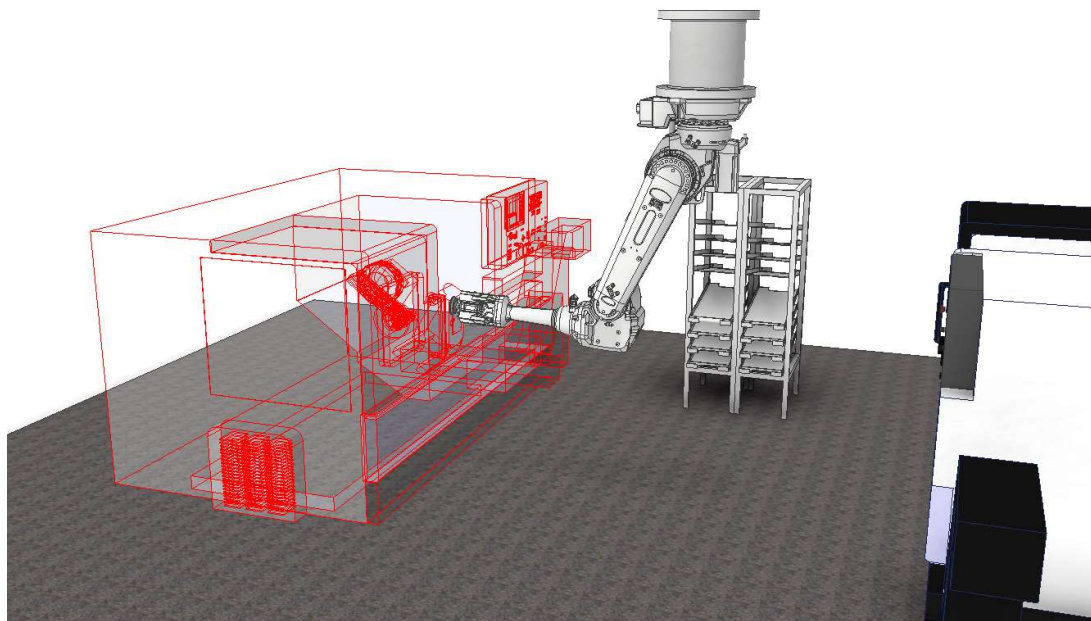
Obr. 23) Umístění robotu varianta 3

5.3.4 Robot zavěšený ze stropu

U varianty se zavěšením robotu ze stropu je hlavní výhodou, že robot v případě nečinnosti při manuální obsluze soustruhu nezabírá téměř žádný prostor, a i v případě automatické obsluhy pouze jednoho stroje zbývá nejvíce prostoru pro obsluhu druhého stroje. To umožňuje i jednodušší umístění bezpečnostních prvků a oplocení vzhledem k menším rozměrům nebezpečného prostoru.

Zavěšením robotu ze stropu je ale nejkomplikovanějším řešením. Hala, kde je pracoviště umístěno, musí takovouto montáž umožňovat nebo je třeba nad pracovištěm vytvořit velmi masivní konstrukci, na kterou by robot mohl být umístěn. Robot také tuto možnost uložení musí umožňovat, čímž je omezen i výběr použitelných robotů. Dosah robotu je stejně jako u varianty s vysokým podstavcem omezen, ale stále je schopen dosáhnout všech požadovaných poloh.

Montáž robotu do této polohy je z popsanych variant nejsložitější, a i potenciální údržba takto umístěného robotu je komplikovaná.



Obr. 24) Umístění robotu varianta 4

5.4 Hodnocení jednotlivých variant

Pro volbu výsledné varianty byla použita metoda pattern. Každá varianta byla ve všech hodnotících kritériích hodnocena body 1 – 5, přičemž 1 je nejnižší hodnocení a 5 je nejvyšší hodnocení. Toto hodnocení je následně poděleno maximálním hodnocením uděleným pro dané kritérium (na daném řádku v tabulce 3). Toto hodnocení je pak vynásobeno vahou daného kritéria. Poté jsou jednotlivá hodnocení sečtena pro jednotlivé varianty a na základě těchto součtů je vytvořeno pořadí variant. V tomto případě jako nejlépe hodnocená vyšla varianta umístění robota na malý podstavec, následovaná variantou umístění na zemi. Jako vůbec nejhorší se jeví varianta umístění robota na vysoký sloup. Na základě této analýzy bude tedy pro další postup zvolena varianta s umístěním robota na malý podstavec, která bude dále rozpracována.

Tab 3) Hodnocení metodou pattern

Kritérium	Váha	Varianta 1		Varianta 2		Varianta 3		Varianta 4	
Prostor v man. r.	0,250	1 0,2	0,05	1 0,2	0,05	2 0,4	0,10	5 1	0,25
Dosah	0,267	3 0,75	0,20	4 1	0,27	2 0,5	0,13	2 0,5	0,13
Jednoduchost	0,183	5 1	0,18	4 0,8	0,15	3 0,6	0,11	2 0,4	0,07
Složítost údržby	0,133	5 1	0,13	5 1	0,13	2 0,4	0,05	2 0,4	0,05
Složítost montáže	0,117	5 1	0,12	4 0,8	0,09	3 0,6	0,07	2 0,4	0,05
Prostor v 1+1 r.	0,033	1 0,2	0,01	1 0,2	0,01	2 0,4	0,01	5 1	0,03
Prostor v auto. r.	0,017	1 0,2	0,00	1 0,2	0,00	2 0,4	0,01	5 1	0,02
Celkem	1,0	0,69		0,70		0,49		0,61	
Relativní technická úroveň		142,47%		143,84%		100,00%		124,66%	
Pořadí z technického hlediska		2.		1.		4.		3.	

6 DIGITÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ MODELOVÉ ÚLOHY

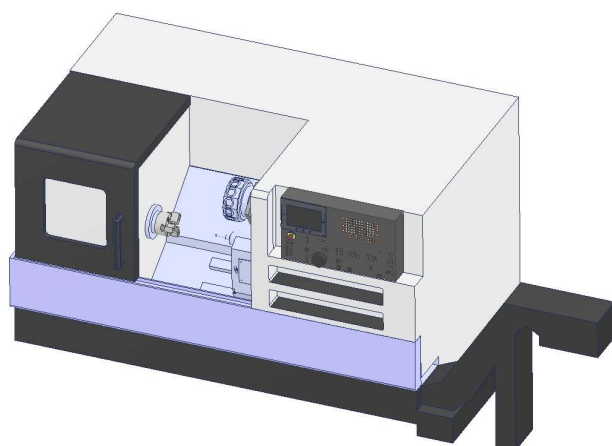
V této kapitole budou podrobně rozebrány jednotlivé kroky digitální zprovoznění modelové úlohy. V první části bude vytvořen 3D model celého pracoviště, ten bude doplněn o všechny potřebné prvky a zařízení nutné robotizaci tohoto pracoviště. 3D model bude vytvořen v programu Autodesk Inventor 2020. V následujícím kroku bude tento model přenesen do programu RobotStudio 2021. V tomto programu bude vyřešeno chování jednotlivých komponent jako upínání sklíčidlem, otevírání dveří soustruhů atd. Veškeré prvky modelu budou také doplněny o simulované signály, kterými budou moci komunikovat s virtuálním PLC. V programu RobotStudio bude také do pracoviště vložen robot včetně jeho virtuálního kontroleru. Budou vytvořeny dráhy pohybu robota, ty poskládány do jednotlivých programů operací, které bude robot vykonávat. Ty budou spouštěny z řídicího PLC. V poslední části bude vytvořen program pro řídicí PLC a ve vývojovém prostředí TwinCAT od společnosti Beckhoff. Pro řídicí program budou také vytvořeny ovládací a servisní obrazovky pro zobrazení na HMI.

6.1 Tvorba 3D modelů pracoviště

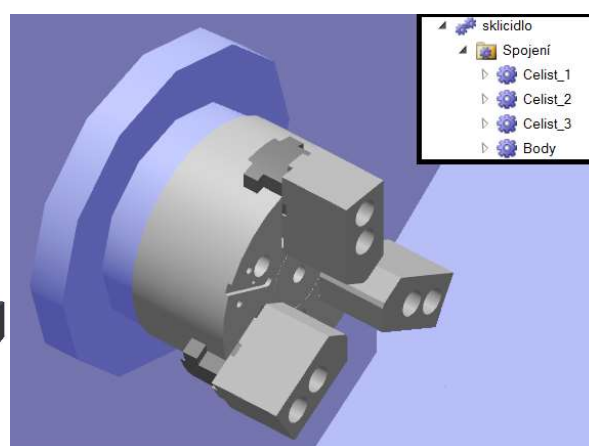
6.1.1 Soustruhy

Základem tvorby soustruhu byl model ve formátu STEP získaný z webu pro sdílení 3D modelů GrabCAD. Tento model poskytoval veškeré vnější i vnitřní rozměry relevantní pro digitální zprovoznění. Model byl ale poskytnut bez sklíčidla. Bylo tedy zvoleno sklíčidlo od společnosti Schunk konkrétně ROTA NCO 165 Z140-KV. To bylo doplněno o vhodné čelisti také od společnosti Schunk a to SRK 160. 3D modely byly staženy z webu společnosti Schunk.

Z těchto součástí byl poskládán 3D model v programu Autodesk Inventor 2020. Takto vytvořený model byl následně vyexportován ve formátu SAT, který je vhodný pro následný import tohoto modelu do programu RobotStudio.



Obr. 25) Model soustruhu v programu RobotStudio (nalevo)

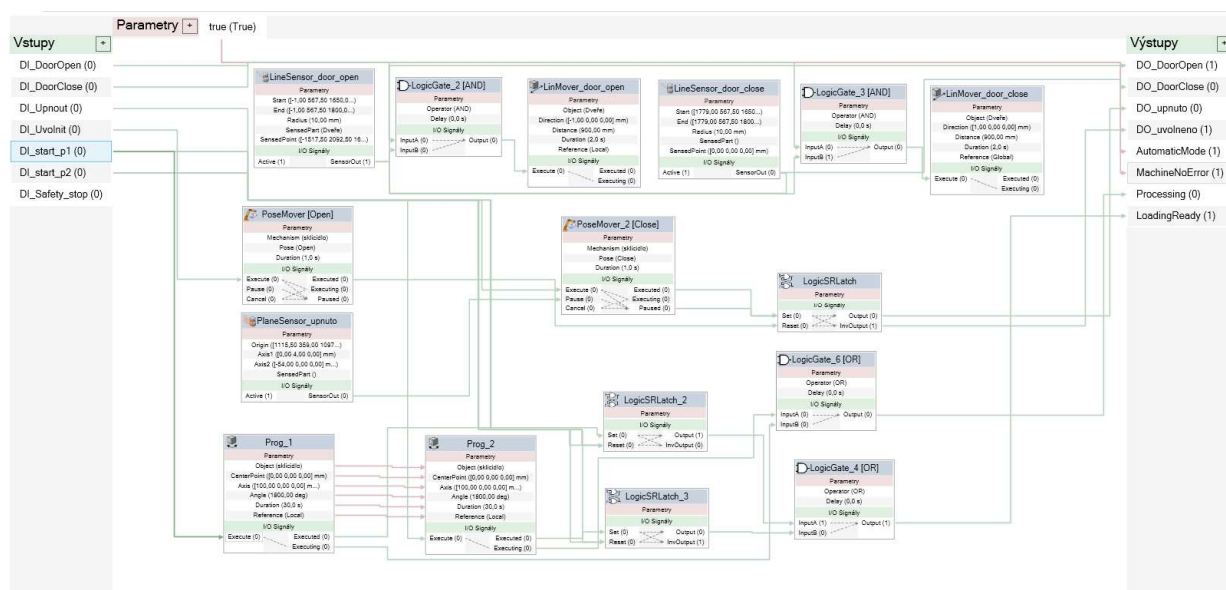


Obr. 26) Mechanismus sklíčidla v RobotStudiu (napravo)

V RobotStudiu byl model rozdělen na skupiny těles, které se vůči sobě mohou pohybovat. Konkrétně se jednalo o tělo samotného soustruhu, posuvné dveře uzavírající

pracovní prostor, těleso sklíčidla a jeho jednotlivé čelisti. Z těles sklíčidla byl vytvořen mechanismus, kde jednotlivé čelisti byly připojeny posuvnou vazbou s omezením krajních poloh s tím, že vysunutí jednotlivých čelisti bude stejné pro všechny tři čelisti. V polohách mechanismu byly vytvořeny dvě pozice, a to plně otevřené sklíčidlo a sklíčidlo v upnutém stavu.

Následně byla vytvořena smart komponenta, do které bylo vloženo tělo soustruhu, dveře i mechanismus sklíčidla. Dále byla smart komponenta doplněna o sensory otevření dveří, uzavření dveří, upnutí součásti a dále pak prvky typu PoseMover pro ovládání čelistí, LinMover pro posuvný pohyb dveří a Rotator pro simulaci otáčení vřetene. Ve smart komponentě byly vytvořeny všechny potřebné signály a logika celé komponenty byla pospojována dle obrázku 27. Zde je také vidět jeden z problémů RobotStudia, kdy se vykreslování čar propojení při větším množství prvků smart komponenty stává velmi nepřehledným.



Obr. 27) Logika smart komponenty soustruhu

6.1.2 Zásobníky polotovárů a obrobků

Dalším prvkem robotizovaného pracoviště je zásobník polotovárů, který zároveň slouží i jako zásobník hotových dílů. Vzhledem k tomu, že obrábění jednoho dílu trvá celkem 5 minut (300s) a minimální čas odhadnutý na veškeré manipulace je 20 vteřin, bude na jednom stroji vyráběno 11,25 kusů za hodinu (N_{hod}), a tedy 90 ks za osmihodinovou směnu ($N_{\text{směna}}$). Aby byl splněn požadavek na doplňování jednou za směnu musí tedy být kapacita zásobníku minimálně 90 ks.

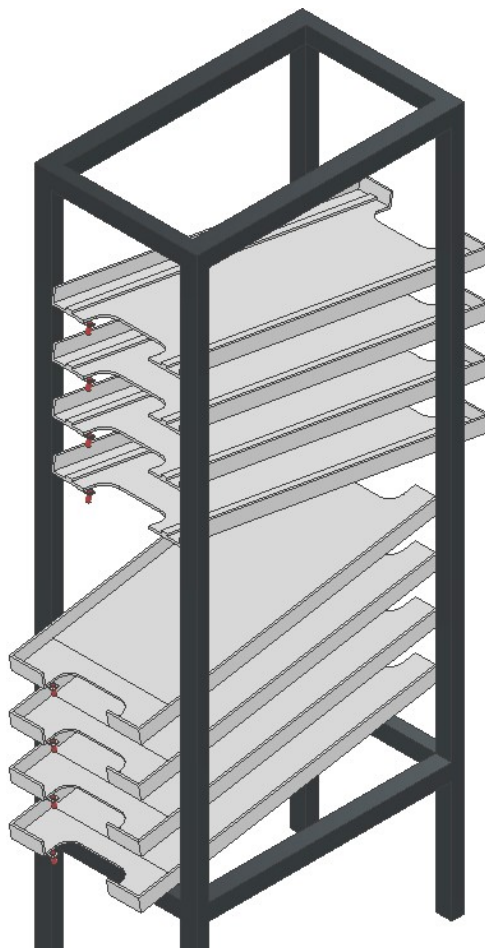
$$(3) N_{\text{hod}} = \frac{1}{t_{\text{obráběcí}} + t_{\text{man}}} = \frac{1}{\frac{300}{3600} + \frac{20}{3600}} = 11,25 \text{ ks/hod}$$

$$(4) N_{\text{směna}} = N_{\text{hod}} * \text{délka směny} = 11,25 * 8 = 90 \text{ ks/směna}$$

Dle toho požadavku byl vytvořen zjednodušený model takového zásobníku. Pro zachování maximální jednoduchosti pracoviště byl navržen gravitační dopravník. Ten se skládá z celkem 4 ramp pro skluz polotovárů a 4 ramp pro skluz obrobků. Rampy jsou tvořeny plechy umístěnými do rámu seskládaného ze stavebnicových profilů a každá umožňuje uskladnit 23 polotovárů nebo obrobků.

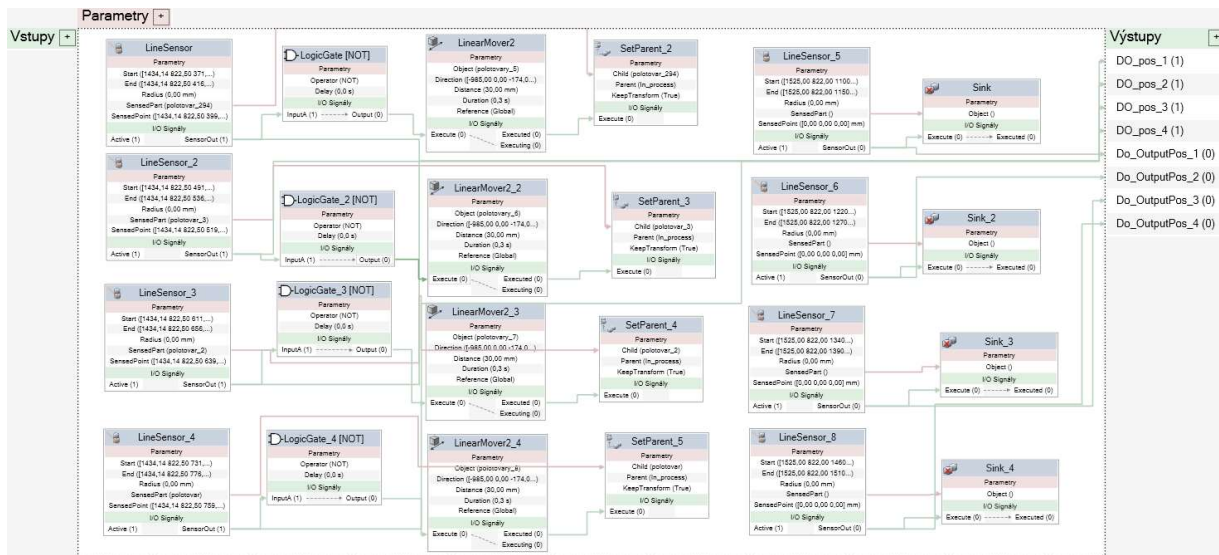
Na konci každé vstupní rampy je umístěn sensor přítomnosti polotovaru, dle kterého může rozhodovat řídicí systém, jestli z dané pozice má robot odebírat. Sensor přítomnosti

obrobku je umístěn také na začátku každé výstupní rampy. Dle tohoto senzoru řídicí systém pozná, že daná rampa je kompletně zaplněna a je třeba využít jinou případně vyzvat obsluhu k odebrání hotových dílů. V každé rampě byl na obou stranách vytvořen výřez pro snadné odebrání jak robotem z jedné strany, tak člověkem ze strany druhé. Na obrázku 28 je vidět kompletní model zásobníku, kde senzory jsou zvýrazněny červenou barvou.



Obr. 28) Model zásobníku polotovarů a obrobků

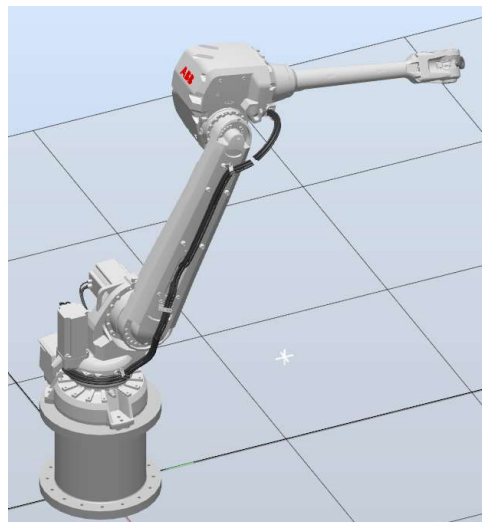
V RobotStudiu byly veškeré senzory simulovány pomocí prvku LineSensor. Byla také dodělána logika posouvání polotovarů po jednotlivých rampách. Polotovary jsou v rámci simulace vloženy jako skupiny komponent, vždy po odebrání polotovaru je skupina posunuta ve směru rampy a díl, který je na řadě pro odebrání, je ze skupiny vyřazen, aby se po odebrání robotem nadále nepohyboval se skupinou. Díly, které jsou odloženy na výstupní rampy, jsou ze simulace automaticky odstraňovány pro zachování hladšího běhu simulace snížením celkového počtu dílců. Logika této operace je vidět na obrázku 29.



Obr. 29) Logika smart komponenty zásobníku polotovarů

6.1.3 Robot

V kapitole 5 byl zvolen robot IRB 4600 – 20. Vzhledem k tomu, že byl použit robot od společnosti ABB, je tento robot již součástí knihoven RobotStudia. Dle dříve zvolené varianty byl vytvořen model podstavce pro robot, na který byl robot umístěn. V rámci modelu celé stanice byla tato sestava robotu s podstavcem umístěna do středu souřadnicového systému celého projektu.



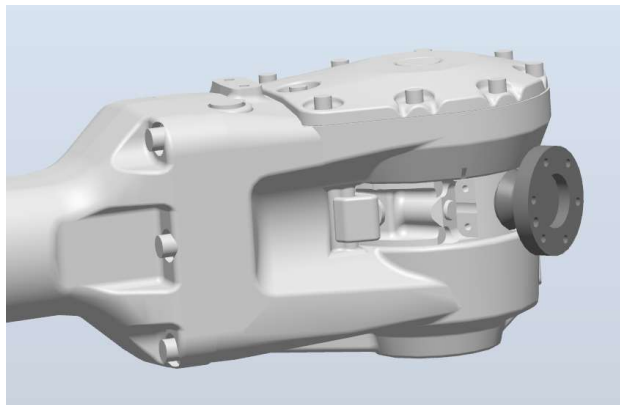
Obr. 30) 3D model robotu v RobotStudiu

6.1.4 Nástroj robota

Na modelu robotu získaného z knihoven RobotStudia byly odměřeny parametry příruby (obrázek 31) pro připojení nástroje, a to průměr roztečné kružnice 50 mm, průměr otvorů pro šrouby 5 mm a průměr středícího otvoru 31,5 mm. Dle těchto zjištěných parametrů byl v programu Autodesk Inventor vytvořen 3D model nástroje pro zadané polotovary.

Pro možnost uchopování dvou polotovarů současně bylo vybráno paralelní uchopovací chapadlo od společnosti Schunk - MTB DG-JGP-P 80-1 (obrázek 32). Toto chapadlo je schopné

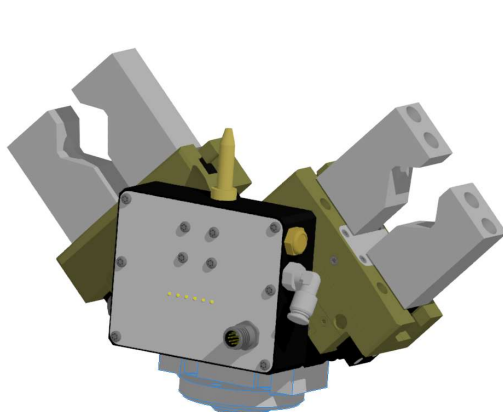
přijímat přímo logické instrukce a dle nich vykonávat otevírání a zavírání jednotlivých pozic. Toto chapadlo bylo dále vybaveno čelistmi také od společnosti Schunk a dílcem umožňující napojení na zvolený typ robotu. Na obrázku 33 je vidět kompletní sestava nástroje robotu s čelistmi a napojovacím dílem.



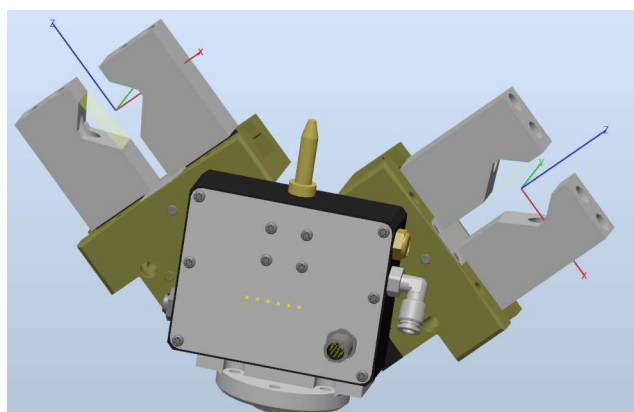
Obr. 31) Příruba robotu (nalevo)



Obr. 32) Paralelní uchopovací chapadlo (napravo) [33]



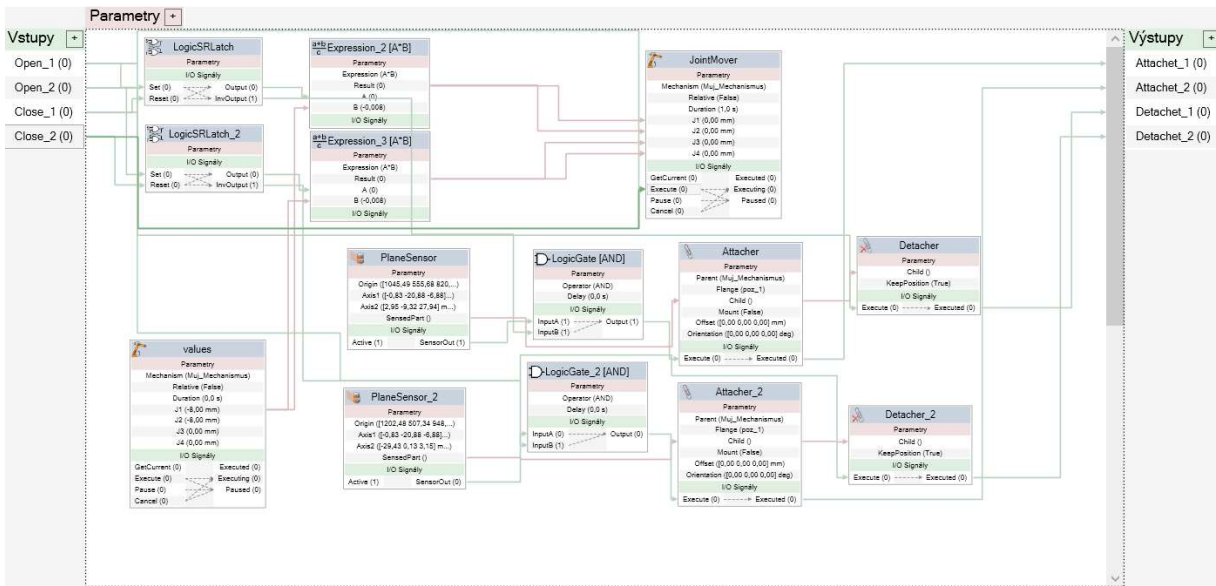
Obr. 33) Kompletní sestava nástroje robotu s čelistmi (nalevo)



Obr. 34) Model nástroje doplněný o pozice pro uchopení (napravo)

Výsledný model byl dále exportován a vložen do RobotStudia. V něm byl z 3D modelu vytvořen mechanismus typu nástroj, kde byly definovány jednotlivé posuvné vazby mezi tělesy a jejich krajní polohy. Dále byly také definovány pozice obou koncových bodů nástroje a parametry nutné pro řídicí systém robotu jako hmotnost, která činila 3,5 kg, relativní pozice těžiště a momenty setrvačnosti vzhledem k těžišti.

Tento mechanismus byl následně vložen do nově vytvořené smart komponenty, kde byly vytvořeny simulované signály pro komunikaci s nástrojem a pomocí bloků RobotStudia bylo naprogramováno chování toho nástroje v rámci simulace. Důležitými prvky této logiky jsou především Attacher a Detacher sloužící pro připojení a odpojení polotovaru k nástroji během simulace. Dále pak JointMover a pro pohyb čelistí a plošné sensory přítomnosti součásti sloužící k zastavení pohybu při upnutí součásti. Kompletní schéma logiky nástroje je vidět na následujícím obrázku.



Obr. 35) Logika smart komponenty nástroje

6.1.5 Ověření nosnosti robotu v závislosti na těžišti nástroje

Nejprve bylo nutné určit 3 důležité parametry nástroje, a to hmotnost včetně upnutých polotovarů, vzdálenost těžiště od roviny příruby robotu a vzdálenost těžiště od osy příruby robotu.

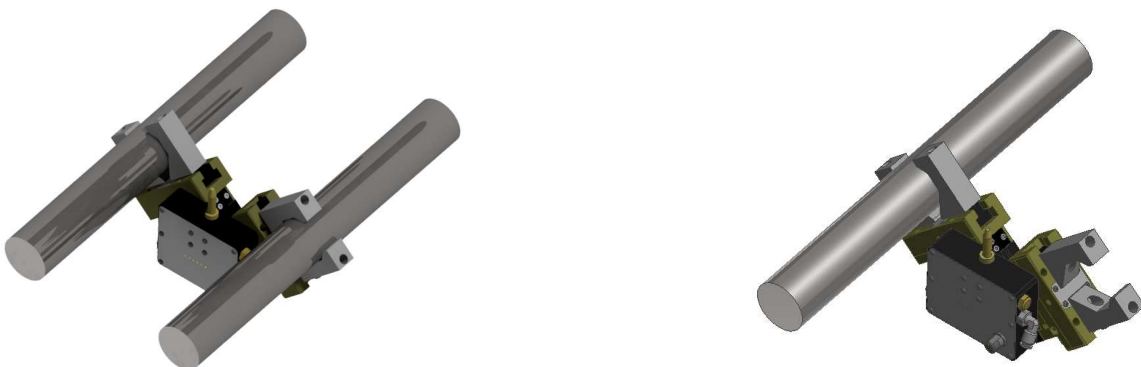
Pro zjištění těchto parametrů byl v programu Autodesk Inventor vytvořen 3D model nástroje i s největšími možnými polotovary, na které je stanice navržena. Tento model byl vytvořen tak, aby jedna z rovin počátku byla současně rovinou připojovací příruby a osa této příruby pak ležela ve zbylých dvou rovinách. Pomocí funkce iVlastnosti pak byly tyto hodnoty jednoduše odečteny. Tyto parametry byly ověření provedeny i pro situaci s pouze jedním upnutým polotovarem.

Varianta 2 polotovary

Hmotnost: 14,73 kg
 Vzdálenost těžiště v Z: 108 mm
 Vzdálenost Těžiště v XY: 31 mm

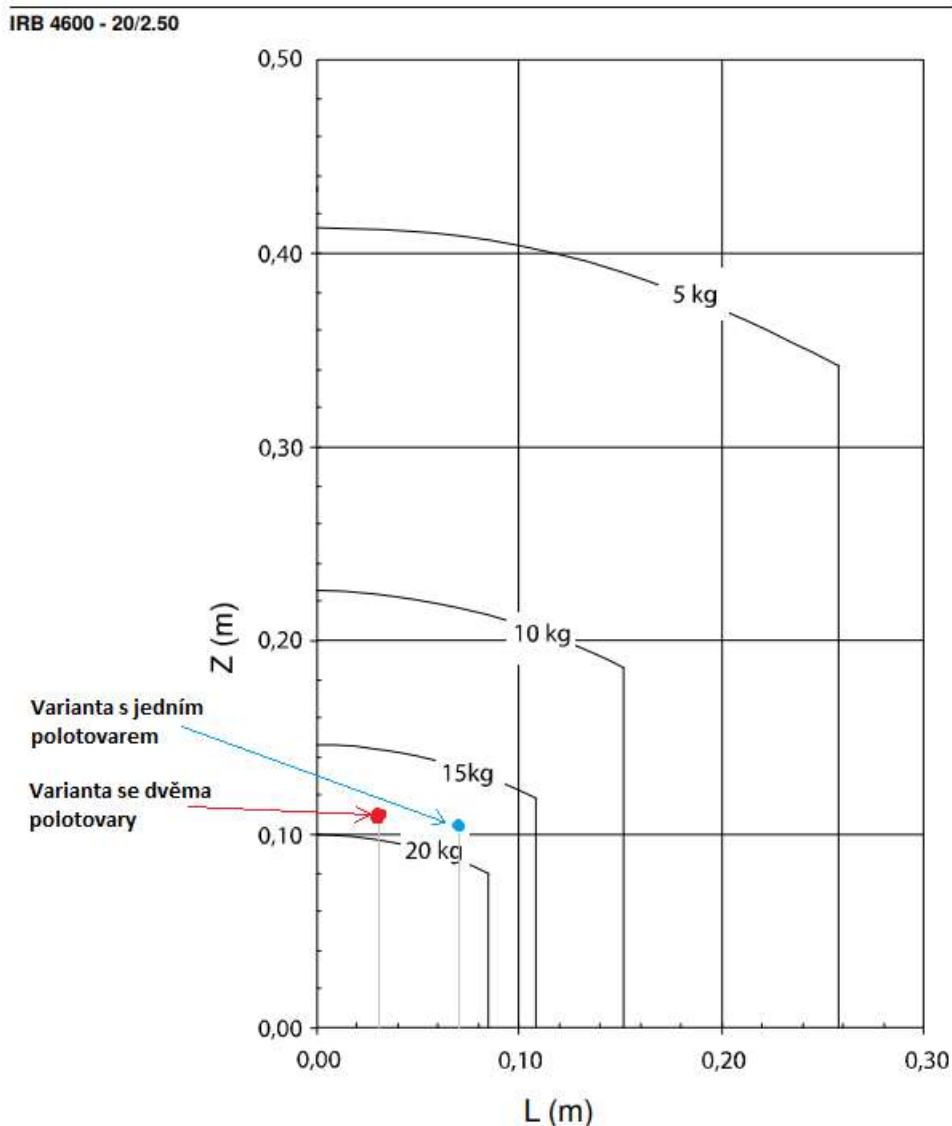
Varianta 1 polotovar

Hmotnost: 8,65 kg
 Vzdálenost těžiště v Z: 105,5 mm
 Vzdálenost Těžiště v XY: 72,5 mm



Obr. 36) Nástroj se dvěma polotovary a nástroj s jedním polotovarem

Tyto hodnoty byly zaneseny do zatěžovacího diagramu pro zvolený robot. Obě hodnoty se nacházejí pod křivkou maximální hmotnosti pro dané parametry nástroje. Nosnost robotu vzhledem k poloze těžiště nástroje tedy vyhovuje.

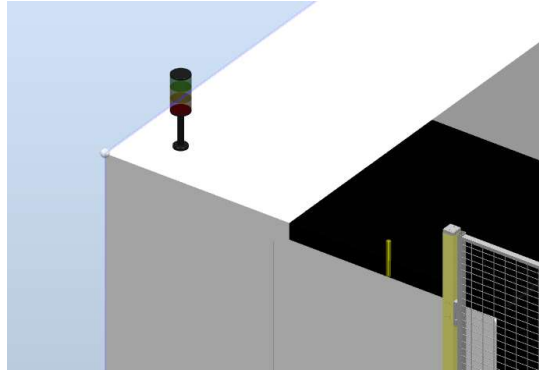


Obr. 37) Zatěžovací digram robotu

6.1.6 Doplnkové prvky stanice

Do této kategorie byly zařazeny například signalizační majáčky pro informování obsluhy nebo dalších osob na pracovišti o stavu stanice. Majáček byl stažen z knihoven RobotStudia a informuje o třech možných stavech, a to zeleným světlem, když stroj pracuje normálně, žlutým světlem při nečinnosti a červeným světlem při poruše.

Do modelu celé stanice byly také přidány modely zásobníků na špony pro lepší vykreslení celého pracoviště. Ty se v samotné simulaci nijak nesimulují a slouží pouze pro lepší vizualizaci layoutu pracoviště.



Obr. 38) Indikační majáček umístěný na soustruhy

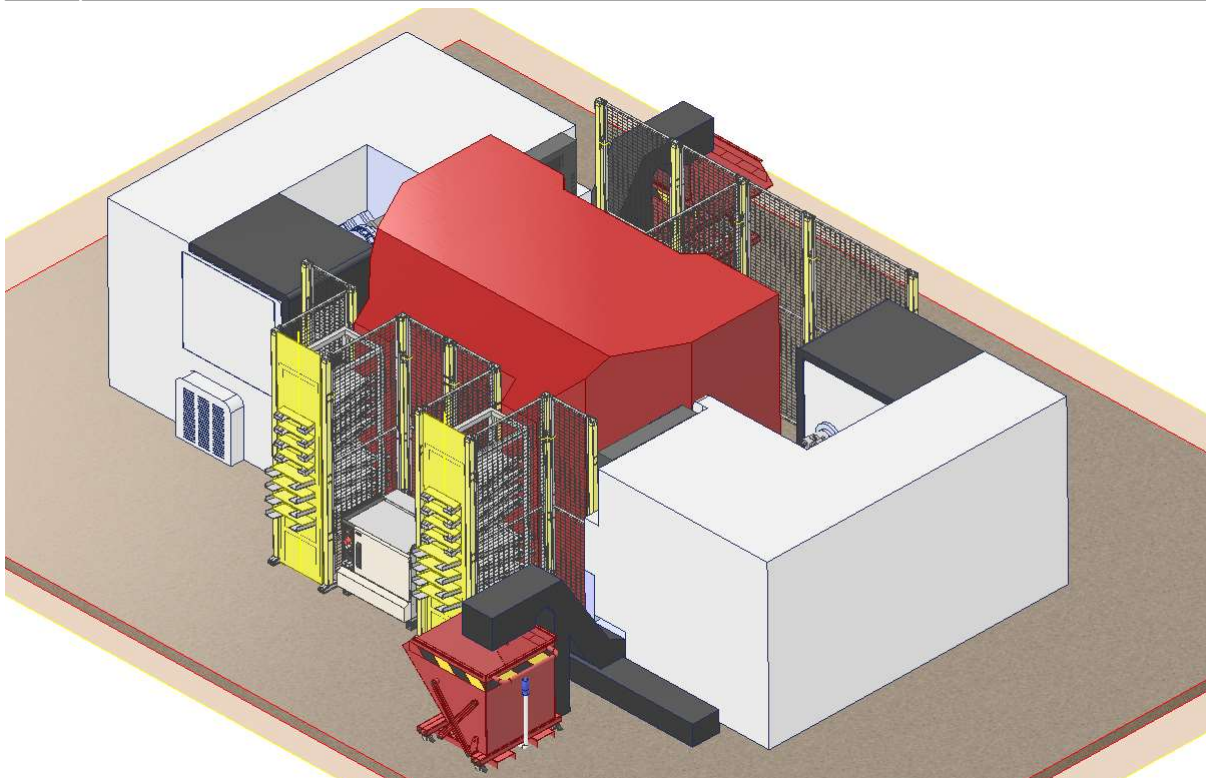
6.2 Oplocení a bezpečnostní prvky

Součástí zadání nebylo vytvořit kompletní analýzu rizik ani řešení funkční bezpečnosti. V rámci návrhu stanice ale byly řešeny i bezpečnostní prvky, a to jak pevné zábrany ve formě oplocení, tak umístění tlačítek nouzového zastavení, zámků a sensorů uzavření dveří. Tyto prvky byly navrženy s ohledem na příslušné normy. Vzhledem k tomu, že robotické pracoviště nevyžaduje vstup obsluhy do pracovního prostoru během činnosti pracoviště, bylo zvoleno pevné oplocení pomocí drátěných plotů. To bylo navrženo, tak aby pracoviště bylo bezpečné ve všech požadovaných režimech činnosti.

6.2.1 Ochranné oplocení

Pro oplocení byl zvolen modulární systém X-Guard od společnosti Axelent. Plot dosahuje výšky dvou metrů a rozměry jednotlivých otvorů jsou 50 x 30 mm. Těmto rozměrům odpovídá dle ČSN EN ISO 13857:2021 minimální bezpečná vzdálenost nebezpečného prostoru od plotu 200 mm. Dle nasimulovaných drah robotu bylo vytvořeno těleso odpovídající nebezpečnému prostoru (na následujícím obrázku znázorněno červeně). Následně byly umístěny jednotlivé ploty, a to tak, aby jejich pozice splňovaly požadavky této normy. Pro splnění požadavků na bezpečnost v režimu, kdy je jeden stroj obsluhován člověkem, byly ploty navrženy tak, aby bylo možné pracoviště snadno rozdělit na dvě části. [34]

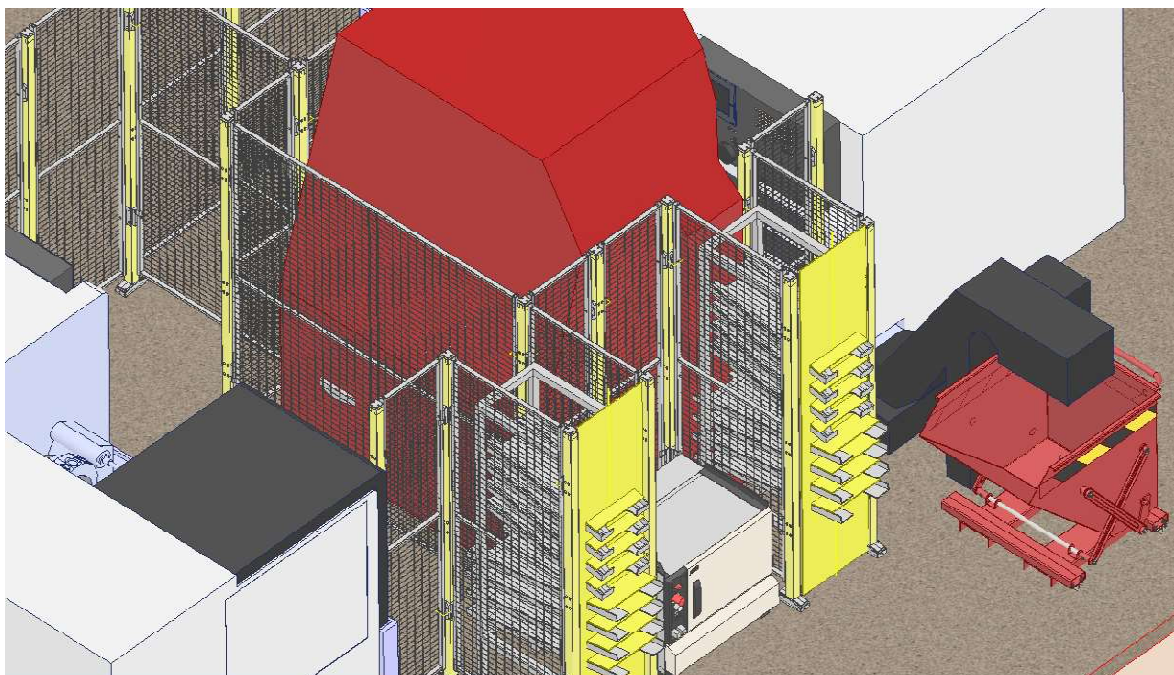
V zadní části pracoviště jsou v oplocení umístěny vstupní dvoje dveře. Ty jsou vybaveny bezpečnostními zámky a snímači otevření a zavření. V přední části jsou v plotě ponechány mezery, do kterých jsou umístěny gravitační zásobníky polotovarů a obrobků. Ty jsou z důvodu bezpečnosti osazeny makrolonovými deskami (na obrázku 39 žlutě zvýrazněno), které zabraňují prostrčit obsluze ruku do nebezpečného prostoru.



Obr. 39) Zobrazení nebezpečného prostoru

6.2.2 Oplocení v režimu obsluhy jednoho stroje

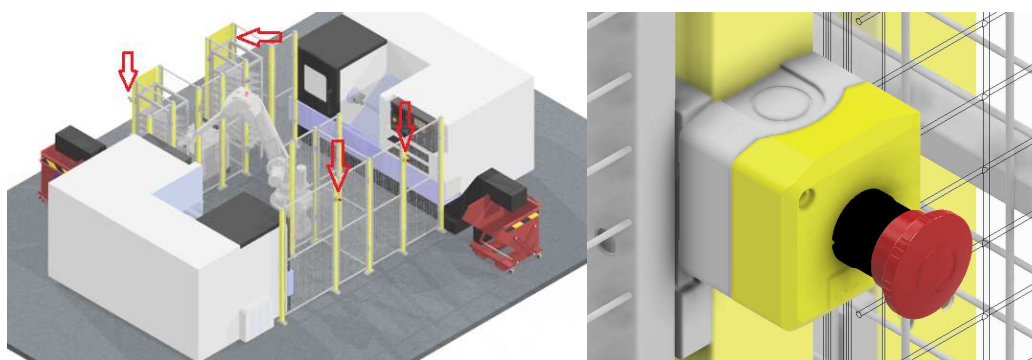
V režimu, kdy je jeden soustruh obsluhován robotem a druhý soustruh obsluhuje člověk, je pracoviště rozděleno odnímatelným plotem na dvě části. Část, kde se nachází lidská obsluha, je plně oddělena od části, kde pracuje robot, dveře k části pro člověka zůstávají po dobu činnosti odemčené, zatímco dveře k robotem obsluhované části musí zůstat uzamčené. K demontáži plotu rozdělujícího pracoviště je vyžadován nástroj a přítomnost tohoto plotu snímá sensor, který v případě odstranění plotu zastaví robot. Vzhledem k tomu, že tento plot není možné umístit dostatečně daleko od nebezpečného prostoru, byl zde použit plot s menšími otvory umožňující vzdálenost od nebezpečného prostoru 120 mm. [34]



Obr. 40) Zobrazení nebezpečného prostoru

6.2.3 Tlačítka nouzového zastavení

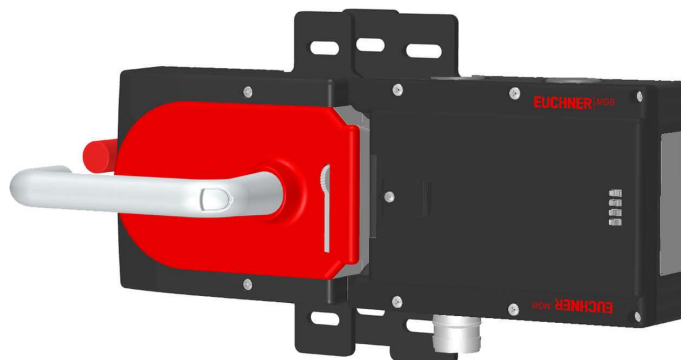
K oběma vstupům na pracoviště byly přidány tlačítka nouzového zastavení. Ty po stisknutí okamžitě zastaví pohyb robota bez ohledu na režim nebo stav, v jakém se stanice nachází. Další dvě tato tlačítka jsou umístěna u zásobníků polotovarů. Tlačítka jsou zapojena dvoukanálově, a je tak zajištěna funkce i při poruše. Umístění tlačítek je vidět na následujícím obrázku. 3D modely byly získány z webu pro sdílení 3D modelů GrabCAD.



Obr. 41) Umístění tlačítek nouzového zastavení

6.2.4 Zámky a sensory dveří

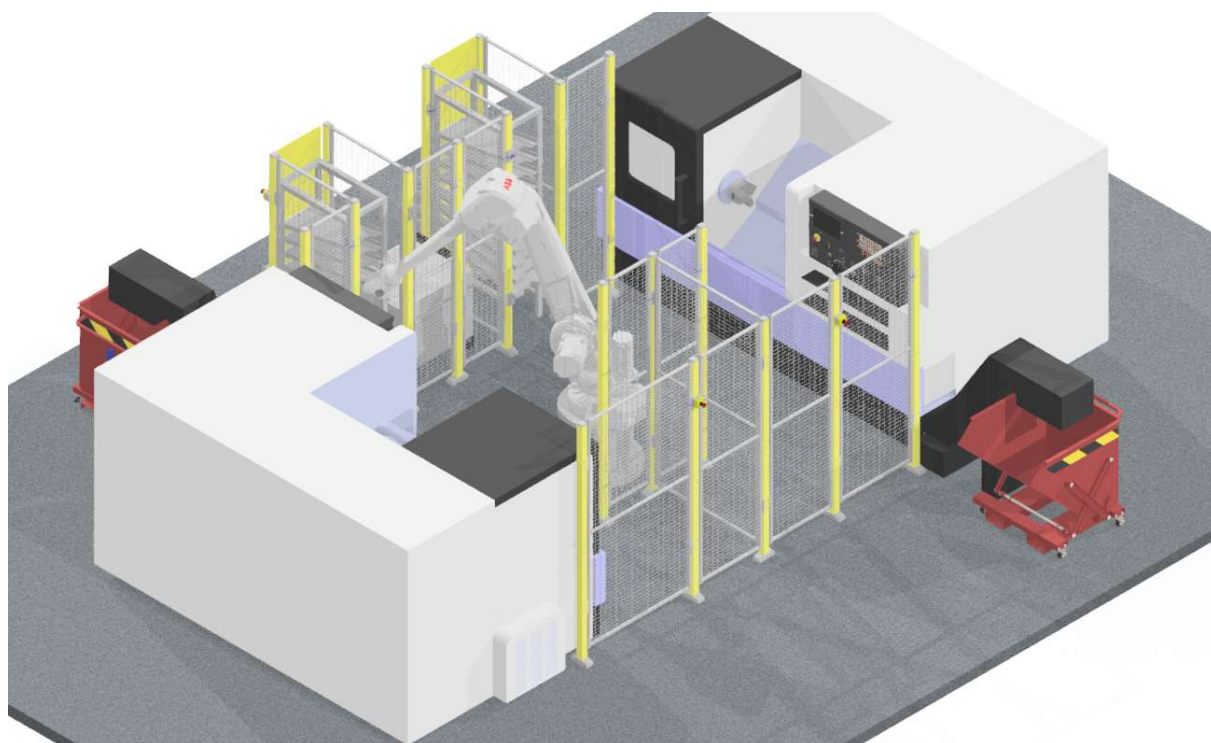
Pro kontrolu uzavření dveří a současně možnost jejich uzamčení byly použity bezpečnostní zámky os výrobce Euchner konkrétně model MULTIFUNCTIONAL GATE BOX MGB-AP. Ty umožňují elektronické uzamčení zámku z řídicího systému, dále odesílají výstupní signály o zavření dveří a o uzamčení dveří. Dále mají funkci nouzového otevření z vnitřní strany pomocí mechanické kliky bez ohledu na stav uzamčení pracoviště.



Obr. 42) Bezpečnostní zámek dveří Euchner [35]

6.2.5 Výsledný model pracoviště

Po vytvoření a umístění všech bezpečnostních prvků byly jejich modely umístěny do RobotStudia, zde byly dveře a rozdělovací ploty doplněny o simulované senzory a simulované signály pro komunikaci s PLC.



Obr. 43) Výsledný model pracoviště

6.3 Tvorba robotického programu

Samotný program robota v tomto řešení stanice nemá žádnou rozhodovací logiku. Robotický program sestává pouze z cest na jednotlivé pozice a instrukcí, co na těchto pozicích má provést. To, kterou instrukci robot provede, rozhoduje řídicí PLC. S tímto PLC robot komunikuje pomocí definovaných proměnných.

Robot získá hodnotu proměnné *nProgramNumberSet*, jejíž hodnotu přepíše do proměnné *nProgramNumberGet*, a tím dá PLC informaci, že číslo programu správně přijal. Následně čeká, až bude hodnota proměnné *bRobotStart* rovna jedné. Poté začne daný program

vykonávat. Na začátku tohoto programu také nastaví hodnotu proměnné *bRobotReady* na nulu a hodnotu na *bRobotWorking* jedničku. Po dokončení programu hodnoty těchto dvou proměnných prohodí zase zpět a dá tak PLC informaci, že program dokončil a je připraven na další činnost. Mimo tyto proměnné si robot s řídicím PLC vyměňuje také proměnné o stavu motorů, nouzovém zastavení nebo proměnné typu AS1, AS2, GS1 a GS2.

Ukázka části programu, kde se robot přijímá informaci, který má vykonávat:

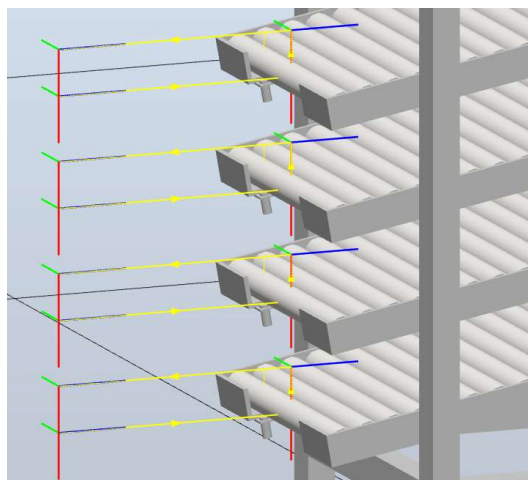
```
PROC main()
  nProgramNumberRobot := nProgramNumberSet;
  SetGO nProgramNumberGet, nProgramNumberRobot;
  IF nProgramNumberRobot = 5 AND bRobotStart = 1 THEN
    Robot_home;
  ENDIF
  IF nProgramNumberRobot = 10 AND bRobotStart = 1 THEN
    Pozice_1_grab;
  ENDIF
  IF nProgramNumberRobot = 20 AND bRobotStart = 1 THEN
    Pozice_2_grab;
```

6.3.1 Tvorba jednotlivých programů

Jednotlivé programy byly tvořeny v prostředí RobotStudia. Pro každý bod, kterým musí robot během některé své cesty projíždět, byl vytvořen cíl. Tento cíl je definován svou polohou a také orientací, do které v něm musí robot nástrojem najet. Tyto cíle jsou poté seskládány do cest, které jsou základem pro jednotlivé programy. Tyto cesty jsou dále doplněny o instrukce typu otevření gripperu nebo odeslání signálu pro upnutí vřetena. Robot má takto naprogramováno celkem 25 různých programů.

První část těchto programů tvoří programy pro odebrání polotovaru ze zásobníku, těch je celkem 8, 4 pro každý zásobník. Obdobně dalších 8 programů tvoří programy pro uložení hotového dílu.

Po byly vytvořeny programy pro nájezd před dveře CNC, vložení dílu, vyjmutí dílu, otočení dílu, vyjmutí a vložení dílu současně. Tyto programy jsou vytvořeny pro každé CNC zvlášť. Posledním programem je najez na home pozici.



Obr. 44) Ukázka cílů a cest robotického programu pro odebrání polotovarů.

V programu jsou pohybové instrukce typu MoveJ, kdy se robot na daný bod pohybuje po ideální dráze vzhledem k jeho kinematice, dále jsou použity instrukce typu MoveL, při kterých se robot pohybuje na daný bod po přímce. Mimo tyto instrukce je zde možné vidět i akční instrukce pro uzavření (PulseDO Attach_1;) a otevření gripperu (PulseDO Detach_1;).

Ukázka programu, pro odebrání dílu ze zásobníku:

```

PROC Pozice_1_grab()
  Reset bRobotReady;
  Set bRobotWorking;
  MoveJ Pozice_1_pred,v500,fine,poz_1\WObj:=Gravity_storage_1;
  PulseDO Detach_1;
  MoveL Pozice_1,v100,fine,poz_1\WObj:=Gravity_storage_1;
  PulseDO Attach_1;
  WaitTime 1;
  MoveL Pozice_1_nad,v100,fine,poz_1\WObj:=Gravity_storage_1;
  MoveL Pozice_1_pred_nad,v100,fine,poz_1\WObj:=Gravity_storage_1;
  Reset bRobotWorking;
  Set bRobotReady;
ENDPROC

```

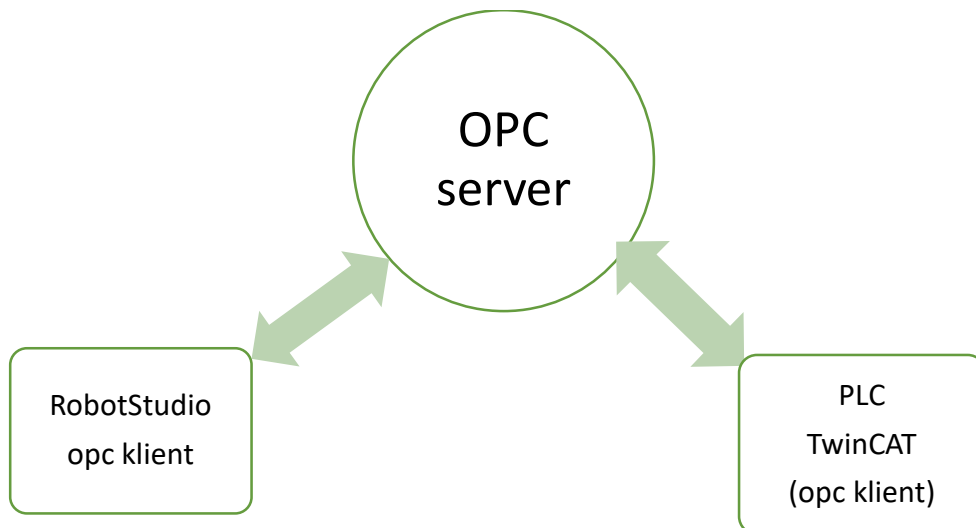
6.4 Tvorba programu pro řídicí PLC

Jako výrobce PLC řídicího systému byla zvolena společnost Beckhoff. Od toho se dále odvíjí volba vývojového prostředí, ve kterém bude program vytvářen. Beckhoff nabízí jako vývojové prostředí program TwinCAT, ten umožňuje vytvářet i simulovat PCL programy jak na reálném hardwaru, tak i na virtuálním PLC, které běží na běžném osobním počítači.

6.4.1 Komunikace TwinCAT - RobotStudio

Ještě před započítím samotné tvorby programu bylo nutné zajistit možnost průběžného testování programu. Vzhledem k tomu, že podstatná část tohoto řídicího programu bude muset komunikovat se všemi dalšími prvky stanice (v tomto případě se simulací v programu RobotStudio), bylo nutné zajistit komunikaci mezi nimi. Pro tuto komunikaci byl zvolen protokol OPC. Jedná se o komunikační protokol sloužící především pro vytvoření společného rozhraní mezi hardwarovými a softwarovými produkty různých výrobců. Komunikační protokol OPC využívá architekturu klient-server. Proto je při použití OPC třeba vždy oddělovat pojmy OPC server a OPC klient. [36]

V případě této modelové úlohy je OPC server vytvořen na straně PLC tedy TwinCATu. Samotný PLC program se pak chová jako OPC klient, který na tento server sdílí jednotlivé proměnné ze svého globálního listu proměnných. Jako klient je pak k serveru připojeno i robot studio. Zde je OPC server reprezentován jako smart komponenta, která tyto proměnné ze serveru využívá jako vstupy (čte proměnné ze serveru), nebo jako výstupy (zapisuje hodnoty na server). Tyto vstupy je pak v prostředí RobotStudia v záložce logika stanice možné propojit se všemi ostatními smart komponentami simulace nebo kontrolerem robota.



Obr. 45) Schéma spojení RobotStudio/PLC

6.4.2 Struktury a globální list proměnných

Pro veškeré signály všech objektů simulace v RobotStudios byly vytvořeny proměnné reprezentující tento signál. Pro maximální přehlednost a orientaci v těchto proměnných byly vytvořeny vlastní struktury. Tento přístup je pro tuto úlohu velmi výhodný, neboť téměř všechny objekty simulace jsou použity dvakrát, a je tedy možné danou strukturu použít vícekrát. Vytvořené struktury včetně proměnných, které obsahují jsou vypsány v tabulce 4.

Dále byl vytvořen globální list proměnných a do něj byly přidány jednotlivé struktury pro každé zařízení vyskytující se v simulaci. Dále byla vytvořena struktura nazvaná stPLC, ve které se uchovávají proměnné o stavu stanice jako například mód, ve kterém operuje nebo informace o požadavcích na vstupy. Do globálního listu proměnných byly nakonec přidány proměnné reprezentující stav stavového automatu a textové proměnné pro sloužící k zobrazování textu na HMI.

Tab 4) Struktury proměnných pro jednotlivé zařízení

PLC						
	Input			Output		
	Type	Name		Type	Name	
Robot	int	nProgramNumberGet		int	nProgramNumberSet	
	Bool	bRobotReady		Bool	bRobotStart	
	Bool	bRobotWorking		Bool	bMotorOn	
	Bool	bRunChain_1		Bool	bMotorOff	
	Bool	bMotorOnStatus		Bool	AS1	
	Bool	bMotorOffStatus		Bool	AS2	
	Bool	bRobotEmergencyStop		Bool	GS1	
				Bool	GS2	
CNC	Bool	bDoorIsOpen		Bool	bDoorOpen	
	Bool	bDoorIsClose		Bool	bDoorClose	
	Bool	bClamped		Bool	bClamp	
	Bool	bUnclamped		Bool	bUnclamp	
	Bool	bCNCAutomaticMode		Bool	bStartProgram_1	
	Bool	bCNCMachineNoError		Bool	bStartProgram_2	
	Bool	bProcessing		Bool	bLoadingDone	
	Bool	bLoadingReady		Bool	bGreen	
Zásobník	Bool	bInputPositionReady_1				
	Bool	bInputPositionReady_2				
	Bool	bInputPositionReady_3				
	Bool	bInputPositionReady_4				
	Bool	bOutputPositionFull_1				
	Bool	bOutputPositionFull_2				
	Bool	bOutputPositionFull_3				
	Bool	bOutputPositionFull_4				
Ploty	Bool	bDoorSensorClose_1		Bool	bDoorLock_1	
	Bool	bDoorSensorClose_2		Bool	bDoorLock_2	
	Bool	bFenceSensorClose_1				
	Bool	bFenceSensorClose_2				

6.4.3 Uspořádání programu řídicího systému

Celý program řídicího systému byl programován jako stavový automat. Řízení stanice bylo dle požadavků zadání modelové úlohy rozděleno na 3 automatické pracovní režimy, vypnutý režim a manuální režim sloužící pro ruční pohyb robotem. Jednotlivé stavy stavového automatu byly rozčleněny mezi pracovní režimy následovně:

Stav 0	režim OFF
Stav 10 - 49	návraty z poruchových situací
Stav 50 - 99	řešení požadavků na vstup
Stav 100 - 199	Manuální režim
Stav 200 - 299	Automatický režim CNC_mode_1
Stav 300 - 399	Automatický režim CNC_mode_2
Stav 400 - 499	Plně automatický režim

Stisknutí nouzového zastavení je řešeno mimo logiku stavového automatu, a jeho kontrola tak proběhne v každé skenovací periodě bez ohledu na stav pracoviště a okamžitě dojde k odstavení pohonů robota.

Stanice po spuštění naběhne do režimu OFF, v tomto je robot vypnutý a pracoviště je možné provozovat s manuální obsluhou obou strojů. Z režimu OFF je možné stanici přepnout pouze do manuálního režimu. V něm manuálně pohybovat jak s robotem, tak ručně ovládat další automatické prvky pracoviště. Z manuálního režimu je pak možné spustit jeden ze tří možných automatických režimů. Po stisknutí tlačítka pro spuštění daného automatického režimu dojde k ověření, že je daný mód možný spustit (kontrola uzavření dveří, nastavení strojů nebo přítomnost chyb). V případě, že podmínky pro toto přepnutí splněny nejsou, na obrazovku se vypíše popis dané chyby a program zůstává v manuálním režimu do podání dalšího požadavku.

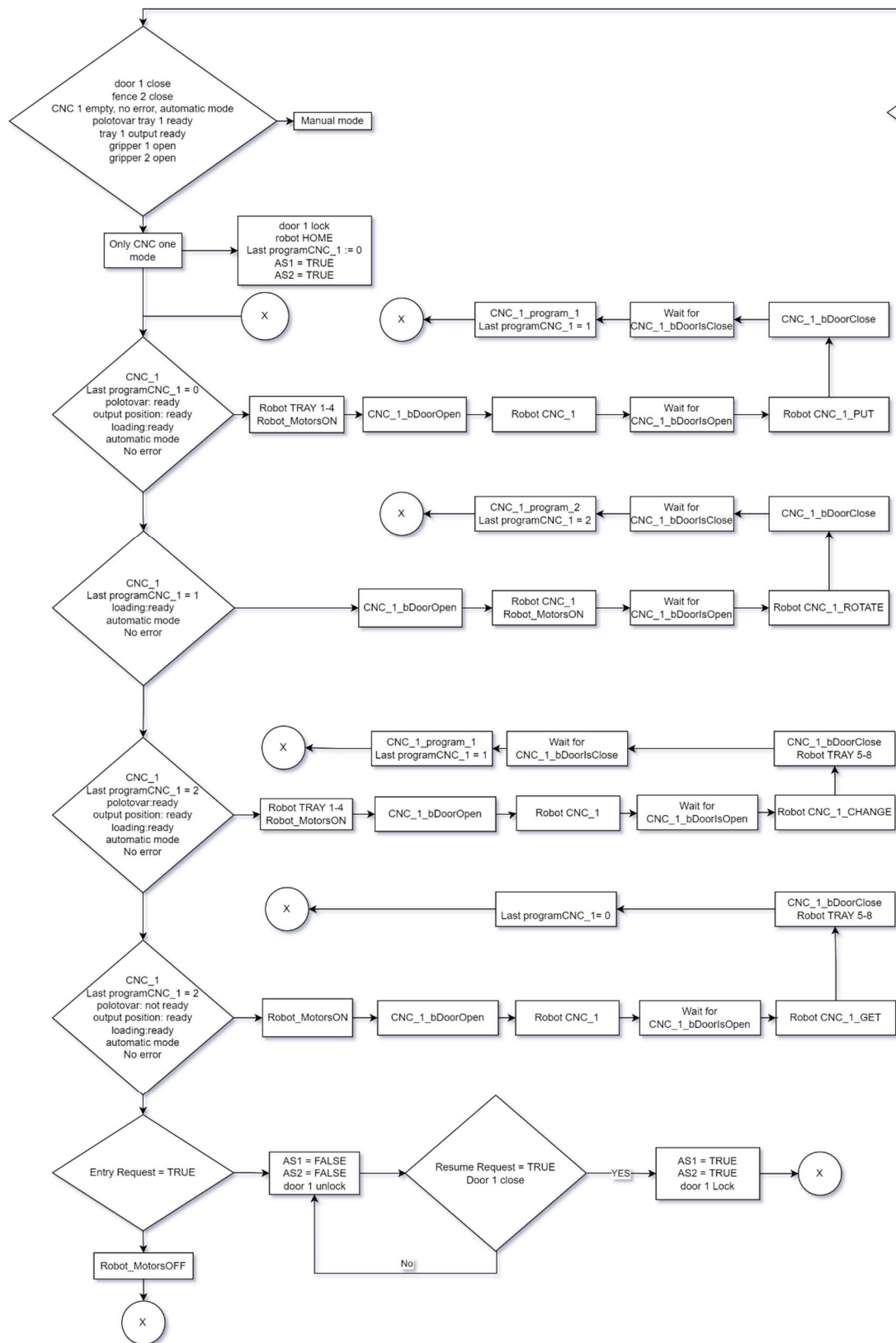
První z automatických režimů je případ, kdy robot obsluhuje pouze soustruh jedna, v tomto případě je pro spuštění tohoto režimu nutné, aby byly uzavřeny dveře jedna, a na pracovišti byl umístěn rozdělovací plot 2. CNC soustruh jedna musí být také připravené k zakládání polotovaru, musí být v automatickém módu robot musí prázdné pozice 1 i 2.

Při splnění těchto podmínek je spuštěn automatický režim CNC_mode_1, dojde uzamčení dveří, najetí robotu na domovskou pozici a nastavení proměnných pro logiku samotného programu.

V této fázi přechází stavový automat do smyčky, ve které vždy rozhoduje o další operaci, která má být provedena. V režimu CNC_mode_1 jsou to celkem čtyři operace, první z nich je založení nového dílu, tato operace se provede pouze při prvním spuštění tohoto režimu, neboť slouží pouze pro založení dílu v případě, že je soustruh prázdný. Dojde při ní k odebrání polotovaru ze zásobníku, jeho vložení do soustruhu a spuštění obráběcího programu 1. Druhou možnou operací je otočení obrobku v CNC, k ní dochází vždy po dokončení programu 1, následně dojde ke spuštění programu 2. Třetí operací je výměna dílu, ta probíhá obdobně jako první operace s tím, že před založením dílu dojde ještě k odebrání obrobku do druhé pozice gripperu, a tento díl je nakonec vložen do zásobníku obrobků. Poslední operací je odebrání posledního dílu, k té dojde pouze v případě, že nejsou k dispozici žádné další polotovary.

V rámci této smyčky je také řešen požadavek na vstup do pracovního prostoru, pokud je požadavek podán, má přednost před ostatními operacemi a po dokončení předchozí započaté operace není další spuštěna. K tomu může dojít až po požadavku na pokračování a za znovu

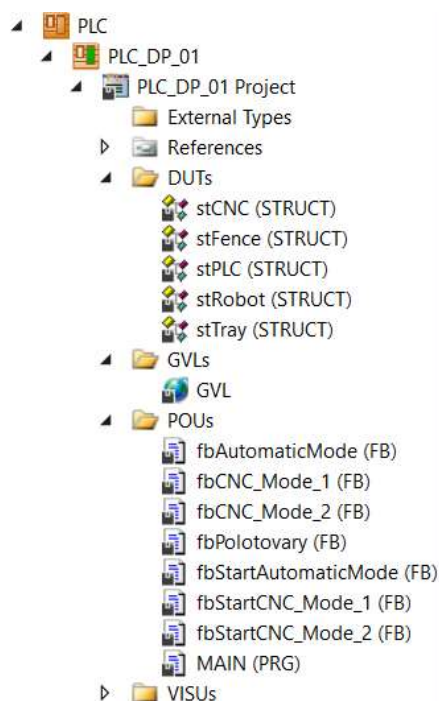
splnění bezpečnostních podmínek. Celá logika toho módu je znázorněna na obrázku 43 a logika celé stanice pak na digramu v příloze této diplomové práce.



Obr. 46) Digram části programu CNC_mode_1

Druhý automatický režim CNC_mode_2 je téměř totožný s CNC_mode_1 s tím, že vše je pouze upraveno na obsluhu druhého soustruhu. Režim obsluhy obou soustruhu je pak kombinací obou předchozích režimů. V rozhodovací smyčce se místo mezi čtyřmi operacemi rozhoduje mezi osmi, a to tak, že pokud je možné provést více než jednu operaci současně, přednost má vždy operace na soustruhu jedna.

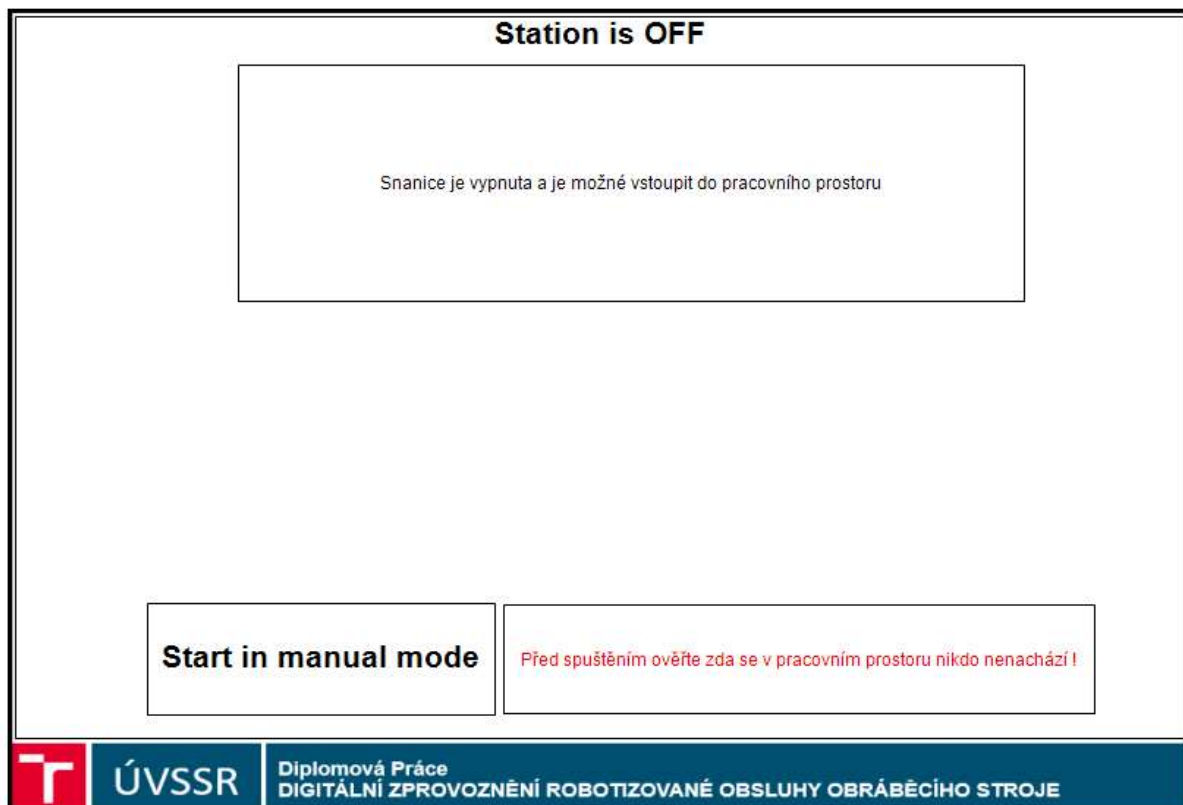
Pro přehlednost byl program ve vývojovém prostředí twinCAT rozdělen do funkčních bloků, kdy každý z automatických režimů má vlastní funkční blok, dále jsou zde 3 funkční bloky (fbStartCNC_Mode_1, fbStartCNC_Mode_2 a fbStartAutomaticMode), které jsou spouštěny při kontrole splnění požadavků na přechod do daného režimu. Blok fbPolotovary řeší, které patro v zásobníku na polotovary bude použito pro odběr polotovaru nebo odložení obrobku. V části MAIN je pak řešen manuální mód, přechod z poruch, nouzové zastavení a řešení požadavku na vstup.



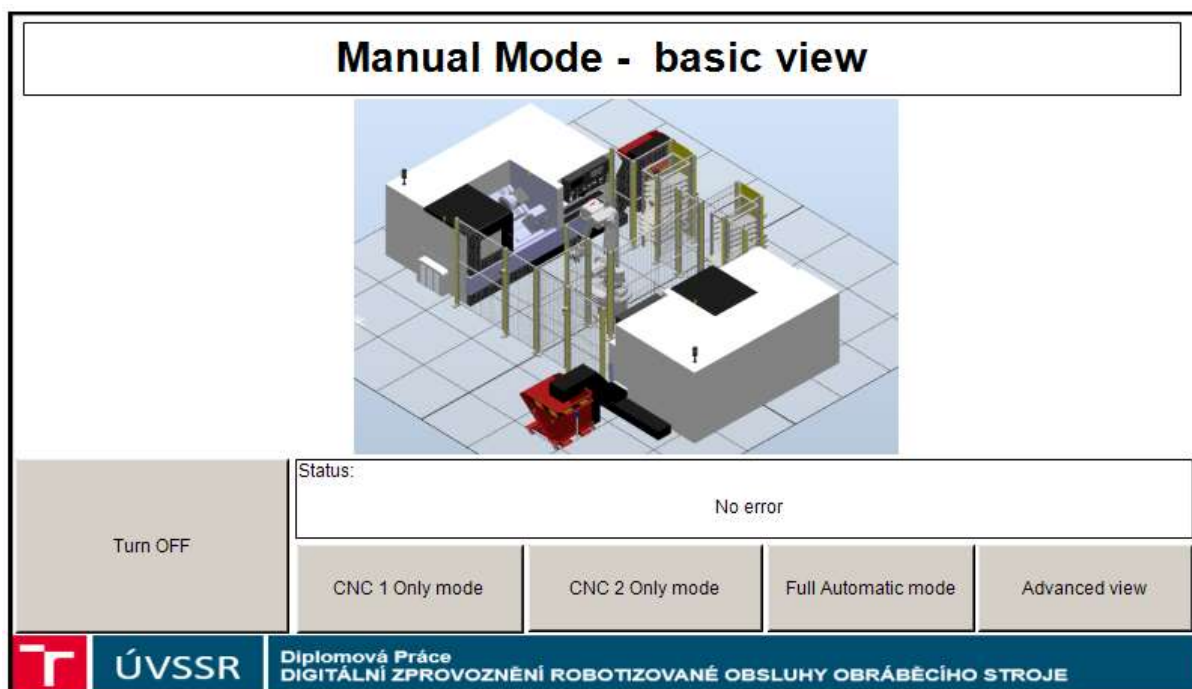
Obr. 47) Datové struktury a programové moduly v TwinCATu

6.4.4 Vizualizace

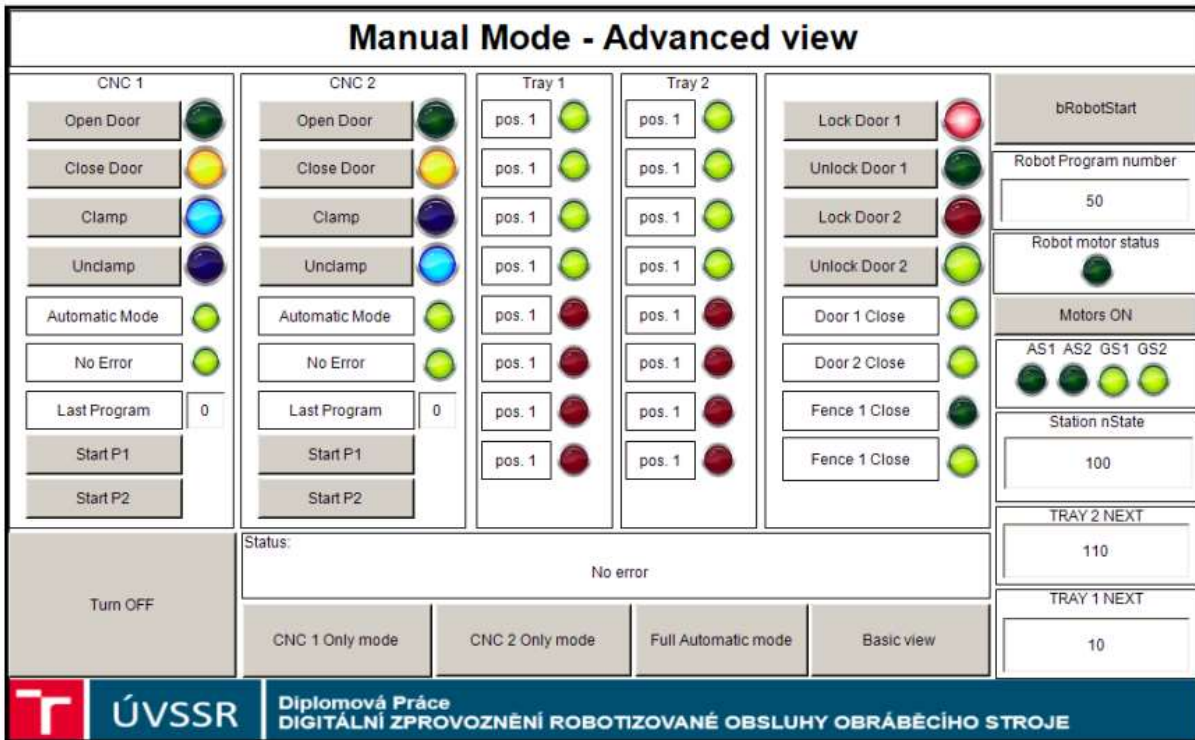
Aby bylo možné celé pracoviště ovládat byly vytvořeny v programu TwinCAT také vizualizace. Celkem je pro řídicí systém nachystáno 5 stran vizualizací. Jedna strana slouží pouze pro spuštění stanice, další strana je určena pro manuální režim. Na této straně se dají spouštět jednotlivé režimy nebo se je možné přepnout do podrobného zobrazení jednotlivých signálů. Poslední stranou je automatický režim, tato strana je stejná pro všechny tři automatické režimy a nabízí zobrazení počtu vyrobených kusů, nulování těchto počítadel a také tlačítka pro požadavek na vstup na pracoviště. I zde je možnost přepnout se do signálového zobrazení.



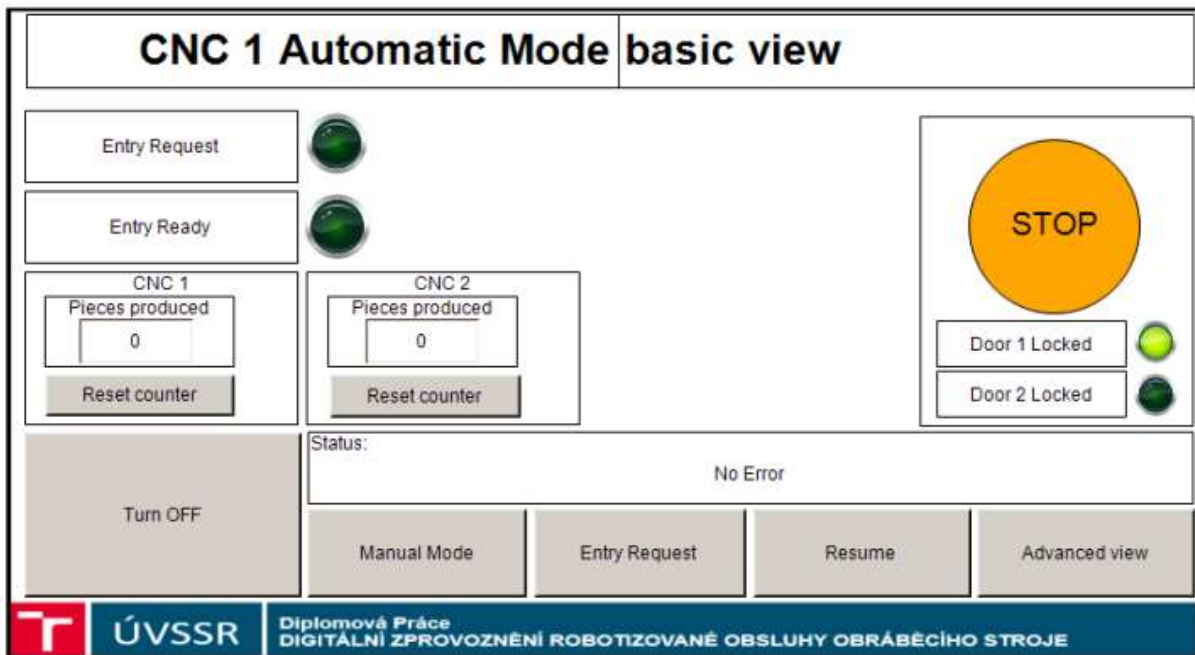
Obr. 48) Vizualizace – obrazovka Station OFF



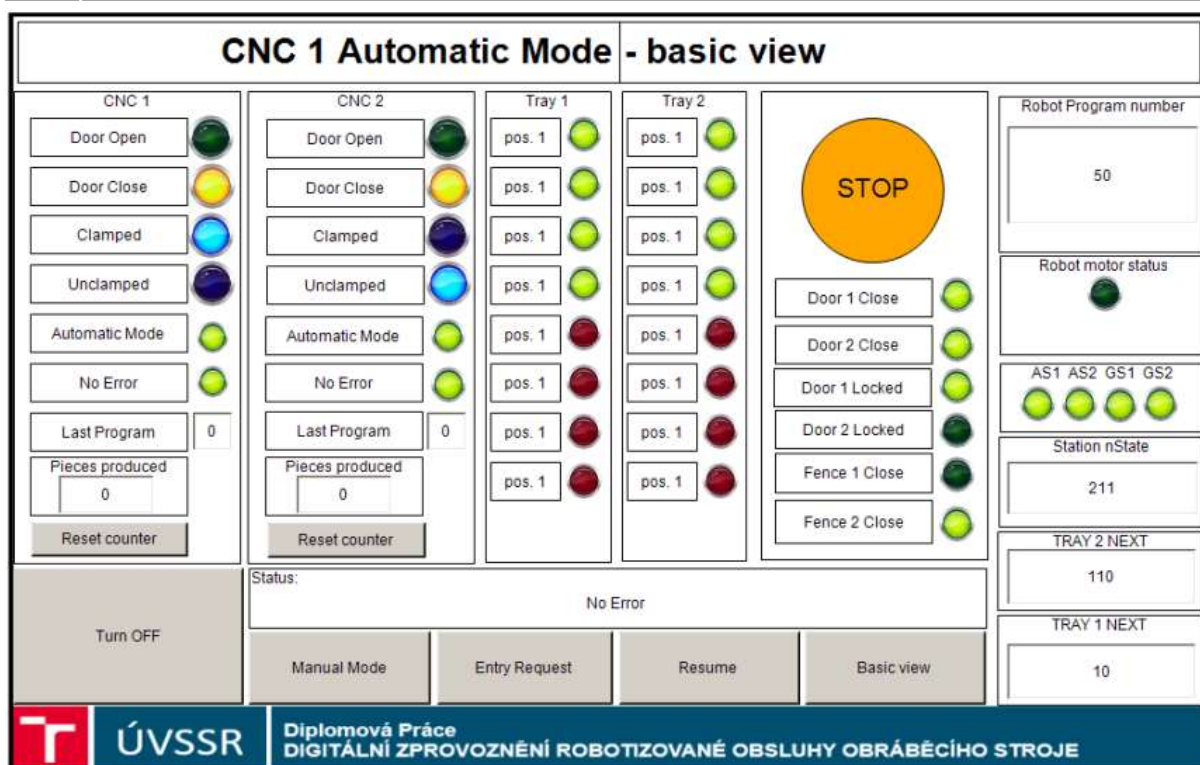
Obr. 49) Vizualizace – obrazovka Manual mode



Obr. 50) Vizualizace – obrazovka Manual mode zobrazení signálů



Obr. 51) Vizualizace – obrazovka Automatic mode



Obr. 52) Vizualizace – obrazovka Automatic mode – zobrazení signálů

6.4.5 Limity simulace

Během simulace řídicího systému v programu TwinCAT společně se simulací robota a ostatních zařízení v RobotStudios bylo objeveno několik limitů, které tato simulace má. Při pokusu ovládat některé řídicí signály robota jako například vypnutí motorů nebo signály General Stop robot studio vždy automaticky vypne simulaci. Tyto signály jsou tak v řídicím systému ošetřeny, ale například signál o stavu motorů je v RobotStudios implementován pomocí vlastní logiky, která dává správnou odezvu řídicímu systému, ale není přesnou simulací skutečného chování řídicího systému robota. Signály AS a GS nejsou v rámci robot studia napojeny, ale v řídicím systému jsou řešeny.

ZÁVĚR

V teoretické části této práce byly popsány jednotlivé typy výrobních systémů jako pružné výrobní systémy a transferové linky. Dále byly popsány jednotlivé typy průmyslových robotů z hlediska kinematiky včetně jejich výhod a nevýhod pro různé aplikace. Následně bylo rozebráno použití průmyslových robotů k obsluze obráběcích strojů, které byly rozděleny do několika skupin a včetně příkladů vysvětleno. Nedílnou součástí rozboru robotizované obsluhy obráběcích strojů byla také komunikace mezi robotem a obráběcím strojem.

V další části rešerše bylo vysvětleno digitální zprovoznění a byly vymezeny pojmy jako digitální dvojče. Nakonec byly vybrány příklady softwaru využívaného při digitálním zprovožňování a tyto softwary byly popsány.

V praktické části byla nejdříve vytvořena modelová úloha. Ta obnášela nahrazení lidské obsluhy pro dva CNC soustruhy jedním robotem. Tyto soustruhy obrábějí v dávkách o několika stech kusech hřídele o průměru 30 mm a délce 300 mm. Doba obrábění jedné trvá 5 minut. Stejně bylo také zachováno možnosti v případě potřeby obsluhovat jeden nebo oba stroje člověkem.

Po definici všech parametrů pracoviště byl zvolen vhodný robot, konkrétně byl použit IRB 4600-20/2.50. Následně bylo pomocí multikriteriální analýzy metodou pattern určeno umístění robota. Pro tuto analýzu byla nejprve zvolena hodnotící kritéria, a těm byla následně metodou párového srovnání přiřazena váha. Jako nejvýhodnější z této analýzy vyšla varianta dva s umístěním do středu pracoviště na nízký podstavec.

V programu Autodesk Inventor byly vytvořeny nebo poskládány veškeré 3D modely objektů, které jsou součástí pracoviště, konkrétně modely soustruhů, zásobníků polotovárů, robotu, nástroje pro robot, ale i bezpečnostního oplocení, zámků, tlačítek a dalších prvků. V programu RobotStudio byla pak k těmto modelům vytvořena logika jejich chování při simulaci včetně signálů, kterými komunikují s řídicím systémem.

Následně byly vytvořeny dráhy robotů, které byly poskládány do jednotlivých podprogramů robotu. Tyto programy jsou určeny pouze pro spouštění z řídicího systému, neboť robot v tomto případě neprovádí žádné rozhodování v rámci celého pracoviště.

Řídicí systém byl zvolen na PLC od společnosti Beckhoff, tvorba řídicího programu proto probíhala ve vývojovém prostředí TwinCAT. To bylo s RobotStudiem propojeno tak, že v rámci PLC byl vytvořen OPC server, k tomuto serveru se RobotStudio připojovalo jako klient a jednotlivé proměnné z PLC programu byly v RobotStudiosu vidět jako signály speciální smart komponenty. Řídicí systém byl koncipován jako stavový automat. Ten byl rozdělen na 3 automatické režimy, kdy je obsluhován robotem pouze jeden, druhý nebo oba soustruhy, dále pak na manuální režim a režim vypnutého robotu. Mimo smyčku stavového automatu je řešeno nouzové zastavení a další chybové režimy.

K řídicímu systému byly vytvořeny také vizualizace pro obsluhu. Ty obsahují obrazovku pro manuální i automatický režim, a to vždy jak v základním zobrazení, tak v zobrazení se všemi signály. Poslední vytvořenou vizualizací je obrazovka pro vypnutý stav.

Nakonec proběhla kosimulace řídicího systému společně se simulací v RobotStudiosu čímž bylo ověřeno funkčnost obou těchto částí, a teoreticky by tedy bylo možné tento systém použít na reálném zařízení, kde by došlo k jeho odladění.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ADAMEC, Jaromír. Technologie automatizovaných výrob [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006 [cit. 2022-05-10]. ISBN 80-248-0871-4. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/TAV/technologie-automatizovanych-vyrob.pdf>
- [2] Turnkey Machining Lines. In: *NTC America Corporation* [online]. 46605 Magellan Drive Novi, MI 48377: NTC America Corporation, 2018 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://ntcamerica.com/wp-content/uploads/2018/03/transferLines-1.jpg>
- [3] Pružné výrobní systémy. *ELUC* [online]. ELUC, 2015 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1360>
- [4] What are Industrial Manipulators and What are They Used For?. *Thomas* [online]. Thomas Publishing Company, 2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.thomasnet.com/articles/materials-handling/industrial-manipulators/>
- [5] Maxipartner. *Dalmec* [online]. Michael-Kometer-Ring 2 85653 AYING bei MÜNCHEN: Dalmec, 2021 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.dalmec.com/manipulators/maxipartner/>
- [6] Maxipartner. In: *Dalmec* [online]. Michael-Kometer-Ring 2 85653 AYING bei MÜNCHEN: *Dalmec*, 2021 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.dalmec.it/wp-content/uploads/2016/07/MXS.jpg>
- [7] SICILIANO, Bruno a Oussama KHATIB, ed. *Springer handbook of robotics*. 2nd edition. Berlin: Springer, [2016]. ISBN isbn978-3-319-32550-7.
- [8] Lineární robot KUKA. In: KUKA [online]. *KUKA*, 2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/-/media/kuka-corporate/images/products/robots/cta-images/linear-roboter.png?rev=1&w=767&hash=337065A8AAB6BD34EA450B25343B10C6>
- [9] What is an Articulated Robot?. *Robots Done Right* [online]. Robots Done Right, 2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://robotsdoneright.com/Articles/what-is-an-articulated-robot.html>
- [10] PROKOP, M. Model třídící linky v systému Tecnomatix Process Simulate. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 75 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.
- [11] IRB 2600. In: ABB [online]. *ABB*, 2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: https://cdn.productimages.abb.com/9IBA258251_400x400.jpg
- [12] SCARA Robot. FlexiBowl [online]. Arezzo, Italy: FlexiBowl, 2020, 11.5.2020 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.flexibowl.com/scara-robot.html>
- [13] SCARA Robot SR-3iA. In: *FANUC* [online]. FANUC [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/~-/media/corporate/products/robots/scara/int-ro-pr-3ia-r.jpg?w=400>

- [14] Co je to Delta robot a jak funguje?. *Factory Automation* [online]. Factory Automation, 2021 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/delta-robot-jak-funguje/>
- [15] Technická data pro IRB 360 FlexPicker. *ABB* [online]. ABB, 2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-360/irb-360-technicka-data>
- [16] IRB 360 FlexPicker™. In: *ABB* [online]. ABB, 2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: https://cdn.productimages.abb.com/9IBA242805_400x400.jpg
- [17] CNC Robotics. The Next Step in Automation Worldwide?. *Rozum Robotics* [online]. Rozum Robotics, 2019, 28.11.2019 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://rozum.com/cnc-robotics-in-automation/>
- [18] Automatizace CNC strojů Mazak. *Technický Týdeník* [online]. Praha: Business Media CZ, 2019 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/automatizace-robotizace/automatizace-cnc-stroju-mazak_47739.html
- [19] Sestava robotického pracoviště. In: *Profika.cz* [online]. PROFIKA s.r.o, 2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: https://www.profika.cz/data/filecache/f9/2_1.jpg
- [20] BRUCE, David. 3D strojové vidění pro průmyslové roboty. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2019, **2019**(6) [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/3d-strojove-videni-pro-prumyslove-roboty>
- [21] Robot ve stroji: Automatizace pro obráběče všech velikostí. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2021, 15. 12. 2021, **2021**(12) [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/robot-ve-stroji-automatizace-pro-obrabece-vsech-velikosti>
- [22] Robo2Go 2. generace. *DMG MORI* [online]. Planá nad Lužnicí Czech Republic: DMG MORI, 2020 [cit. 2022-01-10]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/automatizace/manipulace-s-obrobkem/robot/robo2go>
- [23] UNIVERSAL COMPACT 12. In: *HALTER CNC Automation* [online]. Hoevelaken The Netherlands: HALTER CNC Automation, 2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.haltercncautomation.com/hubfs/Universal-Compact-12-web.png>
- [24] Robo2Go 2nd Generation. In: *DMG MORI* [online]. Planá nad Lužnicí Czech Republic: DMG MORI, 2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.dmgmori.co.jp/en/products/machine/id=3977>
- [25] Kolaborativní roboty. *ABB* [online]. ABB, 2022 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/kolaborativni-roboty>
- [26] Kolaborativní robot jako obsluha CNC stroje. *Strojirenstvi.cz* [online]. Vydavatelství Nová média, 2020, 10.12.2020 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://www.strojirenstvi.cz/kolaborativni-robot-jako-obsluha-cnc-stroje>

- [27] BEILBY, ALEX. WHAT IS VIRTUAL COMMISSIONING?. *Virtual Commissioning* [online]. MAPLESOFT, 2021 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://virtualcommissioning.com/what-is-virtual-commissioning/>
- [28] *Virtual Commissioning: Scientific review and exploratory use cases in advanced production systems* [online]. 2019. 2019 [cit. 2022-05-14]. ISSN 2212-8271. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827119305839>
- [29] BERNARD, Dave. Virtual commissioning. *TechTarget* [online]. TechTarget, 2018, Červenec 2018 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/searcherp/definition/virtual-commissioning>
- [30] Visual Components: robotická simulace. *Solicad* [online]. Praha: SoliCAD, s.r.o, 2018 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <http://solicad.com/c/visual-components-robotizace>
- [31] What is a digital twin?. *IBM* [online]. Armonk, New York 10504-1722 United States: IBM [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin>
- [32] DOOSAN LYNX 300. *Tecnotrade Obráběcí Stroje* [online]. Tecnotrade obráběcí stroje [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.tecnotrade.cz/obrabeci-stroje/horizontalni-soustruhy/doosan-lynx-300/>
- [33] MTB DG-JGP-P 80-1. In: *Schunk* [online]. SCHUNK GmbH & Co., 2022 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/169208-1490832-mtb-dg-jgp-p-80-1/
- [34] ČSN EN ISO 13857:2021. *Bezpečnost strojních zařízení: Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných zón horními a dolními končetinami*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021
- [35] MULTIFUNCTIONAL GATE BOX MGB-AP. In: *Euchner* [online]. Kohlhammerstraße 16 70771 Leinfelden-Echterdingen: Euchner [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: https://assets.euchner.de/sirius/56271_xxl.jpg
- [36] CO JE OPC? OPC SERVER? OPC KLIENT?. *Foxon* [online]. Made by FOXON s.r.o, 2021, 7.8.2013 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://www.foxon.cz/blog/prakticka-teorie/159-co-je-opc-opc-server-opc-klient>

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

8.1 Seznam zkratk

PLC	Programmable Logic Controller (Programovatelný logický automat)
HMI	Human machine interface (uživatelské rozhraní)
OPC	Ole for Process Control
CNC	Computer Numerical Control (číslicové řízení)

8.2 Seznam tabulek

Tab 1)	Určení předběžného pořadí hodnotících kritérií.....	41
Tab 2)	Stanovení výsledné váhy jednotlivých kritérií	41
Tab 3)	Hodnocení metodou pattern	46
Tab 4)	Struktury proměnných pro jednotlivé zařízení.....	61

8.3 Seznam obrázků

Obr. 1)	Příklad transferové linky [2]	16
Obr. 2)	Pružný výrobní systém PVS 630 [1]	17
Obr. 3)	Průmyslový manipulátor MAXIPERNER EQUO [6]	18
Obr. 4)	Lineární robot KUKA [8].....	19
Obr. 5)	Průmyslový robot společnosti ABB – IRB 2600 [11].....	20
Obr. 6)	SCARA Robot SR-3iA od výrobce FANUC [13]	21
Obr. 7)	Paralelní robot IRB 360 FlexPicker™ [16].....	21
Obr. 8)	Příklad robotického pracoviště [19]	23
Obr. 9)	PLB robotický bin picking systém firmy Sick [20]	24
Obr. 10)	Obráběcí stroj se zabudovaným robotickým ramenem [21]	25
Obr. 11)	Řešení robot to go společnosti Halter [23] (vlevo)	26
Obr. 12)	Řešení robot to go společnosti DMG MORI [24] (vpravo).....	26
Obr. 13)	Kolaborativní robot jako obsluha CNC stroje [26]	27
Obr. 14)	Schéma principu časové úspory při využití digitálního zprovoznění [28]..	29
Obr. 15)	Prostředí programu Visual Components [30].....	30
Obr. 16)	Prostředí programu Tecnomatix Process Simulate	31
Obr. 17)	Prostředí programu RobotStudio.....	32
Obr. 18)	Rozložení pracoviště modelové úlohy	36
Obr. 19)	Obráběný dílec	37
Obr. 20)	Rozhraní pro volbu robota ABB	39
Obr. 21)	Umístění robotu varianta 1	42
Obr. 22)	Umístění robotu varianta 2	43
Obr. 23)	Umístění robotu varianta 3	44
Obr. 24)	Umístění robotu varianta 4	45
Obr. 25)	Model soustruhu v programu RobotStudio (nalevo).....	47
Obr. 26)	Mechanismus sklíčidla v RobotStudiu (napravo)	47

Obr. 27)	Logika smart komponenty soustruhu	48
Obr. 28)	Model zásobníku polotovarů a obrobků	49
Obr. 29)	Logika smart komponenty zásobníku polotovarů	50
Obr. 30)	3D model robotu v RobotStudios.....	50
Obr. 31)	Příruba robotu (nalevo).....	51
Obr. 32)	Paralelní uchopovací chapadlo (napravo) [33].....	51
Obr. 33)	Kompletní sestava nástroje robotu s čelistmi (nalevo).....	51
Obr. 34)	Model nástroje doplněný o pozice pro uchopení (napravo)	51
Obr. 35)	Logika smart komponenty nástroje	52
Obr. 36)	Nástroj se dvěma polotovary a nástroj s jedním polotovarem.....	52
Obr. 37)	Zatěžovací digram robotu	53
Obr. 38)	Indikační majáček umístěný na soustruhu	54
Obr. 39)	Zobrazení nebezpečného prostoru	55
Obr. 40)	Zobrazení nebezpečného prostoru	56
Obr. 41)	Umístění tlačítek nouzového zastavení	56
Obr. 42)	Bezpečnostní zámek dveří Euchner [35]	57
Obr. 43)	Výsledný model pracoviště	57
Obr. 44)	Ukázka cílů a cest robotického programu pro odebírání polotovarů.....	58
Obr. 45)	Schéma spojení RobotStudio/PLC	60
Obr. 46)	Digram části programu CNC_mode_1	63
Obr. 47)	Datové struktury a programové moduly v TwinCATu	64
Obr. 48)	Vizualizace – obrazovka Station OFF	65
Obr. 49)	Vizualizace – obrazovka Manual mode.....	65
Obr. 50)	Vizualizace – obrazovka Manual mode zobrazení signálů.....	66
Obr. 51)	Vizualizace – obrazovka Automatic mode.....	66
Obr. 52)	Vizualizace – obrazovka Automatic mode – zobrazení signálů.....	67

9 SEZNAM PŘÍLOH

Diagram řídicího systému
Pack and Go RobotStudio
Archiv PLC řídicího systému

Diagram řídicího systému.png
Diplomova_prace_Michal_Tecl.rspag
DP_Michal_Tecl.tnzip

PŘÍLOHY

Diagram programu řídicího systému

