

Implementace robotů ve výrobní balící lince

Lukáš Černín

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Lukáš Černín
Osobní číslo:	A22183
Studijní program:	B0714A150006 Aplikovaná informatika v průmyslové automatizaci
Specializace:	Inteligentní systémy s roboty
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Implementace robotů ve výrobní balicí lince
Téma práce anglicky:	Implementation of robots in a manufacturing packaging line

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární rešerši na téma robotické systémy ve výrobním procesu.
- Popište funkci výrobní linky.
- Implementujte roboty do výrobní linky a popište jejich funkci.
- Navrhněte schéma výrobní linky.
- Diskutujte výhody a nevýhody zavedení robotů ve výrobní lince.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Ian GIBSON, David ROSEN a Brent STUCKER. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. New York: Springer, 2015. ISBN 978-1-4939-2112-6.
2. Andreas GEBHARDT a Jan-Steffen HÖTTER. *Additive Manufacturing: 3D Printing for Prototyping and Manufacturing*. Munich: Carl Hanser Verlag, 2016. ISBN 978-1-56990-582-1.
3. Jadran LENARČIČ a Manfred HUSTY. *Latest Advances in Robot Kinematics*. Dordrecht: Springer, 2012. ISBN 978-94-007-4619-0.
4. John J. CRAIG. *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. Edinburgh: Pearson Education, 2014. ISBN 978-1-292-04004-2.
5. Zdeněk KOLÍBAL a kolektiv. *ROBOTY a robotizované výrobní technologie*. VUT v Brně: Nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Aleš Mizera, Ph.D.**
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **13. prosince 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2025**

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 13. prosince 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zaměřuje na studium a implementaci robotů v rámci výrobní balicí linky. Práce je rozdělena do několika částí, které pokrývají teoretické znalosti, současný stav výrobní linky, návrh a realizaci automatizace, a následnou analýzu výsledků. V teoretické části jsou diskutovány historie automatizace, důvody jejího zavádění a aplikace robotiky v průmyslu. Dále jsou zde definováni roboti, jejich činnosti a typy, což poskytuje pevný základ pro pochopení následujících kapitol. Další část práce se věnuje podrobnému popisu současného stavu výrobní linky, včetně již zavedené automatizace a jednotlivých částí linky. Tato část také analyzuje nevýhody současného stavu, které vedou k potřebě další automatizace. Následuje část zaměřená na návrh automatizace linky. Popisuje teoretické fungování celé linky po zavedení robotů, důvody pro přistoupení k zavádění robotů a výrobní procesy, které budou nahrazeny roboty. V kapitole o použití robotů jsou definovány typy robotů, které budou použity, jejich konstrukce a schéma programu jejich fungování. Následná kapitola se zabývá realizací projektu, popisuje postup zavedení automatizovaného pracoviště a kooperaci robotů s lidmi na pracovišti, včetně bezpečnostních opatření. Závěrečná část práce analyzuje výsledky zavedené automatizace, zkoumá přínosy a problémy, které při realizaci nastaly. Celkově tato bakalářská práce poskytuje komplexní pohled na implementaci robotů ve výrobní balicí lince a hodnotí její dopad na efektivitu a bezpečnost výrobního procesu.

Klíčová slova: robotizace, výrobní linka, průmysl

ABSTRACT

The bachelor's thesis focuses on the study and implementation of robots within an industrial packaging production line. The thesis is divided into several sections that encompass theoretical knowledge, the current state of the production line, the design and implementation of automation, and a subsequent analysis of the results. The theoretical part discusses the history of automation, the reasons for its introduction, and the application of robotics in industry. It also defines robots, their functions, and types, thereby providing a solid foundation for understanding the following chapters. Another part of the thesis provides a detailed description of the current state of the production line, including existing automation systems and individual components. This section also analyzes the shortcomings of the current setup, which highlight the need for further automation. The next section focuses on the design of the automation system. It describes the theoretical operation of the production line after the integration of robots, the rationale for their implementation, and the manufacturing processes to be replaced by robotic systems. The chapter on the use of robots defines the types of robots to be employed, their construction, and the program structure governing their operation. The following chapter deals with the practical implementation of the project, outlining the steps involved in establishing the automated workstation and the collaboration between robots and human operators, including safety measures. The final section of the thesis analyzes the results of the implemented automation, evaluating the benefits and challenges encountered during deployment. Overall, this bachelor's thesis provides a comprehensive overview of the implementation of robotic systems in a packaging production line and assesses their impact on the efficiency and safety of the manufacturing process.

Keywords: robotics, production line, industry

Poděkování:

V první řadě bych chtěl velmi poděkovat svému vedoucímu panu doc. Ing. Aleši Mizerovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, rady, veškerou pomoc při zpracování práce a taky za to, že mi pomohl celé toto téma jako bakalářskou práci uskutečnit.

Dále bych chtěl velice poděkovat firmě JDE ve Valašském Meziříčí za to, že jsem mohl u nich praktickou část uskutečnit. Chtěl bych také poděkovat všem jejich zaměstnancům, kteří mi byli u všeho velmi ochotni pomoci, podělili se se mnou o svoje osobní zkušenosti anebo mi věnovali chvilku svého času. Speciální poděkování si zaslouží pan Ing. Marek Čabla za to, že mi tuto spolupráci umožnil.

Poslední poděkování si zaslouží moje rodina a přátelé za mentální podporu, speciální poděkování si pak zaslouží můj tatík, bez kterého bych práci nikdy nedokončil.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	15
I TEORETICKÁ ČÁST	16
1 ZÁKLADNÍ POJMY	17
1.1 ROBOT.....	17
1.2 ROBOTIKA	17
2 DŮVODY ZAVÁDĚNÍ ROBOTIZACE	18
2.1 VÝHODY ROBOTIZACE	18
3 PRŮMYSLOVÉ REVOLUCE	20
3.1 PRŮMYSL 1.0.....	20
3.2 PRŮMYSL 2.0.....	21
3.3 PRŮMYSL 3.0.....	22
3.4 PRŮMYSL 4.0.....	23
3.5 PRŮMYSL 5.0.....	24
4 HISTORIE ROBOTŮ V PRŮMYSLU	25
5 ROBOTY V PRŮMYSLU	28
5.1 PRŮMYSLOVÉ MANIPULÁTORY	28
5.1.1 Kartézský manipulátor	28
5.1.2 Kloubový manipulátor	29
5.1.3 Cylindrický (válcový) manipulátor	29
5.1.4 Delta (paralelní) manipulátor	30
5.1.5 Polární (sférický) manipulátor	30
5.1.6 SCARA manipulátor	31
5.2 KOLABORATIVNÍ ROBOTY	32
5.3 AUTOMATICKY ŘÍZENÁ VOZIDLA (AGV)	32
5.3.1 Autonomní mobilní roboty (AMR).....	33
6 BEZPEČNOSTNÍ RIZIKA ROBOTIZACE	35
6.1 DRUHY NEBEZPEČÍ	35
7 ADITIVNÍ VÝROBA.....	38
7.1 VYUŽITÍ VYROBENÝCH SOUČÁSTEK	38
7.2 POSTUP VÝROBY MODELŮ	39
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	41
8 ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	42
8.1 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	42
8.2 REALIZACE PRAKTICKÉ ČÁSTI	42

8.3	ZÁVOD VE VALAŠSKÉM MEZIŘÍČÍ	42
9	PŮVODNÍ STAV LINKY	44
9.1	POPIS FUNGOVÁNÍ	44
9.2	NEVÝHODY PŮVODNÍHO STAVU	45
9.2.1	Absence člověka	45
9.2.2	Pracovní přestávky	46
9.2.3	Nestálost pracovní pozice	46
9.2.4	Strojové tempo	46
10	NOVÝ STAV BALÍCÍ LINKY	47
10.1	POUŽITÉ ROBOTY	47
10.2	POPIS FUNGOVÁNÍ	48
10.3	VÝHODY NOVÉHO STAVU	48
10.3.1	Náhrada pracovních pozic	48
10.3.2	Práce bez přestávky	49
10.3.3	Pracovní efektivita a kvalita	49
10.3.4	Pracovní rychlost	49
10.4	NEVÝHODY NOVÉHO STAVU	49
10.4.1	Technická obsluha	49
10.4.2	Zaškolení obsluhy	49
10.4.3	Změna nástrojů	50
10.4.4	Mezioperační kontrola výrobků	50
11	ZAVEDENÍ ROBOTŮ NA VÝROBNÍ LINKU	51
11.1	VYKLIZENÍ PRACOVNÍHO PROSTORU	52
11.2	SESTAVENÍ ROBOTIZOVANÉ VÝROBNÍ BUŇKY	53
11.3	NASTAVENÍ LINKY	54
11.4	ZAŠKOLENÍ ZAMĚSTNANCŮ	55
12	3D MINI MODEL	56
12.1	POUŽITÝ ROBOT	57
12.2	3D TIŠTĚNÉ MODEL	57
12.3	FUNGOVÁNÍ PROGRAMU	58
13	BEZPEČNOSTNÍ OPATŘENÍ	59
13.1	OHRANIČENÍ PRACOVNÍHO PROSTORU	59
13.2	BEZPEČNOSTNÍ ZÁMKY	60
13.3	VÝSTRAŽNÉ OZNAČENÍ	60
13.4	VYPÍNACÍ TLAČÍTKA	61
13.5	PROŠKOLENÍ ZAMĚSTNANCŮ	62
14	POČÁTEČNÍ PROBLÉMY	63
14.1	POŠKOZENÍ PŘEVODOVKY	63

14.2	VADNÉ KRABÍČKY	63
14.3	ŠPATNĚ OTEVŘENÝ KARTÓN.....	64
14.4	NADMĚRNÉ OPOTŘEBENÍ SPOTŘEBNÍHO MATERIÁLU	65
15	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ROBOTIZACE.....	66
15.1	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	66
	ZÁVĚR	67
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	69
	SEZNAM OBRÁZKŮ	72
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	74

ÚVOD

Od poloviny 20. století, kdy byly do výroby zavedeny první průmyslové roboty, se jejich počet ve výrobním průmyslu stále zvyšuje. Díky neustálému vývoji jsou roboty schopny vykonávat stále složitější úkoly a jejich využití na mnoha místech tak může překonat lidskou činnost. To platí zejména v průmyslu, v současnosti spousta firem zaměřených na průmyslovou výrobu zboží zvažuje jejich zavedení na některé pracovní pozice, na kterých až doposud pracovali lidé.

Teoretická část se zaměřuje na důvody, které v současnosti vedou k zavádění robotů do výrobního průmyslu na místo lidí. Další kapitola se zaměřuje na historický vývoj průmyslu, který postupně přešel od ruční výroby s využitím těžkých strojů po novodobé továrny využívající pro práci roboty. Dále popisuje historický vývoj robotů v průmyslu a v čem jsou odlišné dnešní průmyslové roboty od těch zavedených v půlce minulého století. Další kapitola definuje současné typy robotů v průmyslu a k čemu se používají. Následuje kapitola s možnými riziky, které nastávají na pracovištích se zvedením robotů. Poslední kapitola pojednává o aditivní výrobě.

Praktická část se zaměřuje na realizaci projektu robotizace části výrobní balící linky ve výrobním závodě JDE ve Valašském Meziříčí. V jednotlivých kapitolách jsou nejprve popsány stavy výrobní linky před a po zavedení robotů, jejich fungování a výhody a nevýhody. Dále je zde popsán postup zavádění, která má poskytnout praktické informace o tom, jak ve skutečnosti v praxi k zavedení robotů dochází. Pro lepší představu o pracovní činnosti zavedených robotů byl sestaven mini model s využitím malého robotu Braccio TinkerKit ovládaného s pomocí Arduina, který s pomocí dílů vyrobených přes aditivní výrobu simuluje skutečný pracovní provoz zavedených robotů. Poslední kapitoly jsou zaměřené na bezpečnostní opatření, které musely být kvůli robotům zavedeny, neočekávané problémy, které za začátku se zavedením robotů nastaly, a závěrečné zhodnocení výsledků dosažených robotizací.

Cílem bakalářské práce by mělo být přiblížení pohledu na skutečný proces zavádění robotů do průmyslu s uvedením získaných praktických znalostí. Vykonávání této pracovní činnosti je totiž možnou budoucí pracovní náplní absolventů studijního oboru robotiky.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ POJMY

1.1 Robot

Robot je programovatelný stroj, který plní předem daný úkol. Dnes mají široký okruh využití, používají se v průmyslu, ve zdravotnictví, ve vědě a výzkumu, ve vojenství a taky domácnostech. [1][2]

1.2 Robotika

Robotika je vědní obor inženýrství a informatiky, který se zabývá koncepty, návrhy, výrobou a provozem robotů. Cílem oboru robotiky je vytvořit inteligentní stroje, které budou různými způsoby pomáhat lidem nebo nahrazovat jejich činnost. Využívá k tomu mechaniku, elektroniku a programování.[1][2]

Mechanika a mechanická konstrukce se zaměřuje na to, aby byl robot schopný vykonat úkoly v prostředí, pro které byl navržen. Elektronika a elektrické součástky zajišťují napájení robota a umožňují ovládat všechny pohyblivé a funkční prvky. Nejčastěji se využívá elektrický proud dodávaný z baterií. Programování a program robota zajišťují sadu instrukcí, které říkají, co a jak má robot vykonat. Bez programu by byl robot jen obyčejný stroj bez vlastní inteligence.[2]

2 DŮVODY ZAVÁDĚNÍ ROBOTIZACE

Hlavní důvod k nárustu ve využívání průmyslových robotů je jejich postupně klesající cena. Během deseti let se od roku 1990 snižovaly ceny robotů, zatímco náklady na lidskou pracovní sílu rostly. Roboty kromě toho nejsou jenom levnější, jsou i více efektivní, rychlejší, přesnější a také mnohem všestrannější. Stávají se více efektivní pro práci z hlediska peněz a s naopak rostoucími náklady na lidskou práci tak mají za následek, že se stále více a více pracovních míst v průmyslu stává kandidáty pro nahrazení lidské práce roboty.[3]

2.1 Výhody robotizace

Úleva pro pracovní sílu

Podle odhadů odporníků například v Německu chybí ročně až 400 000 kvalifikovaných pracovníků. Kromě demografického vývoje, hlavním důvodem jsou i nevhodné pracovní podmínky, které značně komplikují nábor potřebných nových zaměstnanců.[4]

Zlepšením pracovních podmínek je možné zmírnit problém s nedostatkem pracovníků. Roboty zjednodušují práci svým lidským kolegům. Přebírají totiž pracovní činnosti, kterým se lidé vyhýbají kvůli nevhodným nebo náročným pracovním podmínkám. Roboty také můžou například vykonávat práci, která je velmi monotónní anebo může být i nebezpečná pro lidské zdraví.[4]

Díky automatizaci se tak lidští pracovníci mohou soustředit na pestřejší a bezpečnější práci, což celkově zlepšuje pracovní podmínky a také to má pozitivní vliv na spokojenost zaměstnanců. Poté je například snazší nábor nových zaměstnanců, protože práce má lepší pověst.[4]

Zlepšení kvality

Na rozdíl od robotů lidé po určité době dosáhnou svého maxima. Následně se unaví a lidé začnou při práci i častěji dělat chyby, což se poté odráží i na kvalitě. Roboty mají v tomto směru výhodu, protože se neunaví a jsou schopny pracovat bez přestávky. Zároveň díky přesnosti mají stále stejnou úroveň kvality, a i po tisících opakování nemusí být znát žádná výrazná odchylka. Tato schopnost je důležitá při zajištění vysoké kvality výroby, protože k té je potřeba vysoká míra konzistence. Lepší kvalita výrobků má zároveň pozitivní dopad na loajalitu zákazníků, spokojení zákazníci se totiž budou častěji vracet a znovu nakupovat.[4]

Zvýšení produktivity

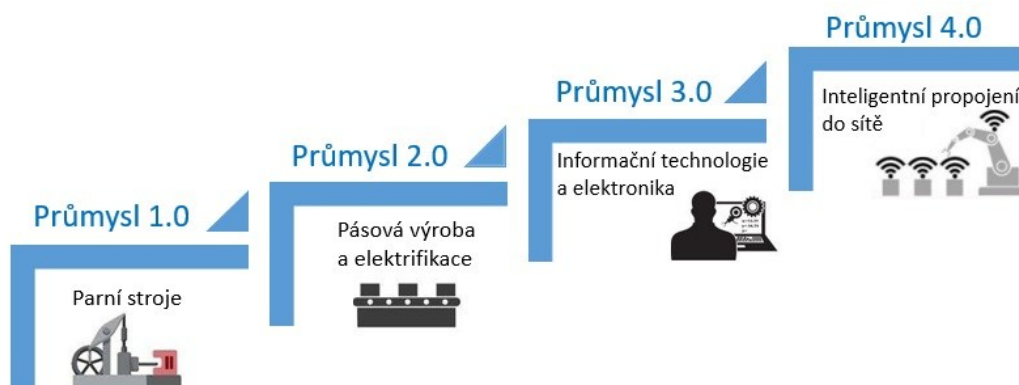
Zvýšení produktivity je pozitivní výsledek, který byl díky zavedení robotické automatizace dosažen. Díky tomu je totiž výroba více a více efektivní a možná výroba tak má maximální výsledky. Díky zlepšování kvality se totiž méně často stávají chyby, které by vedly k výrobě vadných výrobků, nutným opravám a potřebě přepracování produktu. Snižuje se tím celkový výrobní čas a má to pozitivní dopad na využití pracovních zdrojů.[4]

Na zvýšenou produktivitu vlivem robotiky má i nepřímo vliv celková spokojenost zaměstnanců. Vyvážením pracovní zátěže zaměstnanců menším množstvím opakujících se nebo fyzicky náročných prací dochází k tomu, že jsou zaměstnanci více motivovaní a také více oddaní své práci.[4]

Nejvíce zřejmý vliv na zvýšenou produktivitu má však fakt, že roboty umožňují nepřetržitou výrobu, protože pracují bez přestávky. Díky některým robotům je tak možné zavést například bezobslužné noční směny, což zvyšuje celkový objem výroby. Když si tomu připočítáme ještě snížení provozních nákladů, můžou roboty často dosáhnout návratnosti své investice během několika měsíců od zavedení.[4]

3 PRŮMYSLOVÉ REVOLUCE

Po celé staletí bylo zboží, včetně potravin, oblečení, domů a zbraní, vyráběny ručně nebo za pomoci tažných zvířat. Na počátku 19. století však začala výroba procházet dramatickými změnami s nástupem první průmyslové revoluce a výrobní procesy se od té doby rychle rozvíjely.[5]

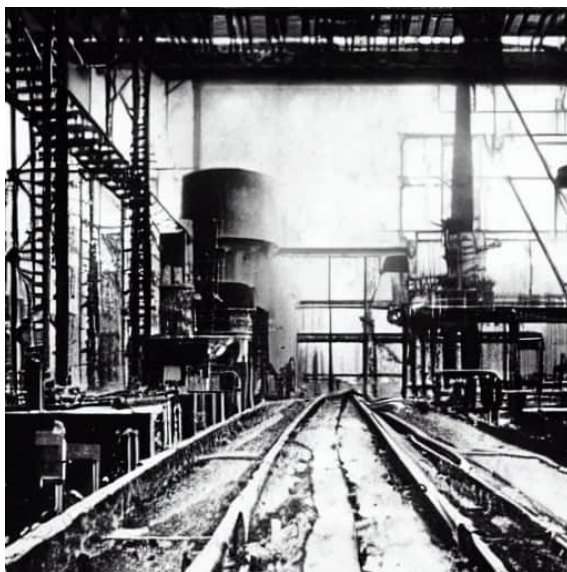


Obrázek 1 - Průmyslové revoluce [6]

3.1 Průmysl 1.0

První průmyslová revoluce, taktéž známá jako Průmysl 1.0 nebo jednoduše průmyslová revoluce, začala s vyvinutím mechanismů využívajících vodní a parní energii k pohánění průmyslových strojů v 18. století. Toto období industrializace změnilo zaměření společnosti z agrárního na průmyslové, což dalo vznik strojům schopných vyrábět zboží, které bylo až do té doby vyráběno ručně. Toto bylo prováděno v továrnách, které společně se zlepšenou a efektivnější dopravou umožnily přesun zboží na delší vzdálenosti a za nižší náklady než dříve.[7][8]

Klasickými příklady jsou vodou poháněné tkalcovské stroje používané k výrobě látek v továrnách a parní vlaky, které přepravovaly lidi a zboží do továren a na trhy. Zemědělství bylo také mechanizováno, což umožnilo efektivnější produkci potravin a umožnilo pracovníkům na farmě se přesunout do větších měst, kde mohli pracovat v továrnách. [8]



Obrázek 2 - Továrna během Průmyslu 1.0 [7]

3.2 Průmysl 2.0

Druhá fáze průmyslové revoluce, Průmysl 2.0, vznikla koncem 19. a začátkem 20. století, kdy se elektrická energie stala hlavním zdrojem energie. Byla jednodušší na používání, než byla voda a pára. Postupně byly navrženy stroje s vlastními zdroji energie, což je činilo přenosnějšími. Během tohoto období také vznikla v průmyslu řada řídicích programů, díky kterým se zvýšila efektivita a účinnost výrobních zařízení. Dělení práce, kde každý pracovník vykonává jednu část z celkového úkolu, zvýšilo produktivitu. Stalo se také běžné vyrábění zboží pomocí montážních linek. Představením pohyblivé montážní linky Henrym Fordem v roce 1913 byla revoluce pro výrobu v automobilovém průmyslu. Díky tomu se automobily staly cenově dostupnějšími a přístupnějšími pro širokou veřejnost.[5][7]



Obrázek 3 - Pohyblivá automobilová výrobní linka [9]

3.3 Průmysl 3.0

Pro Průmysl 3.0 jsou charakteristická elektrická zařízení, jako je tranzistor, procesor, integrované obvody a počítače, které se díky zdokonalování technologií staly menšími, výkonnějšími a flexibilnější na použití. Díky tomu bylo možné plně automatizovat jednotlivé stroje a tím doplnit chybějící operátory nebo je přímo nahradit.[5][8]

Během tohoto období také vznikl vývoj softwarových systémů využívajících elektronického hardwaru. Integrované systémy, jako je plánování požadavků na materiál, počítačem podporované navrhování (CAD) a počítačem podporovaná výroba (CAM) umožnily přesnou a efektivní výrobu. Robotizace a automatizace se staly nedílnou součástí továren, snížily mzdové náklady a zvýšily produktivitu. Za účelem snížení nákladů se také mnoho výrobců rozhodlo, že přesune výrobu součástek a montážních operací do méně rozvinutých zemí s nízkými náklady. Tím vznikl také rozvoj světového dodavatelského řetězce. [5][7]



Obrázek 4 - Robotizace v průmyslu 3.0 [10]

3.4 Průmysl 4.0

Pojem Průmysl 4.0 vznikl poměrně nedávno, v roce 2011, kdy byla pod tímto názvem v Německu zahájena iniciativa, která měla za úkol posílit konkurenceschopnost německého zpracovatelského průmyslu. Hlavními charakteristikami pro Průmysl 4.0 jsou zavedení chytrých technologií, jako je „Internet of Things“ (IoT), která umožňují systémům navzájem sdílet informace, analyzovat je a používat je k provedení dalších akcí, umělá inteligence a analýza velkého množství dat. Průmyslové roboty hrají v tomto jednu z klíčových rolí. Od konce 20. století prošly značným vývojem. Stávají se čím dál produktivnějšími, flexibilnějšími, všestrannějšími, bezpečnějšími a schopni více spolupracovat, čímž mají v Průmyslu 4.0 neskutečnou hodnotu.[5][7][11]

Průmysl 4.0 také zavádí „chytré továrny“, které mají být srdcem průmyslu, ve kterých bude možné vytvořit nejlepší cestu výroby zboží a v případě nouze vytvořit alternativu. Mají být schopné převzít informační a komunikační technologie pro evoluci v dodavatelském řetězci a výrobní lince, čímž se zavede mnohem vyšší úroveň automatizace i digitalizace. To znamená využívat stroje se schopností sebeoptimalizace, vlastní konfigurace a třeba i umělou inteligenci k dokončení složitých úkolů a poskytnout výrazně vyšší efektivitu nákladů a lepší kvalitní zboží nebo služby.[7][11]



Obrázek 5 - Propojení v průmyslu 4.0 [12]

3.5 Průmysl 5.0

Průmysl 5.0 představuje další fázi průmyslové revoluce, která je zaměřená na inovace týkající se člověka. Nová fáze průmyslové revoluce tak nejspíš změní budoucnost práce. Klíčovými vlastnostmi Průmyslu 5.0 je zaměření se na člověka, udržitelnost a odolnost. Oproti svým předchůdcům klade Průmysl 5.0 důraz na spolupráci mezi lidmi a stroji a využívá jejich silné stránky k dosažení optimálních výsledků. Roboty a lidé by tak měli spolupracovat ve společném pracovním prostoru, a tím zvyšovat pracovní produktivitu a snižovat fyzickou námahu lidských pracovníků. Podporování spolupráce mezi lidmi a stroji si klade za cíl vytvořit inkluzivnější a naplňující pracovní prostředí. Pracovníci by se díky tomu měli moci soustředit na kreativní a složité úkoly, zatímco opakující se a nebezpečné úkoly budou zvládat roboty.[7][13]

Cílem udržitelnosti je, aby průmysl respektoval hranice naší planety. K tomu by se měly vyvinout oběhové procesy, které znovu použijí, znovu použijí a recyklují přírodní zdroje, sníží odpad a dopad na životní prostředí, a nakonec povedou k oběhovému hospodářství s lepší účinností a efektivitou zdrojů. Odolnost se poté zabývá potřebou vyvinout vyšší stupeň odolnosti v průmyslové výrobě, lépe ji vyzbrojit proti výpadkům a zajistit, aby mohla poskytovat a podporovat kritickou infrastrukturu v dobách krize. Budoucí průmysl musí být dostatečně odolný, aby se mohl rychle vypořádat s politickými posuny a přírodními mimořádnými událostmi.[13]



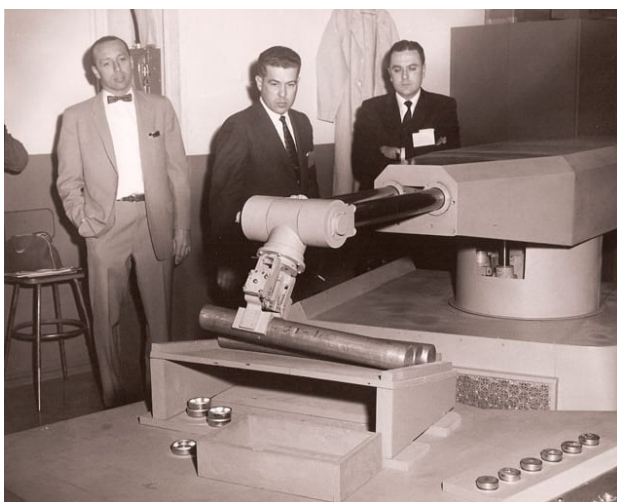
Obrázek 6 - Spolupráce člověka s robotem [14]

4 HISTORIE ROBOTŮ V PRŮMYSLU

Ranná průmyslová revoluce představila mnoha jednotkové zpracování produktů pro širokou spotřebu. V té době továrny používaly extrémní technologie pro vytápění a chlazení, velmi těžké stroje a obrovské zařízení, které chrlily olej a kouř, a tím přímo vystavovaly lidské pracovníky ohrožení. Znečištění ničilo lidem plíce a těžká práce byla duševně náročná. Práce, na kterou bychom dnes použily roboty, byla označována jako „špinavá, nebezpečná nebo taky nudná“.[15]

Po druhé světové válce, když se automobilový průmysl rozjel na plné obrátky, bylo to zároveň s nástupem počítačů, což udělalo z průmyslových robotů přirozené partnery v průmyslu. Počítače mohly předepisovat kroky, které robot při své práci vykonával, a tím bylo možné dosáhnout, aby byl každý pohyb stejný a každý výrobek jednotný.[15]

Prvního průmyslového robota vytvořili George Devol a Joseph Engelberger v 50. letech 20. století. Vážil dvě tuny a byl ovládaný programem zapsaným na magnetickém bubnu. Využili k tomu hydraulické aktuátory a pro programování použili kloubové souřadnice, což znamená, že během fáze učení se uložily úhly natočení různých kloubů a při provádění programu se přehrávaly. Přesnost byla na 1/10 000 palce.[16]



Obrázek 7 - První průmyslový robot [16]

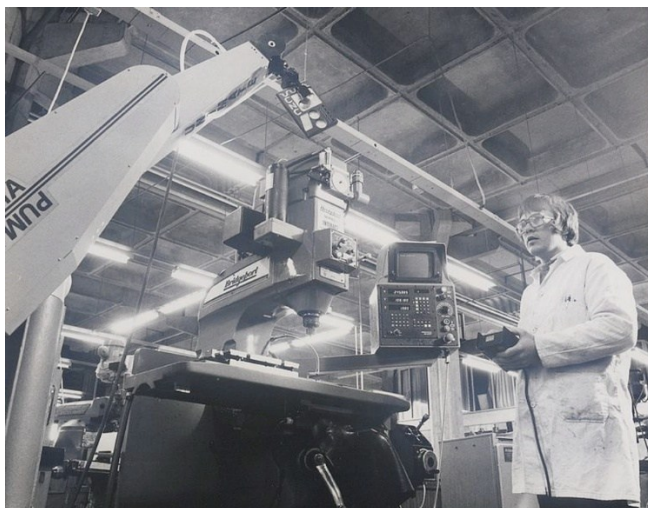
Na montážních linkách se začaly poprvé komerčně využívat na počátku 60. let 20. století. Většina měla hydraulická nebo pneumatická ramena a primárně se používaly pro zvedání těžkých nákladů. I přestože zařízení byla docela primitivní, neměly žádné senzory a měly jenom omezenou programovatelnost, ukázaly se jako neocenitelný nástroj, který umožnil

zvýšení výroby ve výrobních závodech, a tím i odstartovaly dlouhou éru vývoje robotiky.[17]

V průběhu konce 60. a začátku 70. let 20. století, se v průmyslu zvyšoval požadavek na automatizaci úkolů, které byly fyzicky náročné pro lidskou sílu. Zaměření průmyslové robotiky se tak změnilo z pouhého zvedání těžkých břemen na manipulaci s materiálem a přesnou práci. Tím vzniknul vývoj menších elektrických robotů se složitějšími ovládacími prvky, mikroprocesory, miniaturizovanými motory, gyroskopy a servomotory. Tím se staly roboty ideální i na lehčí montážní úkoly, jako je utahování šroubů a matic.[17]

Na konci 70. let se možnosti robotů ještě dále rozšířily. Jejich práce nyní zahrnovaly úkoly, jako je přenos materiálu, lakování a obloukové svařování. Začaly se také používat na nebezpečné úkoly ve výrobních závodech. Například v ocelárnách se roboty využívaly k přesunu dílů a materiálů v prostředí s extrémně vysokou teplotou, která byla pro lidské pracovníky nehostinná. Díky tomu se velice zlepšila bezpečnost ve výrobních zařízeních a také bylo možné uvolnit kvalifikované dělníky, aby se soustředili na důležitější výrobní procesy, čímž se zvýšila pracovní efektivita.[17]

V polovině 80. let o robotiku vzrostl zájem a byla vnímána jako klíčová pro budoucnost. Inženýři se snažili posouvat hranice technologických možností, aby podpořili průmyslový rozvoj a zlepšili konkurenceschopnost výroby. Se začátkem využívání pokročilých senzorů a systémů pro strojové vidění vznikl v této době základ pro dnešní průmyslové roboty.[17]



Obrázek 8 - Robot z 80. let [17]

Vývojem těchto technologií společně s výrazným snížením nákladů na počítačové komponenty, jako jsou mikroprocesory, vedl k rychlému zlepšení schopností průmyslových

robotů. Výsledkem je, že se roboty transformovaly z jednoduchých mechanických nástrojů určených k opakování úkolů na sofistikovanější zařízení, která vykazovala to, co mnozí označovali jako „omezenou inteligenci“.[17]

Od začátku 21. století se rozvoj průmyslové robotiky zaměřil do značné míry na pokroky v softwaru. Nově vznikající oblasti, jako strojové učení (ML) a umělá inteligence (AI). Ty jsou schopny posouvat hranice toho, co roboty dokážou. Umožňují jim učit se, zlepšovat se anebo učinit rozhodnutí bez lidského zásahu.[17]

V současnosti je většina průmyslových robotů vybavena množstvím pokročilých senzorů, které shromažďují obrovské množství dat. Při kombinaci těchto dat s pokročilým analyzováním a softwarem pro strojové učení, jsou roboty schopny využít data k tomu, aby se přizpůsobily, upravily své mechanické pohyby a lépe vykonávaly svůj pracovní úkol. Současní robotičtí inženýři si kladou za cíl dát robotům „skutečnou inteligenci“.[17]

V nadcházejících letech by tak měly být průmyslové roboty stále chytřejší a dokázat vykonávat složitější úkoly s efektivitou, která je mimo lidské schopnosti. Také by měly být schopny bezpečně pracovat vedle lidí ve výrobním prostředí. K tomu už dnes dochází díky vzniku kolaborativních robotů.[17]

5 ROBOTY V PRŮMYSLU

Spousta výrobců ve svých továrnách a skladech využívá průmyslové roboty k automatizaci pracovních činností, pro zvýšení bezpečnosti lidských pracovníků a zvýšení celkové efektivity výroby zároveň se snížením provozních nákladů a odpadu. Roboty provádí pracovní úkoly jako je montáž produktu, manipulace s materiálem a další. Mohou být konstruovány tak, aby zvládly manipulovat s extrémně těžkými náklady, např. v automobilovém průmyslu, nebo aby byly extrémně přesné a rychlé, např. pro výrobu elektroniky nebo balení menších produktů. S tím, jak jsou průmyslové roboty stále více implementovány do výrobních prostředí, vznikl požadavek na různé typy průmyslových robotů, které by byly co nejvíce vhodné pro konkrétní využití v různých průmyslových odvětvích. [18][19]

5.1 Průmyslové manipulátory

Podle Mezinárodní Federace Robotiky můžeme průmyslové robotické manipulátory rozdělit podle jejich mechanické konstrukční struktury.[20]

5.1.1 Kartézský manipulátor

Kartézské manipulátory mají asi tu nejvíce přímočarou konstrukci. Mají 3 prizmatické klouby, které jsou na sebe navzájem kolmé a každý z nich koresponduje jako jedna z os X, Y a Z Kartézského systému souřadnic.[3][21]

Manipulátory s touto strukturou jsou velice pevné, díky čemuž je možné s jejím provedením postavit velmi velké roboty. Jsou tak často nazýváni jako portálové roboty, protože se podobají mostovým portálovým jeřábům. Roboty s tímto provedením tak občas manipulují s celým autem nebo kontrolují celé letadlo.[3]

Další výhodou je, že první tři osy jsou oddělené, což je dělá jednoduchými pro navržení a předchází to kinematickým singularitám. Hlavní nevýhoda pak je, že všechno spojené s jeho použitím musí být umístěné „uvnitř“ robota. Pracovní buňky jsou proto silně závislé na konkrétním použitém stroji. Podpůrná konstrukce svou velikostí omezuje možnosti umístění upínačů a senzorů. Je proto poměrně těžké umístit roboty s touto konfigurací do již existujících pracovních buněk.[3]



Obrázek 9 - Kartézský manipulátor [19]

5.1.2 Kloubový manipulátor

Manipulátor, který má 3 a více rotačních kloubů, pomocí kterých napodobuje pohyb lidské paže. Tyto stroje jsou schopny vykonat široké množství pohybů a flexibility. Jsou schopny ohýbat se, kroutit a dosáhnout tak na složitá místa, čímž můžou provádět obratné úkoly, jako je montáž, balení, lakování, a dokonce i zvládnout operace.[3][19]

Manipulátory tohoto typu minimalizují vnikání své vlastní struktury do svého pracovního prostoru, díky čemuž jsou schopni se dostat i do stísněných prostorů. Oproti Kartézským robotům vyžadují mnohem méně struktury, čímž jsou mnohem levnější pro zavedení do míst s malým pracovním prostorem.[3]

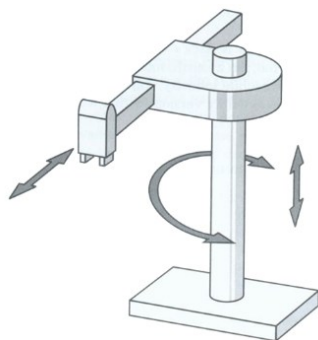


Obrázek 10 - Kloubový manipulátor [19]

5.1.3 Cylindrický (válcový) manipulátor

Tyto manipulátory mají jedno výsuvné rameno, které se otáčí a pohybuje na pevné kruhové základně. Základna, která má tvar válcového sloupu, podporuje konfiguraci, která se skládá z jednoho rotačního a dvou lineárních kloubů. Podle toho taky dostaly tyto manipulátory svůj název. Díky svému kompaktnímu návrhu jsou ideální pro práci v omezených prostorách a mohou v určitém poloměru manipulovat s objekty z různých úhlů. Typická je

pro ně přeprava těžkých břemen a jsou obzvlášť používané pro svařování, balení a obsluhu strojů.[18]



Obrázek 11 - Cylindrický manipulátor [19]

5.1.4 Delta (paralelní) manipulátor

Delta manipulátory jsou velmi rychlé stroje postavené obvykle ze tří samostatně ovládaných ramen, které jsou společně připojené na společnou trojúhelníkovou základnu. Díky jejich unikátnímu navržení, kdy se motory namísto jednotlivých ramen připojí k tělu, jsou tyto manipulátory známy svou výjimečnou rychlostí a obratností. Tito pavouky připomínající roboty se specializují na rychle se opakující akce, jako jsou úkoly pick&place ve výrobě a balení. [18]

Sériové manipulátory mají každý kloub propojený s kloubem před ním nebo základnou. U paralelních manipulátorů nejsou klouby navzájem spojeny, mají základnu, na kterou jsou připojeny, a současně je každý z nich připojený na koncový efektor. [22]



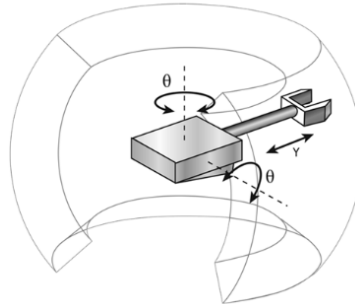
Obrázek 12 - Delta manipulátor [19]

5.1.5 Polární (sférický) manipulátor

Polární konfigurace má mnoho společného s kloubovou. Koncový kloub je však místo rotačního nahrazený prismatickým. Toto navržení se tak více hodí pro některé využití, než

je konstrukce s rotačním koncovým kloubem. Prismatický kloub může být teleskopický nebo taky „vyčínívat dozadu“, když je zasunutý.[3]

První průmyslový robot, Unimate, který se začal používat na montážních linkách v roce 1961, měl konstrukci právě podle tohoto návrhu.[18]



Obrázek 13 - Polární manipulátor [19]

5.1.6 SCARA manipulátor

Manipulátory Selective Compliance Assembly Robot Arm (SCARA) se skládají ze tří paralelních rotačních kloubů, které umožňují pohyb a orientaci v rovině, a jednoho prismatického kloubu pro pohyb s koncovým efektořem pro vertikální pohyb. Jednou z hlavních výhod tohoto provedení je, že první tři osy nemusí nést žádnou váhu manipulátoru nebo nákladu. Navíc první spoj může být vybaven aktuátory pro první dva klouby, díky čemuž mohou být aktuátory velmi velké, takže se pak díky nim může i robot pohybovat velmi rychle. SCARA manipulátor se může pohybovat až 30 stop za sekundu, což ho dělá až desetkrát rychlejším, než je většina kloubových robotů. Jsou tak nejlepší pro úkoly, které se provádí v jedné rovině.[3][21]



Obrázek 14 - SCARA manipulátor [19]

5.2 Kolaborativní roboty

Kolaborativní roboty můžeme nazvat také kooperativními roboty nebo robotickými asistenty. Roboty jsou navrženy pro přímou spolupráci s člověkem nemusí mít značně odlišný design od standardního průmyslového robotu, musí však být vybaveni dalšími bezpečnostními komponenty. Pracovní prostor okolo robotu musí být monitorován, protože roboty musí zareagovat na přítomnost člověka, cizího předmětu nebo také na případnou kolizi. Roboty jsou proto vybaveny senzory, pomocí kterých mohou reagovat na přerušení v práci a přechodem do bezpečného režimu, který zastaví pracovní činnost, předejít zranění.



Obrázek 15 - Kolaborativní robot na FAI [zdroj: vlastní]

5.3 Automaticky řízená vozidla (AGV)

Automaticky řízená vozidla (AGV) jsou určené pro manipulování s materiálem nebo přenášení nákladu. Dokážou se bez řidiče nebo operátora na palubě autonomně pohybovat po celém skladu, distribučním centru nebo výrobním závodě.[23]

Spoléhají se přitom na cesty, které jim byly předem stanoveny. Jejich dráhy se vymezují pomocí drátů umístěných do podlahy, speciálních pásek nebo jinými druhy vodítek. Pokud přitom narazí ve své cestě na překážku, dokážou pouze zastavit a zavolat si o pomoc.[21]

Používají se na úkoly, na které jsou běžně využívány vysokozdvizné vozíky, přepravníky nebo ruční vozíky. Typická je opakovaná přeprava velkého množství výrobního materiálu. Můžou tak přepravovat přijaté suroviny do skladu nebo doručovat materiál přímo do výrobní linky. [23]

5.3.1 Autonomní mobilní roboty (AMR)

Kdybychom porovnali vozítko s provedením AGV oproti AMR, jsou automaticky řízená vozidla (AGV) starší technologií, než jsou autonomní mobilní roboty (AMR). Rozdíly mezi nimi jsou ale čím dál menší, i některé AGV se už nyní dokážou vyhnout překážce na své cestě. [21]

Jsou technologicky vyspělejší než jiné typy automaticky řízených vozidel. Oproti automaticky řízeným vozidlům, z nichž většina využívá pevně dané navigační systémy, jako jsou dráty nebo magnetické pásy, autonomní mobilní roboty jsou vybaveny inteligentními navigačními systémy, které využívají kamery a senzory, a tím jsou schopni detekovat překážky a najít cestu okolo ní. Díky tomu se mohou mnohem dynamičtěji pohybovat skladem nebo jinými prostory a najít si nejvíce efektivní cestu.[23]

Autonomní mobilní roboty (AMR) ve formě vozíků nebo vozidla s koly se obvykle používají pro přepravu zboží v továrně nebo skladišti. Díky vybaveným senzorům, palubnímu výpočetnímu výkonu a elektromotorům, jsou schopni se pohybovat po objektu a vytvářet jeho vnitřní mapu. Tato činnost se často provádí s osobou, která sleduje AMR kolem a vede jej pomocí dálkového ovládání. [21]

Jakmile má AMR vytvořenou vnitřní mapu objektu, může dostat instrukce k místům, ke kterým má přijet. Klíčovou vlastností pro ně je, že dokážou nezávisle přejíždět z jednoho místa na druhé a vyhýbat se překážkám v cestě. Pokud jim tak cestu zablokuje osoba, vysokozdvizný vozík nebo jiný předmět, dokážou se překážce vyhnout a objet ji nebo si naplánovat zcela novou trasu.[21]



Obrázek 16 - Autonomní mobilní robot Omron na FAI [zdroj: vlastní]

6 BEZPEČNOSTNÍ RIZIKA ROBOTIZACE

Pracovní roboty mají spoustu výhod. Jsou schopny vyšší produkce, efektivity a přesnosti než lidé. Většinou se používají na úkoly, které jsou fyzicky namáhavé a mají negativní dopad na lidské zdraví nebo je u nich velké riziko nehody. [24]

Navzdory tomu, že pracovní roboty přináší výhody z hlediska bezpečnosti, protože můžou zabránit zraněním a negativním dopadům na lidské zdraví z práce v nebezpečném prostředí, mohou taky představovat spoustu bezpečnostních rizik a potenciálně způsobit nehody, a to obzvlášť v prostředí, kde dochází ke kontaktu s lidmi. Řešením těchto rizik zaváděním bezpečnostních opatření, školením zaměstnanců a pravidelných hodnocení rizik může pomoci firmě výrazně snížit potenciál pro výskyt nehod spojených s účastí robotů.[24]

Základní povinností výrobce během navrhování nového robotu nebo robotického systému je identifikovat všechna nebezpečí, které může vytvářet. Sepsáním potenciálních rizik může při zavádění konstruktérovi pomoci identifikovat hrozby spojené s konstrukcí, životním cyklem a vzhledem k pracovnímu prostředí, kde bude robot používán. [25]

6.1 Druhy nebezpečí

Mechanické nebezpečí

Mechanická nebezpečí robotických systémů mohou spočívat v zatížení nebo vymrštění pracovních objektů nebo únik provozních kapalin. Možnými riziky pro člověka tak může být, že dojde ke zranění následkem pádu nebo nárazu do části robotu, pořezení nebo bodnutí o ostré části koncového efektoru nebo únik vysokotlakých kapalin či plynů. Příčinami můžou být důsledkem poruch, opotřebení nebo neoprávněná přítomnost lidí v blízkosti robotu během samotného pracovního chodu. Kriticky důležitá je u robotů pravidelná údržba, ale ani ta nedokáže všem poruchám zabránit.[25][24]

Elektrické nebezpečí

Toto nebezpečí je spojeno s úrazem elektrickým proudem, který může být i smrtelný, šokem, popálením nebo vystřelením roztavených částic. Nejčastějším důvodem vzniku úrazů je nechtěný dotyk člověka částí pod napětím, buď v důsledku normální činnosti robotu či robotického systému nebo poruchy. Člověk může zároveň utrpět zranění důsledkem pádu, ke kterému může dojít kvůli překvapení ze zásahu elektrického proudu.[25]

Tepelné nebezpečí

Tepelné nebezpečí může způsobit vážné zranění popálením. Ke zranění dojde při kontaktu člověka s předmětem nebo povrchem s velmi vysokou teplotou, velmi nízkou teplotou nebo tepelným zářením. [25]

Nebezpečí vytvářené hlukem

Hluk se nemusí šířit pouze vzduchem, ale i pevnou hmotou nebo kapalinou. Může tak způsobovat následky ztrátu sluchu, stres nebo únavu a ztrátu pozornosti.[25]

Nebezpečí vytvářené vibracemi

Intenzivní vibrace nebo menší vibrace působící delší dobu mohou způsobit např. poškození páteře. Působením po celém těle také vytváří velké nepohodlí. Příčinou intenzivních vibrací může být nesprávná nebo nevhodná montáž.[25]

Nebezpečí vytvářené zářením

Záření může mít okamžité zdravotní následky. Jedná se o např. popálení, poškození očí a kůže nebo také genetickou mutaci. Zranění mohou být způsobené přítomností např. laserů nebo samotným zářením.[25]

Nebezpečí vytvářené materiály a látkami

Materiály a látky, které se ať už zpracovávají, používají, vyrábějí nebo odvádějí od robotu nebo materiály použité pro jeho konstrukci, mohou být nebezpečné. Kontaktem s nebezpečnou látkou může dojít k ohrožení lidského zdraví. Nebezpečné látky rovněž mohou způsobit vznik požáru nebo výbuchu.[25]

Ergonomické nebezpečí

Špatné přizpůsobení robotického systému lidským vlastnostem a schopnostem může mít vliv na fyziologii člověka, způsobené vlivem např. nevhodné polohy těla nebo námahou, nebo také psychofyziologii obsluhy, která může být vystavena následkům stresu nebo duševního přetížení. Člověk tak pak může při obsluze dělat chyby. Příkladem příčin je např. špatné umístění a rozvržení ovládacích panelů nebo také špatná přístupnost k některým částem třeba při vykonávání údržby.[25]

Nebezpečí spojené s prostředím, ve kterém je robot či robotický systém používán

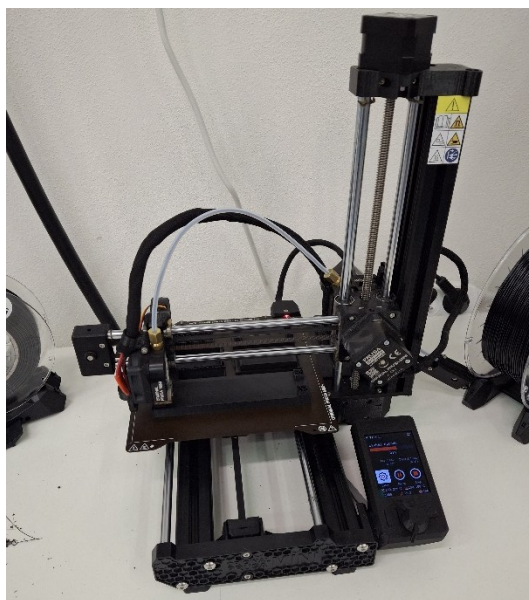
Umístění do špatného prostředí může mít za následek, že pracovní předměty vypadnou, obsluha může uklouznout nebo mít zdravotní obtíže spojené s dýcháním, popálením anebo další nemoci. Příčinou může být vlhkost nebo teplota okolí, nadmořská výška nebo taky seismická aktivita.[25]

Kombinace nebezpečí

Je potřeba rozpoznat i menší nebezpečí, které nemusí být sama tak závažná, ale jejich kombinací může dojít k nebezpečí rovnocennému jednomu z významnějších. Může jít např. o selhání systému následkem kombinace mnoha menších poruch.

7 ADITIVNÍ VÝROBA

Aditivní výroba je odborný termín pro to, čemu se dneska velmi rozšířeně říká 3D tisk. Pojem 3D tisk nejspíše nahradí v budoucnosti všechny ostatní označení, protože je velmi jednoduchý na pochopení. Při aditivní výrobě dochází k vytváření požadovaného tvaru postupným přidáváním vrstev materiálu na sebe. Jedná se o vrstvou technologii, jejímž základem je, že je teoreticky možné kterýkoliv objekt bez ohledu na složitost nebo geometrii rozložit na vrstvy, pomocí kterých je poté možné ho zase znovu sestavit. Jedná se o automatizovaný výrobní proces, je k němu potřeba znát data o 3D součástce, běžně se tomu říká virtuální model výrobku.[26][27]



Obrázek 17 - 3D tiskárna FAI [zdroj: vlastní]

7.1 Využití vyrobených součástek

Aditivní výroba se používala původně pro vytvoření modelů výrobků v průběhu toho, co byly ještě ve vývoji. Nikoho nepřekvapí, že fyzický model může být mnohem více nápomocný pro pochopení záměru výrobce při jeho prezentování než jenom pouhý náčrt. I když je náčrt jednodušší a rychlejší pro vytvoření, nakonec stejně ale většinou jsou potřeba modely pro schválení navrhovaného výrobku. S postupným časovým vývojem se zlepšovaly používané materiály, přesnost a také kvalita výrobků. To umožnilo, že se tak modely začaly používat pro zjištění informací ohledně tvaru, zapadnutí a funkčnosti. Na původním modelu se nejprve zhodnotil jeho tvar, jestli seděl našim požadavkům. Dále jsme

se díky zlepšení přesnosti mohli modely vyrobit podle požadavků a dozvědět se, jestli by nám výrobek při použití zapadal. Zlepšení odolnosti materiálu pak umožnilo, že můžeme vyzkoušet, jestli model opravdu funguje a tím ověřit funkčnost.[26]

7.2 Postup výroby modelů

K tomu, aby bylo možné z virtuálního popisu modelu s pomocí CAD softwaru vytvořit fyzický model, je potřeba udělat několik kroků.[26]

Krok 1: Návrh pomocí CAD softwaru

Každá součást vyrobená pomocí aditivní výroby musí začít vytvořením softwarového modelu, která plně popisuje vnější geometrii. K tomu je možné použít téměř každý profesionální CAD software. Výsledkem musí být 3D těleso nebo povrchová reprezentace.[26]

Krok 2: Převedení na STL soubor

Dalším krokem je převod na STL soubor. Téměř každý stroj schopný aditivní výroby tento soubor dokáže přijmout a téměř každý dnešní CAD software je schopný tento soubor vytvořit. STL soubor se tak stal v podstatě standardem. Tento soubor podrobně popisuje vnější uzavřené povrchy původního CAD modelu a poskytuje tak základní informace pro výpočty vrstev.[26]

Krok 3: Převedení do výrobního stroje

Soubor STL musí být převeden do stroje pro aditivní výrobu. Během tohoto kroku můžeme udělat nějaké obecné úpravy jako pozice, orientace nebo správná velikost.[26]

Krok 4: Nastavení stroje

Stroj pro aditivní výrobu musí být správně nastavený pro výrobní proces. Nastavení zahrnuje parametry, které jsou typicky použitý materiál, zdroj energie, tloušťku vrstev, čas atd.[26]

Krok 5: Výroba

Výroba je víceméně automatizovaný proces a stroj nepotřebuje většinou žádný dohled. Je však potřeba dávat pozor, jestli nedošlo k nějaké nečekané chybě, nedochází materiál, došlo k výpadku zdroje energie nebo nějaké chybě softwaru.[26]

Krok 6: Vyjmutí výrobku

Když je výroba hotová, vyrobenou část je potřeba vyjmout. Tento krok může zahrnovat i interakce se stojem, který může např. mít bezpečnostní dveře, které mohou udržovat operační teplotu nebo zabránit vniknutí cizích částí.[26]

Krok 7: Po výrobní zpracování

Po vyjmutí výrobku ze stroje může být potřeba výrobek očistit před tím, než je připravený pro použití. Výrobek může v této fázi být ještě slabý a potřebuje čas před použitím nebo může mít pomocné nosné části pro výrobu, které je nyní potřeba oddělat.[26]

Krok 8: Použití

V tomto kroku už je výrobek připravený a může být použit. Může být ale ještě před tím potřeba výrobek např. nabarvit nebo ho smontovat dohromady společně s ostatními díly, aby byl sestaven koncový model nebo produkt.[26]

II PRAKTICKÁ ČÁST

8 ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI

8.1 Cíle praktické části

Cílem praktické části je aktivní zapojení do instalace robotizovaného pracoviště výrobní balící linky, a tím získat praktické znalosti o tom, jak proces zavádění robotů v současnosti v průmyslu probíhá. Hlavním cílem praktické části bakalářské práce je následná studie výsledků dosažených robotizací. Ta se zabývá použitými roboty, popisem jejich pracovní činnosti a fungování v rámci celé linky, uvedením praktických znalostí o tom, jak robotizace probíhala a co celý proces robotizace zahrnoval, a také následnou analýzou a zhodnocení výsledků, které byly robotizací dosaženy.

8.2 Realizace praktické části

Pro realizování praktické části, která zahrnuje instalaci, studování a důvody zavádění robotů do výrobní balící linky, byla domluvena spolupráce s výrobním závodem na zpracování kávových produktů JDE sídlícím ve Valašském Meziříčí.

Historie značky JDE sahá až do roku 1753, kdy Egbert Douwes v Nizozemském Joure založil svůj první obchod s kávou. Dnes je společnost zaměřená čistě na kávové a čajové výrobky největší na světě a působí ve více než 100 zemích po celém světě. Společnost vyrábí kávové a čajové výrobky značek Jacobs, Douwe Egberts, L'OR, Pickwick, Senseo, Tassimo, Moccona a mnoho dalších.

8.3 Závod ve Valašském Meziříčí

Společnost JDE má v České republice pouze dvě svoje pobočky. První je v Praze a jde o kancelářskou budovu, ze které se řídí prodeje, marketing, logistika a finance pro oblast několika okolních států. Druhá pak je již zmíněný závod ve Valašském Meziříčí, ve kterém se už výrobky přímo vyrábí.



Obrázek 18 - Letecký snímek závodu

Závod oslaví letos 120 let od svého založení. Zaměření závodu je na zpracování kávy a kávových směsí, které se zde následně balí a odesílají ke svému odběrateli. To znamená, že kamióny přivážejí suroviny, jako je třeba káva, cukr nebo smetana, které se zde poté zpracují, například pražením, mletím nebo mícháním do požadované kávové směsi, která je poté zabalena do různých druhů výrobků. Poté se zde provede sekundární balení do krabiček nebo sáčku. Ty se následně skládají do kartónů, a ty pak na paletu, kde jsou připraveny k naložení a odeslání.

9 PŮVODNÍ STAV LINKY

Výrobní linka se původně zaměřovala na výrobu tzv. „kávových sticků“, což jsou malé balíčky rozpustné kávy. Jejich příprava je velmi jednoduchá, stačí obsah vysypat do hrníčku a zalít horkou vodou.

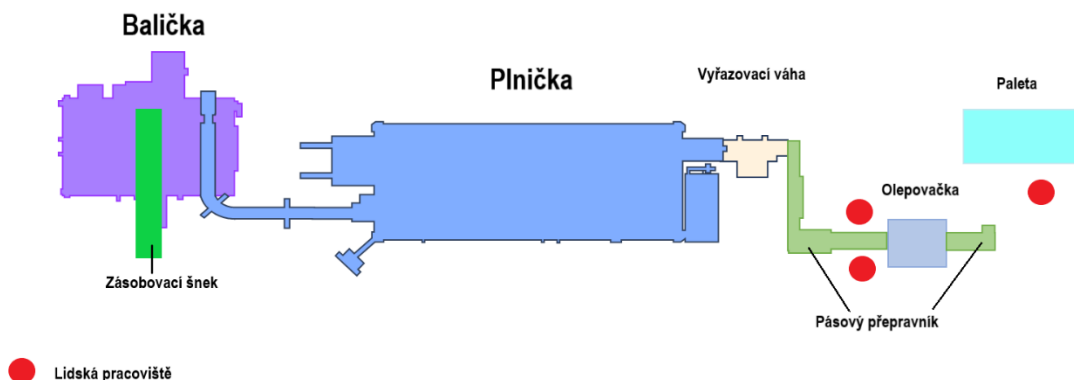


Obrázek 19 - Ukázka kávových sticků

Je proto možné vyrábět na lince velké množství kombinací těchto kávových produktů, protože jediné, na čem při změně záleží, je kávová směs, ze které se výrobek bude vyrábět.

9.1 Popis fungování

Na lince už byl před zavedením robotického pracoviště značný podíl automatizace. Celou linku tak kromě výstupu mohl obsluhovat jeden člověk, který za její chod, kvalitu výrobků a splnění výrobního plánu zodpovídal. Pro lepší představu bylo vytvořeno schéma, které popisuje, jak linka vypadala před instalací robotického pracoviště.



Obrázek 20 - Původní schéma stavu linky

V původním stavu linka fungovala tak, že nejprve byla kávová směs přivedena pomocí zásobovacího šneku do balicí linky. Do baličky byla vložena navinutá fólie, která byla v baličce rozříznuta na 10 pruhů, ze kterých byly následně formovány sticky kolem tubusů, ve kterých byly zavedeny dávkovací šneky. Sticky byly dávkovacími šneky naplněny správným množstvím kávové směsi. Naplněný stick kávou se následně svařil, čímž došlo k jeho uzavření, a poté odstřižení. Dále byl hotový stick pomocí odebíracího ramene položen na modulární dopravník a veden k sekundárnímu balení.

Pro sekundární balení byla použita papírová krabička, která byla dodávána ve formě přířezů. Ty se ve velkém množství zakládaly do zásobníku plničky. Odtud byly odebírány a přepraveny k místu formování a naplnění sticky. Krabičky pak byly v plničce uzavřeny zalepením a přesunuty vakuovým dopravníkem ke kontrole hmotnosti na vyřazovací váze. V případě nesprávné váhy zde byly vyřazeny.

Krabičky byly následně přepraveny pomocí série dopravníků, na kterých došlo k jejich správné orientaci. Na konci dopravníku byly seskupeny a zde byly zaměstnanci vloženy do kartónových krabic. Plné kartónové krabice pokračovaly skrze olepovačku na gravitační dopravník, po kterém byly přepraveny k paletě, kde byly dalším zaměstnancem na paletu naskládány podle předepsaného schématu.

9.2 Nevýhody původního stavu

V rámci konzultací probíhaly diskuse ve firmě s lidmi, kteří dříve měli linku na starost, prováděli její údržbu nebo řídili provoz směny. Díky jejich poznatkům bylo možné zpracovat jednotlivé nevýhody, které čistě ze schématu nemusejí být patrné.

9.2.1 Absence člověka

Jak už bylo uvedeno v kapitole o obsluze linky, během standardní pracovní doby pracovalo u linky 4-5 lidí. Každá pracovní pozice byla pro pracovní provoz linky důležitá a absence alespoň jednoho člověka proto měla značný vliv na výrobu. Jelikož lidé nejsou stroje s absolutní spolehlivostí, k této situaci občas docházelo.

V případě, že tak do práce někdo z obsluhy nedorazil, nebylo možné, aby výrobní linka jela podle předem stanoveného výrobního plánu. Linka musela být v těchto případech značně zpomalena, aby byl zbytek obsluhy schopný řídit její provoz, ve výjimečných případech musela být i po celou pracovní dobu zastavena. Každopádně ve všech uvedených příkladech tímto vlivem mohlo dojít k finančním ztrátám.

9.2.2 Pracovní přestávky

Podle zákoníku práce mají lidé během pracovní doby nárok na přestávky. Během přestávky tak bylo nezbytné, aby pracovníka v práci někdo nahradil. Tím však musel zmíněný pracovník zanechat své pracovní činnosti a věnovat se práci v rámci jiné pracovní pozice. Toto mělo za následek vyšší pracovní vytížení a nahrazující zaměstnanec se nemohl naplno věnovat svému pracovnímu úkolu.

9.2.3 Nestálost pracovní pozice

Vzhledem k tomu, že zmíněné pracovní pozice, kterých se nahrazení roboty týká, nevyžadovaly žádné vyšší odborné znalosti, docházelo na těchto pracovních pozicích často ke změnám lidí, kteří tuto činnost vykonávali. Nevýhoda tak spočívala v tom, že bylo často potřeba k zaškolení lidí pro práci na pracovní pozici od vedoucího linky.

9.2.4 Strojové tempo

Jak už bylo uvedeno, většina výrobní linky byla automatizovaná a výrobní proces až do konečné fáze výroby prováděly stroje, které byly schopny pracovat stále stejnou pracovní rychlostí bez přestávky. Pro zaměstnance to znamenalo, že jejich pracovní tempo udávala rychlost linky a museli svoji pracovní rychlost přizpůsobit tak, aby nedošlo k zastavení linky kvůli nedostatečnému výstupnímu odběru. Jelikož lidé nejsou schopni vykonávat svoji práci s konstantní rychlostí, docházelo tak k tomu, že občas zaměstnanci odběr nestíhali.

10 NOVÝ STAV BALÍCÍ LINKY

Robotizace výrobní linky se týká její koncové části. Jako nová součást výrobní linky byla na jejím konci umístěna robotizovaná pracovní buňka, čímž byla nahrazena část výroby, kde doposud byla nezbytná lidská činnost.

10.1 Použité roboty

Pro robotizování výrobních procesů byl vybrán robot Yaskawa GP7 v počtu 3 kusů. Tento model robotu je výrobcem považován za jeden z nejúspěšnějších, vynikající zejména svou univerzálností a agilností. Podle výrobce je tak robot ideální pro aplikaci vyžadující manipulaci, montáž, operace pick&place nebo kontrole kvality.

Samotný výrobce Yaskawa se sídlem v Japonsku pak patří k předním výrobcům na trhu. Zaměřuje se zejména na výrobu pohonné techniky, průmyslové automatizace a robotiky.

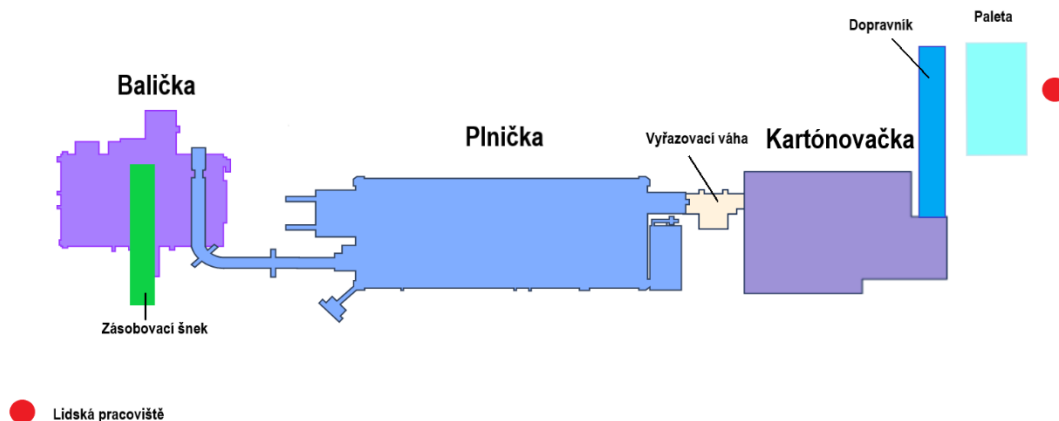


Obrázek 21 - Robot Yaskawa GP7

Jedná se o robot s 6 osami, který je schopný manipulovat se závažím o celkové hmotnosti až 7 kg do vzdálenosti 0,927 m. Robot dále nabízí vynikající opakovatelnost 0,01 mm, čímž se skvěle hodí na vykonání vyžadovaných manipulačních úkolů, které bude ve výrobní lince provádět. Pohyblivost jednotlivých os se pohybuje v rozmezí od 375 °/s po 1000 °/s. Celková hmotnost robotu je 37 kg. Pro práci je robot také vybaven vysokým stupněm krytí IP67.

10.2 Popis fungování

Jak je možné vidět ze schématu fungování linky na Obrázku 22, celá část výrobní linky od konce Plničky s vyřazovací váhou byla nahrazena robotizovanou pracovní buňkou pod pracovním označením Kartónovačka. Celý proces fungování linky byl tak změněn.



Obrázek 22 - Nové schéma stavu linky

Na místě pracovních pozic pro skládání krabiček do kartónových krabic, které doposud byly vykonávány dvěma zaměstnanci, v případě potřeby i třemi, bylo nyní naistalováno robotické pracoviště se třemi roboty. Tímto způsobem bylo dosaženo snížení potřebné lidské pracovní síly, která mohla být přidělena k jiným pracovním pozicím nebo už nebyla dále potřeba.

Roboty v kartónovačce pracují se vzájemnou spoluprací. Dva z nich podávají kusy kartónové krabice, pro které mají své zásobníky, a třetí pak dává krabičky do místa, kde mohou být složeny do krabice a přes olepovačku, která je nyní zabudovaná uvnitř robotického pracoviště, putují na gravitační dopravník, kde se znovu shromažďují a čekají, až je zaměstnanec naskládá na paletu.

10.3 Výhody nového stavu

10.3.1 Náhrada pracovních pozic

Robotizací pracovních pozic bylo dosaženo, že došlo k ušetření až 3 pracovních míst, které už nadále nebyly vůbec potřeba. Zaměstnanci, kteří tuto pracovní pozici vykonávali, se tak mohli věnovat jiným pracovním činnostem anebo nemuseli být dále zaměstnáváni. Tímto způsobem tak také došlo k ušetření finančních prostředků, které by jinak musely být vynaloženy na mzdy.

10.3.2 Práce bez přestávky

Roboty jsou schopny vykonávat práci bez přestávky, protože se jako lidé neunaví, nepotřebují po uplynutí pracovní směny vystřídat, nepotřebují ani pracovní přestávky nebo se taky nestane, že do práce nedorazí. Jedná se tak o jednu z nesporných výhod, která má za následek zvýšenou pracovní produkci, protože roboty pracují pořád.

10.3.3 Pracovní efektivita a kvalita

Jak už bylo uvedeno v teoretické části, roboty dokážou pracovat se stále stejnou pracovní rychlostí a přesností. Tím je možné zajistit, že bude práce vykonávána během celé doby jejich provozu stejně rychle a se stejnou kvalitou, čímž se zvedá celková efektivita pracoviště.

10.3.4 Pracovní rychlost

Jedna z nevýhod uvedených u původního stavu výrobní linky je, že lidé byli nuceni své pracovní tempo přizpůsobit zbytku výrobní linky pracující pomocí strojů. Tím, že jsou na místo lidí nainstalované roboty, tento problém zcela mizí, protože roboty s tím problémem nemají a díky tomu, že pracují pořád stejně, budou vždycky stíhat a v případě potřeby je možné jejich pracovní tempo upravit.

10.4 Nevýhody nového stavu

10.4.1 Technická obsluha

Se zavedením robotů na pracoviště došlo k ušetření až 3 pracovních míst. Roboty však ale taky nedokážou pracovat donekonečna a vyžadují občasnou údržbu nebo se můžou porouchat. Tím ale vzniká nová technická pracovní pozice pro člověka, který bude tuto odbornou činnost vykonávat. K jeho zaměstnání bude potřeba vynaložit finanční prostředky.

10.4.2 Zaškolení obsluhy

Robotizovaná výrobní buňka je složité zařízení na rozdíl od obyčejného pásového dopravníku, po kterém jezdí krabíčky k lidské obsluze. Je potřeba mít odborné znalosti k provádění její obsluhy během pracovního provozu, aby se zabránilo poruchám. Lidé v blízkosti výrobní linky proto musejí být zaškoleni a mít praktické znalosti. To zabírá čas a vzhledem k tomu, že se obsluha linky často mění, je potřeba ji provádět také často.

10.4.3 Změna nástrojů

Výrobní linka se zaměřuje na výrobu více druhů výrobků, které se zabalují v plniče do pro výrobek určených krabiček. U některých výrobků se ale liší jejich způsob balení, kdy je do krabiček baleno více kusů, a kvůli tomu je potřeba použít i jinou krabičku s jiným tvarem.

Pro člověka se nejedná o žádný problém, protože dokáže jakoukoliv krabičku uchopit a na jiném tvaru víceméně nezáleží. Roboty si ale s tímto problémem poradit nedokážou. Je proto nezbytné při změně výrobku změnit i používaný nástroj robotů, aby nedošlo k problémům. Výměna nástroje tak znamená práci navíc a zabere čas.

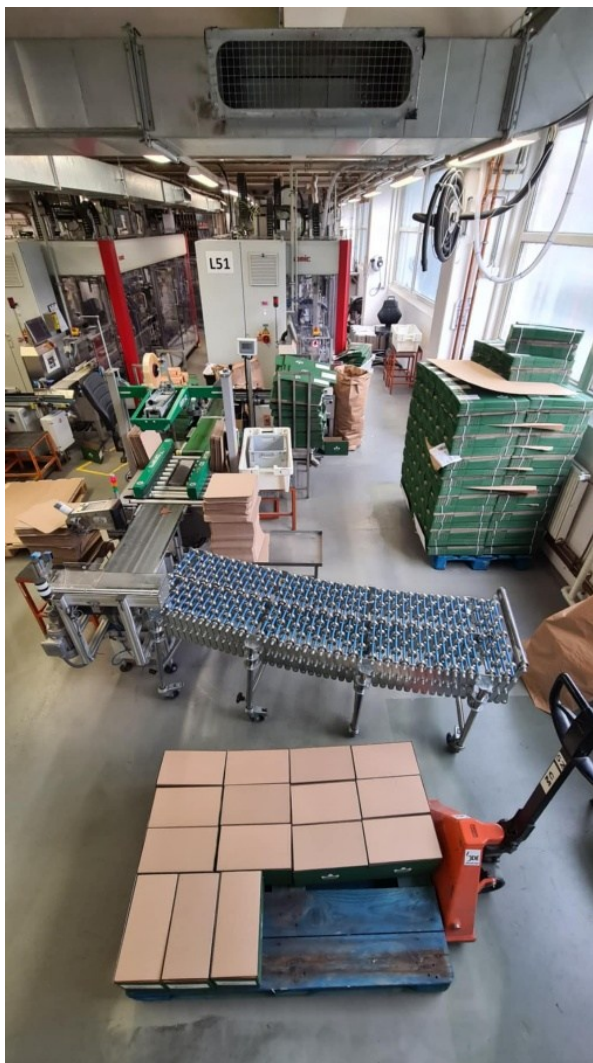
10.4.4 Mezioperační kontrola výrobků

Při robotizaci je potřeba klást větší důraz na vstupní kvalitu materiálů, protože ta značně ovlivňuje následný proces balení. Člověk si je během pracovní činnosti schopen poradit s různými nestandardy a je schopen se operativně v rámci procesu balení problému přizpůsobit. Robot toho bez dodatečných kamer nebo kontrolních mechanismů schopen není, protože očekává, že bude pracovat s výrobkem podle očekávané kvality. Při nestandardní situaci tak oproti člověku selhává, protože nedokáže identifikovat nekvalitní výrobek.

Proto je u robotických pracovišť potřeba myslet na doplňkové mechanismy kontroly kvality, které by byly schopny vyřadit výrobky, které neodpovídají pro robota požadovaným standardům.

11 ZAVEDENÍ ROBOTŮ NA VÝROBNÍ LINKU

Celý proces zavádění robotů na výrobní linku se skládal z několika fází. Pro vizuální představu o provedených změnách byl udělaný obrázek s původním stavem linky.



Obrázek 23 - Původní stav linky

Na obrázku je vidět vzadu konec plničky, ze které po zeleném pásovém přepravníku jezdily krabičky s výrobkem až k místům, kde pracovali doposud lidští pracovníci. V těchto místech je také možné si všimnout poskládaných kusů kartónových krabic, které zaměstnanci během práce složili a vložili do ní krabice s výrobky. Kdybychom pokračovali po lince na obrázku dál, tak bychom se dostali do části, kde už kartónové krabice přijely po přepravníku k olepovačce, která s pomocí lepicí pásky zalepila horní víko kartónové krabice, aby se neotevřelo. V přední části obrázku se pak nachází už koncový přepravník, po kterém kartónové krabice sjížděly k přichystané paletě, na kterou je další zaměstnanec skládal.

11.1 Vyklizení pracovního prostoru

Protože robotizace linky byla navržena jako úprava stávajícího stavu fungující výrobní linky, musela veškerá práce na zavedení robotů do výroby začít vyklizením pracovního prostoru, ve kterém byla umístěna dosavadní stará část linky.



Obrázek 24 - Vyklizený pracovní prostor

Na obrázku je možné vidět, že proběhla demontáž celé části linky až po konec plničky s vyřazovací vahou. Pracovní prostor tak byl kompletně vyklizen.

11.2 Sestavení robotizované výrobní buňky

V této části proběhlo kompletní sestavení výrobní buňky. Jelikož byla robotizovaná výrobní buňka už navržena a dodávána jako jeden celek, přišly veškeré díly najednou a mohla tak práce se sestavováním výrobní buňky ihned začít. Celý proces sestavování robotizované výrobní buňky proběhl za přítomnosti externího zaměstnance od dodavatelské firmy. Pod jeho dohledem proběhlo kompletní sestavení buňky a také následné naprogramování robotů.



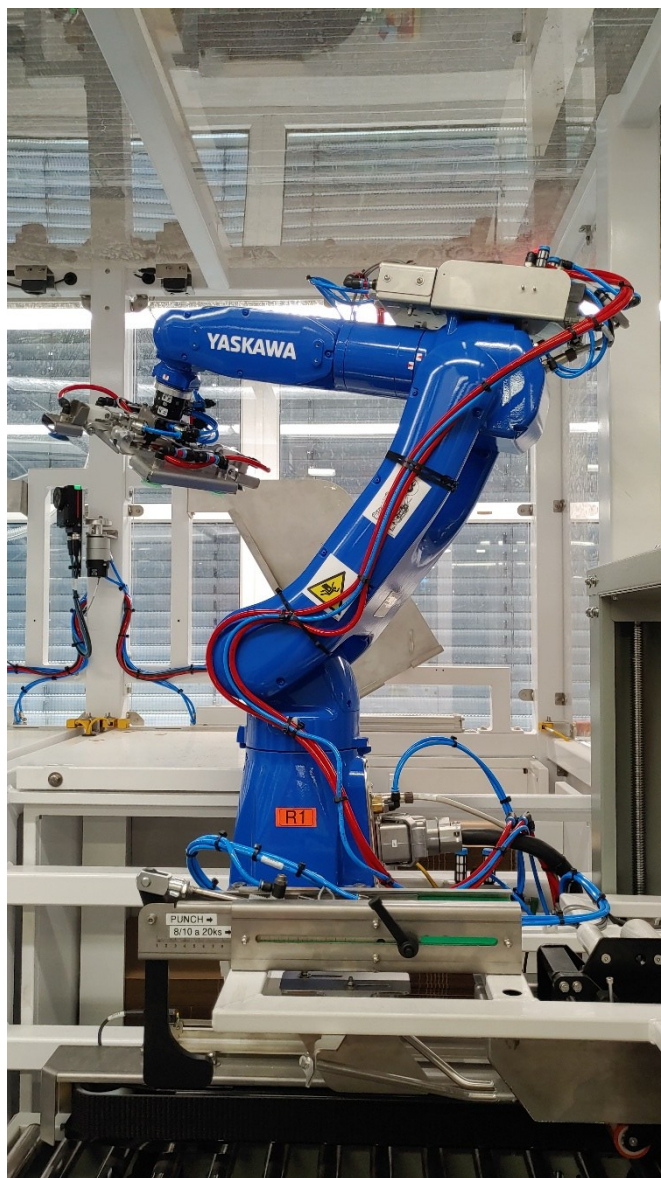
Obrázek 25 - Sestavená buňka

Pro znázornění pokroku realizace robotizace byl vytvořen Obrázek 25. Je možné na něm vidět už kompletně sestavenou výrobní buňku s roboty na svých pracovních místech, od kterých budou přes dopravník a přemístěnou olepovačku putovat zabalené kartonové krabice na výstupní modrý gravitační dopravník, odkud následně bude probíhat proces skládání na paletu.

11.3 Nastavení linky

Na začátku této fáze zavádění už byla robotizovaná výrobní buňka kompletně celá sestavená, roboty nainstalovány na svých místech a vše bylo připojeno k elektrině. Buňka ale stále nebyla schopna vykonávat svou funkci v rámci celého výrobního procesu linky.

V této části byla provedena veškerá seřízení a nastavení výrobní buňky tak, aby výrobní proces linky fungoval co nejvíce plynule. Byla nastavena pracovní rychlost robotů, byly provedeny nezbytné úpravy, aby se krabíčky s výrobky co nejméně zasekávaly a dorazily na požadované shromažďovací místo v správném natočení pro manipulaci, a také byl proveden první zkušební provoz, během kterého se vyzkoušela správnost chodu už s fungováním celé předcházející částí linky.

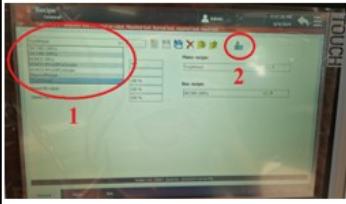


Obrázek 26 - Robot během cvičného provozu

11.4 Zaškolení zaměstnanců

Posledním krokem v zavádění robotizované výrobní buňky bylo zaškolení zaměstnanců v obsluze buňky. Jak už bylo uvedeno, za funkčnost linky odpovídal během pracovní směny jeden člověk, vedoucí linky. Tento člověk tak musel být seznámen se základy obsluhy buňky. Bylo zapotřebí provést školení na ovládání buňky, na její správné nastavení na požadovaný výrobek během pracovního provozu nebo na pravidelnou údržbu.

Za tímto účelem byly také sestaveny pracovní návody, které popisují, co má zaměstnanec zodpovědný za provoz linky na začátku pracovní doby zkontrolovat, jak nastavit robotizovanou buňku, aby správně fungovala, protože její fungování se u jednotlivých výrobků trochu měnilo, nebo také jakým způsobem správně zastavit linku, aby mohla být provedena údržba.

Přestavba L51 - 20ks				
Č.	Bod přestavby	Hodnota	Díl	Poznámka
Změna nastavení				
1	Ve spodní části obrazovky ovládacího panelu zmáčkní tlačítko Ukončit (1), následně zmáčkní tlačítko s nápisem "Přejít do výchozí polohy" (2) a pak stiskne tlačítko Start . (3).			
2	Zmáčkní tlačítko v pravém horním rohu obrazovky (1) a následně vyber tlačítko s ikonou tabulky (2).			
3	Z nabídky v levé části obrazovky vyberu formát (1) a následně stisknutím tlačítka (2) spustím načtení programu z PLC.			

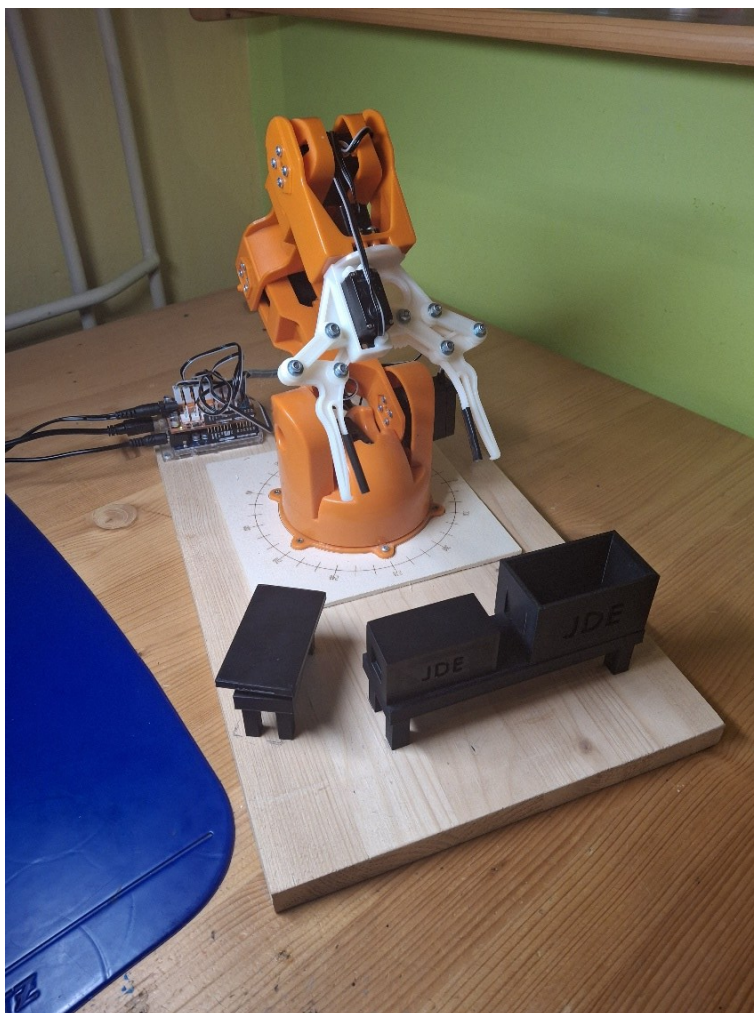
Obrázek 27 - Ukázka elektronické verze návodu

Tímto způsobem bylo provedeno zavádění robotů do výrobní balící linky, která je po těchto krocích plně funkční a funguje podle plánu se sníženým počtem lidské obsluhy.

12 3D MINI MODEL

V teoretické části práce zaměřené na 3D tisk bylo vysvětleno, co je 3D tisk, k čemu se používá a jak lze navržený 3D model dostat od virtuálního modelu až do jeho fyzické podoby. Zároveň v ní je taky uvedeno, že 3D model tělesa může poskytnout mnohem lepší představu o skutečném využití modelovaného tělesa než jenom pouhý náčrt.

S využitím těchto znalostí bylo učiněno rozhodnutí pro vytvoření 3D modelu, který má s pomocí robotu simulovat reálné fungování robotizované části linky. Od modelu se očekávalo, že svým fungováním a napodobením skutečného provozu by pomohl získat lepší představu o tom, co skutečně roboty na výrobní balící lince dělají a také pomohl lépe pochopit některé kapitoly a obsah bakalářské práce.



Obrázek 28 - Mini model

12.1 Použitý robot

K samotnému fungování byl potřeba robot, který by kvůli zjednodušení simulovat práci tří skutečných robotů použitých pro výrobní linku. K tomuto účelu byl pro fungování vybrán robot Braccio TinkerKit, které je ovládaný s pomocí Arduina Uno Wifi Rev 2. Robot byl seskládán, propojen s Arduinem a umístěn na dřevěnou desku, která má sloužit jako simulace pracovní plochy a zároveň k ní byl robot připevněn, aby se nepřevrátil.

Robot byl naprogramován pomocí aplikace Arduino IDE, která byla v rámci studia použita během výuky v několika studijních předmětech. Samotné programování pak bylo velice jednoduché, k programování tohoto robotu existovala přímo programovací knihovna.

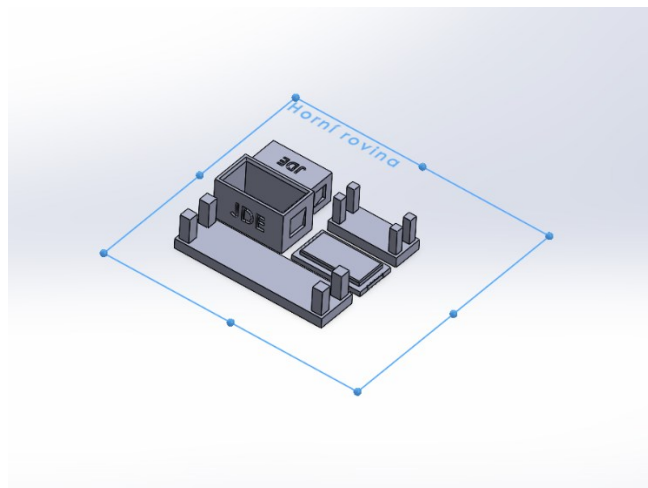
V knihovně byly obsažené příkazy, kterými bylo možné robot jednoduše ovládat. Příkaz k pohybu třeba potřeboval pouze zadat stupně natočení jednotlivých servomotorů, program se tak skládal v podstatě z příkazů, které říkaly, jak se mají natočit jednotlivé klouby, a postupným prováděním se pak simuloval provoz skutečného robotu. Ačkoliv se nejednalo o nejlepší řešení, protože robot tak v podstatě jenom slepě fungoval podle příkazu a nezajímají ho, jestli byly provedeny správně nebo nedošlo ke kolizi, k simulaci v rámci modelu bylo toto provedení dostačující.

Použité Arduino obsahovalo Wifi modul, který umožnil vytvoření vlastní Wifi sítě. Bylo rozhodnuto v rámci modelu využít i tu možnost a vytvořit program, který vytvořil jednoduchou stránku, přes kterou po připojení k síti bylo možné robota spustit. Tím byl vytvořen pro robota jednoduchý ovládací panel.

12.2 3D tištěné modely

K představě o skutečném fungování bylo zapotřebí ještě malé modely skutečných částí, které byly součástí pracovního procesu skutečných robotů. 3D tisk byl k tomuto naprosto ideální. Pomocí návodu uvedeného v teoretické části bylo možné vytvořit několik modelů. Přesněji se jednalo třeba o pár stolů, které simulovaly ty skutečně použité ve výrobě a zároveň pomohly robotu s manipulací. Dále byla vytvořena kartónová krabice s víkem a krabice s výrobky, jejichž seskládáním pomocí robotu měla být dosažena simulace skutečného procesu balení.

K vytvoření nákresu modelů došlo s využitím programu SolidWorks, jehož používání pro vytváření 3D modelů bylo také předmětem studijního programu.



Obrázek 29 - Modely v prostředí SolidWorks

12.3 Fungování programu

Program fungoval tak, že nejprve došlo k prvotní inicializaci a robot přešel do domovské pozice, která byla nastavena bezpečně mimo místa, kde mohlo dojít ke střetům. Následně robot začal program tím, že byl přemístěn ke krabici s výrobkem. K té bylo pomalu přistoupeno a gripper byl uzavřen, čímž byla krabice uchopena. Následně byla krabice zvednuta a posunuta do pozice nad kartónovou krabicí, do které měl být výrobek umístěn. Následně bylo s krabicí pomalu přistoupeno ještě blíže do pozice, ze které bylo bezpečné otevřít gripper a krabici s výrobkem tak byla umístěn do kartónové krabice. Ke správnému navedení byl model kartónové krabice opatřen na vnitřních okrajích zkosenými hranami. Následně byl robot přemístěn do pozice nad víkem. K víku bylo rovněž pomalu přistoupeno a následně byl zavřen gripper, čímž bylo víko uchopeno. S víkem bylo poté pak už jenom potřeba přijet do pozice nad kartónovou krabicí, ze které poté pomalu pokračoval na pozici pro bezpečné pro otevření gripperu a jeho následným otevřením víko umístil na krabici. Tím byl celý proces balení hotový.

```

52   if(provedeno < pocet_provedeni){
53       Braccio.ServoMovement(20,      95, 70, 150, 180, 93, 10); //posun do pracovni pozice
54       delay(5000);
55       Braccio.ServoMovement(20,      95, 80, 180, 170, 93, 10); //posun do pozice nad krabicí
56       delay(3000);
57       Braccio.ServoMovement(20,      95, 88, 180, 170, 93, 10); //posun do pozice pro uchopení krabice
58       delay(2000);
59       Braccio.ServoMovement(20,      95, 88, 180, 170, 93, 35); //uchopení krabice
60       delay(2000);
61       Braccio.ServoMovement(20,      95, 70, 170, 180, 93, 35); //posun do pozice nad krabicí
62       delay(2000);
63       Braccio.ServoMovement(20,      62, 65, 170, 180, 63, 35); //posun do pozice nad kartónem
64       delay(3000);
65       Braccio.ServoMovement(20,      62, 83, 165, 180, 63, 35); //posun do pozice na odložení krabice
66       delay(3000);
67       Braccio.ServoMovement(20,      62, 85, 165, 180, 63, 35); //posun do pozice na odložení krabice
68       delay(3000);
69       Braccio.ServoMovement(20,      62, 85, 165, 180, 63, 10); //upuštění bedny
70       delay(3000);
71       Braccio.ServoMovement(20,      62, 48, 175, 180, 63, 10); //posun do pozice nad kartónem

```

Obrázek 30 - Ukázka programu v prostředí Arduino IDE

13 BEZPEČNOSTNÍ OPATŘENÍ

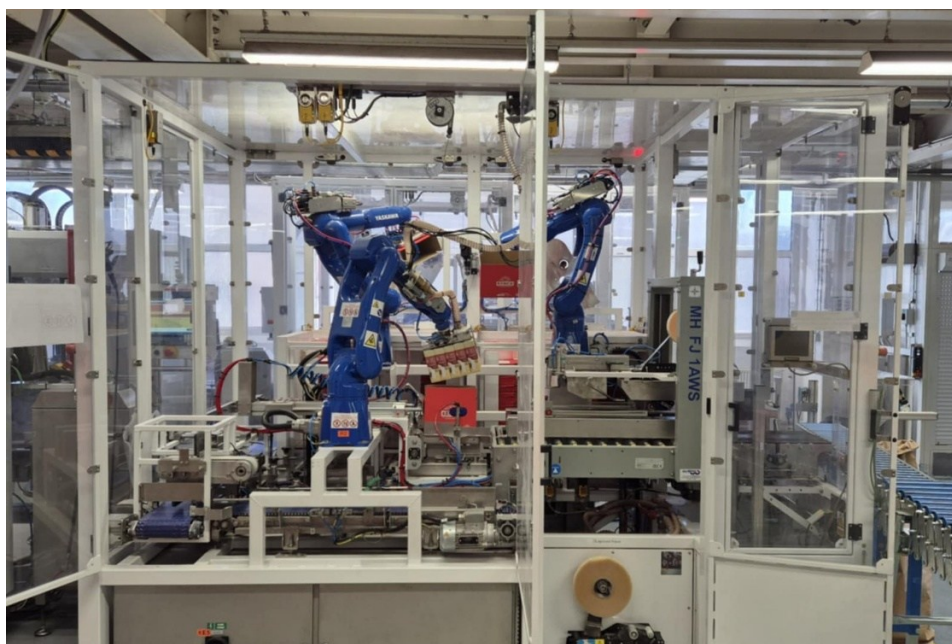
Jelikož roboty použité pro robotizaci linky nebyly kolaborativní, což je činilo při pracovní činnosti potenciálně nebezpečnými pro lidské pracovníky, bylo potřeba společně s jejich zavedením uskutečnit i řadu bezpečnostních opatření, aby byla snížena rizika lidských pracovníků.

V teoretické části byly uvedeny některé druhy nebezpečí, které se zavedením robotů hrozily. Během konzultací ve firmě bylo zjištěno, jaké bezpečnostní opatření byla potřebná v souvislosti se zavedením robotů na výrobní linku realizovat a jak tyto bezpečnostní opatření fungovala.

13.1 Ohraničení pracovního prostoru

Jako nejlepší možný způsob, jak by bylo možné zabránit zraněním lidí v důsledku činnosti robotů, by bylo oddělit jejich pracovní oblasti tak, aby spolu nepřicházeli nejlépe vůbec do kontaktu. V praxi to však ale nebylo možné v podstatě realizovat jak z hlediska nákladů, tak z hlediska prostoru. Lidé a roboty tak většinou museli pracovat vedle sebe navzájem.

Proto byla okolo robotů umístěná kovová konstrukce, která ohraničuje jejich pracovní oblast. Tato oblast byla pak dále ohraničena plexisklem, které dále mělo zabránit lidem ve vniku. Pro lidi byl tak značně ztížen přístup do pracovní oblasti a zároveň tak bylo zabráněno i jejich náhodnému vstupu.

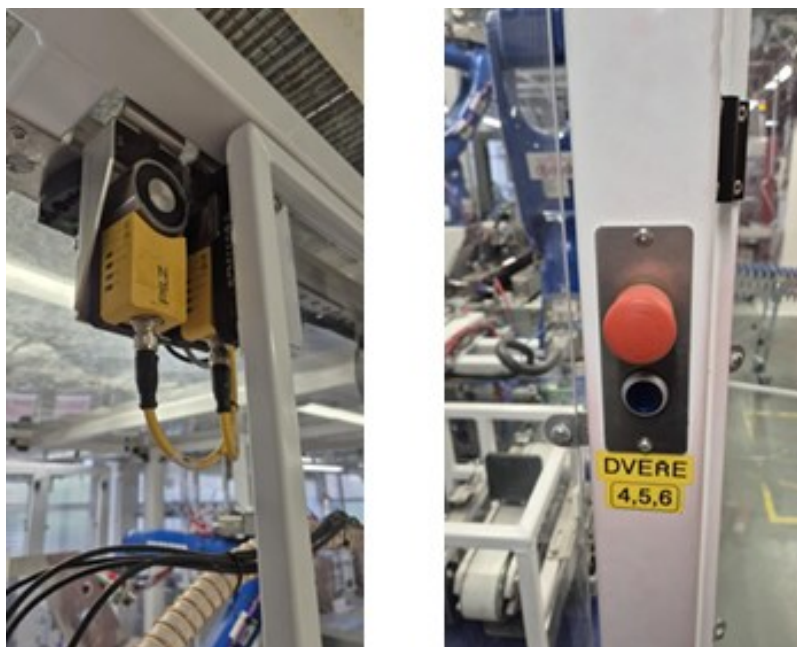


Obrázek 31 - Ohraničený pracovní prostor

13.2 Bezpečnostní zámky

Bylo zjištěno, že někdy je ale stejně zapotřebí, aby člověk do pracovní oblasti vstoupil, například při údržbě nebo poruše. Zdi z plexiskla jsou z tohoto důvodu v mnoha místech udělané tak, že fungují jako dveře, což usnadňuje přístup do oblasti, ale zároveň je to i bezpečnostní riziko, protože se lidé mohou do oblasti snáze dostat.

Každé dveře tak jsou opatřeny zámkem, který během pracovního provozu zabrání, aby lidé dveře otevřeli a přišli tak od robotů k úrazu. U každých dveří je umístěný ovladač, kterým lze dveře odemknout. Pokud ale dojde k odemčení dveří, dojde tím k upozornění řídicího PLC a robot přeruší pracovní činnost a program se zastaví. Tím je zajištěné, že roboty nemůžou pracovat, pokud není pracovní oblast okolo nich správně zajištěná.

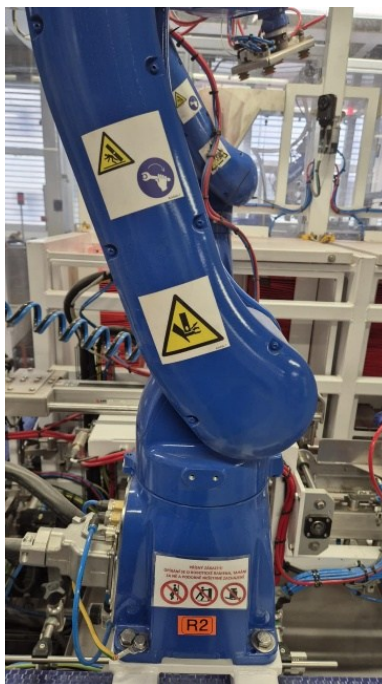


Obrázek 32 - Zámek dveří a ovladač dveří

13.3 Výstražné označení

Některé bezpečnostní rizika není možné odstranit. Když jsou například v našem případě použité roboty s kloubovou konstrukcí a nedopatřením by došlo při údržbě k například položení ruky do oblasti kloubu, stále bude existovat riziko, že konstrukce robotu selže nebo nějakým nedopatřením dojde ke spuštění a robot může svou konstrukcí sevřít ruku. Toto riziko zkrátka nejde nějak vyřešit, ale včasným varováním před rizikem je možné tomuto potenciálnímu úrazu předejít.

Při přezkoumání celé pracovní oblasti bylo zjištěno, že jsou zde z tohoto důvodu umístěny spousty varovných značek a označení, které varují před možnými nebezpečími. Jedná se například o běžně se vyskytující žlutou samolepku ve tvaru trojúhelníku se symbolem blesku, která na hlavním rozvaděči varuje před elektrickým proudem. Dále jsou zde také například další varovné nálepky, které varují, před možným skřípnutím nebo pádem mechanické části.



Obrázek 33 - Bezpečnostní označení

13.4 Vypínací tlačítka

Podobně, jako je tomu například na fakultě v laboratořích, jsou okolo celé pracovní oblasti umístěny bezpečnostní vypínací červená tlačítka. Ta slouží k tomu, že v případě nouze okamžitě odpojí robota a celou pracovní buňku od elektrické energie a tím dojde k nouzovému zastavení provozu.

Tyto tlačítka jsou umístěny z důvodu bezpečnosti tak, aby byla všude po ruce. Jsou proto na každém ovladači dveří, jak lze vidět na Obrázku 32, u ovládacího panelu na Obrázku 34 a všude tam, kde je potřeba. Celou pracovní buňku tak lze odpojit v případě nebezpečí ať už od ovládacího panelu, když zjistíme poruchu, nebo když provádíme nějakou činnost uvnitř pracovní buňky a stojíme u dveří.



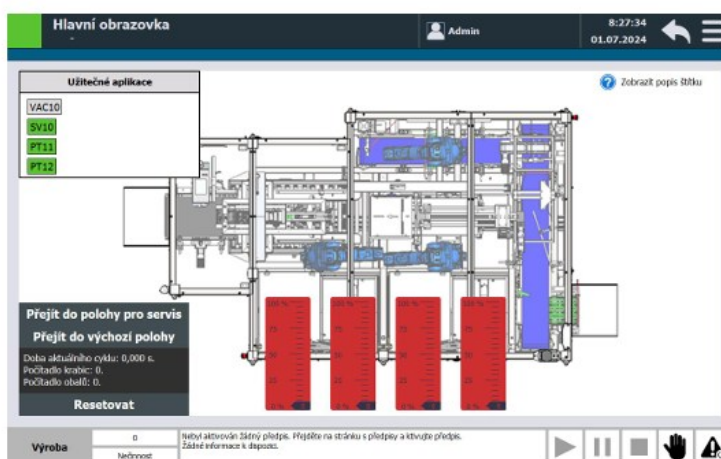
Obrázek 34 - Ovládací panel

13.5 Proškolení zaměstnanců

Důležitým bezpečnostním opatřením je i školení zaměstnanců. Při konzultacích bylo zjištěno, že zaměstnanci prochází pravidelně školením, která má za cíl je seznámit se všemi zařízeními, aby si byli při práci vědomi všech bezpečnostních hrozeb a správného pracovního postupu, aby nedošlo k poškození lidského zdraví a ke škodám na majetku.

Školení se pro zachování účinku ve firmě pravidelně opakují, a to nejméně jednou za rok. Dále mají zaměstnanci k dispozici pracovní návody, které například popisují, jak správně odstavit linku nebo provést pravidelnou údržbu, což zcela jistě přispívá k celkové bezpečnosti.

3.4. Hlavní obrazovka



Obrázek 7: Hlavní obrazovka

Hlavní obrazovka poskytuje celkový přehled o celém systému. Lze na ní spustit fáze, jejich průběh lze sledovat pomocí rozhraní řízení. Další informace o rozhraní řízení naleznete v bodu 3.3.4.

Pomocí navigační nabídky lze přejít na obrazovky s podrobnostmi. Další informace naleznete v bodu 3.3.3. Aby přecházení bylo pro uživatele příjemnější, jsou na hlavní obrazovce navíc grafické odkazy, takže pracovník obsluhy může mezi obrazovkami přecházet jednoduše kliknutím na různé sekce systému.

Obrázek 35 - Elektronický návod pro obsluhu

14 POČÁTEČNÍ PROBLÉMY

V důsledku robotizace pracoviště nastaly problémy, které při navrhování nikdo nečekal. Absenci lidské obsluhy vyvstaly nové problémy, které si nikdo neuvědomoval, že mohou nastat, nebo protože doposud je byla schopna lidská obsluha snadno vyřešit.

K tomuto mimo jiné byl vytvořený seznam, na který se vypisovaly všechny možné problémy, které nastaly. Tímto způsobem bylo možné získat přehled o všech problémech a taky mít přehled o problémech, které už byly vyřešeny.

14.1 Poškození převodovky

Jak už bylo uvedeno v předchozí kapitole, někdy je potřeba uvnitř robotizované výrobní buňky lidská přítomnost. Při těchto situacích občas stávalo, že se lidé opřeli o robot. Jelikož má robot nosnost 7 kg, došlo při této situaci k přetížení, na kterou robot není stavěný.

Vlivem toho docházelo k poškození harmonických převodovek uvnitř robotů, a ty pak musely být vyměněny.

Řešením tohoto problému bylo proškolení zaměstnanců a také byly na roboty umístěny varovné označení, které před tímto varují.



Obrázek 36 - Poškozená převodovka

14.2 Vadné krabičky

Během pracovního provozu občas došlo k chybě, při které se z plničky dostala krabička s výrobkem, ze které vyčnívaly sticky ven. Krabičku, která byla takto špatně zabalená, se tak dostala původně k lidské obsluze, která ji při práci snadno identifikovala a jednoduchým způsobem ji vyřadila.

Zavedené roboty ale tento do té doby zanedbatelný problém nijakým způsobem schopni řešit nebyly. Krabičky takto špatně zabalené tak pokračovaly bez povšimnutí dál, kde nakonec způsobily problémy. Tím, že krabička neměla správný tvar, se mohlo stát, že se krabička někde zasekla a zablokovala dopravník, nebo při počítání krabiček došlo k chybě, místo 6 krabiček jich tam ve skutečnosti bylo jen 5, a při manipulaci pak robot rozeznal chybu a zastavil se.

Tento problém už byl vyřešen. Na vyřazovací váhu byla instalována 2D kamera s umělou inteligencí a neuronovou sítí. Kamera je schopná v řádu milisekund analyzovat krabičku a rozhodnout o jejím případném vyřazení.



Obrázek 37 - Špatně zabalená krabička

14.3 Špatně otevřený kartón

Občas došlo k situaci, že výrobce dodal do výroby vadný kus kartónu, který se například špatně otvíral. Opět tento problém byla až do zavedení robotů velmi jednoduše schopná řešit lidská obsluha.

Roboty ale tento problém nejsou také schopni vyřešit. Při vkládání krabiček do špatně otevřeného kartónu tak došlo k chybě a zastavení linky.

Tento problém se podařilo částečně vyřešit změnou softwaru, kdy robot vykoná další pohyby a někdy tento problém sám vyřešit.

Úplným řešením by mohla být až do budoucna plánovaná změna designu kartónu.

14.4 Nadměrné opotřebení spotřebního materiálu

Po zavedení do provozu bylo zjištěno, že některé spotřební materiály se opotřebovávají více, než se původně očekávalo. Příkladem jsou například přísavky na nástrojích robotů. Při některé aplikaci docházelo k jejich nadměrnému opotřebení a byla potřeba jejich častější výměna.

Tento problém byl vyřešen dodáním nového typu nástroje.

15 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ROBOTIZACE

V praktické části byly v jednotlivých kapitolách popsány jednotlivé výhody a nevýhody obou stavů výrobní balící linky.

Hlavní výhodou a důvodem, který firmu vedl k přistoupení na robotizaci pracoviště, bylo, že jejím implementováním došlo k ušetření potřebné pracovní síly, která byla doposud k obsluze potřeba. Zavedením robotu bylo ušetřeno několik pracovních míst, jejichž počet se v budoucnosti může zvýšit, protože ve výrobě se nachází více balících linek fungujících tímto způsobem.

K tomu bylo však ale potřeba zajistit technickou obsluhu robotů, která se bude o robotické pracoviště starat a provádět její údržbu. Dále bylo k provozu také potřeba provádět dodatečné školení zaměstnanců na provoz a údržbu pracoviště. Další nevýhodou byla potřeba zavést mezioperační kontroly kvality výrobků, protože oproti člověku není robot schopen identifikovat nekvalitní výrobky, které způsobují provozní problémy.

Zavedení robotů sebou přineslo i nečekané komplikace. Jakmile však dojde k jejich odstranění, budou moci roboti provádět svojí práci bez problémů. Zároveň se tím zjednoduší již zmíněné možné budoucí zavádění na budoucí výrobní balící linky.

Robotizované pracoviště přineslo i další výhody. Byl odstraněn problém s provozní rychlostí automatizované části linky, protože roboty dokážou vykonávat svoji práci stále stejnou rychlostí. Společně díky vysoké přesnosti robotů tak byla zvýšena efektivita linky a celková kvalita.

15.1 Ekonomické zhodnocení

Z ekonomického hlediska vyšla investice do robotického pracoviště na 9 375 000 Kč. Ročně poté bylo ušetřeno na jednom člověku v přepočtu průměrně 400 000 Kč. Dále také bylo zjištěno, že došlo z ekonomického hlediska na lince k ušetření 6,5 člověka za rok. Z těchto údajů bylo možné spočítat i návratnost investice, která vychází na 3,6 let.

Z toho plyne závěr, že po uplynutí času 3,6 let bude pravidelně ročně docházet k úsporám 2 600 000 Kč, což už není zanedbatelná částka. Pokud bychom počítali i s možnou stejnou investicí do dalších výrobních linek, mohla by se roční úspora ještě zvýšit.

Finanční údaje odpovídají skutečnosti řádově, nejsou tedy úplně přesné z důvodu ochrany citlivých informací.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo implementovat robotické pracoviště do výrobní balící linky a získat praktické znalosti o celém průběhu instalace, které poté následně sloužily jako podklady pro jednotlivé kapitoly zabývající se důvody zavádění, popisem obou stavů linky včetně schémat a popisem jejího fungování, průběhem instalace, nezbytnými opatřeními v rámci bezpečnosti a analýzou dosažených výsledků. Bakalářská práce tak měla poskytnout praktický pohled na současné zavádění robotů v praxi, což by mohlo být součástí budoucí pracovní náplně studentů oboru robotiky.

Proces implementace robotického pracoviště jako součást výrobní linky proběhnul ve firmě úspěšně a byly dosaženy stanovené cíle. V současnosti probíhají ve firmě plány na další vylepšení robotického pracoviště a zvažuje se zavedení robotických pracovišť i na další výrobní balící linky.

V teoretické části proběhlo seznámení s historií průmyslu a robotu, činností robotů v průmyslu, jaké druhy robotů se v současnosti nejvíce v průmyslu používají, jaké jsou jejich výhody, důvody k jejich zavádění a jaké bezpečnostní rizika hrozí. Dále zde proběhlo seznámení s technologií aditivní výroby, známe také jako 3D tisk, která byla pro naše účely využita v praktické části při vytváření mini modelu.

Z poznatků získaných ve firmě při instalaci robotického pracoviště pak byla vypracovaná praktická část. V úvodních kapitolách došlo k seznámení s výrobní balící linkou. Pro oba stavy linky byly vytvořeny schémata, bylo popsáno, jak linka funguje, a také jaké výhody a nevýhody oba stavy přináší. Následně byl popsán způsob, jakým instalace robotického pracoviště probíhala. Po kompletním spuštění linky byl vytvořen mini model, který má pomoci získat lepší představu o pracovní činnosti skutečných robotů. Následující kapitola se zabývá bezpečnostními opatřeními, které v souvislosti s pracovní činností robotů zajišťují bezpečnost pracoviště.

V posledních kapitolách jsou vypsány nečekané problémy, které se zavedením robotického pracoviště vznikly, a je provedeno zhodnocení výsledků, které byly robotizací dosaženy. Z výsledků je patrné, že robotické pracoviště přineslo značné finanční úspory a také spoustu pracovních výhod, které obecně převažují nad nevýhodami. Tím bylo obhájeno, proč v současnosti dochází v průmyslu k zavádění do výroby stále více robotů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] YASAR, Kinza a HANNA, Katie Terrell. *What is Robotics?* Online. TechTarget. Září 2024. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/robotics>. [cit. 2025-01-30].
- [2] DALEY, Sam, URWIN, Matthew (ed.). *Robotics: What Are Robots?* Online. Built In. 2024. Dostupné z: <https://builtin.com/robotics>. [cit. 2025-01-30].
- [3] CRAIG, John J. *Introduction to robotics: mechanics and control*. Third edition. Harlow: Pearson, [2014]. ISBN 9781292040042.
- [4] *3 reasons for robotic automation*. Online. Agile Robots SE. 2024. Dostupné z: <https://www.agile-robots.com/en/news/detail/3-reasons-for-robotic-automation>. [cit. 2025-04-22].
- [5] THANGARAJ, Jeevitha a NARAYANAN, Ramya Lakshmi. *Industry 1.0 to 4.0: the Evolution of Smart Factories*. Online. ResearchGate. Říjen 2018, s. 4-6. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/330336790_INDUSTRY_10_TO_40_THE_EVOLUTION_OF_SMART_FACTORIES. [cit. 2025-01-08].
- [6] SZYDŁOWSKÁ, Alena. *Nová průmyslová revoluce – Průmysl 4.0*. Online. Datamix Solutions s.r.o. 2017. Dostupné z: <https://www.datamix.eu/blog/nova-prumyslova-revoluce-prumysl-4-0/>. [cit. 2025-01-08].
- [7] LEVI, Ofir. *Industrial Revolution: From Industry 1.0 to 5.0*. Online. CoreTigo. 2024. Dostupné z: <https://www.coretigo.com/industrial-revolution-from-industry-1-0-to-industry-5-0/>. [cit. 2025-01-08].
- [8] RASCHKE, Silvia Ursula. Limb Prostheses: Industry 1.0 to 4.0: Perspectives on Technological Advances in Prosthetic Care. Online. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*. 2022, roč. 2022, č. 3, s. 13. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fresc.2022.854404>. [cit. 2025-01-08].
- [9] WEBER, Austin. *The Moving Assembly Line Turns 100*. Online. In: Assembly. 2013. Dostupné z: <https://www.assemblymag.com/articles/91581-the-moving-assembly-line-turns-100>. [cit. 2025-01-08].
- [10] *Understanding Industry 3.0*. Online. In: ActiveYouthInstitute. 2024. Dostupné z: <https://activeyouth.lt/2024/01/31/understanding-industry-3-0/?lang=en>. [cit. 2025-01-18].

- [11] BAHRIN, Mohd Aiman Kamarul; OTHMAN, Mohd Fauzi; AZLI, Nor Hayati Nor a TALIB, Muhamad Farihin. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. Online. *Jurnal Teknologi*. 2016, roč. 78, č. 6-13, s. 137-143. Dostupné z: <https://doi.org/10.11113/jt.v78.9285>. [cit. 2025-01-18].
- [12] RAYMOND, Andy. *How will Industry 4.0 impact the skills executives require in evolving sectors?* Online. In: RedlineExecutive. 2017. Dostupné z: <https://www.redlineexecutive.com/content-hub/how-will-industry-40-impact-the-skills-that-executives-require-in-evolving-sectors>. [cit. 2025-01-18].
- [13] XU, Xun; LU, Yuqian; VOGEL-HEUSER, Birgit a WANG, Lihui. Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. Online. *Journal of Manufacturing Systems*. 2021, roč. 61, č. 1, s. 530-535. ISSN 02786125. Dostupné z: <https://doi.org/10.11113/jt.v78.9285>. [cit. 2025-01-18].
- [14] GIORDANO, Geoff. *Industry 5.0 Is Coming. Here's Why You Should Care*. Online. In: PlasticsToday. 2021. Dostupné z: <https://www.plasticstoday.com/industry-trends/industry-5-0-is-coming-here-s-why-you-should-care>. [cit. 2025-01-18].
- [15] TURNEY, Drew. *The history of industrial robots, from single taskmaster to self-teacher*. Online. Autodesk. 2022. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/design-make/articles/history-of-industrial-robots>. [cit. 2025-03-01].
- [16] *Robot History*. Online. International Federation of Robotics. C2025. Dostupné z: <https://ifr.org/robot-history>. [cit. 2025-03-01].
- [17] MISITI, Alex. *A History of Industrial Robots*. Online. Wevolver. 2020. Dostupné z: <https://www.wevolver.com/article/a-history-of-industrial-robots>. [cit. 2025-03-01].
- [18] BECHER, Brooke, WHITFIELD, Brennan (ed.). *What Are Industrial Robots?* Online. Built In. 2024. Dostupné z: <https://builtin.com/robotics/what-are-industrial-robots>. [cit. 2025-01-30].
- [19] *What are the Different Types of Industrial Robots and Their Applications?* Online. Process Solutions. C2025. Dostupné z: <https://processsolutions.com/what-are-the-different-types-of-industrial-robots-and-their-applications/>. [cit. 2025-02-16].
- [20] *Industrial Robots*. Online. International Federation of Robotics. C2025. Dostupné z: <https://ifr.org/industrial-robots>. [cit. 2025-01-30].

- [21] , HowToRobot-Editorial team. *Types of industrial robots and their different uses*. Online. HowToRobot. 2024. Dostupné z: <https://howtorobot.com/expert-insight/industrial-robot-types-and-their-different-uses>. [cit. 2025-02-22].
- [22] LENARČIČ, Jadran a HUSTY, Manfred. *Latest advances in robot kinematics*. Dordrecht: Springer, [2012]. ISBN 9789400746190.
- [23] *What are automated guided vehicles?* Online. 6RiverSystems. 2023. Dostupné z: <https://6river.com/what-are-automated-guided-vehicles/>. [cit. 2025-02-22].
- [24] ADMIN. *Safety Risks and Accident Causes with Workplace Robots*. Online. Ken Institute. 2. září 2024. Dostupné z: <https://keninstitute.com/safety-risks-and-accident-causes-with-workplace-robots/>. [cit. 2025-04-03].
- [25] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 9788021448285.
- [26] GIBSON, Ian; ROSEN, David a STUCKER, Brent. *Additive manufacturing technologies*. Second Edition. New York: Springer, [2015]. ISBN 9781493921126.
- [27] GEBHARDT, Andreas a HÖTTER, Jan-Steffen. *Additive manufacturing : 3D printing for prototyping and manufacturing*. Munich: Hanser Publishers, [2016]. ISBN 9781569905821.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Průmyslové revoluce [6]	20
Obrázek 2 - Továrna během Průmyslu 1.0 [7].....	21
Obrázek 3 - Pohyblivá automobilová výrobní linka [9]	21
Obrázek 4 - Robotizace v průmyslu 3.0 [10]	22
Obrázek 5 - Propojení v průmyslu 4.0 [12]	23
Obrázek 6 - Spolupráce člověka s robotem [14].....	24
Obrázek 7 - První průmyslový robot [16].....	25
Obrázek 8 - Robot z 80. let [17].....	26
Obrázek 9 - Kartézský manipulátor [19].....	29
Obrázek 10 - Kloubový manipulátor [19].....	29
Obrázek 11 - Cylindrický manipulátor [19].....	30
Obrázek 12 - Delta manipulátor [19]	30
Obrázek 13 - Polární manipulátor [19]	31
Obrázek 14 - SCARA manipulátor [19]	31
Obrázek 15 - Kolaborativní robot na FAI [zdroj: vlastní]	32
Obrázek 16 - Autonomní mobilní robot Omron na FAI [zdroj: vlastní]	34
Obrázek 17 - 3D tiskárna FAI [zdroj: vlastní]	38
Obrázek 18 - Letecký snímek závodu.....	43
Obrázek 19 - Ukázka kávových sticků	44
Obrázek 20 - Původní schéma stavu linky.....	44
Obrázek 21 - Robot Yaskawa GP7	47
Obrázek 22 - Nové schéma stavu linky	48
Obrázek 23 - Původní stav linky.....	51
Obrázek 24 - Vyklizený pracovní prostor.....	52
Obrázek 25 - Sestavená buňka	53
Obrázek 26 - Robot během cvičného provozu.....	54
Obrázek 27 - Ukázka elektronické verze návodu	55
Obrázek 28 - Mini model.....	56
Obrázek 29 - Modely v prostředí SolidWorks	58
Obrázek 30 - Ukázka programu v prostředí Arduino IDE.....	58
Obrázek 31 - Ohraničený pracovní prostor	59
Obrázek 32 - Zámek dveří a ovladač dveří.....	60
Obrázek 33 - Bezpečnostní označení	61
Obrázek 34 - Ovládací panel.....	62

Obrázek 35 - Elektronický návod pro obsluhu	62
Obrázek 36 - Poškozená převodovka.....	63
Obrázek 37 - Špatně zabalená krabice	64

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

JDE	Jacobs Douwe Egberts
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
IoT	Internet of Things
ML	Machine Learning
AI	Artificial Intelligence
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm
AGV	Automated Guided Vehicle
AMR	Autonomous Mobile Robot
3D	Three-Dimensional
STL	STereoLithography
PLC	Programmable Logic Controller