

## ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Průmyslové inženýrství a management

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Tvorba digitálního dvojčete laboratoře průmyslu 4.0

Autor: **Lucie SÝKOROVÁ**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Marek BUREŠ, Ph.D.**

Akademický rok 2019/2020



## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Touto cestou bych ráda poděkovala mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Marku Burešovi, Ph.D., za jeho rady a skvělé vedení, které mi poskytoval po celou dobu zpracování práce.

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Sýkorová	<b>Jméno</b> Lucie	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2301R016-07 „Průmyslové inženýrství a management“		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Ing. Bureš, Ph.D.	<b>Jméno</b> Marek	
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KPV		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Tvorba digitálního dvojčete laboratoře průmyslu 4.0		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KPV	<b>ROK ODEVZD.</b>	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	51	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	51	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	–
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Bakalářská práce se zaměřuje na tvorbu virtuálního modelu laboratoře průmyslu 4.0, konkrétně na tvorbu v programu Autodesk Inventor a Tecnomatix Process Simulate.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	průmysl 4.0, kolaborativní robot, automaticky řízený vozík, Autodesk Inventor, Tecnomatix Process Simulate, virtuální model

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Sýkorová	<b>Name</b> Lucie	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2301R016-07 "Industrial Engineering and Management"		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Ing. Bureš, Ph.D.	<b>Name</b> Marek	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KPV		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Creation of the Industry 4.0 laboratory digital twin		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Industrial Engineering and Management	<b>SUBMITTED IN</b>	2020
----------------	------------------------	-------------------	---------------------------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	51	<b>TEXT PART</b>	51	<b>GRAPHICAL PART</b>	–
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This Bachelor's thesis deals with creating a virtual model of industry 4.0 laboratory, specifically on creation in Autodesk Inventor and Tecnomatix Process Simulate
<b>KEY WORDS</b>	industry 4.0, collaborative robot, automated guided vehicle, Autodesk Inventor, Tecnomatix Process Simulate, virtual model

## Obsah:

Úvod.....	10
1. Průmysl 4.0 a jeho technologické prvky .....	11
1.1. Historický vývoj průmyslové revoluce.....	12
1.2. Koncepce Průmyslu 4.0.....	13
1.3. Určení technologií Průmyslu 4.0 v ČR.....	13
1.4. Technologie v Průmyslu 4.0.....	14
2. Robotika a kolaborativní roboty.....	16
2.1. Srovnání průmyslových robotů s kolaborativními roboty.....	16
2.2. Výhody a nevýhody.....	19
3. Automatizace v mezioperační manipulaci .....	20
3.1. Průmyslové vozíky a jejich rozdělení.....	21
3.2. Automaticky řízené vozíky bez obsluhy (AGV).....	24
3.3. Druhy navigací AGV vozíků.....	25
4. Popis laboratoře Průmyslu 4.0 .....	26
4.1. Kolaborativního robot Fanuc CR-7iA/L.....	28
4.2. Automaticky řízený vozík WEASEL .....	29
5. Tvorba digitálního modelu laboratoře.....	33
5.1. Digitální dvojče .....	41
5.2. Popis programu Autodesk Inventor.....	41
5.3. Tvorba modelu laboratoře v Autodesk Inventor.....	41
5.4. Popis programu Tecnomatix Process Simulate .....	41
5.5. Tvorba modelu laboratoře Tecnomatix Process Simulate.....	40
Závěr.....	49
Seznam použité literatury.....	50

## Seznam obrázků

Obr. 1-1 Vývoj průmyslové revoluce.....	11
Obr. 1-2 Parní stroj.....	12
Obr. 2-1 Průmyslový robot zabezpečený oplocením .....	16
Obr. 2-2 Kolaborativní robot Fanuc CR-7iA/L.....	19
Obr. 3-1 Stavba pyramid v Egyptě.....	20
Obr. 3-2 Standartní a schodišťový Rudl.....	21
Obr. 3-3 Plošný vozík.....	22
Obr. 3-4 Nízkozdvižný vozík .....	22
Obr. 3-5 Vysokozdvižný vozík .....	23
Obr. 3-6 Automated Guided Vehicle .....	23
Obr. 3-7 AGV sledující magnetickou pásku .....	24
Obr. 4-1 Laboratoř na Západočeské univerzitě v Plzni.....	26
Obr. 4-2 Kolaborativní robot Fanuc CR-7iA/L.....	27
Obr. 4-3 Model Fanuc vytvořený v programu Autodesk Inventor .....	28
Obr. 4-4 Automaticky řízený vozík Weasel.....	29
Obr. 4-5 Model Weasel vytvořený v programu Autodesk Inventor .....	30
Obr. 5-1 Model dopravníku.....	33
Obr. 5-2 Model dopravníku s podstavcem .....	34
Obr. 5-3 Model zásobníků, puků a palet .....	34
Obr. 5-4 Model Fanuc CR-7iA/L .....	35
Obr. 5-5 Model Weasel .....	35
Obr. 5-6 Model laboratoře.....	36
Obr. 5-7 Model laboratoře.....	36
Obr. 5-8 Model laboratoře.....	37
Obr. 5-9 Program Process Simulate .....	39
Obr. 5-10 Kinematika robota Process Simulate .....	40
Obr. 5-11 Uchycení objektu Process Simulate.....	41
Obr. 5-12 Uchycení objektu Process Simulate.....	41
Obr. 5-13 Simulace Human Process Simulate .....	42
Obr. 5-14 Simulace Human Posturing - Jack Process Simulate .....	43
Obr. 5-15 Simulace Human Posturing - Jack Process Simulate .....	44
Obr. 5-16 Zapnutí robota Process Simulate .....	45
Obr. 5-17 Časové úseky Process Simulate.....	45
Obr. 5-18 AGV Process Simulate .....	46
Obr. 5-19 Model laboratoře.....	47
Obr. 5-20 Model laboratoře.....	47
Obr. 5-21 Model laboratoře.....	48



## Seznam tabulek

Tab. 4-1 Technické parametry CR-7iA/L .....	28
Tab. 4-2 Technické parametry Weasel.....	30
Tab. 5-1 Rozsahy pohybů.....	40

## Úvod

Cílem práce je seznámení s Průmyslem 4.0, kolaborativními roboty, automaticky řízenými vozíky, popsání reálné laboratoře na Západočeské univerzitě v Plzni, vytvoření modelu laboratoře v programu Autodesk Inventor a programu Process Simulate Robotics.

V první části se práce zabývá Průmyslem 4.0 neboli čtvrtou průmyslovou revolucí. Průmysl 4.0 je určitý druh značení pro digitalizaci. S digitalizací dále souvisí automatizace výroby a také změny trhu práce. Dále jsou popsány koncepce a technologie.

Ve druhé části je poukázáno na rozdíly kolaborativních robotů oproti průmyslovým jako je oplocení, zabezpečení a instalace. Je zde popsáno využití kolaborativních robotů, výhody a nevýhody.

Třetí část je zaměřena na automaticky řízené vozíky, ve kterých je především hlavní rozdělení vozíků tedy na bezmotorové a motorizované. Do zvláštní kategorie motorizovaných vozíků patří AGV (Automatic Guided Vehicle). Jedná se o vozíky, které jsou automaticky vedené a slouží k přepravování jednotlivých objektů bez obsluhy.

Praktická část práce se zaměřuje na popis reálné laboratoře na Západočeské univerzitě v Plzni a na návrh modelu vytvořeného v programu Autodesk Inventor a Process Simulate Robotics.

## 1. Průmysl 4.0 a jeho technologické prvky

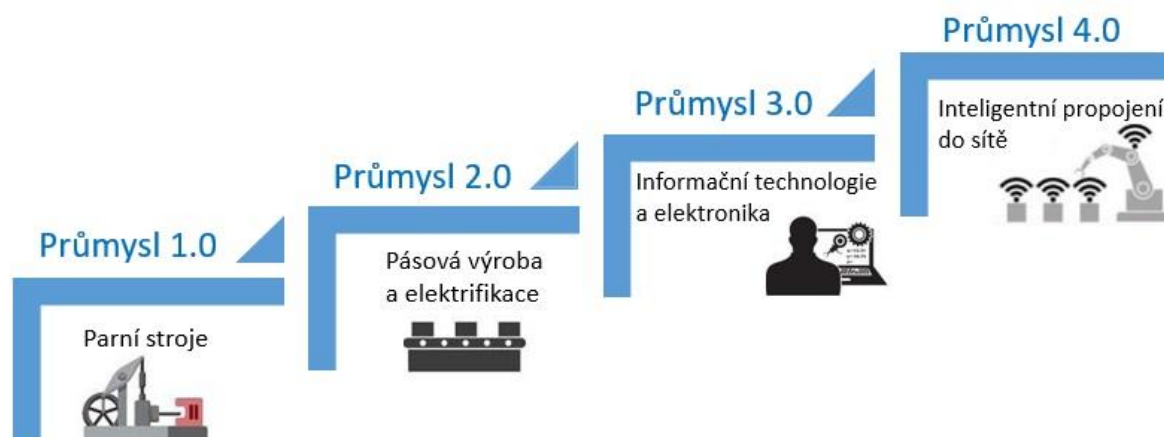
Průmysl 4.0 nebo také čtvrtá průmyslová revoluce byla zahájena v Německu a cílem iniciativy je transformace průmyslové výroby prostřednictvím digitalizace a využívání potenciálu nových technologií.

Průmysl 4.0 představuje transformaci, která umožňuje shromažďovat a analyzovat data mezi stroji, díky čemuž vzniká rychlejší, efektivnější a flexibilnější proces výroby kvalitnějších výrobků při snížených nákladech na výrobu.

Tato výrobní revoluce zvyšuje produktivitu, posouvá ekonomiku, podporuje průmyslový růst a mění profil pracovní síly čímž se nakonec změní konkurenceschopnost firem a regionů.

Jedná se o přístup založený na integraci obchodních a výrobních procesů a integraci všech účastníků do hodnotového řetězce společnosti (dodavatelé a zákazníci). Technický aspekt je úzce spjat s internetem věcí (IoT), kyberneticko-fyzikálními systémy (CPS), informační a komunikační technologií (ICT), podnikovou architekturou (EA) a podnikovou integrací (EI).

Cílem je dosažení vyšší úrovně provozní efektivity a produktivity, stejně jako vyšší úroveň automatizace. Mezi pět hlavních faktorů Průmyslu 4.0 patří velké údaje, chytré továrny, kyberneticko-fyzikální systémy, internet věcí a interoperabilita.



Obr. 1-1 Vývoj průmyslové revoluce [O1]

## 1.1. Historický vývoj průmyslové revoluce

### 1. Průmyslová revoluce

První průmyslová revoluce vznikla v Anglii v 18. století. Dále probíhala také v 19. století, při dokončování přechodu od manufakturní ruční výroby ke strojní velkovýrobě. V této době se využíval zdroj energie ve formě uhlí, a to konkrétně páry. Díky tomu je symbolem první průmyslové revoluce parní stroj. Nejdůležitějším pojmem této revoluce je industrializace.

Industrializace je proces, při kterém dochází ke změně předprůmyslového podniku, který je založený především na řemeslné a zemědělské výrobě, tak v podnik industriální, který je založen na strojní a průmyslové výrobě. Průběh industrializace se rozděluje do tří etap dle fáze vědecko-technické revoluce a to:

- 1. etapa – vynález parního stroje v 18. století
- 2. etapa – objev elektrického proudu a motoru v přelomu 19. a 20. století
- 3. etapa – rozvoj informačních technologií, a to na konci 20. století



*Obr. 1-2 Parní stroj [O2]*

### 2. Průmyslová revoluce

Druhá průmyslová revoluce v podstatě navazuje na první průmyslovou revoluci. Vzniká na konci 19. století. V této revoluci došlo k výrazným změnám, a to především, když Henry Ford vynalezl pohyblivé montážní linky a zahájil masovou výrobu. Nejdůležitějším pojmem této revoluce je elektrifikace. Elektrifikace je proces určitých úprav případně změn systému tak, aby fungoval na elektrické energii, kde se využívá elektrický proud, respektive elektrická síť. Využití například u železničních tratí apod.

### 3. Průmyslová revoluce

Třetí průmyslová revoluce bývá spojována především s automatizací a výroba se digitalizovala. Dále také elektronikou a informačními technologiemi. Její počátek se uvádí rokem 1969. V tento rok byl zhotoven první programovatelný logický automat a program se vykonával v tzv. cyklech. Představiteli této revoluce jsou chytré softwary, obratnější roboty a nové procesy jako je 3D tisk.

## 4. Průmyslová revoluce

V průmyslu i ekonomice dochází k zásadním změnám. Změny jsou způsobeny zavedením informačních technologií, kyberneticko-fyzikálními systémy a systémy umělé inteligence do výroby. Dále se tyto změny vztahují i na služby a zahrnují všechna odvětví hospodářství. Tyto změny mají takový dopad, že se o nich mluví jako o 4. průmyslové revoluci.

Čtvrtá průmyslová revoluce probíhá právě teď. Jejím charakteristickým znakem je velké rozšíření internetu a jeho průnik v různých lidských oblastech. V dnešní době lidé používají internet téměř pořád, jelikož nám to technologie umožňují. [1] [11]

### 1.2. Koncepce Průmyslu 4.0

Průmysl 4.0 není ve skutečnosti revolucí, ale evolucí. Využívá totiž technologie, které již dávno existují a zdokonaluje jejich použití. Význam koncepce Průmyslu 4.0 je revoluční, jelikož přínosy technologií posouvají podniky kupředu. Podnikům, kteří ignorují Průmysl 4.0 hrozí ztráta konkurenceschopnosti, a to může vést k postupnému zániku. [18] [19]

Koncepce Průmyslu 4.0 má šest hlavních os:

1. Interoperabilita – schopnost chytrých strojů a lidí společně komunikovat
2. Virtualizace – schopnost vytvořit virtuální model podniku a využít reálně získané údaje, které se aplikují na model chytrého virtuálního podniku.
3. Decentralizace – schopnost každého stroje dělat decentralizovaná, a přitom maximálně kvalifikovaná rozhodnutí, která směřují k optimalizaci výroby.
4. Vše musí probíhat v reálném čase
5. Orientace na služby, a to na služby, které se poskytují, tak na služby, které se nakupují.
6. Modularita – schopnost chytré továrny adaptovat se na nové požadavky.

### 1.3. Určení technologií Průmyslu 4.0 v ČR

Pro včasnou detekci změn trendů, signálů, příležitostí a hrozeb, které souvisejí s danou výrobou podniku se využívá metoda nazývaná Horizon scanning. Jejím cílem je mapovat a komunikovat různé události, které mohou ovlivnit budoucí vývoj, a tím vygenerovat informace pro strategické rozhodování.

Technologie byly generovány na základě jednotlivého zkoumání a sledování různých neziskových organizací, vědeckých časopisů, vládních organizací, sociálních sítí... Závěr vede ke zjištění metodického postupu, který byl vytvořen proto, aby se zjistilo, co může následný vývoj ovlivnit a ohrozit a jak těmto hrozbám může daný podnik předejít. [11] [17] [18]

Metodický postup:

1. Identifikace technologie na základě textové analýzy veřejně dostupných informačních zdrojů
2. Interní vyhodnocení získaných výsledků experty TC AV
3. Vytvoření databáze relevantních výsledků textové analýzy

#### 4. Externí hodnocení a prioritizace výsledků zařazených do databáze z hlediska Průmyslu 4.0 v ČR

Díky výše zmíněného metodického postupu došlo k identifikaci 84 technologií, které by byly rozděleny dle charakteristik do čtyř základních odvětví a to:

1. Technologické inovace
2. Technologický výzkum
3. Technologické potřeby
4. Technologická řešení

## 1.4. Technologie v Průmyslu 4.0

### 1. Velké údaje

Tato data představují sbírku dat tradičních a digitálních zdrojů uvnitř i vně firmy, které představují zdroj pro průběžné objevování a analýzu. Dnes jsou data shromažďována všude, a to od systémů a senzorů po mobilní zařízení.

Analýza velkých dat umožňuje analytikům, výzkumníkům a podnikovým uživatelům provádět lepší a rychlejší rozhodnutí s použitím dat, která byla dříve nedostupná nebo nepoužitelná. Díky pokročilým analytickým technikám, jako je například strojové učení, dolování dat, statistiky, zpracování přirozeného jazyka, textová a prediktivní analýza mohou podniky analyzovat dříve nevyužité zdroje dat nezávisle nebo společně s již existujícími podnikovými daty, aby získaly nové poznatky, které vedou k lepšímu a rychlejšímu rozhodnutí. [14] [17]

### 2. Chytré továrny

Koncepce chytrých továren vychází z bezproblémového propojení jednotlivých výrobních kroků, od plánování až po realizaci. V nejbližší budoucnosti budou stroje a zařízení schopny zlepšit procesy prostřednictvím vlastní optimalizace, systémy se autonomně přizpůsobí danému provozu a síťovému prostředí.

Centrálním bodem inteligentní továrny je technologie, která umožňuje sběr dat. Mezi ně patří inteligentní snímače, robotika a motory, které se nacházejí na výrobních a montážních linkách, které inteligentní továrna využívá. Senzory umožňují sledovat konkrétní procesy v továrně, což zvyšuje podvědomí o tom, co se právě děje. Například vibrační snímače mohou být varovným signálem, kdy je třeba opravit motor, vyměnit ložiska nebo jiné části. Tyto typy varování se stávají výstražnými signály pro preventivní kontrolu a údržbu, které by mohly vést k produkčním problémům, pokud by se na ně nebral zřetel.

Také technologie snímání na vozidlech, které se využívají pro manipulaci s materiálem a výrobky zvyšují efektivitu a bezpečnost, kdy se výrobek pohybuje po továrně. Tyto typy robotiky mají schopnost vnímat a vyhnout se lidem či neočekávaným překážkám ve své dané dráze. Schopnost automatického vyloučení těchto běžných poruch představuje silnou výhodu, která udržuje optimální provoz. Vozidla s vlastním pohonem mají za cíl zvýšení propustnosti a snížení provozních nákladů v továrnách, skladech a distribučních centrech. [15] [17]

### 3. Kyberneticko-fyzikální systémy

Tato technologie vychází ze starší disciplíny vestavěných systémů, počítačů a softwaru zabudovaných do zařízení, jejichž hlavním úkolem není výpočet, jako jsou například lékařské a vědecké přístroje, ale představuje spíše smyčku akcí strojového učení. Jedná se o systém,

který integruje dynamiku fyzických procesů s dynamikou softwaru a sítí, poskytuje abstrakce, modelování a design. [16] [17]

#### **4. Internet věcí (IoT)**

IoT je připojení všech zařízení k internetu, jedná se o mobilní, virtuální a okamžité připojení. Toto propojení umožní chytrým továrnám, že bude zařízení efektivně využívat data k výrobě, pohybu, hlášení a učení se s vysokými rychlostmi. [17]

#### **5. Interoperabilita**

Interoperabilita v podstatě představuje to, co se stane, když se spojí výše uvedené faktory dohromady. Jedná se o spojení kybernetických systémů, lidí a inteligentních továren, které spolu komunikují prostřednictvím internetu věcí. Tímto způsobem mohou výrobní partneři efektivně sdílet informace, a to bez chyb. Interoperabilita umožňuje bezchybný přenos a překlad. [17]

## 2. Robotika a kolaborativní roboty

Při realizaci více implementací Průmyslu 4.0 se u probíhající průmyslové transformace očekává využití spolupracujících robotů (neboli kobotů), kteří jsou navrženy tak, aby spolupracovali s lidmi v oblasti výroby, skladování, logistiky a zdravotnictví. Uplatnění kobotů se v následujících letech bude čím dál více zvyšovat.

Kolaborativní roboty vznikli myšlenkově v roce 1995 a po dvacetiletém vývoji nastoupili do reálného kontaktu s člověkem.

### 2.1.Srovnání průmyslových robotů s kolaborativními roboty

Rozdíly průmyslového robota od kobota je především oplocení, bezpečnost, oblast využití a instalace.

#### Oplocení

Z bezpečnostního hlediska museli mít konvenční průmyslové roboty oplocení například klecí, aby se zaměstnanci k robotům jen tak nedostali. Další možnost tzv. oplocení byli formou závor. Při překročení těchto závor se ihned robot zastavil. Koboty naopak spolupracují s člověkem bez jakéhokoliv oplocení. Buď jsou koboty využívány pro výrobní operace vedle člověka na výrobních linkách, které jsou pro člověka obtížné jako je přesun miniaturních součástek, šroubování na špatně dosažitelných místech či k manipulaci těžkých objektů. Nebo koboty, kteří pracují zcela samostatně. Příklad samostatné práce kobota je třeba, když uchopí a zvedne objekt z určitého místa a položí jej na pás, kde se provede úprava daného objektu. Po příjezdu na konec pásu robot objekt opět uchytí a vloží do přepravky. [3]



*Obr. 2-1 Průmyslový robot zabezpečený oplocením [O3]*



## Bezpečnost

Roboty jsou v kontaktu s lidmi, proto je kladen velký důraz na bezpečnost. Bez ohledu na to, zda je robot konvenční či kolaborativní musí splňovat bezpečnostní normu ČSN EN ISO 10218. Tato norma udává funkce, kdy robot musí splňovat alespoň některé, aby byla daná bezpečnost zajištěna.

Bezpečnostní zastavení prostřednictvím monitorování – První funkce, kterou někteří roboty splňují. Tento typ zabezpečení je především pro konvenční roboty, kteří jsou chráněny, jak bylo již výše zmíněno klecí či závorou. Jedná se o bezpečnostní opatření, které zastaví stroj v případě vstupu neoprávněné osoby do monitorované oblasti robota.

Učení robota pomocí ručního navádění – Tato funkce je typická pro konvenční roboty. Jedná se o způsob programování robotů formou učení. To znamená, že příslušný zaměstnanec bude hýbat s ramenem robota a tím si kroky robot zapamatuje. Po spuštění začne požadované kroky vykonávat samostatně.

Snímače sledující rychlost a vzdálenost – Jedná se o další druh funkce pro zabezpečení typickou také spíše pro konvenční roboty. Princip funguje tak, že snímače kontrolují daný pohyb robota po naprogramované dráze v souladu se vzdáleností, kterou má obsluha. Na snímačích je určená minimální vzdálenost mezi robotem a obsluhou. V případě narušení monitorovaného prostoru robota, dojde k jeho zpomalení. K úplnému zastavení dojde, pokud obsluha přeruší danou minimální vzdálenost.

Omezenost sil a výkonů – Tato funkce zajišťuje bezpečnost kolaborativních robotů. Zajišťuje to, aby robot nezranil tlakem obsluhu, kterou by na ni vyvolal. Vytvořili se určité konstrukční prvky, které zabrání tomu, aby kobot obsluhu zranil.

Mezi první prvky jsou zahrnuty rychlostní a momentové senzory, které vysílají signál, jaká síla je vynaložena na paži robota při kontaktu s obsluhou. Pokud by se síla překročila robot se ihned zastaví.

Druhým prvkem je co nejodlehčenější rameno kobota. Čím je rameno lehčí, tím je menší šance na zranění obsluhy.

Třetím prvkem jsou zpomalené pohyby ramene kobota. Kobot se vždy pohybuje takovou rychlostí, aby mohlo vždy dojít k okamžitému zastavení.

Čtvrtý prvek zahrnuje zaoblení tvarů kobota. Síla ramene bude rozložena do větší plochy a tlakové podmínky sníží náraz na minimum. Také žádné ostré hrany tím pádem nezpůsobí zranění.

Pátý prvek obsahuje měkkou vrstvu na povrchu ramene kobota, což zmírňuje případný náraz.

Šestý prvek Sensitive skin zahrnuje velkoplošný kapacitní senzor, který je umístěn na povrchu ramene kobota. Tento senzor zaznamená pohyb obsluhy, který není naprogramován na minimální vzdálenost a dojde k zastavení. V okamžiku, kdy by se obsluha kobota dotkla, by nemělo k žádnému zranění dojít.

Sedmý prvek sériově elastický člen v kloubu ramene kobota.

Osmý prvek je kamera, která sleduje okolí kobota. V případě obsluhy, která by narušila oblast, vyše kobotovi signál. Tato kamera má však i funkci umožňující sbírání různých typů součástek a vložit je do rukou obsluhy. [4]

## **Oblast využití**

Konvenční roboty a kolaborativní roboty si nejsou v podnicích navzájem konkurencí. Každý má jiné uplatnění.

Uplatnění kobotů je především v:

- U malých sérií výrobků
- Robotické operace vykonávány s manuálními pracemi
- V provozech, kde nejde provést kompletní automatizaci
- Manipulace s lehkými součástmi
- Přesun miniaturních součástek
- Šroubování na špatně dosažitelných místech
- Manipulace těžkých břemen
- Nakládání a vykládání objektů
- CNC obrábění, obrábění kovů, montování, leštění...

Uplatnění průmyslových robotů je především v:

- U velkých sérií výrobků
- Při operacích, které vyžadují vysokou rychlost a přesnost
- Manipulace těžkých břemen
- Soustružení, frézování, broušení, lakování, svařování...

## **Instalace**

Kolaborativní roboty mají velmi snadnou instalaci pro správné fungování. Pracovníci na instalaci nemusí znát vysoké funkce programování. Stačí pouze nastavit robota na požadované pohyby, které by měl vykonávat. Jak již bylo zmíněno, stačí pouze robota navádět pomocí pohybů ramene a robot si kroky zapamatuje. Tato instalace kobotů může být realizovaná během pár dnů.

Průmyslové roboty tak snadnou instalaci nemají. K naprogramování těchto robotů je potřeba mít specialistu. Instalace může trvat i několik týdnů. [5]

## 2.2. Výhody a nevýhody

### Hlavní výhody kolaborativních robotů:

Osvobození od rizikových aktivit – Koboty plní úkoly, které by mohly být pro člověka velmi riskantními. Například bezpečná doprava ostrých, špičatých či horkých obrobků nebo nebezpečné práce se šroubováním na špatně dosažitelných místech. Koboti tedy mají za následek to, že bude méně nehod a technici se mohou zaměřit na méně náročné a nebezpečné aspekty výroby.

Chytré a bezpečné chování – Koboty jsou navrženy tak, aby bez jakýchkoliv problémů spolupracovaly s lidmi. Sofistikované snímače zajišťují, že nedojde ke styku s člověkem a pokud by přeci jen došlo, tak tlakové podmínky jsou tak nízké, že se žádné zranění nestane.

Flexibilní a učící se – Koboty jsou snadno naprogramovatelné. Stačí hýbat s ramenem kobota a ten si pohyby zapamatuje, jak bylo výše zmíněno. Jiným systémům lze dát pracovní instrukce bez kódování pomocí grafického uživatelského rozhraní. Zaměstnanci tak mohou flexibilně přeprogramovat koboty a používat je pro různé pracovní úkoly.

Použitelné kdekoli – S koboty lze relativně snadno pohybovat a využívat je v jiných místnostech výrobního řetězce. Většina kobotů může být umístěna na jakémkoliv povrchu – horizontálním, vertikálním, na stropě. Jsou často také dostatečně lehké, aby je dokázala unést jedna osoba. [2]

### Hlavní nevýhody kolaborativních robotů:

Poměrně vysoká pořizovací cena – Tím, že koboty nejsou tak časté a nevyrábí je moc firem, tak je jejich pořizovací cena relativně vysoká. Tato cena je hlavně za základní verzi kobota, což vede k další nevýhodě a to té, že se každé vylepšení musí platit.

Legislativa – Pro tento typ kobotů je legislativa zatím přísná, ne příliš přesná a jasná.



Obr. 2-2 Kolaborativní robot Fanuc CR-7iA/L [O4]

### 3. Automatizace v mezioperační manipulaci

V dnešní době jsou důležitou a nepostradatelnou součástí každého skladu či výrobního závodu průmyslové vozíky.

Už ve Starověku se potýkali s problémem zvednutí či přemístění těžkých objektů na jiné místo. Postupem času vznikali nápady typu kladky, kola, páky nebo různě nakloněné roviny, aby se co nejvíce ulehčilo přemísťování těchto objektů. Názorným příkladem je stavba pyramid. V průběhu doby docházelo k neustálému zdokonalování manipulačních prostředků. Technika došla tak daleko až k průmyslovým vozíkům. Manipulace s materiálem je v každém podniku velmi důležitou součástí výrobního procesu. Není to jen o tom přepravit materiál na krátký úsek. Materiálová manipulace je spojená s několika operacemi. Mezi nejčastější operace patří například přemísťování materiálu na různá stanoviště, skladování, uložení, usměrňování, polohování, dávkování či balení materiálu. Samozřejmě se jedná také o výškovou manipulaci. Nejpoužívanějšími manipulačními prostředky jsou průmyslové vozíky. V dnešní době existuje spousta druhů a množství vozíků, které jsou určené pro konkrétní operace v podniku, ale také vozíky, které slouží k univerzálnímu použití.



*Obr. 3-1 Stavba pyramid v Egyptě [05]*

### 3.1. Průmyslové vozíky a jejich rozdělení

Průmyslové vozíky se nejčastěji rozdělují podle druhu pohonu, a to na bezmotorové a motorizované.

#### Bezmotorové vozíky

Bezmotorové dopravní vozíky nemají vlastní pohybovou energii a jsou určeny především pro vnitrozávodní dopravu a operace ve skladu. Využívají se pro přemísťování objektů na kratší vzdálenosti. Při konstrukci těchto vozíků se bere na vědomí především způsob manipulace a druh materiálu určený k manipulaci.

Dle zdvihu dělíme vozíky na bez zdvihu a se zdvihem.

#### Vozíky bez zdvihu

V případě vozíků bez zdvihu se jedná o prostředky pro manipulaci ručního typu a možnost manipulovat s materiálem pouze v horizontálním směru. Tento typ vozíků se dělí na dvoukolové, ruční, plošinové tříkolové a čtyřkolové, potom dále na přívěsné a vlečné. Mezi nejjednodušší ruční dvoukolové vozíky patří tzv. Rudl. Ten se skládá z kovového obvykle hliníkového či ocelového rámu, záleží na hmotnosti materiálu určeného k přepravě. Dále je tvořen dvěma držadly a koly, a menší plochy, na kterou se daný materiál vyzvedne. Rudl je dvojího typu, a to standardní a schodišťový.



Obr. 3-2 Standardní a schodišťový Rudl [O6]

Vozíky plošinové tříkolové a čtyřkolové jsou z konstrukčního hlediska také velmi jednoduché. Jsou tvořeny držadlem, rámem a mají tři až čtyři kola. Kola jsou buď pevná či otočná.



*Obr. 3-3 Plošný vozík [07]*

Přívěsné vozíky patří do kategorie čtyřkolových či kolejových vozíků s ojí, a je zde možnost zapřáhnutí do vleku k motorovému vozíku jako například AGV či za automobil.

Vlečné vozíky obsahují tažný prostředek, za který se přichytí k řetězu či lanu. Tyto vozíky se uplatňují především na letištích při přepravování zavazadel.

#### Vozíky se zdvihem

U vozíků se zdvihem je výhoda taková, že přeprava může být horizontální, ale i vertikální. Zdvih je hydraulický a ovládán mechanickým kývavým pohybem oje. Tento vozík se vyskytuje v malých, středních i velkých podnicích pro přepravu materiálů, který je poskládaný na paletách.

Hlavní typy bezmotorových vozíků se zdvihem je ruční nízkozdvižný, vysokozdvižný a jeřábový vozík.

V každém malém, střední i velkém podniku se vyskytuje nízkozdvižný vozík. Znamější pod slangovým názvem paleták. Obsluha je velmi jednoduchá a vidlice vozíku se dají libovolně nastavit dle potřeby. Další výhoda je ta, že se dá přepravit více palet najednou a tím ušetřit čas.



*Obr. 3-4 Nízkozdvižný vozík [08]*

Postupem času vznikly i vozíky vysokozdvížené. Znamější pod slangovým názvem jako ještěrka. Princip je stejný jako u nízkozdvižných vozíků, jen je zde možnost zvedání do větších výšek, a to díky zvedacímu rámu. Vozík je opatřen řidičem a nejčastěji se vyskytuje ve stavebnickém, lesnickém a logistickém průmyslu. Značná nevýhoda oproti nízkozdvižnému vozíku je ta, že řidič musí projít potřebným školením, aby mohl vozík řídit.



*Obr. 3-5 Vysokozdvížený vozík [09]*

### **Motorizované vozíky**

Mezi zvláštní kategorií motorizovaných vozíků bez obsluhy patří AGV (Automatic Guided Vehicle). Jsou to automaticky vedené vozíky a mezi jejich schopnosti patří přepravování a manipulování materiálu bez lidského zasahování.



*Obr. 3-6 Automated Guided Vehicle [O14]*

### **3.2. Automaticky řízené vozíky bez obsluhy (AGV)**

Logistika je jednou z důležitých částí, která posouvá 4. průmyslovou revoluci. Inteligentní automaticky navigované dopravní systémy tvoří jednu z technologií potřebnou pro Průmysl 4.0.

AGV (nebo také Automated Guided Vehicle) je zařízení zajišťující automatické přepravování materiálů a břemen vozíky bez obsluhy. Jsou vhodné k vnitřnímu i venkovnímu použití a rozdělují se dle způsobu navigace, případně podle použití. V dnešní době jsou nepostradatelnou součástí téměř každého menšího, středního i většího podniku. Skládají se z jednoho či více přepravních vozíků bez řidiče, dále obsahují řídicí systém, který je potřebný pro rozhodování pozic a zjišťování polohy, zařízení pro přenos dat, infrastrukturu a periferní zařízení. Výhodou vozíků je přesný a bezpečný provoz, předvídatelnost AGV, jelikož se trasy během času nemění a možnost neustálého pracovního nasazení bez jakýchkoliv lidských zásahů. Další důvody, proč se využívají vozíky AGV je především vysoká účinnost, spolehlivost a flexibilita přepravy. Na vozíky jsou nízké jak provozní náklady, tak i náklady na údržbu.

AGV vozíky se využívají pro přemístění objektů z místa A do místa B. Pro tento způsob přepravy se používá několik rozdílných navigací potřebných pro určování tras. Využívá se navigace optická, indukční, magnetická a laserová.

Automaticky řízené vozíky jezdí bez řidiče, proto se kladl velký důraz na bezpečnost. Vozíky jezdí po trasách, které jim byly určeny, to však nevyklučuje riziko, že kdykoliv může trasu neúmyslně zkrřížit zaměstnanec. Pro tyto případy mají AGV trvalé monitorování své určené trasy a jsou opatřeny certifikovaným bezpečnostním systémem, kdy dojde k okamžitému brždění. Dále obsahují skener pro ochranu osob ve směru jízdy. Systém byl navržen tak, aby rychlost měla vliv na délku oblasti, ve které se vozík pohybuje. To znamená, že čím rychleji vozík pojedí, tím větší bude mít pole bezpečnostní oblasti, ve které jezdí díky skeneru. Dalším bezpečnostním prvkem vozíků je clona senzoru. Cílem clony je identifikovat různé objekty nad a pod úrovní detektoru. Pokud tedy bude vyčnívat paleta či materiál netypicky z regálů, zaznamená, že je něco špatně.

Postupem času se zdokonalilo také zavedení těchto vozíků do podniků. Dříve byla potřeba velké přípravy a častokrát byla ohrožena i samotná výroba. V dnešní době se vozíky navrhuji



tak, aby časové ztráty byly co nejmenší. Většina vozíků se dodává s aplikacemi, díky kterým se ovládají. Zároveň jsou aplikace předem otestovány na konkrétní hardware a software podniku. [6]



*Obr. 3-7 AGV sledující magnetickou pásku [O10]*

### **3.3. Druhy navigací AGV vozíků**

#### **Optická**

Optická navigace je nejlevnější a nejjednodušší typ navigací. Realizace navigace je provedena pomocí naváděcích pásek, nátěrů či reflexních vrstev podél naplánované trajektorie. Barevnost musí být odlišná, než je barva podlahy. V dnešní době dokáže optický snímač rozeznat i velmi poškozené navigační stopy. Výhodou této navigace je jednoduchost systému pro instalaci, trasy se dají lehce upravit dle potřeby a přes čáry je možné jezdit i jinými vozíky. Mezi nevýhody patří nízká odolnost a rychlé opotřebení.

#### **Magnetická**

Magnetická navigace je obdoba optické navigace. Vozík, který využívá tuto navigaci není veden vodičnými čarami, ale používají se magnetické pásky či mikro-magnety podél určené trasy. Tento typ navigace má stejné výhody, jako navigace optická. Mezi další výhody patří, že při mřížkovém rozmístění má vysokou flexibilitu a je vhodná i pro venkovní prostředí.

#### **Indukční**

Indukční navigace je již několik let nejpoužívanější typ navigací. Princip fungování je prostřednictvím indukční smyčky. Tento typ navigace obsahuje senzor, který je umístěn na spodní části vozíku a míří směrem k zemi. Indukční smyčka je tvořena jednopólovým vodičem, který je umístěn v podlaze a napájen konstantní frekvencí. Zároveň kolem sebe vysílá signál přes magnetické pole a tím určuje trať, kterou vozík pojede. Mezi výhody patří několikaletá osvědčenost spolehlivosti v podnicích a možnost použití ve znečištěném prostředí. Nevýhodou je malá flexibilita.

#### **Laserová**

Tato navigace funguje na principu laserové triangulace. Stěny a sloupy jsou opatřeny laserovými senzory. Vozík obsahuje laserový přijímač, vysílač a rotující zrcátko. Díky laserovému vysílači vysílá paprsek a ten je nasměrován přes rotující zrcátko k sensorům. Trasu vozíku je možné vytvořit díky příslušnému softwaru nebo při zkušební jízdě s vozíkem v podniku. Výhodou tohoto navigačního typu je vysoká přesnost a flexibilita. Mezi nevýhody se zahrnuje vysoká cena a náklady spojené se zavedením tohoto systému.

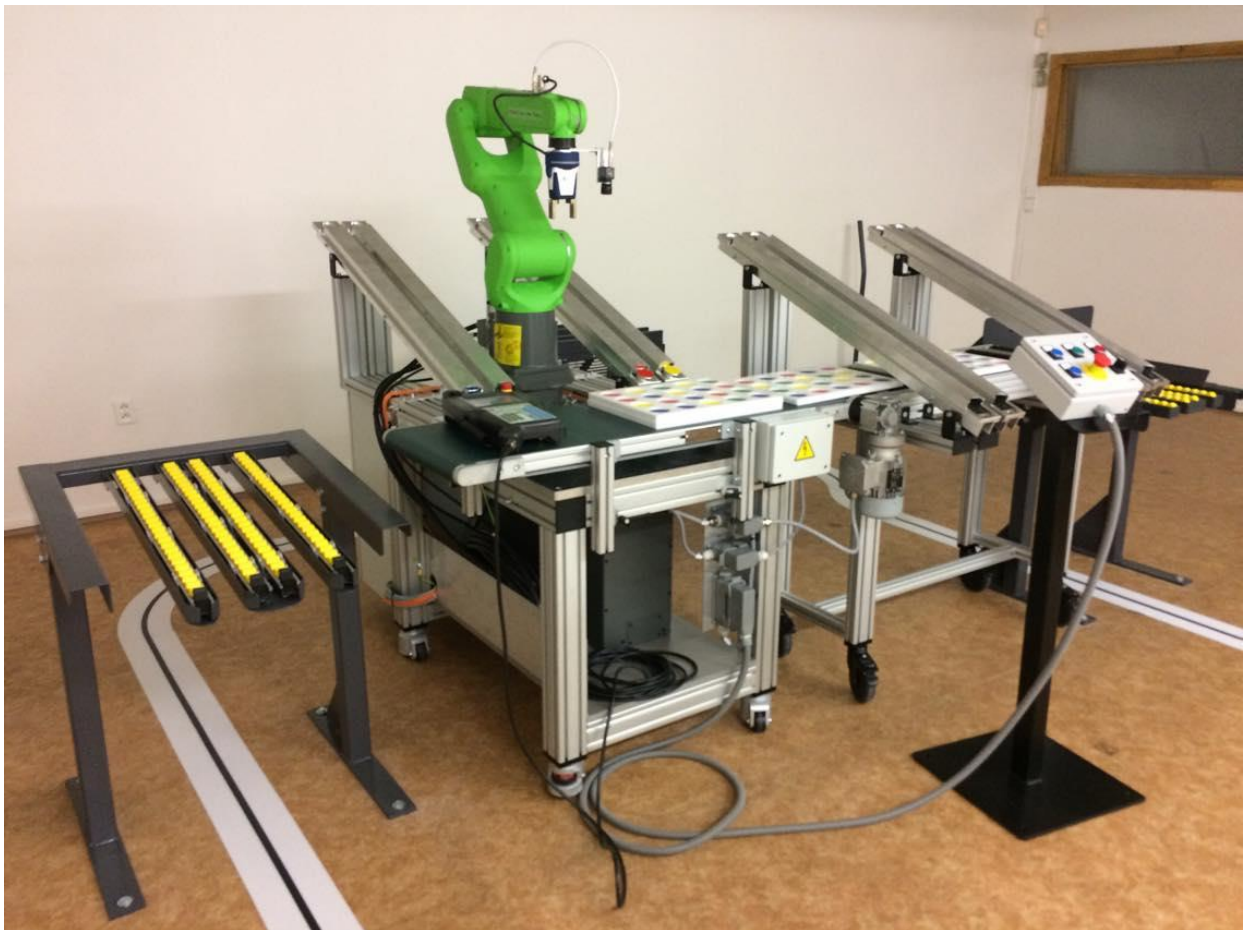
## 4. Popis laboratoře Průmyslu 4.0

Laboratoř Průmyslu 4.0 se nachází na Západočeské univerzitě v Plzni a je vybavena kolaborativním robotem Fanuc CR-7iA/L a automaticky řízeným vozíkem Weasel.

Tento kobot má za úkol rozpoznávat barvy puků a vkládat je do palet určené k přepravě. Je vybaven kamerovým senzorem, díky kterému kobot dokáže rozlišit správně barvy a vložit je, kam má.

Po dopravníku přijede paleta, kam se ukládají puky. Kobot ze zásobníku vybere danou barvu a vloží je do otvoru. Paleta se posune na konec dopravníku, kde je uložena na pojízdný vozík s úložným prostorem, který se pohybuje pomocí naváděcích optických pásek.

Hlavní výhodou kobota je efektivita práce. Nedochází totiž k časovým prostojům ve srovnání s lidskou silou. Mezi další výhody lze také zahrnout, že kobot zvládne pracovat na úkolech, které jsou pro člověka obtížnější, jako například montování nebo přenos drobných součástek, nebo objektů na špatně dosažitelných místech. Zároveň se kobot neunaví, což vede k tomu, že požadované normy se nezmění k horšímu.



*Obr. 4-1 Laboratoř na Západočeské univerzitě v Plzni*

#### 4.1. Kolaborativního robot Fanuc CR-7iA/L

Kobot Fanuc CR-7iA/L je malý, flexibilní a navržený tak, aby mohl pracovat vedle člověka. Je určený k vykonávání opakujících se ručních a únavných prací, jako je například manipulace s materiálem, u kterých by byli jinak velké prostoje ve srovnání s člověkem. Je dokázáno a logické, že pokud člověk pracuje několik hodin například u pásového dopravníku a má za úkol jednu opakující se činnost, tak ke konci směny je méně produktivní než na začátku. Za časové prostoje může několik faktorů, jako například únava, nepestrá činnost, málo přestávek, vysoké nároky od vedení... Proto jsou na takové pozice vhodnější a více efektivní koboty.

V závislosti na potřebě podniku může být kobot naprogramován tak, aby plnil výrobní toky, které vyžadují stabilní a spolehlivé úrovně kvality. Tyto úkoly se mohou pohybovat od sestavování drobných dílů až po vysoce opakované úkoly, jako je ukládání a vykládání předmětů z jednoho místa na druhé.

Další výhodou kobota je, že nemusí být opatřen oplocením z bezpečnostních důvodů, protože v sobě má integrovanou senzorovou technologii, která ho automaticky zastaví po střetu s pevným objektem.

Mezi další výhody patří kompatibilita s existujícími doplňky FANUC.

Je možné vybrat tento typ kobota ve dvou různých velikostech. Jedna verze je se standartním ramenem a druhá verze s dlouhým ramenem. Jinak si jsou verze velmi podobné. Výhoda každé verze závisí na potřebách podniku.

Standartní rameno je vhodnější, pokud jsou problémy s prostorem a dokáže unést váhu 4 kg, zatímco dlouhé rameno může dosáhnout dále v případě, že je pracovní prostor rozšířený a unese váhu 7 kg. [7] [8]



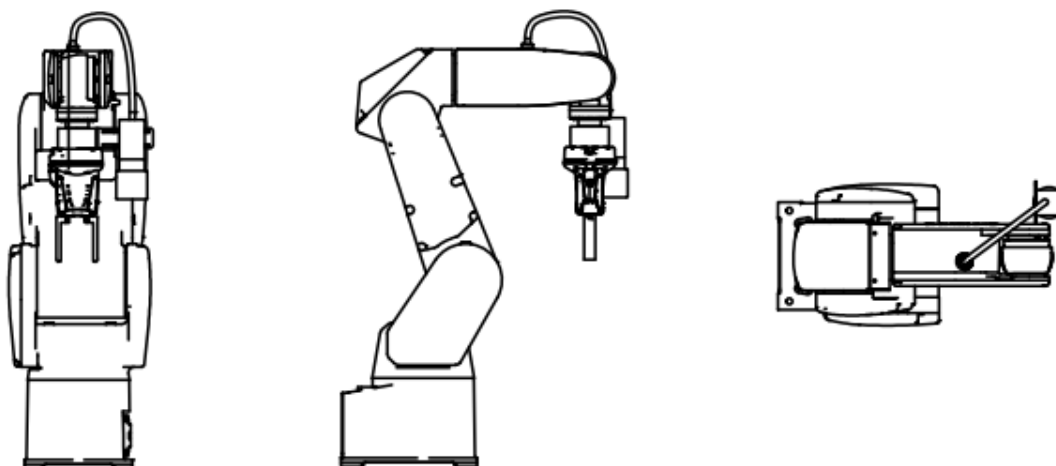
Obr. 4-2 Kolaborativní robot Fanuc CR-7iA/L [O11]



Technické parametry CR-7iA/L:

<b>Robot CR-7iA/L</b>	
Počet os robota:	6
Dosah:	911 [mm]
Nosnost:	7 [kg]
Stopa robota:	296,5x235 [mm]
Montážní poloha podlahy:	Standard
Montážní poloha stěny:	Standard
Montážní poloha nahoru:	Standard
<b>Elektrické připojení:</b>	
Napětí 50 / 60Hz 1 fázový:	200-230 [V]
Průměrná spotřeba energie:	0,5 [kW]
<b>Integrované služby:</b>	
Integrované signály na horním rameni Vstup / Výstup:	6/2
Integrovaný přívod vzduchu:	Standard
<b>Životní prostředí:</b>	
Hladina akustického hluku:	64,7 [dB]
Okolní teplota:	0-45 [° C]

Tab. 4-1 Technické parametry CR-7iA/L



Obr. 4-3 Model Fanuc vytvořený v programu Autodesk Inventor

## 4.2. Automaticky řízený vozík WEASEL

Automaticky řízený vozík Weasel je ideálním řešením pro automatizaci přepravních úkolů a stávajících skladových systémů. Je flexibilní a vysoce efektivní dopravní systém, který zajistí optimální proudění materiálu.

Dopravní vozidla mohou být vybavena pro ruční, polo automatizovaný nebo plně automatizovaný provoz v závislosti na konkrétních požadavcích. Dosahuje rychlosti až 1m/s a přepraví najednou až 35 kg, takže je vhodný téměř do každého podniku. Weasel urychluje časové cykly, ale také zlepšuje efektivitu nákladů skladových procesů. Navzdory malým rozměrům Weasel přepravuje zboží a pomůcky pro zatížení různých velikostí ve všech teplotních rozmezích mezi 2 °C až 50 °C. Jeho kompaktní konstrukce umožňuje použití na špatně přístupných místech. Weasel nevyžaduje četné senzory nebo komplexní řídicí systém. Místo toho se pohybuje podél opticky označené pásky. Tento ty navigace lze rychle zavést a může být kdykoliv snadno upravena podle potřeby.

Systémy Weasel mohou být integrovány do stávajících intralogistických řešení bez rozsáhlé práce. Standardizovaný řídicí software může být instalován snadným a rychlým způsobem. Příkazy pro přepravu jsou generovány ručně aktivovanými rozhlasovými příkazy (samostatné řešení), systémy třetích stran, jako jsou výrobní stroje s PLC nebo systém toku materiálu podniku.

Energie je dodávána prostřednictvím bezúdržbových bateriových agregátů, které lze automaticky dobít v nabíjecí skříni pomocí podlahových kontaktů. Automaticky řízený vozík Weasel může dosáhnout provozních časů až 16 hodin při jednom nabití akumulátoru. [10]

Mezi hlavní výhody patří:

- Bezpečná a jemná přeprava kontejnerů, kartonů a dalšího zboží (do 35 kg)
- Bezbariérové dopravní řešení s malým nárokem na prostor
- Různé konstrukce pro nejlepší ergonomii
- Bezpečnost personálu bez rozsáhlých sensorových zařízení
- Vysoká flexibilita s ohledem na přizpůsobení a rozšíření systému
- Snadná integrace do stávajících systémů
- Žádné drahé senzory a složité řídicí systémy

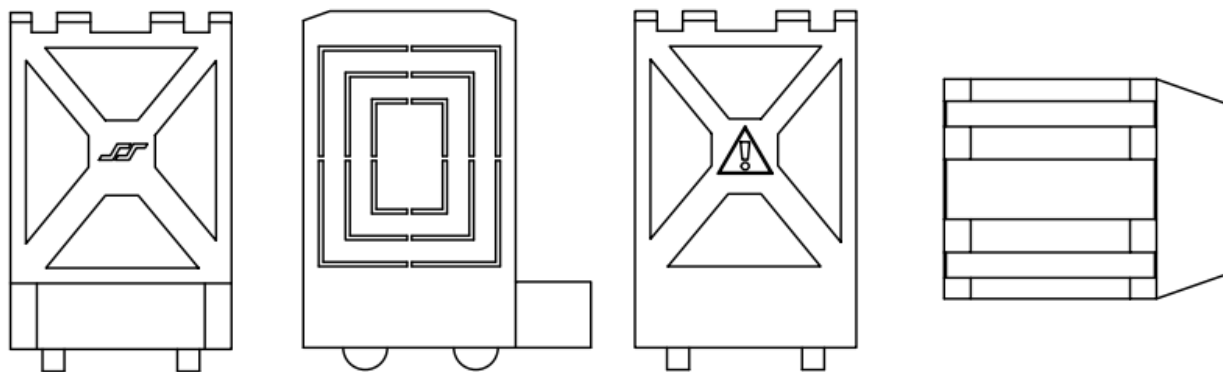


Obr. 4-4 Automaticky řízený vozík Weasel [O12]

Technické parametry Weasel:

<b>Automaticky řízený vozík Weasel</b>	
Přepravní hmotnost:	do 35 [kg]
Rozměry vozidla:	až 810x420x180 [mm]
Zrychlení/Brždění:	až 2 [m/s]
Poloměr otáčení:	min. 600 [mm]
Rychlost cestování:	až 1 [m/s]
<b>Dodávka energie:</b>	
Ruční přes nabíjecí skříň nebo automatické nabíjecí stanice s uzemněním	
Napájecí zdroj baterie:	24 [V]
Doba nabíjení:	8 [hod]
Provozní doba:	až 16 [hod]
<b>Zdvih:</b>	
Rychlost zvedání:	do 3 [m/s]
Počet vstupů / výstupů na zdvih:	do 10
Výška zdvihu:	do 13,4 [m]
<b>Konstrukce:</b>	
Závěsná struktura zboží:	horní okraj 1 250 [mm]
Vysoká struktura:	horní okraj 750 [mm]
Nízká struktura:	horní okraj 250 [mm]

Tab. 4-2 Technické parametry Weasel



Obr. 4-5 Model Weasel vytvořený v programu Autodesk Inventor



## 5. Tvorba digitálního modelu laboratoře

Tvorba virtuálního modelu zahrnuje reálnou kopii laboratoře na Západočeské univerzitě v Plzni. Bylo vytvořené digitální dvojče této laboratoře.

V laboratoři lze nalézt kolaborativního robota typu Fanuc CR-7iA/L a to konkrétně s dosahem 911 mm a nosností 7 kg. Mezi jeho přednosti patří malá velikost a flexibilita. Dále je navržen tak, aby mohl spolupracovat přímo s člověkem bez jakéhokoliv rizika nebezpečí.

Následně se zde vyskytuje také automaticky řízený vozík Weasel s rozměry 600x400x510 mm, vozík je opatřen vysokou strukturou, kde jeho horní okraj dosahuje 750 mm. Pohyb vozíku zajišťuje optická vodící páska a mezi jeho hlavní výhody patří především bezpečné uložení všech objektů do 35 kg.

### 5.1. Digitální dvojče

Společnosti využívají technologii digitálních dvojitých technologií z mnoha důvodů. Tyto důvody zahrnují například zlepšování probíhajících operací, školení zaměstnanců, testování nových produktů nebo postupů při jejich uvedení do reálného provozu, kde je nákladné a velmi složité opravit jakékoli problémy, které by mohli nastat.

Umělá inteligence a strojové učení jsou často používány k analýze modelu operací reprezentovaných digitální dvojicí bez ohledu na to, kde se nachází reálné zařízení. Mezi nejhlavnějšího představitele digitálních dvojčat patří NASA. Využívá technologii párování, aby vyřešila problematiku provozu, údržby a oprav systémů, jelikož jsou zařízení fyzicky daleko.

Digitální dvojitá technologie může pomoci personálu, aby se pohodlně seznámil s implementací a automatizací internetu věcí, jelikož mají možnost simulovat reálný provoz před oficiálním spuštěním. Zkušenosti a příležitosti, které jsou získány pomocí digitálního dvojčete lze pak aplikovat na fyzické prostředí.

Vzhledem k tomu, že digitální dvojčata mohou v reálném čase sledovat, co se děje s vybavením nebo jinými fyzickými prostředky, tak jsou velmi užitečné při výrobě s cílem snižování problémů s údržbou a zajištění optimálního produkčního výkonu.

Stejné výhody, co mají digitální dvojčata ve výrobě v podnicích mohou přinést i ve zdravotnictví. Mohou zlepšit jak chirurgické operace, tak samotnou péči o pacienty. Digitální dvojče pacientů nebo orgánů může umožnit chirurgům a zdravotnickým pracovníkům praktikovat postupy v simulovaném prostředí. Senzory o velikosti bandáží mohou monitorovat pacienty a vytvářet digitální modely, které mohou vést ke zlepšení péče. [13]



## 5.2. Popis programu Autodesk Inventor

Autodesk Inventor je software pro návrh 3D modelů a dále slouží k vizualizaci a testování nápadů pro zlepšování produktů. Inventor umožňuje tvorbu prototypů produktů ve 3D prostředí, které přesně simulují hmotnost, tření, zatížení a mnoho dalších faktorů. V programu se navrhuje vše od základních návrhů forem až po detailní modely. Modely lze vytvořit a otestovat prostřednictvím integrovaných nástrojů pro simulaci pohybu a montážní analýzy. Inventor také obsahuje integrované simulační nástroje CAD, které zvyšují produktivitu a pomáhají snižovat chyby. Dále se prostřednictvím těchto nástrojů může snížit čas vývoje až o polovinu.

Mezi výhody Inventoru patří především kompatibilita s AutoCad systémem. Díky podpoře souborů DWG (výkres) je uživatelům umožněno v Inventoru využít své výkresy 2D pro vytvoření přesných 3D modelů. Inventor je digitální prototyp, proto lze s aplikací snadno vytvořit integraci výkresů 2D AutoCADu a 3D dat do digitálního modelu, který bude sloužit jako virtuální prezentace finálního produktu. Díky tomu mohou inženýři lépe navrhovat a simulovat produkty bez nutnosti vytváření fyzických prototypů. Formát 2D a 3D datové výměny a recenze, který aplikace Autodesk Inventor nejčastěji používá, je webový formát návrhu (DWF).

Autodesk Inventor je používán v mnoha průmyslových odvětvích, aby pomohl odstranit nedostatky mezi designem, inženýrstvím a výrobou. Výrobci horských kol mohou například použít aplikaci Inventor k vytvoření digitálních prototypů koncových produktů, které prakticky optimalizují interakce s odpružením a zjistí, zda jsou tolerance správné. V případě výrobců jachet může být Inventor používán k přesnému modelování a k vytváření prototypů průlomových vlnkových lodí a slouží ke spuštění testů, které určí, kde by byla potřeba snížit hmotnost a zlepšit výkon lodí. Dalším příkladem toho, jak může být Inventor použit je například v případě výrobců důlních strojů. V tomto případě by mohl být Inventor využit k simulaci vlastností stroje, aby byli zjištěny neočekávané srážky a další chyby, které by se jinak nemohly projevit až do fyzické výroby.

Software je redukován výrobními náklady prostřednictvím digitálních prototypů a virtuálních testů. To přispívá k minimalizaci chyb a ke zrychlení výrobních cyklů, což vede vyšší efektivitě, jelikož se výrobky dostanou rychleji na trh.

Autodesk Inventor se používá v nejrůznějších odvětvích výroby. [9]

### Generátory a kalkulačky pro návrh akcelérátoru

Generátory a kalkulačky konstrukce akcelérátoru podporují sestavy a svařence. Při kreslení, plechovém nebo dílném prostředí nejsou k dispozici.

Podpora konstrukce akcelérátoru pozičních reprezentací je omezena pouze na změny komponentě.

Komponenty Design Accelerator je možné v prohlížeči propagovat a degradovat pomocí kontextového menu. Je nutné se ujistit, že podsestavy, které jsou součástmi konstrukčního akcelérátoru jsou uzemněny po demontáži. Funkce přetahování není v prohlížeči k dispozici pro podporu nebo snížení komponent.

Komponenty konstrukčního akcelérátoru musí být zapouzdřeny do sestavy pro aplikaci kinematiky. Komponenta může být umístěna v podsestavě hloubkové úrovně. V takovém případě je nutné upravit na místě původní sestavu před spuštěním jakýchkoli příkazů Design Accelerator.

Sestava akcelérátoru návrhu se používá k uspořádání komponentů pod sestavou. Jedna sestava může obsahovat pouze jednu součástku.

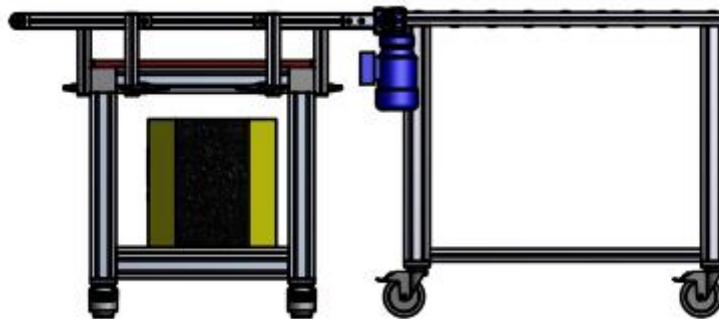
## Tipy a triky

Při práci s generátory a kalkulačkou Design Accelerator existuje velké množství funkcí, které pomáhají pracovat rychleji a efektivněji:

- Nápověda na více řádků s obrázky popisuje, co se musí udělat nebo vybrat, v případě chyby nebo problému popisující charakter chyby.
- Pomocí funkce >> se ve většině generátorů a kalkulaček získá přístup k dalším možnostem nastavení.
- 3D úchyty a dvojklik: Většina generátorů používá 3D grafiku pro lepší orientaci a pracovní postup. Pomocí náhledu 3D se zobrazí součást v kontextu s ostatními částmi sestavy ještě před vytvořením.
- Změna výstupních jednotek: Dvakrát kliknout na hodnotu výsledků pro změnu jednotek a zadají se nové jednotky.
- Seznamy položek – přetažení: Většina generátorů může přetáhnout. Je možné změnit pořadí generovaných komponent. Například v generátoru šroubových spojů je možnost změnit pořadí matic a podložek.

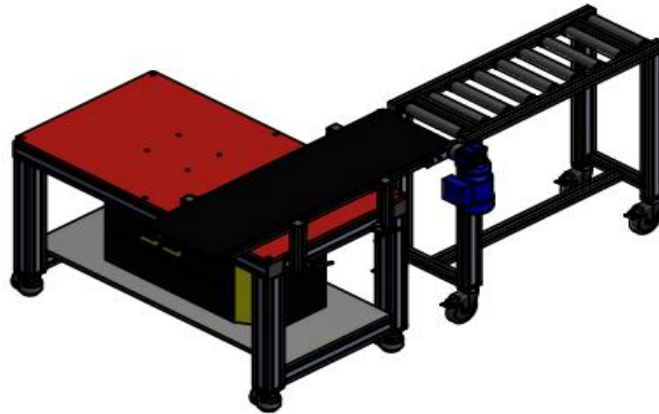
## 5.3.Tvorba modelu laboratoře Autodesk Inventor

Jako první byl vymodelován v programu Autodesk Inventor dopravník, po kterém jsou palety přenášeny až k AGV.



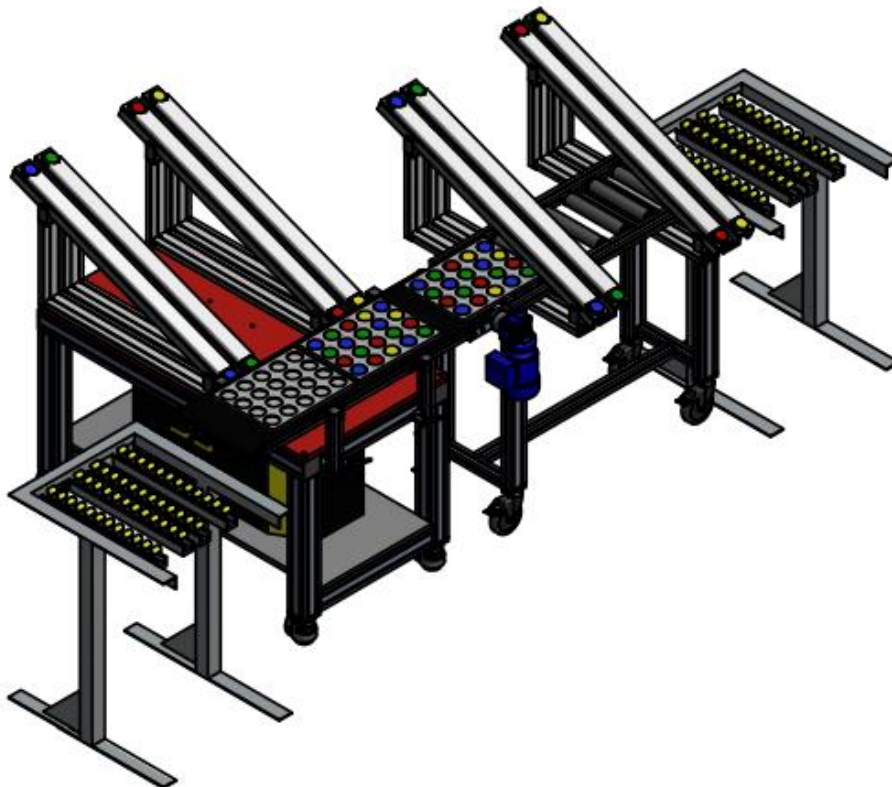
*Obr. 5-1 Model dopravníku*

K dopravníku následně byl dodělán podstavec pro kolaborativního robota typu Fanuc CR-7iA/L.



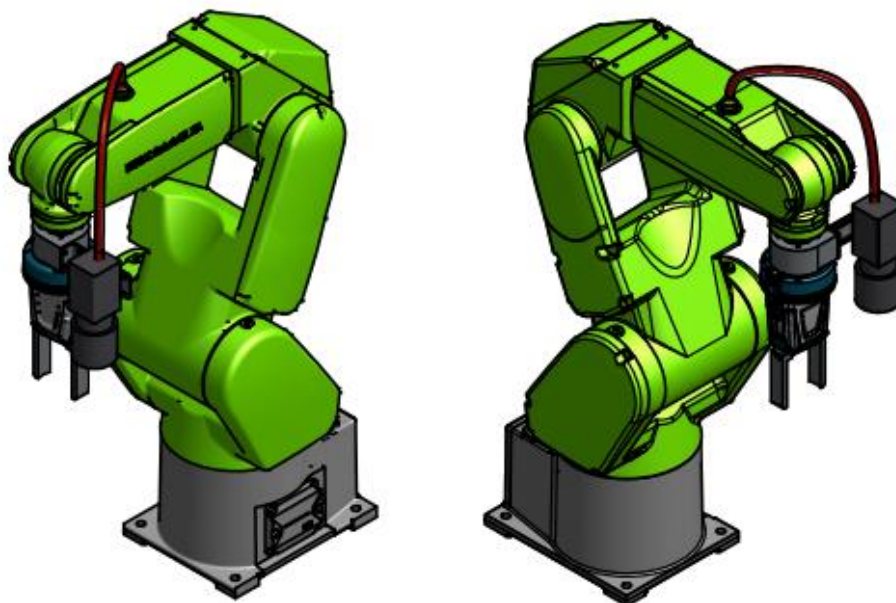
*Obr. 5-2 Model dopravníku s podstavcem*

V dalším kroku byli dodělány prvky jako jsou zásobníky, jednotlivé puky a paletky, pro uložení konkrétní barvy puků.

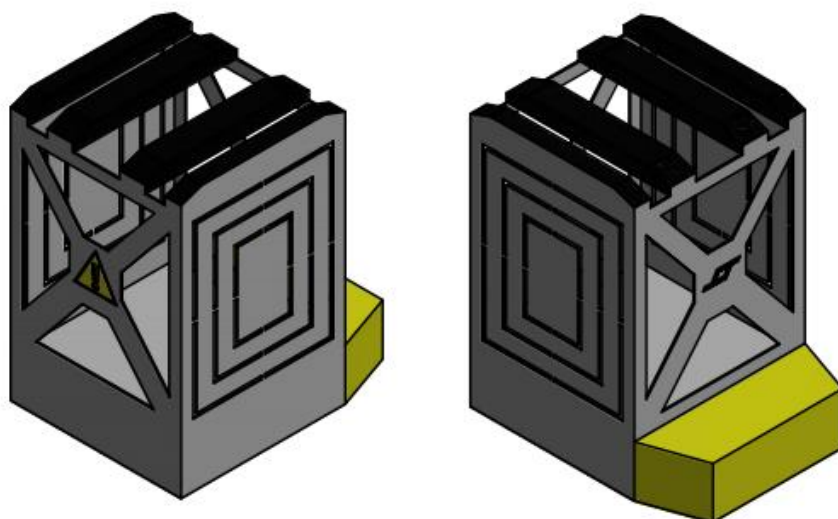


*Obr. 5-3 Model zásobníků, puků a paletek*

Jako poslední byl namodelován kolaborativní robot a automaticky řízený vozík s optickou vodící páskou.

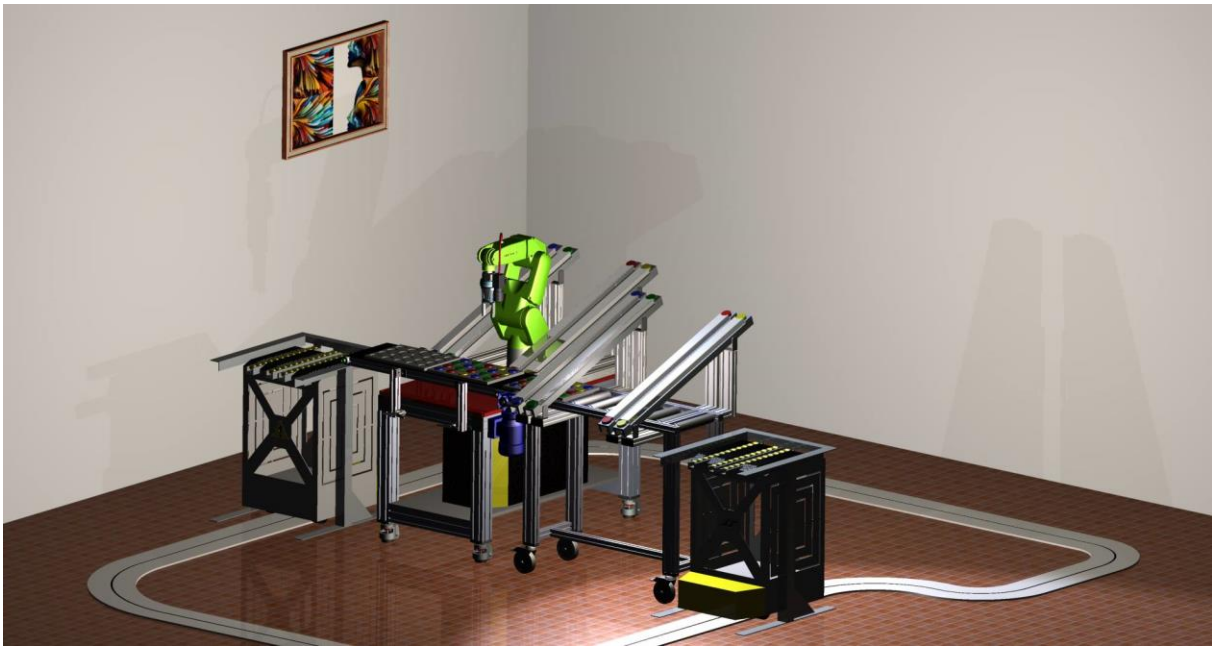


*Obr. 5-4 Model Fanuc CR-7iA/L*



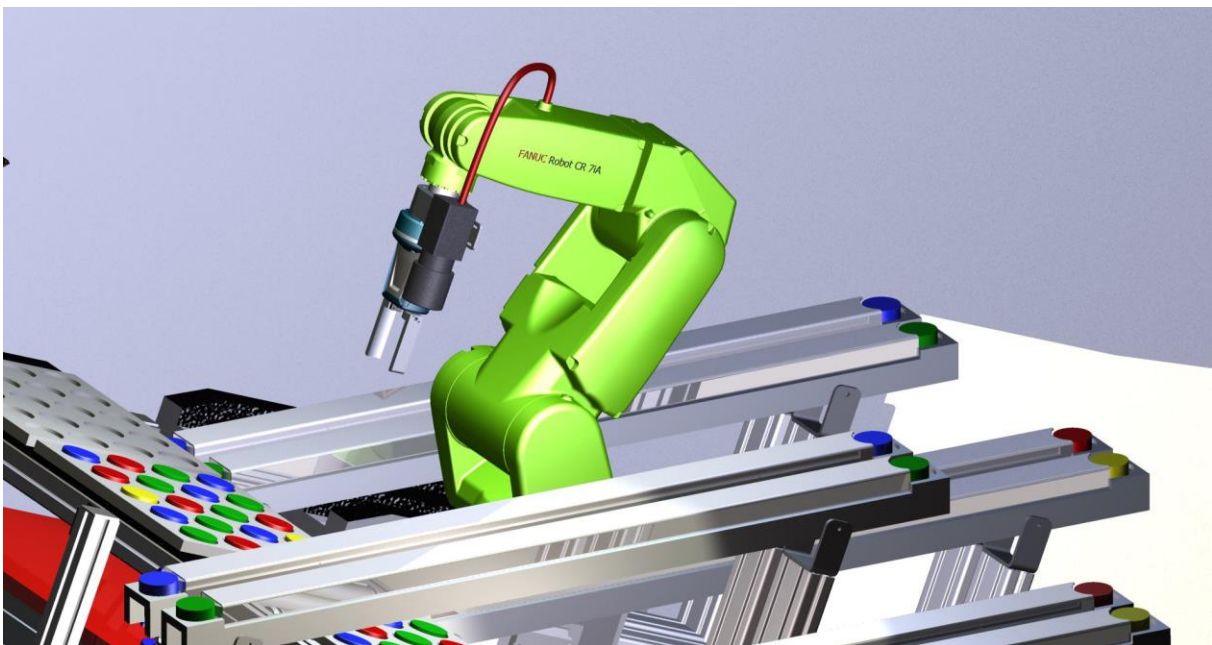
*Obr. 5-5 Model Weasel*

Finální verze modelu laboratoře:

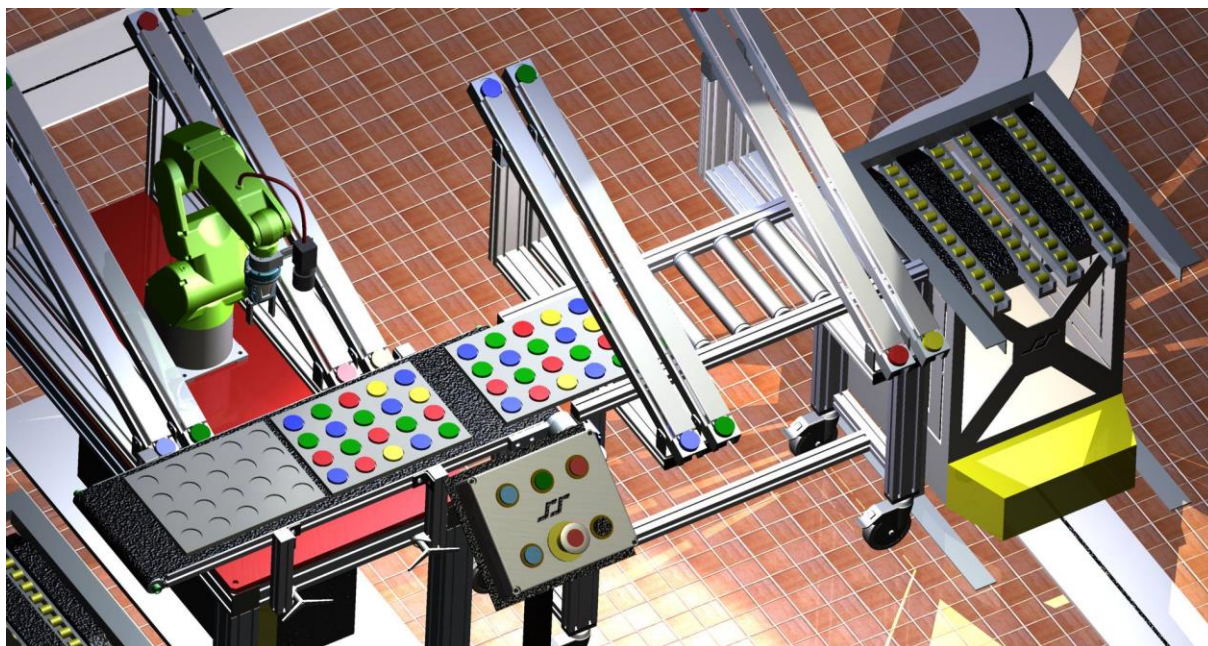


*Obr. 5-6 Model laboratoře*

Jak lze na obrázku 5-7 vidět, detaily zásobníků jsou reálně navrženy i s puký. Odtud daný kolaborativní robot Fanuc CR-7iA/L puk vyjme a vloží do jednotlivých otvorů na paletkách, které jsou určené k přepravě. Dále je na modelu vidět dopravník, po kterých se jednotlivé paletky s puký dopraví až na konec, kde jsou uloženy na automaticky řízený vozík Weasel, který je naváděn pomocí optické pásky.



*Obr. 5-7 Model laboratoře*



*Obr. 5-8 Model laboratoře*



## 5.4. Popis programu Tecnomatix Process Simulate

Process Simulate je program, který usnadňuje návrh a validaci výrobních procesů v 3D dynamickém prostředí. Poskytuje různé technické obory s daty a sady nástrojů, díky kterým lze prozkoumat podrobné procesy a ověřit je v nejrůznějších fázích a perspektivách.

Procesní simulace je důležitý faktor na trhu, jelikož prakticky umožňuje výrobním organizacím validovat koncepty výroby ve velkém předstihu. Schopnost využívat prostředky a 3D data produktů usnadňují virtuální validaci, optimalizaci a uvedení do provozu složité a náročné výrobní procesy, což vede k rychlejšímu spuštění a zaručuje vyšší kvalitu dané výroby.

Jedná se o plně integrovaný program s výrobní páteří, což umožňuje výrobním technikům opakovaně používat, autorizovat a ověřovat výrobní procesy. Process Simulate poskytuje pokročilé 3D prostředí, které je schopné emulovat realistický výrobní proces a optimalizovat doby cyklů a sekvence procesů.

Process Simulate umožňuje ověřování nejrůznějších segmentů výroby jako například montážní procesy, lidské operace, svařování, kontinuální procesy jako je laserové svařování a lepení a další robotické procesy. Všechny tyto procesy lze simulovat ve stejném prostředí, a to umožňuje simulace virtuálních výrobních zón. Simulace napodobuje realistické lidské chování, robotické regulátory a PLC logiku. [12]

- Process Simulate Assembly – Procesní simulace sestavy umožňuje uživatelům ověřit proveditelnost sestavy proces. Umožnění nejefektivnější montážní sekvence, zajištění odbavení a identifikaci nejkratšího procesu.
- Process Simulate Human – Proces simulovat člověka umožňuje uživatelům ověřit návrh pracovních stanic a zajistit, aby bylo možné dosáhnout výrobků co nejefektivnější možnou cestou realizace. Dále proces poskytuje výkon schopností analyzovat a optimalizovat ergonomii lidské činnosti tak, aby byl zajištěn ergonomicky bezpečný proces podle průmyslových standardů.
- Process Simulate Spot Weld – Procesní simulace bodového svařování umožňuje uživatelům navrhnout a ověřit procesy bodového svařování v prostředí 3D grafiky a to od rané fáze plánování až po podrobné technické fáze a offline programování. Tento proces usnadňuje výrobní technické úkoly jako je například distribuce, časové rozmezí a výběr nejlepších svařovacích nástrojů.
- Process Simulate Robotics – Procesní simulace robotiky umožňuje uživatelům navrhnout a simulovat vysoce složité zóny výroby robotiky. Nástroje pro simulaci robotiky poskytují schopnost navrhnout cestu bez střetnutí pro všechny roboty a optimalizovat jejich cyklické časy.
- Process Simulate Commissioning – Procesní simulace uvedení do provozu umožňuje uživatelům zjednodušit existující výrobní a technické údaje z koncepčního návrhu až do prodeje. Použitím tohoto procesu mohou uživatelé simulovat skutečný PLC kód se

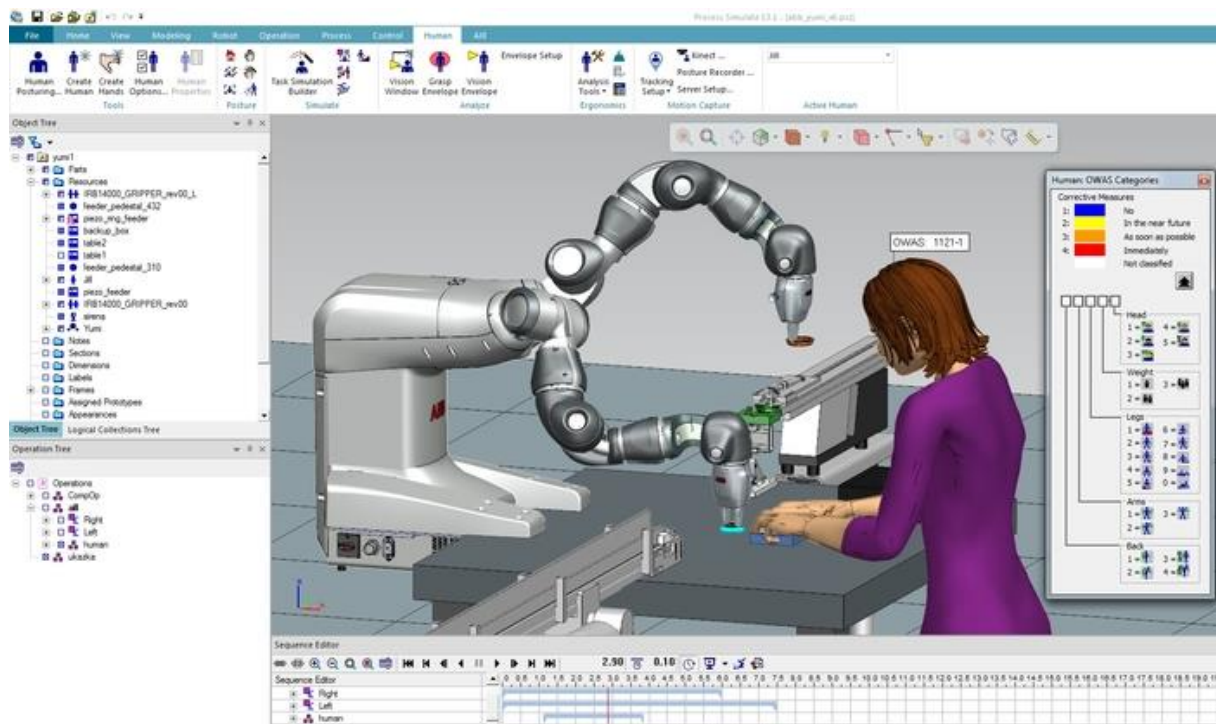
skutečným hardware pomocí OPC a skutečného robota s programy a tím umožnit co nejvíce realistické virtuální prostředí pro uvedení do provozu.

### Funkce Process Simulate:

- 3D simulace
- Statická a dynamické střetnutí detekce
- 2D a 3D sekce
- 3D měření
- Montáž a robotická cesta plánování
- Modelování zdrojů (3D a kinematika)
- Návrh linek a pracovních stanic
- Simulace lidských úkolů
- Simulace procesu robotiky
- Virtuální uvedení do provozu

### Výhody:

- Snížení nákladů
- Včasná detekce problémů
- Optimalizace cyklických časů
- Zajištění ergonomické bezpečnosti procesů
- Minimalizace rizik
- Předčasné ověření výroby před uvedením do provozu ve virtuálním prostředí
- Zvýšení kvality procesů o emulování realistických procesů během celého procesu

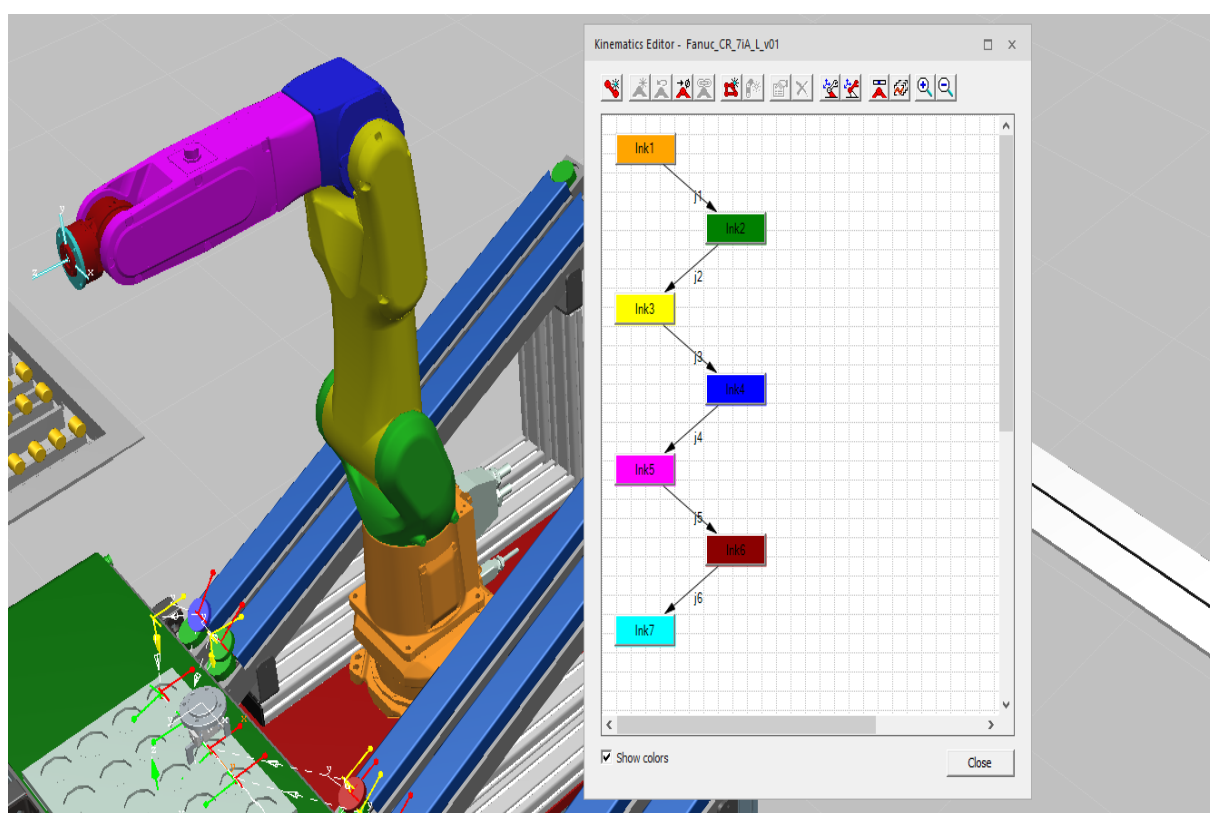


Obr. 5-9 Program Process Simulate [O13]

## 5.5. Tvorba modelu laboratoře Tecnomatix Process Simulate

Při tvorbě laboratoře v Tecnomatix Process Simulate bylo důležité správně převést modely vytvořené v programu Autodesk Inventor. Po tomto kroku následovalo sestavení podle reálné předlohy. Po dokončení sestavování se začalo pracovat s programem Process Simulate jako takovým.

Prvním krokem bylo bezchybně sestavit kinematiku robota, jelikož bez ní by nebyl funkční a nedokázal by uchopit dané objekty. Začali jsme tedy zadávat dané příkazy přes Kinematics Editor, který nám Process Simulate nabízí. Z datového listu pro konkrétního robota Fanuc CR-7iA/L jsme zjistili rozsah pohybu jednotlivých částí. Z obrázku 5-10 lze vidět, jakým způsobem byli jednotlivé části spojovány. Pro přehlednost je vytvořena tabulka jednotlivých částí i s příslušnými rozsahy.



Obr. 5-10 Kinematika robota Process Simulate

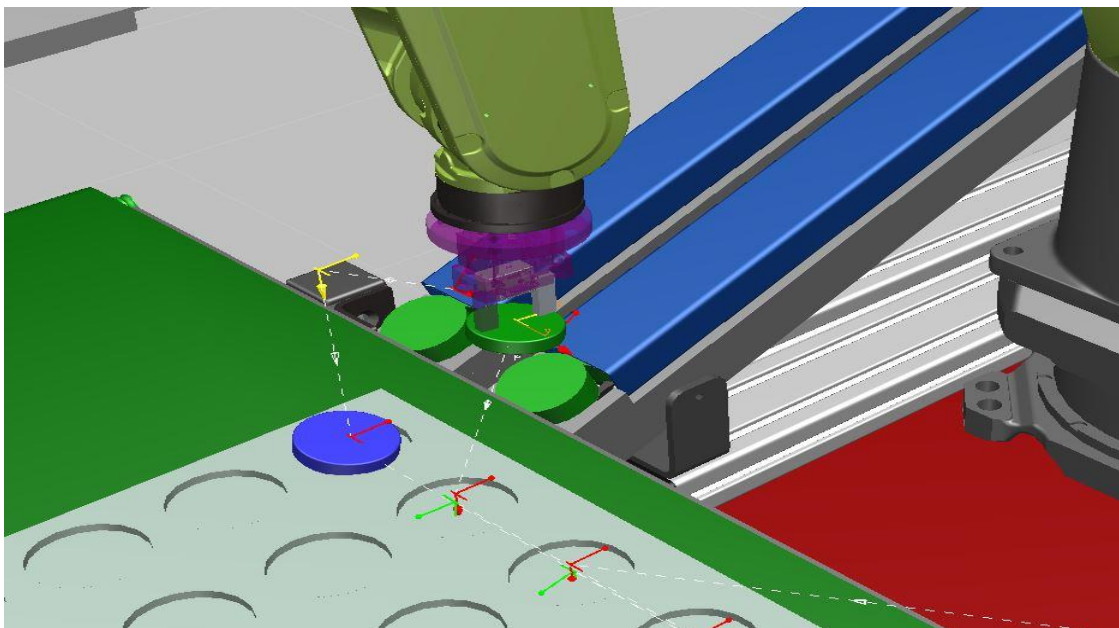
Část 1	Část 2	Rozsah
Oranžová	Zelená	340°
Zelená	Žlutá	166°
Žlutá	Modrá (tmavá)	383°
Modrá (tmavá)	Fialová	380°
Fialová	Červená	240°
Červená	Modrá (světlá)	720°

Tab. 5-1 Rozsahy pohybů

Po dokončení kinematiky robota bylo důležité správně uchopit nástroj. Tedy vytvořit příkaz, kterým jsme dali pokyn, kam se potřebný nástroj má pevně uchytit. Dalším krokem bylo nastavení jednotlivých pohybů robota tak, aby dané objekty uchytily.

Nezbytné bylo také dodržet správný kartézský souřadnicový systém po celou dobu vytváření jednotlivých pohybů. Pokud bychom daný systém nedodrželi, tak by jednotlivé objekty nevykonávali rovnoměrný přímočarý pohyb. Mohlo by například docházet ke splývání objektů s vytvořenými modely.

V našem konkrétním případě byly kroky v pořadí, kdy robot uchytí daný puk a přemístí ho na danou pozici v paletce. Je především důležité si uvědomit, jakým stylem by se měl robot pohybovat i v reálné situaci. Musíme si uvědomit, že robot nevykonává pouze jeden pohyb pro přemístění puku, ale musí puk uchytit, zvednout jej do určité výšky, přemístit jej do určité vzdálenosti a pohybem směrem dolů puk vložit do přiděleného otvoru. Tímto způsobem byly vytvořeny pohyby čtyř puků.

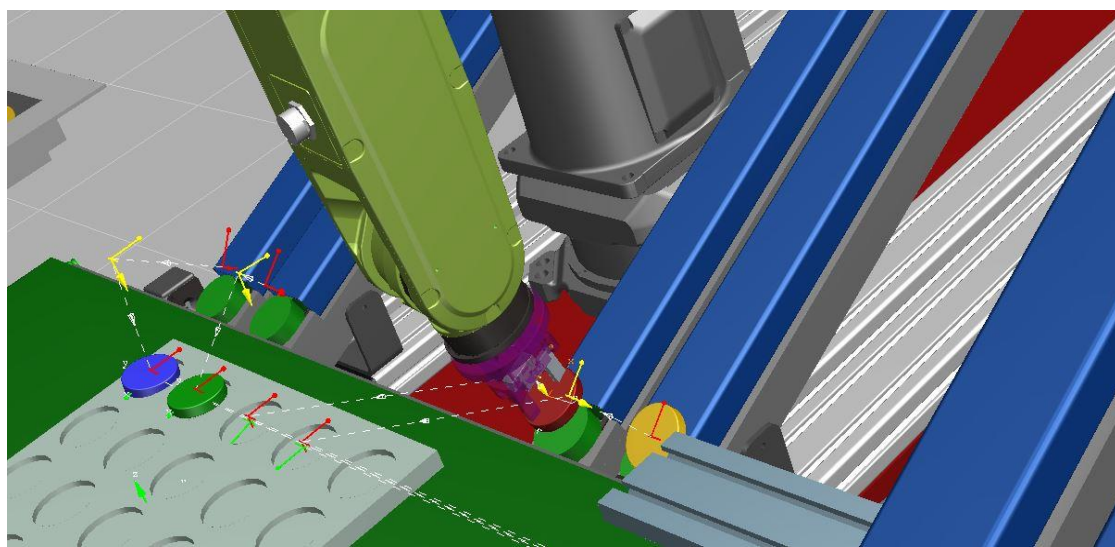


*Obr. 5-11 Uchycení objektu Process Simulate*

*Obr. 5-12 Uchycení objektu Process Simulate*

Další fáze zahrnovala vytvoření příkazu pro pohyb paletky s jednotlivými puky na konkrétní místo, kde se zastaví. Způsob tvoření byl v podstatě obdobný, jen přes jiné funkce v programu. Důležité bylo však zaručit, aby souřadnicový systém byl shodný se souřadnicovým systémem, který jsme zavedli na začátku.

Po vytvoření těchto částí byl přidán model člověka, který představuje reálnou obsluhu



laboratoře. Byl mu přidělen příkaz zapnutí celkového robota, který začne ihned vykonávat dané pohyby. Po tomto příkazu se člověk přemístí k zásobníkům, kde se zastaví a počká až k němu přijede daná paletka s vloženými puky.

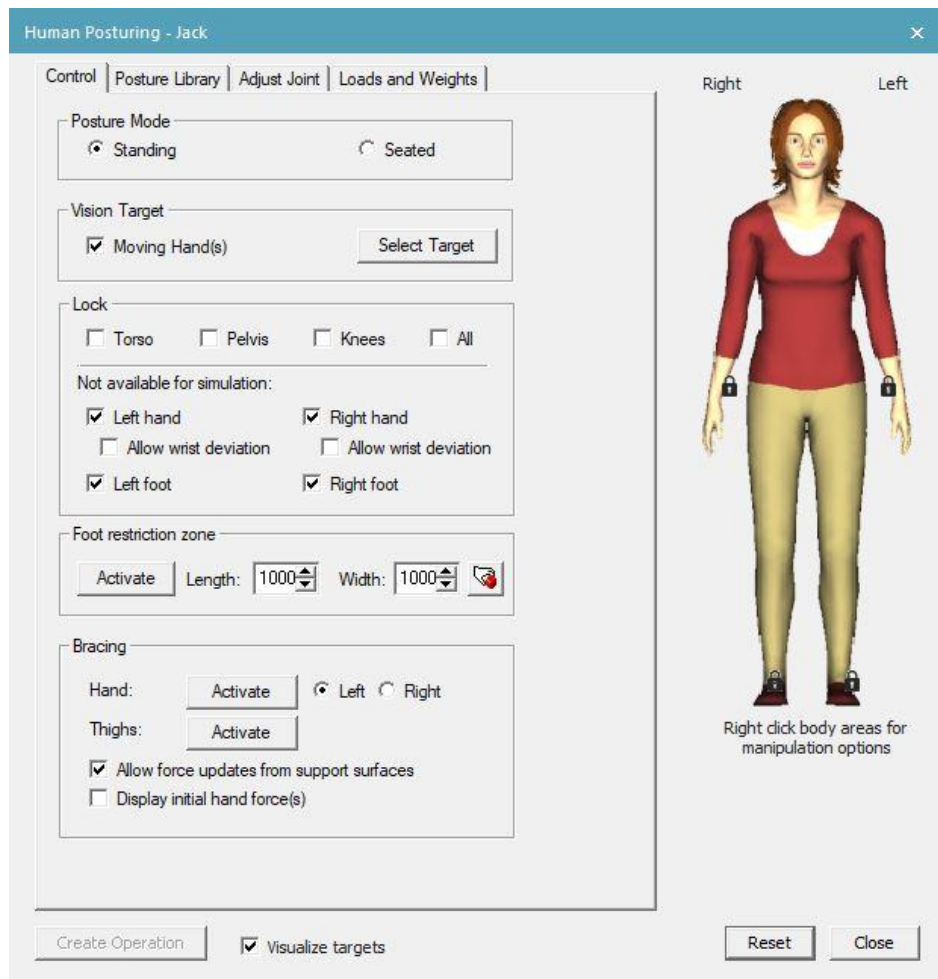
Všechny operace pro člověka se zhotovují přes příkaz Human, kde již pracujeme s potřebnými požadavky, které potřebujeme, aby byly vykonány. První krok, který se musí vykonat při řešení osob je vybrání správných nástrojů. Pokračujeme tedy přes Tools do Create Human, kde si zvolíme příslušný model člověka podle našich požadavků. To znamená například jak bude vysoký, kolik bude vážit, jestli se jedná o muže či ženu atd.



Obr. 5-13 Simulace Human Process Simulate

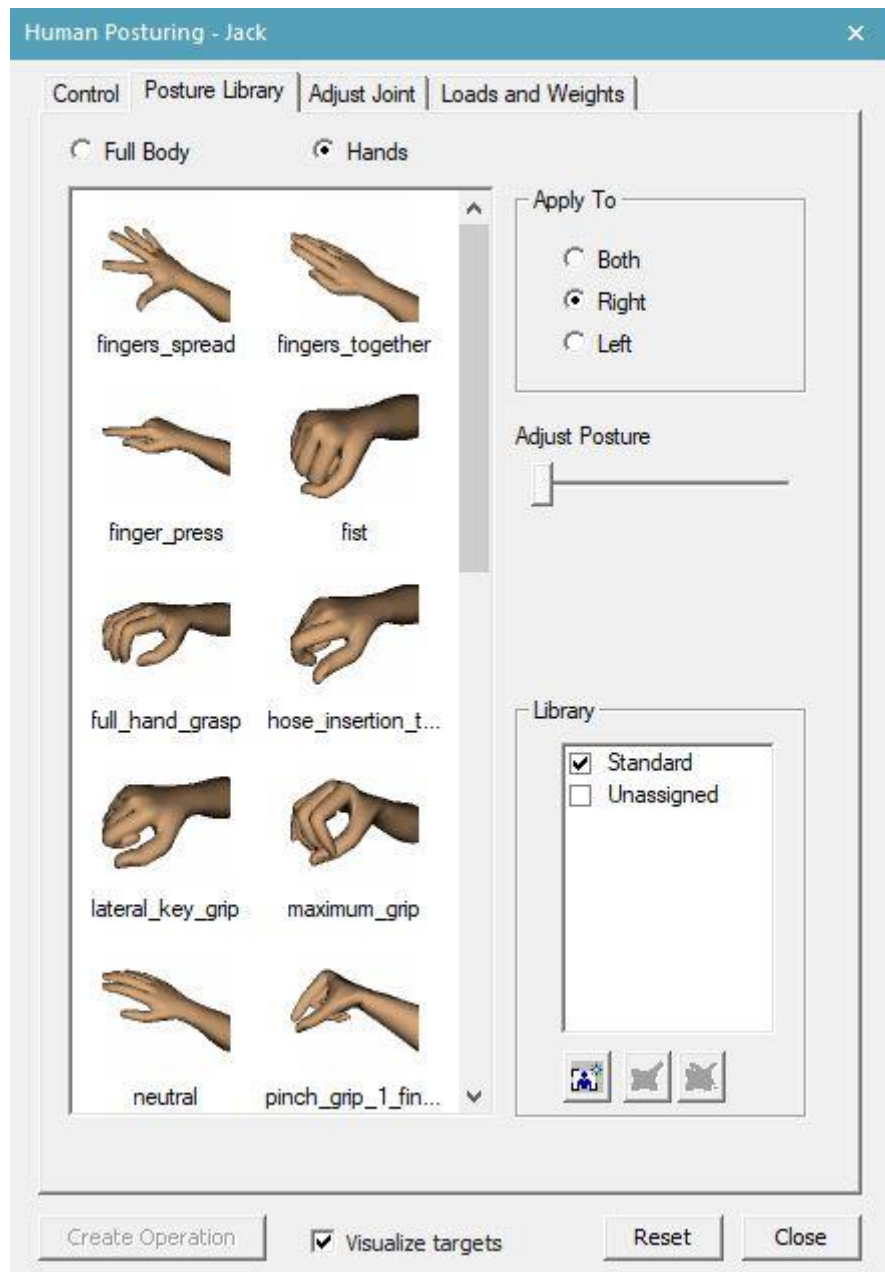
Dalším krokem pro vytvoření požadovaného člověka byla simulace, kde jsme pracovali s Task Simulation Builder. Pokud si tuto simulaci otevřeme, zobrazí se nám určité možnosti. Pracujeme s příkazy jako Go, Get, Put, Position, Pose, Regrasp, Stand, Sit, Wait, Touch a Apply Force.

Při vytváření konkrétního modelu člověka v laboratoři se pracovalo především se simulacemi Go a Pose. Přes souřadnicový systém byla nastavena vzdálenost, kam má člověk dojít a zastavit se. Dalším úkolem bylo, aby zvedl do určité výšky ruku v dané poloze a zmáčkl příslušné tlačítko. Tyto příkazy byly vykonány v simulaci Human Posturing – Jack, a to v sekci Control, kde můžeme libovolně vytvářet pohyby všech částí těla.

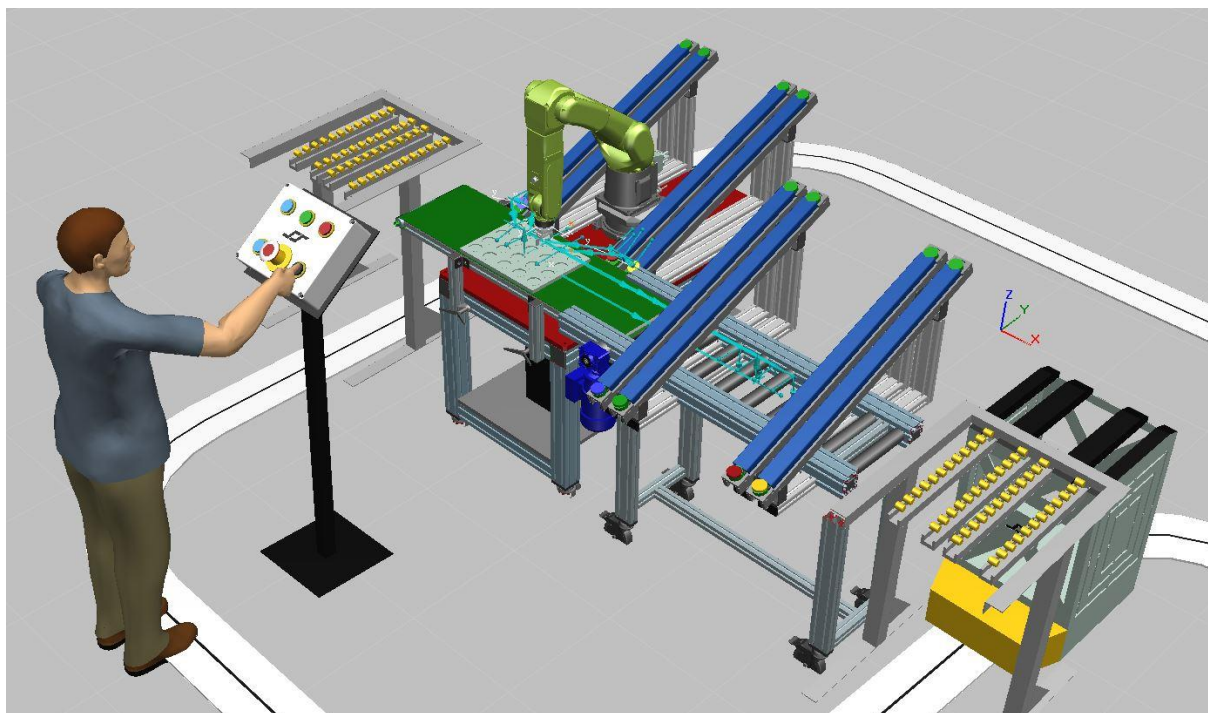


Obr. 5-14 Simulace Human Posturing - Jack v Process Simulate

Přes tuto simulaci byl vytvořen požadavek, aby člověk zvedl pravou ruku do konkrétní výšky a tou zmáčkl příslušné tlačítko pro zapnutí robota. Dalším požadavkem bylo, aby dotyčný člověk dokázal tlačítko zmáčknout pouze ukazováčkem, abychom dosáhli co možná nejvíce realistickou vizi. Tato část se vytváří také v simulaci Human Posturing – Jack, ale musíme se přepnout do sekce Posture Library a z Full Body přejdeme na část Hand, kterou jsme potřebovali. Jak je vidět na obrázku 5-15. Zde byl již vytvořen daný požadavek na již zmíněný ukazováček a pravou ruku.



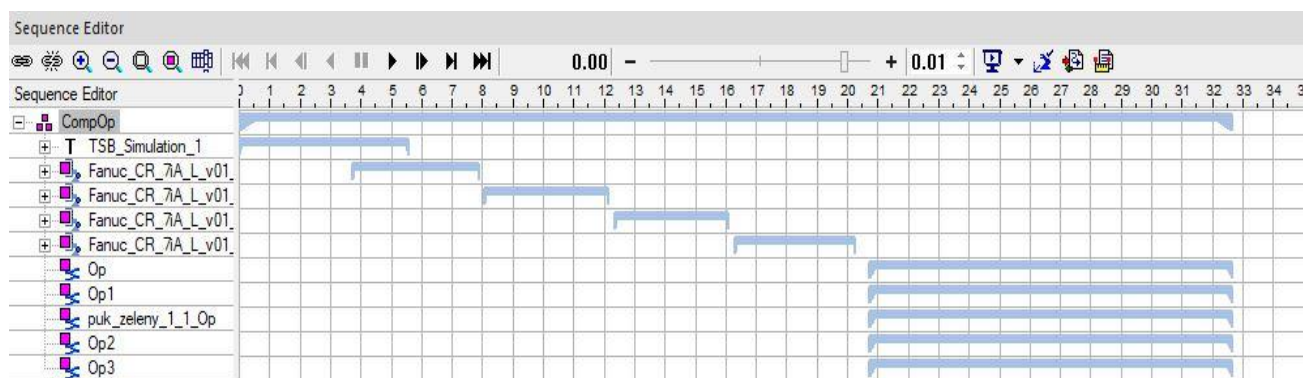
Obr. 5-15 Simulace Human Posturing - Jack v Process Simulate



Obr. 5-16 Zapnutí robota Process Simulate

Poté co byly všechny tyto části vloženy a sestaveny tak, aby správně fungovaly bylo důležité seřadit jednotlivé příkazy. V programu Process Simulate nesmí docházet k překřížování časových úseků jednotlivých příkazů, které vykonává jeden objekt. Nesmí se tedy stát, aby robot měl nastavený časový úsek tak, že by najednou měl dávat dva puky ve stejný čas do otvorů v paletce, jinak se nám celý proces zastaví či vůbec nespustí. Všechny časové úseky se upravují v Sequence Editor, kde se dají jednoduše posouvat, kam danou simulaci požadujeme.

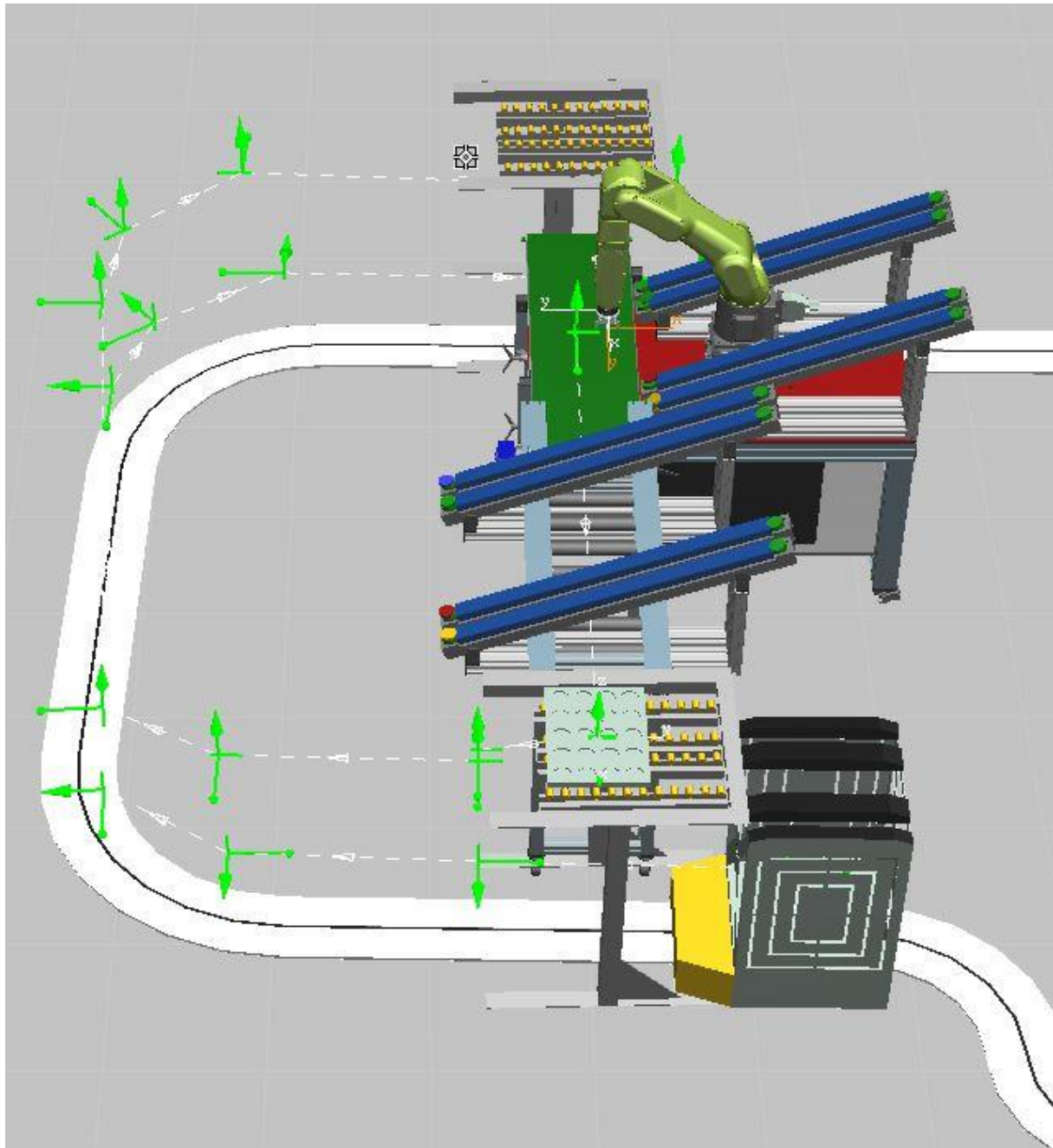
Potom co byly jednotlivé části seřazeny byly příkazy pro člověka uspořádány tak, aby navazovaly podle reálné představy, jak je vidět na obrázku 5-17. Tedy, aby zapnul stroj a poté se přemístil na požadované místo, kde vykonává svou činnost. Při těchto příkazech nevadí, že se člověk překrývá s časovým úsekem robota, jelikož se jedná o dva různé objekty, které na sebe nemají vliv.



Obr. 5-17 Časové úseky Process Simulate

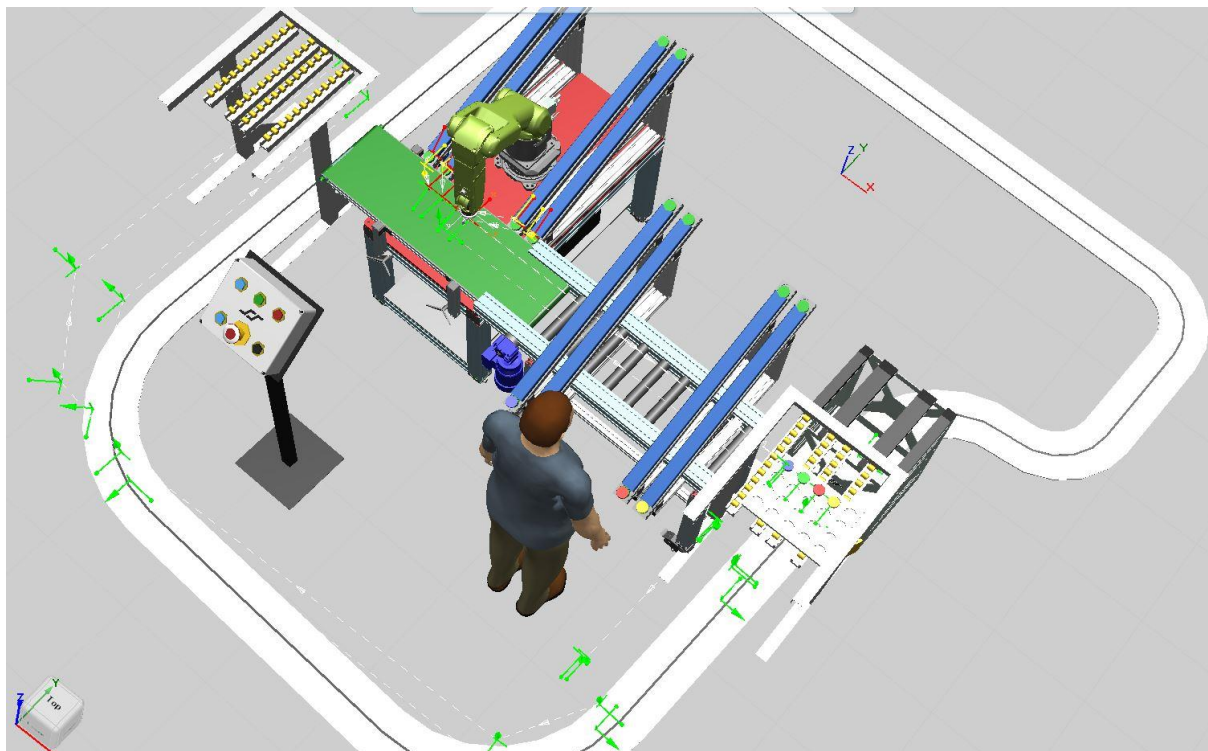


Simulace pokračovala vyřešením pohybů paletky z konce dopravníku na úložný prostor, ze kterého si AGV příslušnou paletku odebere. Jak je vidět na obrázku 5-18. Vytváření příkazů bylo složitější, jelikož je důležité nastavit pohyby automaticky řízeného vozíku tak, aby dokázal sundat paletku příjezdem z úložného prostoru jako v reálné situaci laboratoře. Byla vytvořena simulace digitálního dvojčete již bez vložených puků. Cílem bylo zhotovit pohyby vozíku jako v reálné předloze, tedy simulace pouze automaticky řízeného vozíku vs paletky. Při tvorbě cest vozíku bylo obtížnější vytvářet správný souřadnicový systém, jelikož jsou zde rádiusy, při kterých se musí souřadnicový systém měnit, ale zároveň se musí držet stejný s vozíkem.

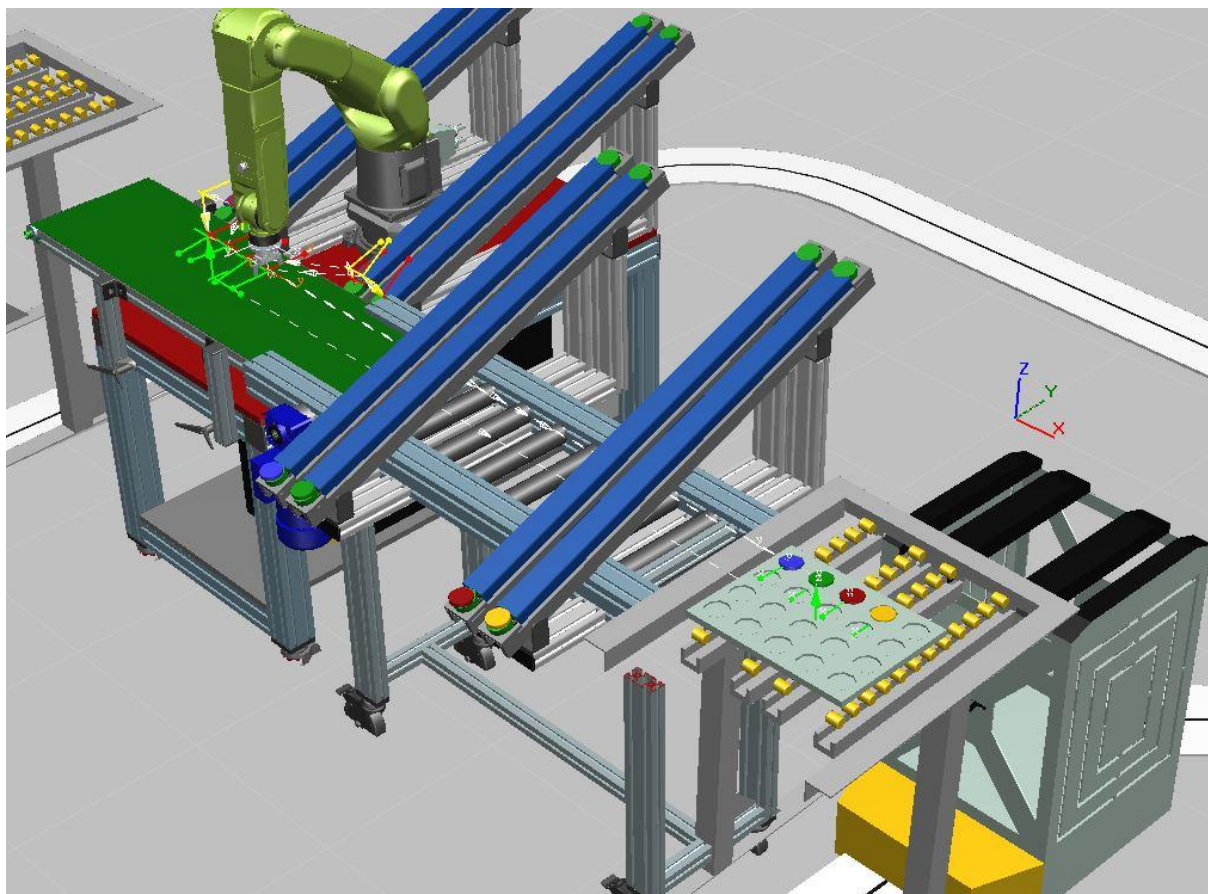


*Obr. 5-18 AGV Process Simulate*

Finální verze modelu laboratoře:



*Obr. 5-19 Model laboratoře*



*Obr. 5-20 Model laboratoře*



*Obr. 5-21 Model laboratoře*

V elektronické příloze práce jsou k dispozici k nahlédnutí všechna videa laboratoře vytvořená v programu Tecnomatix Process Simulate.

## **Závěr**

V teoretické části této práce jsou shrnuty poznatky z oblasti Průmyslu 4.0, informace o kolaborativních robotech, včetně popisu automaticky řízených vozíků.

Praktická část se zaměřuje především na tvorbu virtuální laboratoře, a to v programu Autodesk Inventor a programu Tecnomatic Process Simulate.

Práce se zabývá analýzou laboratoře na Západočeské univerzitě v Plzni s kolaborativním robotem typu Fanuc CR-7iA/L a automaticky řízeným vozíkem Weasel.

Jedná se o robota, který díky kamerovému senzoru dokáže rozpoznat barvy jednotlivých objektů (puků) a vkládat je do paletek na místo, kam konkrétní barva patří. Na modelu vytvořeném v Inventoru můžeme vidět detail robota, puků, dopravníku, pojízdného vozíku s úložným prostorem, tak optické pásy, po které se vozík pohybuje.

V programu Autodesk Inventor byla zhotovena celá laboratoř podle reálné předlohy. Vytvořené modely byly převedeny do programu Tecnomatic Process Simulate, kde se s nimi dále pracovalo. Process Simulate se zaměřuje především na simulaci reálné laboratoře, ve které byla vytvořena kinematika daného robota, aby se pohyboval ve správných směrech. Rozsahy jsou nastaveny podle datového listu, takže odpovídají reálným parametrům. Dále byli vytvořeny jednotlivé příkazy, kdy robot uchytí puk a vloží jej do příslušného otvoru v paletce. Paletka po uložení všech puků odjede na příslušné místo, kde již čeká člověk vykonávající další příkazy.

V elektronické příloze bakalářské práce jsou k dispozici k nahlédnutí všechna videa laboratoře vytvořené v programu Tecnomatix Process Simulate.

## Seznam použité literatury

- [1] CHLEBNÝ, Jan a kolektiv autorů. *Automatizace a automatizační technika, prostředky automatizační techniky*. Vyd. 3., V nakladatelství Computer Press. Brno: Nakladatelství Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3747-5.
- [2] BENEŠ, Pavel, CSc. *Automatizace a automatizační technika*. Vyd. 1., V nakladatelství Computer Press. Brno: Nakladatelství Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-3747-5.
- [3] BENEŠ, Pavel, CSc. *Automatizace a automatizační technika*. Vyd. 2., V nakladatelství Computer Press. Brno: Nakladatelství Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3747-5.
- [4] Catalonia.com: Industry 4. [online]. [cit. 2019-10-5]. Dostupné z: <http://catalonia.com/trade-with-catalonia/industry-40.jsp>
- [5] I-scoop.eu: Cobots [online]. [cit. 2019-10-13]. Dostupné z: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/cobot-collaborative-robot/>
- [6] Sytem-agv.com: AGV [online]. [cit. 2019-10-14]. Dostupné z: <http://www.system-agv.com/cze/>
- [7] Fanuc.eu: FANUC [online]. [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/bg/en/robots/robot-filter-page/collaborative-robots/collaborative-cr7ial>
- [8] Machiningnews.com: FANUC [online]. [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <http://www.machiningnews.com/2017/02/collaborative-safe-and-highly-reliable-good-things-come-in-threes/>
- [9] Autodesk.com: Autodesk Inventor [online]. [cit. 2019-11-29]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>
- [10] Ssi-schaefer.tw: WEASEL [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <http://www.ssi-schaefer.tw/index.php?id=1867&L=53>
- [11] Online-journals.org: Industry 4.0 [online]. [cit. 2019-10-5]. Dostupné z: <https://online-journals.org/index.php/i-jim/article/viewFile/7072/4532>
- [12] Cardsplmsolutions.nl: Tecnomatic Process Simulate [online]. [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.cardsplmsolutions.nl/en/plm-software/tecnomatix/process-simulate-23/screenshots>
- [13] Forbes.com: Digitální dvojče [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2019/04/23/7-amazing-examples-of-digital-twin-technology-in-practice/#22a69b2c6443>
- [14] Ibm.com: Velké údaje [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/analytics/hadoop/big-data-analytics>
- [15] Ottomotors.com: Chytré továrny [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://ottomotors.com/blog/what-is-the-smart-factory-manufacturing>
- [16] Ptolemy.berkeley.edu: Kyberneticko-fyzikální systémy [online]. [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://ptolemy.berkeley.edu/projects/cps/>
- [17] Ottomotors.com: Technologie v Průmyslu 4.0 [online]. [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://ottomotors.com/blog/5-industry-4-0-technologies>

- [18] Industry 4.0 [online]. [cit. 2020-03-20]. Dostupné z:  
<file:///C:/Users/lucie/Downloads/TB%20Pr%C5%AFmysl%204.0.pdf>
- [19] MAŘÍK, Vladimír a kol. Průmysl 4.0 - Výzva pro Českou republiku. Praha: Management Press, 2016. 262 s. ISBN 978-80-72614-40-0.
- [O1] Vývoj průmyslové revoluce [online]. [cit. 2020-03-20]. Dostupné z:  
<http://www.datamix.eu/blog/nova-prumyslova-revoluce-prumysl-4-0/>
- [O2] Parní stroj [online]. [cit. 2019-10-10]. Dostupné z: <http://starestroje.cz/stroje.parni.php>
- [O3] Průmyslový robot zabezpečený oplocením [online]. [cit. 2019-10-13]. Dostupné z:  
<https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/seguranca/vecsa-international/produtos/seguranca-e-protecao/projeto-de-cerca-para-maquina-industrial>
- [O4] Kolaborativní robot Fanuc CR-7iA/L [online]. [cit. 2019-12-7]. Dostupné z:  
<http://www.servisbal.cz/clanky/novinky/ohlednuti-za-veletrhem-fachpack.htm>
- [O5] Stavba pyramid v Egyptě [online]. [cit. 2019-10-14]. Dostupné z:  
<https://www.darpanmagazine.com/news/health/know-how-egyptians-moved-giant-rocks-to-build-pyramids/>
- [O6] Standartní a schodišťový Rudl [online]. [cit. 2019-10-14]. Dostupné z:  
<https://www.b2bpartner.cz/ocelovy-rudl-nosnost-200-kg-dusova-kola/>  
<https://www.manutan.cz/cs/mcz/schodi%C5%A1%C5%A5ov%C3%BD-rudl-ru31-s-pln%C3%BDmi-koly-a-m%C5%99%C3%AD%C5%BE%C3%AD-do-250-kg-mig2628218>
- [O7] Plošný vozík [online]. [cit. 2019-10-14]. Dostupné z:  
<https://www.manutan.cz/cs/mcz/plo%C5%A1inov%C3%BD-voz%C3%ADk-manutan-1720-se-sklopn%C3%BDm-madlem-do-250-kg-95-x-100-x-65-2-cm-995325>
- [O8] Nízkozdvižný vozík [online]. [cit. 2019-10-14]. Dostupné z:  
[https://www.manutan.cz/cs/mcz/paletov%C3%BD-voz%C3%ADk-do-2-000-kg-gumov%C3%A1-%C5%99%C3%ADdic%C3%AD-kola-784101?gclid=EAIaIQobChMIh5GUvs2f3gIVWfhRCh0pmQFYEAQYAyABEgKX5D\\_BwE](https://www.manutan.cz/cs/mcz/paletov%C3%BD-voz%C3%ADk-do-2-000-kg-gumov%C3%A1-%C5%99%C3%ADdic%C3%AD-kola-784101?gclid=EAIaIQobChMIh5GUvs2f3gIVWfhRCh0pmQFYEAQYAyABEgKX5D_BwE)
- [O9] Vysokozdvižný vozík [online]. [cit. 2019-10-14]. Dostupné z:  
[https://www.b2bpartner.cz/rucni-paletovy-zakladac-nosnost-1000-kg-zdvih-1500-mm/?gclid=EAIaIQobChMIjObCms6f3gIVF5zVCh2JAg0PEAQYASABEgL66vD\\_BwE](https://www.b2bpartner.cz/rucni-paletovy-zakladac-nosnost-1000-kg-zdvih-1500-mm/?gclid=EAIaIQobChMIjObCms6f3gIVF5zVCh2JAg0PEAQYASABEgL66vD_BwE)
- [O10] AGV sledující magnetickou pásku [online]. [cit. 2019-10-23]. Dostupné z:  
<https://logistika.ihned.cz/c1-66092110-automaticke-voziky-se-uci-myslet#fotogalerie-gf1128673-3-3391180>
- [O11] Kolaborativní robot Fanuc CR-7iA/L [online]. [cit. 2019-11-16]. Dostupné z:  
<https://www.fanuc.eu/pl/pl/kim-jeste%C5%9Bmy/news-and-events/en-press-release-collaborative-cr-7ia>
- [O12] Automaticky řízený vozík Weasel [online]. [cit. 2019-11-27]. Dostupné z:  
<https://www.ssi-schaefer.com/en-de/products/conveying-transport/automated-guided-vehicles/fahrerloses-transportsystem-weasel-1918>
- [O13] Program Process Simulate [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z:  
<https://www.axiomtech.cz/25345-process-simulate-human>
- [O14] Automated Guided Vehicle [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z:  
<https://www.axiomtech.cz/25345-process-simulate-human>