

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2024

ZDENĚK ŠTĚRBA



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY**

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

**OPTIMALIZACE EFEKTIVITY PROCESŮ NA  
AUTOMATICKÉ VÝROBNÍ LINCE**

MANUFACTURING PROCESS OPTIMIZATION

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Zdeněk Štěřba

**VEDOUCÍ PRÁCE**

ADVISOR

Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.

BRNO 2024



# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Zdeněk Štěrbá

**ID:** 240451

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2023/24

**NÁZEV TÉMATU:**

## Optimalizace efektivity procesů na automatické výrobní lince

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Proveďte rešerši metod určených pro normování práce.
2. Analyzujte stávající situaci a přijďte na možnosti vylepšení.
3. Proveďte normování práce rozborově výpočtovou metodou.
4. Proveďte návrh nového pracoviště.
5. Proveďte časovou simulaci různých variant linky pomocí simulátoru diskrétních událostí.
6. Navrhňte koncept digitálního dvojčete linky.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Václav Kaczmarczyk - Průmysl 4.0 - Virtuální výroba, skripta, VUT, 2023

**Termín zadání:** 5.2.2024

**Termín odevzdání:** 22.5.2024

**Vedoucí práce:** Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.

**Ing. Miroslav Jirgl, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá analýzou výrobní linky z pohledu celkové efektivity. Cílem je definovat oblasti hrající roli v celkové efektivitě a následně vymyslet vhodné řešení k jejich zlepšení. Důraz je kladen na analytickou rozborovou metodu Basic MOST, podle které je stanoven normovaný čas operátorů. Další část je zaměřena na analýzu s cílem identifikovat slabá místa linky, jež lze optimalizovat za účelem zvýšení efektivity nebo dosažení finančních úspor. Výrobní linka a její analýza je také zpracovaná jako systém diskrétních událostí v programu Siemens Plant Simulation, kterým je také proveden návrh nového pracoviště. Posledním bodem práce je návrh konceptu digitálního dvojčete v programu Siemens NX, jenž je řízen simulovaným PLC.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Basic MOST, Yamazumi graf, optimalizace, Siemens Plant Simulation, OEE, Siemens NX, Siemens TIA Portal, Siemens PLCSIM Advanced

## **ABSTRACT**

The thesis deals with the analysis of the production line in terms of overall efficiency. The aim is to define the areas that play a role in the overall efficiency and then devise appropriate solutions to improve them. Emphasis is placed on the analytical analysis method Basic MOST, according to which the normalized time of operators is determined. The next section focuses on analysis to identify weak points in the line that can be optimized to improve efficiency or achieve financial savings. The production line and its analysis is also treated as a discrete event system in Siemens Plant Simulation software, which is also used to design the new workstation. The last point of the work is the design of a digital twin concept in Siemens NX program, which is controlled by a simulated PLC.

## **KEYWORDS**

Basic MOST, Yamazumi graph, optimization, Siemens Plant Simulation, OEE, Siemens NX, Siemens TIA Portal, Siemens PLCSIM Advanced

ŠTĚRBA, Zdeněk. *Optimalizace efektivity procesů na automatické výrobní lince*. Bachelářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2024. Vedoucí práce: Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.

# Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení autora:** Zdeněk Štěřba  
**VUT ID autora:** 240451  
**Typ práce:** Bakalářská práce  
**Akademický rok:** 2023/24  
**Téma závěrečné práce:** Optimalizace efektivity procesů na automatické výrobní lince

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora\*

---

\* Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Václavu Kaczmarczykovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Metody normování práce</b>	<b>13</b>
2.1	Analytické rozborové metody . . . . .	13
2.1.1	Rozborově výpočtová metoda . . . . .	13
2.1.2	Rozborově chronometrážní metoda . . . . .	14
2.1.3	Rozborově porovnávací metoda . . . . .	14
2.2	Souhrnné metody . . . . .	14
2.2.1	Metoda sumárně porovnávací . . . . .	14
2.2.2	Metoda statická . . . . .	15
2.2.3	Metoda sumárního měření času . . . . .	15
2.2.4	Metoda sumárního odhadu . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Metoda Basic MOST</b>	<b>16</b>
3.1	Obecné přemístění . . . . .	16
3.1.1	Indexování . . . . .	17
3.1.2	Vzdálenost pohybu (A) . . . . .	19
3.1.3	Pohyb těla (B) . . . . .	20
3.1.4	Získání kontroly (G) . . . . .	21
3.1.5	Umístění (P) . . . . .	22
3.2	Řízené přemístění . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Časová analýza a výkonnost výrobních procesů</b>	<b>24</b>
4.1	Cycle time . . . . .	24
4.2	Balancování linky . . . . .	24
4.3	Yamazumi graf . . . . .	24
4.4	Celkové efektivní využívání výrobní základny . . . . .	24
4.4.1	Míra využití . . . . .	25
4.4.2	Míra výkonu . . . . .	25
4.4.3	Míra kvality . . . . .	25
4.4.4	Celková efektivnost zařízení (OEE) . . . . .	25
<b>5</b>	<b>Analýza a optimalizace vybrané výrobní linky</b>	<b>26</b>
5.1	Popis zařízení . . . . .	26
5.1.1	Vstupní modul . . . . .	26
5.1.2	Základní modul . . . . .	27
5.1.3	Kontrolní modul . . . . .	28
5.2	Důvod optimalizace . . . . .	29



5.3	Rozbor potencionálních zlepšení . . . . .	30
5.4	Analýza současného stavu linky . . . . .	30
5.4.1	Počet vozíků/ks ve vozíku . . . . .	31
5.4.2	Počet vyrobených kusů . . . . .	31
5.4.3	Cyklový čas linky . . . . .	31
5.4.4	Efektivnost . . . . .	32
5.4.5	Vyhodnocení analýzy linky . . . . .	33
5.5	Normování práce operátorů metodou Basic MOST . . . . .	33
5.5.1	Indexace parametrů . . . . .	33
5.6	Balancování analyzované linky . . . . .	34
5.6.1	Možná zlepšení . . . . .	35
<b>6</b>	<b>Simulátor diskrétních událostí</b>	<b>37</b>
6.1	Tecnomatix Plant Simulation . . . . .	37
6.2	Popis systému . . . . .	37
6.3	Vybrané objekty pro tvorbu modelu . . . . .	39
6.3.1	Source, Drain . . . . .	39
6.3.2	Station . . . . .	40
6.3.3	AssemblyStation, DismantleStation, Buffer . . . . .	40
6.3.4	WorkerPool, Workplace . . . . .	42
6.3.5	Chart . . . . .	43
6.4	Optimalizace počtu vozíků . . . . .	44
6.5	Návrh nového pracoviště . . . . .	44
6.5.1	PickAndPlace . . . . .	46
<b>7</b>	<b>Návrh konceptu digitálního dvojčete linky</b>	<b>47</b>
7.1	Siemens NX . . . . .	47
7.2	Model výrobní linky v NX . . . . .	47
7.2.1	Základní Fyzika (Basic Physics) . . . . .	48
7.2.2	Spoje (Joints) . . . . .	49
7.2.3	Senzory (Sensors) . . . . .	50
7.2.4	Pohony (Actuators) . . . . .	51
7.2.5	Signály (Signals) . . . . .	51
7.3	Popis realizace programu . . . . .	52
7.4	Vizualizace . . . . .	55
	<b>Závěr</b>	<b>56</b>
	<b>Literatura</b>	<b>57</b>

# Seznam obrázků

3.1	Data karta Basic MOST [4]	19
3.2	Data karta Basic MOST - akce na určitou vzdálenost [4]	20
3.3	Příklad indexu <i>Sehnout se a napřímít</i> [5]	21
5.1	Model vstupního modulu	26
5.2	Model osazovací části základního modulu	27
5.3	Model ohýbací části základního modulu	27
5.4	Model víčkovače základního modulu	28
5.5	Model 24 V a 1000 V kontrolního modulu	29
5.6	Model vizuální kontroly	29
5.7	Naměřená data cyklových časů linky	32
5.8	Stanovení časových normativů pro operátory metodou Basic MOST	34
5.9	Čas jednotlivých operací	34
5.10	Yamazumi graf jednotlivých operací	35
6.1	3D model v Plant Simulation	38
6.2	Detailní 3D model v Plant Simulation	38
6.3	2D model v Plant Simulation	39
6.4	Source pro počet vozíku v oběhu	40
6.5	Station první stanice osazení	40
6.6	Specifikace AssemblyStation	41
6.7	Specifikace DissmantleStation	41
6.8	Specifikace Bufferu	42
6.9	Specifikace WorkerPool	43
6.10	Stanoviště druhého operátora napojeno na Source	43
6.11	Graf vytíženosti pro 22 vozíků	44
6.12	Model návrhu nového pracoviště	45
6.13	Stanice PickAndPlace	45
6.14	Specifikace PickAndPlace	46
7.1	Model linky v programu NX	48
7.2	Objekty obsahující základní fyziku	49
7.3	Část robotického manipulátoru obsahující pevné spojení	49
7.4	Část robotického manipulátoru obsahující kloubový spoj	49
7.5	Objekty obsahující spoje	50
7.6	Přidělený senzor na osazovacím modulu	51
7.7	Objekty obsahující senzory a pohony	51
7.8	Seznam použitých signálů	52
7.9	Seznam propojení s externími signály	52
7.10	Stavový diagram programu	54

7.11	Pozice dopravníkových pásů . . . . .	55
7.12	HMI vytvořeného programu . . . . .	55

# Seznam tabulek

2.1	Převodové poměry mezi TMU a standardními časovými jednotkami [4]	14
3.1	Sekvenční modely metody Basic MOST [5]	16
3.2	Fáze posloupnosti obecného přemístění [5]	17
3.3	Fáze posloupnosti řízeného přemístění [5]	23
5.1	Klíčová data pro analýzu linky	31

# 1 Úvod

Práce je zpracovávána ve firmě AVX v Bzenci. Jedná se o firmu zaměřenou na výrobu konektorů. Konektory se instalují hlavně do řídicích jednotek a do aktivních a pasivních bezpečnostních prvků.

V teoretickém úvodu je rozebráno normování práce a procesů podle daných norem. Důraz je především kladen na analytickou rozborovou metodu Basic MOST z rodiny MOST, kde je detailně vysvětlen princip metody a dle ní je následně stanoven normovaný čas operátorů. V další teoretické sekci jsou vysvětleny hlavní nástroje a aspekty pro analýzu a efektivnost zařízení, které jsou dále použity pro praktickou část práce.

V praktické části je prvně rozebrán princip linky s rozbohem jednotlivých strojů doplněný virtuálními modely. V další části je provedena analýza s cílem najít slabá místa, která by se dala optimalizovat za účelem zvýšení efektivnosti, či finanční úspory. Jsou zde využity nástroje, které jsou vysvětleny v teoretickém úvodu, jako například metoda Basic MOST nebo aplikace Yamazumi grafu. Vyústěním analýzy je přijít s vhodnými nápady pro možná zlepšení. Druhá půlka praktické části je věnována využití nástrojů od firmy Siemens. Jedná se o nástroje Plant Simulation a NX. První nástroj Plant Simulation je využit jako systém diskrétních událostí se zaměřením na tok dat a variabilitu celého systému analyzovaného již manuální cestou. Díky němu je i proveden návrh nového pracoviště, který byl vymyšlen podle provedené analýzy stavu linky. Druhý nástroj NX je použit k návrhu konceptu digitálního dvojčete linky pro opět jiný způsob zobrazení celé simulace výrobní linky. Model je řízen virtuálním PLC naprogramovaným v programu Siemens TIA Portal.

## 2 Metody normování práce

Normování práce slouží pro úpravu vlastních procesů a operací. Náplň normování práce je zjišťování, posuzování a vyhodnocování spotřeby času daných operací a procesů. Po provedení rozboru pracovních dějů se může následně stanovit nutná spotřeba pracovního času, která může sloužit jako norma pro danou práci. Dalším důvodem normování práce je možné zrychlování provedení určitých operací. Pro zjištění zrychlení se využívá mnoho metod a přístupů, které lze rozdělit do dvou hlavních skupin:

- analytické rozborové metody,
- souhrnné metody [1].

### 2.1 Analytické rozborové metody

Analytické rozborové metody pracují na principu, kdy jsou operace rozdělené na dílčí části. U každé dílčí části je stanoven vlastní čas a následně je z těchto dílčích časů vypočtena norma času celkové operace [2].

#### 2.1.1 Rozborově výpočtová metoda

Tato metoda spočívá jakožto všechny analytické rozborové metody na rozdělení dílčích částí, u kterých je předem definována spotřeba času. Tuto metodu si lze představit na úkonu „utažení šroubu pomocí šroubováku“. Postup je zde rozdělen do několika pohybů: uchopit, nasadit atd..[1]

Ke stanovení časů dílčích operací se využívají standardní metody, nebo se mohou využívat standardy explicitně vytvořeny v rámci firmy [3].

Jednou z nejrozšířenějších metod je MTM (*Method Time Measurement*) a metoda MOST (*Maynard Operation Sequence Technique*) [1].

#### Časové jednotky

Pro stanovení předem definovaných časů dílčích částí operace je využívána speciální jednotka času TMU (*Time Measurement Units*). Jelikož jsou dílčí části operace obvykle velmi krátké, tak je obtížné je měřit pomocí běžně používaných jednotek. Z tohoto důvodu se používá speciální jednotka TMU [4].

V následující tabulce jsou uvedeny převodové poměry mezi TMU a standardními časovými jednotkami:

Tab. 2.1: Převodové poměry mezi TMU a standardními časovými jednotkami [4]

1 TMU	0,00001 hodin
1 TMU	0,0006 minut
1 TMU	0,036 sekund
1 hodina	100 000 TMU
1 minutu	1 667 TMU
1 sekunda	27,8 TMU

### 2.1.2 Rozborově chronometrážní metoda

Rozborově chronometrážní metoda využívá k rozboru operace tzv. snímkování operace. Umožňuje tak lépe analyzovat normovanou operaci oproti vypracovaným normativům. Zvláštním případem této metody je případ, kdy nejsou k dispozici normativy časů pro danou operaci. V takovém případě slouží rozborově chronometrážní metoda k nastavení norem [1][2].

Výhodou této metody je možnost detailněji zkoumat normované operace, a následně je možné hodnoty doplnit, popřípadě korigovat. Není zde omezení na míru členění například pomocí metody Basic MOST, ale může být dosaženo větší hloubky v závislosti na dané operaci [2].

### 2.1.3 Rozborově porovnávací metoda

Je založena na určování normy pomocí porovnávání s podobnými časy výrobků. Výrobky s podobnými časy musí mít tvarově, technologicky a konstrukčně stejné vlastnosti. Pomocí této metody lze detailně propracovat operace v pracovním postupu, což nám pomůže pro zrychlení výpočtu konkrétních norem bez většího rizika ovlivnění úrovně kvality.[1]

Používá se u operací se složitějším pracovním postupem a v málo opakovatelných výrobcích [2].

## 2.2 Souhrnné metody

Na rozdíl od porovnávacích metod, souhrnné metody stanovují jako normu času přímo celkovou hodnotu, a to bez rozdělení operace na dílčí části.

### 2.2.1 Metoda sumárně porovnávací

Tato metoda je velmi podobná jako metoda rozborově porovnávací. Rozdíl je v tom, že oproti metodě rozborově porovnávací určuje čas normy jako celek. Porovnává

jednotlivé pracovní činnosti, pro které již byla norma času zpracována.

### **2.2.2 Metoda statická**

Statická metoda vychází z dlouhodobé analýzy určité operace. Přepočítává normu jako průměrnou hodnotu z analyzované operace za určité období.

### **2.2.3 Metoda sumárního měření času**

Měření času obvykle probíhá pomocí hodinek či stopek. Dalo by se říct, že je to ekvivalent metody rozborově chronometrážní s tím rozdílem, že nás zajímá pouze celková norma času určité operace.

### **2.2.4 Metoda sumárního odhadu**

Určení časové normy je ryze založené na osobních zkušenostech normovače. Z toho vyplývá, že je zde značná chyba normy a stanovená norma má sloužit čistě jako orientační hodnota [1].



### 3 Metoda Basic MOST

Metoda Basic MOST patří mezi nejpoužívanější metody z rodiny MOST. Každá firma má pravděpodobně aktivity, pro které je Basic Most nejrozumnějším a praktičtějším nástrojem pro měření práce. Další metody z rodiny MOST jako například Mini MOST nebo Maxi Most slouží spíše jako doplňky k Basic MOST.

Tato metoda je strukturována do dvou základních sekvenčních modelů reprezentující činnosti nezbytné pro měření práce: Obecné přemístění a Řízené přemístění. Zbylé dva modely byly přidány pro zjednodušení používání ručního nářadí a činností spojené s ručním jeřábem. Sekvenční model ručního jeřábu se používá pouze tam, kde je prováděna manipulace s těžkými objekty, a proto je v následující tabulce vynechána [5].

V této práci je detailněji rozebrána sekvence Obecného přemístění a u Řízeného přemístění je nastíněn princip. Sekvence Použití nástroje je vynechána z důvodu komplexnosti a její využití je specifikováno pro určitou činnost. V praktické části bude využit model Obecného přemístění.

Tab. 3.1: Sekvenční modely metody Basic MOST [5]

Aktivita	Sekvence	Parametry
Obecné přemístění	A B G A B P A	A Vzdálenost pohybu B Pohyb těla G Získání kontroly P Umístění
Řízené přemístění	A B G M X I A	M Umístění X Čas procesu I Zarovnání
Použití nástroje	A B G A B P ? A B P A	F Připevnit L Uvolnit C Řezat S Povrchová úprava M Měřit R Nahrát T Myslet

#### 3.1 Obecné přemístění

Obecný pohyb se zabývá prostorovým přemístěním jednoho nebo více objektů. Pokud se objekt při pohybu dostane do kontaktu s jiným objektem, tak není možné

použít model Obecného přemístění, ale naopak model Řízeného přemístění, který bude rozveden níže.

Sekvenční model Obecného přemístění se skládá z pevně definovaných aktivit identifikovaných následujícími kroky:[5]

- **Vzdálenost pohybu (A)**

Tato operace se značí písmenem A. Zahrnuje všechny prostorové pohyby nebo činnosti prstů, rukou a chodidel, buďto zatížené nebo nezatížené.

- **Pohyb těla (B)**

Tento parametr analyzuje pohyb trupu, nebo činností nezbytných k překonání překážek.

- **Získání kontroly (G)**

Tento parametr slouží k analýze všech manuálních pohybů, které jsou využívány k dosažení kompletní kontroly nad předmětem nebo předměty.

- **Umístění (P)**

Slouží pro reprezentaci časové hodnoty potřebné k umístění nesoucího nákladu na požadované místo [4].

Dále se sekvenční model obecného přemístění dělí na tři fáze, které jsou zobrazeny na následující tabulce:

Tab. 3.2: Fáze posloupnosti obecného přemístění [5]

Dostat	Dát	Vrátit se
A B G	A B P	A

První fáze *Dostat* popisuje akce, jak se dostat k určitému objektu a získat nad ním kontrolu. Parametr A udává vzdálenost, kterou musí ruka nebo tělo urazit k objektu. Parametr B označuje potřebu jakýchkoli pohybů těla během této operace. Posledním parametrem je zde parametr G, který udává stupeň obtížnosti získání kontroly nad objektem.

Druhou fází je fáze *Dát*. Tato fáze popisuje akci přesunu na jiné místo. Stejně jako v první fázi, tak i tady symboly A a B reprezentují potřebnou vzdálenost a potřebu pohybů těla. Oproti symbolu G je zde symbol P, který popisuje děj umístění.

Třetí fáze *Vrátit se* pomocí parametru A říká, jakou vzdálenost musí vykonat operátor, aby se navrátil na defaultní pozici, z které vykonával první fázi [5].

### 3.1.1 Indexování

Časová hodnota v TMU pro každý sekvenční model se vypočte sečtením hodnot indexů a vynásobením součtu **10**.

V praktické části závěrečné práce si bude vystačeno pouze s Obecným přemístěním, a proto bude indexování vysvětleno ryze na tomto sekvenčním modelu.

Jako první je třeba odpovědět na následující otázky, aby bylo možné naindexovat jednotlivé operace:

1. S jakým předmětem bude osoba manipulovat?
2. Jak bude s předmětem pohnuto? (Určit sekvenční model)  
*Další posloupnost je orientovaná na sekvenční model Obecného přemístění.*
3. Co musí operátor udělat, aby uchopil objekt? (indexování hodnot pro A, B a G - fáze Dostat)
4. Co musí operátor udělat, aby umístil objekt? (indexování hodnot pro A, B a P - fáze Dát)
5. Jak bude probíhat návrat operátora na defaultní pozici? (indexování finální hodnoty A - Vrátit se)  
*Další dvě otázky mají za cíl zlepšení vykonávaného procesu*
6. Je vykonávaná aktivita nezbytná k provedení práce? (eliminace nežádoucích dílčích částí operace)
7. Může být vysoký index operace snížen? (snížení času vykonávané práce - přestavění stanoviště atd.)

Každý parametr je stanoven pozorováním nebo vizualizací činnosti operátora. Podle toho je pak následně přiřazen index parametru na základě datové karty (Obr.3.1).

Představme si pracovníka, který má za cíl sebrat lehkou krabici ze stolu, udělat s ní deset kroků, položit ji na zem a vrátit se. Předpokládejme, že pracovník stojí před krabicí. Model sekvence by vypadal následovně:

$$A_1 \ B_0 \ G_1 \ A_{16} \ B_6 \ P_1 \ A_{16}$$

Jelikož stojí pracovník přímo před krabicí, tak je pro parametr A použit index 1 (viz. Obr.3.1). K dosažení krabice není potřeba vyvinout žádný pohyb těla (trupu), takže pro parametr B je přiřazen index 0 a uchopení objektu je získáno bez obtíží  $G=1$ . S krabicí musí osoba udělat deset kroků, čili je zde použit index 10 pro parametr A. Krabici musí následně položit na zem a při tomto pohybu se operátor musí sehnout, a proto je zde využit index 6. Není zde vyžadována žádná větší přesnost umístění, a proto lze využít pro parametr P index 1. Pracovník se poté vrátí na původní pozici, proto je finální A rovno indexu 10.

Čas k provedení této činnosti se vypočítá sečtením všech hodnot indexu v sekvenčním modelu a vynásobením 10 pro převedení na TMU:  $(1 + 0 + 1 + 16 + 6 + 1 + 16) \cdot 10 = 410$  TMU.

V další části jsou podrobně rozebrány varianty pro každý parametr Obecného pohybu.

		ABG Získat	ABP Položit	A Návrat	Obecné Přemístění				
Index x10	Akce na určitou vzdálenost	A	Pohyb těla	B	Získání kontroly	G	Umístění	P	Index x10
0	≤ 2 in. (5 cm)		Žádný pohyb těla		Bez získání kontroly Držet		Bez umístění Držet Hodit		0
1	Na dosah				Uchopit lehký objekt Uchopit lehký objekt Simo		Odloužit Volné tolerance		1
3	1 – 2 kroky		Sednout bez ustavení Vstát bez ustavení Sehnout se a napřímít 50 %		Získat Ne-simo Získat těžký/objemný Získat neviděný Získat blokovany Promíchaný Rozpojit, Shromáždit		Volné tolerance při nevidění Umístit s ustavním Umístit s lehkým tlakem Umístit s dvojm umístěním		3
6	3 – 4 kroky		Sehnout se a napřímít				Uložit s péčí Uložit s přeností Uložit neviděný Uložit blokovany Uložit valkým tlakem Uložit s meziphyby		6
10	5 – 7 kroků		Sednout Vstát						10
16	8 – 10 kroků		Sehnout se a sednout, Vylézt nahoru, Slézt dolů, Vstát a sehnout se, Dveřmi						16

Obr. 3.1: Data karta Basic MOST [4]

### 3.1.2 Vzdálenost pohybu (A)

#### A<sub>0</sub> (5 cm)

Tento index je využit, pokud se jedná o jakékoliv posunutí prstů nebo rukou do vzdálenosti pěti centimetrů. Čas, který je třeba vynaložit k provedení činnosti je zahrnut v parametrech G a P.

*Příklad:* Zadat hodnoty na číselné kalkulačce.

#### A<sub>1</sub> (Na dosah)

Jsou to takové akce, které jsou omezeny na oblast v oblouku natažené paže kolem ramene. Pokud je k vykonání činnosti potřeba ohyb trupu či potřeba vykonat kroky, tak se již nejedná o tento případ. Tento případ se také využívá, pokud je hlavní činnost vykonávána nohama namísto pažemi, například sešlápnutím pedálu.

*Příklad:* Uchopení kusu výrobku ležícího na stole na dosah paže.

#### A<sub>x</sub> (Kroky)

Pokud je k provedení akce nutné vykonat určitý počet kroků, tak se index A počítá podle hodnot uvedených v data kartě (Obr.3.2).

Akce na určitou vzdálenost - Doplnkové hodnoty			
Index	Kroky	Vzdálen (ft)	Vzdálen (m)
24	11-15	38	12
32	16-20	50	15
42	21-26	65	20
54	27-33	83	25
67	34-40	100	30
81	41-49	123	38
96	50-57	143	44
113	58-67	168	51
131	68-78	195	59
152	79-90	225	69
173	91-102	255	78
196	103-115	288	88
220	116-128	320	98
245	129-142	355	108
270	143-158	395	120
300	159-174	435	133
330	175-191	478	146

Obr. 3.2: Data karta Basic MOST - akce na určitou vzdálenost [4]

## Finální A

Konečný parametr A se v modelu obecné sekvence využívá k přidělení času pro návrat operátora na výchozí pozici. Finální A se započítává, je-li třeba vykonat kroky. Pokud tedy všechny činnosti začínají a končí na stejném místě, tak je tento parametr nulový. Jinými slovy zde platí:  $A_1=0$ .

### 3.1.3 Pohyb těla (B)

#### $B_3$ (Sednout/vstát)

Pokud je při akci vykonáván pohyb, kdy se ze vzpřímené polohy osoba posadí, nebo když se osoba zvedne ze sedící pozice, tak je využit index  $B_3$ . Zároveň musí platit, že je pohyb vykonáván bez pomoci rukou. Tento index platí pouze pro jednu ze dvou definovaných akcí, nikoliv obojí.

## **B<sub>6</sub> (Sehnout se a napřímít)**

Ze vzpřímené polohy je trup těla snížen ohnutím v pase nebo kolenou, aby ruce dosáhly pod kolena, a následně se trup vrací do vzpřímené polohy. Na následujícím obrázku je znázorněno několik případů vykonání indexu  $B_6$ .



Obr. 3.3: Příklad indexu *Sehnout se a napřímít* [5]

## **B<sub>x</sub>**

Existuje mnoho dalších indexací, které spadají pod pohyb těla. Z důvodu, že je praktické části tento index nulový, nebude těmto indexacím tolik věnováno.

Pokud je například při indexaci *Sehnout se a napřímít* vyžadováno více sekvencí pohybů jakožto například posun židle, tak se používá index  $B_{10}$ . Pokud je například vyžadována akce slézt ze žebříku, nebo otevření dveří, tak je použit index  $B_{16}$ .

### **3.1.4 Získání kontroly (G)**

#### **G<sub>1</sub> Lehký objekt = Simo**

*Simo* označuje ruční akce prováděné současně různými subjekty členů. To znamená, že například jedna ruka získá kontrolu nad kladivem, zatímco ta druhá si připraví hřebík a to ve stejný čas.

#### **G<sub>3</sub> Lehký objekt = Non-Simo**

*Non-simo* označuje práci, kdy je zapotřebí uchopit předmět oběma rukama nebo v případě, že operátor není schopen uchopit dva předměty současně. Jelikož z podstaty věci má tato operace delší čas, tak je zde použit vyšší index.

### **G<sub>3</sub> Těžký/objemný předmět**

Pokud je k vykonání akce zapotřebí napnutí svalů k překonání hmotnosti, tvaru nebo objemu předmětu, tak je využíván index  $G_3$ . Tuto variantu lze poznat podle váhání nebo pauzy potřebné k dosažení dostatečné svalové síly potřebné k pohybu předmětu.

### **G<sub>x</sub>**

V předešlých případech byly vysvětleny nejpoužívanější akce. Další příklady jsou znázorněny na Obr.3.1.

## **3.1.5 Umístění (P)**

### **P<sub>0</sub> Držet/hodit**

Když je předmět uchopen a nedochází zde k odložení, tak je použita indexace  $P_0$ . Stejně tak je tato indexace použita v případě, že je předmět "odhozen".

*Příklad:* Odhodit dokončený díl do kontejneru.

### **P<sub>1</sub> Odložit/umístit s volnou tolerancí**

Tento index je využit, pokud se jedná jednoduše o umístění na přibližné místo bez zjevného zarovnání nebo na konkrétní místo, kde je vyžadováno velmi malé množství mentálního, vizuálního nebo svalového řízení k jeho umístění.

### **P<sub>3</sub> Umístit s ustanovením**

Index  $P_3$  se využívá, když je potřeba zapojit více mentálního vizuálního nebo svalového řízení, ale zároveň od této činnosti není požadována péče a přesnost. Jedná se tedy o akce, které jsou samy o sobě složitější než čisté umístění.

*Příklad:* Umístit klíč do zámku.

### **P<sub>6</sub> Umístit s péčí**

Tato varianta se projevuje zřetelným zpomalením pohybu při umísťování z důvodu vysoké úrovně koncentrace nezbytné pro mentální, vizuální a svalovou koordinaci.

### **P<sub>6</sub> Umístit s mezipohyby**

Jsou to takové operace, kdy je potřeba vykonat pomocné pohyby s objektem, než jsou umístěny na koncovou pozici. Tyto mezistupně jsou nezbytné z důvodu povahy objektu, nebo jsou rovnou definovány v pracovním návodu.

## 3.2 Řízené přemístění

Řízené přemístění se oproti Obecnému přemístění liší tím, že pohyb objektu je omezen alespoň v jednom směru dotykem, anebo samotná činnost vyžaduje, aby byl objekt přesně veden po určité dráze. Stejně jako model Obecného přemístění, tak i model Řízeného přemístění má pevně definovanou sekvenci dílčích aktivit identifikovaných následujícími kroky:[5]

- **Vzdálenost pohybu (A)**

Tato operace se značí písmenem A. Zahrnuje všechny prostorové pohyby nebo činnosti prstů, rukou a chodidel, buďto zatížené nebo nezatížené.

- **Pohyb těla (B)**

Tento parametr analyzuje pohyb trupu, nebo činností nezbytných k překonání překážek.

- **Získání kontroly (G)**

Tento parametr slouží k analýze všech manuálních pohybů, které jsou využívány k dosažení kompletní kontroly nad předmětem nebo předměty.

- **Umístění (M)**

Slouží pro analýzu všech řízených přesunů řízenou cestou.

- **Čas procesu (X)**

Neslouží pro ruční práci. Reprezentuje čas, který je potřebný pro práci řízenou elektronickými nebo mechanickými zařízeními nebo stroji.

- **Zarovnání (I)**

Tento prvek slouží k vyhodnocení manuální akce, která následuje po řízeném pohybu [4].

Rozbor modelu posloupnosti řízeného pohybu ukazuje, že podobně jako u Obecného pohybu probíhají tři fáze během činnosti řízeného pohybu:

Tab. 3.3: Fáze posloupnosti řízeného přemístění [5]

Dostat	Hýbat nebo aktivovat	Vrátit se
A B G	M X I	A

Je vidno, že fáze *Dostat* a fáze *Vrátit se* je identická, jako u modelu Obecného přemístění. Zásadní rozdíl ovšem spočívá v činnosti, která nastává po parametru G.

Druhá fáze *Hýbat nebo aktivovat* popisuje buďto akci řízeného pohybu po určité dráze, ke které se obvykle vztahují symboly M a I, nebo akci *aktivovat*, kde se využívají symboly M a X. Samozřejmě pro obě situace mohou být použity všechny parametry modelu posloupnosti a všechny parametry by měly být zváženy [5].



## 4 Časová analýza a výkonnost výrobních procesů

### 4.1 Cycle time

Cycle time je jeden z hlavních údajů, který slouží pro balancování výrobní linky. Je to potřebná doba k dokončení jednoho výrobku nebo také celkový čas, který uplyne, než produkt opustí daný úsek výrobní linky a přesune se k další stanici. Výpočet cycle time lze určit jako:

$$\text{Cycle time} = \frac{\text{Celkový provozní čas}}{\text{Počet zhotovených kusů}} \quad (4.1)$$

### 4.2 Balancování linky

Balancování linky je důležitým nástrojem pro zkrácení výrobní doby. Je zde snaha docílit toho, aby byl potřebný čas na všech stanovištích přibližně stejný. To napomáhá při eliminaci nebo snižování činnosti bez přidané hodnoty, což je činnost, která nepřináší žádnou přidanou hodnotu produktu. K tomuto úkonu slouží doba cyklů každého stanoviště [6].

### 4.3 Yamazumi graf

Tento graf je chápán jako skládaný sloupcový graf, který zobrazuje cyklus pro každou práci na jednotlivých stanicích společně s jejími zůstatky. V Yamazumi grafu jsou tyto operace značeny pomocí různě barevného značení. Tento graf má za cíl nastínit momentální stav linky a lze ho začlenit do konceptu balancování linek [7].

Graf Yamazumi může být konstruován pro jeden produkt nebo pro více produktů. Yamazumi v doslovném překladu znamená "skládat". Jsou to tedy jednoduše grafy, které vizuálně představují pracovní obsah série úkolů s cílem usnadnit vyvážení práce a eliminace práce bez přidané hodnoty [6].

### 4.4 Celkové efektivní využívání výrobní základny

Pokud se chceme soustředit na zvyšování produktivity, tak se nestačí zaměřovat pouze na poruchy, které ovlivňují dostupnost. V praxi se často využívá pojem míra využívání strojů a zařízení, což je ve skutečnosti pouze dostupnost. Představme si například stroj, kde je uvedeno, že je zde využití větší než 85 %. Z toho je sice

možné usoudit, že výrobní základna běží účinně, ale je potřeba vědět, jak byl tento ukazatel vypočítán a na čem je daná kalkulace postavena. Proto je třeba se zabývat všemi faktory ovlivňujícími efektivní využívání strojů a zařízení:

míra využití (dostupnost),  
míra výkonu (výkon),  
míra kvality.

Tyto tři ukazatele nám společně tvoří vztah pro celkovou efektivnost zařízení (Overall Equipment Effectiveness - OEE) [8].

#### 4.4.1 Míra využití

$$\frac{\text{doba možného provozu výrobního zařízení} - \text{prстоje}}{\text{doba možného provozu výrobního zařízení}} \quad (4.2)$$

#### 4.4.2 Míra výkonu

$$\frac{\text{počet vyrobených kusů} \cdot \text{ideální cyklus}}{\text{doba možného provozu výrobního zařízení} - \text{prстоje}} \quad (4.3)$$

#### 4.4.3 Míra kvality

$$\frac{\text{počet vyrobených kusů} - (\text{zmetky} + \text{vícepráce})}{\text{počet vyrobených kusů}} \quad (4.4)$$

#### 4.4.4 Celková efektivnost zařízení (OEE)

Vztah pro výpočet ukazatele, jak už bylo nastíněno:

$$OEE = \text{míra využití} \cdot \text{míra výkonu} \cdot \text{míra kvality} \quad (4.5)$$

Po úpravě dostaneme:

$$OEE = \frac{\text{počet kvalitních výrobků} \cdot \text{ideální cyklus}}{\text{doba možného provozu stroje}} \quad (4.6)$$

# 5 Analýza a optimalizace vybrané výrobní linky

## 5.1 Popis zařízení

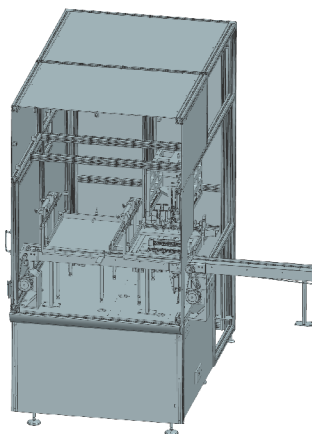
Konstrukce linky je modulární, jednotlivé moduly jsou spojeny v jeden celek. Pracovník obsluhy stroje vkládá neosazená tělíska konektorů do vozíku. Tyto vozíky jsou po dopravníkových páslech přesunuty na vstup linky. Uvnitř linky se vozíky pomocí pneumatických válců přesunují na jednotlivé pracovní pozice. Po osazení a otestování se vozíky s konektory přesunují na dopravníkový pás a obsluha odebírá zkompletované konektory a ukládá je do paletok - blistrů. Linka je určena pro práci v automatickém provozu.

Linka je složena z následujících modulů:

- Vstupní,
- Základní (osazovací, ohýbací, víčkovač),
- Kontrolní.

### 5.1.1 Vstupní modul

Slouží ke kontrole správné polohy tělísek na vozíku. Správně osazené vozíky jsou přesunuty na začátek linky, nesprávně osazené na pozici pro dodatečnou kontrolu.

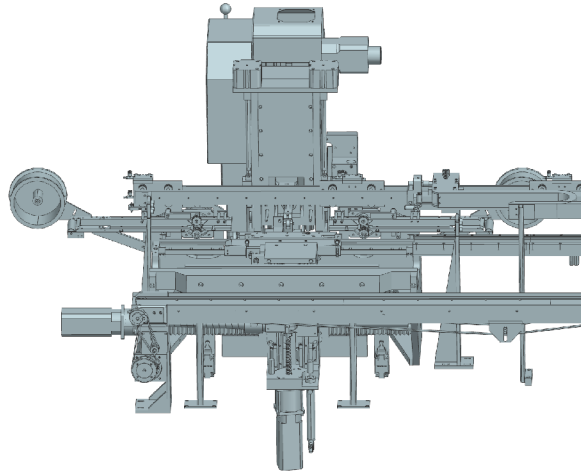


Obr. 5.1: Model vstupního modulu

## 5.1.2 Základní modul

### Osazovací

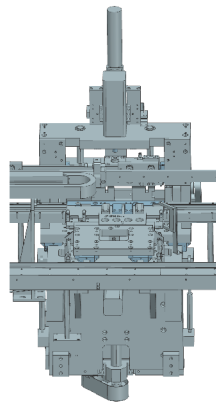
Součástí modulu jsou dva odvíječe pásků s kontakty s návinem papírové pásky. Osazovací část provádí stříh kontaktů a následné osazení jednotlivých kontaktů do konektorů, do plastového dílu, který je osazen na vozíku.



Obr. 5.2: Model osazovací části základního modulu

### Ohýbací

V ohýbací části se kontakty v konektoru ohýbají na požadovaný úhel.

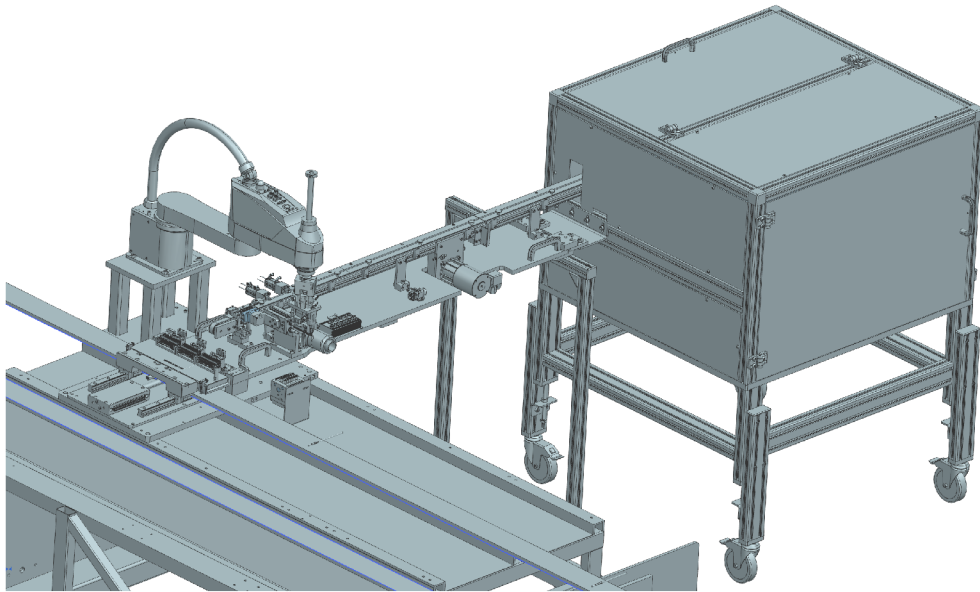


Obr. 5.3: Model ohýbací části základního modulu

### Víčkovač

Slouží k instalaci víčkového krytu na výrobní kus.

Víčka jsou převážena sekundárním dopravníkem, který je připojen kolmo k hlavní části výrobní linky. K manipulaci víčka slouží robotický manipulátor, který víčko na sekundárním dopravníku uchytí a umístí jej na výrobní kus. Víčka jsou generovány na pás ve vibračním bubnu.



Obr. 5.4: Model víčkovače základního modulu

### 5.1.3 Kontrolní modul

Slouží ke kontrole osazených konektorů. Test probíhá v několika pozicích.

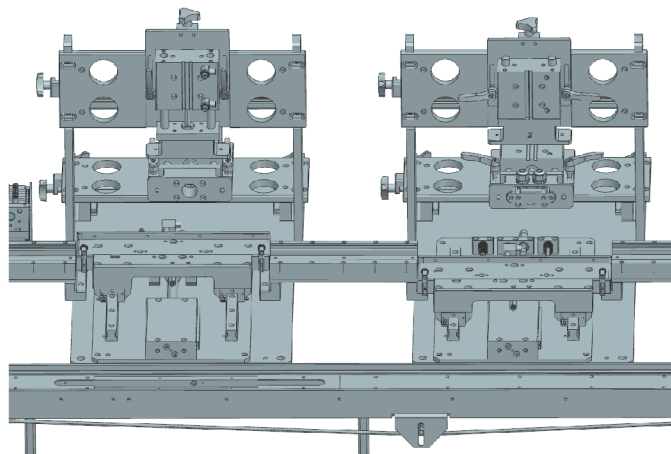
Vozíky s kusy, které projdou všemi testy jako vyhovující, jsou v přesouvací stanici přesunuty na pás. Na páse jsou kusy potištěné textovým řetězcem pomocí inkjetové tiskárny a následně dopraveny k pozici operátora, který otestované kusy odebírá z vozíků a ukládá je do blistrů. V případě, že systém na vozíku vyhodnotí NOK kus, celý vozík je přesunut do prostoru pro paletky s NOK kusy.

#### Test 24 V

Kontroluje se zde přítomnost a správné zapojení kontaktů napětím 24 V.

#### Test 1000 V

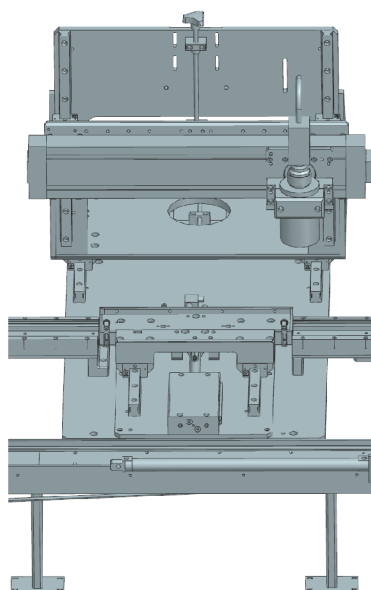
Kontroluje se elektrická izolace mezi kontakty napětím 1000 V.



Obr. 5.5: Model 24 V a 1000 V kontrolního modulu

### Vizuální kontrola

Pomocí kamer se měří správná poloha kontaktů v konektoru.



Obr. 5.6: Model vizuální kontroly

## 5.2 Důvod optimalizace

Důvodem analýzy této konkrétní linky je přijít s co možná nejlepším řešením optimalizace za cílem snížení výrobních nákladů. Výrobním nákladem se v tomto případě

rozumí primárně provoz linky a práce operátorů. Hlavním cílem je tedy přijít s návrhy, jak by šlo vyrobit stejný počet kusů za kratší čas. Díky tomu by mohla být práce operátorů přeřazena na jinou činnost, což ve finálním znění znamená úsporu pro firmu.

### **5.3 Rozbor potencionálních zlepšení**

Jako první je třeba provést analýzu momentálního stavu linky. To nám určí ucelený obraz efektivity linky. Pokud bude například zjištěno, že se na lince objevují časté prostoje, může být zaměřena pozornost na příčinu a po vyřešení problému by se cyklový čas linky v delším horizontu mohl zkrátit. Poté může být zaměřena pozornost na optimalizaci počtu vozíků, které jsou v oběhu. Posun vozíků mezi moduly se může provést, pokud jsou všechny stroje v klidové poloze, čili po dokončení svého pracovního cyklu a zároveň tehdy, je-li na první stanici (vstupní modul) připraven další vozík. Z toho vyplývá, že neoptimální počet vozíku má za příčinu zpomalení výrobního děje. Zaměřit by se také mělo na počet kusů, které kontrolní model vyhodnotí jako dobré kusy (OK), a které naopak vyhodnotí jako zmetkové kusy (NOK). Těmito třemi způsoby je často možné zrychlit výrobní cyklus bez zavedení výraznějších změn na výrobní lince.

V momentě, kdy byly provedeny výše zmíněné operace, může být dále zaměřena pozornost na balancování linky. V našem případě bude stěžejní určení stroje, který má nejdelší časový cyklus, protože právě ten určuje celkový výrobní cyklus linky. V rámci balancování bude také zaměřena pozornost na práci operátorů vztahenou na celkový cyklový čas výrobní linky. Podle toho bude možné dále vyhodnotit zatížení daného operátora.

### **5.4 Analýza současného stavu linky**

V této sekci jsou shrnuty stěžejní aspekty celkové efektivity momentálního stavu linky. Tyto aspekty slouží k vyhodnocení stavu a dále poslouží k případné optimalizaci. Data jsou zobrazena v následující tabulce (Tab.5.1) a v dalších podkapitolách budou rozebrány.

Tab. 5.1: Klíčová data pro analýzu linky

	vozíky	ks
Počet vozíků/ks ve vozíku	25	3
	t [s]	%
Plánovaný výrobní čas	3300	100
Prostoje celkem	240	7
Skutečný výrobní čas	3060	93
	ks	
Vyrobena OK	319	
Vyrobena NOK	35	
	t [s]	
C/T aktuální	25,4	
C/T možnost snížení	19,5	
C/T nepřímý výpočet	25,9	
	%	
Míra využití	92,73	
Míra výkonu	97,95	
Míra kvality	90,11	
OEE	81,84	

#### 5.4.1 Počet vozíků/ks ve vozíku

Jako první informace, která je zmíněna v tabulce, je počet vozíků, které jsou na lince v oběhu společně s kusy (výrobky) na každém vozíku. Je vidno, že je zde dohromady 25 vozíků a na každém vozíku se nacházejí 3 kusy. Tento údaj je stěžejní pro následné vyhodnocování OEE, protože se při výpočtu musí zohlednit, že je cyklus linky vztažen na vozíky a nikoliv na kusy.

#### 5.4.2 Počet vyrobených kusů

Linka v dlouhodobém horizontu produkuje  $\pm 90$  % správných kusů (OK) a 10 % zmetků (NOK) (oranžová část).

#### 5.4.3 Cyklový čas linky

Aktuální cyklový čas linky je nastaven na 25,4 sekund (fialová část). Tento výpočet byl proveden přímým měřením, při kterém byl zaměřen jeden úsek linky, na kterém byl změřen cyklus pro všechny vozíky (Obr.5.7). Tento údaj je považován za konvenčně pravý a je využíván k dalším výpočtům.



	C/T stroje
1	25,2
2	25,9
3	25,38
4	25,56
5	25,43
6	25,59
7	25,46
8	25,52
9	25,46
10	25,58
11	25,33
12	25,55
13	25,71
14	25,36
15	25,26
16	25,58
17	25,27
18	25,38
19	25,46
20	24,71
21	25,13
22	25,56
23	25,28
24	25,29
25	25,54
26	25,21

Obr. 5.7: Naměřená data cyklových časů linky

K ověření výsledku slouží určení cyklu pomocí výpočtu, který je uveden zde 4.1. Výsledek vyšel 25,9 sekund, což je o půl sekundy méně, než přímým měřením. Tato skutečnost je dána zaokrouhlováním měřených časů prostožů a může být považována za zanedbatelnou.

Třetí hodnota v této kategorii je možné snížení cyklové času (19,5 s), která je rozebrána v kapitole *Balancování analyzované linky*.

#### 5.4.4 Efektivnost

Posledním aspektem je efektivnost linky, která je rozdělena na čtyři části (červená část) a to na míru využití, míru výkonu, míru kvality, a pak také celkovou efektivnost zařízení (OEE). Postup výpočtu je zobrazen zde 4.6. Ve srovnání s jinými výrobními linkami vyšly všechny tři dílejší části OEE (Availability, Performance, Quality) pozitivně, a z toho důvodu je linka považována za efektivní.

### 5.4.5 Vyhodnocení analýzy linky

Z předešlých kapitol se dá usoudit, že je linka efektivní ve všech měřených aspektech. Pokud bychom se chtěli zaměřit na nejslabší složku z těchto údajů, tak by to bylo zaměření na redukci prostojů a po konzultaci s konstruktéry by se dalo vyvodit možné zlepšení.

Další kapitola bude zaměřena na balancování linky za účelem snížení cyklového času.

## 5.5 Normování práce operátorů metodou Basic MOST

Zjištění časové vytíženosti operátorů je stěžejní ukazatel, který napoví, kolik času trvá vykonat operátorovi určitou činnost v porovnání s operacemi vykonávanými stroji. Jelikož se na daném stanovišti střídá mnoho operátorů, trvalo by velmi dlouho stanovit průměr daných podoperací, protože má každý operátor jiné zkušenosti s obsluhou daného stroje a také by se mohlo stát, že by se výsledek s časem dynamicky měnil. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto stanovit práci operátorů nepřímou analytickou metodou Basic MOST, která byla detailně vysvětlena v jedné z kapitol. Jelikož se jedná o metodu předem stanovených časů, tak tato metoda nekalkuluje se zkušenostmi operátorů pracujících na lince. To na druhou stranu vytváří mnoho výhod, jako například stanovení univerzální pevně dané časové normativy pro všechny operátory. Je to tedy stanovený čas, který by neměl operátor nějak zásadně přesáhnout, ale zároveň by ani neměl svou operaci dokončit znatelně před stanoveným časem z důvodu možné nedosažené kvality provádění operace.

### 5.5.1 Indexace parametrů

Na lince pracují dva operátoři. Úloha prvního operátora je vzít zhotovený kus z vozíku a po krátké kontrole jej umístit do připraveného blistru. Tato úloha je prováděna pro každý díl zvlášť, tedy za jeden cyklus je prováděna třikrát, protože se v jenom vozíku nachází tři kusy. Úloha druhého operátora je totožná s jinou posloupností. Poté, co první operátor odebere zhotovené kusy, druhý operátor čeká, až k němu dojede prázdný vozík, do kterého umístí tři kusy, které následně putují přes všechny stanice linky. Úlohou druhého operátora je tedy uchopení kusu z připraveného blistru, který má po ruce a umístit ho na vozík. Stejně jako u prvního operátora je tato sekvence vykonávána třikrát pro tři kusy.

Stanovení indexace parametrů je pro oba operátory stejná, jak je ukázáno na následující tabulce. Pro stanovení času byl použit obecný model přemístění, který spadá pod operátory vykonávané činnosti.

Obecné přemístění	A	B	G	A	B	P	A	Opakování	Index	TMU	Celkový čas
Operátor 1/2	1	0	1	1	0	6	0	3x	9x3=27	270	9,72 s

Obr. 5.8: Stanovení časových normativů pro operátory metodou Basic MOST

## Operátor 1

Je vidno, že fáze *Dostat* obsahuje index  $A_1$ . Ten reprezentuje vzdálenost pohybu *Na dosah*. Při uchopení zhotoveného kusu nedochází k žádnému pohybu těla v oblasti trupu, a proto je zvolen index  $B_0$ . Jelikož se jedná o uchopení lehkého objektu, tak je zde použit index  $G_1$ . V další fázi *Položit* je místo položení ve vzdálenosti *Na dosah* ( $A_1$ ) a opět zde nedochází k žádnému pohybu těla ( $B_0$ ). Dále je zde použit index  $P_6$ , který reprezentuje činnost *Uložení s mezipohyby*. Tento index je zvolen kvůli nutné finální kontrole dílu, kdy si operátor obtočí držžený kus a následně ho umístí do blistru. Celkový čas operace vyšel 270 TMU a po převodu na sekundy to dělá 9,72 s.

## Operátor 2

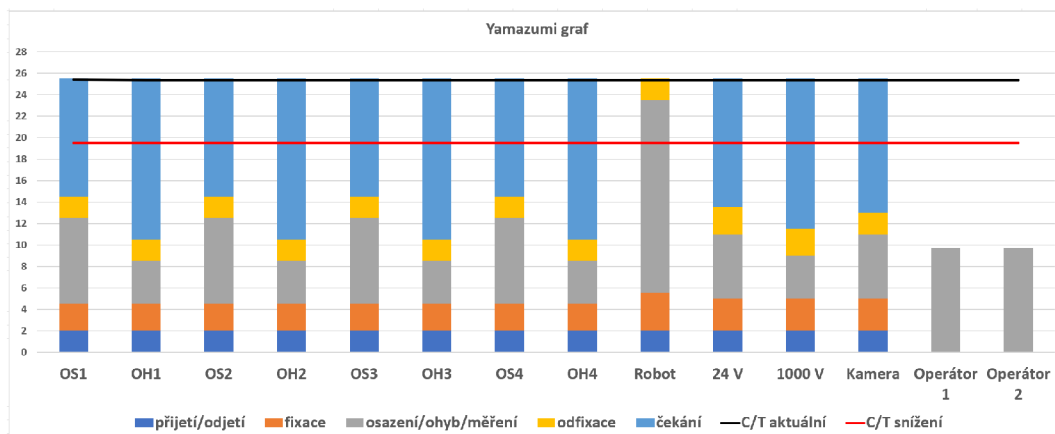
U druhého operátora je indexace parametrů stejná, jak u prvního operátora. Rozdíl je v tom, že druhý operátor uchopí kusy z blistru a následně je umístí na vozík. Parametr  $P_6$  je zde opět využit, protože operátor musí uchopený kus znovu zkontrolovat, jestli se něm nenachází hrubé chyby.

## 5.6 Balancování analyzované linky

Jak již bylo zmíněno, cyklový čas linky je roven nejpomalejší (nejdelší) části linky. Proto je cílem stanovit časy jednotlivých strojů. Z důvodu detailnějšího porozumění je vhodné rozdělit operaci stroje na jednotlivé podoperace. K tomuto účelu poslouží snímkování operace, která spadá do rozborově chronometrážní metody. Z důvodu, že u stroje na rozdíl od operátora nedochází k časovým odchylkám, stačí rozebrat poskytnutý snímek pouze jednou. Jednotlivé doby operací jsou znázorněny v tabulce (Obr.5.9), z které je následně vytvořen Yamazumi graf (Obr.5.10).

	OS1	OH1	OS2	OH2	OS3	OH3	OS4	OH4	Robot	24 V	1000 V	Kamera	Operátor 1	Operátor 2
přijetí/odjetí	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
fixace	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5	3	3	3		
osazení/ohyb/měření	8	4	8	4	8	4	8	4	18	6	4	6	9,72	9,72
odfixace	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,5	2,5	2		
čekání	11	15	11	15	11	15	11	15	0	12	14	12,5		
čistý čas	14,5	10,5	14,5	10,5	14,5	10,5	14,5	10,5	25,5	13,5	11,5	13	9,72	9,72
C/T aktuální	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4
C/T snížení	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5

Obr. 5.9: Čas jednotlivých operací



Obr. 5.10: Yamazumi graf jednotlivých operací

V grafu je navíc znázorněn C/T aktuální (černá přímka) a C/T snížení (červená přímka). C/T aktuální je převzatá hodnota z přímého výpočtu cyklového času, který byl vysvětlen dříve. Ve spojitosti s grafem může sloužit jako ověření správnosti měřených hodnot jednotlivých operací. Součet všech operací strojů se započtením čekání je vždy roven cyklovému času s odchylkou desetiny sekundy, což je pro tento účel zanedbatelné. Lze si všimnout, že rychlost linky jednoznačně určuje robotické rameno víčkovače. Ostatní části svou činnost dokončí téměř za polovinu času co robotické rameno. Pokud by na lince nebylo robotické rameno, cyklus linky by byl udáván rychlostí operace osazení (OS1-OS4) a v takovém případě by to činilo necelých patnáct sekund, což je o více než deset sekund méně než současný stav. Dále si lze povšimnout, že nejrychlejší část linky jsou operátoři.

### 5.6.1 Možná zlepšení

Z grafu (Obr.5.10) jednoznačně vyplývá, že zkrácení času operace víčkovače by mělo jednoznačný vliv na cyklový čas linky. Po konzultaci s expertem mi bylo sděleno, že čas operace víčkovače by se dal zkrátit o zhruba 6 sekund, což reprezentuje červená přímka (C/T snížení). Při uchopení víčka ze sekundárního dopravníku se robotický manipulátor nasměruje nad vozík, kde následně zafixuje víčko do jednoho kusu. Robot se pokaždé dostane do pozice nad vozík, a poté mu trvá několik sekund, než víčko umístí. Expertem mi bylo řečeno, že je konstrukčně možné zkrátit vzdálenost, od které robotické rameno zpomalí svůj pohyb, než osadí daný kus. Po předběžném odhadu by tato úspora znamenala 2 sekundy, a jelikož musí robotický manipulátor osadit 3 kusy na jeden cyklus, tak to dohromady dělá 6 sekund. Tato konstrukční úprava by z dlouhodobého horizontu znamenala znatelnou finanční úsporu.

Další zlepšení by se dalo udělat v lepším využití operátorů. Z grafu (Obr.5.10) je vidno, že oba operátoři tvoří nejkratší časový cyklus. V tomto případě není práce

operátorů dostatečně využita a celková práce přepočtena na časový aspekt jednoho cyklu činí méně, než je polovina cyklového času stroje. Jedno z možných řešení by mohlo být, že by jeden operátor vykonával práci za oba dva. V takovém případě by operátor musel být dostatečně zkušený, aby práci vykonával dostatečně rychle a tím zabránil možnému zpomalení cyklu. Dalším řešením by mohlo být nahrazení jednoho operátora druhým robotickým manipulátorem. Toto řešení se jeví jako nejoptimálnější a druhý operátor může být přeřazen na jiné stanoviště, kde bude lépe využít jeho časový fond.

## 6 Simulátor diskretních událostí

K simulaci výrobní linky se zaměřením na časovou analýzu byl použit program od firmy Siemens, konkrétně program Tecnomatix Plant Simulation. Cílem je namodelovat linku do požadovaného stavu, aby funkčností připomínal reálný model. Zároveň je díky simulaci možné promítnout graf jednotlivých operací podobným způsobem, jako to bylo provedeno manuálně zde 5.10.

### 6.1 Tecnomatix Plant Simulation

Efektivní logistika je klíčová pro úspěch firem v souvislosti s rostoucími náklady na výrobu a globalizací. Uživatelé mohou zkoumat scénáře a experimentovat bez potřeby existujícího systému. Tento nástroj poskytuje objektivní kritéria pro srovnání alternativních přístupů a efektivně podporuje plánování výroby [9].

Tento nástroj slouží pro simulaci a optimalizaci průchodu zboží skrz libovolný logistický systém. Umožňuje tak vytvořit model výrobních závodů, linek, procesů dopravy a vizualizovat tok skrz složité systémy. Z modelu je možné poznávat chování určitého systému lépe než v reálném čase. Prostřednictvím testování variant lze lépe poznat chování systému a na základě získaných informací lze vyvodit závěry sloužící k nejrůznějším optimalizacím [10].

K vytváření modelů se využívají knihovny obsahující standardní i specializované prvky. Tyto prvky jsou pak použity k vytváření organizovaných modelů výrobních linek, zařízení a procesů. Aplikace Plant Simulation má podobné rozhraní standardu Microsoft Windows, což umožňuje uživatelům se s programem rychleji seznámit. Mezi specifické vlastnosti aplikace patří například objektově orientovaný program využívající dědičnost. Dále je otevřený k importu dat z jiných softwarů, například z databází Excelu, Oracle a SAPu. Je integrován do konceptu digitální továrny a je tak podporován import dat z ostatní modulů digitální továrny [11].

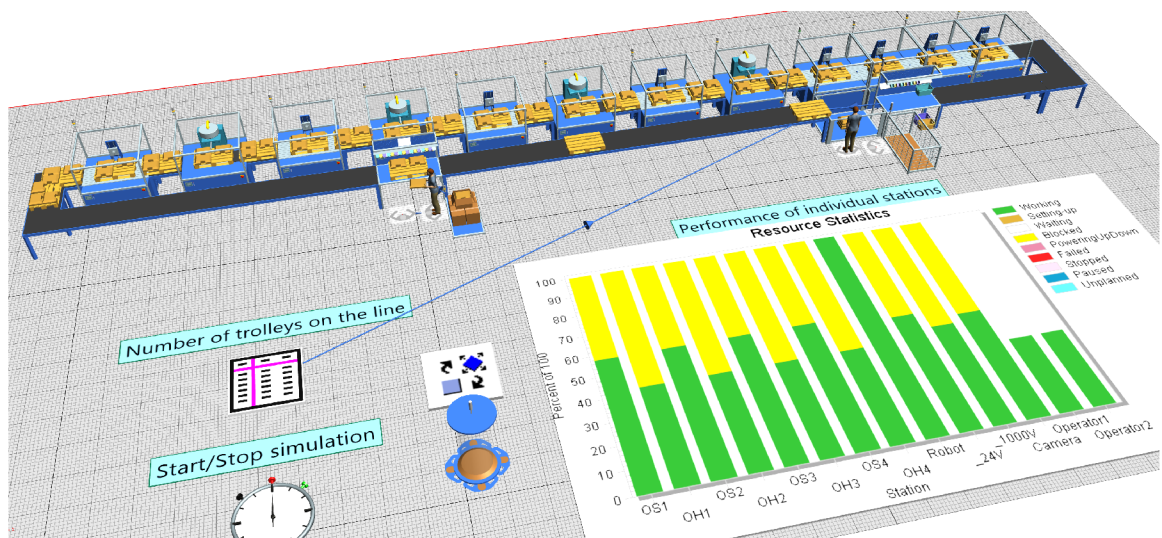
### 6.2 Popis systému

Celý systém reprezentuje reálnou podobu výrobní linky (Obr.6.1). Každá stanice systému odpovídá reálné rychlosti. Celkový časový tok je tedy totožný. Pracovníkům je přidělena práce, která se časově rovná výsledné hodnotě spočtené metodou Basic MOST.

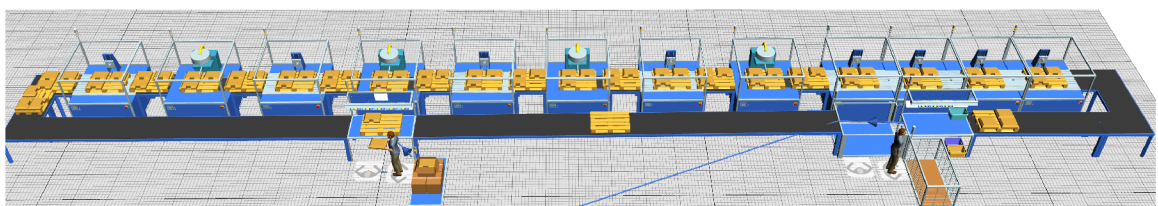
Uživatel si může zvolit před začátkem simulace, kolik bude v oběhu vozíků. Uživatel může také nastavit počet kusů nacházející se na jednom vozíku. Tímto údajem se tedy i dynamicky změní časový fond operátorů.

Další klíčovou funkcí tohoto systému je dynamicky měnící se graf, který odpovídá vytíženosti každé stanice včetně práce operátorů. Po delší době simulace se tento graf stane totožným s grafem manuálně vytvořeným. Graf v programu má ovšem mnoho výhod. Jedna z výhod, která již byla zmíněna, je dynamicky měnící se struktura. Protože na jednotlivých stanicích můžeme nastavit i poruchy, které způsobují dočasné zastavení činnosti, můžeme v grafu v reálném čase sledovat, jak se tyto prostoje odrážejí. Graf nám ukazuje, že program dokáže rozlišit, kdy stanice zastaví kvůli čekání na nejpomalejší část výrobní linky (zobrazeno žlutou barvou) a kdy stanice (nebo operátor) čeká, protože na místě není přítomen potřebný vozík (zobrazeno bílou barvou).

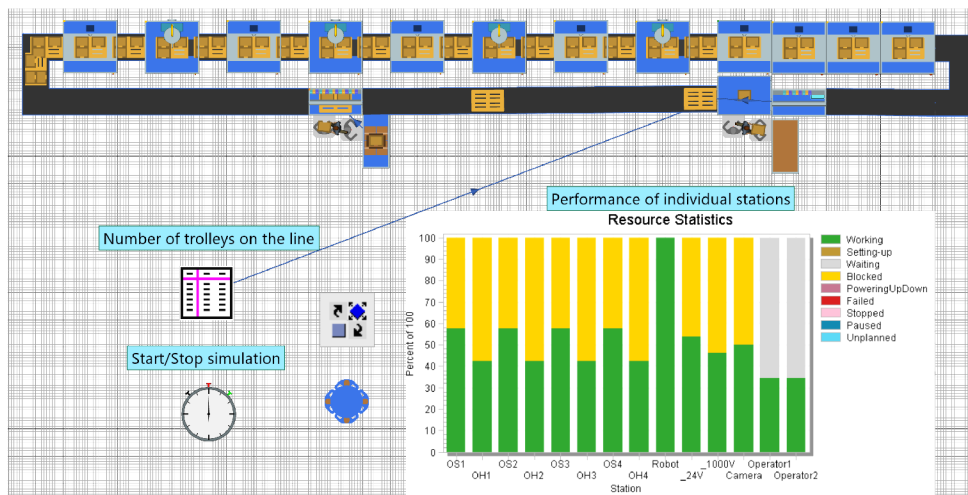
Program je možné přepnout do 2D zobrazení (Obr.6.3), což může být vhodné, pokud nás zajímá pouze samotný tok dat.



Obr. 6.1: 3D model v Plant Simulation



Obr. 6.2: Detailní 3D model v Plant Simulation



Obr. 6.3: 2D model v Plant Simulation

## 6.3 Vybrané objekty pro tvorbu modelu

### 6.3.1 Source, Drain

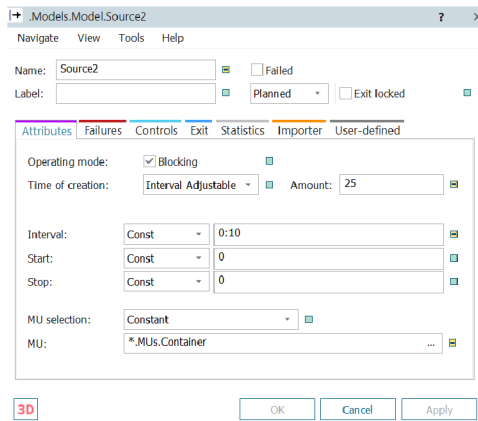
Source (zdroj) vyrábí jednotky v jedné stanici. Generuje stejné nebo různé druhy kusů. Může to být například stroj, který vyrábí díly, jež ostatní stanice zpracovávají [12].

V použitém modelu jsou použity dva objekty Source. Jedním objektem se dá definovat počet vozíků, jež budou v oběhu na výrobní lince (Obr.6.4) a druhý objekt naopak vytváří dílky na vozík, které operátor umístí na generované vozíky.

Drain odebírá díly vyrobené ze stanice Source (zdroj). Vestavěné vlastnosti Drain jsou stejné jako vlastnosti Station. Jediný rozdíl je v tom, že Drain odebírá zpracovaný díl ze závodu, místo aby jej přesunul na následující objekt v toku materiálu [13].

V případě použitého systému se Drain nachází na pozici, kde první operátor umísťuje zhotovené kusy do blistru, což reprezentuje použitý objekt Drain. Systém je zpracován tak, aby operátor odebral pouze kusy a vozík pokračoval dál.



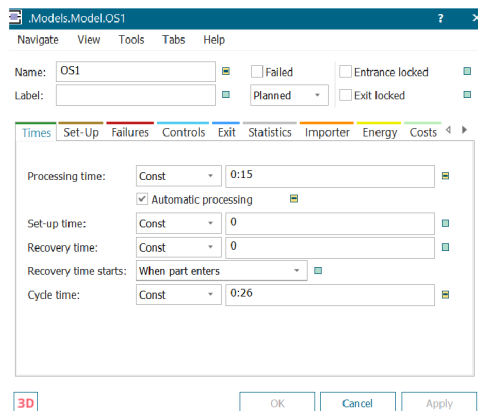


Obr. 6.4: Source pro počet vozíku v oběhu

### 6.3.2 Station

Station je stanice, která může zpracovávat pouze jednu jednotku najednou. Přijímá kus od svého předchozího objektu a po uplynutí definované doby přípravy a zpracování ji uvolňuje svému následnému objektu [14].

V programu představuje Station (stanice) jednotlivé stroje. U každého stroje je nastaven procesní čas, který se určil v předchozích kapitolách. Na všech stanicích je nastaven jeden cyklový čas, což jak už bylo vícekrát zmíněno, představuje nejpomalejší část linky. Na následujícím obrázku (Obr.6.5) je znázorněna specifikace první stanice (OS1).



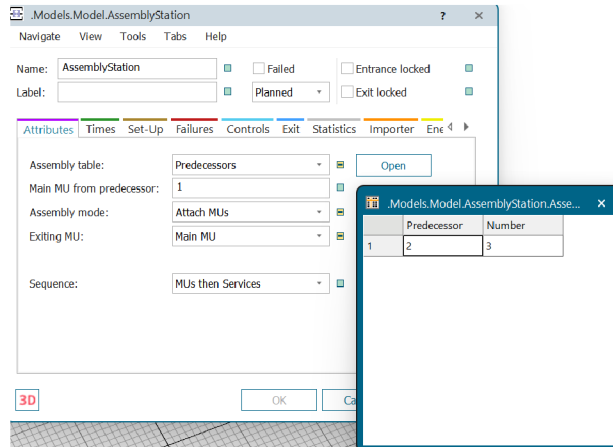
Obr. 6.5: Station první stanice osazení

### 6.3.3 AssemblyStation, DismantleStation, Buffer

AssemblyStation sestavuje jednotky obdržené z různých předchozích objektů dohromady. Lze vytvořit Assembly table, která definuje počet dílů potřebných z jednotli-

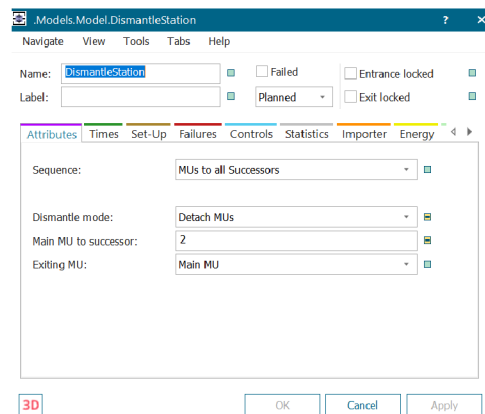
vých předchůdců k vytvoření konečného výrobku [14].

V programu je AssemblyStation využita jako stanice, na kterou přijede vozík a operátor na ní umístí výrobní kusy, produkující se ze Source. V Assembly table se nastavují potomci a jejich počet. V programu určuje druhý potomek počet kusů na jednom vozíku. Tímto způsobem se dá tedy měnit počet prvků ve vozíku (Obr.6.6).



Obr. 6.6: Specifikace AssemblyStation

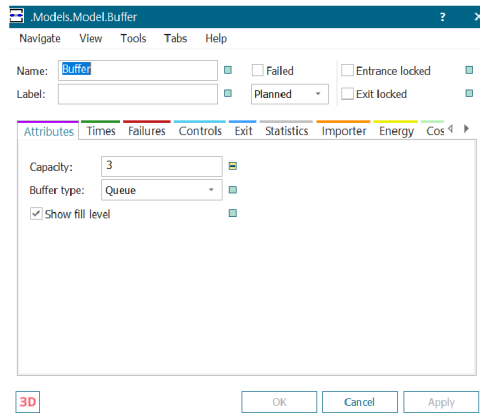
DismantleStation plní opačnou funkci. Jeho funkce je rozdělit "zhotovené" kusy od vozíku. Číslo 2 značí, že budou odděleny kusy od vozíku a nikoliv naopak (Obr.6.7).



Obr. 6.7: Specifikace DismantleStation

Objekt Buffer přijme jednotku, uchová ji po danou dobu, a poté se ji pokusí předat dál. Jednotky mohou opustit vyrovnávací paměť ve stejném pořadí, v jakém do ní vstoupily (FIFO), nebo v opačném směru (LIFO) [14].

System využívá Buffer jako místo pro uložení kusů, které jsou rozděleny z Dissmant-Station. Z Bufferu je následně po jednom kusu uchopí operátor a umístí je do blisteru (Drain) (Obr.6.8).

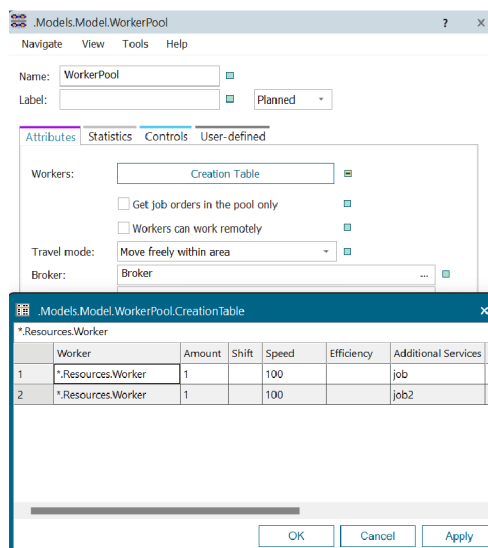


Obr. 6.8: Specifikace Bufferu

### 6.3.4 WorkerPool, Workplace

WorkerPool představuje společenskou místnost pro zaměstnance závodu. Pracovníci jsou vytvořeni ve WorkerPool a zůstávají tam, když nepracují a čekají na zakázku. V sekci Creation Table lze přiřadit jednotlivým pracovníkům pevně definovanou práci. Bez přiřazení práce pracovníci vykonávají práci podle toho, kde je zrovna vykonávat práci potřeba [15].

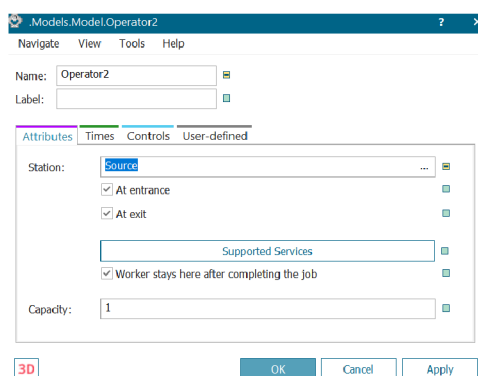
V modelu jsou vytvořeni dva pracovníci, kteří mají přidělenou práci v sekci Creation Table. Práce je rozdělena tak, jak je tomu v reálném běhu linky. Jeden pracovník má za cíl umístit kusy na prázdný vozík a druhý pracovník má za cíl zhotovené kusy umístit do blisteru. Práce prvního pracovníka (job) je napojena na stanoviště Drain. Práce druhého pracovníka (job2) je napojena na pracoviště Source. Nastavení WorkerPool je znázorněno na Obr.(6.9).



Obr. 6.9: Specifikace WorkerPool

Workplace (pracoviště) je místo na stanici, kde pracovník vykonává svou práci [16].

Na lince se nachází čtyři pracoviště (Obr.6.1) U každého operátora to jsou dvě pracoviště, kde pracovník vykonává svou práci. U těchto stanic je nastaven Transport Active. To znamená, že je zde operace řízena pracovníkem, nikoliv samovolně. Na pracovištích je nastaven procesní čas výkonu jedné operace tak, jak bylo stanoveno metodou Basic Most. Na Obr.6.10 je vidět, že je stanoviště druhého operátora napojeno na stanici Source.



Obr. 6.10: Stanoviště druhého operátora napojeno na Source

### 6.3.5 Chart

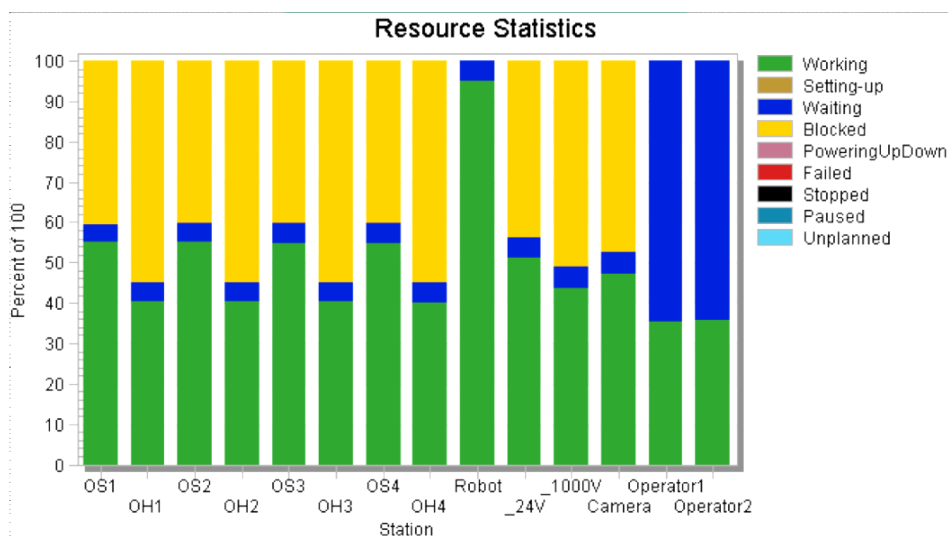
Chart (graf) zobrazuje data, která Plant Simulation zaznamenala během doby simulace [17].

Graf je znázorněn na Obr.6.1 a Obr.6.3. Zde je vidno, že data v grafu korespondují s grafem manuálně vytvořeným (Obr.5.10).

## 6.4 Optimalizace počtu vozíků

Jedna z největších výhod simulace je možnost optimalizace ideálního počtu vozíků. Ideální počet vozíků by měl být minimální, ale zároveň dostatečný k tomu, aby nezpomaloval čas cyklu linky.

Počet vozíků je poměrně vybalancovaný. Díky simulaci bylo zjištěno, že by zde mohlo být o jeden vozík méně (24 vozíků). S dvaceti třemi vozíky bychom se dostali na hranici téměř bez rezervy a vlivem možných poruch se tento počet jeví jako neoptimální. Pokud by ale na lince bylo pouze dvacet dva vozíků, celkový cyklový čas by se prodloužil z důvodu absence vozíků na prvním stanovišti. Tato skutečnost je zobrazena na následujícím obrázku (Obr.6.11). Na grafu je vidět, že se cyklový čas prodlouží o bílou barvu v každém sloupci (Waiting).



Obr. 6.11: Graf vytíženosti pro 22 vozíků

## 6.5 Návrh nového pracoviště

Jak již bylo zmíněno dříve, na výrobní lince je možno navrhnout mnoho řešení, která by měla vliv na celkovou efektivitu nebo finanční úsporu. Tato část je věnována řešení, kdy je druhý operátor, jehož práce spočívá v umístění výrobních dílů na prázdný vozík, nahrazen robotickým manipulátorem plnící stejnou funkci.

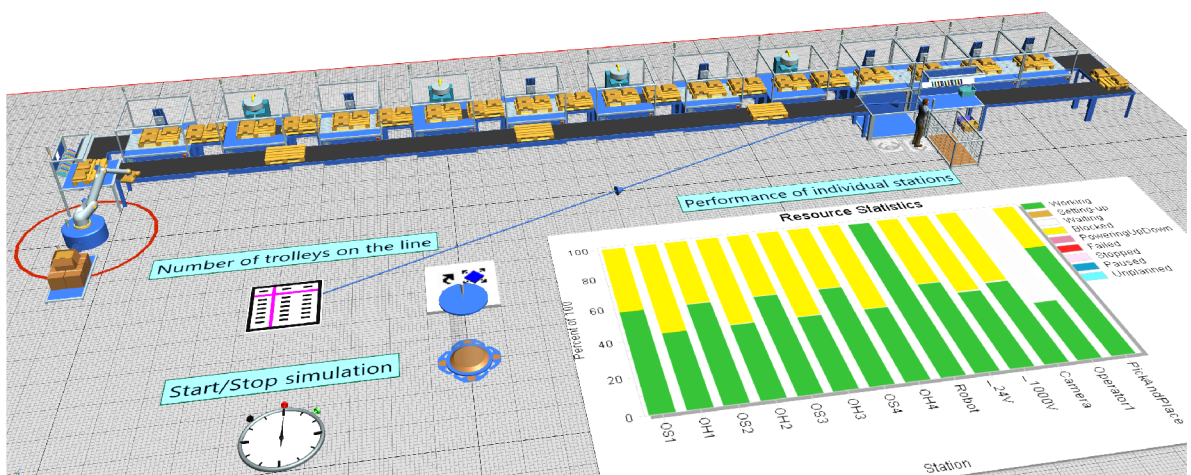
Toto řešení spočívá v investici do přestavby výrobní linky a nainstalování robotického manipulátoru na vstupní modul. Tato investice se z dlouhodobého hlediska

vyplatí kvůli ušetření nákladů za jednoho operátora. V druhém případě by mohl být časový fond operátora využit na jiném stanovišti. Toto řešení je finančně výhodné kvůli tomu, že operátoři tvoří nejrychlejší článek linky a tedy článek, který je z celé linky nejméně časově vytížen.

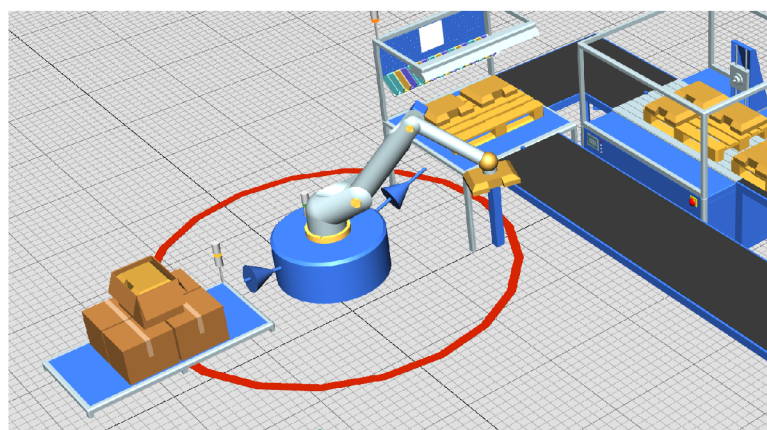
K tomuto účelu je využit stávající model z programu Plant Simulation, a ten je přestavěn na nový návrh.

Model je znázorněn na Obr.(6.12). Z obrázku je vidno, že celá část zahrnující druhého operátora je nahrazena robotickým manipulátorem, který se nachází na konci (začátku) dopravního pásu.

Je zde zobrazen graf, na kterém je místo Operátor2 stanice PickAndPlace, což představuje robotický manipulátor (Obr.6.13).



Obr. 6.12: Model návrhu nového pracoviště

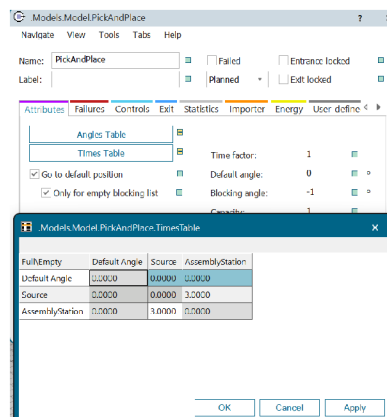


Obr. 6.13: Stanice PickAndPlace

## 6.5.1 PickAndPlace

PickAndPlace (Robot) vyzvedne díl na jedné stanici, otočí se k jiné stanici a umístí jej tam. Může vyzvednout a doručit jeden nebo více dílů [18].

V návrhu robotický manipulátor uchopí kus ze Source, což v reálném provedení znamená uchopit kusz blistru a umístit jej na vozík. Experimentálně byl čas, který trvá manipulátoru přemístit kus, nastaven na tři sekundy (Obr.6.14). To znamená, že pro jeden cyklus to činí 6 sekund, a pro jeden vozík, a tedy 3 kusy, je celkový čas 18 sekund. Je důležité, aby celkový čas pro jeden cyklus nepřesáhl nejdelší čas linky, který je nastaven na 26 sekund. Pokud by se tak stalo, celkové řešení by se mohlo stát neefektivní.



Obr. 6.14: Specifikace PickAndPlace

## 7 Návrh konceptu digitálního dvojčete linky

Návrh konceptu digitálního dvojčete je realizován v programu Siemens NX a jeho ovládání je řešeno za pomoci programů Siemens TIA Portal a Siemens PLCSIM Advanced.

Kvůli komplexnosti použitého modelu není cílem řešit digitální dvojče z technologického hlediska. Model je upraven pro snazší průjezd celé linky, aby funkcionalitou připomínal model realizovaný programem Plant Simulation. Oproti modelu vytvořeném v Plant Simulation je zde zajištěno, aby se přesun ze vstupního modulu na první osazovací jednotku provedl jen tehdy, jsou-li všechny operace dokončeny. Dalším rozdílem je to, že se vozíky mohou přesunout na další stanice jen tehdy, je-li na vstupním modulu vozík. Model v programu NX nemá takové možnosti uživatelského nastavení, ale za to je na něm možné detailněji vidět celý průjezd. V simulaci se technologicky neprovádí operace na daných modulech s výjimkou robotického manipulátoru a kontrolního modulu kamery, kde jsou v zjednodušené verzi nasimulovány pohyby daných operací. Pomocí HMI jsou graficky znázorněny časy trvání jednotlivých operací.

### 7.1 Siemens NX

Software NX od společnosti Siemens je CAD/CAE/CAM program, ve kterém je možné vytvářet 3D modely linek a strojů. Pomocí nástavby MCD (Mechatronic Concept Designer) lze 3D modelu přiřadit dynamické vlastnosti. Následně lze vytvořit kinematické vazby, které simulují pohyb těles stejně jako v reálném stroji. Díky MCD je možné vytvářet signály umožňující zaznamenávat stav virtuálních senzorů, jako jsou například koncové spínače nebo akční členy. Díky těmto signálům je možné zajistit komunikaci s nástroji, které zajišťují fyzikální komunikaci stroje [10].

### 7.2 Model výrobní linky v NX

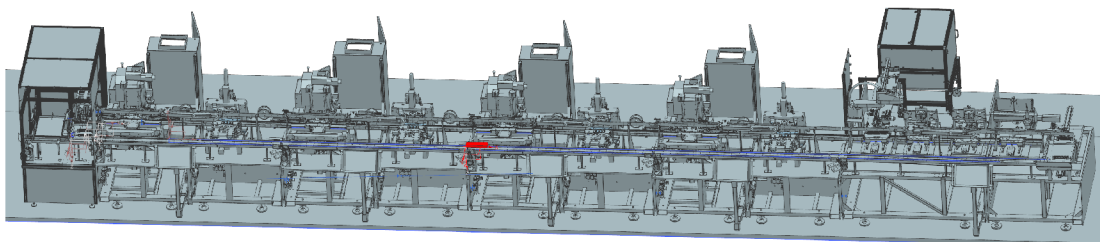
Jednotlivé CAD modely stanic byly poskytnuty firmou. Z těchto modulů byla sestavena sestava výrobní linky (Obr.7.1). Jednotlivé moduly jsou k sobě spojeny pomocí Assembly Constrains.

Jelikož model nebyl primárně cílen na simulaci, je sestava doplněna o pomocné modely. Mezi podpůrné modely patří primárně plochy, po kterých se pohybují vozíky. Tyto modely jsou na místech, kde se nacházejí dopravníkové pásy. Další modifikací je samotný přesun vozíků mezi jednotlivými stanicemi. V reálné konstrukci jsou vozíky přesouvány manipulátorem, který všechny vozíky od kontrolního modulu po finální



modul kamery posune o jeden takt. Tato skutečnost je nahrazena pohybem, který je řízen dopravníkovým pásem. V modelu nejsou zakomponováni operátoři, a tak je celý problém s obsluhou vozíku vyřešen způsobem, že se po určité době generují vozíky na místo, kde by se nacházel operátor a na konci linky (model kamery) vozíky z linky mizí.

V dalších podkapitolách jsou vysvětleny fyzikální aplikace na jednotlivé části linky, které hrají stěžejní roli pro následnou simulaci.



Obr. 7.1: Model linky v programu NX

## 7.2.1 Základní Fyzika (Basic Physics)

Aby bylo možné model použít pro simulaci, je potřeba přidělit určitým částem fyzikální vlastnosti. Základem je definovat tuhá tělesa (Rigid Body). Těmto tělesům jsou přiděleny fyzikální vlastnosti, čili na ně například působí gravitační síla.

V modelu tuhá tělesa reprezentují vozíky společně s robotickým manipulátorem a kamerou umístěnou na kontrolním modulu. Jsou to tedy takové objekty, které se v modelu pohybují.

Dalším případem, spadající do této kategorie je kolizní těleso (Collision Body). Taková tělesa působí fyzikálně na tuhá tělesa. Pokud je tedy tuhé těleso umístěno pod kolizním tělesem, nepropadne skrze něj.

Jako kolizní tělesa jsou v modelu definovány pomocné modely představující dopravníkové pásy. Tím je zapříčiněno, aby se vozíky pohybovaly po těchto objektech.

Poslední částí je zdroj objektu (Object Source) a zánik objektu (Object Sink). Tyto objekty slouží k tvorbě definovaného tuhého tělesa a jeho zániku.

Tímto způsobem jsou postupně vytvářeny nové vozíky a za posledním kontrolním modulem spadnou na podlahu, kde se odstraní z modelu.

Všechny objekty obsahující základní fyzikální vlastnosti jsou na Obr.7.2.

Basic Physics	
<input checked="" type="checkbox"/> dopravnik_pom_cb	Collision Body
<input checked="" type="checkbox"/> dopravnik1_cb	Collision Body
<input checked="" type="checkbox"/> dopravnik2_cb	Collision Body
<input checked="" type="checkbox"/> dopravnik3_cb	Collision Body
<input checked="" type="checkbox"/> dopravnik4_cb	Collision Body
<input checked="" type="checkbox"/> kamera_rb	Rigid Body
<input checked="" type="checkbox"/> ObjectSink_podlaha	Object Sink
<input checked="" type="checkbox"/> ObjectSource	Object Source
<input checked="" type="checkbox"/> robot_manipulator_rb	Rigid Body
<input checked="" type="checkbox"/> robot_rameno_rb	Rigid Body
<input checked="" type="checkbox"/> vozicek_rb	Rigid Body

Obr. 7.2: Objekty obsahující základní fyziku

## 7.2.2 Spoje (Joints)

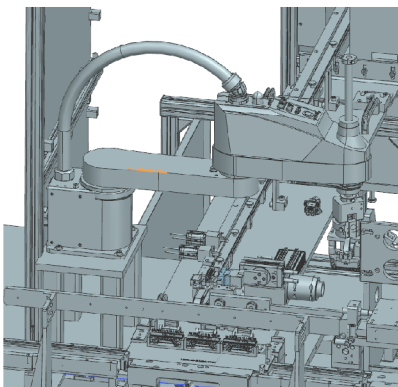
Spoje (joints) jsou mechanismy, které slouží k propojení určitých částí modelu tak, aby se mohly pohybovat podle pevně definovaných pravidel. Mohou to být například kloubová spojení, rotační spojení, nebo třeba spojení posuvná.

Posuvné spojení (Sliding Joint) je nastaveno na kameře posledního modulu linky. Tento typ spojení je fixován podél pevné lineární osy. Kamera se tedy po této ose může pohybovat. Toto posuvné spojení je vázáno na model tuhého tělesa kamery.

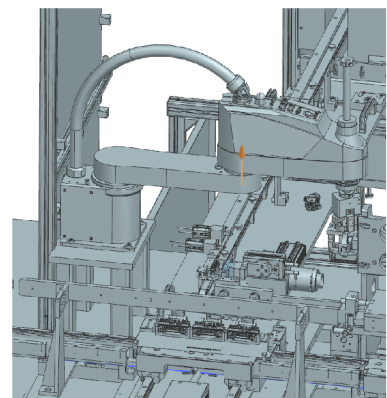
Pevné spojení (Fixed Joint) je použito na část ramene robotické manipulátoru (Obr.7.3). Toto spojení slouží k fixaci objektu na dané poloze.

Posledním spojením, které se nachází na robotickém manipulátoru, je kloubový spoj (Hindge Joint) (Obr.7.4). Díky tomuto spojení se může část robotického manipulátoru, která umísťuje víčka na tělíska, otáčet kolem definované osy. Oba tyto spoje mají svá tuhá tělesa.

Všechny použité spoje jsou znázorněny na Obr.7.5.



Obr. 7.3: Část robotického manipulátoru obsahující pevné spojení



Obr. 7.4: Část robotického manipulátoru obsahující kloubový spoj

Joints and Constraints	
<input checked="" type="checkbox"/> kamera_sliding_joint	Sliding Joint
<input checked="" type="checkbox"/> robot_fixed_joint	Fixed Joint
<input checked="" type="checkbox"/> robot_hinge_joint	Hinge Joint

Obr. 7.5: Objekty obsahující spoje

### 7.2.3 Senzory (Sensors)

Senzory umožňují analyzovat a simulovat chování modelu a provádět interakce mezi navrženými objekty a virtuálními senzory. Mohou být použity například k monitorování pohybu, detekci kolizí a nebo k samotné interakci s řídicími systémy.

V modelu jsou použity kolizní senzory (Collision Sensor). Jsou to senzory, které slouží k detekci objektu. V případě modelu je to detekce vozíku. Tyto senzory jsou pak propojeny s programem ve virtuálním PLC a zapříčiňují správný chod celého systému.

První kolizní senzor se nachází na začátku vstupního modulu (sensor1\_cs). Tento senzor signalizuje přítomnost vozíku, který je následně přesunut na konec kontrolního modulu, od něhož se vozík přesouvá přes jednotlivé stanice.

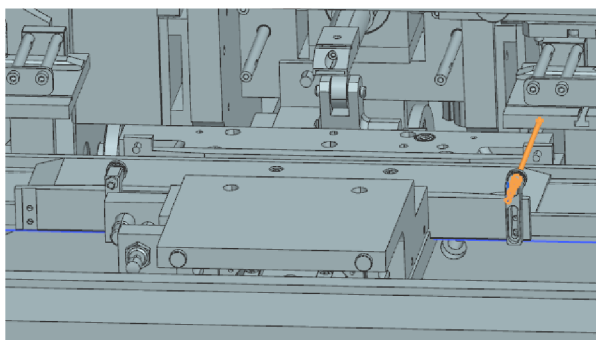
Druhý kolizní senzor (sensor2\_cs) se nachází na konci kontrolního modulu. Předává informaci o tom, že je zde vozík. Tento senzor hraje klíčovou roli, protože se vozíky mohou pohybovat přes jednotlivé stanice pouze tehdy, je-li vozík na tomto místě.

Třetí kolizní senzor (os1\_cs) se nachází na prvním modulu osazovací části kontaktů. Slouží ke dvěma účelům. První účel je samotný posun všech vozíků přes jednotlivé stanice. Jelikož je vzdálenost míst, na které se mají vozíky za jeden cyklus dostat, všude stejná, je zde použit jen jeden senzor k tomuto účelu. Pakliže se tedy vozík dostane na tento senzor, dopravníkový pás se zastaví, a tím se i ostatní vozíky ocitnou na požadovaných místech. Druhým účelem tohoto senzoru je start samotné operace modulu osazovací části. Jelikož mají všechny osazovací části modulu stejný procesní čas, stačí, aby byl senzor jen u prvního z těchto modulů.

Další kolizní senzor (oh1\_cs) je umístěn u prvního modulu ohýbací části. Má stejný účel jako (os1\_cs), a tedy start operace. Dále je tu senzor robota (robot\_cs), senzor obou zkratovačů (24V\_cs), (1000V\_cs) a senzor kamery (kamera\_cs), jejichž funkce je stejná.

Poslední kolizním senzorem je senzor podlahy (podlaha\_cs) detekující vozík, který opustil linku, a následně je odstraněn.

Jako příklad je na Obr.7.6 uveden senzor na osazovacím modulu.



Obr. 7.6: Přidělený senzor na osazovacím modulu

Všechny senzory společně s pohony jsou zobrazeny v následující tabulce (Obr.7.7).

Sensors and Actuators	
<input checked="" type="checkbox"/> 24V_cs	Collision Sensor
<input checked="" type="checkbox"/> 1000V_cs	Collision Sensor
<input checked="" type="checkbox"/> dopravnik1_ts	Transport Surface
<input checked="" type="checkbox"/> dopravnik4_ts	Transport Surface
<input checked="" type="checkbox"/> dopravnik_pom_ts	Transport Surface
<input checked="" type="checkbox"/> dopravnik2_ts	Transport Surface
<input checked="" type="checkbox"/> dopravnik3_ts	Transport Surface
<input checked="" type="checkbox"/> kamera_cs	Collision Sensor
<input checked="" type="checkbox"/> kamera_pc	Position Control
<input checked="" type="checkbox"/> oh1_cs	Collision Sensor
<input checked="" type="checkbox"/> os1_cs	Collision Sensor
<input checked="" type="checkbox"/> podlaha_cs	Collision Sensor
<input checked="" type="checkbox"/> robot_cs	Collision Sensor
<input checked="" type="checkbox"/> robot_pc	Position Control
<input checked="" type="checkbox"/> sensor1_cs	Collision Sensor
<input checked="" type="checkbox"/> sensor2_cs	Collision Sensor

Obr. 7.7: Objekty obsahující senzory a pohony

## 7.2.4 Pohony (Actuators)

Pohony jsou použity k řízení pohybu. Umožňují simulovat různé typy pohybů, jako je rotace nebo posunutí.

Pohony jsou v modelu aplikovány na dopravníkové pásy, aby se vozíky mohly pohybovat definovaným směrem. Tyto pohony jsou zobrazeny na Obr.7.7.

## 7.2.5 Signály (Signals)

Signály jsou vstupy nebo výstupy výše zmíněných nadefinovaných mechanismů, které jsou propojeny s externími signály z PLC.

Signály se definují v Symbol Table. Jsou zde všechny nadefinované senzory a pohony. Senzory jsou definovány jako výstupy a pohony naopak jako vstupy. Všechny signály jsou zobrazeny níže (Obr.7.8).

Signals	
<input checked="" type="checkbox"/> dopravnik_pom	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> dopravnik1	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> dopravnik2	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> dopravnik3	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> dopravnik4	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> kamera	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> kamera_position	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> kamera_position_sensor	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> kamera_speed	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> oh1	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> os1	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> sensor1	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> sensor2	Signal
<input type="checkbox"/> SymbolTable	Symbol Table
<input checked="" type="checkbox"/> vickovac	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> vickovac_position	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> vickovac_position_sensor	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> vickovac_speed	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> zkratovac1	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> zkratovac2	Signal

Obr. 7.8: Seznam použitých signálů

Tyto signály jsou propojeny s externími signály. Na následujícím obrázku jsou zobrazeny jednotlivá propojení (Obr.7.9).

Connection Name	MCD Signal Name	Direction	External Signal Name
PLCSIM Adv.PLC_1			
Global_dopravnik_pom_dopravnik_pom	dopravnik_pom	←	i40.dopravnik_pom
Global_dopravnik1_dopravnik1	dopravnik1	←	i40.dopravnik1
Global_dopravnik2_dopravnik2	dopravnik2	←	i40.dopravnik2
Global_dopravnik3_dopravnik3	dopravnik3	←	i40.dopravnik3
Global_dopravnik4_dopravnik4	dopravnik4	←	i40.dopravnik4
Global_kamera_position_kamera_position	kamera_position	←	i40.kamera_position
Global_kamera_position_sensor_kamera_position_sensor	kamera_position_sensor	→	i40.kamera_position_sensor
Global_kamera_sensor_kamera	kamera	→	i40.sensor_kamera
Global_kamera_speed_kamera_speed	kamera_speed	←	i40.kamera_speed
Global_oh1_oh1_s	oh1	→	i40.oh1_s
Global_os1_os1_s	os1	→	i40.os1_s
Global_sensor1_sensor1	sensor1	→	i40.sensor1
Global_sensor2_sensor_2	sensor2	→	i40.sensor_2
Global_vickovac_position_sensor_vickovac_position_sensor	vickovac_position_sensor	→	i40.vickovac_position_sensor
Global_vickovac_position_vickovac_position	vickovac_position	←	i40.vickovac_position
Global_vickovac_sensor_vickovac	vickovac	→	i40.sensor_vickovac
Global_vickovac_speed_vickovac_speed	vickovac_speed	←	i40.vickovac_speed
Global_zkratovac1_sensor_24V	zkratovac1	←	i40.sensor_24V
Global_zkratovac2_sensor_1000V	zkratovac2	→	i40.sensor_1000V

Obr. 7.9: Seznam propojení s externími signály

## 7.3 Popis realizace programu

Program je realizovaný v nástroji TIA Portal od firmy Siemens. Je to software pro vývoj uživatelských aplikací pro PLC, vizualizace SCADA, projektování HMI panelů, síťových komponent a konfiguraci pohonů. Vše se nachází v jednom prostředí s jednotným ovládáním[19].

Program je psán v jazyce ST (Structured Text) a je řízen dvěma stavovými automaty. První stavový automat řídí přesun vozíků z velkého dopravníkového pásu

(stav 0-1), u kterého pracují operátoři na pozici vstupního modulu, od něhož se vozíky přesouvají po dopravníkovém pásu přes jednotlivé stanice.

Následný slovní popis je doplněn stavovým diagramem programu (Obr.7.10) společně s obrázkem znázorňující lokalitu dopravníkových pásů (Obr.7.11).

Program je implementován, aby byl první dopravníkový pás neustále aktivní společně s třetím dopravníkovým pásem. Na konci prvního dopravníku se nachází senzor. Po jeho aktivaci se přechází do stavu 1. Ve stavu 1 se zapne druhý dopravníkový pás, a ten přesune vozík na třetí dopravníkový pás. Třetí dopravníkový pás ho přesune na pozici vstupního modulu. Po uplynutí časovače se přejde zpět do stavu 0.

Druhý stavový automat má rovněž dva stavy (stav\_operace). Zároveň se zde nacházejí dva vnořené stavové automaty, a to stav\_vickovac a stav\_kamera.

Stavový automat stav\_operace řídí přesun vozíků po jednotlivých stanicích od prvního osazovacího modulu, až po poslední modul kamery. Do tohoto stavu se program dostane, pokud je splněna podmínka, že se na startovní pozici vstupního modulu, která je před prvním modulem osazovací jednotky, nachází vozík. Tato skutečnost je zjištěna díky senzoru nacházející se na tomto místě (sensor2\_cs). Pokud je tato podmínka splněna, nastává stav\_operace=0.

V tomto stavu se aktivuje pomocný dopravníkový pás a čtvrtý dopravníkový pás, který vozíky přesouvá přes moduly. Zároveň se pomocné proměnné nastaví do TRUE, což signalizuje provádění operace. Jakmile se aktivuje senzor, nacházející se na prvním osazovacím modulu (os1\_cs), dopravníky se zastaví a přechází se do druhého stavu (stav\_operace=1).

Jelikož jsou od sebe moduly stejně vzdálené, tak se v tento moment nachází každý vozík na určitém modulu, případně na pozici mezi moduly. Na těchto místech se nacházejí senzory. Je-li vozík na příslušném senzoru, a zároveň je dopravník neaktivní, spustí se časovače, a po jejich doběhnutí se jednotlivé pomocné proměnné nastaví zpět do FALSE. Každá operace má svůj vlastní časovač nastavený dle reálného času příslušné operace. Jakmile jsou všechny pomocné proměnné nastaveny zpět do FALSE, časovače operací se resetují a přechází se do stavu 0 (stav\_operace=0). Pokud se na některém senzoru nenachází vozík, příslušná pomocná proměnná se nastaví na FALSE. Tento mechanismus je zde z důvodu, je-li linka teprve v rozjezdu a ne na všech modulech se nachází vozík. V takovém případě běží jen ty operace, kde se nacházejí vozíky a po uplynutí nejdelší operace se vozíky mohou přesunout o jeden takt. To ale pouze v případě, že se již na vstupním modulu nachází vozík.

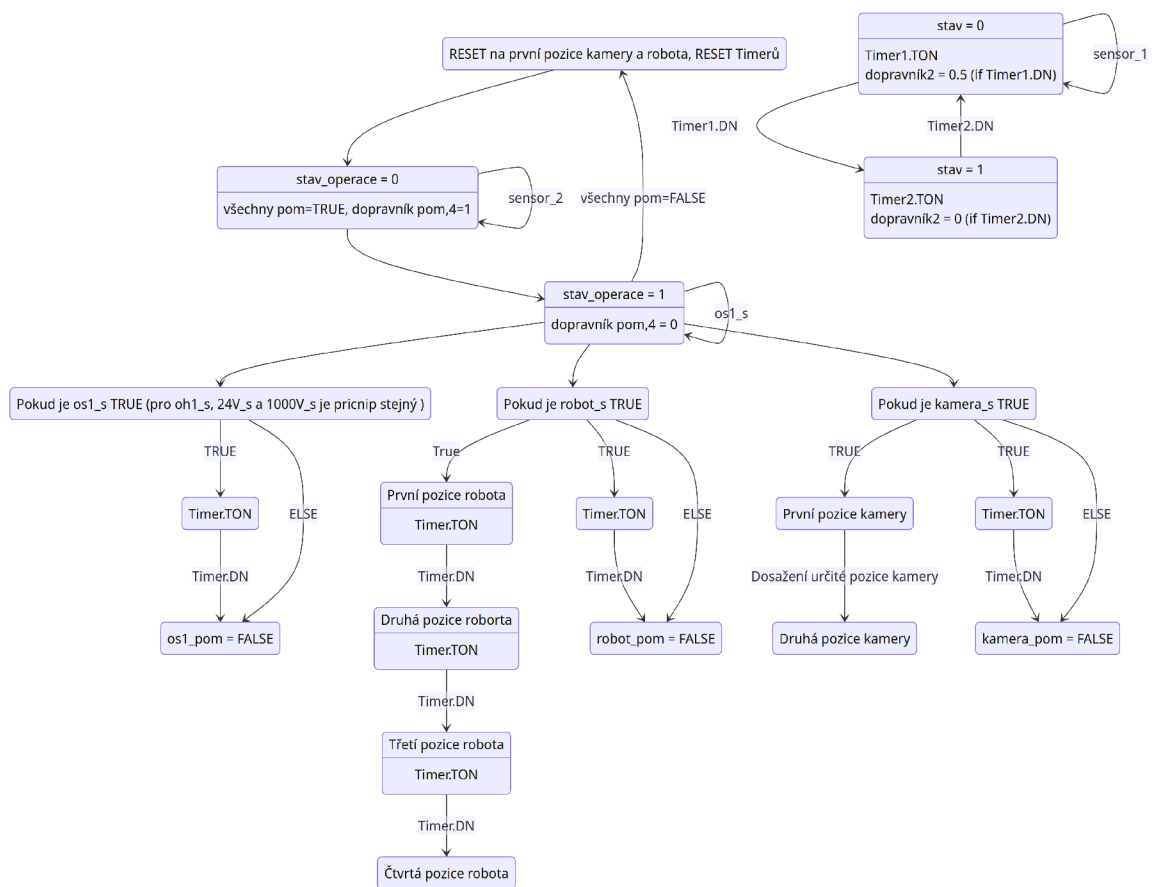
Pokud je umístěn vozík na modulu robota či kamery, spustí se jejich stavový automat. Co se týče robota, ten se v prvním stavu pootočí na pozici, kde se nachází víčka. Zde nějaký čas čeká, poté se otočí původní pozici. Z původní pozice se otočí na místo, kde by měl víčko umístit na vozík. V tomto stavu stráví určitý čas a

následně se přesune do defaultního stavu. Model neprodukuje víčka. Z toho důvodu má zde pohyb robota spíše demonstrativní účel správně nadefinovaných parametrů v programu NX.

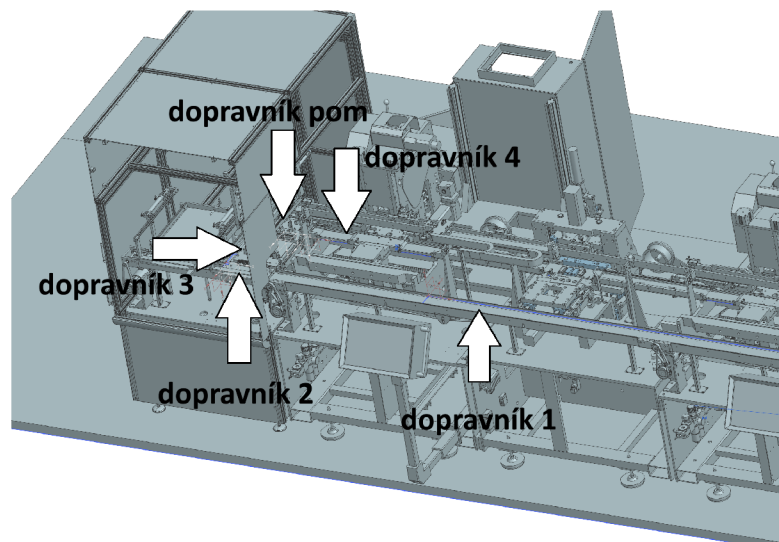
Jakmile je splněna startovní podmínka kamery, spustí se její pohyb. Kamera se posouvá po horizontální ose a po dosažení určité pozice se pohyb kamery přetočí na druhý směr, kdy se vrací na původní polohu.

Samotná signalizace provozu robotického manipulátoru a kamery pomocí pomocných proměnných je řešena mimo tyto dva stavové automaty a každá z nich má svůj definovaný čas pomocí časovačů.

Rychlost dopravníků společně s časovači je nastavena v závislosti na rychlosti simulace v programu NX. Rychlost dopravníků byla nastavena experimentálně.



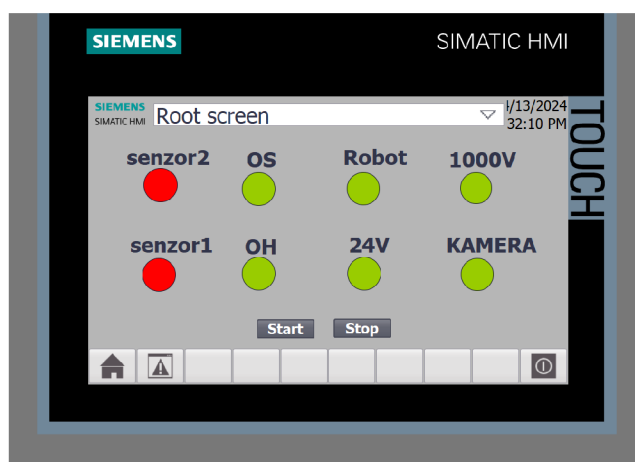
Obr. 7.10: Stavový diagram programu



Obr. 7.11: Pozice dopravníkových pásů

## 7.4 Vizualizace

Pomocí vytvořeného HMI (Human Machine Interface) je možné sledovat aktivitu senzorů společně se stavy pomocných proměnných, které signalizují, zda-li jednotlivé moduly dokončily svou činnost. Zelená kontrolka značí, že je modul v klidovém stavu (nepracuje) a červená kontrolka značí, že daný modul právě vykonává svou funkci. Díky vizualizaci lze lépe vnímat chod celého programu a zároveň jednoduchým způsobem zobrazuje čas jednotlivých operací. Na Obr.7.12 je zobrazeno vytvořené HMI. Zároveň se pomocí vizualizace spouští celá simulace (START) a pomocí tlačítka STOP se proces zastaví.



Obr. 7.12: HMI vytvořeného programu



## Závěr

Díky kombinaci teoretické rešerše a praktických aplikací byly vytvořeny způsoby, vedoucí ke značnému zlepšení celkové efektivity. Detailní analýza určila momentální stav linky. Vybraná metoda BASIC Most umožnila provést rozbor operátorů normovaným způsobem a otevřela firmě možnosti k dalšímu využití této metody. Praktická aplikace Yamazumi grafu sloužící k balancování linky vedla k identifikaci nejpomalejší části linky. Na základě této analýzy byla navržena možná zlepšení, která by měla vliv buďto na snížení cyklového času linky, nebo na lepší využití operátorů.

Manuální analýza byla doplněna o systém vytvořený v programu Tecnomatix Plant Simulation. Systém reprezentuje reálnou linku a hodnoty zobrazené v grafu korelují s hodnotami manuálně vypočtenými. Díky tomuto modelu má firma možnosti, jak experimentálně vytvářet mnoho různých scénářů. Jednou z možností je nastavení ideálního počtu vozíků nacházejících se na lince. Takto lze nastavit ideální počet ještě před tím, než bude linka spuštěna.

Dále byl v Siemens Plant Simulation navrhnout upravený model, který byl vyvíjen díky provedené analýze. Toto řešení nabízí z dlouhodobého hlediska značné finanční úspory. Díky modelu lze lépe demonstrovat celý návrh a umožňuje firmě provádět experimentální testy ještě před možnou přestavbou.

Návrh konceptu digitálního dvojčete v programu Siemens NX ukázal, že lze model vytvořený konstruktéry přetavit na simulační prototyp, který mohou dále využívat například procesní inženýři. Samotná implementace konceptu digitálních dvojčat do výrobního prostředí by měla pozitivní vliv díky tomu, že lze celou výrobní jednotku otestovat ještě před její instalací, což může ve výsledku ušetřit mnoho času a kapitálu.

V bakalářské práci byly splněny všechny vytyčené body, z kterých může firma do budoucna čerpat, díky jejich praktičnosti.

# Literatura

- [1] MILICHOVSKÝ, František a KUBA, Karel. Sběrka příkladů k předmětu Organizace přípravy výroby. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014. ISBN 978-80-7204-906-6.
- [2] NOVÁK, Josef a ŠLAMPOVÁ, Pavlína. Racionalizace výroby. Online. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. 2007. Dostupné z: <https://projekty.fs.vsb.cz/414/racionalizace-vyroby.pdf>. [cit. 2023-11-18].
- [3] TOMEK, Gustav a VÁVROVÁ, Věra. Řízení výroby a nákupu. Expert (Grada). Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1479-0.
- [4] STANISLAV, Lukáš. Průmyslové inženýrství. Online. KVS. Dostupné z: <http://www.kvs.tul.cz/PI>. [cit. 2023-11-18].
- [5] ZANDIN, Kjell Bertil. In: MOST Work Measurement Systems. Third Edition. CRC Press, 2003, s. 548. ISBN 0-8247-0953-5.
- [6] WAGHMARE, Govind. Optimization of Cycle Time by Lean Manufacturing Techniques Line Balancing Approach. Online. ResearchGate. 2016. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/340154243\\_Optimization\\_of\\_Cycle\\_Time\\_by\\_Lean\\_Manufacturing\\_Techniques\\_Line\\_Balancing\\_Approach](https://www.researchgate.net/publication/340154243_Optimization_of_Cycle_Time_by_Lean_Manufacturing_Techniques_Line_Balancing_Approach). [cit. 2023-11-22].
- [7] KAYS, Emrul; PRODHAN, Shamsul; KARIA, Noorliza; KARIM, Mustafizul a SHARIF, Sazzad. Improvement of Operational Performance through Value Stream Mapping and Yamazumi Chart: A case of Bangladeshi RMG Industry. Online. ResearchGate. 2019. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/338096692\\_Improvement\\_of\\_Operational\\_Performance\\_through\\_Value\\_Stream\\_Mapping\\_and\\_Yamazumi\\_Chart\\_A\\_case\\_of\\_Bangladeshi\\_RMG\\_Industry](https://www.researchgate.net/publication/338096692_Improvement_of_Operational_Performance_through_Value_Stream_Mapping_and_Yamazumi_Chart_A_case_of_Bangladeshi_RMG_Industry). [cit. 2023-11-22].
- [8] JUROVÁ, Marie. Výrobní a logistické procesy v podnikání. Expert (Grada). Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5717-9.
- [9] Use plant simulation and throughout optimization to improve manufacturing performance. Online. Siemens Resource Center. Dostupné z: <https://t.ly/X1JbK>. [cit. 2024-03-24].
- [10] KACZMARCZYK, Václav, 2023. Průmysl 4.0 - Virtuální výroba. VUT.
- [11] ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI, FAKULTA STROJNÍ, KATEDRA PRŮMYSLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ A MANAGEMENTU. Tecnomatix Plant

- Simulation. Digital factory. Dostupné z: <https://www.digipod.zcu.cz/index.php/oblasti-nasazeni/simulace/plant-simulation>. [cit. 2024-03-24].
- [12] Source. Online. SIEMENS. Tecnomatix Plant Simulation Help. Dostupné z: [https://docs.plm.automation.siemens.com/content/plant\\_sim\\_help/15/plant\\_sim\\_all\\_in\\_one\\_html/en\\_US/tecnomatix\\_plant\\_simulation\\_help/objects\\_reference\\_help/material\\_flow\\_objects/source/source.html](https://docs.plm.automation.siemens.com/content/plant_sim_help/15/plant_sim_all_in_one_html/en_US/tecnomatix_plant_simulation_help/objects_reference_help/material_flow_objects/source/source.html). [cit. 2024-03-24].
- [13] Drain. Online. SIEMENS. Tecnomatix Plant Simulation Help. Dostupné z: [https://docs.plm.automation.siemens.com/content/plant\\_sim\\_help/15/plant\\_sim\\_all\\_in\\_one\\_html/en\\_US/tecnomatix\\_plant\\_simulation\\_help/objects\\_reference\\_help/material\\_flow\\_objects/drain/drain.html](https://docs.plm.automation.siemens.com/content/plant_sim_help/15/plant_sim_all_in_one_html/en_US/tecnomatix_plant_simulation_help/objects_reference_help/material_flow_objects/drain/drain.html). [cit. 2024-03-24].
- [14] SIMPLAN. Chapter 3: Modeling in Plant Simulation – Material Flow (II): Modeling in Plant Simulation – Material Flow (II). Online. Plant Simulation. Dostupné z: <https://plant-simulation.de/schulungen/tutorial/tutorial-chapter3-part2/>. [cit. 2024-03-24].
- [15] SIEMENS. WorkerPool. Online. Tecnomatix Plant Simulation Help. Dostupné z: [https://docs.plm.automation.siemens.com/content/plant\\_sim\\_help/15/plant\\_sim\\_all\\_in\\_one\\_html/en\\_US/tecnomatix\\_plant\\_simulation\\_help/objects\\_reference\\_help/resource\\_objects/workerpool/workerpool.html](https://docs.plm.automation.siemens.com/content/plant_sim_help/15/plant_sim_all_in_one_html/en_US/tecnomatix_plant_simulation_help/objects_reference_help/resource_objects/workerpool/workerpool.html). [cit.2024-03-24].
- [16] Workplace. Online. SIEMENS. Tecnomatix Plant Simulation Help. Dostupné z: [https://docs.plm.automation.siemens.com/content/plant\\_sim\\_help/15/plant\\_sim\\_all\\_in\\_one\\_html/en\\_US/tecnomatix\\_plant\\_simulation\\_help/objects\\_reference\\_help/resource\\_objects/workplace/workplace.html](https://docs.plm.automation.siemens.com/content/plant_sim_help/15/plant_sim_all_in_one_html/en_US/tecnomatix_plant_simulation_help/objects_reference_help/resource_objects/workplace/workplace.html). [cit. 2024-03-24].
- [17] SIEMENS. Chart (object). Online. Tecnomatix Plant Simulation Help. Dostupné z: [https://docs.plm.automation.siemens.com/content/plant\\_sim\\_help/15/plant\\_sim\\_all\\_in\\_one\\_html/en\\_US/tecnomatix\\_plant\\_simulation\\_help/objects\\_reference\\_help/display\\_and\\_user\\_interface\\_objects/chart/chart\\_object.html](https://docs.plm.automation.siemens.com/content/plant_sim_help/15/plant_sim_all_in_one_html/en_US/tecnomatix_plant_simulation_help/objects_reference_help/display_and_user_interface_objects/chart/chart_object.html). [cit. 2024-03-24].
- [18] PickAndPlace Robot. Online. SIEMENS. Tecnomatix Plant Simulation Help. Dostupné z: [https://docs.plm.automation.siemens.com/content/plant\\_sim\\_help/15/plant\\_sim\\_all\\_in\\_one\\_html/en\\_US/tecnomatix\\_plant\\_](https://docs.plm.automation.siemens.com/content/plant_sim_help/15/plant_sim_all_in_one_html/en_US/tecnomatix_plant_)

simulation\_help/objects\_reference\_help/material\_flow\_objects/  
pickandplace\_robot/pickandplace\_robot.html. [cit. 2024-03-24].

- [19] S.R.O., Antee. TIA Portal. Online. Sipor. Dostupné z: <https://www.sipor.cz/produkty/produkt/tia-portal-615338>. [cit. 2024-04-13].