

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270012

Studijní specializace: PIMNK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Ověření návrhu hardwarového modelu využívající metody
průmyslového inženýrství pomocí diskrétní simulace**

Autor: Bc. Ondřej Váňa

Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Ulrych, Ph.D.

Akademický rok 2022/2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej VÁŇA**
Osobní číslo: **S21N0033P**
Studijní program: **N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management**
Téma práce: **Ověření návrhu hardwarového modelu využívajícího metody průmyslového inženýrství pomocí diskrétní simulace**
Zadávající katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

Zásady pro vypracování

1. Úvod
2. Výběr vhodných metod průmyslového inženýrství realizovatelných v navrženém HW modelu
3. Návrh HW modelu (reflektující omezení stavebnice Fischertechnik) představující výrobní dílnu
4. Tvorba simulačního modelu v Plant Simulation pro potenciální HW model
5. Implementace vybraných metod průmyslového inženýrství do simulačního modelu
6. Porovnání variant jednotlivých navržených řešení
7. Závěr

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**
Rozsah grafických prací: **0**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. BANGSOW, Steffen. *Tecnomatix Plant Simulation: modeling and programming by means of examples*. Springer, 2020. ISBN 978-3-030-41544-0.
2. BANKS, J., CARSON, J., NELSON, B. L., NICOL, D. *Discrete-Event System Simulation*. Pearson Education Limited, 2014. ISBN 13:978-1-292-02437-0.
3. KEŘKOVSKÝ, Miloslav a VALSA, Ondřej. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 3., dopl. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2012. xxi, 153 s. C.H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7179-319-9.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Zdeněk Ulrych, Ph.D.**
Katedra výpočetní a didaktické techniky

Konzultant diplomové práce: **Ing. Bc. Miroslav Malaga**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Datum zadání diplomové práce: **19. září 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2023**

L.S.

Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

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

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: 26. května 2023

Bc. Ondřej Váňa

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Váňa	Jméno Ondřej	
STUDIJNÍ PROGRAM	N0715A270017 Průmyslové inženýrství a management (PIMNK)		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Ulrych, Ph. D.	Jméno Zdeněk	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Ověření návrhu hardwarového modelu využívající metody průmyslového inženýrství pomocí diskrétní simulace		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2023
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	91	TEXTOVÁ ČÁST	71	GRAFICKÁ ČÁST	20
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Předkládaná diplomová práce se zabývá problematikou ověření návrhu hardwarového modelu využívající metody průmyslového inženýrství pomocí diskrétní simulace. Teoretická část je věnována charakteristice pojmů Průmyslové inženýrství, jeho metod a problematice tvorby simulačních modelů. V praktické části jsou navrženy modely představující dílnu, z nich je jeden vybrán a vytvořen simulační model. Na tomto modelu jsou dále interpretovány navržené strategie řízení výroby a metody průmyslového inženýrství. Simulační model je vytvořen v softwarovém programu Plant Simulation.</p>
<p>KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Hardwarový model, simulace, průmyslové inženýrství, Tecnomatix Plant Simulation, stavebnice Fischertechnik</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Váňa	Name Ondřej		
STUDY PROGRAMME	N0715A270017 Průmyslové inženýrství a management (PIMNK)			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Ulrych, Ph. D.	Name Zdeněk		
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	Hardware model design verification using industrial engineering methods using discrete simulation			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2023
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	91	TEXT PART	71	GRAPHICAL PART	20
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This thesis deals with the problem of verification of hardware model design using industrial engineering methods by means of discrete simulation. The theoretical part is devoted to the characteristics of the concepts of Industrial Engineering, its methods and the problems of creating simulation models. In the practical part, models representing a workshop are proposed, one of them is selected and a simulation model is created. The proposed production control strategies and industrial engineering methods are further interpreted on this model. The simulation model is created in the software program Plant Simulation.</p>
KEY WORDS	Hardware model, simulation, industrial engineering, Tecnomatix Plant Simulation, Fischertechnik kits

Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	viii
Seznam obrázků	ix
Seznam tabulek	xii
Úvod.....	1
1 Průmyslové inženýrství.....	2
1.1 Průmyslový inženýr.....	2
1.2 Pozice útvaru v rámci organizační struktury	2
1.3 Náplň práce útvaru.....	3
1.4 Klasické průmyslové inženýrství.....	3
1.5 Moderní průmyslové inženýrství.....	4
2 Metody průmyslového inženýrství.....	5
2.1 Management úzkých míst.....	5
2.1.1 Identifikace úzkého místa.....	6
2.1.2 Využití omezení	6
2.1.3 Podřízení ostatních činností omezení.....	7
2.1.4 Odstranit omezení	7
2.1.5 Pokračovat krokem 1.....	7
2.2 Just in time.....	7
2.2.1 Implementace metody	7
2.2.2 Přínosy a cíle zavedení metody.....	8
2.2.3 Předpoklady/úskalí pro zavedení metody	8
2.3 SMED (Single Minute Exchange of Die).....	9
2.3.1 Popis využití metody.....	9
2.3.2 Implementace metody	10
2.3.3 Přínosy a cíle zavedení metody.....	10
2.3.4 Předpoklady/úskalí pro zavedení metody	11
2.4 Princip tlaku/tahu.....	11
3 Modelování, systémy, simulace	13
3.1 Modelování.....	13
3.2 Systémy	14
3.3 Simulace	15
3.3.1 Struktura simulačního modelu	15
3.3.2 Diskrétní simulace.....	15

3.3.3	Výhody a nevýhody simulace	16
3.3.4	Cíle modelování a simulace	17
3.4	Proces tvorby simulačního modelu.....	17
3.4.1	Formulace problému	18
3.4.2	Vytvoření konceptuálního modelu.....	19
3.4.3	Sběr dat.....	19
3.4.4	Tvorba simulačního modelu.....	19
3.4.5	Verifikace a validace	19
3.4.6	Simulace a analýzy	20
3.4.7	Sumarizace výsledků.....	20
3.4.8	Dokumentace modelu.....	20
4	Stavebnice Fischertechnik a její omezení	21
4.1	Koncept STEM	21
4.2	Stavební omezení.....	22
4.2.1	Řízení modelu	22
4.2.2	Stavební bloky.....	22
4.2.3	Výkonové a elektronické komponenty.....	23
5	Tecnomatix Plant Simulation	24
5.1	Základní vlastnosti.....	24
5.2	Vybrané objekty pro tvorbu modelu.....	25
6	Návrhy modelu představující dílnu	27
6.1	Varianta 1	27
6.2	Varianta 2	28
6.3	Varianta 3	29
6.4	Varianta 4	31
6.5	Varianta 5	32
6.6	Hodnocení variant modelu.....	33
7	Popis vybraného návrhu dílny a jeho využitelnost.....	37
7.1	Variabilita a využitelnost modelu.....	39
7.1.1	Varianty výrobků.....	39
7.1.2	Nastavení robotů	40
7.1.3	Zmetkovitost.....	40
7.1.4	Model bez AGV	41
7.1.5	Nastavení základních parametrů pracovišť	41
7.1.6	Využití duální linky.....	43

7.1.7	Mezisklad	44
7.1.8	Montáž.....	44
7.2	Strategie řízení výroby.....	45
7.2.1	Varianta A – Tlak.....	46
7.2.2	Varianta B – Tlak & KANBAN.....	46
7.2.3	Varianta C – Využití tahu bez meziskladu.....	48
7.2.4	Varianta D – Tlak & KANBAN, poruchovost a využití jednoho dopravníku...	48
7.2.5	Varianta E – SMED, využití meziskladu, generování tlak	49
7.2.6	Varianta F – Just in time, supermarket.....	49
8	Tvorba simulačního modelu v Plant Simulation.....	51
8.1	Simulační model – Varianta A	51
8.1.1	Nastavení časů.....	51
8.1.2	Nastavení robotů	51
8.1.3	Zmetkovitost.....	53
8.1.4	Generování výrobků.....	53
8.1.5	Vyhodnocení chování modelu.....	54
8.1.6	Změny parametrů a jejich dopady na simulační běh.....	56
8.2	Simulační model – Varianta B.....	59
8.2.1	Generování výrobků.....	59
8.2.2	Vyhodnocení chování modelu.....	60
8.2.3	Změny parametrů a jejich dopady na simulační běh.....	61
8.3	Simulační model – Varianta C.....	65
8.3.1	Generování výrobků.....	65
8.3.2	Vyhodnocení chování modelu.....	65
8.3.3	Změny parametrů a jejich dopady na simulační běh.....	67
8.4	Porovnání variant jednotlivých vybraných řešení	69
	Závěr.....	71
	Seznam použitých zdrojů	72
	A – Výkonové a elektronické komponenty	76
	B – Výchozí nastavení.....	81
	C – Reporty	82

Přehled použitých zkratk a symbolů

AGV	Automated guided vehicle
CNC	Computer Numerical Control
DBR	Drum-Buffer-Rope
DES	Discrete Event Simulation
eMMC	Embedded MultiMedia Card
HTML	Hyper Text Markup Language
JIT	Just in time
KPV	Katedra průmyslového inženýrství a managementu
LDR	Light-dependent resistor
LED	Light-Emitting Diode
MB	Megabajt
MOhm	Megaohm
MOST	Maynard Operation Sequence Technique
MRP	Material Requirements Planning
MRP II	Manufacturing Resource Planning
MTM	Methods Time Measurement
MU	Mobile Units
OEE	Overall Equipment Efficiency
PI	Průmyslové inženýrství
RAM	Random-access memory
SMED	Single Minute Exchange of Die
STEM	Science, Technology Engineering, Mathematics
TOC	Theory of Constraints
TPM	Trusted Platform Module
USB	Universal Serial Bus
V	Volt
VSM	Value Stream Mapping
WIFI	Wireless Fidelity
2D	Dvojdímenzionální
5S	Sort, Set in Order, Shine, Standardize, Sustain

Seznam obrázků

Obrázek 1: Pozice útvaru v rámci organizační struktury [2]	3
Obrázek 2: Úzké místo [10]	6
Obrázek 3: Aplikační vrstvy JIT [14]	8
Obrázek 4: Analýza pracoviště [1].....	9
Obrázek 5: Účinnost metody SMED [1].....	10
Obrázek 6: Tlakový systém vlastní zpracování.....	11
Obrázek 7: Tahový systém vlastní zpracování.....	12
Obrázek 8: Způsoby jak studovat systémy [23] (vlastní překlad).....	14
Obrázek 9: Kompletní postup tvorby simulačního projektu [31]	18
Obrázek 10: Fischertechnik Training Factory 4.0 [37]	21
Obrázek 11: TXT 4.0 Controller [37]	22
Obrázek 12: Možnost montáže z šesti stran [37]	23
Obrázek 13: Vytištěné 3D díly [Malaga]	23
Obrázek 14: První návrh modelu dílny	27
Obrázek 15: Druhý návrh modelu dílny.....	29
Obrázek 16: Třetí návrh modelu dílny	30
Obrázek 17: Čtvrtý návrh modelu dílny.....	31
Obrázek 18: Pátý návrh modelu dílny – detail.....	33
Obrázek 19: Hlavní část modelu	37
Obrázek 20: Návrh druhé části modelu dílny.....	38
Obrázek 21: Návrh třetí části modelu dílny	39
Obrázek 22: Varianty výrobků od dodavatele.....	39
Obrázek 23: Nastavení robotů.....	40
Obrázek 24: Model bez AGV.....	41
Obrázek 25: Nastavení parametrů pracovišť	42
Obrázek 26: Nastavení parametru – Failures	43
Obrázek 27: Duální linka	44
Obrázek 28: Montáž.....	45
Obrázek 29: Technologický postup – varianta A.....	46
Obrázek 30: Technologický postup – varianta B	47
Obrázek 31: Technologický postup – varianta D.....	48
Obrázek 32: Varianta F – Materiálový a informační tok	50
Obrázek 33: Nastavení robotů.....	52
Obrázek 34: Metoda – move_part.....	52

Obrázek 35: Metoda – zmetkovitost	53
Obrázek 36: Úzké místo – varianta A	54
Obrázek 37: Předčasné ukončení simulačního běhu – varianta A	54
Obrázek 38: Statistika jednotlivých výrobků v systému A	55
Obrázek 39: Statistiky vytíženosti důležitých stanovišť A	55
Obrázek 40: Obsazenost dopravníků před montáží A.....	55
Obrázek 41: Statistika jednotlivých výrobků v systému A po 1. změně.....	56
Obrázek 42: Statistiky vytíženosti důležitých stanovišť A po 1. změně.....	56
Obrázek 43: Obsazenost dopravníků před montáží A po 1. změně	57
Obrázek 44: Statistika jednotlivých výrobků v systému A po 2. změně.....	57
Obrázek 45: Statistiky vytíženosti důležitých stanovišť A po 2. změně.....	57
Obrázek 46: Obsazenost dopravníků před montáží A po 2. změně	58
Obrázek 47: Statistika jednotlivých výrobků v systému A po 3. změně.....	58
Obrázek 48: Statistiky vytíženosti důležitých stanovišť A po 3. změně.....	58
Obrázek 49: Obsazenost dopravníků před montáží A po 3. změně	59
Obrázek 50: Metoda – KANBAN Linka L	59
Obrázek 51: Porovnání dvou strategií řízení výroby	60
Obrázek 52: Statistika jednotlivých výrobků v systému B	61
Obrázek 53: Statistiky vytíženosti důležitých stanovišť B	61
Obrázek 54: Obsazenost dopravníků před montáží B.....	61
Obrázek 55: Výsledný efekt zvýšení počtu KANBAN karet.....	62
Obrázek 56: Statistika jednotlivých výrobků v systému B po 1. změně.....	62
Obrázek 57: Statistiky vytíženosti důležitých stanovišť B po 1. změně	62
Obrázek 58: Obsazenost dopravníků před montáží B po 1. změně	63
Obrázek 59: Zvýšení reakčního času na výrobu vedlejšího výrobku.....	63
Obrázek 60: Statistika jednotlivých výrobků v systému B po 2. změně.....	64
Obrázek 61: Statistiky vytíženosti důležitých stanovišť B po 2. změně	64
Obrázek 62: Obsazenost dopravníků před montáží B po 2. změně	64
Obrázek 63:Metoda-KANBAN hlavní část	65
Obrázek 64: Vznik bufferu před montáží.....	66
Obrázek 65: Zánik úzkého místa.....	66
Obrázek 66: Statistika jednotlivých výrobků v systému C	66
Obrázek 67: Statistiky vytíženosti důležitých stanovišť C	67
Obrázek 68: Obsazenost dopravníků před montáží C.....	67
Obrázek 69: Statistika jednotlivých výrobků v systému C po 1. změně.....	67

Obrázek 70: Statistiky vytíženosti důležitých stanovišť C po 1. změně	68
Obrázek 71: Obsazenost dopravníků před montáží C po 1. změně	68
Obrázek 72: Statistika jednotlivých výrobků v systému C po 2. změně.....	68
Obrázek 73: Statistiky vytíženosti důležitých stanovišť C po 2. změně	69
Obrázek 74: Obsazenost dopravníků před montáží C po 2. změně	69
Obrázek 75: Krokový motor vlevo a Minimotor vpravo [37].....	76
Obrázek 76: Kompresor [37].....	76
Obrázek 77: 3/2 Solenoidový ventil [37]	77
Obrázek 78: Pneumatický válec [37]	77
Obrázek 79: Vakuové sací zařízení [37]	77
Obrázek 80: LED [37].....	78
Obrázek 81: Fotorezistor [37]	78
Obrázek 82: Senzor barvy [37]	79
Obrázek 83: Spínač [37].....	79
Obrázek 84: USB kamera [37]	79
Obrázek 85: NTC rezistor [37].....	80
Obrázek 86: Ultrazvukový senzor vzdálenosti [37]	80
Obrázek 87: IR-Track senzor [37]	80
Obrázek 88 – Report ze simulačního běhu varianty A.....	82
Obrázek 89 – Report ze simulačního běhu varianty A po 1. změně	83
Obrázek 90 – Report ze simulačního běhu varianty A po 2. změně	84
Obrázek 91 – Report ze simulačního běhu varianty A po 3. změně	85
Obrázek 92 – Report ze simulačního běhu varianty B.....	86
Obrázek 93 – Report ze simulačního běhu varianty B po 1. změně	87
Obrázek 94 – Report ze simulačního běhu varianty B po 2. změně	88
Obrázek 95 – Report ze simulačního běhu varianty C.....	89
Obrázek 96 – Report ze simulačního běhu varianty C po 1. změně	90
Obrázek 97 – Report ze simulačního běhu varianty C po 2. změně	91

Seznam tabulek

Tabulka 1: Saatyho metoda – váhy kritérií	34
Tabulka 2: Saatyho metoda – váhy realizovatelnost	34
Tabulka 3: Saatyho metoda – váhy variabilita	35
Tabulka 4: Saatyho metoda – váhy aplikace PI	35
Tabulka 5: Saatyho metoda – výsledné hodnocení	36
Tabulka 6: Saatyho metoda – výsledky.....	36
Tabulka 7: Zmetkovitost	53
Tabulka 8: Celkové porovnání hlavních parametrů	70
Tabulka 9 – Nastavení výchozích časů	81

Úvod

Optimalizace výroby je dlouhodobým cílem každého podniku, kde je prioritou zlepšování efektivity a produktivity výroby a z ní vyplývající maximalizace zisku. Při optimalizaci výroby je nutné odhalit kritické body, které ji negativně ovlivňují (plýtvání, úzká místa, zmetky...). Simulační softwary pomáhají pochopit, analyzovat a odhalovat problémy, jež jsou v systému nežádoucí. Výhodou simulací je digitální prostředí, díky kterému jsme schopni se vyhnout fyzickým experimentům.

Cílem této práce je vytvoření diskrétního simulačního modelu, navržené dílny v simulačním programu Tecnomatics Plant Simulation, který reflektuje omezení stavebnice Fischertechnik. Následně implementování vybraných metod průmyslového inženýrství do simulačního modelu a porovnání jednotlivých variant řešení.

Teoretická část se věnuje průmyslovému inženýrství a jeho pozici v podniku. Dále jsou zmíněny metody PI a detailně popsány čtyři z nich, které jsou následně ověřovány v praktické části. Třetí kapitola popisuje teorii modelování, simulace a vysvětlení pojmu diskrétní simulace, včetně procesu tvorby simulačního modelu, kde jsou popsány jednotlivé fáze. Předposlední kapitola je věnována stavebnici Fischertechnik, zejména nabízeným součástem, které představují v této diplomové práci hardwarové omezení pro tvorbu modelu. Poslední část se věnuje představení simulačního software Tecnomatix Plant Simulation, ve kterém je model vytvořen.

Praktická část se zaměřuje na návrh více variant modelu. Je okomentován vývoj jednotlivých variant a zavedené změny. Následně jsou tyto varianty hodnoceny pomocí Saatyho metody. Dle výsledku hodnocení byla zvolena optimální varianta z nabízených možností, s kterou je dále v diplomové práci pracováno.

V další kapitole je tato varianta modelu detailně popsána. Nejprve bylo okomentováno dispoziční rozdělení modelu. Následně byla představena variabilita a využitelnost modelu. Dále byly definovány konkrétní varianty strategie řízení výroby.

V poslední kapitole byly vybrané varianty strategie řízení výroby ověřeny v simulačních bězích softwaru Tecnomatix Plant Simulation. Nejdříve byly definovány základní parametry (časy, zmetkovitost, materiálový tok, ...). Dále bylo okomentováno charakteristické chování modelu a jeho specifika při řízení danou variantou. U každé varianty došlo ke změně hodnot zvolených parametrů a následně došlo k vyhodnocení vlivu změny na sledované výstupní statistiky.

1 Průmyslové inženýrství

Průmyslové inženýrství je jeden z nejmladších inženýrských oborů a Mašín ho charakterizuje jako [1]: „*interdisciplinární obor, který se zabývá projektováním, zaváděním a zlepšováním integrovaných systémů lidí, strojů, materiálů a energií, s cílem dosáhnout co nejvyšší produktivity. Pro tento účel využívá speciální znalosti z matematiky, fyziky, sociálních věd a managementu, aby je společně s inženýrskými metodami dále využil pro specifikaci a zhodnocení výsledků dosažených těmito systémy*“. Zjednodušeně lze říct, že se jedná o obor, který se zabývá odstraňováním omezení procesů, jako je např. plýtvání, nepravidelnost, iracionalita a přetěžování pracovišť.

Průmyslové inženýrství v posledních letech nabylo na významu i v českém prostředí, kde už dávno není neznámým pojmem, ba naopak je jen málo firem, které by toto oddělení neměly ve své organizační struktuře. Podniky si jsou vědomy, že pokud by metody průmyslového inženýrství neaplikovaly, nebudou schopny efektivně využívat možnosti, které nabízí. [2]

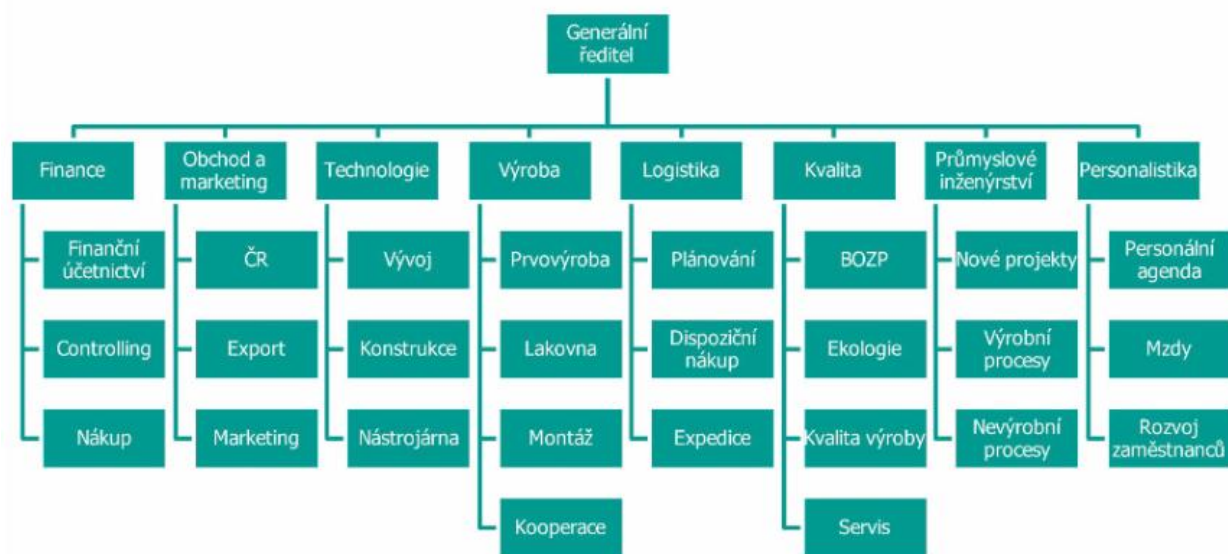
1.1 Průmyslový inženýr

Průmyslový inženýr klade důraz na obchodní realitu, překonává mezeru mezi manažery a liniovými pracovníky, má nadhled nad danou situací a bere v potaz celkové řešení. [1] V rámci takového pohledu hledá efektivní vztah spojení lidí a zařízení. Hlavní náplní práce je hledání způsobů, jak eliminovat plýtvání, přičemž dochází k ušetření zdrojů, času a úsilí. Zároveň dochází ke zvyšování produktivity, která nemusí být spojena s dalšími investicemi. [3]

1.2 Pozice útvaru v rámci organizační struktury

V rámci organizační struktury podniku nemá průmyslové inženýrství své pevně dané místo, záleží na každém podniku a jeho strategii, kam tento útvar začlení. [2] Problémem, který nastává zejména u velkých organizací, je rozčlenění jednotlivých útvarů do jedné velké pyramidy. Zde probíhá předávání informací kaskádovitým způsobem. Operativní pracovníci informace zaslané od vrcholového managementu nemusí vůbec obdržet, nebo je vnímají jen částečně. [4]

V dnešní době je útvar průmyslového inženýrství nejběžněji začleňován pod útvar výroby nebo technologie. Toto začlenění není vysloveně špatným rozhodnutím, ale značně omezuje kompetence průmyslových inženýrů, kteří jsou dále zaměřeni pouze na výrobní procesy a nemají přístup k administrativním procesům. Má-li být plně využit potenciál, který průmyslové inženýrství nabízí, měl by být útvar autonomní a v organizační struktuře začleněn na úrovni vrcholového managementu společnosti. Na obrázku níže je příklad organizační struktury podniku. [2]



Obrázek 1: Pozice útvaru v rámci organizační struktury [2]

1.3 Náplň práce útvaru

Práci útvaru průmyslového inženýrství lze rozdělit z několika hledisek, dle náplně práce oblasti působnosti lze zvolit následující rozdělení [2]:

- **Vývoj a předvýroba** – zde je postavení průmyslového inženýra v pozici konzultanta k budoucímu řešení a snaha vyhnout se pozdějším problémům a plýtváním již od vývoje produktu.
- **Výrobní proces** – jedná se o nejčastější činnost průmyslového inženýra, lze sem zařadit všechny činnosti související s optimalizací a standardizací výrobních procesů.
- **Nevýrobní proces** – oblast nevýrobních procesů je v současnosti velmi populární a týká se všech nevýrobních procesů, zejména v administrativě a logistice. Průmyslový inženýr zde vystupuje v roli moderátora.
- **Trénink a vzdělávání zaměstnanců** – Velmi podceňovanou, ale zároveň důležitou oblastí je vzdělání a rozvoj zaměstnanců. Všechny metody štihlé výroby jsou ovlivněny samotnými pracovníky. Je nutné, aby byli informováni a vzděláváni v oblasti průmyslového inženýrství.

1.4 Klasické průmyslové inženýrství

Klasické průmyslové inženýrství od svého vzniku prošlo evolucí až do dnešní doby, kdy si lze všimnout dvou základních fází, resp. disciplín.

První z nich je studium práce. Cílem studia práce je docílit optimálního využití lidských a materiálových zdrojů, které jsou v podniku dostupné. [1]

Studium metod získává informace a následně je využívá jako prostředek pro efektivnější využití materiálu, zařízení, lidského potenciálu apod. Měření práce hodnotí efektivnost lidské práce a umožňuje zlepšení v plánování a kontrole, obsazení pracovišť lidmi, odměňování pracovníků apod. Tyto dva principy se navzájem prolínají. Výsledkem činností jsou formální záznamy, které jsou následně analyzovány s cílem objevit plýtvání všeho druhu. [5]

Druhou disciplínou je operační výzkum. Jedná se o kvantitativní přístup, jehož rozvoj byl velmi intenzivní během druhé světové války. Na začátku rozvoje kvantitativních přístupů v průmyslovém inženýrství se kladl důraz zejména na modelování úloh a techniky

matematického řešení. Určitým problémem operačního výzkumu v průmyslovém inženýrství je náročnost aplikace těchto metod, a proto je nutné mít poměrně kvalifikované odborníky. Zde může být určité omezení pro praktický život či management. [1]

1.5 Moderní průmyslové inženýrství

Oproti klasickým metodám a jasně definovaných technikách klasického PI se jedná spíše o komplexnější programy, které nejsou jasně definovány. Tento hlavní rys těchto programů vyplývá ze zapojení lidského faktoru do procesu a ten lze matematicky velmi těžko popsat. Dalším výrazným rysem jsou nefyzické investice (organizační struktura, vzdělání pracovníků), které by měly dostat prioritu na úkor fyzických investic (nové stroje, technologie). [6]

Tímto dochází k výraznému odklonu od taylorovských principů, kde je nutno oddělit vykonávání práce od plánování. Moderní PI a jeho obsah vychází z japonské školy a jejím „zakladatelem“ je Shiego Shinga.[1]

2 Metody průmyslového inženýrství

V dnešní době již existuje mnoho metod průmyslového inženýrství, které se od sebe liší v rámci zaměření na konkrétní problémy podniku. Často se však tyto metody navzájem prolínají a cílem všech těchto metod je vytvoření štíhlého podniku. Dle Gregora a Košturiaka [7] lze metody a techniky PI rozdělit do pěti základních oblastí:

1. Racionalizace a empirické metody vyvinuté v průmyslových podnicích – patří sem studium metod pro efektivnější využívání materiálu, prostoru, strojů i pracovníků, měření práce (REFA, MTM, MOST), 5S, jidoka, SMED, TPM, Poka-Yoke, VSM, apod.
2. Informatika a softwarové inženýrství – informační technologie pro bezdokumentovou výměnu informací, simulace apod.
3. Motivace, nové organizační formy, týmy, vedení lidí (budování týmů) – moderování, Kaizen (soutěže ve zlepšování), důraz na týmovou práci.
4. Systémové inženýrství, projektování, operační výzkum – TOC, projektový management, optimalizace práce a layoutu.
5. Technologie, výrobní a automatizační technika – robotika, stroje, centralizace skladů, dopravní systém.

V rámci této diplomové práce jsou dále vybrány čtyři metody průmyslového inženýrství, které se věnují oblasti Racionalizace (SMED, JIT), Informatice a softwarovému inženýrství (práce je tvořena v simulačním prostředí), Systémovému inženýrství (TOC, tlakový/tahový princip), Výrobní technologiím a automatizační technice (stroje, interní logistika, sklady ...). Všechny tyto metody jsou podrobně definovány a budou aplikovány na vytvořený simulační model za účelem pozorování a analýzy reakce modelu na zavedené metody.

2.1 Management úzkých míst

Každý systém má alespoň jedno omezení, které mu stojí v cestě k vyšší výkonnosti. Takovéto omezení jsou samozřejmě přítomny i v podniku. Zde lze omezení nalézt na různých místech, příkladem mohou být výrobní zdroje, marketing, čas, fyzická či manažerská omezení. Pokud lze tedy konstatovat, že v každém podniku existuje omezení, je na místě si položit otázku, jak toto omezení odhalit? Zde by byla odpověď pravděpodobně odlišná na základě toho, v jakém odvětví tázaný pracuje. Dále bude úzké místo popisováno z pohledu systémového omezení výroby. [8]

Management úzkých míst je tvořen pěti kroky [9]:

1. **Identifikace omezení** – analýza systému s cílem zjistit, kde je systém omezen
2. **Využití omezení** – snaha o maximální využití úzkého místa
3. **Podřízení** – podřízení ostatních prvků systému úzkému místu
4. **Odstranění** – hledání řešení pro eliminaci úzkého místa (investice, modifikace systému, ...)
5. **Další akce** – po odstranění omezení začínáme znovu u bodu 1, jedná se o neustálé zlepšování procesů.

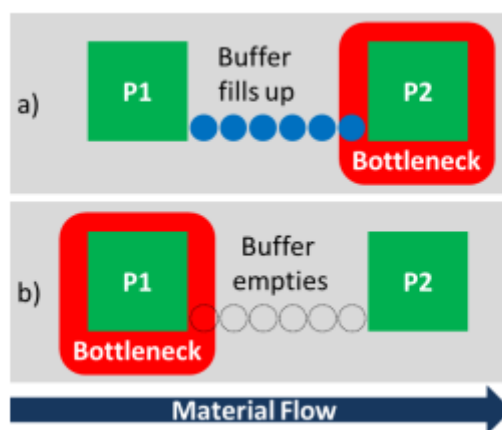
Pokud hovoříme o procesu zlepšování, je nutné mít stanovené ukazatele, dle kterých hodnotíme účinnost postupu. Tyto ukazatele by měly být jednoduché, aby bylo možné rychle posoudit návratnost zlepšení. [9]

2.1.1 Identifikace úzkého místa

Všeobecně lze říct, že omezení vzniká na třech místech: trh (nedostatečný prodej), dodavatelé (nedostatek zdrojů) a interní zdroje (nedostatečná kapacita či kvalifikace) nebo interní omezení (směrnice, předpisy). [8]

Pro identifikaci úzkého místa lze využít následující techniky:

- První možností je úzké místo vypořizovat ve výrobě dle zkušeností a intuice průmyslového inženýra. Příkladem může být hromadění rozpracovaného výrobku před či za pracovištěm viz obrázek 2. Pomůckou může být konstrukce Paretova diagramu opožděných úkolů pro jednotlivé zdroje. [9]



Obrázek 2: Úzké místo [10]

- Druhou možností jsou kapacitní výpočty. Kapacitní přepočítání je statickým vyjádřením vytížení úzkého místa za určitou časovou jednotku, pro dynamický výpočet je vhodné využití počítačové simulace. Z časového hlediska lze výpočet aplikovat na již odvedenou či plánovanou výrobu. [8]
- Třetí možností je využití počítačové simulace. Tato možnost je univerzálním a účinným nástrojem zejména při zjišťování pohyblivých úzkých míst. Ideálním stavem je zabudování simulačních úloh přímo do výrobních procedur. [9]

2.1.2 Využití omezení

Využití úzkého místa představuje získání z omezeného místa maximální efektivitu bez dodatečných investic a přizpůsobování okolí tomuto místu. Hlavní zodpovědnost za toto využití nese v podniku procesní inženýr nebo liniový manažer.

Ošetření úzkého místa lze provést následujícími způsoby [8]:

- **Školení obsluhy** – je nezbytné, aby obsluha úzkého místa pochopila význam tohoto pracoviště. Zároveň je nutné tuto pozici obsazovat kvalifikovanými pracovníky, kteří jsou schopni odhalit možné plýtvání, které lze následně eliminovat.
- **Eliminace plýtvání na omezení** – pro zvýšení průtoku v místě omezení, je nutné odstranit veškeré plýtvání.
- **Měření využití a průtoku úzkého místa** – pro maximální využití úzkého místa je nezbytné, aby byly ukazatele vizualizovány a každému v podniku bylo jasné, že prochází okolo úzkého místa. Zároveň je vhodné vizualizovat taktéž příčiny prostojů. Péče o úzké místo by se mělo stát prioritou číslo jedna.

- **Minimalizace poruch a časů seřízení** – poruchy i časy seřízení nejsou produktivním časem, proto se jedná o velký potenciál pro zlepšení průtoku úzkého místa. Při zmenšení počtu poruch a časů strávených nad opravou bude zároveň zvýšena produktivita a sníženy náklady na pracoviště.

2.1.3 Podřízení ostatních činností omezení

Pokud jsme zvolili způsob využití úzkého místa, je nutné všechno ostatní tomuto procesu podřídit. Tento krok je považován za nejdůležitější a nejtěžší. Nejtěžší zejména proto, že se systému musí podřídit i vrcholoví manažeři, pro které je těžké přijmout informaci, že nejsou kritickými faktory, kteří ovlivňují výkonnost společnosti.[11]

Často využívanou metodou pro ochranu úzkých míst a stanovení správné velikosti zásobníků souvisí se systémem Drum-Buffer-Rope, dále jen DBR. Tato metoda klade důraz na to, aby úzké místo udávalo tempo výrobního procesu „Drum“. Za pomoci „Rope“ je místo propojeno se vstupem materiálu do systému. Zabezpečení pro případ poruchy systému před úzkým místem zajišťuje časový zásobník „Buffer“.[8]

Všeobecně lze dle Košturiaka [8] říct, že: *„Stejně si musejí všichni uvědomit, že naším úsilím není mít maximální využití všech zdrojů, a proto volná kapacita ve zdrojích, které nejsou úzkými, není nežádoucí jev“*.

2.1.4 Odstranit omezení

Pokud se ani po třetím kroku nepovede úzké místo odstranit, je nutné vynaložit nové zdroje pro eliminaci problému. Tím se rozumí zvýšení časového fondu stroje, koupě výkonnějšího stroje, více lidských zdrojů apod. Při nahrazení úzkého místa je vždy vhodné vytvořit více alternativ a ty navzájem hodnotit dle zadaných parametrů, na základě výsledků analýzy zvolit nejlepší řešení. V potaz je nutné vzít, že pokud není změna dostatečně promyšlena, může následně úzké místo vzniknout na jiném místě v systému. [9]

2.1.5 Pokračovat krokem 1

Tento krok je základem neustálého zlepšování, někdy dojde k přesunu úzkého místa i bez našeho zásahu. Je proto vhodné systém monitorovat a reagovat na vzniklé situace. [11]

2.2 Just in time

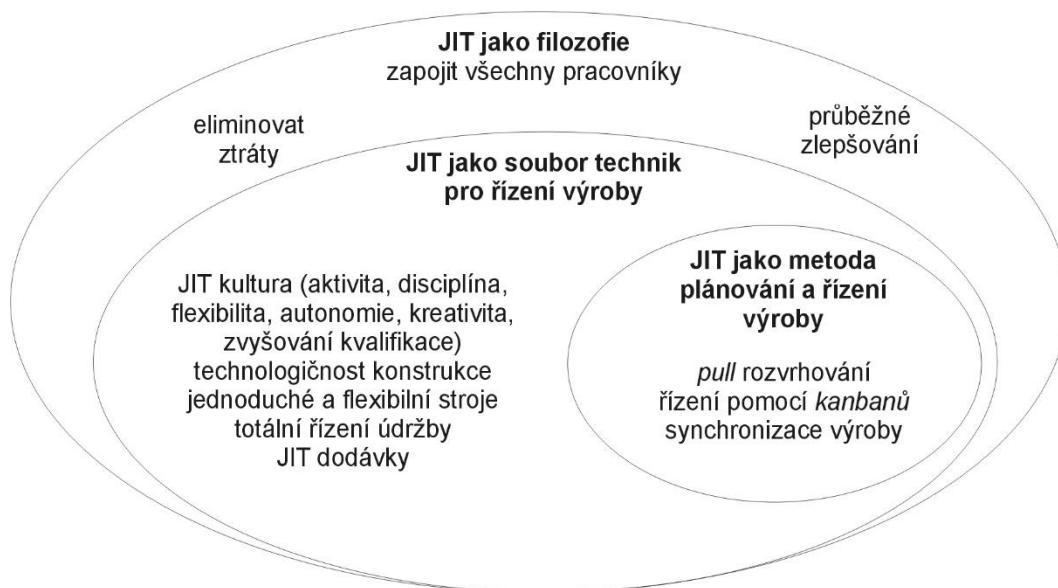
Jedná se o nejznámější logistickou technologii, která vznikla v průběhu osmdesátých let v Japonsku a USA, dále byla rozšířena do Evropy. Filozofií metody Just in time dále jen JIT je uspokojení poptávky po určitém materiálu ve výrobě, který je dodáván v přesných termínech podle potřeb odběratele. Tato technologie je mimořádně náročná na její projekci, řízení a zavádění. [12]

Hlavní myšlenkou metody je dosažení co největšího uspokojení zákazníka dodáním jeho požadavků v požadovaném množství a kvalitě, ale za zvýšené rychlosti reakce na jeho požadavky. Dle autorů knihy Kaizen je cestou k zavedení této metody co nejrychlejší identifikace kvalitativních problémů ve výrobě, minimalizace zásob na všech pracovištích, rentabilita výrobních nákladů a zavedení Pull systému do výroby viz níže. [13]

2.2.1 Implementace metody

Samotná implementace JIT zahrnuje všechny oblasti podniku. [14] Implementace musí vycházet z důkladně promyšlených racionalizačních a koordinačních opatření, od všech

zúčastněných článků. Její zavádění v podmínkách České republiky je velice obtížné, vzhledem k dopravní infrastruktuře. [12] Dle Keřkovského [14] existují tři přístupy zavádění metody, které lze také chápat jako hierarchii na sebe navazujících aplikačních vrstev. Tyto přístupy jsou zobrazeny v následujícím obrázku číslo 3.



Obrázek 3: Aplikační vrstvy JIT [14]

2.2.2 Přínosy a cíle zavedení metody

Mnohé prameny se shodnou, že aplikováním metody JIT ve výrobě vede k výraznému snížení zásob v celém procesu. Příkladem je zlepšení produktivity, zkrácení cyklu výroby, zvýšení kvality výrobků. [15] Dalším přínosem souvisejícím se zavedením metody je vyvážení jednotlivých pracovišť a identifikace omezení, které výrobu omezovalo. Výše uvedené přínosy jsou často důvodem ke snížení nákladů a zvýšení úrovně řízení systému mezi jednotlivými úseky výroby. Zároveň snižují zátěž a nápor, který je vyvíjen na lidské zdroje.

Pan Ohno byl přesvědčen, že prvkem vedoucím k úspěchu je odstranění veškerého plýtvání, které rozdělil následovně do sedmi kategorií:

1. Nadvýroba
2. Plýtvání časem u strojů
3. Plýtvání spojené s dopravou jednotek
4. Plýtvání při zpracování materiálu
5. Plýtvání spojené s nadbytečnými zásobami
6. Plýtvání pohybem
7. Zmetky [15]

2.2.3 Předpoklady/úskalí pro zavedení metody

Předpokladem pro realizaci ideálního výrobního systému JIT, je nepřetržité provádění činností kaizen a odstranění neproduktivní práce z pracoviště. [11] Aplikování metody JIT v podniku, lze označit za strategickou změnu řízení výroby. Jedná se o dlouhodobý proces, který je nutno realizovat postupně. Nejdůležitější je správné a úplné definování předpokladů a podmínek. Mezi základní předpoklady lze zařadit dlouhodobé a stabilní vztahy s dodavateli/odběrateli. Dalším důležitým faktorem je vysoká úroveň komunikace, ať už na pracovištích či ve vztahu k externím dodavatelům/odběratelům. Spolehlivé výrobní zařízení a minimální zmetkovitost za účelem přesného odhadu plánu výroby. [14]

Dále je nutné, aby byli všichni pracovníci seznámeni se strategií JIT, bez ohledu na jejich postavení v podniku, pro úspěšnou aplikaci metody ji musí dodržovat každý lidský zdroj. [11] Mezi negativní aspekty, které mohou nastat při hledání optimálních podmínek pro výrobu, lze zařadit zhoršení podmínek pro zákazníka či omezování subdodavatelů. Pokud má podnik mnoho dodavatelů, může se s přechodem na JIT stát na nich příliš závislý. Zavedení metody je nákladný a dlouhodobý proces, který nemusí vykazovat výsledky hned po zavedení, ale až s odstupem času. [14]

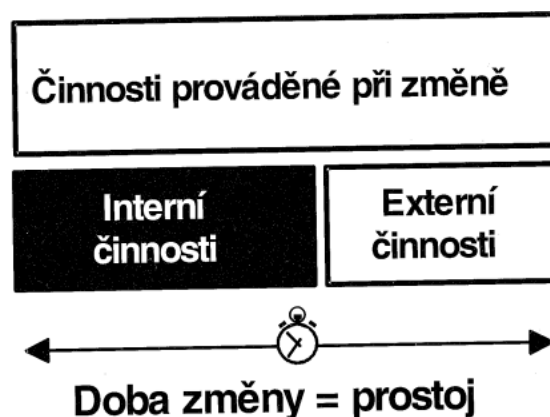
2.3 SMED (Single Minute Exchange of Die)

Jedním z nejčastěji sledovaných ukazatelů ve výrobě je ukazatel OEE – Overall Equipment Efficiency. Při analýze tohoto ukazatele se často ukazuje, že přestavovací časy jsou jedny z hlavních časů plýtvání, které snižuje výkonnost stroje. Jedná se o čas, kdy stroj čeká na přenastavení parametrů na základě změny vstupu do systému nebo změny požadavku na odlišný výstup. Tento neproduktivní čas má zásadní vliv na zmíněnou efektivitu strojů. V dnešní době je snaha výrobce vyrábět v co nejmenších dávkách, dle přání zákazníka. Aby byl podnik schopný reagovat na přání zákazníka, je cílem mít co nejkratší přestavovací časy. [13]

Nejznámější metodou pro rychlé změny je SMED. Tuto metodu vyvíjel, testoval a zdokonaloval Shingeo Shingo téměř dvacet let. Zkracování časů na přenastavení programu CNC stroje, výrobní linky, změny formy na lisu apod. je obvykle vykonáváno týmem při organizovaných workshopech. Celý postup vychází z důkladné analýzy procesu seřízení, která je provedena přímo na pracovišti. Radikálních změn z hodin na minuty se dosahuje postupně změnou organizace přestavby, standardizací postupu seřízení, tréninkem týmu, speciálními přípravky a přestavby realizovaných na strojním zařízení.[8]

2.3.1 Popis využití metody

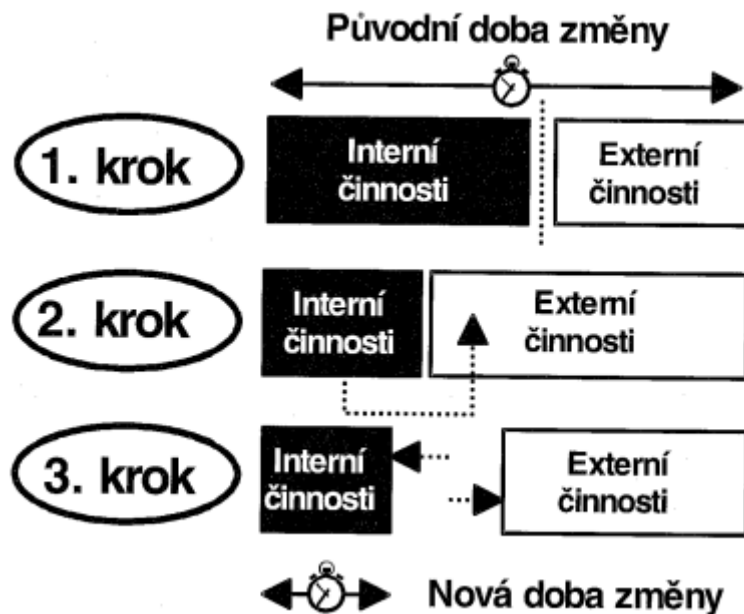
Krokem číslo jedna je detailní analýza pracoviště, kde bude metoda aplikována. Při analýze dojde k oddělení činností, které musí být nezbytně vykonány během vypnutí stroje (takzvaných interní činností), od činností, které lze vykonat při chodu stroje (takzvaných externí činností) viz obrázek 4. Velmi často jsou činnosti, které lze snadno vykonávat při chodu stroje vykonávány při jeho odstavení. Dle Shingeo Shinga po analýze a rozdělení činností může být čas přestavby zkrácen až o 30-50 %. [8]



Obrázek 4: Analýza pracoviště [1]

Druhým krokem je převod interních časů na externí. Ne v každém případě je toto možné, ale mnoho činností lze takto převést a redukovat interní činnosti. Příkladem může být: seřízení rozměrů a polohy, zjednodušování upevnění, pomocný pracovník, příprava pracoviště apod. [8]

Posledním krokem, pokud již nelze činnosti převádět na externí, je zefektivnění těchto činností. Dochází k přezkoumání těchto činností k návrhu na jejich zjednodušení či zlepšení. V této části je důležité se zaměřit především na standardizaci práce a organizaci pracoviště. [16]



Obrázek 5: Účinnost metody SMED [1]

2.3.2 Implementace metody

Časem přestavby se rozumí čas, který začíná vyrobením posledního výrobku. Následně dochází k úklidu pracoviště od starého nářadí a přípravků, příprava nového nářadí, kontrola parametrů procesů, zkušební běhy, až po výrobu prvního dobrého kusu. Každý proces je svým způsobem jedinečný, avšak v obecné rovině je uváděno, že se skládá z následujících kroků:

- Příprava/kontrola materiálu a nástrojů (30 % času),
- montáž/výměna nástrojů (5 % času),
- seřízení polohy a rozměrů nástrojů (15 % času),
- zkoušky a následné ladění (50 % času).

Metodu SMED lze aplikovat ve výrobě, kde se opakovaně vyrábí určité množství výrobku (výrobní linka nebo stroj). [11]

2.3.3 Přínosy a cíle zavedení metody

Hlavním přínosem metody SMED je radikální snížení seřizovacích časů, dle Shinga [1] lze docílit snížení celkového času před zavedením metody na následné 2,5 % celkového času. Další výhody plynoucí ze zásadního zvýšení produktivity a snížení nákladů jsou zřejmé: zvýšení vytížení strojů, redukce zmetkovitosti, snížení doby výroby, nižší zásoby, vyšší bezpečnost na pracovišti apod. Cílem metody je seřízení a změna zařízení pod 9 minut.

Koncepce, která navazuje na SMED a je ještě radikálnější, se nazývá „koncepte nulových změn“. Tato koncepce předpokládá, že pokud chce být podnik konkurenceschopný, změny a přenastavení zařízení musí být provedeny pod 3 minuty. [1]

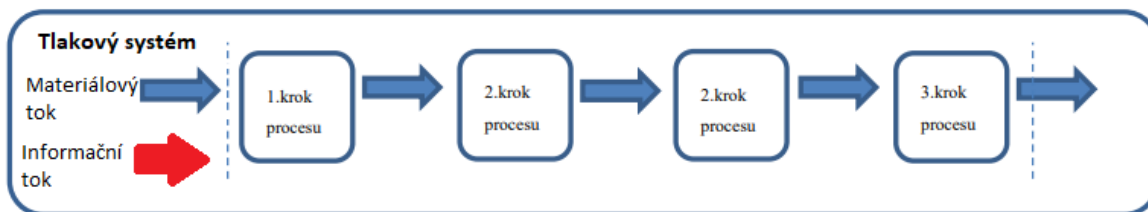
2.3.4 Předpoklady/úskali pro zavedení metody

Hlavním předpokladem metody SMED je správný výběr operace/pracoviště, kde má být metoda aplikována. Pokud je vybráno místo, které je nedostatečně využíváno, nebudou výsledky změny patrné. Za předpokladu, že je zkrácení časů dosaženo, je nutné dané procesy standardizovat a dále je hodnotit.

Určitým rizikem pro podnik jsou nedostatečné finance, na požadované zlepšení (rychloupínače, duplicitní nástrojové hlavy apod.) nebo technické limity strojů. V poslední řadě je problémem, pokud podnik zvolí příliš nízké cíle v redukci času. [8]

2.4 Princip tlaku/tahu

Princip tlaku obvykle staví na systému pro plánování požadavků na materiál (Material Requirements Planning – MRP). Základem pro tento systém je předpověď objemu poptávky. Na základě této předpovědi jsou objednány a připravovány vstupy, které se k zákazníkovi „protlačují“ provozním systémem. Základním nástrojem, který je užíván v tomto systému, je kusovník, který představuje rozpad výrobku na jednotlivé součásti potřebné pro jeho výrobu. Předpovězené množství je tedy na základě kusovníku dále promítnuto do objemu objednávek, přípravy vlastních vstupů a následného výrobního plánu. Nadstavbou MRP je systém MRP II (Manufacturing resource planning – Plánování výrobních zdrojů), který rozšiřuje MRP o další možnosti řízení výroby (dílenké plánování, sledování finančních toků, plánování obchodních činností, kapacitní plánování a další. [17]



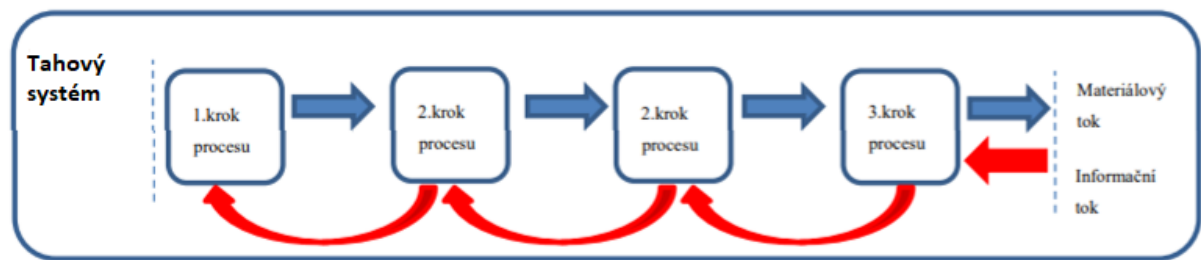
Obrázek 6: Tlakový systém vlastní zpracování

Výhody/nevýhody

Jednou z hlavních výhod principu tlakem je možnost měření výkonu. Systém tlaku umožňuje pro plánování v podniku využít celkovou historii poptávky ke splnění cílů přepravy a zároveň minimalizovat zásoby pracovišť. Výkon není měřen pouze na základě úspěšnosti jednotlivých skladovacích míst, ale také podle toho, jak celá výroba plní cíle výroby. Další výhodou je centrální plánování veškerých zásob a jejich přidělování jednotlivým úsekům. Nedochozí tak k nadbytečné či nedostatečné zásobě, která vzniká na základě nepřesností v rozhodování o doplňování zásob na pracovištích. Výhodou, která by neměla být opomenuta, je snížení určitých nákladů. Na místo objednání jednotlivých požadavků pro odlišné úseky, lze tyto objednávky sjednotit, přičemž dochází k úspoře nákladů na logistiku a bonusem může být množstevní sleva. [18]

Nevýhodou vyplývající z principu tlakem je větší množství rozpracovaných zásob a náklady s nimi spojené (mzdy, správní a skladovací režie). [19] Pro efektivní provozování systému tlaku je nutné mít profesionálně vyškolený tým, který má na starosti centrální plánování a dokáže pracovat s agregovanými daty a technikami prognózování poptávky. Dalším problémem, který může nastat, je možná nerovnováha zásob v dodavatelském řetězci z důvodu odchýlení výroby od plánu. [18]

Oproti tomu **princip tahu** „neprotlačuje“ zakázky výrobním systémem, ale systémem procházejí v souladu s principem „dones“. To znamená, že každé pracoviště v určitém výrobním stupni je odpovědné za dodání požadavků následujících pracovišť. Mezi jednotlivými pracovišti tak vzniká vztah interních zákazníků, jejichž požadavky by měly být splněny za všech okolností. [14] Hlavním rysem tažného systému však není podnět přímo od zákazníka, jak si řada lidí myslí, ale horní hranice zásob. Tento hlavní rys tohoto systému je též jeho hlavní předností. Pokud je systém nastaven správně, udržuje se výrobní systém v rovnováze s ohledem na zásoby. Není tak překročena horní hranice, kdy je na skladě zbytečná nadzásoba a zároveň je stále z čeho vyrábět, jelikož zásoby nekolísají pod kritickou hranici. Do systému není nutno dále nijak zasahovat, stačí respektovat pravidla tažného systému. Tento princip je vhodný pro všechny systémy, ve kterých přicházejí zásoby pouze tehdy, když jsou objednány nebo vyrobeny. Známým příkladem je princip Just in time nebo Kanban. [20]



Obrázek 7: Tahový systém vlastní zpracování

Výhody/nevýhody

Hlavní výhodou principu tahem, je výroba dle přesně zadané objednávky. Tím se výroba vyhne situaci, kdy nakupuje dle analýzy a následné predikce trhu, která může být mylná. Zároveň dochází k eliminaci nadbytečných zásob a zeštíhlení výroby. Určité úskalí nastává u položek s dlouhými dodacími či výrobními lhůtami. Zde pak nastává problém a je nutné alespoň tyto položky vyrábět v předstihu. [21] Princip tahu je vhodný skoro pro každou výrobu, ať už se jedná o výrobu hromadnou, kusovou, přetržitou či nepřetržitou. [22]

Pohled na danou problematiku zmiňuje též profesor Roser, který uvádí, že jediným správným rozdílem mezi principem tlaku a tahu je množství rozpracované výroby, pokud není žádné omezení pro rozpracované množství, jedná se o tlačný systém, v opačném případě o tahový systém. [19]

3 Modelování, systémy, simulace

Tato kapitola pojednává o možnostech využití počítačové techniky k napodobování či simulaci provozu různých druhů procesů nebo zařízení v reálném světě. *Systém* je obvykle název pro simulované zařízení či proces, který je vytvořen za účelem studia. Pro jeho další zkoumání se produkují a shromažďují předpoklady, které popisují, jak systém funguje. Tyto předpoklady mají obvykle podobu matematických či logických vztahů. *Model* je vytvořen na základě těchto předpokladů a je dále použit ve snaze blíže pochopit chování systému.[23] Charakteristické pro *model* je zjednodušení reálného systému s jeho procesy v jiném systému. Od originálu se odlišuje v rámci tolerancí, které jsou přípustné a neovlivňují námi sledované výstupy. *Simulaci* lze označit jako reprodukci reálného systému a jeho dynamických procesů v modelu. V širším smyslu simulace znamená přípravu, realizaci a vyhodnocení konkrétních experimentů. Cílem simulace je dosažení poznatků, které lze následně přenést do reality. [24]

„Všechny modely jsou špatné. Některé modely jsou užitečné.“ (G. Box, W. E. Deming)

Výše uvedený citát je základní myšlenkou modelování. Všechny vytvořené modely reflektují realitu, ale pouze do určité míry, jinak by se nejednalo o model.

Modely mohou být užitečné, především díky zjednodušení reality. V rámci modelu je snaha vybrat pouze relevantní parametry, které daný model ovlivňují a ostatní vypustit. Díky tomuto zjednodušení je nápomocný při uvažování o realitě. Samozřejmostí je, že ne všechny modely jsou užitečné. [25]

Oblasti použití simulací a modelování jsou velice rozmanité. Neexistuje univerzální odpověď na otázky typu: Proč se používají modely? K čemu je simulace? Příklady mohou být následující:

- návrh a analýza výrobních, ekonomických, finančních systémů,
- logistické požadavky systémů,
- navrhování a provozování dopravních systémů (letišť, přístavy, dálnice),
- vyhodnocení servisu pošty, nemocnice, restaurace,
- a mnoho další.

Simulace jsou jednou z nejpoužívanějších technik operačního výzkumu a managementu v dnešní době. [23]

3.1 Modelování

Fáze modelování zahrnuje sestavení a testování simulačního modelu. Obvykle se modelování skládá ze dvou fází. Nejprve je odvozen obrazný model z reality a vytvořen koncepční model. Následně dojde k přenesení koncepčního modelu do softwarového prostředí.

V první fázi modelování je nutné získat obecné znalosti o simulovaném systému. V závislosti na cílech, které mají být testovány, je nutné učinit rozhodnutí o přesnosti simulace. Na základě zvolené přesnosti je dále rozhodováno, které části modelu zjednodušit. [26] V první fázi modelování je nutné provést analýzu a abstrakci modelu. Pomocí systémové analýzy je složitý systém rozdělen na jednotlivé části v souladu s původním cílem. Pomocí abstrakce je množství specifických atributů sníženo tak, aby bylo možné vytvořit zjednodušený obraz původního systému. Klasickými metodami abstrakce jsou redukce (eliminace nepodstatných detailů) a generalizace (zjednodušení podstatných detailů).

V druhé fázi modelování je vytvořen a otestován simulační model. Výsledek modelování je nutné zahrnout do modelové dokumentace, aby bylo možné provést další změny v simulačním

modelu. V praxi se na tento krok často nedbá a následně je nemožné modely bez dokumentace funkčnosti použít. Proto se doporučuje během programování komentovat modely a zdrojový kód. Tím je zajištěno vysvětlení funkcí i po dokončení programování. [24]

3.2 Systémy

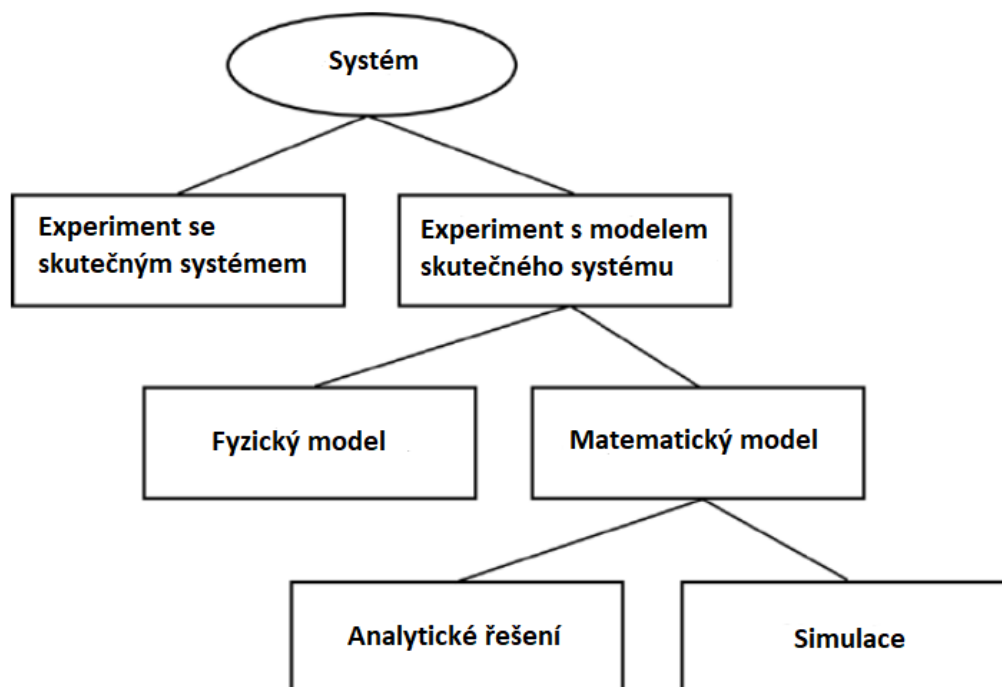
„Systém je definován jako soubor entit, např. lidí nebo strojů, které spolu jednají a integrují za účelem dosažení nějakého logického cíle.“ (Schmidt and Taylor)

V praxi je systém přímo závislý na cílech konkrétní studie. Soubor entit, který v jedné studii tvoří systém, může být pro jinou pouze podmnožinou celkového systému. Stav systému lze definovat jako soubor proměnných potřebných k popisu systému v určitém čase, ve vztahu k cílům studie.

Systémy se dělí na dva typy, diskrétní a spojité. Diskrétní systém je ten systém, ve kterém dochází ke změnám stavových proměnných okamžitě v oddělených bodech v čase. Je jen málo systémů, které lze v reálném světě rozdělit na pouze diskrétní či spojité. U většiny systému ale převládá jeden typ změny, podle které je obvykle systém klasifikován jako diskrétní či spojité.[23]

Stejně tak lze systémy rozdělit na jednoduché a složité. U jednoduchých systémů se jedná jen o menší množství částí, nebo jsou části pravidelně uspořádány či vzájemně nezávislé. Charakteristickým rysem je tedy pravidelnost jak v uspořádání, tak i v chování systému. Mezi složité systémy lze zařadit neorganizované a komplexní systémy. U neorganizovaných se jedná o velké množství neuspořádaných částí, přičemž interakce mezi částmi jsou jednoduché a nepravidelné. Komplexní systémy jsou tvořeny velkým počtem částí a jejich interakce nejsou jednoduché ani úplně náhodné. [25]

V určitém okamžiku je potřeba studovat většinu systémů, abychom se pokusili získat určitý přehled o vztazích mezi různými částmi nebo předpovídat výkon za nově vzniklých podmínek pro systém. Obrázek níže zobrazuje různé způsoby, kterými lze systém studovat. [23]



Obrázek 8: Způsoby jak studovat systémy [23] (vlastní překlad)

3.3 Simulace

Simulace je reprodukcí reálného systému a jeho dynamických procesů v modelu. Cílem je dosáhnout přenositelných poznatků pro reálný systém. [24] Podobně jako statické modely mají i simulace „vstupy“ zadané odpovědnou osobou a „výstupy“, které jsou pozorovány během simulace. Vstupy lze popsat jako atributy, které jsou potřebné k tomu, aby model odpovídal určitému specifickému prostředí. Výstupy reflektují chování modelu v čase.[27] Z širšího pohledu je součástí simulace příprava, realizace a vyhodnocení experimentů, které jsou zkoušeny na simulačním modelu. [24]

3.3.1 Struktura simulačního modelu

Struktura simulačního modelu se skládá ze tří základních prvků, které budou níže definovány [28]:

- **Entity (transakce)** – jedná se o dynamický objekt, který se v určitém časovém horizontu pohybuje systémem. Vstupuje do systému, vyžaduje provedení určitých činností za stanovený čas, spotřebovává nebo obsazuje zdroje a nakonec systém opouští. Jako entitu si můžeme představit materiál, který vstoupil do systému, zařadí se do fronty, obsazuje volný zdroj, po dokončení činností je ze systému vyřazen. Entita při simulaci může měnit svou podobu, př. zákazník u kadeřníka odchází ostříhaný. Zároveň lze jednotlivým entitám přiřazovat atributy (vlastnosti), př. (číslo, text), které stejně tak jako entita mohou v průběhu simulace změnit svůj stav.
- **Aktivity a procesy** – systém je tvořen procesy. Proces je tvořen souhrnem vzájemně provázaných činností, které jsou novou hodnotou ve formě výstupu pro další proces či koncového zákazníka. U složitých systémů je vhodné rozdělit procesy dle hierarchie, kdy nejnižším stupněm jsou činnosti, které již dále nelze dělit. Vždy však záleží na úhlu pohledu, z kterého systému studujeme. Činnosti jsou propojeny spojnicemi, které zobrazují logický sled činností a řídí pohyb entit. Výše popsaný koncept dělby procesů se nazývá hierarchické modelování. Pro výzkumníka je přínosné především rozdělení procesů do jednotlivých úrovní, v rámci kterých je může dále detailně zkoumat. Zároveň je model udržován v přehledné formě jak pro výzkumníka, tak pro uživatele.
- **Zdroje** – součástí systému stejně jako entity jsou i zdroje. Zdroje jsou v systému entitami spotřebovávány v případě neobnovitelných zdrojů (palivo, mazivo apod.) nebo je entity obsazují na určitý čas (stroj, pracovník apod.). Hlavním atributem zdroje je jeho kapacita (počet strojů, pracovníků apod.). Potom, co entita vstupuje do systému, je přiřazena jednotlivému zdroji, pokud je však kapacita tohoto zdroje již vyčerpána a není zde paralelní zdroj, je entita zařazena do fronty, kde čeká na obsloužení.

3.3.2 Diskrétní simulace

Simulace diskrétních událostí se týká modelování systému a jeho vývoje v průběhu času, kdy se stavové proměnné mění okamžitě v různých bodech a v určitém čase. Tyto časové body určují, kdy nastane událost, která je definována jako okamžitá událost, jenž může nastat. Na základě této události dojde ke změně stavu systému. Ačkoliv by mohla simulace diskrétních událostí být koncepčně prováděna ručními výpočty, množství dat, které musí být zpracováno a uloženo pro většinu systémů v reálném světě, určuje, aby byly simulace diskrétních událostí prováděny v počítačovém softwaru.[23]

3.3.3 Výhody a nevýhody simulace

Na základě vývoje software a pokroků v oblasti simulací, počet podniků využívající simulaci neustále roste. Mnoho manažerů si uvědomuje výhody využití simulace pro více než jen jednorázové použití. Stále častěji se simulace stává každodenní činností v podnicích. Dále budou zmíněny výhody simulací dle Bankse [29, 30]:

- **Správné rozhodnutí** – Simulace umožňuje otestovat různé aspekty navrhované změny, aniž by bylo nutné fyzicky vynaložit prostředky na jejich pořízení. To je velmi užitečné, protože, pokud byla učiněna velká rozhodnutí, položeny základy nebo instalovány systémy, dodatečné změny či opravy mohou být velmi nákladné.
- **Časová komprese a expanze** – Za pomoci časové komprese a expanze lze zrychlovat či zpomalovat jednotlivé činnosti v simulaci, které lze následně důkladně prozkoumat.
- **Pochopení „Proč?“** – Pro manažera je důležité, aby pochopil, proč nastávají určité jevy v reálném systému. Simulace pomáhá v tomto problému s rekonstrukcí scény a nabízí detailní zkoumání systému pro identifikaci problému.
- **Prozkoumání možností** – Jedná se o jednu z největších výhod použití simulačního software. Jakmile je vytvořen správný simulační model, lze zkoumat nové zásady, provozní postupy nebo metody, a to bez dodatečných nákladů či experimentování se skutečným systémem.
- **Diagnostika problému** – Moderní organizace a jejich procesy jsou velmi složité. Je tak nemožné zachytit všechny interakce, které probíhají v jeden okamžik. Simulace pomůže lépe pochopit interakce mezi proměnnými. Diagnostika a lepší porozumění systému je nezbytnou součástí pro následné zlepšení interakcí a zvýšení výkonu systému.
- **Identifikace omezení** – Úzká místa ve výrobě jsou velkým problémem většiny výrobců. Je snadné zapomenout, že úzká místa jsou spíše důsledkem než příčinou. Použitím simulace k analýze systému lze však včas zjistit příčinu zpoždění procesu, informace, materiálu a jiných procesů.

Jistě by se dalo jmenovat ještě mnohem více výhod, které simulace poskytuje svým uživatelům. Je však nezbytné také zmínit určitá úskalí a nevýhody užití simulací [29, 30]:

- **Stavba modelů je náročná** – Vytvoření modelů je náročnou disciplínou, která se učí časem a zkušenostmi, který výzkumník získává. Zároveň je velice nepravděpodobné, že pokud dva výzkumníci budou modelovat stejný problém, bude vymodelovaný systém identický.
- **Výsledky simulací mohou být obtížně interpretovatelné** – Jelikož většina výstupů simulace jsou v podstatě náhodné proměnné (náhodné vstupy), může být obtížné zjistit, zda je pozorování výsledkem vzájemných vztahů systémů nebo náhodnosti simulace.
- **Modelování a analýza mohou být časově náročné a drahé** – Cena a čas záleží na náročnosti modelovaného reálného systému, zároveň výzkumník musí mít dostatečné kompetence. Pokud je však snaha uspořit na zdrojích, může být modelování a analýza nesprávná pro daný úkol.
- **Simulace může být aplikována nevhodně** – Aplikování simulace v případech, kdy je možné nebo dokonce výhodnější využít alternativní analytické myšlení. Týká se především problému teorie front.

3.3.4 Cíle modelování a simulace

Cíle modelování a simulace jsou dle Pelánka [25] následující:

- **Návrh a řízení systémů**

Pokud je systém dobře známý nebo jej navrhujeme a je pod kontrolou, lze využít modelování a simulace za účelem hledání odlišných cest s cílem porovnat jednotlivé varianty. V rámci modelování se snažíme maximálně napodobit chování reálného systému. V simulaci jsou dále tyto návrhy aplikovány a následně tyto zásahy zhodnotíme. Hlavní využití tohoto stylu modelování je především v technických oborech, např. Optimalizace výrobní haly.

- **Předpovídání chování**

Předpovídání chování systému spočívá v tom, že systému částečně rozumíme, nemůžeme jej ovládat, ale naším cílem je zjistit jeho chování v budoucnosti. Klasickými příklady jsou předpověď počasí, vývoj trhu s akciemi, spotřeba pitné vody na festivalu. V těchto případech je model vytvořen k tomu, aby co nejdříve zachytil chování systému. Tyto modely využívají historická či obdobná data k jejich seřízení. Za předpokladu, že je model hotový, je využíván pro simulaci k předpovídání budoucího chování.

- **Porozumění**

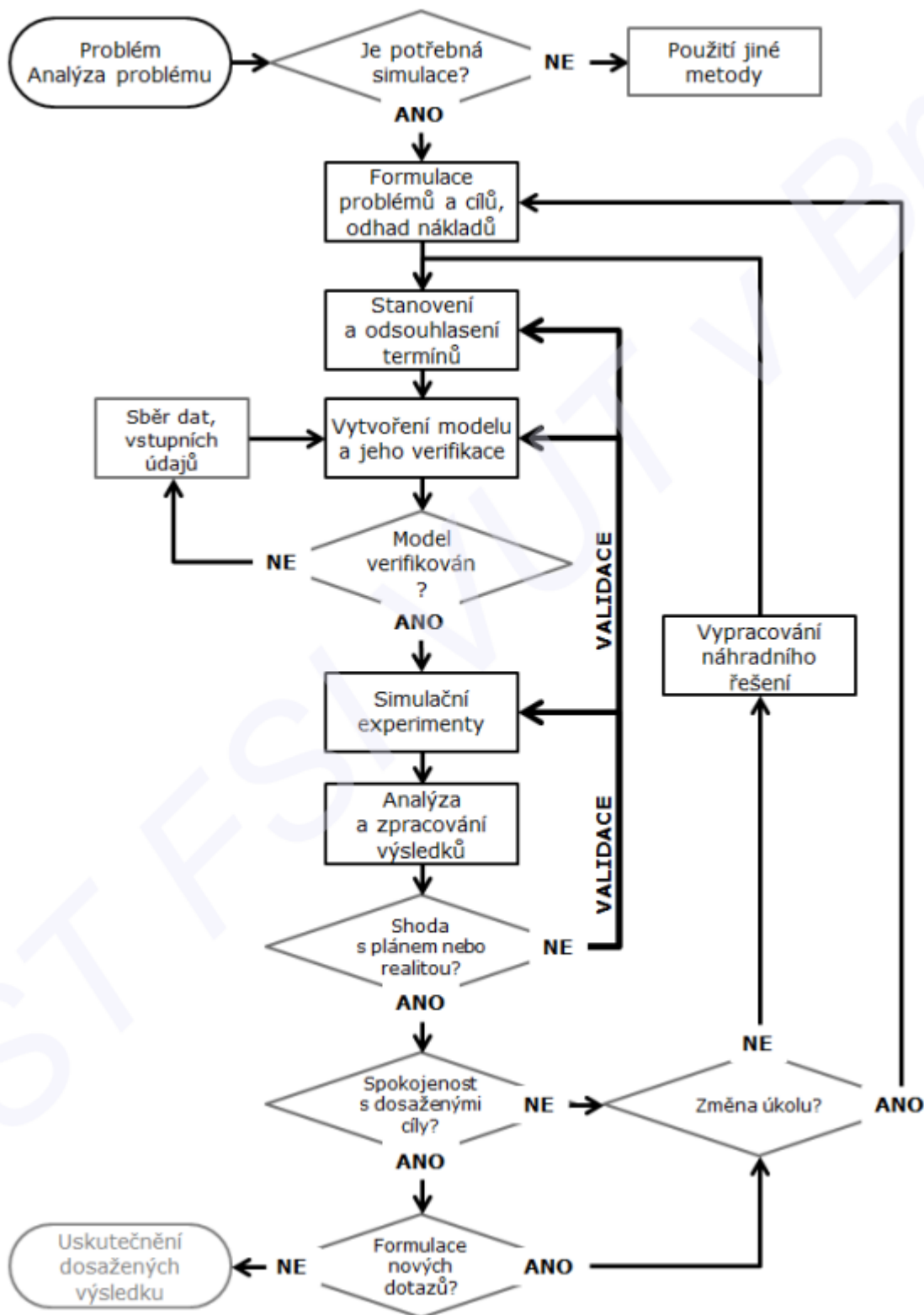
Za předpokladu, že je v našem zájmu porozumět systému, který je pro nás zajímavý, ale nejsme schopni mu plně porozumět, je vhodné využít modelování pro bližší pochopení zákonitostí systému. Model vytváříme na základě hypotéz, které chceme ověřovat. Následně v simulacích zkoumáme, do jaké míry jsou systémy podobné realitě. Cílem modelování je přijít na základní zákonitosti systému, nikoliv jeho reprodukce. V případě komplexních a složitých systému je tento způsob modelů nejběžnější.

- **Učení, trénink, zábava**

Výše uvedené způsoby modelů a simulací jsou často tvořeny a užívány touž osobou. Modelování lze taktéž pojmout tak, že model bude používán více osobami za účelem prohloubení jejich znalostí o určitém systému. Velmi přínosné je využití modelů k seznámení s novým tématem, kdy jsou za pomoci modelu předány myšlenky nebo model podněcuje k argumentaci či propagaci. Práce s modelem je již v dnešní době hojně využívána jako trénink reálných situacích, typickým příkladem je simulátor kokpitu letadla. Poslední možností, jak lze model využít, je pro zábavu, příkladem jsou stavebnice nebo počítačové hry.

3.4 Proces tvorby simulačního modelu

Přestože jsou modelovací techniky značně rozmanité, základní proces modelování neboli sled činností, které při modelování provádíme, je ve všech příkladech obdobný. Výčet činností níže je samozřejmě idealizovaný. V praxi je nezbytné vracet se k různým bodům a jen zřídka se povede postupovat dle následujících činností. Přestože se tento postup nemusí chronologicky dodržovat, je nezbytné, abychom v rámci modelování simulace žádný bod neopomenuli. [25]



Obrázek 9: Kompletní postup tvorby simulačního projektu [31]

3.4.1 Formulace problému

Jeden ze základních principů modelování je: *Nemodelovat systém, modelovat konkrétní problém.* V první fázi modelování je tedy nutné stanovit, jaký máme problém a jak se ho pomocí modelu budeme snažit vyřešit. Pokud je to možné, je vhodné problém zachytit numericky a

v co možná největším detailu. Z časového hlediska se musí stanovit časový horizont, ve kterém chceme problém studovat. Kromě časového horizontu musíme uvažovat nad prostředky, které jsou k dispozici (zkušenost, finance). [25] Pokud je simulace tvořena pro zákazníka, je nutné, aby všechny zúčastněné strany porozuměly problému a souhlasily s jeho definováním. Poté, co je jasně formulováno prohlášení o problému, měli bychom se soustředit na stanovení cílů. Cíle jsou velice užitečné, protože specifikují otázky, na které má simulace odpovědět. [32]

3.4.2 Vytvoření konceptuálního modelu

Jedná se o velmi náročný a důležitý krok. Nejdříve je snaha udržet model co nejjednodušší. V rámci abstrakce používáme pouze hrubou strukturu, která je dostatečná pro daný účel. Detaily a ostatní prvky, přidáváme, až když je to nezbytné z důvodu funkčnosti modelu. Následně jsou zvoleny prvky, které budou modelovány jako první. Hlavní pozornost klademe na šíři modelu tzn. co vše bude v modelu zohledněno, a také na hloubku tzn. do jakého detailu budou prvky zohledněny. Určeny jsou hlavní prvky modelu, části a vztahy mezi nimi. V rámci modelu nás dále zajímá, jak které věci spolu souvisejí, nikoliv jak přesně. [25] Jednotné mapování mezi modelem a skutečným systémem je nezbytné pro kvalitní návrh modelu. [32]

3.4.3 Sběr dat

Simulační model je velmi náročný na data, pokud data nejsou k dispozici, nastává problém. Model je možné vytvořit i bez dat, je však nezbytné mít k dispozici vhodné předpoklady o modelovaných procesech. I v případě, kdy data máme, je nutné být na pozoru a před jejich užitím zkontrolovat jejich relevanci a původ. Příkladem může být kontrola normovaného času pro určitou činnost. Přeměřením těchto časů se ujistíme o správnosti dat, případně odhalíme problémy ve stanovování norem v podniku, nebo zachytíme rozdíly v trvání jednotlivých činností. Pokud data chybí, je nutné zajistit zkušeného experta, který má s obdobnými typem problému zkušenost. [28]

3.4.4 Tvorba simulačního modelu

Jakmile je model navržen viz bod 2.4.2, lze se pustit do jeho konstrukce. První možností je napsání speciálního počítačového programu nebo použití simulačních balíčků vytvořených při jiných simulacích. Téměř vždy je jednodušší využít určitý simulační balíček a na něj navázat. [27] Ve výjimečných případech může nastat situace, kdy programátor zjistí, že zvolený simulační program není vhodný pro daný typ simulace. Tvorba počítačového modelu je první zkouškou konceptuálního modelu, jelikož přesná počítačová logika odhalí veškeré nedostatky a skryté předpoklady konceptuálního modelu. Kompletní postup tvorby simulačního projektu je znázorněn na obrázku níže. [28]

3.4.5 Verifikace a validace

Pokud je již vytvořena „fungující“ simulace, dalším krokem je kontrola, zda simulace dělá to, co je očekáváno. Pokud se jedná o komplikovaný systém, je příliš snadné udělat některé chyby a následně zjistit, že výsledek je výstupem těchto chyb, a ne překvapivým důsledkem modelu. Pro toto ověření existuje proces zvaný *verifikace*. V případě simulace je problém s verifikací umocněn skutečností, že velmi často je součástí simulace generátor náhodných čísel. To znamená, že každé spuštění je jiné a v rámci teorie lze pouze předpovídat rozčlenění výsledků. Je proto nezbytné simulaci nastavit pečlivě, vhodným způsobem může být určení sady testovacích případů, které budou obsahovat extrémní situace, kdy můžeme výsledky snáze předpovídat. [27]

Validace je procesem, kdy vývojář modelu a lidé znalí skutečného systému společně kontrolují a vyhodnocují, zda model odpovídá skutečnému systému. Kontrola se týká všech procesů a technik, které byly použity za účelem reprezentace skutečného systému s dostatečnou přesností.[33]

3.4.6 Simulace a analýzy

Pokud je vytvořen model, který je dle našich kritérií a jsme přesvědčeni o jeho správnosti, lze přistoupit k důkladné analýze. Jedná se o jednu z nejzajímavějších částí projektu pro řešitelský tým, protože se po všech předešlých fázích dostává k výsledkům simulace. Cíle analýzy přímo závisí na řešeném problému, často však spadají pod následující otázky:

- Jak jednotlivé prvky ovlivňují model?
- Které prvky ovlivňují model nejvíce?
- Jak reaguje model na změnu podmínek?

Za předpokladu, že je model dodáván zákazníkovi, je vhodné připravit více variant řešení a neprezentovat jen tu nejlepší. [25, 28]

3.4.7 Sumarizace výsledků

Hodnoty, které se v modelovaném systému mění, jsou odvozeny z výsledků simulace. Správná interpretace výsledků rozhoduje o tom, zda je simulační studie úspěšná, či nikoliv. Pokud nastane stav, kdy jsou výsledky v rozporu s našimi předpoklady, je nutné tuto nejasnost analyzovat a zjistit, co je příčinou neočekávaných výsledků. Nemělo by se zapomínat, že složitější systémy mají určitou fázi náběhu. Tato fáze se může v rámci simulace lišit od reálného systému. [24]

3.4.8 Dokumentace modelu

Základní chybou, která se stává při projektu, je podcenění dokumentace projektu. Bez detailního popisu struktury, vývoje modelu a výsledků experimentu je velmi obtížné se k modelu v budoucnu vrátit.[28] Důležité také je poskytnout přehled o načasování projektu. V rámci budoucího řešení obdobných projektů je zajímavé zahrnout do dokumentace varianty, které nebyly úspěšné a z jakého důvodu. [24]

4 Stavebnice Fischertechnik a její omezení

Stavebnice Fischertechnik, která je původem z Německa, se objevuje na trhu již od roku 1965. Hlavním účelem stavebnice je inspirace dětí, studentů, pedagogů a inženýrů v získávání technických znalostí hravou formou „Porozumění technologii hrou“. [34]

Dle názoru inženýra Malagy a docenta Ulrycha [35] lze charakterizovat stavebnici následovně:

„Jedná se o polytechnickou stavebnici umožňující stavbu kostry modelů ze stavebních bloků a mechanických součástí (včetně převodovek, ozubených kol apod.), výkonových součástí (elektromotory, ventily, kompresory, USB kamera, optický barevný senzor, světelné moduly...) a součástí pro sběr/vyhodnocení údajů (např. NTC rezistor pro měření teploty). Stavebnici lze v případě potřeby rozšířit o další mechanické i výkonové součástky. K oživení a řízení modelů pak slouží programovatelná řídicí jednotka a tvorba řídicích programů primárně probíhá ve vývojovém prostředí ROBO Pro, kde se programuje vytvářením vývojových diagramů formou skládání programovacích bloků.“

Alternativou ke stavebnici Fischertechnik může být například LEGO. Tato celosvětově známá značka nabízí edici LEGO education, která obdobně jako Fischertechnik slouží, jak již z názvu edice vyplývá, k prohloubení znalostí v oblasti STEM. [36]

V rámci této diplomové práce se dále omezíme pouze na stavebnici Fischertechnik, která je dostupná na katedře průmyslového inženýrství. Momentálně katedra disponuje mnoha díly, které vycházejí ze série ROBOTICS set. V roce 2020 byla představena nová řada Fischertechnik Training Factory 4.0 viz obrázek 10. Jedná se o jeden velký model složený z několika prvků (pec, robot, sklad ...), který cílí na nové technologie a průmysl 4.0. [37]



Obrázek 10: Fischertechnik Training Factory 4.0 [37]

Cílem praktické části bude vymodelování předlohy pro hardwarový model, který bude omezen v rámci jednotlivých omezení této stavebnice a bude schopný prezentovat vybrané metody průmyslového inženýrství.

4.1 Koncept STEM

Přirozená provázanost a podobnost jednotlivých oborů vybízí k tomu, aby byly spojeny pod jedním označením. Takto vznikl koncept STEM, který má původ v USA, v 90. letech minulého století pro označení vzdělávání v oborech přírodní vědy (Science), techniky (Technology),

technologie (Engineering) a matematiky (Mathematics). Hlavním smyslem konceptu je příprava absolventů těchto oborů pro perspektivní oblasti na trhu práce. [38]

Studenti průmyslového inženýrství musí prokázat především znalosti z matematiky, mechaniky, konstruování, elektrotechniky a elektroniky, informatiky a programování. Následně své znalosti odprezentovat a vysvětlit jejich práci za pomoci výstupů, které je taktéž nutno interpretovat. Práce se stavebnicí Fischertechnik education podporuje všechny zmíněné znalosti a podněcuje k jejich procvičování a zdokonalování. [35]

4.2 Stavební omezení

V rámci diplomové práce je nutné definovat omezení, která vyplývají z charakteru stavebnice, jelikož je nutné omezením dále podřídit model, který bude tvořen v softwarovém prostředí Tecnomatix Plant Simulation.

4.2.1 Řízení modelu

Řídicí jednotka Robotics TXT slouží k oživení a řízení modelů Fischertechnik. Výrobce nabízí dvě varianty, starší model Robotics TXT controller a Robotics Controller TXT4.0, který je novou verzí. [37] Řídicí programy pro řídicí jednotku jsou tvořeny ve vývojovém prostředí ROBO Pro Coding a do řídicí jednotky jsou nahrány USB kabelem nebo bezdrátově (Bluetooth, WIFI). [39] TXT 4.0 disponuje 512 MB RAM a 4 GB paměť eMMC, třemi servo výstupy a kapacitním dotykovým displejem s podporou gest. Vylepšený model WIFI a Bluetooth nabízí bezdrátové rozhraní, které funguje pro mnoho aplikací. K jedné řídicí jednotce lze připojit až osm dalších jednotek jako rozšíření. ROBO Pro Coding lze používat i s mobilními zařízeními (Android / iOS), nebo v MacOS a téměř libovolné linuxové distribuci. [37]

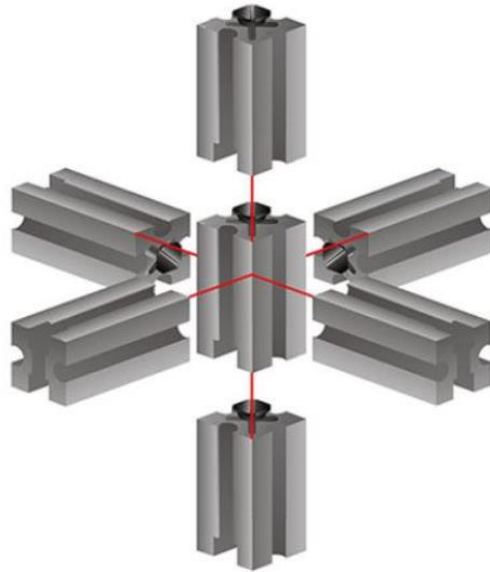


Obrázek 11: TXT 4.0 Controller [37]

4.2.2 Stavební bloky

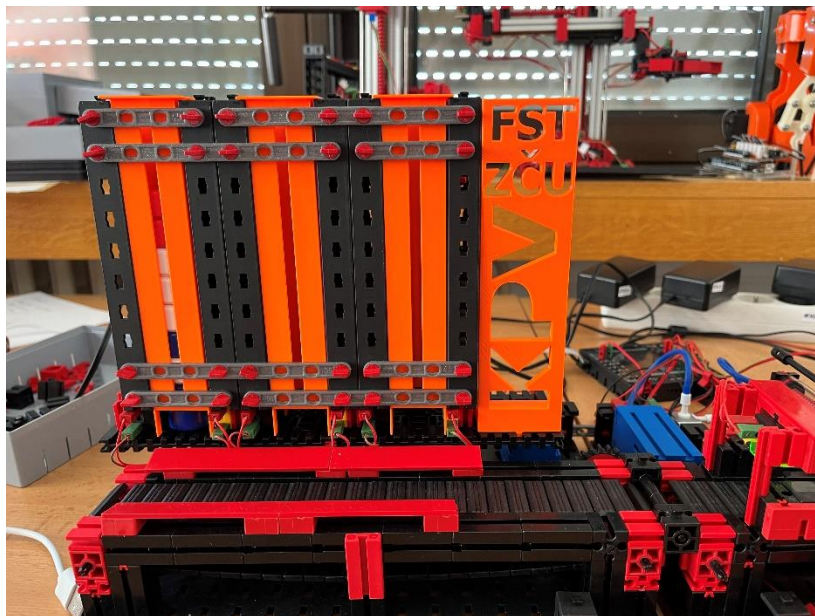
Univerzálním základem všech součástí vytvořených od vzniku stavebnice je možnost přidávání dílů a připravovat je ze všech šesti stran viz obrázek 12. Od základních stavebních bloků až po propracované technologické detaily lze vše kombinovat dohromady. Nezáleží na variantě zakoupeného modelu, fischertechnik zaručuje, že všechny díly z kterékoli stavebnice jsou

kompatibilní. Kromě klasických stavebních bloků stavebnice obsahuje různé typy ozubených kol, převodovek, vzpěr, náprav, os a další. [37]



Obrázek 12: Možnost montáže z šesti stran [37]

Obecně lze konstatovat, že stavební bloky nebudou tvorbu modelu nikterak omezovat. Pokud by nastala situace, kdy výrobce fischertechnik blok, který bude potřeba, neprodává, je možnost využít 3D tiskárny na fakultě k výrobě libovolného bloku. Tímto způsobem již byly některé bloky vytvořeny viz obrázek 13, kde jsou oranžové díly vytištěny.



Obrázek 13: Vytištěné 3D díly [Malaga]

4.2.3 Výkonové a elektronické komponenty

Dále byly popsány jednotlivé výkonové a elektronické komponenty na základě současné nabídky od výrobce. Výčet těchto komponent včetně jejich specifikací je uveden v příloze A.

5 Tecnomatix Plant Simulation

Tecnomatix Plant Simulation je softwarový nástroj od firmy Siemens, který je vytvořen pro dynamické simulace diskrétních událostí. V jeho prostředí je možné vytvoření digitálního modelu výrobních a logistických systémů. Další funkcí softwarového nástroje je analýza těchto systémů, simulace a optimalizace podle požadovaných kritérií. Zároveň lze model využít pro experimentování typu „Co se stane, když...“ nebo pro plánování před spuštěním výroby za účelem získání pravděpodobné vytiženosti pracovišť. Vizualizace virtuálního modelu je možná ve 2D či 3D. [41]

Klíčové funkce, jako je objektová orientace a dědičnost, umožňují uživatelům vývoj, výměnu/opětné použití a údržbu svých vlastních objektů a knihoven pro zvýšení efektivity modelování. Plant Simulation podporuje uživatele při optimalizaci více parametrů najednou (např. počet transportérů, vyvažovací/úložné kapacity apod.) s přihlédnutím k různým hodnotícím kritériím. Na základě těchto přesných modelovacích a statistických schopností je často dosaženo velké přesnosti v návaznosti na realitu. Výsledky lze též prezentovat ve virtuální realitě na základě souborů ze záznamu běhu (log soubory). Modelování složité logiky vždy vyžaduje použití programovacího jazyka SimTalk. Výrazné zjednodušení pro uživatele při programování nabízejí šablony složené s velkou sbírkou příkladů. [24]

5.1 Základní vlastnosti

Jedná se o takzvaný DES Software (Discrete Event Simulation Software), analýza všech procesů tak probíhá v diskrétním čase. Hierarchicky strukturované modely systémů je vhodné navrhovat od shora dolů. V praxi to znamená, že se systém rozloží na malé funkční celky (subsystémy). Pokud není možné dosáhnout požadované přesnosti u těchto subsystémů, je nutný další rozpad. Je nutné každý objekt přesně popsat. Jednotlivé vlastnosti objektů se nazývají atributy a skládají se z popisu vlastnosti (např. typ motoru a hodnota vlastnosti). Na základě tohoto rozpadu umožňuje tato struktura přesné adresování, (analogické jako cesta k souboru).

V objektově orientovaném programování lze třídu definovat jako základní stavební kámen. Třída je uživatelem definovaný datový typ, který umožňuje vytvoření nových objektů a jejich vlastností. Plant simulation umožňuje vytvoření nové třídy, na základě již existující třídy (tvorba podtřídy, odvození). Odvozená třída je následně pojmenována jako podtřída. V praxi se tato vlastnost nazývá „dědičnost“. V rámci odvozování je nutné rozlišovat duplikace od derivací. Duplikací je vytvořena kopie třídy, která dále není propojena směrem k originální třídě. Derivace vytváří instanci z originální třídy a je propojena na originál. [24]

Chování základních objektů v Plant Simulation často není v praxi dostačující pro vytvoření realistického modelu systému. Pro rozšíření standardních funkcí objektů je součástí Plant Simulation programovací jazyk SimTalk, který umožňuje modifikovat základní chování jednotlivých objektů. SimTalk se dělí na dvě základní části, a to řídicí struktury a jazykové konstrukty (podmínky, smyčky atd.). Uživatelské rozhraní pro modelování, simulaci a výslednou animaci návrhu probíhá v jednom prostředí. [24]

5.2 Vybrané objekty pro tvorbu modelu

V následující kapitole jsou představeny vybrané objekty vhodné pro tvorbu modelu reálného systému [24, 42]:

Source a Drain

Source neboli Zdroj, je základem každého modelu. Z tohoto objektu se generují jednotlivé mobilní jednotky (MU), které následně procházejí celým modelem. Generování jednotek do systému lze ve stanoveném počtu, intervalu nebo ve složitějších případech pomocí tabulky, metody či Triggeru. Příkladem z praxe může být příjem ve společnosti nebo výstup ze stroje, který je dále zpracováván. Na konci modelu je aktivním prvkem Drain, ten odvádí MU ze systému. Tento prvek je důležitým zdrojem statistických výstupů (např. počet vyprodukovaných jednotek, průtok apod.)

Mobile units (MUs)

MUs je pohyblivým objektem materiálového toku, který se pohybuje napříč systémem. Nese vlastnosti jako šířku, délku a možnost grafické úpravy vzhledu. Part představuje všechny druhy vyráběných a přepravovaných dílů a může obsahovat atributy, které řídí jeho průchod systémem. Container představuje paletu, krabici, zásobník apod., který slouží pro přepravu objektu Part. Transporter je aktivní mobilní jednotkou, což znamená, že se může sám pohybovat po předem definovaných trasách. Slouží k přepravě výše zvyšených MUs.

Station

Stanice představuje místo, kde dochází k určitému zpracování výrobku (např. obrobení, kontrola, svařování apod.) Dokud se výrobek nachází na stanici, není možné přijímat další. Pokud typy výrobků nejsou shodné, je nutné nastavit stanici pro zpracování odlišných výrobků. Možnosti nastavení jsou široké a lze pomocí nich simulovat např. přestavbu, poruchu apod.

Store

Store neboli sklad, ukládá libovolný počet jednotek MUs, které definujeme. Jednotky zůstávají na pozici, dokud nedojde k jejich odstranění. Počet úložných míst je tvořen pomocí sítě souřadnic (rozměr X a Y).

Robot

Je aktivním prvkem modelu, který přesouvá díl či skupinu dílů z místa X do místa Y. V rámci toku materiálu díl dorazí na výstup předchůdce a oznámí robotu, že chce být vyzvednut. Robot se následně rozhodne, zda díl vyzvedne, či nikoliv. Pro určení destinace dílu lze využít výchozí strategii nebo nastavit tzv. Target, tato metoda určuje cílové místo.

Conveyor a Track

Dopravník modeluje dopravní systém či jeho část. Lze nastavit jeho rozměry, úhly zakroucení, rychlost či dokonce spád. Přepravované díly se pohybují konstantí rychlostí v celé své délce a není umožněno minout díl pohybující se před sebou. V rámci zastavení následovníku může docházet k hromadění prvků na dopravníku, což je užitečné k simulaci front a zásobníků.

Dráha představuje trasu, po které se pohybuje Transporter. Pokud je na dráze více transporterů a došlo by ke kolizi, Plant Simulation omezí rychlost transporteru v závěsu.

EventController

Je objekt, který slouží ke spuštění, zastavení a ukončení běhu simulace. Zároveň lze čas simulace ovládat, změnit rychlost simulace či nastavit trvání a další.

Objekty uživatelského rozhraní

Uživatelské rozhraní obsahuje objekty pro řízení a nastavování modelu (např. Tlačítko, Dialogové tlačítko, Rozevírací seznam). Dále obsahuje objekty, které jsou užitečné při vytvoření a zobrazení statistik (např. Graf, HTML Report, Displej).

SimTalk a Method

První částí SimTalk jsou standardní metody objektů materiálového a informačního toku. Tyto metody jsou součástí modelu a tvoří základní funkčnost. Metody zpravidla nelze upravovat. Druhou částí jsou tzv. Method, ty vytváří uživatel za pomoci integrovaného programovacího jazyka SimTalk, který je variantou k C++. Jedná se o řídicí struktury a jazykové konstrukce (podmínky, smyčky apod.). SimTalk využívá unifikované názvy prvků, a proto se lze odkazovat přímo na jednotlivé prvky a jejich atributy.

Pomocí objektu Method lze naprogramovat ovládací prvky, které jsou spuštěny ostatními objekty a následně jsou provedeny při běhu simulace. Vlastní programy lze vytvářet pomocí kombinace vestavěných metod, klíčových slov přiřazení a řídicích struktur přímo v objektu Method.

6 Návrhy modelu představující dílnu

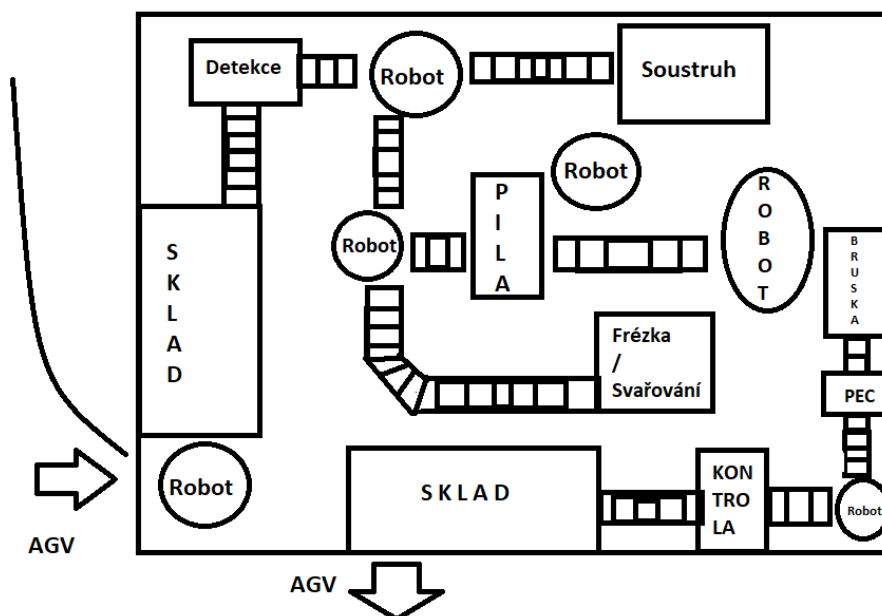
Stěžejním bodem celého Diplomové práce je návrh dílny, který bude možné realizovat stavebnicí fischertechnik. Ta musí splňovat následující kritéria. Bude dostatečně velká, tak aby se na ní mohly dobře prezentovat metody průmyslového inženýrství a zároveň nebude příliš složitá z důvodu omezení realizace modelu stavebnicí fischertechnik. Od začátku návrhu dílny byl kladen důraz na využití moderních technologií. Samotná stavebnice se v posledních letech zaměřuje na Industry 4.0 a podporu automatizace nejen ve strojírenství. Tímto směrem je zaměřena i katedra KPV, pro kterou je návrh dílny vypracován.

6.1 Varianta 1

První varianta dílny viz obrázek 14 byla zaměřena na navržení standardní výrobní společnosti, která se skládá z externích vstupů/výstupů a výroby. Externí vstupy představují dodavatele a externí výstupy odběratele, v tomto konkrétním případě bylo k dopravě zamýšleno využití AGV (Automated Guided Vehicle). Na začátku celého výrobního procesu byl umístěn sklad, kde dojde k převzetí a kontrole materiálu. Obdobný záměr byl zamýšlen před expedicí z dílny, kdy jsou výrobky zkontrolovány a vyskladněny. Interní logistika mezi pracovišti byla navržena pomocí dopravníků a robotů.

Dopravník je základním prvkem k přepravě výrobků a jedná se o rozumně realizovatelný způsob dopravy.

Roboty byly umístěny před místa tzv. „křižovatky“, ve kterých dochází k rozhodování, jakým směrem bude dále výrobek posunut na základě technologického postupu. Dále byly do dílny rozmístěny pracoviště k opracování výrobku.



Obrázek 14: První návrh modelu dílny

V první variantě návrhu nebyly důkladně promyšleny jednotlivé situace, které mohou ve výrobě nastat, a aplikace jednotlivých metod průmyslového inženýrství. Jednalo se pouze o základní vytipování pracovišť, použití přepravních prvků a předpokládané rozvržení v rámci dílny.

Dle výše popsaných vlastností varianty vyplývají následující výhody a nevýhody při realizaci:

Výhody

- Snadná realizace modelu.
- Nízká investice na požadované díly Fischertechnik.

Nevýhody

- Nízká variabilita dané varianty.
- Nepřipravenost modelu na zavádění metod PI.

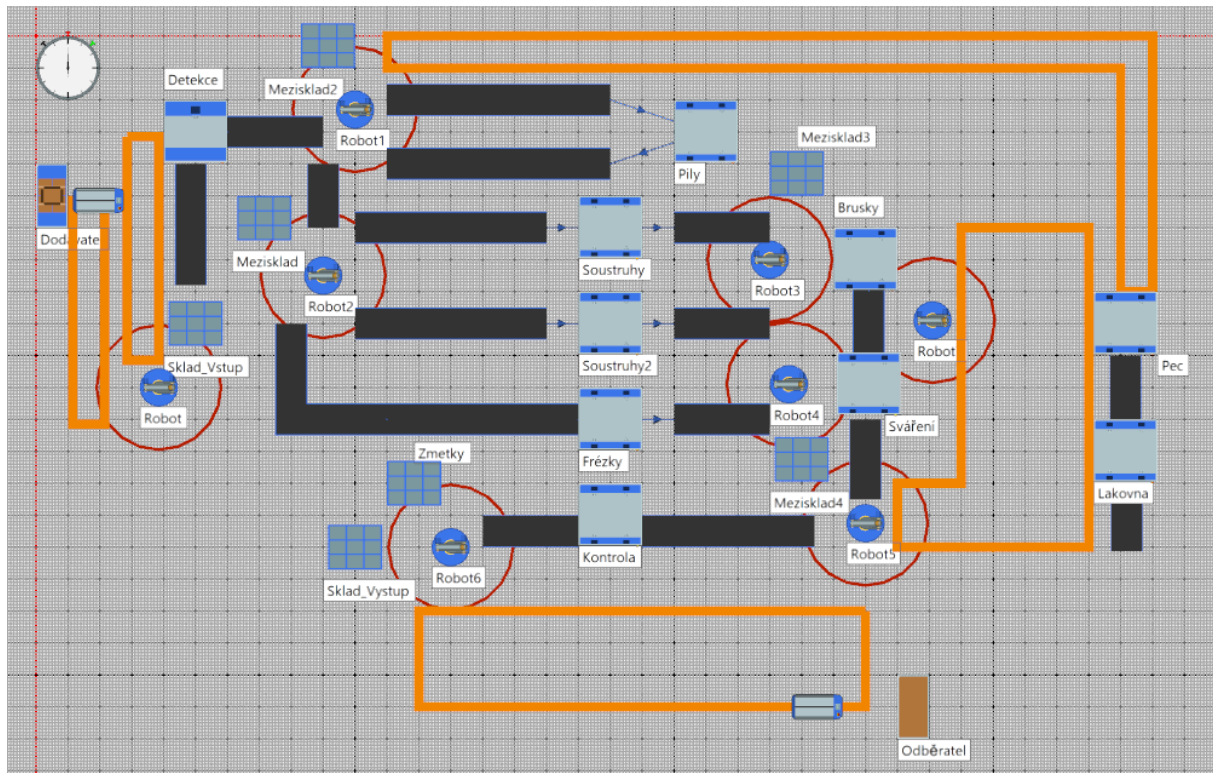
6.2 Varianta 2

V návaznosti na první variantu byla vytvořena druhá varianta modelu, která již byla zpracována v software Tecnomatix Plant Simulation. V tomto softwarovém nástroji byl dále model „oživen“ a byly zaznamenány simulační běhy viz následující kapitoly týkající se simulace. I přestože byl model sestaven v software, nebyly zatím provedeny žádné testovací simulace. Při další analýze a zamyšlení se nad modelem byl návrh rozšířen o pracoviště lakovny, viz obrázek 15.

Další změnou v modelu je reorganizace pracovišť. Pracoviště soustruhu bylo zaměněno za pracoviště pily. Navíc došlo k rozšíření výroby uprostřed dílny a větev s pracovištěm soustruhu byla zdvojnásobena. Tato změna poskytuje další řešení ke zkoumání, kdy na základě vytíženosti jednotlivého pracoviště či poruchy může druhá linka fungovat jako výpomoc při přetížení hlavní linky, nebo může hlavní linku přímo nahradit při výpadku z jakéhokoliv důvodu (porucha, údržba, ...). Pracoviště frézky a svařování bylo rozděleno.

Interní logistika nebyla přidána pouze k odlehlé výrobě lakovny, ale zároveň byly přidány dvě trasy, které jsou napojeny zpět na začátek výroby. V případě, že by došlo na některém z pracovišť k vytvoření zmetku, je zde varianta zpětné dopravy na začátek výroby a výrobek může být znovu opracován.

Do výroby byly také přidány čtyři mezisklady, které měly poskytovat určitý buffer pro výrobu. Tyto sklady byly umístěny na místa, kde dle základního úsudku a zamýšleného materiálového toku dochází ke kolizi v rámci přesunu výrobků.



Obrázek 15: Druhý návrh modelu dílny

Poslední rozšíření modelu bylo o sklad zmetků, ten byl umístěn na konec výrobní linky před expedicí. V této variantě nebylo zatím blíže zamýšleno, ve které části modelu a v jaké frekvenci se chybovost bude vyskytovat. V případě, kdy je zmetek detekován až na konci celého řetězce pracovišť a procesů, není již možnost daný výrobek opravit. V tomto případě je vyřazen do skladu zmetků.

Dle výše popsaných vlastností varianty vyplývají následující výhody a nevýhody při realizaci:

Výhody

- Do modelu bude zanesena interní logistika pomocí AGV.
- Rozšíření variant řízení výroby.
- Rozšíření materiálového toku modelem.
- Zanesení zmetkovitosti.
- Možnost zpětné dopravy zmetku.

Nevýhody

- Rozšíření cest AGV (náročnost na realizaci).
- Zvýšení nákladů na realizaci.

6.3 Varianta 3

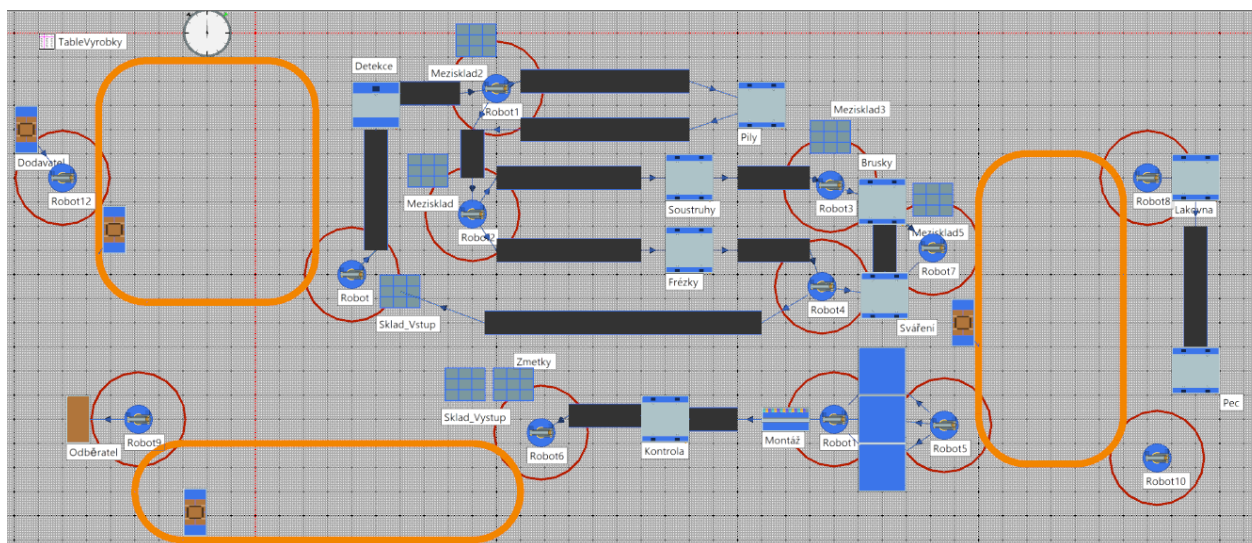
V návaznosti na druhou variantu bylo dále diskutováno o nedostacích návrhu modelu. V rámci interní logistiky pomocí AGV možná došlo k překomplikování modelu. Zpětnou dopravu na začátek procesu lze řešit i jinou alternativou viz úpravy níže. Dále bylo diskutováno o vytvoření nového pracoviště montáže. Jelikož v žádném již existujícím modelu z Fischertechnik na katedře KPV toto pracoviště neexistuje, jedná se o novou výzvu v případě fyzické stavby

pracoviště. Avšak zrušení dvou tras pro interní AGV do modelu přinese zjednodušení na straně realizace a přidáním pracoviště montáže dojde ke zvýšení variability modelu.

Hlavní změnou oproti předešlým variantám je vytvoření pracoviště montáže, které bylo zařazeno na samotný konec výroby před expediční kontrolou. Před kontrolou byly postaveny buffery pro zásobu stanice montáže odlišnými díly, které jsou následně smontovány. Tyto buffery jsou obsluhovány manipulačními roboty.

Jak již bylo zmíněno, pro model to znamená definování více druhů výrobků, které mohou mít odlišný technologický postup a následně budou smontovány na tomto pracovišti. Při zařazení tohoto pracoviště do modelu byla dlouhá diskuse, jak řešit problematiku pomocí stavebnice Fischertechnik. Z důvodu nedostatečné přesnosti a rozsahu zamýšlených robotů v modelu byla vyřazena varianta, kdy by robot jednotlivé výrobky montoval či stohoval dohromady. Ze stanice montáže tedy bude pokračovat pouze hlavní část finálního výrobku a vedlejší části budou pomocí robota umístěny mimo model do kontejneru.

V rámci dalších úprav modelu došlo k redukci a úpravě interních cest používaných ke zpětné dopravě zmetků v systému. Na základě konzultací s vedoucím a konzultantem práce není nutné komplikovat model pěti trasami AGV. Stavba a náklady na tuto variantu by se nejspíše minuly účinkem. Proto byla navržena další varianta. Zde je zpětná doprava zmetků řešena variantou dopravníku, který bude v tomto případě nejefektivnějším řešením. Zachované cesty byly upraveny do finální podoby ve tvaru oválu odlišných rozměrů. Na každé trase bude minimálně jedno AGV. Toto AGV se bude starat pouze o transport výrobků. Vykládání a nakládání autonomních vozidel bude zajištěno pomocí přísavkových robotů.



Obrázek 16: Třetí návrh modelu dílny

Další z redukcí se týkala přímo jedné linky v montáži. Konkrétně linky soustruhu 2. V rámci úspor dílů a prostoru byla tato linka odstraněna. Hlavním důvodem však bylo nahrazení AGV cest pomocí zpětného dopravníků, bylo tedy nutné řešit situaci u robota číslo 4, který by pravděpodobně neměl dosahové vzdálenosti na všechny dopravníky při zachování návrhu 2.

V této fázi návrhu již byly spuštěny pilotní běhy simulací bez bližší specifikace. Jednalo se pouze o krátké zkoušky, ty měly identifikovat potenciální problém, který by mohl zapříčinit ohrožení funkčnosti modelu nebo nastínit potenciální úpravy pro navržení dalších variant modelu.

U třetího návrhu bylo více myšleno na ekonomickou stránku stavby modelu. Byly redukovány trasy a dopravní linka. V rámci dalších úvah nad modelem bylo přidáno pracoviště montáže, které podněcuje k zamyšlení se nad variabilitou jednotlivých výrobků.

Dle výše popsaných vlastností varianty vyplývají následující výhody a nevýhody při realizaci:

Výhody

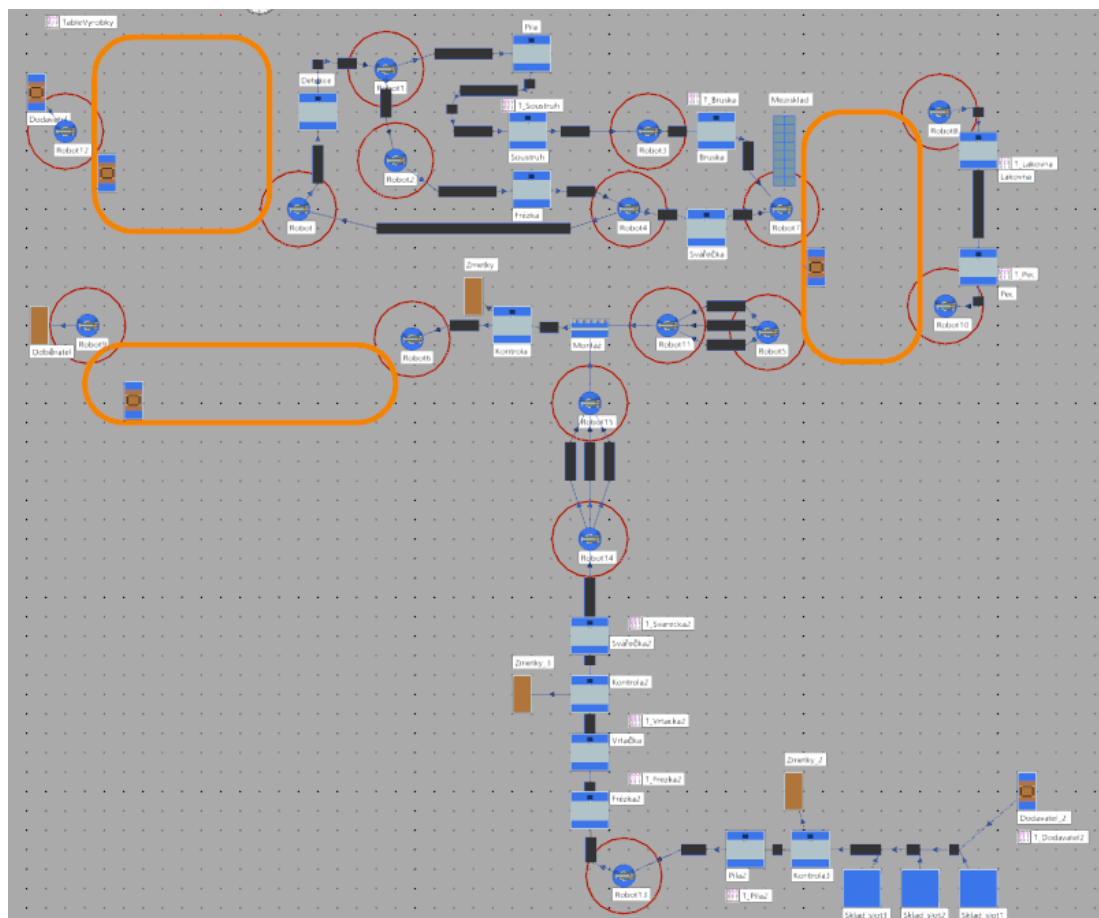
- Zefektivnění interní dopravy.
- Rozšíření variability přidáním pracoviště montáže.
- Reálná podoba tras AGV

Nevýhody

- Odstranění duálního pracoviště soustruhu (eliminace možnosti variant s poruchovostí stroje a jeho zastoupení, nemožnost při střídání pracovišť.)

6.4 Varianta 4

U čtvrté varianty modelu byl návrh dále upravován dle dalších připomínek a poznatků. Odstraněny byly mezisklady u pracovišť. Hlavním problémem těchto více kapacitních meziskladů je náročná tvorba pomocí stavebnice fischertechnik a značně by zkomplikovala stavbu celého modelu. I přesto byl jeden mezisklad zachován, ten by mohl být např. jako odstavná plocha před interní logistikou do lakovny. Tato plocha bude mít 12 úložných pozic a bude obsluhována přísavkovým tříosým robotem. Buffery před montáží byly nahrazeny třemi dopravníky, které splní podobný účel a jejich stavba je nenáročná.



Obrázek 17: Čtvrtý návrh modelu dílny

Při konzultaci přímo v učebně Fischertechnika byly řešeny jednotlivé součásti a prvky objektů navržených v modelu. V rámci konzultací u dříve postavených objektů v učebně bylo navrženo využití již existující části linky z Fischertechnika, na které již probíhá výuka a je určená k různým experimentům. Připojení této linky by bylo u pracoviště montáže. Tato varianta přináší další variabilitu modelu. Bonusem je, že již existující linka může být základním měřítkem v rámci rozměrů modelu.

Dle výše popsaných vlastností varianty vyplývají následující výhody a nevýhody při realizaci:

Výhody

- Zvýšení variability a aplikovatelnosti PI v kombinaci s Linkou L.
- Snazší realizovatelnost díky redukci počtu regálových meziskladů složitých na stavbu pomocí Fischertechnik a přidání spádových mezioperačních skladů, které lze snadno realizovat.
- Rozšíření variant montáže (více různorodých vstupů).

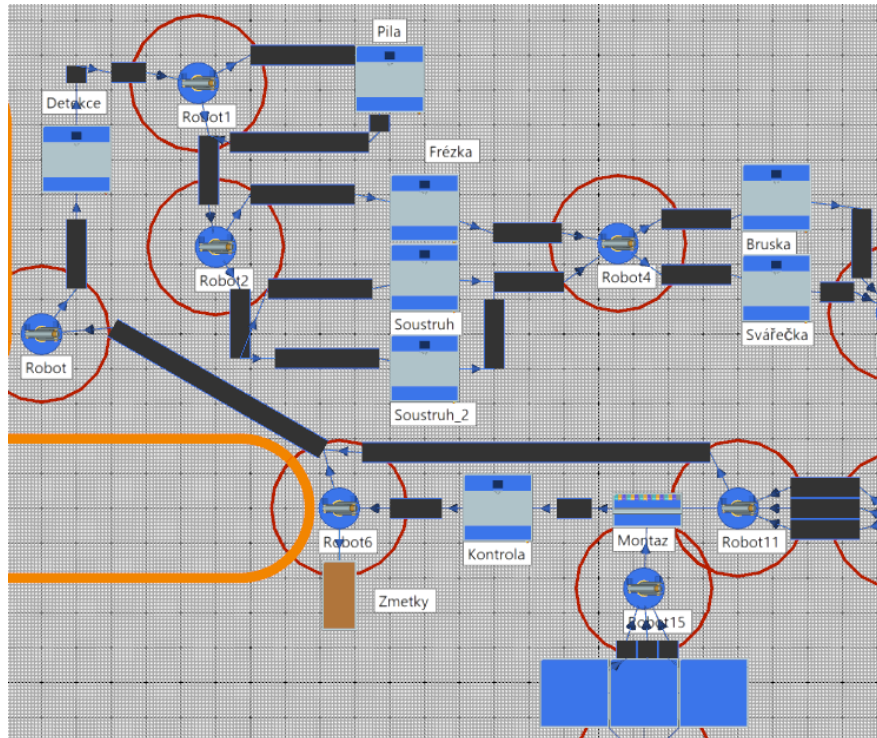
Nevýhody

- Zvýšení prostorových nároků na realizaci hardwarového modelu.
- Zvýšení nároků na součástky stavebnice Fischertechnik.

6.5 Varianta 5

Při další úvaze a práci s modelem bylo nakonec přehodnoceno rozložení pracovišť a interní logistiky v první části modelu, jelikož u předchozích variant byla na úkor zjednodušení modelu dílny vyřazena duální linka soustruhu a reorganizována část týkající se pracoviště pily. Tento úsek modelu byl prioritou pro další změny. Byla vytvořena různá rozložení jak pracovišť, tak dopravníků a robotů k transportu výrobků.

Výsledkem je následující rozložení viz obrázek číslo 18. Do modelu byla vrácena varianta duálního rozmístění linky soustruhu. Též byla přidána zpětná trasa mezi pilou a robotem č.1. U pracoviště frézky a soustruhů došlo k záměně z důvodu varianty vypnutí/zapnutí duální linky. Za těmito pracovišti došlo k redukci zpětné trasy výrobku na opravu, ta byla přesunuta na konec celé výrobní dílny za finální kontrolu. Zde bude ošetřeno, že z výroby k expedici není možné odeslat zmetek, jako tomu bylo doposud. Na základě této reorganizace není nutné mít za pracovišti frézky a soustruhů dva roboty. Zúžením dopravníků lze toto místo obsluhovat pomocí jednoho robota, který nabízí další variabilitu pro technologické postupy, jelikož může výrobky třídit jak na pracoviště brusky, či svářečky. Další úpravou bylo vložení dopravníku mezi robota před montáží a robotem třídícím zmetky, aby byl umožněn přesun zmetku již před montáží výrobků. Poslední úpravou bylo vložení bufferů do modelu na vedlejší linku. Varianta šla řešit jak pomocí dopravníku s kapacitou, tak pomocí objektu buffer. Byla upřednostněna varianta s bufferem, aby bylo na první pohled jasné, že se jedná o objekt, kde lze tvořit zásobu před stanovištěm montáže.



Obrázek 18: Pátý návrh modelu dílny – detail

Ve zbylé části modelu již nedošlo k žádné změně, a zůstala tak jako v předchozí variantě č. 4. Dle výše popsaných vlastností varianty vyplývají následující výhody a nevýhody při realizaci:

Výhody

- Zvýšení variability a aplikovatelnosti PI pomocí Linky L.
- Zvýšení variability a aplikovatelnosti PI pomocí duálního pracoviště soustruhu.
- Zefektivnění zpětné trasy pro zmetky.
- Efektivní rozvržení hlavní části modelu.
- Rozšíření variant montáže (více různorodých vstupů).

Nevýhody

- Zvýšení prostorových nároků na realizaci hardwarového modelu.
- Zvýšení nároků na součástky stavebnice Fischertechnik.

6.6 Hodnocení variant modelu

Na základě výše navržených variant bylo na konzultaci diskutováno, která kritéria budou stěžejní v rámci hodnocení navržených variant. V týmu čtyř členů bylo rozhodnuto o zvolení následujících kritérií:

- **Variabilita** – představuje především nabízené možnosti sestavení modelu, nastavení jednotlivých technologických postupů, možnost odpojení částí modelu či nastavení pracovišť.
- **Realizovatelnost** – respektování možností stavebnice Fischertechnik
- **Aplikace PI** – Aplikovatelnost PI hodnotí jednotlivé varianty na základě schopnosti modelu prezentovat metody průmyslového inženýrství.

K určení důležitosti jednotlivých parametrů popsanych výše byla použita Saatyho metoda. Jedná se o metodu párového porovnávání, která se používá k vícekritériálnímu hodnocení kritérií a variant. Výsledkem první tabulky je kritérium pro stanovení váhy jednotlivých kritérií k dalšímu hodnocení variant.

Stanovení vah kritérií	R	V	A	GP	váha
Realizovatelnost	1	1/3	1/5	0,41	0,10
Variabilita	3	1	1/3	1,00	0,26
Aplikace PI	5	3	1	2,47	0,64
			Σ	3,87	1

Tabulka 1: Saatyho metoda – váhy kritérií

Z výsledků Saatyho metody, která byla provedena na zvolená kritéria, lze odvodit, že nejdůležitějším kritériem bude, aby zvolená varianta dokázala interpretovat zavedené metody průmyslového inženýrství. Další v pořadí důležitosti je variabilita modelu a s nejmenší vahou realizovatelnost.

Stanovení vah realizovatelnost	V1	V2	V3	V4	V5	GP	váha
V1	1	3	5	3	5	2,95	0,44
V2	1/3	1	1/5	1/5	1/3	0,34	0,05
V3	1/5	5	1	1/5	1/3	0,58	0,09
V4	1/3	5	5	1	3	1,90	0,28
V5	1/5	3	3	1/3	1	0,90	0,14
					Σ	6,68	1

Tabulka 2: Saatyho metoda – váhy realizovatelnost

I přestože, že realizovatelnost má v rámci hodnocení kritérií nejmenší váhu, poukazuje na náročnost návrhu v souvislosti se stavebnicí Fischertechnik a jejími omezujícími prvky. Určité objekty či varianty jsou realizovatelné obtížně a při jejich realizaci by bylo potřeba vyvinout velké úsilí. Tato řešení by mohla znamenat větší finanční investice, které by nemusely mít dostatečný efekt na prezentaci výroby a její ovlivnění pomocí zavádění metod průmyslového inženýrství. Proto je třeba s tímto parametrem dále kalkulovat a nevyřazovat ho z celkového hodnocení.

Stanovení vah variabilita	V1	V2	V3	V4	V5	GP	váha
V1	1	1/3	1/5	1/7	1/9	0,25	0,03
V2	3	1	1	1/3	1/5	0,72	0,10
V3	5	1	1	1/3	1/5	0,80	0,11
V4	7	3	3	1	1/3	1,84	0,25
V5	9	5	5	3	1	3,68	0,50
Σ						7,30	1,00

Tabulka 3: Saatyho metoda – váhy variabilita

V rámci variability jsou nejlépe hodnocené varianty čtyři a pět. Hlavním důvodem tohoto hodnocení je rozšíření hlavního modelu s částí lakovny o další linku. Tato Linka L přináší další tzv. „model“ v modelu. Rozšíření variability se tedy týká jak nových pracovišť, materiálového toku, tak i nových druhů výrobků a jejich zapojení do montáže.

Stanovení vah aplikace PI	V1	V2	V3	V4	V5	GP	váha
V1	1	1/3	1	1/3	1/5	0,47	0,09
V2	3	1	3	1	1/3	1,25	0,23
V3	1	1/3	1	1/3	1/5	0,47	0,09
V4	3	1	3	1	1/3	1,25	0,23
V5	5	3	5	1/3	1	1,90	0,36
Σ						5,33	1,00

Tabulka 4: Saatyho metoda – váhy aplikace PI

Stanovení vah pro aplikovatelnost PI byla mezi jednotlivými variantami nejvyrovnanější ze všech hodnocených parametrů. Stejnou váhu, viz tabulka výše, měla varianta první a třetí po 9 %. Následovaly varianty dva a čtyři po 23 %. Dominantní variantou stejně jako u parametru variability byla varianta pátá s 36 %.

Dále bylo nutné vytvořit tabulku výsledného hodnocení. Zde byly jednotlivé váhy variant násobeny váhou kritérií. Tímto krokem je zajištěno, že jednotlivé výsledky budou reflektovat důležitost kritérií.

Výsledné hodnocení	Realizovatelnost	Variabilita	Aplikace PI
váha kritéria	0,10	0,26	0,64
Varianta 1	0,04	0,01	0,06
Varianta 2	0,01	0,03	0,15
Varianta 3	0,01	0,03	0,06
Varianta 4	0,03	0,07	0,15
Varianta 5	0,01	0,13	0,23

Tabulka 5: Saatyho metoda – výsledné hodnocení

Na tabulku č.5 přímo navazuje tabulka č. 6, která zobrazuje součet ohodnocení jednotlivých variant s ohledem na váhy kritérií. Následně je stanoveno výsledné pořadí variant dle hodnocení Saatyho metody. Vzhledem k důležitosti kritéria Aplikovatelnost PI lze předpokládat, že výsledné pořadí bude podobné jako u hodnocení váhy tohoto kritéria.

Výsledné pořadí	Součet hodnot	Výsledné pořadí
Varianta 1	0,11	4.
Varianta 2	0,18	3.
Varianta 3	0,09	5.
Varianta 4	0,24	2.
Varianta 5	0,37	1.

Tabulka 6: Saatyho metoda – výsledky

Na základě výsledků hodnocení byla vybrána varianta č. 5, jedná se o komplexní model s širokým využitím a se stavebními prvky, které jsou realizovatelné pomocí stavebnice Fischertechnik. Tato varianta tedy bude dále v této práci detailně popsána, zároveň bude představena veškerá využitelnost, kterou může přinést při realizaci fyzického modelu.

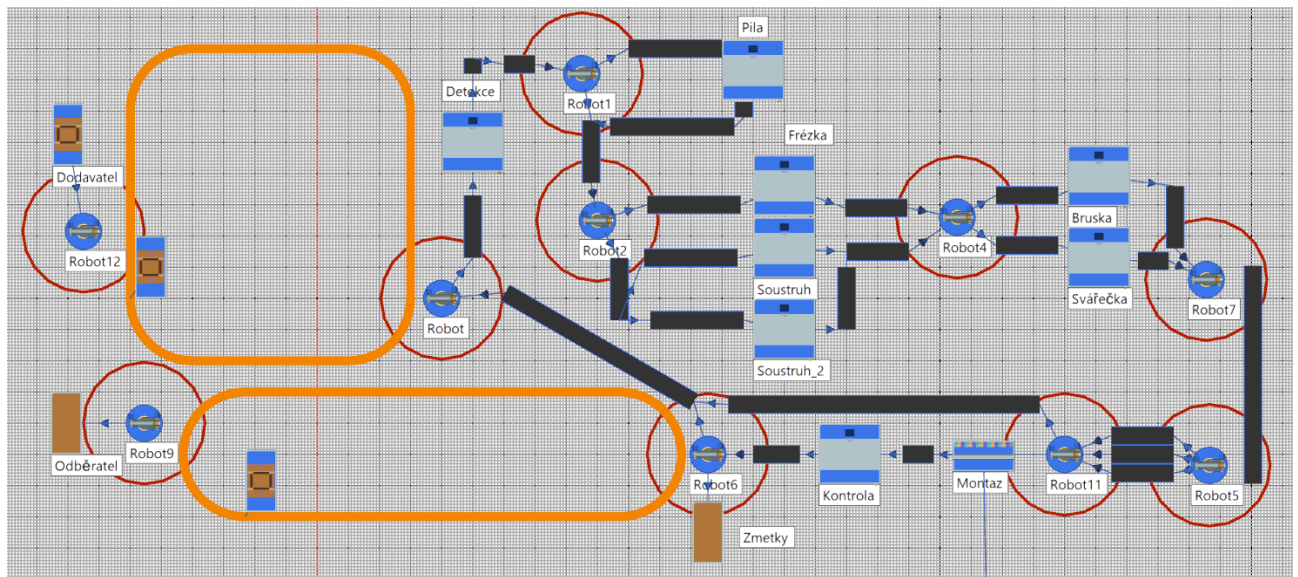
7 Popis vybraného návrhu dílny a jeho využitelnost

První seznámení s modelem vychází z představení konkrétních pracovišť a logistikou mezi nimi. V rámci bližšího popisu návrhu dílny jsem se rozhodl daný model rozdělit do tří základních částí, které budou pojmenovány následovně:

- Hlavní část
- Část lakovna
- Linka L

Hlavní část

Na začátku řetězce procesů je dodavatel, který dodává materiál do dílny pomocí AGV, které je u dodavatele naloženo pomocí robota 12. Výrobek je následně transportován a vyložen robotem ve výrobě. Dále výrobek postupuje pásovým dopravníkem k prvnímu pracovišti detekce. Zde jsou zjištěny dostupné informace o výrobku. Dále pokračuje výrobek k robotu 1, který na základě informací z kontrolního stanoviště a konkrétního nastavení modelu rozřadí výrobky na příslušný dopravník, dle technologického postupu. V případě přesunu směrem k pile dojde k opracování výrobku na tomto pracovišti a pomocí dopravníku je vedeno zpět k hlavnímu toku modelu. V místech, kde dochází ke změně směru pohybu materiálu a na místě není robot, se předpokládá přesun pomocí výtlačného pístu (z důvodu menší materiálové náročnosti při stavbě modelu a rozměru řešení). Tato varianta se již v minulosti osvědčila při stavbě modelů na katedře. Hlavní tok materiálu se následně dělí na tři odlišné větve, kterými materiál pokračuje procesem dále.



Obrázek 19: Hlavní část modelu

První možností je přesun výrobku k Frézce, dále lze materiál přesunout směrem k soustruhu nebo soustruhu 2. Toto pracoviště je v rámci výroby zdvojnásobeno pro znázornění variant a metod PI viz v práci dále.

Výrobky následně společně pokračují k robotu 4, zde je znovu na výběr mezi dvěma pracovišti (Bruska, Svářečka), dle technologického postupu. Následně je výrobek exportován směrem k robotu 5. Ten může na základě tech. postupu využít libovolné množství dopravníku k přesunu výrobku před montáž. V případě že je výrobek ve stavu „NOK“ a nelze ho v montáži použít, je vyřazen na dopravník směrem k robotu 6. Pokud je ve stavu „OK“ robot 11 přesune materiál na montážní pracoviště.

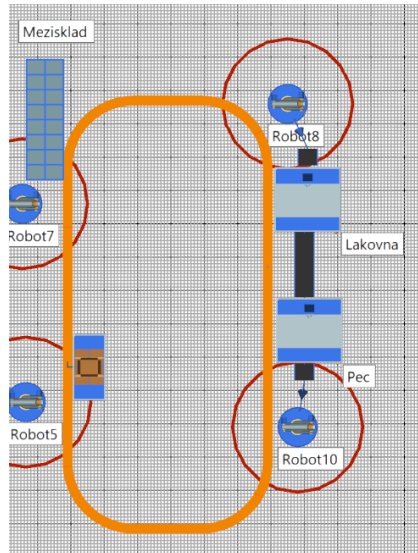
Pracoviště montáže je nutné přizpůsobit možnostem stavebnice fischertechnik viz popis u varianty 3. Výrobou tedy pokračuje pouze finální část výrobku, která bude dále reprezentovat finální výrobek (složený z hlavní a pomocných částí). Pomocné výrobky budou robotem vytříděny do boxu, a tím budou z procesu vyřazeny. Finální část výrobku je dále přesunuta k poslednímu pracovišti finální kontroly. Zde může robot detekovat tři stavy výrobku:

- Zmetek opravitelný
- Zmetek neopravitelný
- Díl OK

Pokud se nejedná o zmetek, je výrobek dále expedován pomocí AGV k odběrateli, v opačném případě je odstraněn. Když je výrobek opravitelný, je přesunut na dopravník, který vede na začátek výroby.

Část lakovna

Druhá část modelu viz obrázek č. 20 rozšiřuje hlavní variantu modelu, kde je pásový dopravník nahrazen oddělenou výrobní větví, která obsahuje pracoviště lakovny a pece. Výrobky jsou přesouvány robotem 7 směrem k interní logistice, která je též zajištěna pomocí AGV a převáží výrobky k pracovišti, kde jsou výrobky nakládány/vykládány roboty. Stejně tak jako v předchozích případech i zde záleží na technologickém postupu jednotlivých výrobků, při určitém nastavení nemusí být pracoviště lakovny a pece využity. Před okruh intra logistiky je postaven mezisklad, který bude realizován pomocí desky z přihrádky pro jednotlivé výrobky a obsluhován tříosým přísavkovým robotem. Využití tohoto meziskladu bude záležet na zvolené variantě výroby.

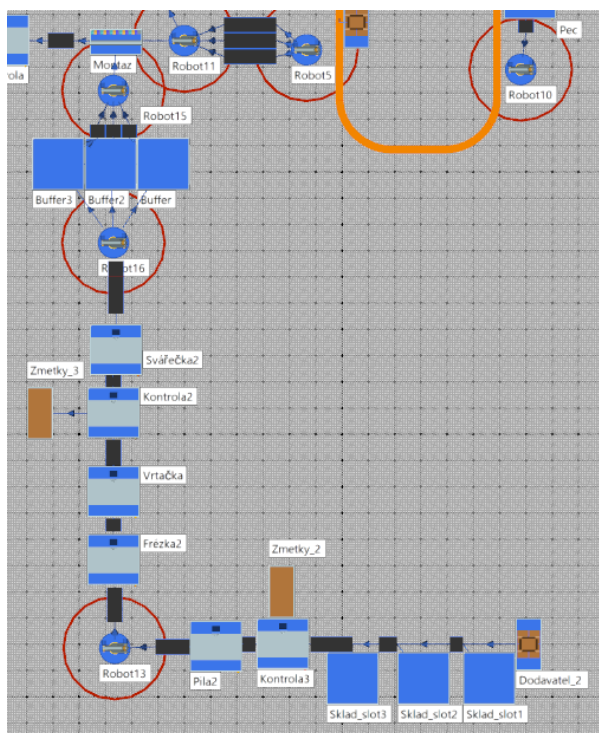


Obrázek 20: Návrh druhé části modelu dílny

Linka L

Třetí část modelu – Linka L viz obr. 21 je napojena na hlavní část u pracoviště montáže. Zde jsou před robota přemísťujícího výrobky do pracoviště montáže umístěny tři dopravníky a tři buffery. Celá třetí část se skládá z jednoduché linky, kde je materiál dopravován pomocí pásového dopravníku a dvou robotů. Na této lince nalezneme pracoviště kontrol, pily, frézky, vrtačky a svářecí pracoviště.

Kromě již zmíněného napojení na hlavní část modelu je již tato linka fyzicky zhotovena na katedře KPV, a i to je jeden z důvodů rozšíření, aby již zhotovené části stavebnice mohly být dále využity ať už separátně, jako samostatný model, nebo jako část většího celku.



Obrázek 21: Návrh třetí části modelu dílny

Další výhodou využití již sestaveného modelu je základní představa náročnosti stavby jednotlivých pracovišť v hlavní části modelu (frézka, kontrola, pila) a potřeba dílů ke zhotovení.

7.1 Variabilita a využitelnost modelu

Na následujících stránkách budou představeny jednotlivé možnosti, které nabízí navržený softwarový model. Díky všem těmto vlastnostem modelu bude možné na simulačních bězích zobrazovat problematiku ve výrobních dílnách a lépe ji demonstrovat.

7.1.1 Varianty výrobků

Výrobce stavebnice prodává díly představující materiál/výrobek ve čtyřech barevných provedení (červená, modrá, bílá, černá) viz obrázek č. 22. Tyto výrobky jsou ve tvaru „puku“. Černý puk je od ostatních odlišen výškou.



Obrázek 22: Varianty výrobků od dodavatele

V rámci modelu lze tedy počítat s variantou až čtyř druhů výrobků, a pokud by i toto množství nebylo dostatečné, je zde možnost dotisknutí dalších výrobků na 3D tiskárně. Tyto výrobky by mohly mít odlišný tvar a přinést do modelu další možnosti např. (odlišná přeprava AGV).

Pro výchozí nastavení modelu a jeho variant je dále uvažováno s třemi barvami výrobku (modrá, bílá, červená) v základním rozměru 26x14 mm od výrobce. Vzhledem k rozsáhlé velikosti celého modelu bude rozumné si v rámci simulací zvolit omezené množství výrobků.

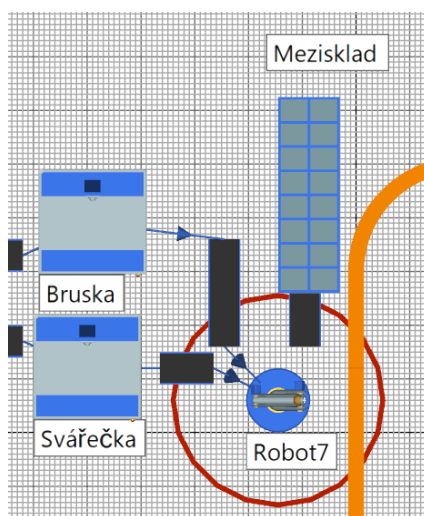
Generování výrobků do systému bude přímo závislé na zvolené variantě. Výrobky lze generovat např. v určitých výrobních dávkách, jednotlivě apod.

7.1.2 Nastavení robotů

Využití robotů v modelu je zejména v situacích, kdy je v daném místě souběh více vstupů (více dopravníků od různých pracovišť), nebo je nutné výrobky z jednoho vstupu rozdělit na více pozic. Specifickým příkladem jsou roboty u AGV tras, které obsluhují autonomní vozidlo, kde bude kladen vysoký nárok na přesnost. Stejně tak v případě tříosého robota obsluhující jediný mezisklad ve výrobě, zde bude realizace značně komplikována.

V případě rozdělování jednoho vstupu na více výstupů, jsou situace předem definovány technologickým postupem a jeho posloupností. Stejně tak jako v případě, kdy se jedná o zmetek a je nutné tento výrobek transportovat.

Opačná logika, kdy je více vstupů před robotem viz obrázek č. 23, nabízí další možnosti řešení. Výběr dílů z více vstupů lze samozřejmě nastavit, a přímo tak ovlivnit chod modelu. Přímé využití této možnosti se nabízí při optimalizaci výrobních dávek. Pomocí shromažďování stejného druhu výrobku je možné zamezit zbytečnému přenastavování pracovišť v případě, kdy nejsou dávky odlišeny viz kapitola týkající se SMED.



Obrázek 23: Nastavení robotů

7.1.3 Zmetkovitost

Jak je již výše u popisu modelu zmíněno, v modelu se počítá s interpretací zmetkovitosti ve výrobě. Ta bude rozdělena dle jednotlivých částí modelu. Výrobky vyrobené v hlavní části modelu mohou nabývat tří stavů viz výše (OK, ZmetekO, ZmetekN). U části linky L, jsou výrobky neopravitelné, jelikož zde není zpáteční cesta na začátek procesu, a jsou proto ihned odstraněny ze systému u pracovišť kontroly. Definování zmetkovitosti lze v modelu aplikovat dvěma způsoby:

- **Procentuální zmetkovitost pracoviště** (nastavení exit strategie přímo v parametrech pracoviště, kdy je zadáno kolik % ze 100 bude odstraněno)

- **Přirazení statusu zmetek výrobku** (Nastavení metody pro zvolené pracoviště či dodavatele, kdy je výrobku přiřazen jeden ze tří zmíněných stavů. Na základě stavu výrobku je dále manipulován systémem)

Opravitelné zmetky v hlavní části modelu mohou mít zásadní vliv na chod výroby. Vzhledem k variantám, kdy jsou nastaveny u pracovišť Set-Up časy, vrácení výrobku do systému může například narušit výrobu sekvence určitého typu výrobku. Zde bude nutné specifikovat, za jakých okolností budou vráceny do systému.

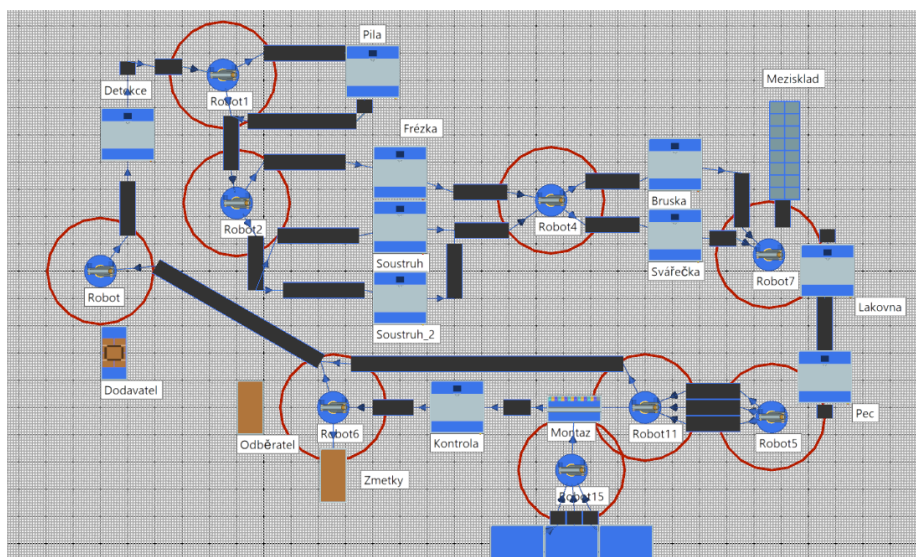
Není vyloučeno spuštění systému bez zmetkovitosti v celém modelu, nebo jeho nastavení v určitých částech pro interpretaci ovlivnění výroby. Zároveň je možné u hlavního modelu zvolit pouze dva stavy výrobku (OK, NOK).

7.1.4 Model bez AGV

V případě stavby modelu dle finálního návrhu bude jedním z nejkomplicovanějších problémů stavba a zprovoznění tras logistiky pomocí AGV. Díky variabilitě modelu lze tyto trasy pro první variantu stavby modelu odstranit a přesunout dodavatele, část lakovny a odběratele přímo k hlavní části modelu.

U dodavatele a odběratele se jedná o identické řešení, kdy budou puky podávány/vyndávány ze systému manuální obsluhou. U lakovny by došlo k přesunutí pracovišť a napojení na roboty.

Toto zjednodušení modelu bude mít za následek nutnost doplňování výrobků do systému dle předem stanovených časů v požadovaném množství. Hlavní dopad bude zřetelný u dopravy k lakovně. Zde AGV obsluhuje dva vstupy a dva výstupy, na základě zvolených parametrů pracovišť tak může docházet k brždění AGV např. u pracoviště pece. Toto zpomalení může v delším horizontu zastavit celou výrobu, odstraněním logistiky AGV se připravíme o možnost zobrazení této problematiky.



Obrázek 24: Model bez AGV

7.1.5 Nastavení základních parametrů pracovišť

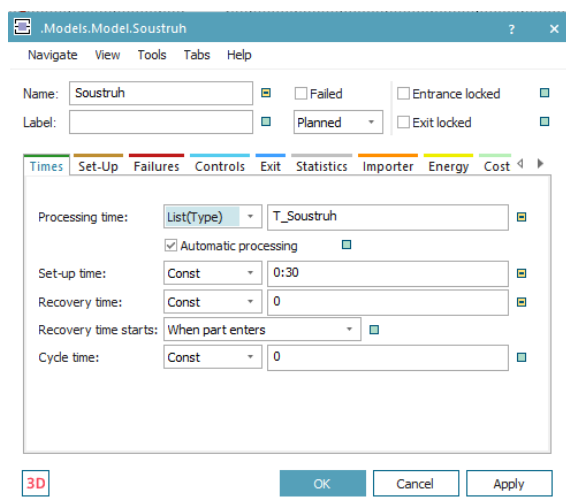
Nastavení základních parametrů pracovišť bude probíhat stejným způsobem pro všechny navržené varianty.

Hlavním parametrem pro každé pracoviště je nastavení tzv. „**Processing time**“. Jedná se o čas opracování výrobku v konkrétním pracovišti. Tento čas lze definovat pomocí několika způsobů. V tomto modelu budou využívány následující varianty:

- **Konstantní čas** – využití při nastavení pracoviště, do kterého vstupuje pouze jeden typ výrobku nebo může být čas zpracování odlišných typů výrobků stejný např. stanoviště kontroly, pece.
- **Čas z tabulky** – v případě, kdy vstupuje více výrobků do stejného pracoviště, ale s odlišným časem zpracování, lze tyto časy definovat separátně v tabulce, dle např. názvu výrobku či barvy
- **Stochastické časy** – lze využít variantu, kdy bude zvoleno statistické rozdělení, které tvoří stochastické časy dle předem stanovených parametrů v určitém rozsahu hodnot.

Využití prvních dvou variant je výhodné především z toho důvodu, že pokud chceme zobrazovat vliv změn pomocí metod průmyslového inženýrství, je vhodné, aby stochastické metody s určitou nepřesností nezkrášlovaly výsledky (každý běh simulace může být do jisté míry odlišný).

Zároveň je možné zvolit variantu, kdy model bude nastaven pomocí statistických rozdělení. Tím bude do modelu vstupovat další náhodný jev, který bude ohraničen určitými „mantinely“. Přesto může nastat situace, kdy výroba bude značně vychýlena oproti plánu a zobrazit připravenost navržené varianty modelu na nepředvídatelné jevy.



Obrázek 25: Nastavení parametrů pracovišť

Při nastavení procesních časů u pracovišť s velkým rozdílem, bude tato problematika na první pohled zřejmá. Lze se pak v modelu zabývat další činností v rámci průmyslového inženýrství, a to vybalancování pracovišť.

V rámci pracovišť je dále definována statistická pravděpodobnost chybovosti a možnosti přiřazení výrobku status opravitelný zmetek „ZmetekO“, nebo „ZmetekN“ neopravitelný zmetek. Na základě statusu jsou výrobky vytříděny. Rozdělení na základě kvality výrobků probíhá pomocí robotů viz popsany postup výše u seznámení se s hlavní částí modelu.

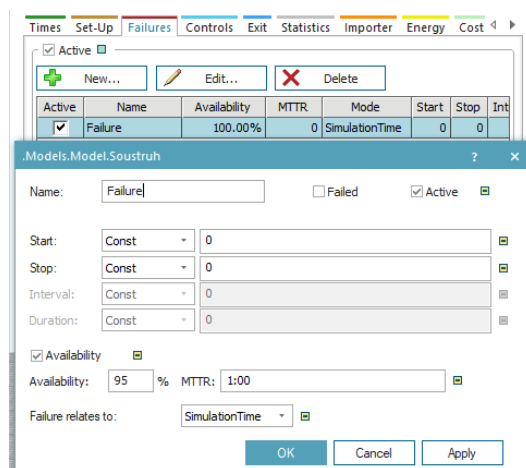
Dalším parametrem, který lze aktivovat, je tzv. „**Set-Up**“. Jedná se o čas přípravy a nastavení pracoviště k opracování výrobku (kalibrace, výměna rezných nástrojů, změna barvy apod.). Nastavení tohoto parametru lze vztahovat k odlišným výrobkům (každý výrobek má jiný technologický postup) nebo po opracování určitého počtu předem stanovených kusů.

V případě fyzického modelu bude nutné využít barevné senzory k identifikaci barvy výrobku, aby se následně přidal čas k nastavení pracoviště. V druhém případě lze pouze správně naprogramovat software modelu k počítání vstupů na pracoviště.

Využití tohoto parametru bude vhodné k zobrazení vlivu SMED analýzy. Jak velký dopad na výrobu bude mít zkrácení těchto časů, kde jedním z hlavních parametrů je právě redukce Set-Up časů.

Posledním parametrem, který bude vhodné aplikovat do jednotlivých variant simulačních běhů, je funkce „Failures“. Díky tomuto parametru, lze nastavit poruchovost jednotlivých pracovišť. Při nastavení tohoto parametru viz obrázek č. 26, lze zadat čas začátku a konce poruchy. Dále dostupnost zařízení v procentech a MTTR (Mean Time To Repair). Je vhodné zmínit, že tyto dva parametry nelze vždy nastavit nezávisle na sobě (Pokud je dostupnost 100 %, MTTR musí být 0, protože nemůže dojít k žádnému selhání).

Poruchovost pracoviště je zamýšlena k aplikování u pracovišť soustruhu, kde je duální linka a je tedy možné demonstrovat výhodu zastupitelnosti pracovišť ve výrobě. Zároveň je účelem zobrazení situace ve výrobě, pokud toto zastoupení neexistuje.



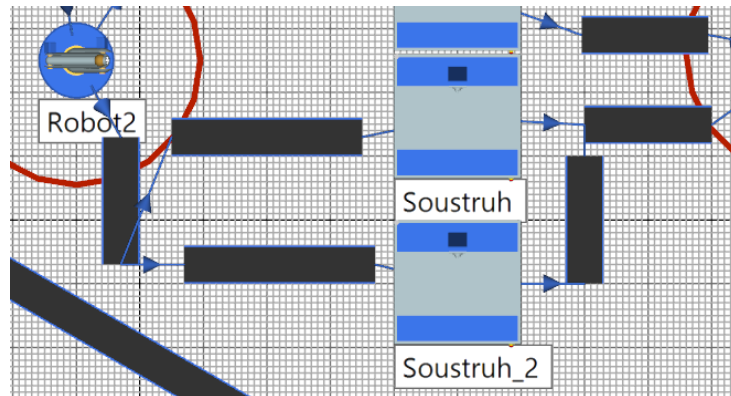
Obrázek 26: Nastavení parametru – Failures

U fyzického modelu lze poruchovost stroje nastavit pomocí software či situaci řešit manuálním tlačítkem, které bude nutno zmáčknot potom, co nastane definovaná situace.

7.1.6 Využití duální linky

Jak již bylo výše popsáno, v modelu je též vytvořena duální linka, konkrétně pracoviště soustruhů. Níže budou definovány možnosti, které modelu poskytuje:

- **Úzké místo** – v rámci modelu lze analyzovat úzká místa, jedním z nich může být pracoviště soustruhu. V tomto případě lze snadno aplikovat metodu odstranění úzkého místa a rozšířit výrobu o jednu linku.
- **Zastupitelnost** – pokud bude u pracoviště soustruhu definován parametr „Failures“, lze využít duální pracoviště k výrobě výrobků po dobu opravy hlavního stroje.
- **Zvýšení produkce** – v případě, že bude nutné zvýšit produkci specifického výrobku, který musí být opracován na soustruhu, mohou být využity obě linky ke zvýšení kapacity systému.



Obrázek 27: Duální linka

7.1.7 Mezisklad

Pracoviště mezikladu může být využito/nevyžito v závislosti na technologickém postupu. Pokud je pracoviště využito, nabízí následující možnosti využití:

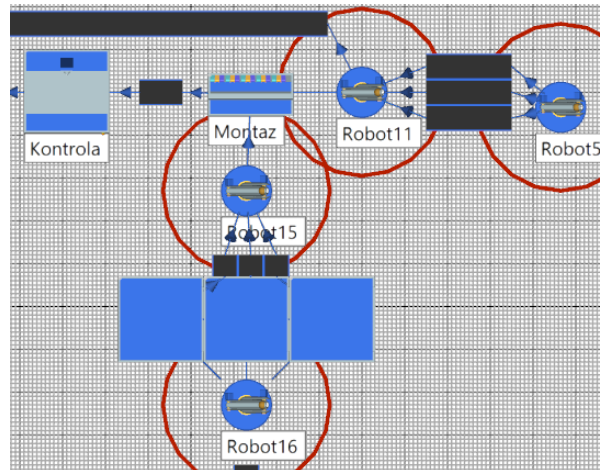
- **Úzké místo** – V případě zaměření se na úzké místo lakovny, lze v tomto případě využít metody zmíněné výše Drum-Buffer-Rope.
- **SMED** – Díky setování výrobků dle druhu lze snížit „Set-Up“ časy. V závislosti na úzké místo tak dojde k vyššímu průtoku pracovištěm.
- **Supermarket** – Meziklad lze využít jako supermarket, což systému přináší další varianty ke zkoumání (rychlejší reakce na odběratele, vychystávání dle varianty výrobku, vykrytí NOK výrobků apod.)

Záleží tedy na tom, k jakému účelu, viz výčet výše, bude meziklad využíván a dle toho i nastaven.

7.1.8 Montáž

Pracoviště montáže má zásadní vliv na běh celé simulace. Variabilita výrobků je stanovena na tři základní druhy. Z tohoto důvodu jsou v modelu postaveny tři vstupní dopravníky před roboty, ty vkládají výrobky přímo do pracoviště montáže viz obrázek č. 28. Na základě vstupů, lze uvažovat nad následujícími variantami.

- **Tlak** – Výroba je tlačena a je zde snaha o maximální využití všech kapacit modelu
- **Kombinace Tlak/Tah** – Hlavní část modelu je tlačena a linka L je tažena (využití bufferů před montáží k zavedení KANBANU)
- **Tah** – Výroba je tažena na základě požadavku montáže. (odběratele)



Obrázek 28: Montáž

V rámci varianty tahu lze aplikovat metodu Just in time. Výsledkem bude zobrazení efektivity a vlivu na rozpracovanou výrobu. Nastat však může i situace, kdy zvolíme větší pravděpodobnost zmetkovitosti a v tomto případě může dojít k selhání celého systému.

Tři dopravníky před montáží nabízejí dvě varianty využití. Zprvu lze využívat pouze jeden dopravník a montovat v přesně dodaném pořadí. Nebo jsou využity všechny tři dopravníky a výrobky se montují v určitých dávkách.

Buffers ze strany linky L budou v reálném modelu nejspíše realizovány pomocí spádových dopravníků s určitou kapacitou, jelikož se ale bude jednat o buffer a ne klasický dopravník, jsou v modelu zpracovány objektem buffer.

Samotný proces montáže nabízí řadu variant jak výrobky kombinovat a montovat dohromady. Tyto varianty záleží na zvolených technologických postupech.

7.2 Strategie řízení výroby

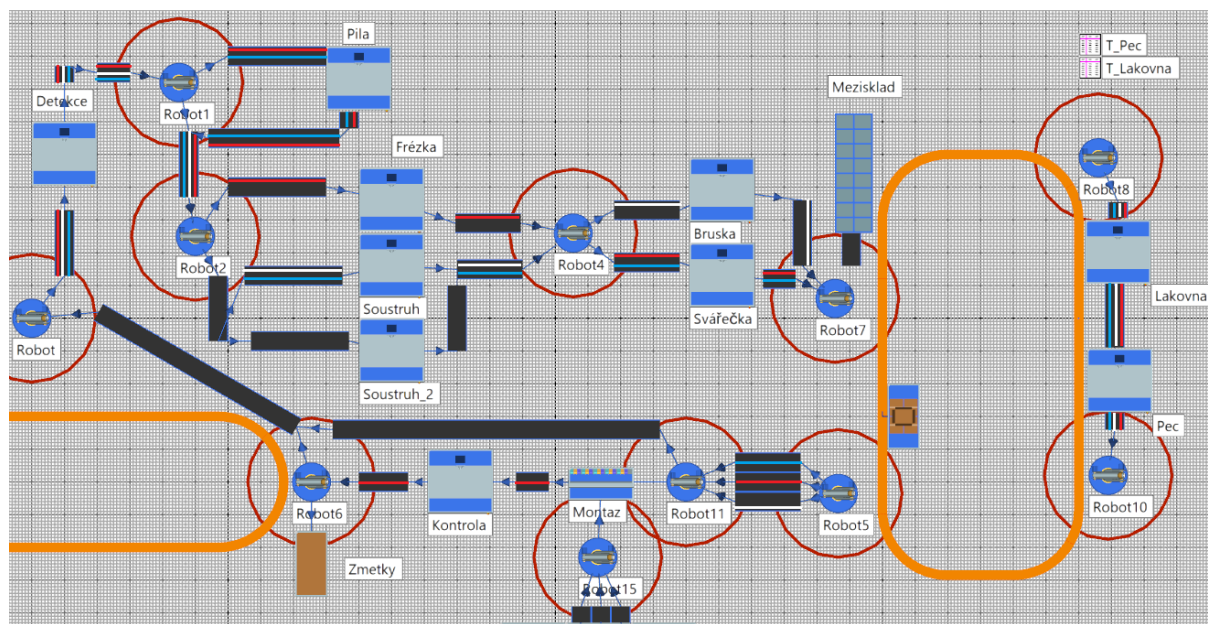
Vzhledem k rozložení modelu lze předpokládat, že největší vliv změny strategie řízení výroby v modelu bude mít dopad na hlavní část modelu. Obě vedlejší části modelu jsou jednoduché linky bez možnosti zpětného transportu výrobku či rozřazení na základě definované logiky.

U linky lakovny, je materiálový tok daný z výrobní a technologické logiky procesu. Pokud je výrobek nalakován, musí být přesunut do pece k vytvrzení a vyschnutí laku. V opačném případě jsou výrobky rovnou převezeny směrem k robotu 5.

Linka L, má výrobní posloupnost též definovanou na základě konstrukčního řešení, je zde však možné jednotlivé pracoviště vynechat. Což nabízí určitou variabilitu pro tvorbu technologického postupu.

Hlavní část modelu je přizpůsobena k návrhu několika variant, v rámci této diplomové práce bude definováno šest výrobních strategií pro celý model. K vizualizaci jednotlivých variant byl vybrán nástroj – Material Flow Analysis.

7.2.1 Varianta A – Tlak



Obrázek 29: Technologický postup – varianta A

První varianta řízení výroby pro model dílny počítá s využitím tří variant výrobků. Každý výrobek je opracován v jiném sledu operací viz obrázek č. 29. Výrobní postupy pro jednotlivé výrobky jsou následující:

- Modrý výrobek – Pila – Soustruh – Svářečka – Lakovna a Pec – Montáž
- Červený výrobek – Pila – Frézka – Svářečka – Lakovna a Pec – Montáž
- Bílý výrobek – Soustruh – Bruska – Lakovna a Pec – Montáž

Pracoviště montáže montuje dohromady výrobky stejného druhu. Toto nastavení vychází z barevné odlišnosti. Finální výrobek se skládá z jedné hlavní komponenty a jedné vedlejší.

Výrobní část linky L zpracovává všechny typy výrobků. Tyto výrobky jsou opracovány na každém pracovišti v rámci této oddělené linky.

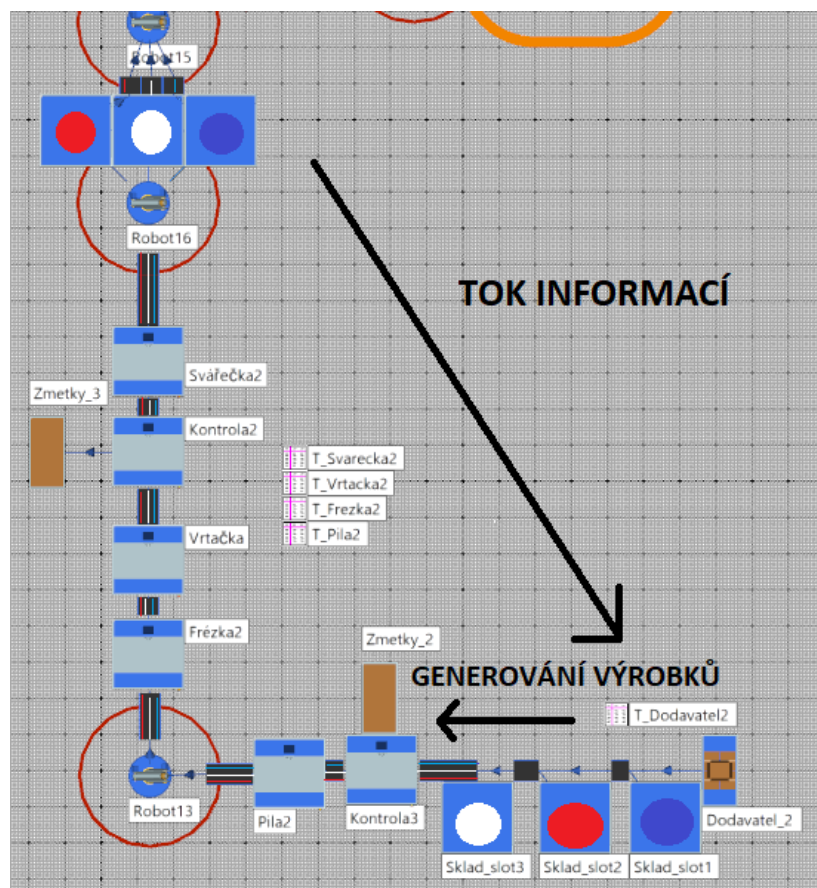
V této variantě nastavení není využit mezisklad, zdvojené pracoviště soustruhu ani není nastavena poruchovost strojů. Pro celý model bude nastaven Set-up time u pracovišť, kde dochází k opracování více druhů výrobků. Zároveň bude nastavena náhodná zmetkovitost, aby mohly být využity dopravníky pro tyto výrobky určeny. Zmetkovitost je u hlavní části modelu nastavena na tři možné stavy výrobku a u linky L je využito procentuální rozdělení.

Strategie vstupů u této varianty je nastavena na „tlak“. Vzhledem k velikosti celého modelu a nutnosti zajistit vstupy u dvou dodavatelů, budou výrobky tlačeny do systému v sekvencích (stejněho typu výrobku), aby dílna zpracovávala omezené množství výrobků, ale zároveň bylo možné ukázat silné a slabé stránky tlačných principů.

7.2.2 Varianta B – Tlak & KANBAN

U varianty B nedošlo v oblasti hlavní části modelu k žádným změnám ve strategii řízení výroby a je identická s výše popsanou variantou A. Stejně tomu tak je i u linky lakovny, která též zůstává aktivní pro všechny typy výrobků. Zachována beze změny je taktéž generování výrobků do systému a zmetkovitost.

Hlavní změna nastala u linky L.



Obrázek 30: Technologický postup – varianta B

Zde je pozměněn způsob generování výrobků do systému. Systém je nastaven následovně: Na začátku simulace je do systému vytvořeno určité množství výrobků od každého druhu (představuje počet kanbanových karet v oběhu). Dle definovaného množství výrobků je nastavena kapacita bufferu, který zásobuje robota 15 u pracoviště montáže. Robot 15 zásobuje pracoviště montáže na základě posloupnosti vstupů výrobků z hlavní části linky. V pracovišti dochází k párování hlavní komponenty s vedlejšími, stejným způsobem jako ve variantě A.

Pokud je výrobek vložen do pracoviště montáže, senzor zaznamená tento pohyb. Následně je vyslán signál směrem k pracovišti skladu, že určitý typ výrobku opustil buffer. Na základě této informace dochází k vyskladnění výrobku daného typu.

Problém může nastat ve chvíli, kdy bude vyskladněn stejný typ výrobku, který byl zpracován, ale v rámci procesu opracování na pracovištích bude identifikován jako zmetek. V tomto případě bude vyřazen ze systému a bude chybět ve stanoveném bufferu. Tento problém lze ošetřit dostatečně velkou první dávkou výrobků nebo propojení pracovišť se skladem, aby informace o vyřazení výrobku ze systému byla předána na začátek procesu a byl vygenerován náhradní výrobek.

V případě, kdy by se tato problematika neřešila, po určité době několika cyklů by došlo k zastavení výroby. I s touto variantou lze pracovat v rámci experimentů na modelu a zdůraznit důležitost informačních toků napříč modelem.

7.2.3 Varianta C – Využití tahu bez meziskladu

Varianta C navazuje na předešlé varianty modelu. Strategie řízení výroby pro jednotlivé výrobky zůstávají stejné ve všech třech částech modelu. Stejně nastavení platí v rámci parametrů všech pracovišť a zmetkovitosti.

Jediným rozdílem oproti minulým variantám je změna generování výrobků do hlavní části modelu. Ta bude řešena obdobně jako je řešena situace ve variantě B u linky L. Nejprve dojde k vygenerování první várky výrobků a je spuštěn mechanismus, který generuje výrobky na základě spotřeby. Obdobným způsobem lze vyřešit nastavení hlavní části modelu. Zde bude sledováno množství výrobků na dopravnících před robotem 11 a jakmile dojde k odebrání výrobku ze systému, bude generován jeho zástupce.

U této varianty je zároveň ošetřena náhrada za zmetky, jelikož k vyřazení zmetků ze systému dochází až v této části modelu. Nemůže tak nastat varianta, kdy bude odstraněn zmetek a nebude za něj generována náhrada.

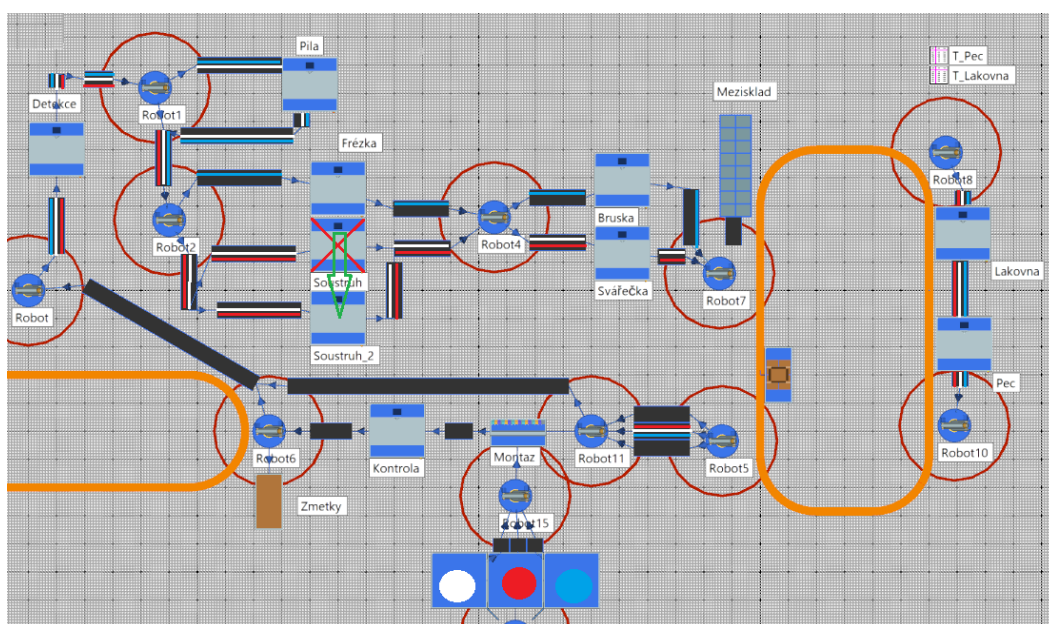
Jelikož na začátku procesu jsou výrobky přepravovány od dodavatele pomocí AGV, bude reakce na výrobu opožděna o naplnění tohoto přepravního zařízení a převozu do výroby. Vzhledem k této skutečnosti mohou být výrobky vyrobeny s takovým zpožděním, že toto nastavení systému nebude schopno zásobovat výrobu kontinuálně. Z tohoto důvodu indikátor pro zařazení nového výrobku do systému je aplikován u pracovišť brusky a svářečky.

7.2.4 Varianta D – Tlak & KANBAN, poruchovost a využití jednoho dopravníku

U varianty D nastala změna strategie řízení výroby u všech variant výrobku, které jsou zpracovány v hlavní části modelu. Materiálový tok viz obrázek č. 31 je následující:

- Modrý výrobek – Pila – Frézka – Bruska – Lakovna a Pec – Montáž
- Červený výrobek – Soustruh – Svářečka – Lakovna a Pec – Montáž
- Bílý výrobek – Soustruh – Svářečka – Lakovna a Pec – Montáž

Generování výrobků do hlavní části modelu zůstává tlačným způsobem, ale není zde definováno složení vstupů dle jednotlivého typu. Lze tedy předpokládat větší průběžnou dobu výroby vzhledem k nutnosti přestavování strojů na daný typ výrobku.



Obrázek 31: Technologický postup – varianta D

Další změnou v rámci technologického postupu je nastavení poruchovosti u pracoviště soustruhu. V modelu budou aktivní obě pracoviště soustruhu a pokud hlavní pracoviště bude poroucháno, nebo se stane úzkým místem v systému, budou výrobky odkloněny robotem 2 k pracovišti druhému soustruhu. K identifikaci takového stavu bude nutné nastavit správnou exit strategii robota 2, kdy musí dostat informaci o poruše na soustruhu či zaplnění dopravníku. Tímto bude zajištěn stabilní chod výroby.

Před pracovištěm montáže je v této variantě aktivní pouze jeden ze tří možných dopravníků. Montáž bude tedy závislá na dodaném pořadí výrobků. Část modelu linky L, zůstává nastavena viz předchozí varianty kanbanem.

7.2.5 Varianta E – SMED, využití meziskladu, generování tlak

Varianta E se zaměřuje na metodu průmyslového inženýrství SMED. Viz popsaná teorie výše, záměrem bude snížení časů k přenastavení pracovišť na odlišný výrobek.

Materiálový tok, zmetkovitost, poruchovost i strategie generování výrobků zůstane identická jako v předchozí variantě.

Hlavní vliv na přenastavení pracoviště mají Set-up časy. Vzhledem k teorii popsané od Shingeo Shinga lze uvažovat snížení časů přípravy pracoviště až o 30-50 %. V návaznosti na tato fakta budou Set-up časy sníženy v průměru o 40 %.

V hlavní části modelu lze využít k redukci časů přípravy zdvojené pracoviště soustruhu. Každou linkou soustruhu bude zpracován pouze jeden druh výrobku. Touto změnou dojde k celkové eliminaci Set-up časů. V případě, že by došlo k poruše na soustruhu, výrobky budou odkloněny k druhému stroji.

Zároveň bude nutné se zaměřit na řízené vstupy do systému, aby nebyly příliš variabilní. Generování od dodavatele bude po sekvencích v rámci jednoho druhu. Následně však může nastat situace, kdy mohou být výrobky zamíchány před interní dopravou do lakovny. Tento fakt je dán odlišným technologickým postupem jednotlivých variant výrobků a jejich časů zpracování.

K eliminaci tohoto faktoru bude využit v modelu poprvé mezisklad, který se nachází právě před interní AGV dopravou. Na základě kapacity AGV vozidla budou připravovány v meziskladě výrobky stejného druhu. V případě, kdy bude počet kusů výrobků roven nebo vyšší kapacitě vozidla, začne plnění a transport do lakovny.

Vzhledem k výše popsaným skutečnostem bude nutné stanovit velikost bufferu linky L minimálně na hodnotu kapacity AGV vozidla, aby mohla být uspokojena montáž a nenastal problém s přípravou vedlejších komponent.

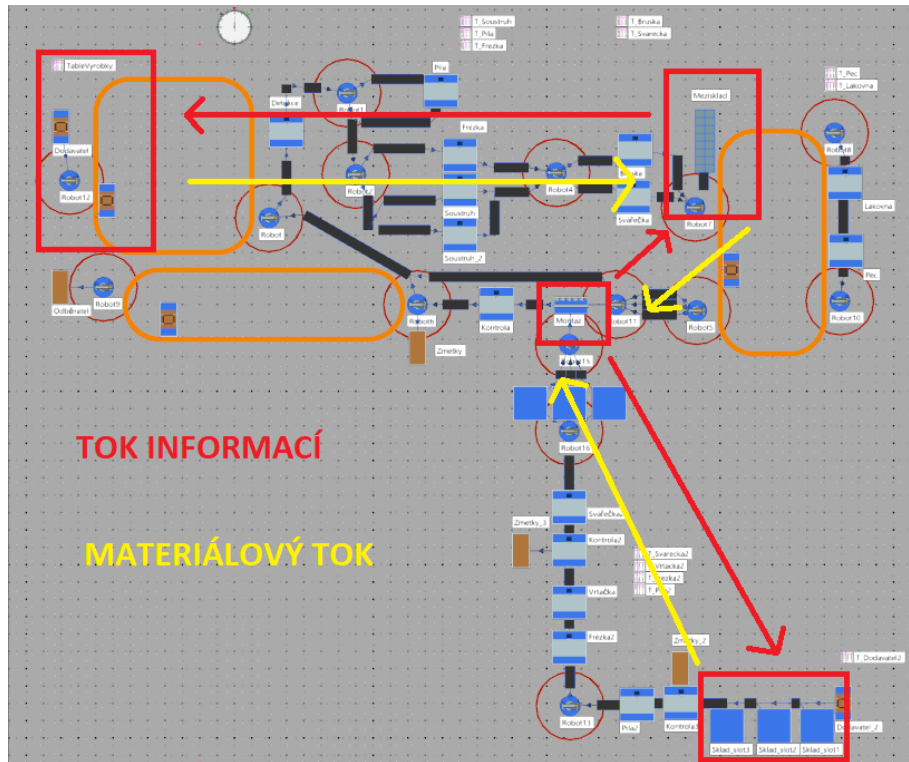
7.2.6 Varianta F – Just in time, supermarket

Varianta F se zaměřením na aplikaci metody průmyslového inženýrství Just in time. Bude zde snaha realizovat uspokojení zakázek od odběratele pomocí tahového principu výroby a velmi malé rozpracovanosti napříč dílnou.

Technologický postup v rámci materiálového toku skrz pracoviště zůstává neměnný oproti variantě D. Stejně nastavení platí také pro zmetkovitost v modelu. Poruchovost pracoviště soustruhu je v této variantě odstraněna, jelikož bude odpojována celá duální linka. Generování výrobků do systému bude tažným principem na základě požadavků (výroby, odběratele). Za předpokladu žádání výrobků dle toku informací a odstranění poruchovosti stroje by neměla

nastat situace, kdy bude pracoviště přetíženo. Tok informací a materiálu je znázorněn na obrázku č. 32.

Pokud chceme v této variantě uvažovat aplikování metody Just in time, je nutné se zamyslet nad délkou zpracování výrobku v hlavní části modelu. Jelikož by odběratel při vystavení požadavku na určité množství výrobků specifického typu měl dlouhou čekací dobu, bude do modelu zařazen mezisklad formou výrobního supermarketu. Toto řešení umožňuje výrobě rychlejší reakci na požadavky odběratele. Zároveň bude znázorněna důležitost meziskladů ve výrobních s dlouhými takty výroby.



Obrázek 32: Varianta F – Materiálový a informační tok

Vzhledem ke komplexnosti modelu a výše popsané využitelnosti je možné definovat mnoho dalších strategií řízení výroby, použití metod průmyslového inženýrství a pomocí následné simulace na modelu interpretovat zamýšlenou problematiku.

8 Tvorba simulačního modelu v Plant Simulation

V závěrečné části diplomové práce jsou vybrány tři z navržených variant strategií řízení modelu dílny viz kapitola výše. Tyto varianty jsou zprovozněny v softwarovém nástroji Tecnomatix Plant Simulation a jsou provedeny základní simulační běhy pro interpretaci problematiky jednotlivých strategií. Dále jsou na těchto variantách změněny základní parametry a pozorována změna chování simulačního modelu. Všechny tyto charakteristiky jsou ve výsledku porovnány a vyhodnoceny.

8.1 Simulační model – Varianta A

Po navržení modelu a strategie řízení výroby bylo stěžejní navržení základních parametrů tak, aby byl model funkční. Základními parametry je myšleno výchozí nastavení časů pracovišť, logiky přemísťování robotů, zmetkovitosti a vyskladňování.

8.1.1 Nastavení časů

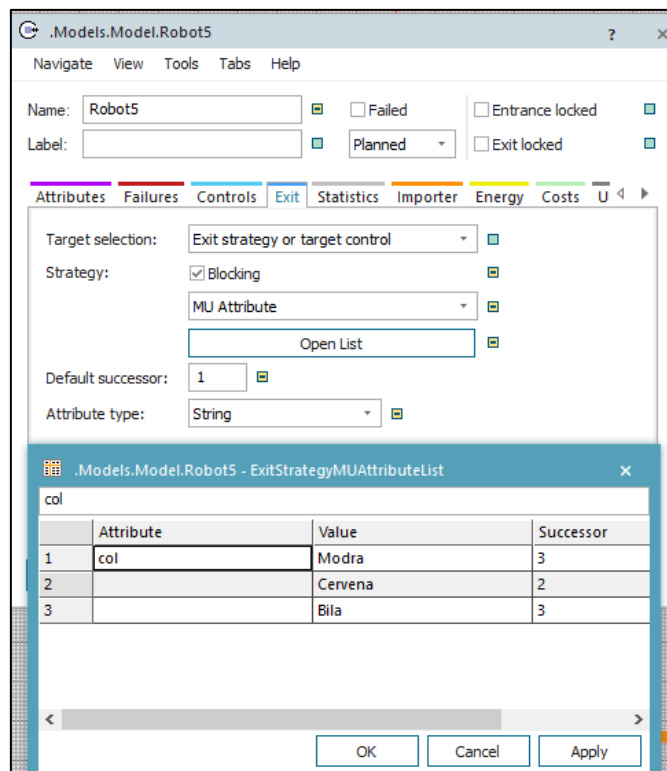
Při nastavení časů bylo především myšleno na výsledné běhy simulace, které mají sloužit pro interpretaci studentům. Z tohoto důvodu byly časy od samého počátku stanovovány v jednotkách vteřin tak, aby celá simulace procesu netrvala hodiny a mohlo být při jejím běhu vysvětlována daná problematika.

Navrhování výchozích časů probíhalo na základě odhadu a pokusných simulačních běhů. Tímto návrhem typu pokus/omyl bylo nakonec definováno výchozí nastavení časů, které je uvedené v tabulce Příloha B.

Jak je vidět v tabulce u každého pracoviště byl definován základní čas zpracování a set up čas. Set-up čas viz definice výše představuje nastavení pracoviště na odlišný typ výrobku. Z tohoto důvodu jsou u některých pracovišť ve výchozím nastavení nulové hodnoty, jelikož některé pracoviště není třeba přestavovat na odlišný typ výrobku (kontrola) nebo daným pracovištěm prochází pouze jeden typ výrobku (Frézka).

8.1.2 Nastavení robotů

Pro správné fungování simulačního modelu bylo nutné nastavit stanoviště robotů. Tato stanoviště rozhodují o umístění výrobků na správné místo dle definovaného výrobního postupu. Při nastavení robotů, viz následující obrázek, bylo stěžejní definování exit strategie. Tu lze nastavit několika způsoby.



Obrázek 33: Nastavení robotů

V těchto modelech byl využit často výše zobrazený způsob, kdy robot následuje vytvořenou tabulku. V této tabulce jsou nastaveny parametry výrobku (barva, název) a na základě pořadí „Successor“ (propojení s dalšími objekty v modelu) je výrobek dál přemístěn na správné místo.

Dalším nejjednodušším způsobem je pevné napojení na následující stanoviště. Toto nastavení lze použít u robotů, které nemusí čelit rozhodování na jaké místo daný výrobek odložit (Robot 11, Robot 15).

V návaznosti na zmetkovitost, která je definována v další podkapitole, je v modelu použito ještě jedno nastavení pro manipulaci robota. Ta je definována pomocí metody „move_part“.

```
// Definice proměnných
var rate_scrap: real
var value: real

// Přesun výrobku na správné místo
if @.part_ok then
  Robot11.move(Montaz)
else
  Robot11.move(Conveyor61)
end
```

Obrázek 34: Metoda – move_part

Robot 11 před montáží pomocí této metody dokáže rozpoznat, zda daný výrobek je zmetek, či nikoliv. Na základě toho rozřadí výrobky na správné místo.

8.1.3 Zmetkovitost

Zmetkovitost je v modelu zanesena dvěma způsoby viz kapitola 7.1.3. Níže bude zobrazeno výchozí nastavení modelu a způsob nastavení pracovišť právě pro zmíněné generování zmetků.

Zmetkovitost	
Stanoviště	%
Lakovna	5
Kontrola2	3
Kontrola3	5

Tabulka 7: Zmetkovitost

Ve výše uvedené tabulce můžeme vidět výchozí nastavení zmetkovitosti v modelu, kdy u stanoviště lakovny je tato zmetkovitost řešena pomocí následující metody:

```
var rate_scrap: real
var value: real

// Generování výroby a určení, zda je výrobek kvalitní nebo vadný
rate_scrap := z_uniform(1,0,100)
if rate_scrap > 95 then // Pokud je rate_scrap větší než , výrobek je vadný
  @.part_ok := false
else // Jinak je výrobek kvalitní
  @.part_ok := true
end
```

Obrázek 35: Metoda – zmetkovitost

Výrobek je definován jako zmetek či nikoliv na základě výše zobrazené metody rovnoměrného rozdělení a tento parametr je v něm uložen. Robot 11 na základě tohoto parametru dále přemísťuje tento výrobek. U kontrol 2 a 3 je definovaná zmetkovitost pomocí exitu nastaveného na pravděpodobnost.

Speciálním případem u zmetkovitosti je opravitelný zmetek, též definovaný v kapitole 7.1.3. V tomto případě je zmetek nejprve vyříděn Robotem 11, na zpětný dopravník, kde je následně rozhodnuto, zda lze tento výrobek ještě opravit či nikoliv. Ve výchozím nastavení je 70 % výrobků opravitelných.

8.1.4 Generování výrobků

Generování výrobků do systému je dle dané výrobní strategie A nastaveno tlačným způsobem. Vzhledem k již zmíněné problematice s omezeným množstvím výrobků, je tato situace řešena následovně.

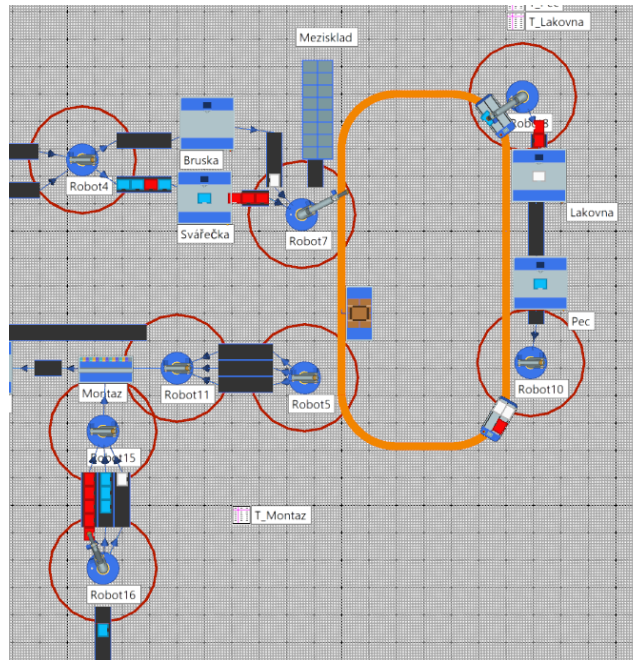
Výrobky jsou generovány v hlavní části modelu v sekvenci po dvou výrobcích od jednoho druhu v celkovém množství 32 kusů, kdy jeden výrobek je do systému generován každých 10 vteřin.

V části modelu Linky L jsou výrobky generovány v sekvenci po jednom výrobku od jednoho druhu v celkovém množství 32 kusů, kdy jeden výrobek je do systému generován každých 30 vteřin.

8.1.5 Vyhodnocení chování modelu

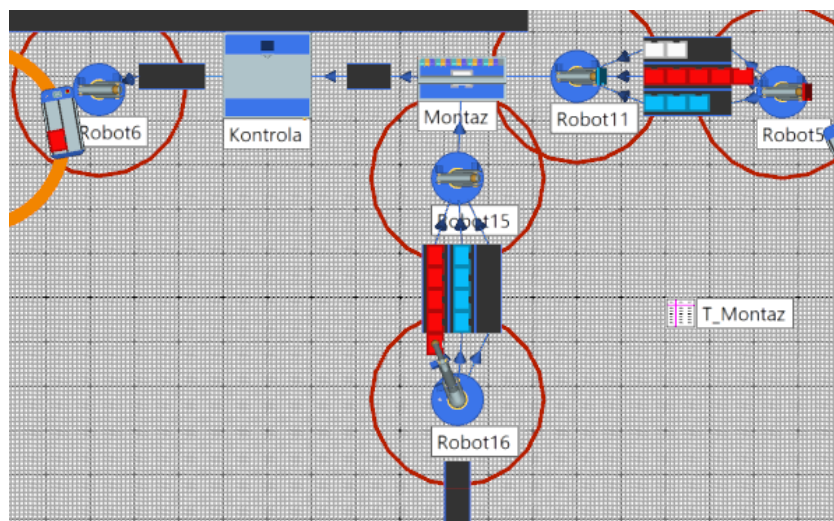
Na základě spuštění a analýzy simulačního běhu byly vypočítány následující vlastnosti a statistiky, viz obrázek 36:

- Vzhledem k tlačnému generování výrobků do systému je v celém modelu po dobu simulačního běhu značná rozpracovanost výrobků.
- Výrobní část Linky L je schopna vyrobit požadované množství výrobků rychleji než hlavní část modelu.
- V druhé části simulačního běhu vznikne před interní logistikou úzké místo ve výrobě, viz následující obrázek.



Obrázek 36: Úzké místo – varianta A

- Simulační běh je předčasně ukončen v čase 36:22 z důvodu chybějících vedlejších výrobků bílé barvy z Linky L, viz následující obrázek. Na tento problém též poukazuje nízká obsazenost daného dopravníku Conv_Bila2.



Obrázek 37: Předčasné ukončení simulačního běhu – varianta A

Důvodem této situace je procentuální zmetkovitost ve výrobě, kdy bílé výrobky byly odstraněny ze systému z důvodu vady a již nebyly dodavatelem nahrazeny.

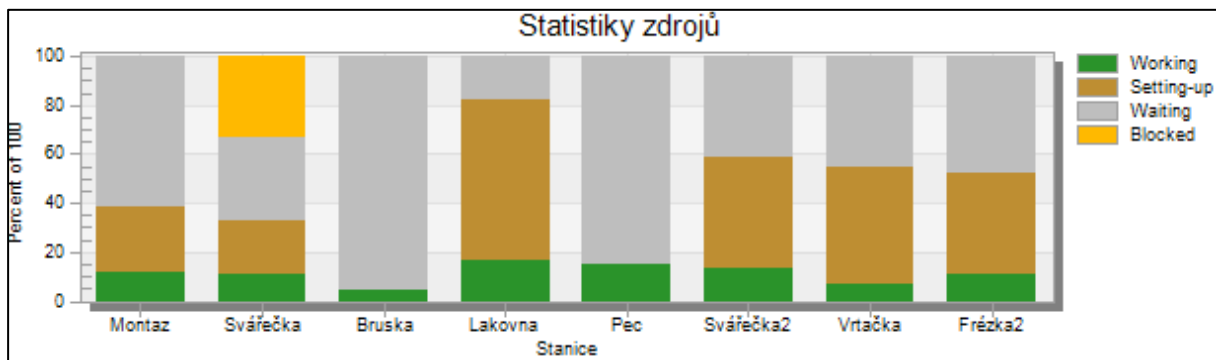
- V tomto simulačním běhu bylo odběrateli dopraveno 16 výrobků.
- Celkový výkon 26,4 výrobku za hodinu.

Odběratel	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bíla	15:55.1129	4:41.4536	11:40.1729	22:51.0516	2:21.9738	2:40.4157	9.0556	6:41.8006	7	11.547288	277.13492
Cervena	17:02.8673	4:58.8429	12:21.3870	24:20.5507	3:35.2246	3:58.1438	9.0556	7:08.9674	5	8.2480631	197.95352
Modra	18:04.4425	4:43.1901	14:41.1410	24:42.2468	3:50.6963	3:21.1905	9.0556	6:41.8006	4	6.5984505	158.36281

Obrázek 38: Statistika jednotlivých výrobků v systému A

Ve výše uvedeném obrázku je zobrazena hodnota průměrného času, průměrná odchylka, minimální či maximální čas, který stráví výrobek v celém procesu.

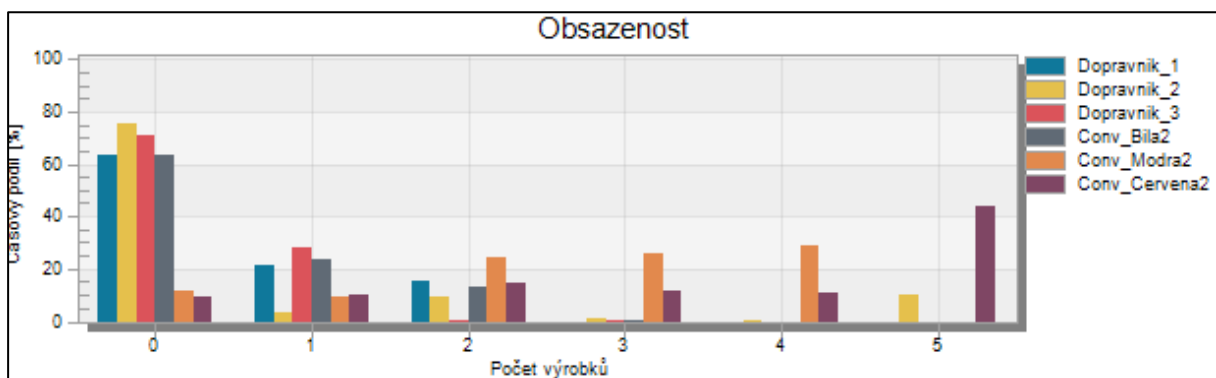
- Pracoviště montáže je při tomto nastavení vytíženo 11,4 % z celkového času.



Obrázek 39: Statistiky vytíženosti důležitých stanovišť A

Z obrázku č. 39 lze dále zjistit, že jednotlivá pracoviště nepracují více než 20 % z celkového času. U pracoviště Svářečky dochází k blokování pracoviště. Všechny pracoviště, které zpracovávají více druhů výrobků, jsou značně ovlivněny set-up časy.

- Obsazenost dopravníků v hlavní části modelu byla v průměru 12,7 % z celkového času. Z následujícího obrázku můžeme pozorovat zvýšené obsazení dopravníků transportující výrobky červené barvy. Maximální obsazenost je pěti výrobky. Lze tedy konstatovat, že výroba jednotlivých výrobků je nevyvážená, jelikož dopravník pro červené výrobky je plně obsazen více než 40 % z celkového času.



Obrázek 40: Obsazenost dopravníků před montáží A

Tento simulační běh varianty A potvrzuje, že při nastavení výrobní strategie tlačným způsobem nastává ve výrobě značná rozpracovanost jednotlivých výrobků. Výhodou tlačného způsobu je odhalení úzkého místa ve výrobě, které může být dále řešeno v rámci zefektivnění fungování modelu. V neposlední řadě klade důraz na důležitost informačního toku v dílně, kdy při neinformování dodavatele o nutné náhrady bílého výrobku je následně zastavena celá výroba kvůli jeho nedostatku. Report se statistiky se nachází v příloze C obrázek č. 88.

8.1.6 Změny parametrů a jejich dopady na simulační běh

Následně budou změněny výchozí parametry modelu a pozorován dopad těchto změn na výsledné statistiky.

8.1.6.1 Změna A1

Změna pořadí generování výrobků u Linky L, a následné vyřazení náhodně jiných zmetků se v simulačním běhu projevila následovně:

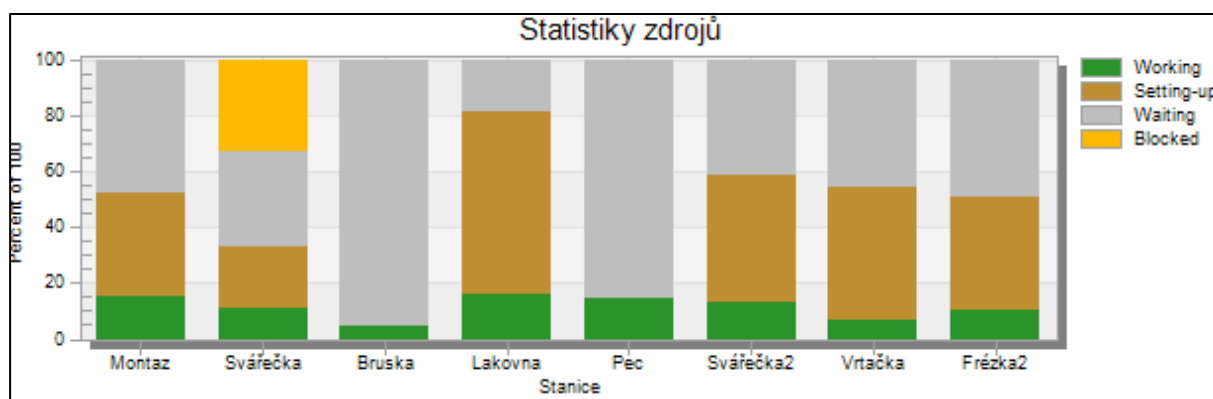
- Zvýšení dodaných finálních výrobků 20 z 32 potenciálních ks.
- Zvýšení celkového výkonu na 32,7 výrobku za hodinu.

Odběratel	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bíla	17:51.7275	5:36.1028	11:40.1729	24:45.2157	2:16.2304	2:26.2946	9:0556	6:41.8006	9	14.742007	353.80816
Cervena	18:47.6651	6:10.5956	12:21.3870	27:31.6539	3:36.1575	3:26.2491	9:0556	7:08.9674	6	9.8280044	235.8721
Modra	19:59.4569	5:55.3716	14:41.1410	27:39.5145	3:54.7861	2:44.4749	9:0556	6:41.8006	5	8.1900036	196.56009

Obrázek 41: Statistika jednotlivých výrobků v systému A po 1. změně

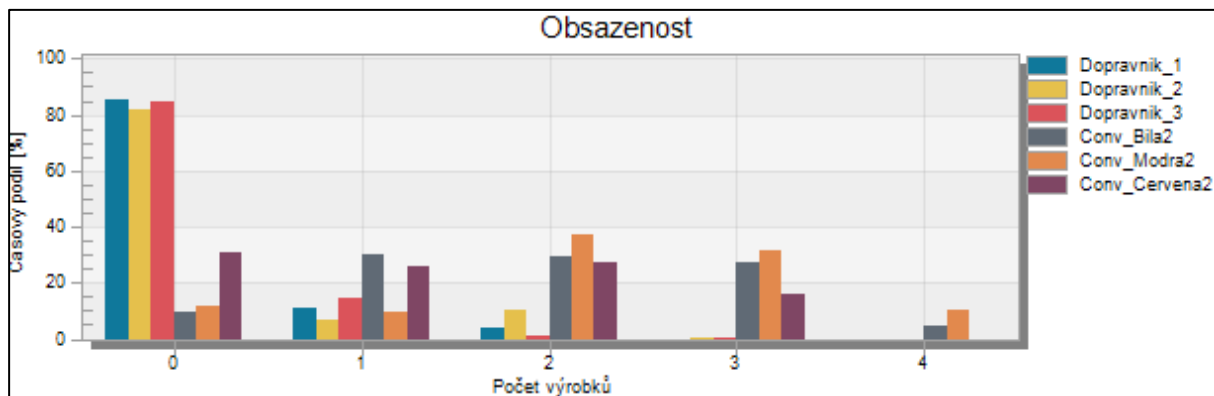
Hodnota průměrného času v systému vzrostla o jednotky minut i přesto, že došlo ke zvýšení výkonnosti.

- Zvýšení vytížení pracoviště montáže na 15,2 % z celkového času. Ostatní statistiky jednotlivých stanovišť jsou velmi podobné s výchozí variantou.



Obrázek 42: Statistika vytíženosti důležitých stanovišť A po 1. změně

- Obsazenost dopravníků v hlavní části modelu byla v průměru 5,6 % z celkového času. Zde bylo zaznamenáno výrazné zlepšení oproti výchozímu stavu. Dále také došlo k vyváženějšímu rozdělení výrobků na dopravnících před montáží, viz následující obrázek č. 43.



Obrázek 43: Obsazenost dopravníků před montáží A po 1. změně

Detailní statistiky jsou zobrazeny v reportu C obrázek č. 89.

8.1.6.2 Změna A2

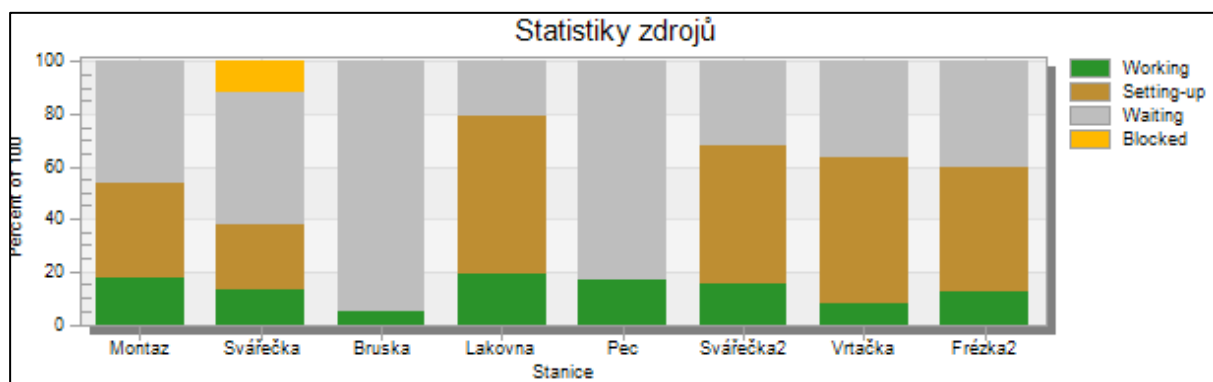
Při potenciálním řešení úzkého místa byla vnitropodniková logistika AGV posílena o jedno vozidlo. Tato změna způsobila následné změny:

- Stejné množství dodaných finálních výrobků 20 z 32 ks.
- Zvýšení celkového výkonu na 38 výrobku za hodinu.
- Též lze pozorovat snížení hodnoty průměrného času, především u červeného a bílého typu výrobku.

Odběratel	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bila	15:25.9635	3:42.0225	11:40.1729	20:43.1012	2:09.4607	2:32.7757	9.0556	6:25.9549	7	13.297922	319.15013
Cervena	17:41.2674	3:55.2074	12:21.3870	22:11.0004	1:57.4346	2:18.8012	9.0556	5:20.8200	8	15.197625	364.743
Modra	17:01.0922	3:19.3454	14:41.1410	22:44.5471	2:41.0443	3:26.7503	9.0556	7:26.8888	5	9.4985157	227.96438

Obrázek 44: Statistika jednotlivých výrobků v systému A po 2. změně

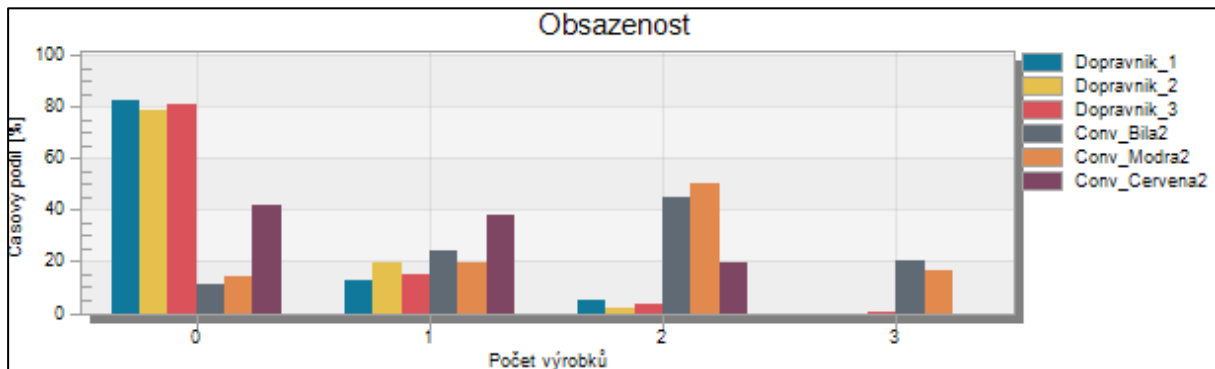
- Zvýšení vytížení pracoviště montáže na 17,7 % z celkového času.
- U pracoviště svářečky můžeme pozorovat značné snížení času blokace.
- Zbylé časy u důležitých pracovišť jsou mírně lepší, jedná se o zlepšení v rámci jednotek procent.



Obrázek 45: Statistiky vytíženosti důležitých stanovišť A po 2. změně

- Obsazenost dopravníků v hlavní části modelu byla v průměru 6 % z celkového času.

- Změna dále pozitivně ovlivnila dopravníkový buffer před pracovištěm montáže, kde došlo k dalšímu snížení maximální zásoby výrobků v jeden okamžik na 3 ks od jednoho druhu výrobku, viz obrázek 46.



Obrázek 46: Obsazenost dopravníků před montáží A po 2. změně

Detailní statistiky jsou zobrazeny v reportu C obrázek č. 90.

8.1.6.3 Změna A3

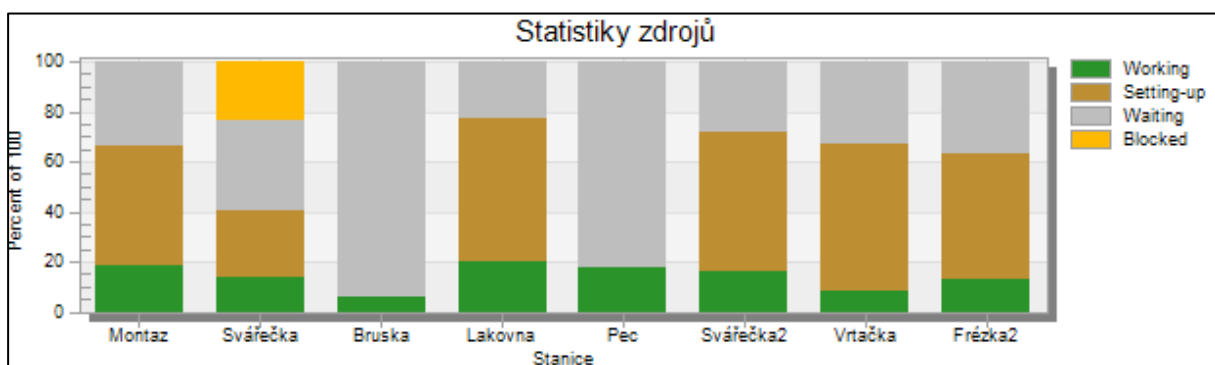
Druhou variantou řešení úzkého místa bylo zkrácení set-up času o 25 % za předpokladu aplikování metody průmyslového inženýrství SMED. Změna měla následný efekt:

- Stejně množství dodaných finálních výrobků 20 z 32 ks.
- Zvýšení celkového výkonu na 40 výrobku za hodinu.

Odběratel	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bila	15:51.0232	4:13.5255	11:10.1729	21:18.0686	2:02.8347	2:37.0748	9.0556	7:05.8666	8	16.035341	384.84818
Cervena	17:09.8244	4:03.4200	11:51.3870	22:36.9122	2:24.8164	2:37.5409	9.0556	6:26.6984	7	14.030923	336.74215
Modra	17:05.0037	3:36.3420	14:11.1410	23:01.4033	2:52.7583	3:19.8283	9.0556	7:07.8666	5	10.022088	240.53011

Obrázek 47: Statistika jednotlivých výrobků v systému A po 3. změně

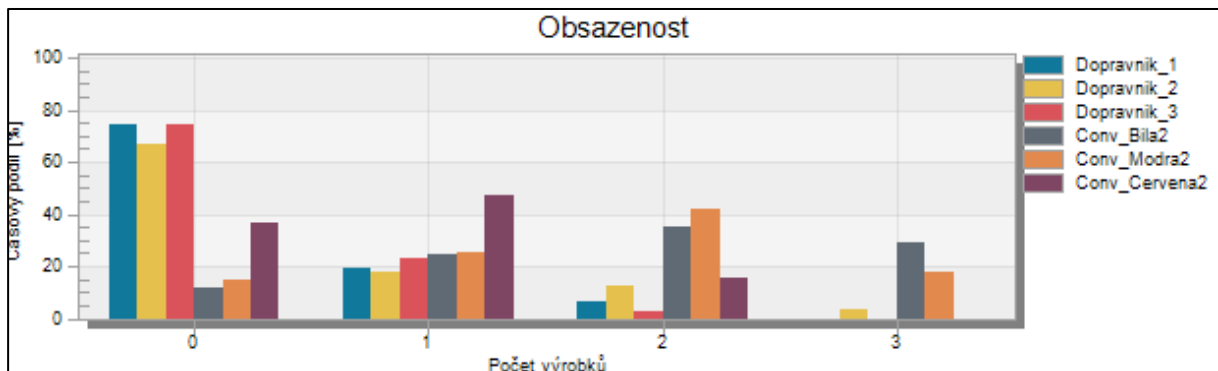
- Zvýšení využití pracoviště montáže na 18,7 % z celkového času.
- Znovu je oproti předešlé variantě blokována svářečka přes 20 % z celkového času.
- Zbylé časy u důležitých pracovišť jsou mírně lepší, jedná se o zlepšení v rámci jednotek procent.



Obrázek 48: Statistiky využití důležitých stanovišť A po 3. změně

- Obsazenost dopravníků v hlavní části modelu byla v průměru 9,3 % z celkového času.
- Z obrázku č. 49 lze sledovat velmi podobné zatížení dopravníku jako u předchozí varianty. Mírný nárůst obsazení nastal u dopravníku z hlavní části modelu.

- Větší zásoba v dopravníkovém bufferu je stále u výrobku modré a červené barvy.



Obrázek 49: Obsazenost dopravníků před montáží A po 3. změně

Detailní statistiky jsou zobrazeny v reportu C obrázek č. 91. Z výše zobrazených výsledků můžeme konstatovat, že po zavedení změn v modelu nastalo značné zlepšení v produktivitě modelu na finálních 40 výrobců za hodinu. Obsazenost dopravníků v hlavní části modelu byla v průměru nejnižší po zavedení první změny v modelu, a to 5,6 % z celkového času.

8.2 Simulační model – Varianta B

U varianty B došlo k výrazné změně pouze v části modelu Linky L, viz výše popsána strategie řízení výroby. Z tohoto důvodu nastavení základních parametrů časů, zmetkovitosti a robotů zůstává identické jako u předchozí kapitoly 8.1.

8.2.1 Generování výrobků

Hlavní změnou je již zmíněné generování výrobků do systému, které se ze strategie tlaku mění v tažný princip, konkrétně KANBAN. Jedná se o princip, kdy je vygenerovaná první určitá dávka výrobků, která při jejich zpracování předává informaci na začátek řetězce (Dodavatel, sklad), aby právě zpracovaný výrobek byl znovu vygenerován do systému.

V rámci výchozího nastavení této simulace byl zvolen celkový počet šesti výrobků, dva od každého druhu, po jejich zpracování dochází ke generování výrobků ve vztahu ke zpracování na stanovišti montáže. Tento vztah byl nastaven následující metodou, která byla vložena do pracoviště montáže a je aktivována vstupem výrobku na toto pracoviště.

```

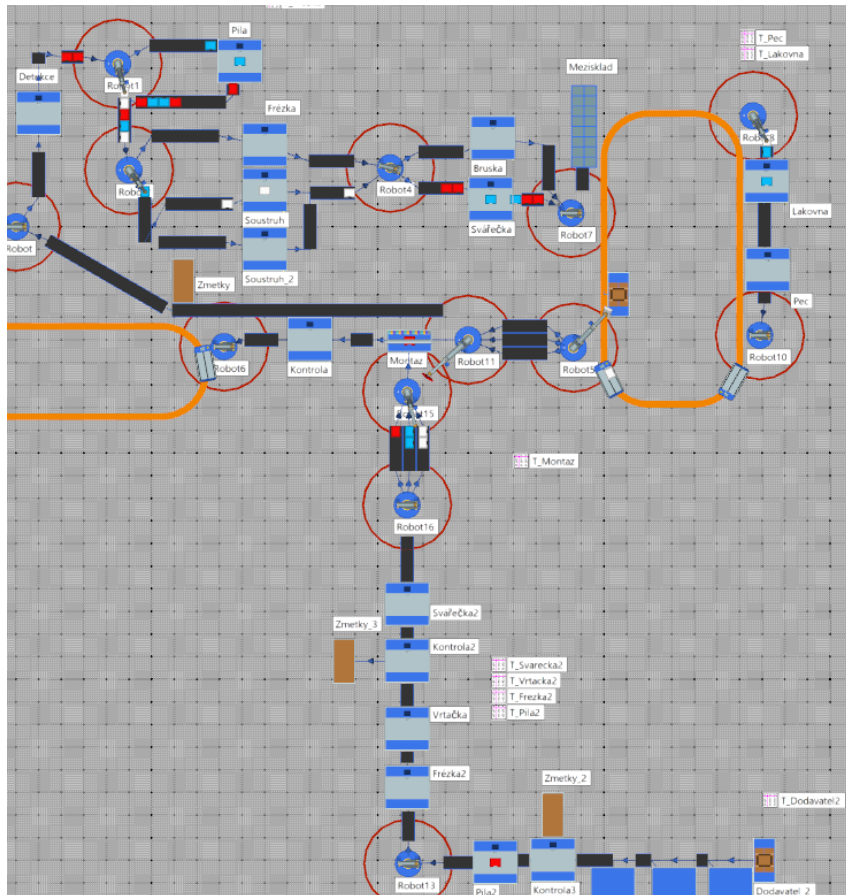
if @.Name = "Modra" then
    obj := .MUs.Part.create(root.Sklad_slot1)
    obj._3D.MaterialActive := true
    obj.Name := "Modra2"
    obj._3D.MaterialDiffuseColor := 16760576
elseif @.Name = "Cervena" then
    obj := .MUs.Part.create(root.Sklad_slot2)
    obj._3D.MaterialActive := true
    obj.Name := "Cervena2"
    obj._3D.MaterialDiffuseColor := 255
elseif @.Name = "Bila" then
    obj := .MUs.Part.create(root.Sklad_slot3)
    obj._3D.MaterialActive := true
    obj.Name := "Bila2"
    obj._3D.MaterialDiffuseColor := 16777215
end
    
```

Obrázek 50: Metoda – KANBAN Linka L

8.2.2 Vyhodnocení chování modelu

Na základě spuštění a analýzy simulačního běhu byly vypočítány následující vlastnosti a statistiky:

- Odlišná strategie řízení výroby hlavní části modelu a Linky L je zřejmá na první pohled. Zatímco v hlavní části modelu je značná rozpracovanost výrobků v systému, u Linky L jsou výrobky generovány pouze dle požadavku montáže, viz obrázek níže.



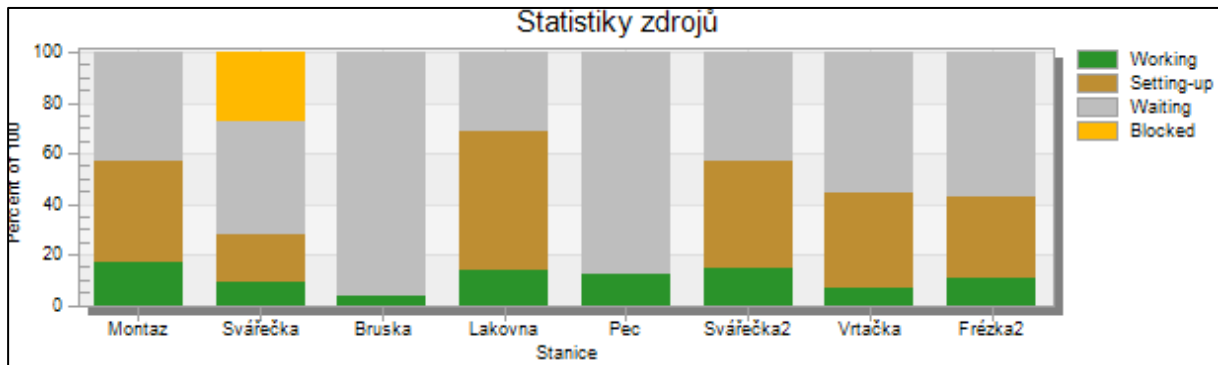
Obrázek 51: Porovnání dvou strategií řízení výroby

- Vzhledem k řízení Linky L tažným principem je na konci simulačního běhu vyrobeno maximální možné množství finálního výrobku a již nedochází k nedostatku vedlejších částí výrobku.
- Stanoviště montáže občas čeká na vedlejší části hlavního výrobku z Linky L. Tato situace pravděpodobně nastala z důvodu délky procesu výroby vedlejšího výrobku, který je příliš dlouhý, aby při tomto nastavení stíhal takt hlavní části modelu.
- V druhé části simulačního běhu vznikne před interní logistikou úzké místo ve výrobě, viz problém u varianty A.
- V tomto simulačním běhu bylo odběrateli dopraveno 28 výrobků z 32 potenciálních.
- Celkový výkon 38,5 výrobku za hodinu.

Odběratel	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bílá	19:37.8182	7:23.5227	11:40.1729	33:40.9320	2:51.5938	2:45.9501	9.0556	6:45.1989	10	13.767749	330.42599
Cervena	24:45.2027	8:06.6552	12:21.3870	33:17.6358	2:38.0567	2:51.7082	9.0556	7:08.9674	11	15.144524	363.46859
Modra	23:57.9566	8:11.9473	14:47.6898	34:47.1349	3:57.2200	2:10.0708	9.0556	6:41.8006	7	9.6374246	231.29819

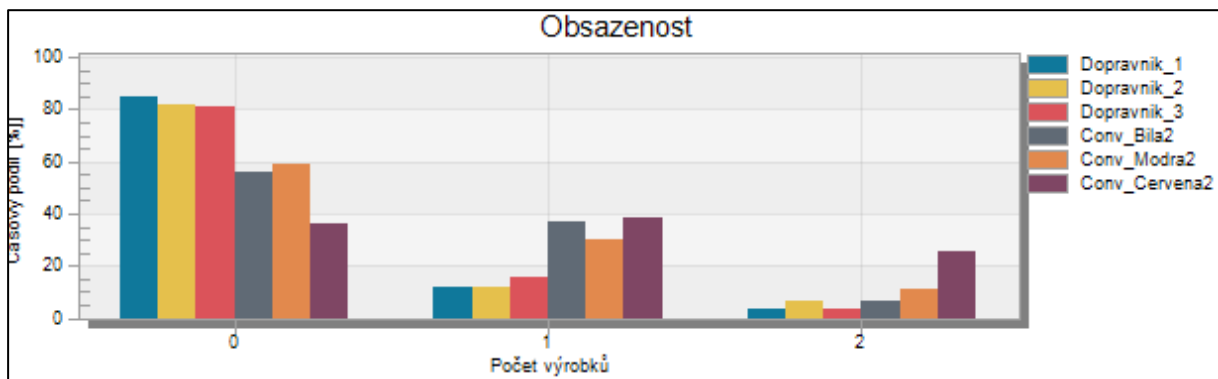
Obrázek 52: Statistika jednotlivých výrobků v systému B

- V porovnání s výchozím nastavením varianty A došlo ke zvýšení vytížení pracoviště montáže na 17,2 % z celkového času.
- U zbylých stanic došlo oproti výchozímu nastavení varianty A ke snížení vytížení pracovišť v jednotkách %.



Obrázek 53: Statistika vytíženosti důležitých stanovišť B

- Obsazenost dopravníků v hlavní části modelu byla v průměru 5,7 % z celkového času.
- Obsazenost dopravníků v části modelu Linky L byla v průměru 12,7 % z celkového času.



Obrázek 54: Obsazenost dopravníků před montáží B

Zde nastala největší změna oproti variantě A. Maximální počet na dopravník je 2 ks a to maximálně 25 % z celkového času. Můžeme pozorovat vyvážené zásobování dopravníkových bufferů.

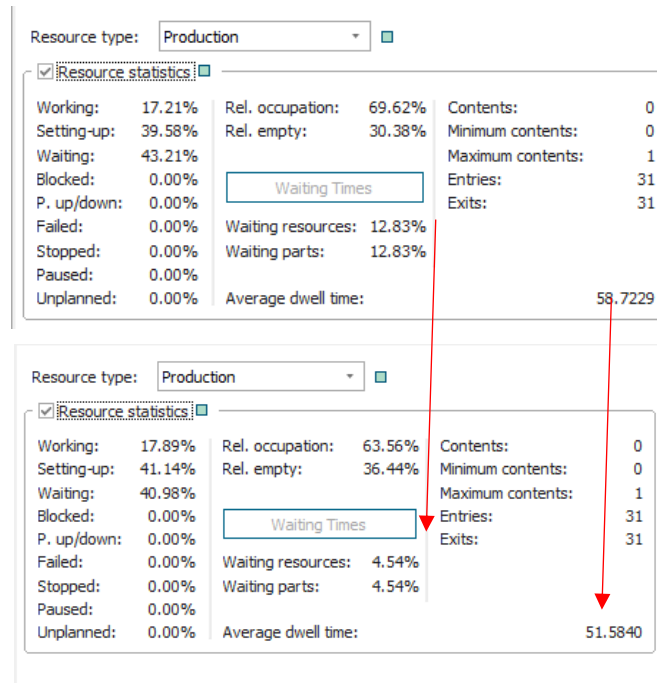
Detailní statistiky jsou zobrazeny v reportu C obrázek č. 92.

8.2.3 Změny parametrů a jejich dopady na simulační běh

V návaznosti na odhalení občasného čekání pracoviště montáže na vedlejší výrobky, byla změna parametru zaměřena na tuto část. K řešení problematiky byly zvoleny dva přístupy, které jsou níže charakterizovány se zobrazenými výsledky řešení.

8.2.3.1 Změna B1

První změna v modelu byla zaměřena na zvýšený počet KANBAN karet tak, aby se zvýšila kapacita bufferu před montáží a nedocházelo tak k nedostatku výrobků. Kapacita karet v oběhu byla zvýšena z 6 ks na 9 ks (od každé barvy 3 ks).



Obrázek 55: Výsledný efekt zvýšení počtu KANBAN karet

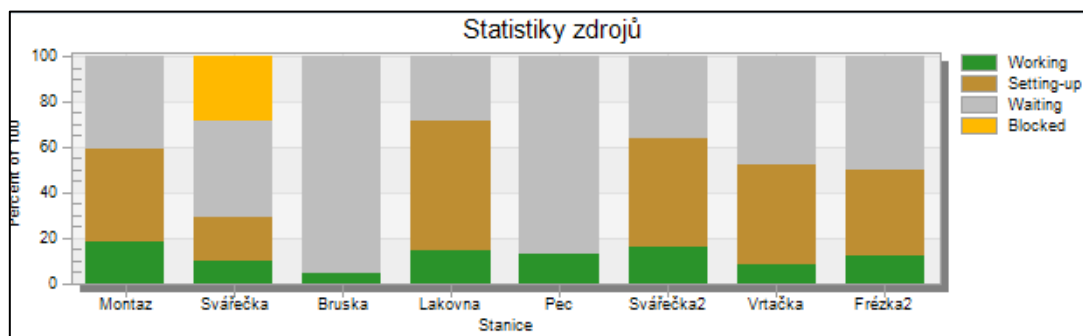
Na základě zvýšení počtu kanbanových karet můžeme pozorovat 8 % snížení čekání na vedlejší část výrobku a snížení doby prodlevy o 7 vteřin. Dále byly zaznamenány následující změny:

- V tomto simulačním běhu bylo odběrateli doručeno 28 výrobků.
- Zvýšení celkového výkonu na 40 výrobků za hodinu.

Odběratel	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bílá	19:23.0395	7:08.7101	11:40.1729	33:04.8480	2:47.5845	2:46.0560	9:0556	6:58.4177	10	14.308002	343.39204
Cervena	24:19.8904	7:45.2834	12:21.3870	32:41.5519	2:34.4483	2:49.1743	9:0556	7:08.9674	11	15.738802	377.73125
Modrá	23:38.1379	7:55.5513	14:41.1410	34:11.0510	3:52.2974	2:07.4666	9:0556	6:41.8006	7	10.015601	240.37443

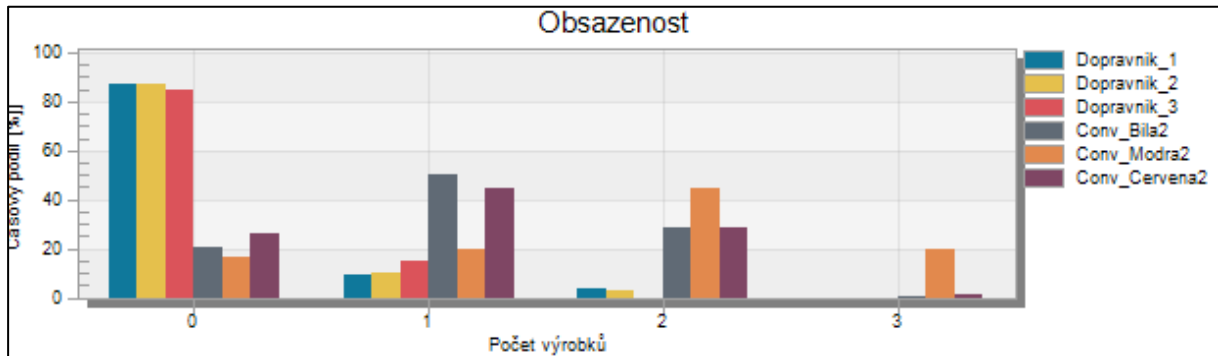
Obrázek 56: Statistika jednotlivých výrobků v systému B po 1. změně

- Nepatrné zvýšení vytížení pracoviště montáže na 17,9 % z celkového času.
- Zbylé časy u důležitých pracovišť jsou mírně lepší, jedná se o zlepšení v rámci jednotek procent.



Obrázek 57: Statistika vytíženosti důležitých stanovišť B po 1. změně

- Obsazenost dopravníků v hlavní části modelu byla v průměru 4 % z celkového času.
- Obsazenost dopravníků v části modelu Linky L byla v průměru 31,7 % z celkového času.
- Nárůst obsazení dopravníků na maximální počet 3 ks (zejména modré výrobky z linky L).

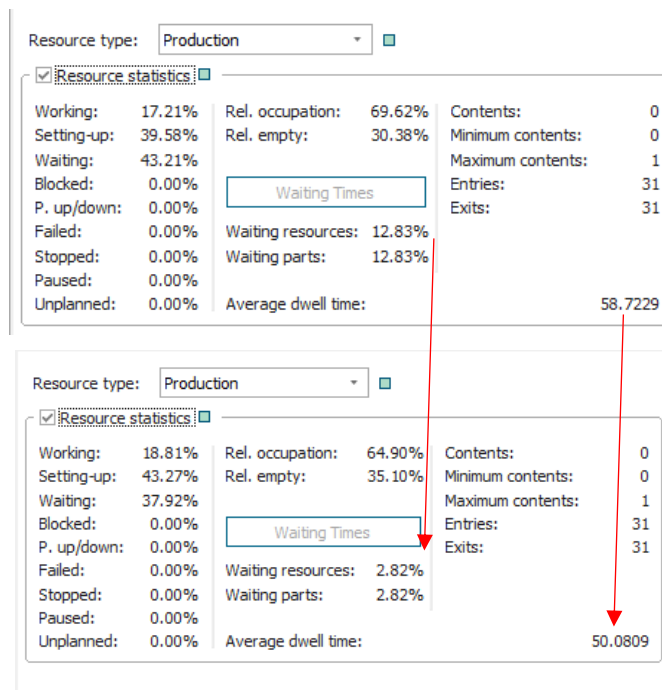


Obrázek 58: Obsazenost dopravníků před montáží B po 1. změně

Detailní statistiky jsou zobrazeny v reportu C obrázek č. 93.

8.2.3.2 Změna B2

V druhém případě byl zachován počet kanbanových karet, ale byla přesunuta metoda pro generování vedlejších výrobků na stanoviště pece. Tímto dochází k dřívějšímu zavolání metody, a je tím pádem více času na výrobu požadovaného výrobku.



Obrázek 59: Zvýšení reakčního času na výrobu vedlejšího výrobku

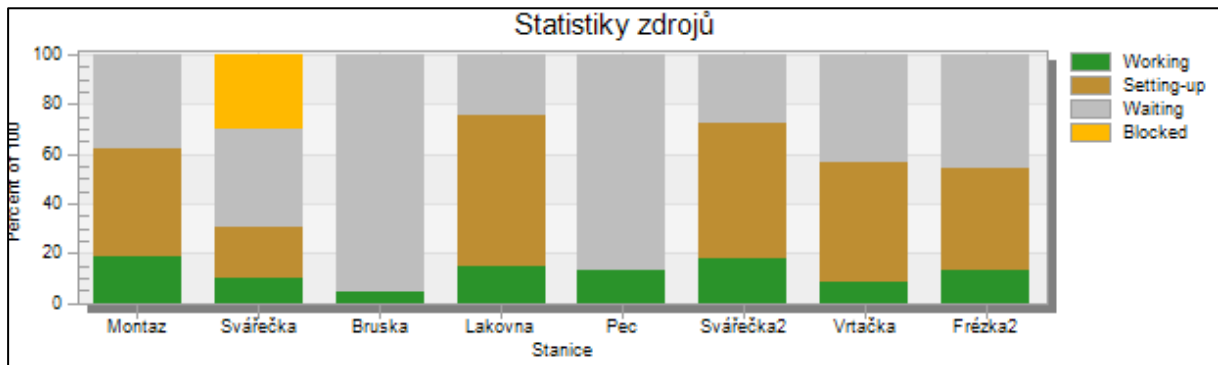
Výsledný efekt se projeví snížením čekání na výrobky o 10 % a času prodlevy o 8 vteřin. Dále byly zaznamenány následující změny:

- V tomto simulačním běhu bylo odběrateli dopraveno 28 výrobků, stejně jako u výchozí varianty B.
- Zvýšení celkového výkonu na 42 výrobku za hodinu.

Odběratel	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bílá	19:23.0395	7:08.7101	11:40.1729	33:04.8480	2:47.5845	2:46.0560	9.0556	6:58.4177	10	15.049931	361.19835
Cervena	24:15.7239	7:41.8755	12:21.3870	32:41.5519	2:34.4483	2:49.0139	9.0556	7:08.9674	11	16.554925	397.31819
Modra	23:35.9554	7:53.1145	14:41.1410	34:11.0510	3:52.2974	2:07.7344	9.0556	6:41.8006	7	10.534952	252.83885

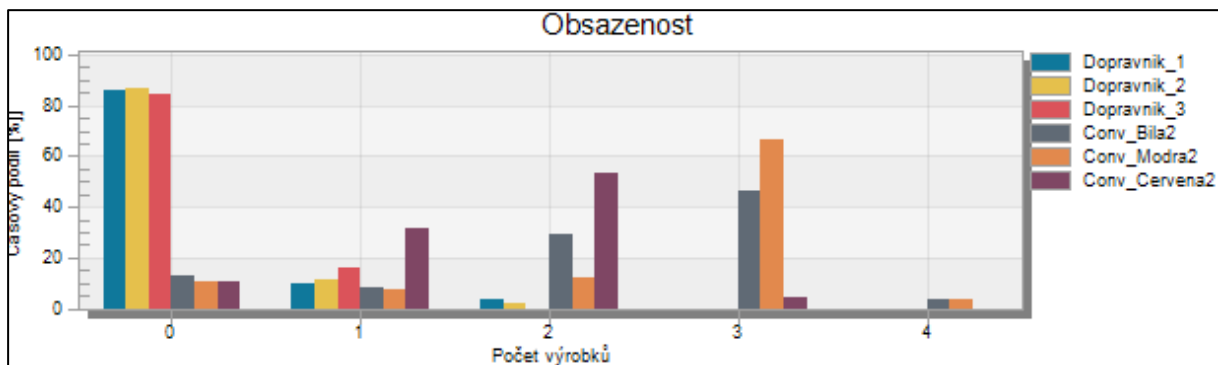
Obrázek 60: Statistika jednotlivých výrobků v systému B po 2. změně

- Nepatrné zvýšení vytížení pracoviště montáže na 18,8 % z celkového času.
- Mírné zvýšení vytížení ostatních vybraných stanišť.



Obrázek 61: Statistiky vytíženosti důležitých stanišť B po 2. změně

- Obsazenost dopravníků v hlavní části modelu byla v průměru 4 % z celkového času.
- Obsazenost dopravníků v části modelu Linky L byla v průměru 51,4 % z celkového času.
- Oproti předešlé variantě lze pozorovat značné zvýšení obsazenosti výrobků u vedlejší linky.



Obrázek 62: Obsazenost dopravníků před montáží B po 2. změně

Detailní statistiky jsou zobrazeny v reportu C obrázek č. 94.

Z výsledků je patrné, že při zvyšování výrobků ve vedlejší části Linky L dochází k redukcí čekání na tyto části výrobku. Zároveň je zvyšován takt výroby. Roste však rozpracovanost a zásoba na dopravnících zásobující stanoviště montáže.

8.3 Simulační model – Varianta C

U varianty C byla změněna strategie výroby v hlavní části modelu. Stejně tak jako v předchozím případě u Linky L byla varianta řízení principem tlaku změněna na princip tahu. Nastavení výchozích parametrů zůstává i pro tuto variantu stejné. Jediná změna nastala v principu žádání v hlavní části modelu, viz níže.

8.3.1 Generování výrobků

Obdobně jako u předchozí varianty je generování do systému řízeno KANBANEM. V hlavní části modelu je definováno 9 kanbanových karet od každého typu výrobku 3 ks. Následně probíhá generování na základě vyvolané metody níže. Tato metoda je umístěna před pracovištěm montáže a je spuštěna manipulací Robota 5 s výrobkem.

```
var obj : object
if @.Name = "Modra" then
    obj := .MUs.part.create(root.Buffer1)
    obj._3D.MaterialActive := true
    obj.Name := "Modra"
    obj._3D.MaterialDiffuseColor := 16760576
elseif @.Name = "Cervena" then
    obj := .MUs.part.create(root.Buffer2)
    obj._3D.MaterialActive := true
    obj.Name := "Cervena"
    obj._3D.MaterialDiffuseColor := 255
elseif @.Name = "Bila" then
    obj := .MUs.part.create(root.Buffer3)
    obj._3D.MaterialActive := true
    obj.Name := "Bila"
    obj._3D.MaterialDiffuseColor := 16777215
end
```

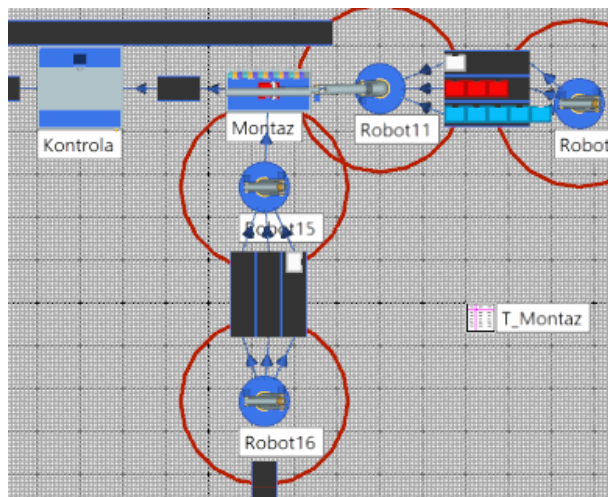
Obrázek 63:Metoda-KANBAN hlavní část

Další změnou oproti předchozím variantám je množství výrobků v hlavní části systému. Vzhledem ke generování výrobků na základě informace od předposledního stanoviště v celém modelu, lze fyzicky již zpracované výrobky znovu zařadit do systému, a není tak nutno simulační běh omezovat přesným množstvím výrobků jako v předchozích variantách. Vzhledem k této skutečnosti by simulační běhy mohly být spuštěny velmi dlouho. Proto budou simulační běhy omezeny časem, a to na 1 hodinu simulačního běhu.

8.3.2 Vyhodnocení chování modelu

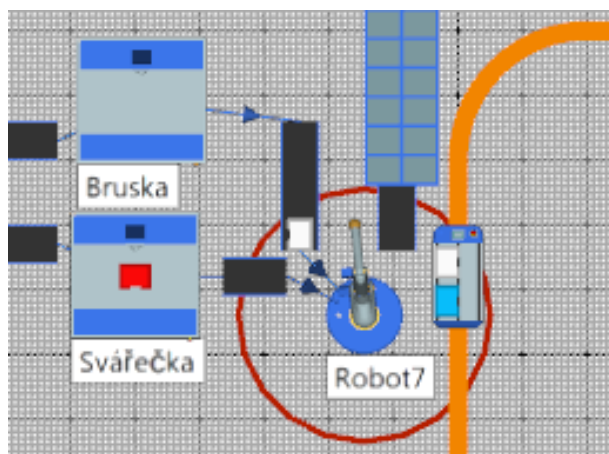
Na základě spuštění a analýzy simulačního běhu byly vypořazovány následující vlastnosti a statistiky:

- Poprvé nedojde k ukončení simulace předčasně z důvodu nedostatku některého z druhů výrobků.
- Z důvodu kapacity AGV je vždy jeden výrobek zastaven na začátku celého procesu.
- V druhé části simulačního běhu přibližně okolo 35. minuty začne vznikat buffer před montáží ze strany hlavní části modelu, viz obrázek níže. Tento problém je zapříčiněn odlišným počtem kanbanových karet v jednotlivých částech modelu.



Obrázek 64: Vznik bufferu před montáží

- Změna strategie řízení výroby v hlavní části modelu odstranila úzké místo před interní logistikou.



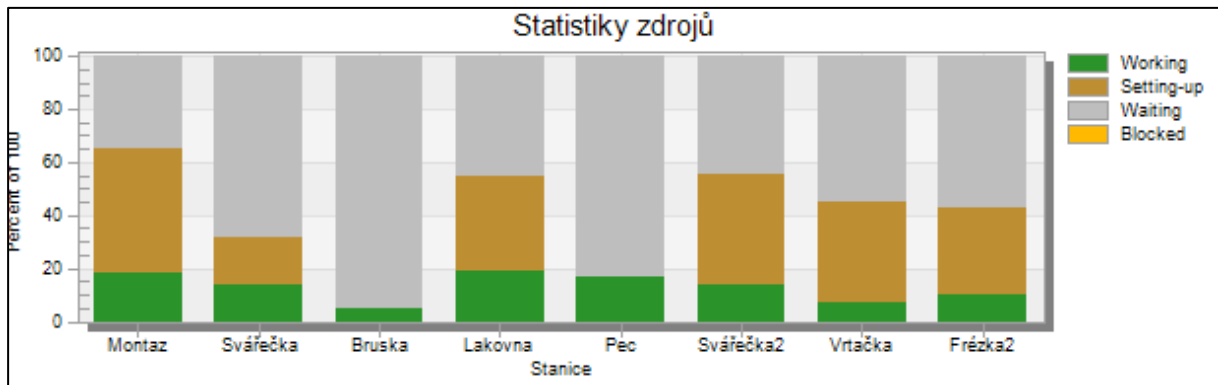
Obrázek 65: Zánik úzkého místa

- V tomto simulačním běhu bylo odběrateli dopraveno 44 výrobků za hodinu.
- Trvání simulačního běhu bylo nastaveno na 1 hodinu.
- V porovnání s výchozí variantou A je průměrná hodnota výchozího času vyšší.
- V porovnání s výchozí variantou B je průměrná hodnota výchozího času nižší.

Odběratel	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bila	16:35.3295	3:17.6943	11:05.6980	23:02.0177	3:23.0923	3:37.0894	9.0556	11:56.8210	15	15	360
Cervena	17:35.8757	3:27.6454	12:03.1345	22:23.0728	3:20.5050	2:12.0803	9.0556	7:18.5739	15	15	360
Modra	20:45.8420	3:59.6455	16:13.7680	28:33.4316	3:13.2374	3:34.1479	9.0556	11:13.9322	14	14	336

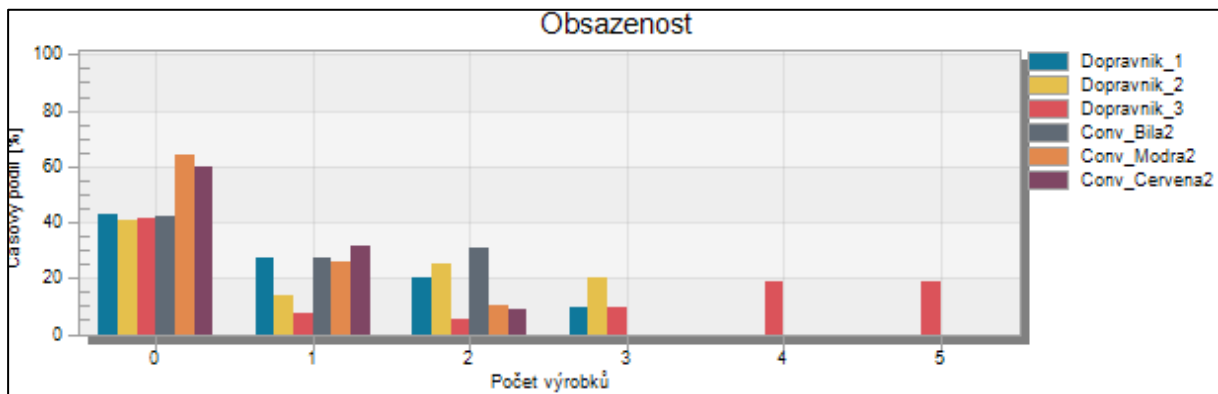
Obrázek 66: Statistika jednotlivých výrobků v systému C

- Vytížení pracoviště montáže je nejvyšší z výchozích nastavení, a to 18 % z celkového času.
- Mírné zvýšení vytížení ostatních vybraných stanovišť.
- Zbylé pracoviště jsou též vytíženy nejvíce z výchozích variant.
- Průměrná doba čekání AGV 90,7 %.
- Čekání pracoviště montáže na výrobky 18 %.



Obrázek 67: Statistiky vytíženosti důležitých stanic C

- Obsazenost dopravníků v hlavní části modelu byla v průměru 34,3 % z celkového času.
- Obsazenost dopravníků v části modelu Linky L byla v průměru 15,3 % z celkového času.
- Dopravníky hlavní linky jsou obsazeny z více než 50 % času.



Obrázek 68: Obsazenost dopravníků před montáží C

Detailní statistiky jsou zobrazeny v reportu C obrázek č. 95.

8.3.3 Změny parametrů a jejich dopady na simulační běh

Jelikož je výrobek v celém systému přepravován třikrát pomocí AGV, bude zajímavé sledovat, jak se projeví změny jednotlivých parametrů tohoto vozidla na výslednou produkci modelu. Vzhledem k odlišnému počtu kanbanových karet (6 a 9) v oběhu a počtu (4) míst pro přepravu AGV bude provedena změna počtu míst pro přepravu výrobků.

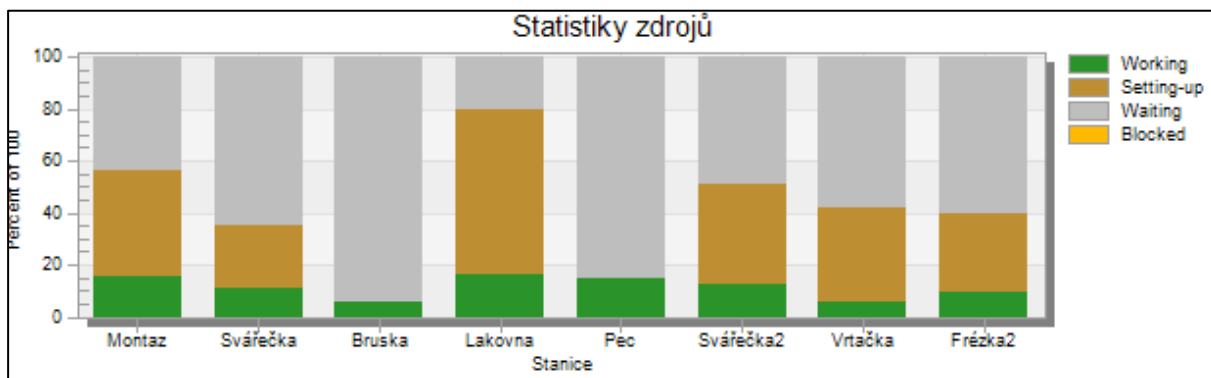
Po změně kapacity AGV na přepravní dávku 3 ks jsou statistiky následující:

- V tomto simulačním běhu bylo odběrateli dopraveno 36 výrobků za hodinu.
- V porovnání s výchozí variantou C je průměrná hodnota výchozího času nižší.

Odběratel	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bila	17:29.7338	6:58.0999	9:30.7446	29:12.0150	4:03.6690	2:35.0339	9.0556	7:44.7406	12	12	288
Cervena	16:44.5120	4:52.4977	10:59.3760	26:41.8850	4:01.1993	2:16.1424	9.0556	8:12.5110	12	12	288
Modra	16:54.8653	3:31.4447	13:14.6547	25:35.6067	3:49.6386	2:04.6277	9.0556	5:44.3027	12	12	288

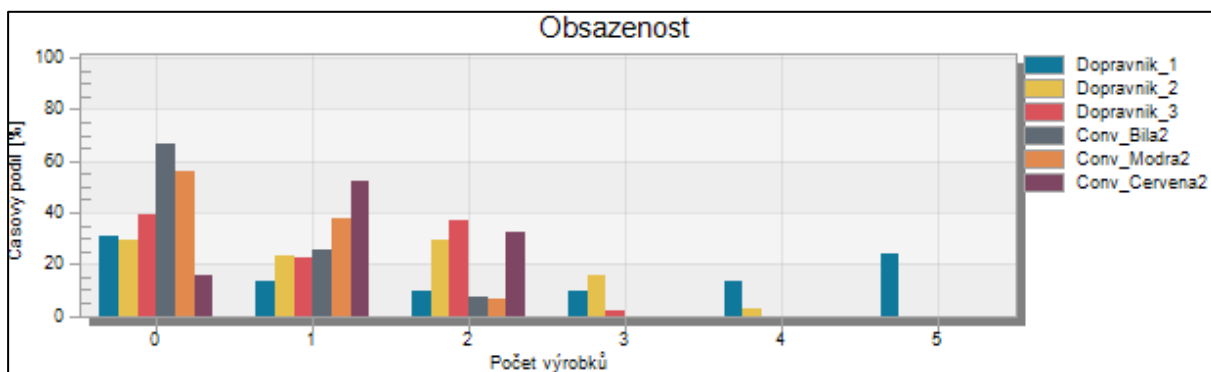
Obrázek 69: Statistika jednotlivých výrobků v systému C po 1. změně

- Průměrná doba čekání AGV 89,7 %.
- Čekání pracoviště montáže na výrobky 30,11 %.
- Vytížení pracoviště montáže kleslo na 15 % z celkového času.
- Výkonnost ostatních vybraných stanovišť též klesla v jednotkách procent.



Obrázek 70: Statistiky vytíženosti důležitých stanovišť C po 1. změně

- Obsazenost dopravníků v hlavní části modelu byla v průměru 37,7 % z celkového času.
- Obsazenost dopravníků v části modelu Linky L byla v průměru 17,3 % z celkového času.
- Lze pozorovat zvýšení obsazenosti dopravníků.



Obrázek 71: Obsazenost dopravníků před montáží C po 1. změně

Detailní statistiky jsou zobrazeny v reportu C obrázek č. 95.

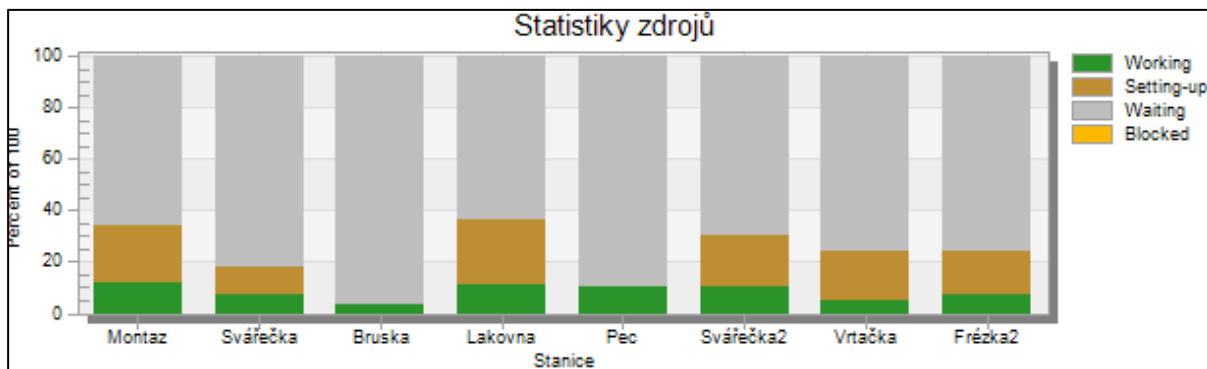
Poslední změnou byla úprava kapacity AGV na 6 ks. Po simulačním běhu byly následující výsledky:

- V tomto simulačním běhu bylo odběrateli dopraveno 24 výrobků za hodinu.
- Oproti předešlé variantě došlo k výraznému nárůstu hodnoty průměrného času.

Odběratel	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bila	20:46.1793	3:54.7090	16:45.6539	29:25.1422	3:45.4688	6:09.8701	9.0556	13:11.1654	8	8	192
Cervena	23:22.1496	5:49.1543	17:32.8206	31:27.0595	4:53.0012	5:50.3450	9.0556	13:11.1654	8	8	192
Modra	25:47.6945	8:09.8901	17:31.8762	40:11.3243	4:56.8821	6:04.7125	9.0556	13:11.1654	8	8	192

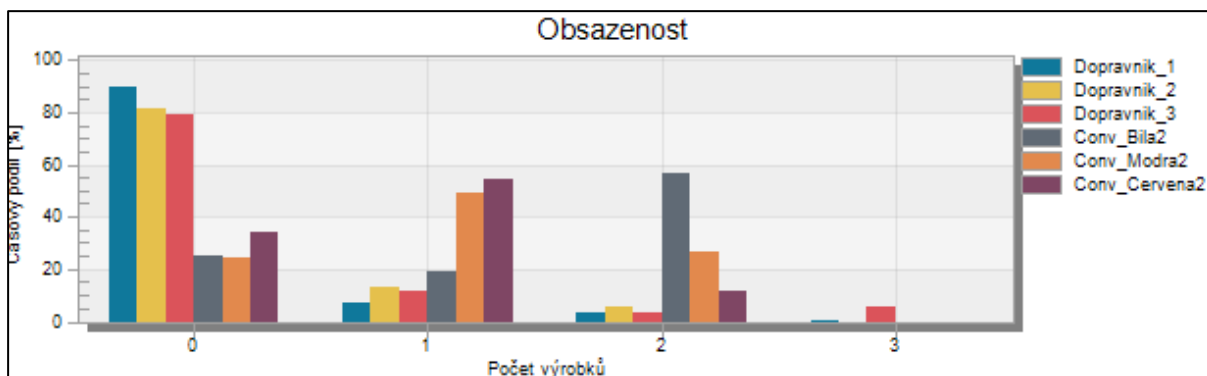
Obrázek 72: Statistika jednotlivých výrobků v systému C po 2. změně

- Průměrná doba čekání AGV 96,3 %.
- Čekání pracoviště montáže na výrobky 22 %.
- Vytížení pracoviště montáže kleslo na 12 % z celkového času.
- Výkonnost ostatních vybraných stanovišť též klesla v jednotkách procent.



Obrázek 73: Statistiky vytíženosti důležitých stanišť C po 2. změně

- Obsazenost dopravníků v hlavní části modelu byla v průměru 6 % z celkového času.
- Obsazenost dopravníků v části modelu Linky L byla v průměru 26 % z celkového času.
- Lze pozorovat snížení maximální obsazenosti dopravníků na max 3 kusy současně.



Obrázek 74: Obsazenost dopravníků před montáží C po 2. změně

Na základě výše uvedených výsledků lze konstatovat, že v současně nastavené simulaci je nevhodnější využívat AGV s kapacitou čtyři výrobky. Zavedené změny ovlivnily výkonnost simulačního modelu záporně.

8.4 Porovnání variant jednotlivých vybraných řešení

V Software Tecnomatix Plant Simulation byly vybrané varianty implementovány na zvolený model dílny. Byly provedeny simulační běhy s výchozím nastavením, které bylo, co se týče základních parametrů (čas, zmetkovitost, mat. tok), stejné pro všechny tři varianty. Generování výrobků do systému bylo na základě zvolené strategie řízení výroby. U každé varianty bylo vyhodnoceno chování modelu a základní rysy, které zvolená strategie interpretuje. Následně byly navrženy změny určených parametrů k ovlivnění simulačních běhů a pozorování důsledku zavedení této změny do simulačního běhu.

První varianta A při simulačním běhu zobrazuje charakteristické rysy výroby řízené tlačným způsobem. V simulaci je vidět velká rozpracovanost jednotlivých výrobků, vznik úzkého místa a front. Varianta B zobrazuje výrobu s kombinovaným řízením výroby, kdy je zřetelně zobrazeno, jak daná část modelu tlačí výrobky skrz jednotlivá pracoviště a jaké výhody/nevýhody to přináší. Souběžně lze pozorovat tažný systém v druhé polovině modelu. Poslední varianta C založená na tažném principu interpretuje občasně nedostatky výrobků na konci procesního řetězce, kde je nutné mít před pracovištěm buffer. Přesto z hlediska výkonnosti jednotlivých simulovaných variant se jedná o nevhodnější nastavení modelu.

V následující tabulce jsou zobrazeny hlavní parametry, které byly sledovány při všech simulačních bězích.

Varianty	Vyrobené množství výrobků	Výkonnost výrobek/hod	Vytížení pracoviště montáže [%]	Průměrná obsazenost dopravníků hl. část [%]
A	16	26,4	11,4	12,7
A1	20	32,7	15,2	5,6
A2	20	38	17,7	6
A3	20	40	18,7	9,3
B	28	38,5	17,2	5,7
B1	28	40	17,9	4
B2	28	42	18,8	4
C	44	44	18	34,3
C1	36	36	15	37,7
C2	24	24	12	6

Tabulka 8: Celkové porovnání hlavních parametrů

Na základě provedených simulací lze potvrdit, že model při tomto nastavení interpretuje chování výroby dle dané strategie a zároveň je schopný interpretovat i následné zavedené změny. Lze tedy konstatovat, že pokud hardwarový model bude respektovat navržený softwarový model v rámci celkového nastavení, bude pomocí něj možné interpretovat problematiku jednotlivých nastavení výroby a její řešení spojené s výrobou.

Závěr

Diplomová práce má za cíl navrhnout hardwarový model reflektující omezení stavebnice Fischertechnik, který je vytvořen v softwarovém prostředí simulačního programu Tecnomatix Plant Simulation. Pomocí navržených variant a definovaných scénářů má za cíl interpretovat jednotlivé metody průmyslového inženýrství, jejich vliv na simulační běhy a jednotlivé varianty zároveň porovnat.

V rámci diplomové práce je teoretická část práce rozdělena do pěti hlavních kapitol, přičemž se první tři kapitoly zaměřují na teoretický základ zkoumané problematiky průmyslového inženýrství, jeho metod a simulací. Zbývající dvě kapitoly teoreticky popisují jednotlivá omezení a možnosti pro následné empirické šetření.

V rámci praktické části je diplomová práce rozdělena do třech hlavních kapitol, přičemž se první dvě kapitoly zaměřují na návrh hardwarového modelu, jeho odlišné varianty a funkčnost vybrané varianty.

V první kapitole jsou představeny jednotlivé varianty navrhovaného hardwarového modelu. Od prvního návrhu, který byl zakreslen pouze tužkou bez hlubších vazeb na funkčnost modelu až po víceúčelové varianty, které nabízejí široké využití. Před koncem kapitoly jsou navrhované varianty hodnoceny Saatyho vícekriteriální metodou. V potaz jsou brány tři hlavní parametry: variabilita, aplikovatelnost metod průmyslového inženýrství a realizovatelnost. Výsledkem je volba optimální varianty z nabízených řešení.

V druhé kapitole je zvolená varianta detailně popsána. Detailně je popsáno rozložení pracovišť v modelu a variabilita odpojení jednotlivých částí. Dále jsou představeny možnosti, které model nabízí v rámci experimentů a změn v návaznosti na strategie řízení modelu, nastavení pracovišť a další parametry. Na konci druhé kapitoly jsou navrženy strategie řízení modelu s definovanými parametry pro celý model. Každá strategie je odlišná a je zde snaha o zobrazení odlišností (výhod/nevýhod) jednotlivých variant řízení výroby. Zároveň jsou v rámci variant aplikovány metody průmyslového inženýrství, které by daný model dílny měly optimalizovat.

Poslední část je věnována simulačním běhům na vybrané strategii řízení modelu definované v kapitole druhé. Nastaveny jsou základní parametry (časy, zmetkovitost, materiálový tok, ...) a spuštěny simulace. Z každé simulace jsou vybrány charakteristické rysy pro danou strategii a změna vybraných parametrů pro ovlivnění výkonnosti modelu. Na konci celé diplomové práce jsou jednotlivé varianty porovnány.

Seznam použitých zdrojů

- [1] MAŠÍN IVAN, Vytlačil Milan. *NOVÉ CESTY K VYŠŠÍ PRODUKTIVITĚ Metody průmyslového inženýrství*. I. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 2000. ISBN 80-902235-6-7.
- [2] *Průmyslové inženýrství v organizační struktuře podniku | API Akademie* [online]. [vid. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://www.e-api.cz/25785n-prumyslove-inzenyrstvi-v-organizacni-strukture-podniku>
- [3] Průmyslové inženýrství. *TryEngineering.org Powered by IEEE* [online]. [vid. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://tryengineering.org/cs/profile/industrial-engineering/>
- [4] Úskali dnešních velkých organizací (6): Složitost. *Průmyslové Inženýrství.cz* [online]. 5. březen 2018 [vid. 2022-11-02]. Dostupné z: <https://www.prumysloveinzenyrstvi.cz/uskali-dnesnich-velkych-organizaci-6-slozitest/>
- [5] *modul_1_im_uvod.pdf* [online]. [vid. 2022-11-02]. Dostupné z: https://www.e-api.cz/wcd/docs/vzdelavani/cespi-xvii/blok-1/modul_1_im_uvod.pdf
- [6] *Úvod do průmyslového inženýrství - ppt stáhnout* [online]. [vid. 2022-11-02]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2506919/>
- [7] GREGOR M. KOŠTURIÁK JÁN a A KOL. *Jak zvyšovat produktivitu firmy*. 1. Žilina: inForm, 2002. ISBN 80-968583-1-9.
- [8] KOŠTURIÁK JÁN, Frolík Zbyněk Košturiak. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Afla Publishing, s. r. o., 2006. ISBN 80-86851-38-9.
- [9] *Práce s kapacitními úzkými místy ve výrobě | Logistika v praxi* [online]. [vid. 2022-10-16]. Dostupné z: https://www.dlprofi.cz/log/?uniqueid=mRRWSbk196FNf8-jVUh4EkKpRnC__SJUBUmmDRfrKvA&coolurl=1§ion=33
- [10] Dokážete odhalit úzké místo na základě zásob? *Průmyslové Inženýrství.cz* [online]. 1. březen 2017 [vid. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://www.prumysloveinzenyrstvi.cz/dokazete-odhalit-uzke-misto-na-zaklade-zasob/>
- [11] *LEAN+lexikon.pdf*

- [12] SIXTA, Josef a Václav MAČÁT. *Logistika - teorie a praxe*. 1. Brno: Computer Press, a.s., 2005. ISBN 80-251-0573-3.
- [13] BAUER MIROSLAV, Haburaiová Inga, Kadavá Pavel VLČEK KAREL, Kovács Jan SKALÁKOVÁ EVA a ŽIZKA JIŘÍ. *KAIZEN Cesta ke štíhlé a flexibilní firmě*. 1. Brno: BizBooks, 2012. ISBN 978-80-265-0029-2.
- [14] KEŘKOVSKÝ MILOSLAV. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 1. B.m.: C. H. Beck, 2001. ISBN 80-7179-471-6.
- [15] IMAI MASAOKI. *Kaizen Metoda, jak zavést úspornější a flexibilnější výrobu v podniku*. Brno: Computer Press, a.s., 2011. ISBN 978-80-251-1621-0.
- [16] *SMED (Single-Minute Exchange of Die) | Lean Production* [online]. [vid. 2022-10-17]. Dostupné z: <https://www.leanproduction.com/smed/>
- [17] *Detail článku - E-learnigový portál strategického řízení* [online]. [vid. 2022-10-17]. Dostupné z: <http://strategy4smes.mendelu.cz/detail-clanku/4-4-1>
- [18] *What is “push” and “pull” distribution? – Part 9 | APICS Blog* [online]. [vid. 2022-10-17]. Dostupné z: <http://www.apics.org/sites/apics-blog/thinking-supply-chain-topic-search-result>
- [19] PUSH vs. PULL: Rozdíl mezi výrobními systémy PUSH a PULL. *Průmyslové Inženýrství.cz* [online]. 12. červen 2017 [vid. 2022-10-17]. Dostupné z: <https://www.prumysloveinzenyrstvi.cz/push-vs-pull-rozdil-vyrobnimi-systemy-push-a-pull/>
- [20] Přístupy k vytvoření tažného systému (1). *Průmyslové Inženýrství.cz* [online]. 19. září 2018 [vid. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.prumysloveinzenyrstvi.cz/pristupy-k-vytvoreni-tazneho-systemu-1/>
- [21] Push vs Pull Manufacturing: Which is Best for You? *VKS / Visual Knowledge Share Ltd.* [online]. [vid. 2022-10-17]. Dostupné z: <https://vksapp.com/blog/push-vs-pull-manufacturing>
- [22] *Why Pull is so Great! | AllAboutLean.com* [online]. 9. červen 2015 [vid. 2022-10-17]. Dostupné z: <https://www.allaboutlean.com/why-pull-is-great/>

- [23] LAW, Averill M. a W. David KELTON. *Simulation modeling and analysis*. 3rd ed. Boston: McGraw-Hill, 2000. McGraw-Hill series in industrial engineering and management science. ISBN 978-0-07-059292-6.
- [24] BANGSOW, Steffen. *Tecnomatix Plant Simulation: Modeling and Programming by Means of Examples*. Softcover reprint of the original 1st edition 2016. Cham: Springer International Publishing, 2016. ISBN 978-3-319-36449-0.
- [25] PELÁNEK, Radek. *MODELOVÁNÍ A SIMULACE KOMPLEXNÍCH SYSTÉMŮ Jak lépe porozumět světu*. 1. Brno: Masarykova univerzita, 2011. ISBN 978-80-210-5318-2.
- [26] INTRODUCTION TO MODELING AND SIMULATION. *JOHNS HOPKINS APL TECHNICAL DIGEST*. 1995, **16**(1), 12.
- [27] GILBERT, G. Nigel a Klaus G. TROITZSCH. *Simulation for the social scientist*. 2nd ed. Maidenhead, England ; New York, NY: Open University Press, 2005. ISBN 978-0-335-21600-0.
- [28] DLOUHÝ, Martin. *Simulace podnikových procesů*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2007. ISBN 978-80-251-1649-4.
- [29] BANKS, Jerry. 1999: INTRODUCTION TO SIMULATION. nedatováno, 7.
- [30] *zav_prace_soubor_verejne.pdf* [online]. [vid. 2022-11-02]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=213893
- [31] VARJAN, Ing Matúš. Využití simulačního modelování v technologickém projektování. nedatováno, 19.
- [32] SHARMA, Prateek. Discrete-Event Simulation. 2015, **4**(04), 5.
- [33] CARSON, J.S. Model verification and validation. In: *Proceedings of the Winter Simulation Conference: Proceedings of the Winter Simulation Conference* [online]. 2002, s. 52–58 roč.1. Dostupné z: doi:10.1109/WSC.2002.1172868
- [34] *About us* [online]. [vid. 2022-11-01]. Dostupné z: <https://www.fischertechnik.de/en/about-us>

- [35] MALAGA, Miroslav a Zdenek ULRYCH. Koncept STEM se zaměřením na problematiku Industry 4.0. In: [online]. 2019. Dostupné z: doi:10.24132/PI.2019.08948.094-100
- [36] *ev3-manual-cz.pdf* [online]. [vid. 2022-11-01]. Dostupné z: <https://www.eduxe.cz/files/download/ev3-manual-cz.pdf>
- [37] *fischertechnik.de - Building blocks for life* [online]. [vid. 2022-11-03]. Dostupné z: <https://www.fischertechnik.de/en/>
- [38] *Koncept STEM, Národní pedagogický institut České republiky (dříve Národní ústav pro vzdělávání)* [online]. [vid. 2022-11-01]. Dostupné z: <http://archiv-nuv.npi.cz/p-kap/koncept-stem.html>
- [39] MALAGA, Miroslav a Zdeněk ULRYCH. *Základy řízení robotů pro strojní inženýrství* [online]. B.m.: Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta strojní, 2020 [vid. 2022-11-03]. ISBN 978-80-261-0486-5. Dostupné z: <http://dspace5.zcu.cz/handle/11025/36601>
- [40] *554868_Lernfabrik4.0_24V_Belegungsplan-EN.pdf* [online]. [vid. 2022-11-03]. Dostupné z: https://content.ugfischer.com/cbfiles/fischer/Zulassungen/ft/554868_Lernfabrik4.0_24V_Belegungsplan-EN.pdf
- [41] S.R.O, AXIOM TECH. Plant Simulation. *AXIOM TECH s.r.o.* [online]. [vid. 2022-11-08]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25357-tecnomatix-plant-simulation>
- [42] *Tecnomatix Plant Simulation Help* [online]. [vid. 2022-11-15]. 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/tecnomatix_plant_simulation_help.html

A – Výkonové a elektronické komponenty

- **Motory**

Výrobce nabízí motor XS a mini motor viz obr. 13, které se liší pouze velikostí a možnostmi mechanického připevnění ke konstrukci. Oba tyto motory jsou elektromotory, u kterých lze bez dalších přídatných prvků řídit jen směr a rychlost otáček. [39] Vhodné použití motorů je pro pásové dopravníky nebo zpracovatelské stroje. Motory lze kombinovat s „U“ převodovkou. [40]

Princip elektromotoru je založen na využití silových účinků magnetického pole. Zjednodušeně lze pro představu říci, že se využívá princip přitahování a odpuzování dvou elektromagnetů. Síla a polarita elektromagnetů je řízena množstvím protékajícího elektrického proudu (regulace otáček). [39]



Obrázek 75: Krokový motor vlevo a Minimotor vpravo [37]

Dalším dostupným elektromotorem je tzv. krokový motor. Ten je navíc vybaven převodovou hlavou, která snižuje otáčky na výstupu a zvyšuje točivý moment. Další výhodou je možnost počítání otáček motoru a přesné řízení díky vybavení obvodem. Je tak možné synchronizovat výkony dvou motorů stejného typu. [39]

- **Kompresor**

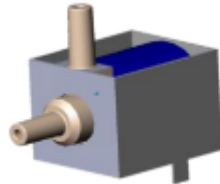
Pokud je na stanicích vyžadován zdroj stlačeného vzduchu, používá se kompresor (membránové čerpadlo). Skládá se ze dvou komor, které jsou odděleny membránou. V jedné z těchto komor se pohybuje píst tam a zpět, čímž zvětšuje či zmenšuje objem v druhé komoře. Při pohybu pístu vpravo, membrána se stahuje zpět a nasává vzduch do druhé komory přes vstupní ventil. Při pohybu vlevo vytlačuje membrána vzduch z hlavy čerpadla přes výstupní ventil. [40]



Obrázek 76: Kompresor [37]

- **Solenoidový ventil**

Solenoidový ventil je elektromagneticky ovládaný ventil. V případě stovebnice fischertechnik se jedná o 3/2cestný ventil. Tzn. že jsou dvě cesty kapaliny (průtok/vyčerpání tekutiny) a tři vstupy/výstupy. Ventil slouží k ovládnání pneumatických válců a je zobrazen na obrázku 77. [39]



Obrázek 77: 3/2 Solenoidový ventil [37]

- **Pneumatický válec**

Pneumatický válec jednocestný je mechanické zařízení, které slouží k převodu síly stlačeného vzduchu na mechanický pohyb. Při přivedení vzduchu do válce je vysunuta pístnice a její vratný pohyb je zajištěn pomocí pružiny uvnitř válce. [39]



Obrázek 78: Pneumatický válec [37]

- **Vakuové sací zařízení**

Vakuové sací zařízení funguje na principu podtlaku. Ten je vytvořen pomocí pneumatického válce. Aby byl vytvořen podtlak, tj. tlak, který je nižší než okolní tlak, musí být válec mechanicky spojen s vakuovým zařízením. [40] Koncovka vakuového zařízení je vytvořena z velmi přizpůsobivé gumy. Nutným předpokladem pro fungování k přemísťování předmětů je vhodná povrchová struktura manipulovaného předmětu. [39]



Obrázek 79: Vakuové sací zařízení [37]

- **Žárovka, LED**

Žárovka je nejjednodušším zařízením k přeměně elektrické energie na světlo. Světlo je vydáváno na základě zahřívání tenkého vodiče elektrickým proudem a zároveň vydává teplo. [39]

Light-Emitting Diode, česky elektroluminispenční dioda, popř. světelná dioda je elektronická součástka, která přeměňuje elektrickou energii na světlo. Tělo LED je sklovité a svazuje paprsky tak, aby svítily v jednom směru např. na fototranzistor. [40]



Obrázek 80: LED [37]

- **Fototranzistor, fotorezistor**

Fototranzistor je elektronická součástka, která slouží k vyhodnocení stavu, zda na ni dopadá světlo či nikoliv. Její využití je např., pokud přijede výrobek na pásovém dopravníku před fototranzistor a přeruší se světelné spojení, bude pásový dopravník vypnut na určitou dobu (svařování, obrobení apod.) Při zapojení je nutné, aby PLUS bylo přivedeno na červeně označený vstup fototranzistoru, jelikož se jedná o vstupní zařízení (dává nám informaci). [39]

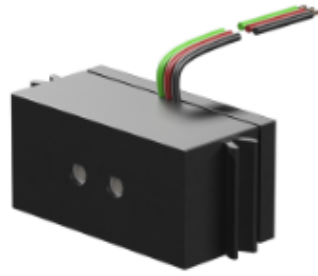
Fotorezistor je elektronická součástka, jejíž elektrický odpor se mění, na základě dopadání světla. V mnoha popisech je možné se setkat se zkratkou LDR vycházející z anglického termínu „light-dependent resistor“. Fotorezistor má hodnotu odporu od 0 do 1 MOhm (v úplné tmě). [40]



Obrázek 81: Fotorezistor [37]

- **Analogový senzor barvy**

Optický senzor barvy měří vlastnosti povrchových barev, nebo světelných zdrojů. Naměřené hodnoty se budou lišit na základě vnějších vlivů (osvětlení prostoru, vzdálenost od snímaného povrchu a tvar snímaného povrchu). Senzor je složen z jasné LED, která osvětluje prostor před senzorem, a receptoru, ten zachycuje odražené světlo (materiál absorbuje různé množství světla na základě tvaru, barvy a textury povrchu). Z výše uvedených důvodů je vždy nutné senzor zkalibrovat dle okolních podmínek. Optický senzor nevrací barvu, ale číselnou hodnotu, která se pohybuje v určitém intervalu. Tento číselný interval je následně přiřazen k určité barvě např. <10;100> = „bílá“. [39] Číselný interval je zjištěn na základě hodnoty vstupu 0–10 V na snímači. Digitalizované celé číslo je v rozmezí 0 až 0,5 V. Příkladem užití v modelu je například zjištění, zda byly nainstalovány na výrobek správné komponenty. [40]



Obrázek 82: Senzor barvy [37]

- **Spínač**

Spínač je zařízení, které v elektrotechnice slouží ke spínání a rozepínání elektrických obvodů. Velmi často je využit jako tlačítko, to může spouštět např. naprogramovanou proceduru. Využívají se jako vstupy informací. [39]



Obrázek 83: Spínač [37]

- **USB kamera**

Jedná se o klasickou webovou kameru, která je připojena do řídicí jednotky USB kabelem. Kameru lze manuálně zaostřit. Její využití spočívá ve vyhodnocování předmětů, hledání či následování cesty apod. [39]



Obrázek 84: USB kamera [37]

- **NTC rezistor**

V českém překladu Termistor. Součástka jejíž elektrický odpor je závislý na teplotě, z tohoto důvodu je možné ji využít pro její měření. Pro převedení získaných hodnot na °C je nutné mít k dispozici převodní tabulku od výrobce termistoru. [39]



Obrázek 85: NTC rezistor [37]

- **Ultrazukový senzor vzdálenosti**

Ultrazuková senzor vzdálenosti je technická součástka pro měření vzdálenosti mezi pozorovatelem a objektem. Snímače vzdálenosti pracují s využitím světla, infračerveného záření, rádiových vln nebo ultrazvuku a používají různé metody měření. V tomto případě se zvuk šíří jako vlna a ozvěna se odráží ke zdroji ultrazvuku, následně je přijata a vyhodnocena. Rozdíl mezi okamžikem vyslání signálu a okamžikem přijetí udává vzdálenost mezi překážkou a senzorem. Maximální dosah senzoru je až 4 m. [37]



Obrázek 86: Ultrazukový senzor vzdálenosti [37]

- **IR-Track senzor**

IR-Track senzor je zařízení pro detekci černého pruhu na bílém pozadí ve vzdálenosti 5-30 mm. Skládá se ze dvou vysílacích a přijímacích prvků. Lze jej využít pro řízení autonomního vozidla. [37]



Obrázek 87: IR-Track senzor [37]

B – Výchozí nastavení

Výrobek				
Pracoviště	druh času	červený	modrý	bílý
Detekce	zpracování	10	10	10
	set-up	0	0	0
Pila	zpracování	8	6	0
	set-up	35	35	0
Frézka	zpracování	10	0	0
	set-up	0	0	0
Soustruh	zpracování	0	11	12
	set-up	0	45	45
Bruska	zpracování	0	0	9
	set-up	0	0	0
Svářečka	zpracování	10	12	0
	set-up	40	40	0
Lakovna	zpracování	12	14	8
	set-up	60	60	60
Pec	zpracování	10	10	10
	set-up	0	0	0
Montáž	zpracování	16	12	15
	set-up	45	45	45
Kontrola	zpracování	15	15	15
	set-up	0	0	0
Kontrola3	zpracování	6	6	6
	set-up	0	0	0
Pila2	zpracování	8	7	12
	set-up	25	25	25
Frézka2	zpracování	9	8	6
	set-up	30	30	30
Vrtačka	zpracování	5	6	4
	set-up	35	35	35
Kontrola2	zpracování	12	12	12
	set-up	0	0	0
Svářečka	zpracování	10	12	11
	set-up	40	40	40
Montáž	zpracování	16	12	15
	set-up	45	45	45

Tabulka 9 – Nastavení výchozích časů

C – Reporty

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
Dodavatel	0.00%	0.00%	96.73%	3.27%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Dodavatel_2	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Detekce	16.11%	0.00%	83.89%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila	1.17%	5.83%	93.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka	5.00%	0.00%	95.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Soustruh	12.86%	33.75%	53.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Bruska	5.75%	0.00%	94.25%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka	10.72%	24.44%	64.83%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Lakovna	16.50%	63.33%	20.17%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pec	15.00%	0.00%	85.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Montaz	15.19%	41.17%	43.64%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola	15.83%	0.00%	84.17%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola2	14.33%	0.00%	85.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila2	10.92%	26.39%	62.69%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka2	9.19%	30.83%	59.97%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Vrtačka	5.97%	35.97%	58.06%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola3	7.50%	0.00%	92.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka2	12.47%	38.89%	48.64%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Portions of the States

Object	Number of Entries	Number of Exits	Minimum Contents	Maximum Contents	Relative Empty	Relative Full	Relative Occupation without Interruptions	Relative Occupation with Interruptions
Dopravník_1	19	14	0	5	30.67%	-	52.37%	52.37%
Dopravník_2	15	14	0	4	29.02%	-	35.07%	35.07%
Dopravník_3	15	13	0	3	38.88%	-	25.52%	25.52%
Conv_Modra2	13	13	0	2	56.27%	-	12.52%	12.52%
Conv_Cervena2	15	13	0	2	15.57%	-	29.14%	29.14%
Conv_Bila2	13	13	0	2	66.98%	-	10.12%	10.12%

Material Flow Properties

Odběratel	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bila	17:29.7338	6:58.0999	9:30.7446	29:12.0150	4:03.6690	2:35.0339	9:0556	7:44.7406	12	12	288
Cervena	16:44.5120	4:52.4977	10:59.3760	26:41.8850	4:01.1993	2:16.1424	9:0556	8:12.5110	12	12	288
Modra	16:54.8653	3:31.4447	13:14.6547	25:35.6067	3:49.6386	2:04.6277	9:0556	5:44.3027	12	12	288

Detailed Times of the Part Types which the Drain Deleted

Odběratel	Production							Transport							Storage						
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum
Bila	7.91%	10.24%	4.66%	0.00%	0.00%	0.00%	22.82%	23.14%	0.00%	53.57%	0.00%	0.00%	0.00%	76.71%	0.00%	0.00%	0.47%	0.00%	0.00%	0.00%	0.47%
Cervena	8.66%	11.24%	0.85%	0.00%	0.00%	0.00%	20.76%	34.65%	0.00%	44.08%	0.00%	0.00%	0.00%	78.73%	0.00%	0.00%	0.52%	0.00%	0.00%	0.00%	0.52%
Modra	8.23%	14.58%	2.84%	0.00%	0.00%	0.00%	25.64%	20.41%	0.00%	53.57%	0.00%	0.00%	0.00%	73.98%	0.00%	0.00%	0.38%	0.00%	0.00%	0.00%	0.38%

Detailed Portions of the Part Types which the Drain Deleted

Obrázek 88 – Report ze simulačního běhu varianty A

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
Dodavatel	0.00%	0.00%	81.74%	18.26%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Dodavatel_2	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Detekce	15.02%	0.00%	84.83%	0.16%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila	7.10%	17.52%	75.38%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka	5.46%	0.00%	94.54%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Soustruh	11.01%	22.52%	66.47%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Bruska	4.50%	0.00%	95.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka	11.10%	21.84%	34.28%	32.78%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Lakovna	16.29%	65.52%	18.19%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pec	14.56%	0.00%	85.44%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Montaz	15.24%	36.86%	47.90%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola	15.70%	0.00%	84.30%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola2	8.74%	0.00%	91.26%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila2	12.51%	34.13%	53.36%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka2	10.37%	40.95%	48.68%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Vrtačka	6.73%	47.78%	45.49%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola3	16.38%	0.00%	83.62%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka2	13.01%	45.50%	41.49%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Portions of the States

Object	Number of Entries	Number of Exits	Minimum Contents	Maximum Contents	Relative Empty	Relative Full	Relative Occupation without Interruptions	Relative Occupation with Interruptions
Dopravník_1	11	11	0	2	85.22%	-	4.66%	4.66%
Dopravník_2	12	9	0	3	81.81%	-	7.50%	7.50%
Dopravník_3	9	6	0	3	84.36%	-	4.24%	4.24%
Conv_Modra2	8	6	0	4	11.66%	-	54.76%	54.76%
Conv_Cervena2	8	8	0	3	30.56%	-	32.34%	32.34%
Conv_Bila2	10	9	0	4	9.27%	-	46.86%	46.86%

Material Flow Properties

Odběratel	Production						Transport						Storage									
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	
Bila	7.37%	9.95%	1.54%	0.00%	0.00%	0.00%	18.86%	27.16%	0.00%	53.97%	0.00%	0.00%	0.00%	81.14%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-
Cervena	8.25%	9.53%	1.40%	0.00%	0.00%	0.00%	19.18%	33.57%	0.00%	47.25%	0.00%	0.00%	0.00%	80.82%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-
Modra	7.34%	13.01%	2.12%	0.00%	0.00%	0.00%	22.46%	26.75%	0.00%	50.79%	0.00%	0.00%	0.00%	77.54%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-

Detailed Portions of the Part Types which the Drain Deleted

Odběratel	Life Time				Exit Time				Throughput				
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day		
Bila	17:51.7275		5:36.1028	11:40.1729	24:45.2157	2:16.2304		2:26.2946	9.0556	6:41.8006	9	14.742007	353.80816
Cervena	18:47.6651		6:10.5956	12:21.3870	27:31.6539	3:36.1575		3:26.2491	9.0556	7:08.9674	6	9.8280044	235.8721
Modra	19:59.4569		5:55.3716	14:41.1410	27:39.5145	3:54.7861		2:44.4749	9.0556	6:41.8006	5	8.1900036	196.56009

Detailed Times of the Part Types which the Drain Deleted

Obrázek 89 – Report ze simulačního běhu varianty A po 1. změně

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
Dodavatel	0.00%	0.00%	78.82%	21.18%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Dodavatel_2	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Detekce	17.41%	0.00%	82.40%	0.18%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila	8.23%	20.32%	71.45%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka	6.33%	0.00%	93.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Soustruh	12.77%	26.12%	61.11%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Bruska	5.22%	0.00%	94.78%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka	12.88%	25.33%	49.55%	12.24%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Lakovna	18.89%	60.16%	20.95%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pec	16.89%	0.00%	83.11%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Montaz	17.68%	35.62%	46.70%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola	18.21%	0.00%	81.79%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola2	10.13%	0.00%	89.87%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila2	14.51%	39.58%	45.91%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka2	12.03%	47.49%	40.48%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Vrtačka	7.81%	55.41%	36.78%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola3	19.00%	0.00%	81.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka2	15.09%	52.77%	32.14%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Portions of the States

Object	Number of Entries	Number of Exits	Minimum Contents	Maximum Contents	Relative Empty	Relative Full	Relative Occupation without Interruptions	Relative Occupation with Interruptions
Dopravník_1	11	10	0	2	82.60%	-	5.52%	5.52%
Dopravník_2	12	10	0	2	78.60%	-	5.82%	5.82%
Dopravník_3	9	6	0	3	81.07%	-	5.78%	5.78%
Conv_Modra2	8	6	0	3	13.95%	-	42.22%	42.22%
Conv_Cervena2	8	8	0	2	42.08%	-	19.41%	19.41%
Conv_Bila2	10	9	0	3	10.75%	-	43.56%	43.56%

Material Flow Properties

Odběratel	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bila	15:25.9635	3:42.0225	11:40.1729	20:43.1012	2:09.4607	2:32.7757	9:0556	6:25.9549	7	13.297922	319.15013
Cervena	17:41.2674	3:55.2074	12:21.3870	22:11.0004	1:57.4346	2:18.8012	9:0556	5:20.8200	8	15.197625	364.743
Modra	17:01.0922	3:19.3454	14:41.1410	22:44.5471	2:41.0443	3:26.7503	9:0556	7:26.8888	5	9.4985157	227.96438

Detailed Times of the Part Types which the Drain Deleted

Odběratel	Production							Transport							Storage							
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	
Bila	8.53%	9.26%	1.74%	0.00%	0.00%	0.00%	19.53%	33.52%	0.00%	46.95%	0.00%	0.00%	0.00%	80.47%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-
Cervena	8.76%	8.48%	1.57%	0.00%	0.00%	0.00%	18.81%	35.40%	0.00%	45.79%	0.00%	0.00%	0.00%	81.19%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-
Modra	8.62%	13.22%	1.34%	0.00%	0.00%	0.00%	23.18%	29.05%	0.00%	47.77%	0.00%	0.00%	0.00%	76.82%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-

Detailed Portions of the Part Types which the Drain Deleted

Obrázek 90 – Report ze simulačního běhu varianty A po 2. změně

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
Dodavatel	0.00%	0.00%	77.66%	22.34%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Dodavatel_2	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Detekce	18.37%	0.00%	81.43%	0.19%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila	8.69%	21.44%	69.88%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka	6.68%	0.00%	93.32%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Soustruh	13.47%	27.56%	58.97%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Bruska	5.51%	0.00%	94.49%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka	13.59%	26.73%	35.90%	23.79%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Lakovna	19.93%	57.63%	22.44%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pec	17.82%	0.00%	82.18%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Montaz	18.65%	47.60%	33.74%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola	19.21%	0.00%	80.79%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola2	10.69%	0.00%	89.31%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila2	15.31%	41.76%	42.93%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka2	12.69%	50.11%	37.19%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Vrtáčka	8.24%	58.46%	33.30%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola3	20.04%	0.00%	79.96%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka2	15.92%	55.68%	28.40%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Portions of the States

Object	Number of Entries	Number of Exits	Minimum Contents	Maximum Contents	Relative Empty	Relative Full	Relative Occupation without Interruptions	Relative Occupation with Interruptions
Dopravník_1	11	10	0	2	74.23%	-	7.97%	7.97%
Dopravník_2	12	9	0	3	66.67%	-	13.12%	13.12%
Dopravník_3	9	7	0	2	74.62%	-	6.91%	6.91%
Conv_Modra2	8	6	0	3	14.73%	-	40.61%	40.61%
Conv_Cervena2	8	8	0	2	36.94%	-	19.63%	19.63%
Conv_Bila2	10	9	0	3	11.34%	-	45.30%	45.30%

Material Flow Properties

Odběratel	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bila	15:51.0232	4:13.5255	11:10.1729	21:18.0686	2:02.8347	2:37.0748	9:0556	7:05.8666	8	16.035341	384.84818
Cervena	17:09.8244	4:03.4200	11:51.3870	22:36.9122	2:24.8164	2:37.5409	9:0556	6:26.6984	7	14.030923	336.74215
Modra	17:05.0037	3:36.3420	14:11.1410	23:01.4033	2:52.7583	3:19.8283	9:0556	7:07.8666	5	10.022088	240.53011

Detailed Times of the Part Types which the Drain Deleted

Odběratel	Production							Transport							Storage						
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum
Bila	8.31%	10.05%	1.82%	0.00%	0.00%	0.00%	20.18%	27.36%	0.00%	52.46%	0.00%	0.00%	0.00%	79.82%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-
Cervena	9.03%	10.40%	1.45%	0.00%	0.00%	0.00%	20.89%	29.30%	0.00%	49.81%	0.00%	0.00%	0.00%	79.11%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-
Modra	8.59%	13.17%	1.16%	0.00%	0.00%	0.00%	22.91%	28.15%	0.00%	48.94%	0.00%	0.00%	0.00%	77.09%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-

Detailed Portions of the Part Types which the Drain Deleted

Obrázek 91 – Report ze simulačního běhu varianty A po 3. změně

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
Dodavatel	0.00%	0.00%	84.65%	15.35%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Dodavatel_2	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Detekce	12.62%	0.00%	87.25%	0.13%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila	5.97%	14.72%	79.31%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka	4.59%	0.00%	95.41%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Soustruh	9.25%	18.93%	71.81%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Bruska	3.79%	0.00%	96.21%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka	9.33%	18.36%	44.76%	27.55%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Lakovna	13.69%	55.07%	31.24%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pec	12.24%	0.00%	87.76%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Montaz	17.21%	39.58%	43.21%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola	17.78%	0.00%	82.22%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola2	16.52%	0.00%	83.48%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila2	12.28%	26.77%	60.95%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka2	10.71%	32.12%	57.17%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Vrtačka	6.88%	37.48%	55.64%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola3	8.49%	0.00%	91.51%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka2	14.19%	42.83%	42.98%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Portions of the States

Object	Number of Entries	Number of Exits	Minimum Contents	Maximum Contents	Relative Empty	Relative Full	Relative Occupation without Interruptions	Relative Occupation with Interruptions
Dopravník_1	11	11	0	2	84.58%	-	4.67%	4.67%
Dopravník_2	12	12	0	2	81.67%	-	6.15%	6.15%
Dopravník_3	9	9	0	2	80.82%	-	5.64%	5.64%
Conv_Modra2	10	9	0	2	58.89%	-	13.07%	13.07%
Conv_Cervena2	13	12	0	2	36.31%	-	22.22%	22.22%
Conv_Bila2	11	10	0	2	56.04%	-	12.67%	12.67%

Material Flow Properties

Odběratele	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bila	19:37.8182	7:23.5227	11:40.1729	33:40.9320	2:51.5938	2:45.9501	9:0556	6:45.1989	10	13.767749	330.42599
Cervena	24:45.2027	8:06.6552	12:21.3870	33:17.6358	2:38.0567	2:51.7082	9:0556	7:08.9674	11	15.144524	363.46859
Modra	23:57.9566	8:11.9473	14:47.6898	34:47.1349	3:57.2200	2:10.0708	9:0556	6:41.8006	7	9.6374246	231.29819

Detailed Times of the Part Types which the Drain Deleted

Odběratele	Production							Transport							Storage						
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum
Bila	7.12%	9.93%	1.82%	0.00%	0.00%	0.00%	18.88%	26.56%	0.00%	54.57%	0.00%	0.00%	0.00%	81.12%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-
Cervena	6.26%	7.01%	3.23%	0.00%	0.00%	0.00%	16.50%	23.15%	0.00%	60.35%	0.00%	0.00%	0.00%	83.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-
Modra	6.12%	11.87%	3.62%	0.00%	0.00%	0.00%	21.61%	22.62%	0.00%	55.77%	0.00%	0.00%	0.00%	78.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-

Detailed Portions of the Part Types which the Drain Deleted

Obrázek 92 – Report ze simulačního běhu varianty B

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
Dodavatel	0.00%	0.00%	84.05%	15.95%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Dodavatel_2	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Detekce	13.12%	0.00%	86.75%	0.14%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila	6.20%	15.30%	78.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka	4.77%	0.00%	95.23%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Soustruh	9.62%	19.67%	70.71%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Bruska	3.93%	0.00%	96.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka	9.70%	19.08%	42.60%	28.63%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Lakovna	14.23%	57.23%	28.54%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pec	12.72%	0.00%	87.28%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Montaz	17.89%	41.14%	40.98%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola	18.48%	0.00%	81.52%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola2	18.60%	0.00%	81.40%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila2	13.83%	31.80%	54.37%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka2	12.04%	38.15%	49.80%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Vrtáčka	7.75%	44.51%	47.74%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola3	9.54%	0.00%	90.46%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka2	16.06%	47.69%	36.25%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Portions of the States

Object	Number of Entries	Number of Exits	Minimum Contents	Maximum Contents	Relative Empty	Relative Full	Relative Occupation without Interruptions	Relative Occupation with Interruptions
Dopravník_1	11	11	0	2	87.09%	-	4.07%	4.07%
Dopravník_2	12	12	0	2	87.06%	-	3.84%	3.84%
Dopravník_3	9	9	0	1	85.11%	-	3.70%	3.70%
Conv_Modra2	11	9	0	3	16.16%	-	41.94%	41.94%
Conv_Cervena2	14	12	0	3	25.77%	-	26.27%	26.27%
Conv_Bila2	12	10	0	3	20.50%	-	27.19%	27.19%

Material Flow Properties

Odběratel	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bila	19:23.0395	7:08.7101	11:40.1729	33:04.8480	2:47.5845	2:46.0560	9.0556	6:58.4177	10	14.308002	343.39204
Cervena	24:19.8904	7:45.2834	12:21.3870	32:41.5519	2:34.4483	2:49.1743	9.0556	7:08.9674	11	15.738802	377.73125
Modra	23:38.1379	7:55.5513	14:41.1410	34:11.0510	3:52.2974	2:07.4666	9.0556	6:41.8006	7	10.015601	240.37443

Detailed Times of the Part Types which the Drain Deleted

Odběratel	Production							Transport							Storage							
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	
Bila	7.21%	10.06%	1.36%	0.00%	0.00%	0.00%	18.64%	26.97%	0.00%	54.39%	0.00%	0.00%	0.00%	81.36%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-
Cervena	6.37%	7.13%	3.22%	0.00%	0.00%	0.00%	16.72%	23.93%	0.00%	59.35%	0.00%	0.00%	0.00%	83.28%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-
Modra	6.21%	12.04%	3.67%	0.00%	0.00%	0.00%	21.92%	22.60%	0.00%	55.48%	0.00%	0.00%	0.00%	78.08%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-

Detailed Portions of the Part Types which the Drain Deleted

Obrázek 93 – Report ze simulačního běhu varianty B po 1. změně

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
Dodavatel	0.00%	0.00%	83.22%	16.78%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Dodavatel_2	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Detekce	13.80%	0.00%	86.06%	0.15%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila	6.52%	16.10%	77.38%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka	5.02%	0.00%	94.98%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Soustruh	10.12%	20.69%	69.19%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Bruska	4.14%	0.00%	95.86%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka	10.20%	20.07%	39.62%	30.11%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Lakovna	14.97%	60.20%	24.83%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pec	13.38%	0.00%	86.62%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Montaz	18.81%	43.27%	37.92%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola	19.44%	0.00%	80.56%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola2	20.07%	0.00%	79.93%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila2	15.05%	34.49%	50.46%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka2	12.92%	41.39%	45.69%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Vrtačka	8.32%	48.29%	43.40%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola3	10.28%	0.00%	89.72%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka2	17.43%	55.18%	27.38%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Portions of the States

Object	Number of Entries	Number of Exits	Minimum Contents	Maximum Contents	Relative Empty	Relative Full	Relative Occupation without Interruptions	Relative Occupation with Interruptions
Dopravník_1	11	11	0	2	86.42%	-	4.28%	4.28%
Dopravník_2	12	12	0	2	87.03%	-	3.72%	3.72%
Dopravník_3	9	9	0	1	84.34%	-	3.89%	3.89%
Conv_Modra2	12	9	0	4	10.67%	-	61.37%	61.37%
Conv_Cervena2	13	12	0	3	10.65%	-	37.84%	37.84%
Conv_Bila2	13	10	0	4	12.78%	-	54.64%	54.64%

Material Flow Properties

Odběratelel	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bila	19:23.0395	7:08.7101	11:40.1729	33:04.8480	2:47.5845	2:46.0560	9:0556	6:58.4177	10	15.049931	361.19835
Cervena	24:15.7239	7:41.8755	12:21.3870	32:41.5519	2:34.4483	2:49.0139	9:0556	7:08.9674	11	16.554925	397.31819
Modra	23:35.9554	7:53.1145	14:41.1410	34:11.0510	3:52.2974	2:07.7344	9:0556	6:41.8006	7	10.534952	252.83885

Detailed Times of the Part Types which the Drain Deleted

Odběratelel	Production							Transport							Storage							
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	
Bila	7.21%	10.06%	1.36%	0.00%	0.00%	0.00%	18.64%	27.10%	0.00%	54.26%	0.00%	0.00%	0.00%	81.36%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-
Cervena	6.39%	7.15%	3.14%	0.00%	0.00%	0.00%	16.67%	24.00%	0.00%	59.32%	0.00%	0.00%	0.00%	83.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-
Modra	6.21%	12.06%	3.68%	0.00%	0.00%	0.00%	21.95%	22.48%	0.00%	55.57%	0.00%	0.00%	0.00%	78.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-

Detailed Portions of the Part Types which the Drain Deleted

Obrázek 94 – Report ze simulačního běhu varianty B po 2. změně

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
Dodavatel	0.00%	0.00%	97.04%	2.96%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Dodavatel_2	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Detekce	18.06%	0.00%	81.94%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila	1.17%	5.83%	93.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka	5.83%	0.00%	94.17%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Soustruh	14.00%	17.50%	68.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Bruska	5.00%	0.00%	95.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka	13.67%	17.78%	68.56%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Lakovna	19.00%	35.37%	45.63%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pec	16.67%	0.00%	83.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Montaz	18.03%	47.33%	34.64%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola	18.75%	0.00%	81.25%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola2	16.33%	0.00%	83.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila2	12.46%	27.78%	59.76%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka2	10.39%	32.50%	57.11%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Vrtačka	6.78%	37.92%	55.31%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola3	8.67%	0.00%	91.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka2	14.03%	41.61%	44.36%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Portions of the States

Object	Number of Entries	Number of Exits	Minimum Contents	Maximum Contents	Relative Empty	Relative Full	Relative Occupation without Interruptions	Relative Occupation with Interruptions
Dopravník_1	17	17	0	3	42.77%	-	24.29%	24.29%
Dopravník_2	18	16	0	3	40.94%	-	31.06%	31.06%
Dopravník_3	21	16	0	5	41.09%	-	48.66%	48.66%
Conv_Modra2	15	15	0	2	63.76%	-	11.54%	11.54%
Conv_Cervena2	16	16	0	2	59.60%	-	12.35%	12.35%
Conv_Bila2	15	15	0	2	42.10%	-	22.17%	22.17%

Material Flow Properties

Odběratel	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bila	16:35.3295	3:17.6943	11:05.6980	23:02.0177	3:23.0923	3:37.0894	9:0556	11:56.8210	15	15	360 -
Cervena	17:35.8757	3:27.6454	12:03.1345	22:23.0728	3:20.5050	2:12.0803	9:0556	7:18.5739	15	15	360 -
Modra	20:45.8420	3:59.6455	16:13.7680	28:33.4316	3:13.2374	3:34.1479	9:0556	11:13.9322	14	14	336 -

Detailed Times of the Part Types which the Drain Deleted

Odběratel	Production							Transport						Storage								
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	
Bila	7.94%	6.83%	1.37%	0.00%	0.00%	0.00%	16.14%	38.10%	0.00%	45.14%	0.00%	0.00%	0.00%	83.24%	0.00%	0.00%	0.62%	0.00%	0.00%	0.00%	0.62%	-
Cervena	8.20%	8.14%	1.51%	0.00%	0.00%	0.00%	17.86%	36.94%	0.00%	44.60%	0.00%	0.00%	0.00%	81.54%	0.01%	0.00%	0.59%	0.00%	0.00%	0.00%	0.60%	-
Modra	7.00%	8.43%	1.78%	0.00%	0.00%	0.00%	17.21%	30.28%	0.00%	52.20%	0.00%	0.00%	0.00%	82.49%	0.00%	0.00%	0.30%	0.00%	0.00%	0.00%	0.30%	-

Detailed Portions of the Part Types which the Drain Deleted

Obrázek 95 – Report ze simulačního běhu varianty C

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
Dodavatel	0.00%	0.00%	96.73%	3.27%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Dodavatel_2	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Detekce	16.11%	0.00%	83.89%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila	1.17%	5.83%	93.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka	5.00%	0.00%	95.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Soustruh	12.86%	33.75%	53.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Bruska	5.75%	0.00%	94.25%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka	10.72%	24.44%	64.83%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Lakovna	16.50%	63.33%	20.17%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pec	15.00%	0.00%	85.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Montaz	15.19%	41.17%	43.64%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola	15.83%	0.00%	84.17%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola2	14.33%	0.00%	85.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila2	10.92%	26.39%	62.69%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka2	9.19%	30.83%	59.97%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Vrtačka	5.97%	35.97%	58.06%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola3	7.50%	0.00%	92.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka2	12.47%	38.89%	48.64%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Portions of the States

Object	Number of Entries	Number of Exits	Minimum Contents	Maximum Contents	Relative Empty	Relative Full	Relative Occupation without Interruptions	Relative Occupation with Interruptions
Dopravník_1	19	14	0	5	30.67%	-	52.37%	52.37%
Dopravník_2	15	14	0	4	29.02%	-	35.07%	35.07%
Dopravník_3	15	13	0	3	38.88%	-	25.52%	25.52%
Conv_Modra2	13	13	0	2	56.27%	-	12.52%	12.52%
Conv_Cervena2	15	13	0	2	15.57%	-	29.14%	29.14%
Conv_Bila2	13	13	0	2	66.98%	-	10.12%	10.12%

Material Flow Properties

Odběratel	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bila	17:29.7338	6:58.0999	9:30.7446	29:12.0150	4:03.6690	2:35.0339	9:0556	7:44.7406	12	12	288
Cervena	16:44.5120	4:52.4977	10:59.3760	26:41.8850	4:01.1993	2:16.1424	9:0556	8:12.5110	12	12	288
Modra	16:54.8653	3:31.4447	13:14.6547	25:35.6067	3:49.6386	2:04.6277	9:0556	5:44.3027	12	12	288

Detailed Times of the Part Types which the Drain Deleted

Odběratel	Production							Transport							Storage						
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum
Bila	7.91%	10.24%	4.66%	0.00%	0.00%	0.00%	22.82%	23.14%	0.00%	53.57%	0.00%	0.00%	0.00%	76.71%	0.00%	0.00%	0.47%	0.00%	0.00%	0.00%	0.47%
Cervena	8.66%	11.24%	0.85%	0.00%	0.00%	0.00%	20.76%	34.65%	0.00%	44.08%	0.00%	0.00%	0.00%	78.73%	0.00%	0.00%	0.52%	0.00%	0.00%	0.00%	0.52%
Modra	8.23%	14.58%	2.84%	0.00%	0.00%	0.00%	25.64%	20.41%	0.00%	53.57%	0.00%	0.00%	0.00%	73.98%	0.00%	0.00%	0.38%	0.00%	0.00%	0.00%	0.38%

Detailed Portions of the Part Types which the Drain Deleted

Obrázek 96 – Report ze simulačního běhu varianty C po 1. změně

Object	Working	Set-up	Waiting	Blocked	Powering up/down	Failed	Stopped	Paused	Unplanned	Portion
Dodavatel	0.00%	0.00%	97.62%	2.38%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Dodavatel_2	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Detekce	10.79%	0.00%	89.21%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila	1.17%	5.83%	93.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka	3.06%	0.00%	96.94%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Soustruh	8.31%	11.25%	80.44%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Bruska	3.25%	0.00%	96.75%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka	7.28%	11.11%	81.61%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Lakovna	11.39%	25.00%	63.61%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pec	10.00%	0.00%	90.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Montaz	12.14%	22.36%	65.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola	12.50%	0.00%	87.50%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola2	11.67%	0.00%	88.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Pila2	9.13%	14.58%	76.29%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Frézka2	7.42%	16.67%	75.92%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Vrtačka	4.75%	19.44%	75.81%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Kontrola3	6.17%	0.00%	93.83%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Svářečka2	10.00%	20.00%	70.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	

Portions of the States

Object	Number of Entries	Number of Exits	Minimum Contents	Maximum Contents	Relative Empty	Relative Full	Relative Occupation without Interruptions	Relative Occupation with Interruptions
Dopravník_1	12	11	0	3	89.63%	-	3.36%	3.36%
Dopravník_2	11	11	0	2	81.40%	-	6.04%	6.04%
Dopravník_3	13	11	0	3	79.44%	-	8.59%	8.59%
Conv_Modra2	9	9	0	2	24.37%	-	25.50%	25.50%
Conv_Cervena2	11	11	0	2	34.04%	-	19.37%	19.37%
Conv_Bila2	12	11	0	2	24.77%	-	32.90%	32.90%

Material Flow Properties

Odběratele	Life Time				Exit Time				Throughput		
	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Mean Value	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Total	Per Hour	Per Day
Bila	20:46.1793	3:54.7090	16:45.6539	29:25.1422	3:45.4688	6:09.8701	9:0556	13:11.1654	8	8	192
Cervena	23:22.1496	5:49.1543	17:32.8206	31:27.0595	4:53.0012	5:50.3450	9:0556	13:11.1654	8	8	192
Modra	25:47.6945	8:09.8901	17:31.8762	40:11.3243	4:56.8821	6:04.7125	9:0556	13:11.1654	8	8	192

Detailed Times of the Part Types which the Drain Deleted

Odběratele	Production							Transport							Storage							
	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	Working	Set-up	Waiting	Stopped	Failed	Paused	Sum	
Bila	6.34%	4.51%	3.09%	0.00%	0.00%	0.00%	13.94%	60.25%	0.00%	25.42%	0.00%	0.00%	0.00%	85.67%	0.00%	0.00%	0.38%	0.00%	0.00%	0.00%	0.38%	-
Cervena	6.28%	6.51%	2.22%	0.00%	0.00%	0.00%	15.01%	58.83%	0.00%	25.65%	0.00%	0.00%	0.00%	84.48%	0.04%	0.00%	0.47%	0.00%	0.00%	0.00%	0.51%	-
Modra	5.89%	6.99%	2.06%	0.00%	0.00%	0.00%	14.93%	50.27%	0.00%	34.45%	0.00%	0.00%	0.00%	84.72%	0.01%	0.00%	0.34%	0.00%	0.00%	0.00%	0.35%	-

Detailed Portions of the Part Types which the Drain Deleted

Obrázek 97 – Report ze simulačního běhu varianty C po 2. změně