

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N0715A270012

Studijní specializace: Průmyslové inženýrství a management

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Simulace výrobní linky pantografů v Plant Simulation

Autor: **Bc. Petr SCHOŘ**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Zdeněk ULRYCH Ph.D.**

Akademický rok 2021/2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr SCHOŘ**  
Osobní číslo: **S20N0053K**  
Studijní program: **N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management**  
Téma práce: **Simulace výrobní linky pantografů v Plant Simulation**  
Zadávací katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

## Zásady pro vypracování

1. Úvod do problematiky
2. Analýza současného stavu výrobní linky
3. Tvorba 3D simulačního modelu
4. Porovnání variant jednotlivých navržených řešení
5. 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*. Softcover reprint of the original 1st edition 2016. Cham [Švýcarsko]: Springer, 2016. ISBN 978-3-319-36449-0.
2. BANKS, Jerry, CARSON, John, NELSON, Barry, NICOL, David. *Discrete-Event System Simulation*. Pearson Education Limited, 2014. ISBN 978-1-292-02437-0
3. ČSN EN 50206-1 *Drážní zařízení – Kolejová vozidla – Pantografové sběrače: Vlastnosti a zkoušky – Část 1: Pantografové sběrače proudu vozidel pro tratě celostátní*. Praha: Český normalizační institut

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Zdeněk Ulrych, Ph.D.**  
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

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

Datum zadání diplomové práce: **20. září 2021**  
Termín odevzdání diplomové práce: **27. května 2022**

L.S.

---

**Doc. Ing. Milan Edl, 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 bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji Doc. Ing. Zdeňkovi Ulrychovi, Ph. D. za odborné vedení diplomové práce, za námět a připomínky, které přispěly ke zpracování této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval konzultantovi Ing. Bc. Miroslavu Malagovi za přínosné poznámky a nápady při řešení odborné problematiky diplomové práce. Také bych rád poděkoval společnosti Faiveley Transport Czech a.s. za jejich vstřícnost a ochotu při poskytování informací.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Bc. Schoř	<b>Jméno</b> Petr	
<b>STUDIJNÍ PROGRAM</b>	N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Doc. Ing. Ulrych, Ph.D.	<b>Jméno</b> Zdeněk	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST – KPV		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Simulace výrobní linky pantografů v Plant Simulation		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KPV	<b>ROK ODEVZD.</b>	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	80	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	54	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	26
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Diplomová práce se zabývá tvorbou simulace výrobní linky pantografů ve společnosti Faiveley Transport Czech a.s. Po vytvoření simulace jsou následně vytvořeny simulační modely navrhovaných opatření a jejich simulační běhy. Následně jsou výsledky simulačních běhů zhodnocené.</p>
<p><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">Simulace, Výrobní linka, Optimalizace</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Bc. Schoř	Name Petr		
<b>STUDY PROGRAMME</b>	N0715A270012 Industrial engineering and management			
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Ulrych, Ph.D.	Name Zdeněk		
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KPV			
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<del><b>BACHELOR</b></del>	<b>Delete when not applicable</b>	
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Simulation of pantograph production line in Plant Simulation			

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KPV	<b>SUBMITTED IN</b>	2022
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

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

<b>TOTALLY</b>	80	<b>TEXT PART</b>	54	<b>GRAPHICAL PART</b>	26
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The diploma thesis deals with the creation of a simulation of the production line of pantographs in the company Faiveley Transport Czech a.s. After creating the simulation, I subsequently created simulation models of the proposed measures and their simulation runs. Subsequently, I evaluated the results of simulation runs.
<b>KEY WORDS</b>	Simulation, Production line, Optimalization

## Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	9
Seznam obrázků .....	10
Seznam tabulek .....	12
Úvod.....	13
1 Logistika.....	14
1.1 Logistika podniku .....	14
1.2 Logistické technologie.....	15
1.3 Metody logistického řízení .....	18
2 Plýtvání.....	19
2.1 Plýtvání podle místa vzniku .....	19
2.2 Formy plýtvání 3M.....	21
2.2.1 Muda.....	21
2.2.2 Mura .....	22
2.2.3 Muri.....	22
3 Dispoziční řešení .....	23
3.1 Volné uspořádání .....	23
3.2 Technologická struktura .....	24
3.3 Předmětná struktura .....	25
3.4 Modulární uspořádání.....	26
3.5 Buňkové uspořádání .....	27
3.6 Kombinované uspořádání .....	28
3.7 Možné tvary výrobních linek.....	28
4 Volba prostorové struktury.....	29
5 Simulace.....	30
6 Použitý software Tecnomatix Plant simulation.....	31
7 Praktická část.....	32
7.1 Představení společnosti.....	32
7.2 Popis produktu.....	32
8 Tok materiálu ve společnosti Faiveley Transport Czech a.s. ....	34
9 Stávající problémy výrobní linky .....	36
10 Sběr dat potřebných pro tvorbu modelu .....	36
10.1 Současný layout výrobní linky.....	36
10.2 Plán výroby .....	37



10.3	Rodiny výrobků .....	38
10.4	Výrobní časy .....	39
10.5	Zásobování linky.....	41
11	Tvorba 3D simulačního modelu.....	42
11.1	Vytvoření stávajícího layoutu v Tecnomatix Plant Simulation .....	42
11.2	Implementace plánu výroby do simulace .....	42
11.3	Přiřazení kusovníků a výrobních časů k entitám .....	43
11.4	Nastavení pracovníků a pracovní doby.....	43
11.5	Vytvoření vlastních tříd MUs .....	46
12	Zásobování linky v simulaci .....	47
12.1	Objekty typu Source .....	47
12.2	Objekty typu Buffer .....	48
12.3	Objekty typu Store .....	48
13	Použité metody.....	49
13.1	Metoda pro generování denní dávky.....	49
13.2	Metoda pro zjištění kusovníku.....	51
13.3	Metoda pro zjištění výrobního času.....	52
14	Nastavení výrobních pracovišť .....	53
15	Simulace zásobování linky.....	54
15.1	Vymodelování dopravních tras .....	54
15.2	Použité metody pro simulaci tras.....	55
16	Sledování ukazatelé výrobní linky .....	56
16.1	Ukazatel vytížení pracovníků .....	56
16.2	Ukazatel vytížení pracovišť .....	57
16.3	Obsazení kanbanu pro zvedáky .....	58
16.4	Sledování vytížení vozíků.....	58
17	Vyhodnocení simulačního běhu stávajícího řešení .....	59
18	Navrhované varianty .....	64
18.1	Varianta s pěti montážními pracovišti .....	64
18.2	Varianta s pěti montážními pracovišti bez operátora montáže podsestav .....	67
18.3	Varianta s pěti montážemi bez operátora montáže podsestav se třemi zkušebními techniky.....	69
18.4	Varianta se čtyřmi montážními pracovišti .....	71
19	Porovnání variant jednotlivých navržených opatření.....	74
20	Závěr.....	77

Seznam použitých zdrojů .....	78
Seznam elektronických příloh.....	80

## **Přehled použitých zkratk a symbolů**

JIT	Just In Time
JIS	Just In Sequence
VA	Value Added
NVA	Nonvalue Added
a.s.	Akciová společnost

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Logistika podniku a její členění vlastní zpracování [4].....	14
Obrázek 2 Vzhled kanbanové karty dle [13].....	17
Obrázek 3 Spaghetti diagram [18] .....	18
Obrázek 4 VSM Zdroj [1] .....	19
Obrázek 5 Muda dle [22] .....	21
Obrázek 6 Mura dle [22] .....	22
Obrázek 7 Muri dle [22].....	23
Obrázek 8 Volné uspořádání vlastní zpracování dle [24] .....	24
Obrázek 9 Technologická struktura vlastní zpracování dle [24].....	24
Obrázek 10 Předmětná struktura linková vlastní zpracování dle [24] .....	26
Obrázek 11 Modulární uspořádání vlastní zpracování dle [24] .....	27
Obrázek 12 Výrobní linka tvaru U vlastní zpracování v Plant simulation.....	28
Obrázek 13 Popis částí pantografu [2] .....	33
Obrázek 14 Organizační struktura (zdroj: autor) .....	33
Obrázek 15 Tok hmotného materiálu.....	34
Obrázek 16 Model linky.....	36
Obrázek 17 Layout výrobní linky .....	37
Obrázek 18 Náhled do výrobního plánu .....	38
Obrázek 19 Délky přepravních tras.....	41
Obrázek 20 Layout linky v Plant simulation.....	42
Obrázek 21 Plán výroby v Tecnomatix plant simulation.....	43
Obrázek 22 T_VyrobníPostup.....	43
Obrázek 23 Nastavení směnnosti v ShiftCalendar.....	44
Obrázek 24 Výrobní odstávky.....	45
Obrázek 25 Nastavení pracovníků ve WorkerPool.....	45
Obrázek 26 Barevné rozlišení pracovníků .....	46
Obrázek 27 Vytvořená MUs .....	46
Obrázek 28 Vzhled UpperArm a LowerArm.....	47
Obrázek 29 Seznam použitých objektů typu source .....	47
Obrázek 30 Objekty typu buffer.....	48
Obrázek 31 Supermarket ST_SpringBoxy.....	48
Obrázek 32 Konfigurace supermarketu ST_zvedaky.....	49
Obrázek 33 Kanban na zvedáky pantografů .....	49

Obrázek 34 Objekty pro generování denní dávky.....	50
Obrázek 35 M_GenerovaniDenniDavka.....	50
Obrázek 36 Metoda Init.....	50
Obrázek 37 Hierarchie tabulek pro kusovník.....	51
Obrázek 38 Metoda pro zjištění kusovníku.....	51
Obrázek 39 Hierarchie tabulek pro výrobní postup .....	52
Obrázek 40 M_ZjistiVyrobniCas .....	52
Obrázek 41 Nastavení metody pro zjištění výrobního času.....	53
Obrázek 42 Vymodelování dopravních tras.....	54
Obrázek 43 Metoda pro nastavení vozíku.....	55
Obrázek 44 Metoda pro přiřazení zakázky na dopravu.....	56
Obrázek 45 Graf vytížení pracovníků .....	57
Obrázek 46 Vytížení pracovišť .....	57
Obrázek 47 Obsazení kanbanu pro zvedáky .....	58
Obrázek 48 Graf pro sledování vytížení vozíků.....	58
Obrázek 49 Nastavení času simulačního běhu .....	59
Obrázek 50 Souhrnná statistika vyrobených kusů .....	59
Obrázek 51 Vytížení pracovníků.....	60
Obrázek 52 Vytížení pracovišť .....	60
Obrázek 53 Obsazení kanbanu zvedáky.....	61
Obrázek 54 Obsazení skladového místa Spring boxy .....	61
Obrázek 55 Statistika pracovních činností .....	62
Obrázek 56 Obsazenost bufferů .....	62
Obrázek 57 Layout linky s pěti montážními pracovišti .....	64
Obrázek 58 Souhrnná statistika s pěti pracovišti .....	65
Obrázek 59 Vytížení pracovníků varianty s pěti montážními stoly.....	65
Obrázek 60 Vytížení pracovišť varianty s pěti montážními stoly.....	66
Obrázek 61 Obsazenost bufferů pět pracovišť .....	66
Obrázek 62 Souhrnná statistika varianty s pěti pracovišti bez operátora podsestav .....	67
Obrázek 63 Vytíženost pracovníků u varianty s pěti pracovišti bez operátora podsestav .....	67
Obrázek 64 Vytížení pracovišť varianty s pěti montážními stoly bez operátora podsestav ....	68
Obrázek 65 Obsazenost bufferů pět pracovišť bez operátora podsestav.....	68
Obrázek 66 Souhrnná statistika pět pracovišť se třemi testy .....	69
Obrázek 67 Vytížení pracovišť s pěti montážemi bez operátora podsestav se třemi testy .....	69
Obrázek 68 Vytíženost pracovníků s pěti pracovišti bez operátora podsestav se třemi testy ..	70

Obrázek 69 Obsazenost bufferů pět pracovišť bez operátora podsestav se třemi testy .....	70
Obrázek 70 Layout linky se čtyřmi montážními pracovišti .....	71
Obrázek 71 Souhrnná statistika varianty se čtyřmi pracovišti .....	72
Obrázek 72 Vytížení pracovníků varianty se čtyřmi montážními stoly.....	72
Obrázek 73 Vytížení pracovišť varianty se čtyřmi montážními stoly.....	73
Obrázek 74 Obsazenost bufferů čtyři pracoviště .....	73

## Seznam tabulek

Tabulka 1 7+1 druhů plýtvání .....	21
Tabulka 2 Počet vyráběných představitelů.....	38
Tabulka 3 Výrobní časy rodní.....	39
Tabulka 4 Trinagulární rozdělení časů po jednotlivých pracovištích .....	40
Tabulka 5 Stanovení vah kritérií Saatyho metodou .....	74
Tabulka 6 Hodnoty kritérií .....	75
Tabulka 7 Hodnocení kritérií bazickou metodou .....	76
Tabulka 8 Úspory dosažené zavedením nejvýhodnější varianty .....	76

## Úvod

V souvislosti se zvyšující se konkurencí a s rozšiřováním nebo vyvíjením nových technologií je na výrobní společnosti vytvářen velký tlak na snižování cen jejich výrobků. Toto nutí podniky hledat úspory na nákladech ve všech jejich procesech.

Výrobní proces je nejdůležitější činností podniku. Aby se podnik mohl vyrovnat konkurenci nebo dokonce konkurenci předčít měly by se výrobní podniky zaměřit také na optimalizaci výrobních procesů.

Diplomová práce je zaměřena na výrobní linku pantografů, které slouží jako sběrače proudu pro kolejová vozidla. Tato linka je jednou z mnoha linek ve společnosti Faiveley Transport Czech a.s.. Práce obsahuje analýzu, popis výrobních postupů pantografů a časovou náročnost jednotlivých operací. Pro zjištění možných variant vylepšení výrobního procesu byl použit software Tecnomatix Plant Simulation, ve kterém je vytvořen simulační model stávajícího řešení. Následně jsou navržena nápravná opatření, ke kterým jsou taktéž vytvořeny simulační modely. Na těchto simulačních modelech jsou provedeny simulační běhy, díky kterým jsou zjištěny úspory a vylepšení výrobního procesu u jednotlivých variant řešení.

Cílem každé společnosti je vytvářet zisky. Proto by se výrobní společnosti měly věnovat také úsporám nákladů vedoucím z odstranění plýtvání ve výrobních procesech.

# 1 Logistika

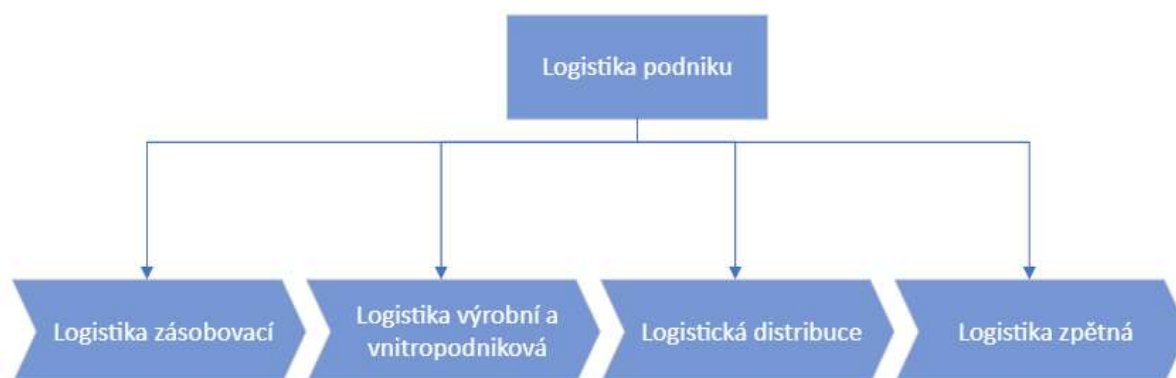
Logistika je jednou z nejdůležitějších součástí každého výrobního podniku. V literárních zdrojích je uvedena celá řada definic logistik. Dle knihy Jeřábka je logistika vědní obor, jehož předmětem je plánování, realizace, řízení a kontrola integrovaných toků hmot (včetně biologických objektů), energií a informací v systémech [1].

Pro přesnější pochopení pojmu logistiky jsou v následujícím přehledu uvedeny další definice logistiky podle různých literárních zdrojů:

- Logistiku bychom mohli definovat jako komplexní, systematický přístup k optimalizaci nákladů a minimalizaci rizik. Logistika zahrnuje celý tok zboží, od dopravy surovin k výrobcí, až po odevzdání zboží konečnému spotřebiteli [2].
- Logistika je integrovaným plánováním, formováním, prováděním a kontrolováním hmotných a s nimi spojených informačních toků od dodavatele do podniku, uvnitř podniku a od podniku k odběrateli [3].

## 1.1 Logistika podniku

Náplní podnikové logistiky je řízení a usměrňování všech logistických procesů v rovině zájmu daného podnikatelského subjektu, přičemž za základní činnosti je možné považovat logistiku zásobování, logistiku výrobní a vnitropodnikovou, logistiku distribuce a zpětnou logistiku. Struktura logistiky podniku je znázorněna na obrázku 1.



Obrázek 1 Logistika podniku a její členění vlastní zpracování [4]

Logistika zásobování zahrnuje soubor procesů každé (tzn. realizované i nerealizované) zakázky či obchodního případu, kdy obchodní oddělení v průběhu jednání reaguje na poptávku (zakázku). Hlavním cílem souboru všech procesů a činností zásobovací logistiky je prostřednictvím náležitosti zpracování nabídky (např. zpracování TPV, rozhodování o termínu a ceně, způsobu či místě dopravě atp.) pozitivní zakončení obchodního případu a nejen marketingové, nýbrž i logistické řízení vztahu se zákazníkem a navazující etapa řízení nákupu a zásob [5].

Logistika výrobní a vnitropodniková se orientuje na řešení a optimalizaci materiálových toků, tvorbu manipulačních systémů, využití prostoru a pracovních podmínek a dalších úloh (např. odstraňování nadbytečné manipulace) souvisejících s výrobkem (např. výrobní sortiment, struktura výrobků) a s operativním řízením výrobního procesu (např. výrobní operace, prostředky aj.) [5].

Logistika distribuce začíná příjmem produktů na sklad, pokračuje balením, expedicí a pomocí dopravy překračuje hranice podniku směrem k zákazníkovi. V důsledku zapojení dopravce,

velkoobchodu či maloobchodu se logistika distribuce orientuje na způsoby a modely efektivního řešení distribuce, sledovatelnosti a rychlosti předání produktu zákazníkovi [5].

Logistika zpětná je částí poprodejních služeb zákaznického servisu, zaměřených na zpětný tok použitých, reklamovaných produktů, ale stejně tak i obalů, a v poslední fázi životního cyklu produktu se orientuje i na odvoz odpadů. Součástí řízení zpětných toků je podnikové i celospolečenské pojetí hospodaření s odpady a environmentální aspekty logistiky a dopravy [5].

## 1.2 Logistické technologie

Snahou logistických technologií je optimalizace jednotlivých operací a jejich uspořádání pomocí vhodných metod přístupů a řídicích procedur.

### Systémy Push a Pull

Definice, které popisují systémy PUSH a PULL je v publikacích velké množství a kolikrát jsou i nesprávné. Čtenáři se mohou často v nepřeborném množství těchto definic snadno ztratit. Podle autora článku the (true) difference between Push and Pull Christophera Rosera systém PULL je definován jako systém, který přímo omezuje množství rozpracované (nedokončené) výroby, které může být uvnitř systému. Naopak systém PUSH toto množství nijak neomezuje [6].

Dle Tomka a Vávrové systém Pull znamená, že žádný podnik by neměl požadovat proti proudu hodnototvorného řetězce žádný výkon dříve, než jej vyžaduje jeho zákazník (interní či konečný) směrem po proudu. To znamená, že všechny aktivity jsou řešeny podle přání zákazníků, a tak zákazník táhne zabezpečovací řetězec [7].

### Cross-Docking

Technologie Cross – Docking v překladu průtokový sklad. Filozofií cross-docku je neskladovat, ale efektivně sloučit zboží z různých směrů do aut v daném směru [8]. Využívá výhody začlenění distribučního centra jako článku do dodavatelského řetězce mezi větší počet dodavatelů na jedné straně a síť maloobchodů na straně druhé. Distribuční centrum v této technologii zastává funkci třídění, kompletace a expedice zásilek přímo do jednotlivých prodejen. Je důležité vědět, že zboží se v distribučních centrech prakticky neskladuje, pouze jím protéká.

"Jak se neustále zrychluje mezinárodní obchod, zrychluje se i cross-dock. Zboží je ve skladu co nejkratší možnou dobu, klade se velký důraz na jeho označování a plynulý průchod skladem, a to i s ohledem na navazující operace dále v řetězci směrem ke konečnému zákazníkovi," říká Alexandros Koranis, generální ředitel společnosti GTL [8].

Přínosy cross dockingu:

- Optimalizaci nákladů na přepravu, balení a expedici.
- Zlepšení a zefektivnění termínů pro dodávky do maloobchodních provozů.
- Výrazné zkrácení doby pro skladování zboží.
- Zvýšení skladovací kapacity.
- Možnost monitorování každé jednotlivé zásilky po celou dobu manipulace se zbožím.
- Sloučení dodávek od různých dodavatelů a jejich následné vyexpedování v jedné kompletní zásilce [9].



## Hub and Spoke

HUB AND SPOKE spočívá ve sdružování menších zásilek do větších celků, které mohou být přepraveny velkokapacitními dopravními prostředky. Název je odvozen od kola bicyklu, které má uprostřed HUB představující logistické centrum, od něž vybíhají SPOKES znázorňující cesty k jednotlivým zákazníkům. Technologie HUB AND SPOKE umožňuje dobrou dopravní obsluhu odlehlých regionů, kam by se nevyplatilo jezdit s jednotlivými malými zásilkami. Pro určitý územní celek je vybudováno logistické centrum, k němuž se vztahují systémy dopravní obsluhy [10].

## JIT

JIT je definován dle Štůska jako umocnění produkce požadovaných položek v požadovaných objemech v požadovaném čase. Jinými slovy, pomocí tohoto přístupu je materiál a položky, které jsou vyžadovány procesem, dostupné až v čase, kdy jsou požadovány, nikoli dříve [11].

Tento systém se rozšířil nejprve v automobilovém průmyslu, kde montážní závod potřebuje, aby dodávky jednotlivých částí, komponentů nebo i větších modulů se dostaly na linku v přesně plánovanou dobu, kdy je potřeba, a aby se linka nemusela zastavit, což by přineslo velké finanční ztráty [12].

Mezi výhody JIT patří:

- Snížené zásoby a meziproduct
- Snížené požadavky na místo
- Kratší doba propustnosti
- Větší zapojení zaměstnanců, participace a motivace
- Vyrovnanější toky práce
- Vyšší produktivita
- Zlepšená kvalita produktu/služby
- Zlepšené služby zákazníkům
- Uniformovanější zatěžování prostředků [11]

JIT má i své nevýhody. Jako jednu z nich lze uvést zvyšující se počet dopravních prostředků, které přepravují menší zásilky. Tento aspekt má i dopady na životní prostředí. Zvyšující se počet dopravních prostředků také způsobuje přeplnění silniční infrastruktury a následně zhoršuje její průjezdnost. Jedním z velkých nedostatků mohou být nulové zásoby, které jsou žádoucí, ale při výpadku dodavatelů mohou způsobit nedostatek výrobních materiálů a zastavit výrobu.

## Kanban

Kanban je technologie, která je používána pro rozvrhování činností v systémech JIT. Je to japonský název pro kartu. Systém kanban a jeho odvozeniny se staly standardními prostředky pro dosahování kontroly produkce s JIT [11].

Kanban se projevuje jako samořídící regulační kruh mezi vyrábějícím a odebírajícím místem. Dalším principem tohoto systému je, že odběratel si „vezme“ místo toho, aby si „přinesl“. V tomto systému je flexibilní nasazení lidí a prostředků. Krátkodobé řídicí funkce jsou přenesené na provádějící pracovníky [7].

Jako nosič informací u tohoto systému je použití karty neboli Kanban. Na kartě musí být uvedeny klíčové údaje, aby byla potřeba materiálu přesně specifikována. V první řadě musí být uvedeno číslo dílu. Dále musí být specifikována místa dodavatele a spotřebitele. Dále musí být uvedeny počty kusů, velikost dávky. Možný vzhled Kanbanové karty je znázorněn na obrázku 2.

Odkud: <b>Přípravna</b>	Položka: <b>Výrobek</b>	Kam: <b>Linka</b>
Oddělení: <b>PR</b>	Číslo dílu: <b>111-225-356</b>	Oddělení: <b>L</b>
Jméno: <b>PR</b>	Balení: KLT Množství: 30	Jméno: <b>L</b>
Symbol: 	Foto:  BARCODE: 	Symbol: 
Skupina: 1 Verze: 1 Datum: 20.10.2013	ID číslo: <b>HK255</b>	Skupina: 1

Obrázek 2 Vzhled kanbanové karty dle [13]

Základním principem tohoto systému je, že odběratel při dosažení stanovené hranice potřeby materiálu předá informaci dodavateli o potřebě daného materiálu pomocí karty Kanban. Dodavatel na základě informací od odběratele musí zajistit materiál na správné místo v požadovaném množství. Dodavatel předává materiál odběrateli i s kartou Kanban. V tomto systému je důležitá vyváženost odběru. Spotřebitel nemůže požadovat více materiálu nebo dříve. A dodavatel nesmí mít vyrobeno více a nesmí dodat spotřebiteli neshodné výrobky.

Systém je kritizován zejména kvůli jednostrannému zaměření na dílčí cílové veličiny, kterými jsou náklady na úroky a skladování. Výhoda vysokého stupně dosažení dílčího cíle minimalizace nákladů na skladování je často zaplácena ztrátami v jiných oblastech. Orientace na systém Kanban tak například téměř jistě vede k nízkému vytížení kapacit. Tomuto systému rovněž chybí plánování posloupnosti a obsazenosti strojů. Kromě toho je kritizována náchylnost systému k poruchám (výpadky systému) a velké plánovací problémy při zavádění metody [14].

### Seiban

Seiban je metoda s japonským původem. Název této metody se skládá ze dvou japonských slov a to „SEI“ a „BAN“. První slovo je znamená výroba a druhé slovo znamená číslo. Principem této metody je přidělování čísel všem výrobním zakázkám, součástem a materiálům, které se vztahují ke konkrétnímu zákazníkovi. Toto přiřazení čísel podle zákazníka umožňuje sledování zásilek podle zákazníků. Princip je předpokladem realizace tržní a zákaznické orientace firmy, sledování nákladů podle zákazníků, možnosti řešit komplexně problémy týkajícího se konkrétního zákazníka apod [15].

### Milk Run

Dle Pavelky tento systém zabezpečuje řízený rozvoz materiálu ze skladu po předem definovaných logistických trasách s přesným harmonogramem dodávek. Na přesně určeném místě je v přesně určený čas vyloženo potřebné zboží a zároveň jsou odváženy prázdné transportní přepravky z již spotřebovaného materiálu. Pomocným nástrojem pro určení potřebného množství je kanban [16].

### Heijunka

Pomocí tohoto systému lze rozvrhovat, co se má vyrábět, v jakém množství má být vyrobeno a v jakém časovém úseku má být vyrobeno. Tato metoda se věnuje výrobnímu mixu a snaží se

o vyrovnání zatížení výroby. Tato metoda má za úkol zamezit plýtvání, které v tomto případě spočívá v nevyváženosti výroby. Bez použití Heijunky se výroba řídí podle objednávek zákazníků. V tomto případě se může stát, že jeden den bude výroba přeplněna a bude se pracovat přesčas. Druhý se může stát opak a pracovníci budou muset zůstat doma. Po implementaci této metody se výroba provádí podle předem stanového plánu, který vyváží jednotlivé pracovní dny.

### 1.3 Metody logistického řízení

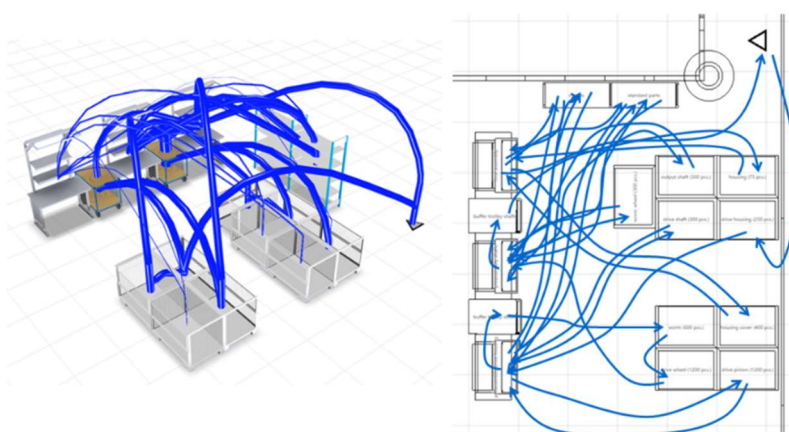
Aby bylo možné logistické procesy správně řídit, je důležité rozpoznat materiálové a informační toky. Zjistit jejich velikost a přidanou hodnotu. Pro porozumění a zjištění logistických toků se využívají následující metody.

#### Sankeyův diagram

Sankeyův diagram je nejznámější a nejpoužívanější metodou, jenž sleduje průběh určité veličiny daným výrobním systémem. Pochází od inženýra irského původu Matthewa Henryho Phinease Rialla Sankeye, který žil na přelomu 19. a 20. století. Diagram byl poprvé použitý v roce 1898, aby byla jeho pomocí zobrazena účinnost parního stroje. Nejvíce se tedy používá v technické oblasti ke znázornění účinnosti zařízení, ale například i pohybu materiálu, financí nebo lidí ve stanoveném časovém úseku jako je třeba jeden rok, měsíc, den i daný cyklus. Složení a časový průběh stavu dané veličiny pak graficky znázorňují šípky od vstupu přes průchod systémem až k výstupu. Jejich šířka pak ukazuje množství veličiny v celkovém systému. V dnešní době pro tvorbu sankeyova diagramu lze využít SW nástroje [17].

#### Spaghetti diagram

Tato metoda je používána především pro tvorby layoutu pracoviště a pro hledání nejvhodnější cesty pro materiál. Tvorba tohoto diagramu je velice jednoduchá a slouží k analýze materiálového toku a používá se při mapování interního materiálového toku [5]. Na tento diagram lze využít software, kde si vytvoříme layout a poté pomocí čar mapujeme jednotlivé cesty. Jedním z použitelných nástrojů je software VisTABLE. Na obrázku 3 je ukázka digramu vytvořeného ve VisTABLE. V tomto nástroji lze po vytvoření diagramu optimalizovat layout a tím snížit míru vytížení pracovníků pohyby.



Obrázek 3 Spaghetti diagram [18]

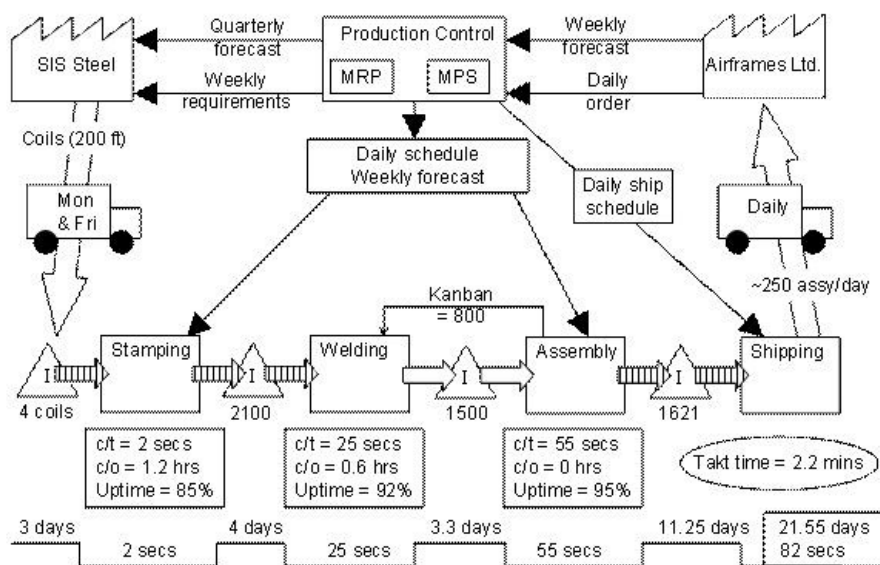
#### Postupový diagram

Je procesní analýza, která využívá jednoduchých obrázků k zapsání všech operací jakéhokoliv technologického a skladovacího procesu. Lze ho využít pro skupinu výrobků, jednotlivý

výrobek nebo u nevýrobních operací [5]. Pro tvorbu těchto diagramů lze využít nástroj z balíčku MS office pod názvem MS Visio.

## VSM

Value stream mapping nebo také mapování hodnotových toků má za úkol eliminovat plýtvání v procesech, které přidávají a nepřidávají hodnotu pro zákazníka ve všech oblastech podniku. Základem této metody je mapování hodnotového toku materiálů od dodavatelů přes výrobu až k zákazníkovi. K znázornění těchto toků se využívají zažité symboly a značky, které pomáhají zakreslit hmotný a informační tok za účelem vytvoření celkového pohledu na proces tvorby produktu nebo služby. Díky tomuto mapování lze získat informace o VA časech, NVA časech [5]. Na obrázku 4 je ukázka jednoduchého mapy hodnotových podniků v podniku.



Obrázek 4 VSM Zdroj [1]

## 2 Plýtvání

Aby bylo možné optimalizovat výrobní proces podniku je důležité pochopit a znát základní druhy plýtvání. Plýtvání lze chápat jako činnost, která je prováděna ve výrobním procesu. Tato činnost nepřidává hodnotu výrobku pro zákazníka. Z toho vyplývá, že za plýtvání neplatí zákazník, ale výrobní podnik, a tudíž plýtvání snižuje marži výrobku. Cílem je odstranit všechna plýtvání a tím zvýšit konkurenceschopnost podniku.

### 2.1 Plýtvání podle místa vzniku

Plýtvání lze rozdělit podle místa vzniku v podnikovém procesu. Podle knihy Kaizen – osvědčená praxe českých a slovenských podniků lze plýtvání v podniku rozdělit do čtyř pilířů [20]:

- Plýtvání ve výrobě
- Plýtvání v logistice
- Plýtvání ve vývoji výrobků
- Plýtvání v administrativě

Pro tuto práci jsou nejdůležitější plýtvání ve výrobě a logistice.

## Hlavní formy plýtvání ve výrobě

S těmito druhy plýtvání je možné se běžně setkat ve výrobních procesech ať už v obrábění nebo například u montážních operací. Podle knihy Kaizen – osvědčená praxe českých a slovenských podniků dochází ve výrobě k těmto plýtváním:

- Nadvýroba – vyrábí se mnoho nebo příliš brzy
- Nadbytečná práce – činnost nad rámec specifikace
- Zbytečný pohyb – pohyb, který nepřidává hodnotu
- Zásoby, které přesahují minimum potřebné na splnění výrobních úkolů
- Čekání na součástky materiál, informace nebo skončení strojního cyklu
- Opravování – odstranění nekvality
- Doprava – každá nadbytečná doprava a manipulace
- Nevyužité schopnosti pracovníků – největší plýtvání ve firmě [20]

## Hlavní formy plýtvání v logistice

Níže popsané formy plýtvání se vyskytují ve všech logistických operacích. Mohou se vyskytovat v operacích podnikové logistiky tak i v logistice mimo podnikové. Podle Košturiaka dochází v logistickém procesu k těmto plýtváním:

- Zásoby, nadbytečný materiál a komponenty – materiál se dodává příliš brzo anebo je ho příliš mnoho, příčina je v nepřesné dokumentaci, v chybách plánovacího systému či dodavatele
- Zbytečná manipulace
- Čekání
- Opravování poruch
- Chyby
- Nevyužité pracovní kapacity
- Nevyužité schopnosti pracovníků [20]

## Hlavní formy plýtvání ve vývoji výrobků

Při vyvíjení nových produktů také dochází k plýtvání. Těmto plýtváním je třeba se vyhnout již od samého počátku nového produktu, aby se nepřenesla do sériové výroby. Podle Košturiaka se při vývoji výrobku mohou nacházet tyto formy plýtvání:

- Zbytečná práce, vytváření nadbytečné dokumentace – neexistuje systém správného kódování a archivace technické dokumentace, pracovníci vytvářejí neustále nové výkresy výrobků, postupy, přípravky, nářadí, i když už v minulosti podobné dokumenty byly vytvořeny a daly by se přímo použít případně jednoduše modifikovat.
- Hledání dokumentace a informací – zbytečné telefonáty, e-maily, hledání v počítačové síti, v archivu apod.
- Čekání na informace a materiál.
- Zbytečné pochůzky – návštěvy na dalších odděleních, upřesňování zadání, získávání dodatečných informací.
- Změny v dokumentaci, korekce, odstraňování chyb.
- Ztráty času na zbytečných poradách a nesprávným řízením projektu.
- Zbytečná práce – zbytečné statistiky a výkazy, podklady na neúspěšné výběrové řízení, zbytečné činnosti [20].

## Hlavní formy plýtvání v administrativě

Jako v každém podnikovém procesu i v administrativě vzniká plýtvání. V administrativě může dojít podle Košturiaka k těmto druhům plýtváním:

- Nadbytek informací, jejich příprava a zpracování
- Přeprava zbytečných informací
- Zbytečný pohyb po pracovištích
- Hledání, čekání
- Složité postupy nebo nesprávná práce
- Zásoby
- Chyby [20]

## 2.2 Formy plýtvání 3M

Formy plýtvání ve výrobě jsou také definovány pomocí třech japonských slov Muda, Mura, Muri. Tato slova lze přeložit jako plýtvání, nerovnoměrnost výkonu a přetížení systému. Pro eliminování těchto plýtvání byli vyvinuty nástroje a metod štihlé výroby.

### 2.2.1 Muda

Muda je slovo pocházející z Japonska a jeho význam znamená plýtvání. Muda podle knihy Lean for muddies znamená aktivitu, která spotřebovává zdroje bez přidávání hodnoty službám nebo výrobkům. Muda je definována sedmi standardními druhy plýtvání [21]. Těchto sedm druhů plýtvání je také známo pod pojmem TIM WOOD nebo TIM WOODS. Tento pojem je složen z počátečních písmen anglických názvů plýtvání. V druhém pojmu znamená písmeno „S“ počáteční písmeno z anglického skills. V tomto případě je myšleno plýtvání schopnostmi zaměstnanců. Toto plýtvání se ve většině publikací uvádí jako osmý druh plýtvání.

7 +1 druhů plýtvání:

Tabulka 1 7+1 druhů plýtvání

Anglický název	Český název
Transport	Ztráta manipulací
Inventory	Ztráta ze zásob
Motion	Ztráta ze zbytečného pohybu
Waiting	Ztráta z čekání
Overproduciton	Ztráta z nadprodukce
Overprocessing	Ztráta z nadměrného zpracování
Defects	Ztráta z oprav
Skills	Plýtvání schopnostmi zaměstnanců



Obrázek 5 Muda dle [22]

### 2.2.2 Mura

Je druh plýtvání, které je zapříčiněno rozdíly v kvalitě, ceně nebo dodávkách. Pokud vše nejde lehce a konzistentně většinou je Mura ta příčina. Mura se skládá ze všech zdrojů, které jsou plýtvány, když není možné předvídat kvalitu, jako je cena testování, kontroly, opravy, přesčasy a neplánované cesty k zákazníkovi [21]. Nerovnoměrnost a nevyváženost tohoto principu plýtvání je znázorněno na obrázku 6.

Mezi Mura patří:

- Nerovnoměrná poptávka zákazníků
- Výkyvy zásob – příliš moc nebo příliš málo
- Nerovnoměrná výrobní rychlost nebo změna objemů výroby
- Nepravidelnosti v kvalitě dobrých kusů
- Nepravidelný pracovní rytmus
- Nevyvážené školení pracovníků
- Nerovnoměrné rozložení pracovní zátěže [6]



Obrázek 6 Mura dle [22]

### 2.2.3 Muri

Muri znamená přetěžování zdrojů, nepřiměřenost, nemožnost, přehánění nad něčí síly, přílišná obtížnost. Muri je jakékoli přetěžování a provádění čehokoli, co je příliš obtížné. Hlavní pozornost je zde samozřejmě věnována lidem. Muri se však může vztahovat i na materiály, stroje a organizace [6]. Na obrázku 7 je vyobrazen princip Muri jako přetěžování zdrojů.

Mezi Muri patří:

- Práce trvající moc dlouho
- Zvedání těžkých objektů
- Nevhodné držení těla nebo nedostatečná ergonomie
- Hluk
- Příliš náročné úkoly
- Příliš snadné úkoly (mohou být nudné nebo mentálně únavné)
- Nadměrný stres
- Cokoliv, co vede k vyhoření, vyčerpání nebo opakovanému poranění
- Nedostatek tréninku
- Poníženi (možná i nadměrná chvála) [6]



Obrázek 7 Muri dle [22]

### 3 Dispoziční řešení

Při rozmisťování pracovišť nebo strojů ve výrobním podniku je důležité vycházet ze studií a předchozích rozborů. V tomto případě se bude vycházet ze simulace výrobního procesu. Návrh výrobní struktury, který zahrnuje především uspořádání osobních a věcných prvků výrobního procesu v daném prostoru musí zabezpečit:

- Pružnou adaptaci výroby na komerční a inovační změny
- Co nejhospodárnější průběh výrobního procesu
- Přehlednost průběhu výrobního procesu
- Využití progresivních manipulačních prostředků
- Vytvoření pracovních podmínek v souladu s požadavky na bezpečnost a hygienu [23]

Prostorové struktury výrobního systému vymezují proporcionální vztahy mezi jednotlivými prvky systémů především z hlediska:

- Forem uspořádání výrobních zařízení (strojů)
- Rozmístění strojů, technologických a pracovních míst nebo provozů ve vymezeném prostoru
- Relativní rozdělení výrobních, pomocných, obslužných a ostatních ploch pro racionální výrobní proces [24]

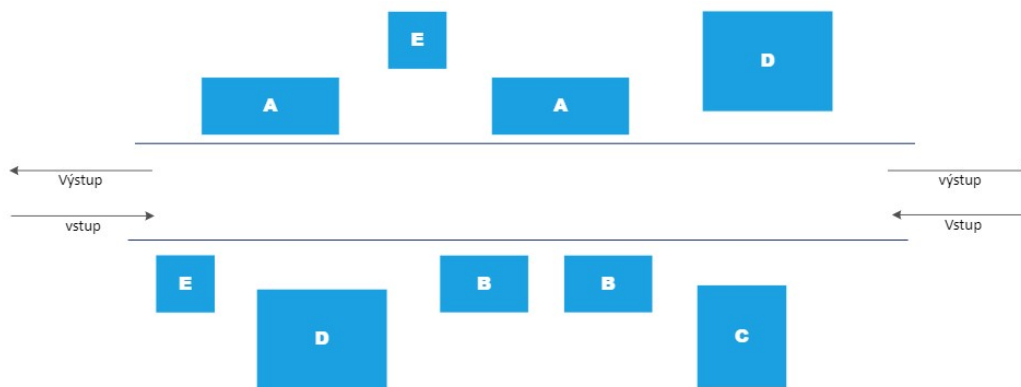
Dle Bohumila Hlavenky [24] dělíme prostorové řešení na:

- Volné uspořádání
- Struktura s pevným pracovním místem
- Technologická struktura
- Předmětná struktura
- Modulární uspořádání
- Buňkové uspořádání

#### 3.1 Volné uspořádání

Tento typ struktury je nejpoužívanější u prototypových dílen nebo dílen údržbářských. Typ výroby v tomto uspořádání má charakter kusové výroby. Toto uspořádání má svá pracoviště náhodně rozmístěná po pracovní ploše. Toto uspořádání se používá tam, kde před ustanovováním strojů nebylo možné určit toky materiálů, technologické postupy výroby a jiné organizační a řídicí vztahy. I přesto má volné uspořádání omezující kritéria v podobě základních hygienických předpisů. Tento typ rozmístění se v dnešní době nepoužívá z důvodu jeho nekonkurenceschopnosti oproti dalším dispozičním řešením [24].





Obrázek 8 Volné uspořádání vlastní zpracování dle [24]

Výhody:

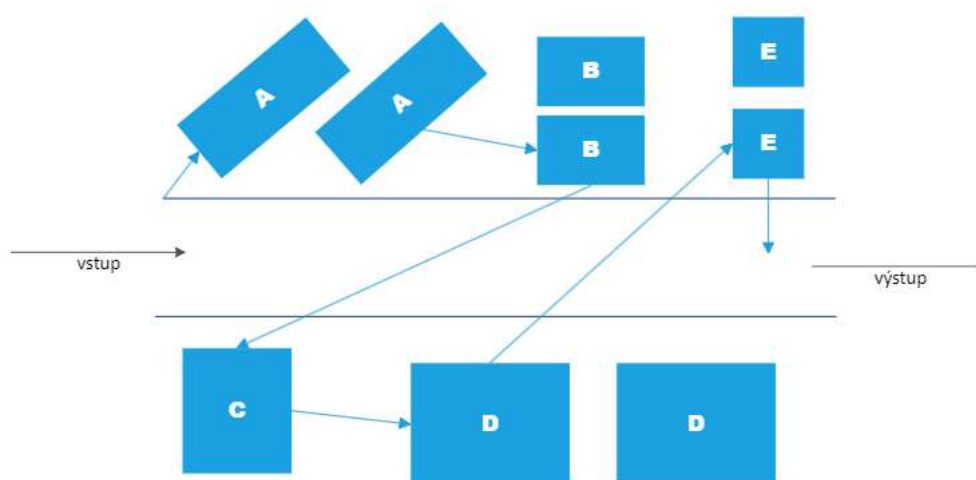
- Jednoduché rozmístění strojů skoro bez omezení
- Při zakoupení nového stroje lze umístit libovolně
- Jediné kritérium jsou hygienické předpisy

Nevýhody:

- Nekoresponduje s výrobním postupem
- Mohou nastat velké ztráty při manipulaci s materiálem na další pracoviště
- Nepřehledné rozmístění

### 3.2 Technologická struktura

V této struktuře jsou sloučené stroje a výrobní zařízení podle využívaných technologií. U této struktury vznikají dílny jako je svařovna, lakovna, soustružna. Všechny stejné nebo podobné technologické procesy se provádí na stejných dílnách. Výrobek se přesouvá mezi dílnami. Variabilita druhů vyráběných produktů nebo součástí je zde tak vysoká, že není možné jednoznačně určit směr toků materiálu ve výrobní hale. Nejvhodnější použití tohoto uspořádání je pro kusovou a malosériovou výrobu [24].



Obrázek 9 Technologická struktura vlastní zpracování dle [24]

Dle Hlavenky [24] patří mezi výhody technologického uspořádání:

- Možnost vícestrojové obsluhy

- Snadná zaměnitelnost pracovišť a odolnost při poruchách strojů
- Lepší kapacitní využití
- Snadnější údržba
- Snadnější změny výrobního programu,
- Podpora růstu kvalifikace pracovníků

Oproti tomu má dle Hlavenky [24] také toto uspořádání své nevýhody:

- Složitější řízení výroby
- Dlouhé dopravní trasy mezi dílnami
- Vyšší rozpracovanost výroby
- Prodloužení průběžných dob výroby
- Vyšší nároky na plochy, vyšší nároky na mezisklady. Při této technologické struktuře je nutnost vzniku meziskladů, umístěných na jednotlivých dílnách, nebo využití hlavních skladů

Technologické struktury mohou mít následující provedení:

### **Struktura s pevným technologickým místem**

V této struktuře zůstává výrobek na jednom pracovním místě. Všechny operace prováděné na výrobku. Tato struktura se využívá při výrobě velkých montážních celků, které by bylo obtížné přesouvat na jiná pracoviště. Dalším využitím je například ruční výroba obuvi [24].

### **Struktura jednotlivých pracovišť**

Dle [24] je struktura jednotlivých pracovišť jsou profesně shodná výrobní zařízení, ale každé výrobní zařízení v daném výrobním systému není kooperačně (prostorově) vázáno s jiným výrobním zařízením v témže výrobním systému. V tomto případě každý stroj tvoří samostatnou výrobní jednotku. Tuto strukturu je vhodné použít, když výrobek lze vyrobit na jedno upnutí na stroji.

## **3.3 Předmětná struktura**

Tato struktura je oproti technologické struktuře vhodná při vyšší sériovosti výroby nebo při výrobě opakovaných sérií. Z toho vyplývá, že není vhodná pro kusovou výrobu. Hlavní rozpoznávacím znakem této struktury je, že pracoviště jsou umístěna za sebou podle technologického postupu výrobků nebo vyráběných předmětů. Z toho také vznikl název této struktury. Díky tomuto rozdělení lze sledovat tok materiálu na jednotlivých pracovištích. Tento tok je většinou na všech pracovištích stejného směru. Většinou se jednotlivé dílny nazývají podle předmětu, který se na dílně vyrábí např. hřídelárna, dílna na výrobu vaček [24].

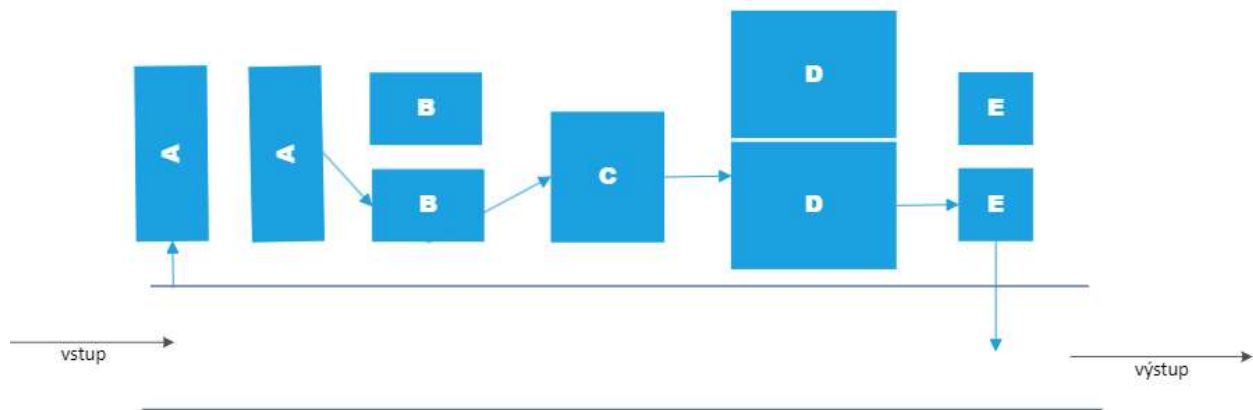
### **Struktura linková**

Výrobní linky jsou zdokonalená předmětná uspořádání pracovišť. Tuto strukturu je nejvýhodnější použít pro výrobu menšího sortimentu a vyššího výrobního množství technologicky podobných produktů. Nejvyšším možným stupněm jsou pak linky automatické, které jsou vybaveny jednoúčelovými stroji a lze na nich vyrábět stejné nebo velice podobné produkty [24].

Podle rozsahu sortimentu součásti se linkové uspořádání realizuje jako:

- 1) **Pružné linky** – vícepředmětné linky, určené pro výrobu vybrané skupiny součástí, vymezené tvarem, rozměry, technologií výroby velikosti výrobní dávky apod.
- 2) **Proudové linky** – jednopředmětné linky, charakterizované jednosměrným pevným dopravním spojením jednotlivých pracovišť, které jsou určeny k provedení uzavřeného

souboru operací s předem danou posloupností a dobou trvání všech činností (technologických i manipulačních) [24].



Obrázek 10 Předmětná struktura linková vlastní zpracování dle [24]

Podle Hlavenky autora knihy Projektování výrobních systémů [24] jsou výhody a nevýhody předmětné struktury pracovišť tato:

Výhody:

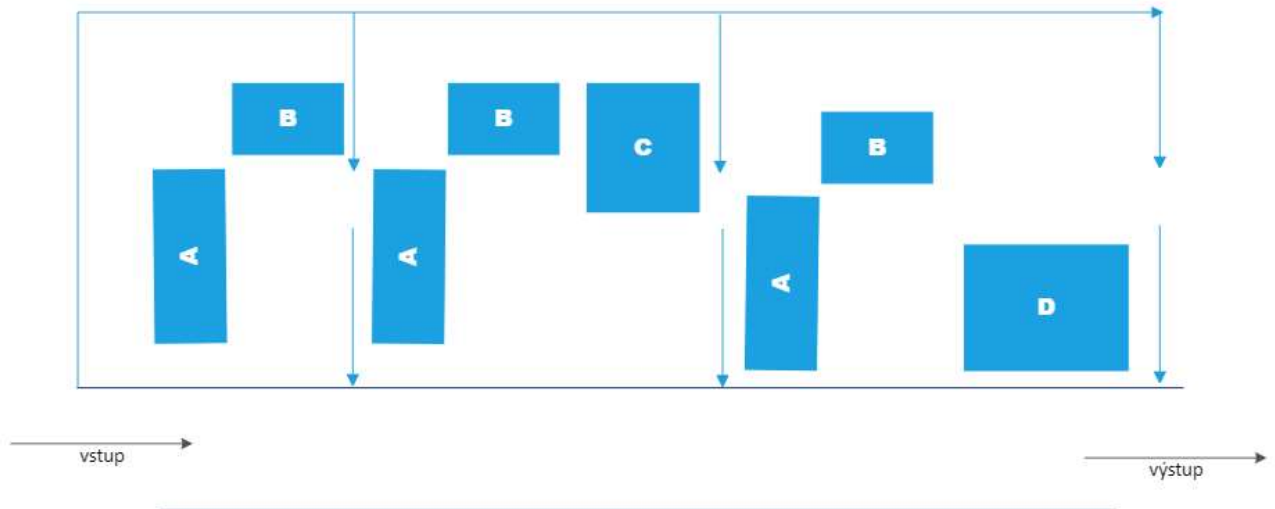
- Snížení rozpracovanosti
- Zkrácení manipulačních drah
- Zkrácení mezioperačních časů a nákladů na manipulaci
- Zkrácení průběžné doby výroby a tím úspora z vázání oběžných prostředků
- Zmenšená potřeba výrobní plochy a tím úspora investičních (stavebních) nákladů
- Snížení nákladů na skladování
- Zlepšení operativního řízení výroby
- Vedoucí pracovník může mít zodpovědnost za daný výrobní cyklus

Nevýhody:

- Změna výrobního programu způsobí velké změny strojního parku a změny uspořádání.
- Při poklesu výroby poklesne i zatížení strojů.
- Čím více je výroba a strojní park jednoúčelový, tím rostou náklady na údržbu.

### 3.4 Modulární uspořádání

V této struktuře se celá výroba skládá z totožných nebo podobných skupin pracovišť. V tomto uspořádání se slučují technologické bloky, z nichž každý plní jednu nebo více funkcí [25] Toto uspořádání se rozšířilo se vznikem CNC strojů. Pracoviště s modulárním uspořádáním mají vyšší produktivitu než struktury předmětné a technologické. Tato struktura se vyplatí používat při vícesměnném provozu. Toto uspořádání se používá ve všeobecném, středně těžkém a těžkém strojírenství v kusové a malosériové výrobě [24].



Obrázek 11 Modulární uspořádání vlastní zpracování dle [24]

Mezi výhody dle Hlavenky [24] modulárního uspořádání patří:

- Vysoká produktivita práce
- Zkrácení operačních i mezioperačních časů
- Zkrácení průběžné doby výroby
- Zkrácení manipulačních drah
- Zlepšení organizace práce a řízení výroby

Jako nevýhody je potřeba uvést:

- Při tomto uspořádání musí být na vysoké úrovni technologická příprava výroby.
- Vysoká cena strojů a zařízení.

### 3.5 Buňkové uspořádání

Dle Jurové [5] buňkové uspořádání spojuje klady technologického a předmětného uspořádání na základě potřeby vyrábět mix malých a středních objemů více druhů komponent linkovým způsobem. Toto uspořádání je chápáno jako prostorové seskupení technologicky rozdílných strojů, které umožňuje zpracovat technologicky příbuzné komponenty. Jsou sestavovány tzv. výrobkové rodiny, které jsou vytvořeny z produktů s podobnými nároky na zpracování. Sestavení „výrobkové rodiny“ komponent musí být vázáno na analýzu technologických postupů, kusovníků, a dokonce i plánu zadávané výroby. Toto uspořádání je vhodné pro robotické pracoviště nebo pro plně automatické pracoviště.

Výhody buňkového uspořádání jsou:

- Vysoká produktivita práce
- Minimalizovaná, automatizovaná, robotizovaná, operační i mezioperační manipulace s materiálem
- Přesné dodržování technologické kázně a tím i zvýšení kvality výroby a snížení zmetkovitosti
- Zkrácení průběžné doby výroby, snížení potřeby oběžných prostředků

Nevýhody buňkového uspořádání jsou shodné s modulárním řešením [24].

### 3.6 Kombinované uspořádání

Při projektování může být zvoleno několik typů struktur najednou a tím se vytvoří kombinace těchto struktur. Při těchto uspořádáních se projektant snaží minimalizovat nevýhody jednotlivých struktur a zvýšit tak efektivitu pracovišť. Nejčastějším druhem kombinace je s technologickou a předmětnou strukturou.

V mechanicko-montážních výrobních závodech jsou výrobky vyráběny v určitých ekonomicky výhodných výrobních dávkách na mezisklad montáže v technologicky uspořádané obrobně. Následující montáž podsestav a finálních produktů je možné produkovat v předmětně uspořádaných výrobních linkách. Toto uspořádání je používáno ve středněsériové výrobě [24].

### 3.7 Možné tvary výrobních linek

Podle Martiny Zlochové při tvorbě montážní linky je možno vybírat z různých tvarů. Nejčastěji používanou linkou je linka do tvaru U. Linka s tímto tvarem je z hlediska principů štíhlé výroby nejvhodnější, jelikož vstup materiálu a výstup výrobků z linky je napojený na hlavní komunikaci výrobní haly. Tento tvar dále umožňuje vhodně zásobovat linku materiálem za stoly. Vzdálenosti mezi operacemi jsou minimalizované. V tomto případě uspořádání mohou operátoři společně snáze komunikovat [34].



Obrázek 12 Výrobní linka tvaru U vlastní zpracování v Plant simulation

Dalšími možnostmi uspořádání linky jsou tvary do "I", "L". Další s možností je použít hlavní linku libovolného tvaru a k ní přidat větve s montáží podsestav [26].

U výběru linek samozřejmě musíme brát v úvahu určitá omezení jako jsou tvar a rozměry místa, které můžeme využít. Dalšími omezením může být technologický postup, počet zaměstnanců na lince, dispoziční umístění linky ve výrobní hale [26].

## 4 Volba prostorové struktury

Aby bylo možné vybrat správnou prostorovou strukturu a správný tvar linky je třeba znát základní údaje o výrobním programu jako je například sériovost výroby, opakovatelnost výroby, variabilita výrobků, rozsah sortimentu, velikost a hmotnost součástí. Z hlediska technologického procesu je třeba znát technologickou podobnost součástí náročnost výroby jako je počet operací délka operací a vztahy mezi pracovišti. A dalším důležitým aspektem je stupeň konstrukčně – technologické standardizace [24].

Při řešení výběru prostorové struktury je potřeba dodržovat co nejefektivněji následující požadavky:

- Minimalizovat náklady na manipulaci s materiálem
- Zefektivnit využití veškerých prostorů
- Zefektivnit využití pracovního prostoru
- Eliminovat úzké uličky (průchody)
- Usnadnit komunikaci a vzájemné působení mezi pracovníky, pracovníky a jejich Nadřízenými, či mezi pracovníky a zákazníky
- Redukovat časy výrobního cyklu a doby obsluhy
- Eliminovat nadbytečné pohyby
- Usnadnit vstupy, výstupy a umístění materiálu, produktů a lidí
- Začlenit pojistné a ochranné opatření, podpora kvality produktu a servisu
- Podporovat aktivity pro řádnou údržbu
- Zřídit vizuální kontrolu nad operacemi a aktivitami
- Zařídit flexibilitu na přizpůsobení se měnícím se podmínkám [23]

## 5 Simulace

Počítačová simulace je moderním nástrojem pro analýzu komplikovaných výrobních, zásobovacích, obslužných, komunikačních a dalších podnikových procesů (systémů). Simulace je metodou, která pomocí počítačového modelu podnikového procesu umožňuje manažerům předvídat chování systému při změně vnitřních či vnějších podmínek, optimalizovat podnikové procesy vzhledem zadaným kritériím (zisk, náklady, spolehlivost), porovnat mezi sebou navrhované alternativy organizace studovaného procesu. Značnou výhodou simulace je fakt, že vše se děje jen v počítačovém modelu, bez nutného zásahu do provozu podniku. Pomocí simulace je možné prozkoumat různé alternativy změn v systému, ověřit dopady a důsledky těchto změn a vybrat takové řešení, které je pro danou situaci nejvhodnější. Riziko chybných rozhodnutí je díky simulačnímu modelování sníženo na minimum, neboť chyba objevená při experimentech s počítačovým modelem je vždy levnější než chyba, která je odhalena až při realizaci konkrétního, předem nezkoumaného návrhu řešení [26].

### Spojité simulace

Pro spojitou simulaci je typické využití pro fyzikální a technické aplikace. Patrně nejnámějším typem spojitou simulaci na poli společenských věd a podnikového řízení jsou modely systémové dynamiky (system dynamics) rozvíjené J.W. Forresterem a jeho kolegy na Sloan School of Management [26].

Příkladem spojitou simulaci jsou systémy, ve kterých se sledují fyzikální veličiny, jako je teplota, rychlost a podobně [28].

### Diskrétní simulace

Je metoda studia chování složitých systémů pomocí experimentování s počítačovým modelem. Při diskrétní simulaci nenastávají změny v systému průběžně, ale pouze v okamžiku výskytu takzvaných událostí. Sama událost může nastat v jakýkoli okamžik spojitou času. Tento způsob simulace se ukázal jako velmi vhodný pro modelování výrobních, zásobovacích a dalších podnikových procesů [27].

Příkladem diskrétní simulace je systém obsluhy klienta na pobočce banky, který se mění jen v okamžicích, kdy nastane nějaká událost – příchod klienta, vyřízení požadavku. Kvůli závislosti na událostech se tyto simulace také označují jako simulace diskrétních událostí. Při tom se ještě rozlišuje, zda je orientovaný na události nebo na procesy [28].

Pro diskrétní simulaci se využívají tyto druhy rozdělení:

#### Diskrétní rozdělení

Geometrické rozdělení popisuje počet pokusů, který je třeba k dosažení prvního úspěšného výskytu určitého jevu. Předpokladem užití geometrického rozdělení je, že počet pokusů nesmí být fixní, pokusy pokračují až k dosažení úspěchu, pravděpodobnost úspěchu v každém pokusu je stejná (ta představuje jediný parametr rozdělení). Toto rozdělení lze použít například ke stanovení počtu ropných a plynových vrtů, které je třeba realizovat, než bude vrt úspěšný, tj. narazí se na ložisko ropy či plynu [33].

U binomického rozdělení náhodná veličina  $X$  s binomickým rozdělením popisuje rozdělení počtu nastoupení jevu příznivého v  $n$  nezávislých realizacích náhodného pokusu. Například počet šestek, které padnou při deseti hodech hrací kostkou, má binomické rozdělení. Toto rozdělení má dva parametry – počet realizovaných náhodných pokusů  $n$  a pravděpodobnost nastoupení příznivého jevu [27].

Poissonovo rozdělení se používá v simulaci pro generování počtu příchodů entit do systému, počtu vadných výrobků, počtu vad na jeden výrobek nebo počet přerušení provozu za danou časovou jednotku (minuta, hodina). Poissonovo rozdělení má jediný parametr  $\lambda$ , který toto diskrétní rozdělení spojuje s rozdělením exponenciálním. Pokud je parametr  $\lambda$  interpretován jako intenzita příchodů, tj. průměrný počet příchodů do systému za jednotku času, má počet takových příchodů Poissonovo rozdělení [27].

### **Spojité rozdělení**

Nejčastěji používaným rozdělením v simulaci je exponenciální rozdělení. Nejčastější je jeho využití při generování intervalů mezi po sobě následujícími příchody požadavků, délek trvání činností nebo simulaci výskytu poruch. Exponenciální rozdělení má pouze jeden parametr, který je v případě modelování příchodu požadavků interpretován jako intenzita příchodů, tj. počet příchodů za jednotku času [27].

Dalším používaným rozdělením je rozdělení rovnoměrné. Toto rozdělení je vhodné pro zachycení délky trvání činnosti v simulaci. Toto rozdělení má dva parametry, a to minimální a maximální hodnotu.

Mezi spojitá rozdělené lze také zařadit rozdělení normální. Toto rozdělení má typický zvonovitý tvar. Často se používá pro zachycení chyby při fyzikálních měřeních a ekonomických pozorováních. Normální rozdělení může být též použito pro generování dob činností, je však třeba volit střední hodnotu a rozptyl tak, aby byla minimalizována možnost vygenerování záporné hodnoty doby trvání [27].

Jako posledního představitele spojitého rozdělení lze uvést trojúhelníkové rozdělení. Trojúhelníkové rozdělení má tři parametry nejčastěji nabývanou hodnotu, minimální hodnotu a maximální hodnotu. Toto rozdělení se využívá v situacích, kde nejsou k dispozici konkrétní údaje.

Simulace lze rozdělit do dvou základních druhů na diskrétní a spojitě. Toto rozdělení je z pohledu časového průběhu mezi jednotlivými procesy.

### **Kombinovaná diskrétní-spojité simulace**

Tato simulace je schopna zachytit dynamiku systému současně s pomocí diskrétních událostí a diferenciálních či diferenčních rovnic. V kombinovaném systému existují prvky, které se mění jak spojitě, tak na základě diskrétních událostí [27].

## **6 Použitý software Tecnomatix Plant simulation**

Software Tecnomatix Plant Simulation umožňuje simulaci a optimalizaci výrobních systémů a procesů. Pomocí programu Plant Simulation můžete optimalizovat tok materiálu, využití zdrojů a logistiku pro všechny úrovně plánování závodu od globálních výrobních zařízení přes místní závody až po specifické linky.

Plant Simulation pomáhá vytvářet digitální modely logistických systémů (např. Výroby) s cílem prozkoumat vlastnosti systémů a optimalizovat jejich výkon. Digitální model umožňuje uživatelům provádět experimenty a případné scénáře bez narušení stávajícího výrobního systému nebo – pokud se používají v procesu plánování – dlouho před instalací reálného systému. Rozsáhlé analytické nástroje, statistiky a grafy umožňují uživatelům hodnotit různé výrobní scénáře a provádět rychlá a spolehlivá rozhodnutí v raných fázích plánování výroby [29].



## 7 Praktická část

Před započítáním tvorby analýzy dat a tvorby simulace je nezbytně nutné představit si výrobní společnost a výrobní linku produktu, které se tato práce týká.

### 7.1 Představení společnosti

Firma Faiveley Transport Czech a.s. byla založena v roce 1934 tehdy ještě pod názvem Lekov s.r.o. Dne 22. června 1934 prostory v Blovicích, kde se dříve nacházela přízemní budova pro krejčovskou dílnu – výrobu konfekčních oděvů, zakoupil budoucí majitel. Od počátku její existence se v této továrně vyrábělo elektrické nářadí. Výrobky firmy se vyvážely do více než 20 zemí světa. V roce 1948 byla továrna znárodněna. Poté byla zahájena výroba elektrických trakčních přístrojů pro lokomotivy a trolejbusy. Po politických změnách došlo v lednu 1993 z iniciativy potomků původních majitelů k opětovnému založení společnosti. Nová společnost převzala továrnu s týmem kvalifikovaných odborníků s dlouholetými zkušenostmi v oborech vývoje, konstrukce a výroby elektrických trakčních přístrojů.

Akciová společnost Lekov, a.s. vznikla dne 1. září 1997 jako univerzální právní nástupce společnosti Lekov s.r.o. Na akciovou společnost přešla všechna aktiva i pasiva zrušené společnosti s ručením omezeným.

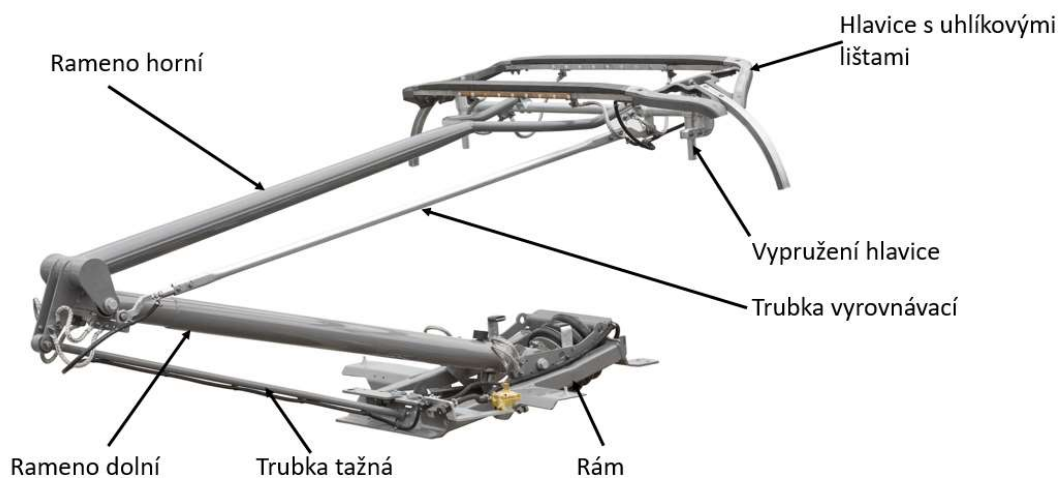
V prosinci roku 2001 se akciová společnost Lekov stala součástí mezinárodní skupiny, významného předního světového výrobce komponentů pro globální trh dodávek železničnímu průmyslu Faiveley transport. Vstupem do skupiny společnost rozšířila produktovou řadu o produkty skupiny elektromechanické komponenty a zároveň získala v rámci skupiny větší přístup na zahraniční trhy. Dále se stala tzv. kompetenčním centrem pro výrobu pantografů s cílem dodávat tyto výrobky do celého světa. Přiblížila se celosvětové síti poboček skupiny, pronikla na dříve exotické trhy jako Austrálie, Mexiko, Indie, Čína a zároveň upevnila své postavení v Evropě.

Hlavní činností společnosti jsou vývoj, výroba a prodej elektrických trakčních přístrojů a jejich náhradních dílů. Nejstěžejnějšími produkty jsou pantografy a sběrače proudu pro všechna kolejová vozidla. Dalším důležitým produktem je řídicí kontrolér pro ovládání rychlostí a směrů kolejových vozidel. Jménem společnosti je oprávněn jednat samostatně a ve všech věcech předseda představenstva nebo společně dva členové představenstva. Ostatní osoby mohou jednat jménem společnosti, jen pokud jsou k tomu písemně zmocněny předsedou představenstva. Prokura společnosti byla zřízena 19. srpna 2010. Prokurista společnosti jedná samostatně. Práva a povinnosti orgánů společnosti jsou uvedeny ve stanovách společnosti.

### 7.2 Popis produktu

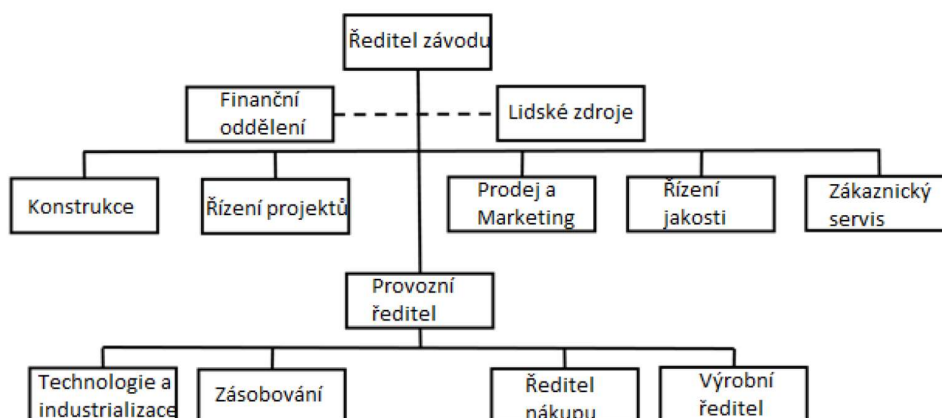
Pantograf je zařízení určené pro sběr proudu z trakčního vedení pro kolejová vozidla především vlaky, tramvaje a metra. Podle typu pohonu se pantografy dělí na elektrický pohon nebo na pohon pneumatický. Dalším možným dělením těchto zařízení pro sběr proudu z trakčního vedení je dělení podle rychlosti kolejového vozidla, kterému sběrač proudu přísluší. A samozřejmě jsou taky pantografy rozděleny podle typu trakčního vedení na drahách, na kterých budou jezdit. Jsou také různé pantografy podle typu proudu, který sbírají ať střídavý či stejnosměrný. Na obrázku 13 je vyobrazen ten jednodušší pantograf a to pneumatický. Pneumatické pantografy jsou nejpoužívanější pantografy na vlacích. Pantografy všech typů se skládají ze základních šesti částí, a to na svařence rám, trubka tažná, rameno dolní, rameno horní a trubka vyrovnávací. Šestou částí je hlavice s uhlíkovými lištami, která se skládá z více částí. Nejdůležitější částí hlavice jsou její uhlíkové lišty, v některých případech může být použita i jen jedna lišta. Úkolem lišt je sbírat proud z trolejového vedení. Pro správný přítlak

a neustálý kontakt mezi lištami a trolejemi je použité na každé hlavici tzv vypružení hlavice. Na střeše vlaku je pantograf umístěn na třech nebo čtyřech izolátorech, které jsou namontovány na rámu pantografu. Zvedání pneumatického pantografu probíhá vydáním signálu strojvedoucího pro zvednutí pantografu. Měch pantografu se začne naplňovat vzduchem a při dosažení určitého tlaku vzduchu se pantograf zvedne, a tak připojí vlak k trolejovému vedení. Pantografy jsou vybaveny bezpečnostními prvky tzv. ADD systém zkratka z anglického jazyka (Automatic Drop Device). Tento prvek má za úkol při poškození jakékoli části pantografu jej složit zpátky na střechu vlaku a tím vlak odpojit od elektrického proudu. Před vstupem vzduchu do pantografu, vzduch projde přes řídicí jednotku pantografu zkratkou PCU (Pneumatic Control Unit). Pomocí této jednotky je pantograf ovládán a řízen. Díky jednotce se strojvedoucí dozví o defektu na pantografu nebo jiné anomálii. Pantografy a sběrače proudu nesmí být v rozporu s normou ČSN EN 50206, která popisuje vlastnosti a zkoušky pantografů.



Obrázek 13 Popis částí pantografu [2]

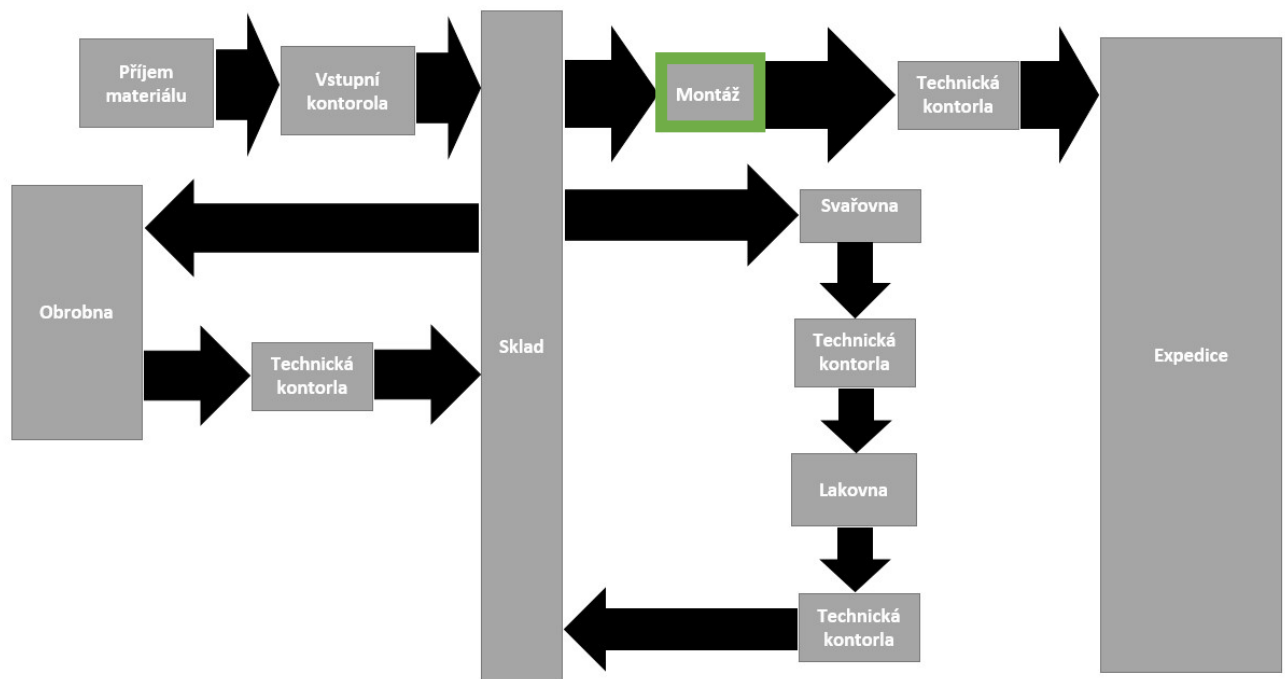
Z organizační struktury společnosti, která je vyobrazena na obrázku 14 lze vyčíst, že ve vedení společnosti je ředitel společnosti, kterému přímo reportuje šest manažerů jednotlivých útvarů. Pod ředitelem společnosti jsou ještě dva štáby, a to oddělení lidských zdrojů a oddělení financí. Důležitou osobou společnosti je také provozní ředitel, který má pod sebou všechny oddělení úzce spojené s výrobou (výrobní ředitel, zásobování, nákup, technologie a industrializace). Struktura společnosti je tedy liniově štábní.



Obrázek 14 Organizační struktura (zdroj: autor)

## 8 Tok materiálu ve společnosti Faiveley Transport Czech a.s.

Tok hmotného materiálu pro potřebu výroby pantografu je zobrazen na obrázku 15. Celý proces toku hmotného materiálu ve společnosti začíná příjmem hutního materiálu, spojovacího materiálu nebo nakupovaných dílů a komponentů. Po příjmu materiálu probíhá, před samotným zaskladněním příchozích výrobních položek, vstupní kontrola. Důležité položky s vysoce požadovanou přesností rozměrů a povrchových úprav jsou kontrolovány stoprocentní kontrolou. U ostatních položek probíhá jen kontrola části dávky nebo kontrola neprobíhá vůbec. Po uskladnění materiálu jsou vydány výrobní příkazy, které usměrňují tok vyskladněného materiálu na daná pracoviště dle technologického postupu. Materiál může směřovat na dílny, které jsou technologicky uspořádány, jako je obrobna, lakovna, svařovna, vývoj, montáž. Montáž je dále rozmístěna podle předmětného linkového uspořádání a dle jednotlivých produktových řad vyráběných na daných linkách. Při každém ukončení kroku výrobního postupu, který je poslední na daném výrobním úseku, následuje technická kontrola. Posledním krokem před expedicí výrobku zákazníkovi je technická kontrola po montáži. Na expedici se výrobky zabalí dle požadavků zákazníka a odešlou se příslušnou dopravou na místo určení.



Obrázek 15 Tok hmotného materiálu

Linka, kterou se tato práce zabývá, se nachází na montážní dílně. Na obrázku 15 je tato dílna zvýrazněna zeleným orámováním. Montážní dílna má předmětné uspořádání linkové. Tato práce se zabývá pouze jednou výrobní linkou, a to linkou pantografů. K lince pantografů dále náleží montáže podsestav, které ji zásobují některými hotovými podsestavami.

### Výrobní postup pantografu

Na obrázku 16 je znázorněn výrobní postup pantografu. Celý proces montáže začíná na přípravném pracovišti vedle linky, kde se před započítím montáže připraví na montážní vozík dřevěný rám, který po dokončení výroby slouží jako přepravní a manipulační jednotka. Na tento dřevěný rám se pak umístí základní rám pantografu. Na prvním pracovišti se rám osadí základními komponenty patřící k podsestavě rámu, podsestavou tažné tyče a podsestavou zvedáku, který je již vyrobený z linky podsestav a náhradních dílů. Na prvním pracovišti se již

z důvodu sledovatelnosti výrobku ihned na rám lepí typový štítek s vygravírovanými údaji. Tento štítek obsahuje údaje, jako jsou typ pantografu, datum výroby, vyráběná revize a především sériové číslo výrobku.

Druhé pracoviště se skládá ze dvou montážních stolů. Na prvním stole se montují podsestavy dolních ramen. Dolní ramena přicházejí na linku z lakovny a tento díl patří k těm, které jsou ve firmě od surového materiálu a prochází procesy krácení materiálu, obrábění, svařování, tryskání, šopování a lakování. Na dalším stole druhého pracoviště probíhá částečný rozvod vzduchu pantografu. To spočívá v krácení vzduchové hadice a připojení na pohon nebo měch.

Na třetím pracovišti se namontují podsestavy horního ramene a vyrovnávací trubky. A dokončí se vzduchové zapojení tím, že se druhý konec vzduchové hadice spojí s průchodem vzduchu v trubce vyrovnávací. Horní rameno je další důležitý díl, který prochází stejnými procesy jako rameno dolní.

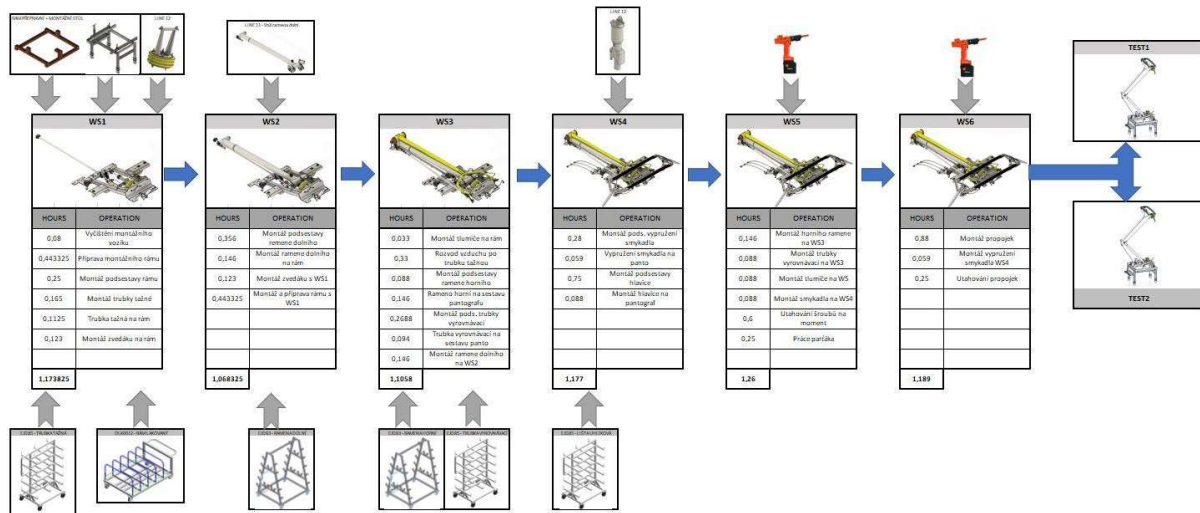
Další pracoviště kompletuje podstavu vypružení hlavice a podstavu hlavice pantografu, která se skládá z uhlíkových lišt sloužících jako kontaktní plocha mezi trakčním vedením a vlakem. Podstava hlavice se po montáži musí začistit do požadovaného vzhledu. Začištění probíhá v brousícím boxu poblíž linky. Do vypružení hlavice přichází z linky podstav pružící jednotka také nazývána jako spring box.

Na předposledním pracovišti se všechny spoje utahují elektronicky řízenými momentovými klíči. Výsledky utažení šroubových spojů jsou průběžně ukládány do reportu k výrobku. Report je provázán s výrobkem pomocí sériového čísla. V datech reportu jsou například počet otáček utažení a utahovací moment.

Poslední pracoviště se využívá pro montáž měděných propojek na celkovou sestavu pantografu. Při montáži propojek je důležité dbát na správnou orientaci propojek, aby při zvedání pantografu nezasahovaly do trajektorie jiného dílu pantografu. Po nasměrování propojek se šrouby na propojkách dotahují, taktéž elektronickými klíči. Tímto úkonem je montáž ukončena a celý pantograf se přesune na místo, kde čeká, než se uvolní testovací pracoviště.

Testování probíhá na dvou pracovištích, každé pracoviště zkouší jeden celý pantograf. Účel testování pantografu je kontrola všech funkcí pantografu, které jsou požadovány zákazníkem. Testování probíhá podle dokumentu, který je nazýván specifikace kusové zkoušky. V tomto dokumentu jsou popsány zkoušky, které mají proběhnout jako jsou zkouška vzduchotěsnosti pantografu, kontrola výšky zdvihu, časy zdvihu a spuštění pantografu, vyzkoušení a nastavení hysterezní křivky pantografu apod.. Výsledky testů jsou opět zaznamenány do reportu výrobku i s vyplněnými sériovými čísly jednotlivých komponent. Po testování následuje technická kontrola, která kontroluje hotové výrobky po vizuální stránce. Hlavním úkolem této kontroly je zjistit, jestli není poškozen lak na pantografu, zdali jsou všechny šrouby utaženy. Po utažení jsou šroubové spoje označeny barvou a je provedena vizuální prohlídka správnosti natočení propojek. Po kontrole je pantograf převezen a připraven k odvozu pracovníkem expedice.

Na expedici je pantograf sundán pomocí jeřábu z montážního stolu a umístěn do přepravního boxu nebo na paletu. Balení pantografu a příprava k jeho expedici se liší podle typu zákazníka a podle toho, jestli je pantograf dopravován pomocí silniční nebo námořní dopravy. Po zabalení pantografu je pantograf buď rovnou naložen do vozu kamionové přepravy nebo je umístěn do konzolových regálů, kde bude na přepravu čekat.



Obrázek 16 Model linky

## 9 Stávající problémy výrobní linky

Výrobní linka popisovaná v této práci se v současné době podotýká s několika problémy. Těmito problémy se práce bude zabývat a snahou je tyto problémy odstranit nebo zmírnit.

Prvním problematikou výrobní linky je čekání výroby na materiál. Ve většině případu se výroba podotýká s tím, že materiál není na výrobní lince ve správný čas na správném místě. To způsobuje zbytečné prostoje při montáži pantografů.

Dalším nedostatkem linky jsou zbytečné pohyby operátorů linky, které jsou způsobeny špatným hledáním materiálu či velká vzdálenost mezi pracovištěm a vyskladněným materiálem.

Předpokládané zlepšení výrobní linky je také zvýšení produktivity práce na lince. Produktivita práce na lince se dlouhodobě pohybuje mezi 75–80 %. Se zlepšením produktivity práce souvisí také počet odvedených výrobků za den. V dnešní době se počet odvedených kusů je nestabilní a pohybuje se od tří do šesti vyrobených kusů za den. S produktivitou také souvisí problém s rozdílnými výrobními časy pantografů. Řada pneumatických pantografů má montážní čas dvakrát nižší než pantografy s elektrickým pohonem či složitější pantografy. Tento fakt prodlužuje takt v lince a při přestavbě pracovišť způsobuje čekání na následujících pracovištích.

Dalším předpokládaným zkrácení je snížení manipulační drah s materiálem mezi jednotlivými pracovišti.

## 10 Sběr dat potřebných pro tvorbu modelu

Pro tvorbu modelu v softwaru Tecnomatix Plant Simulation je zapotřebí sběr potřebných dat, které jsou nutné k tvorbě samotné simulace. Aby výsledky simulace byly co nejrealističtější, je snaha sběru dat v co možná nejpřesnější podobě. Důležité je vědět vše o toku materiálu ve výrobě, časy výroby, rozměry a rozmístění výroby.

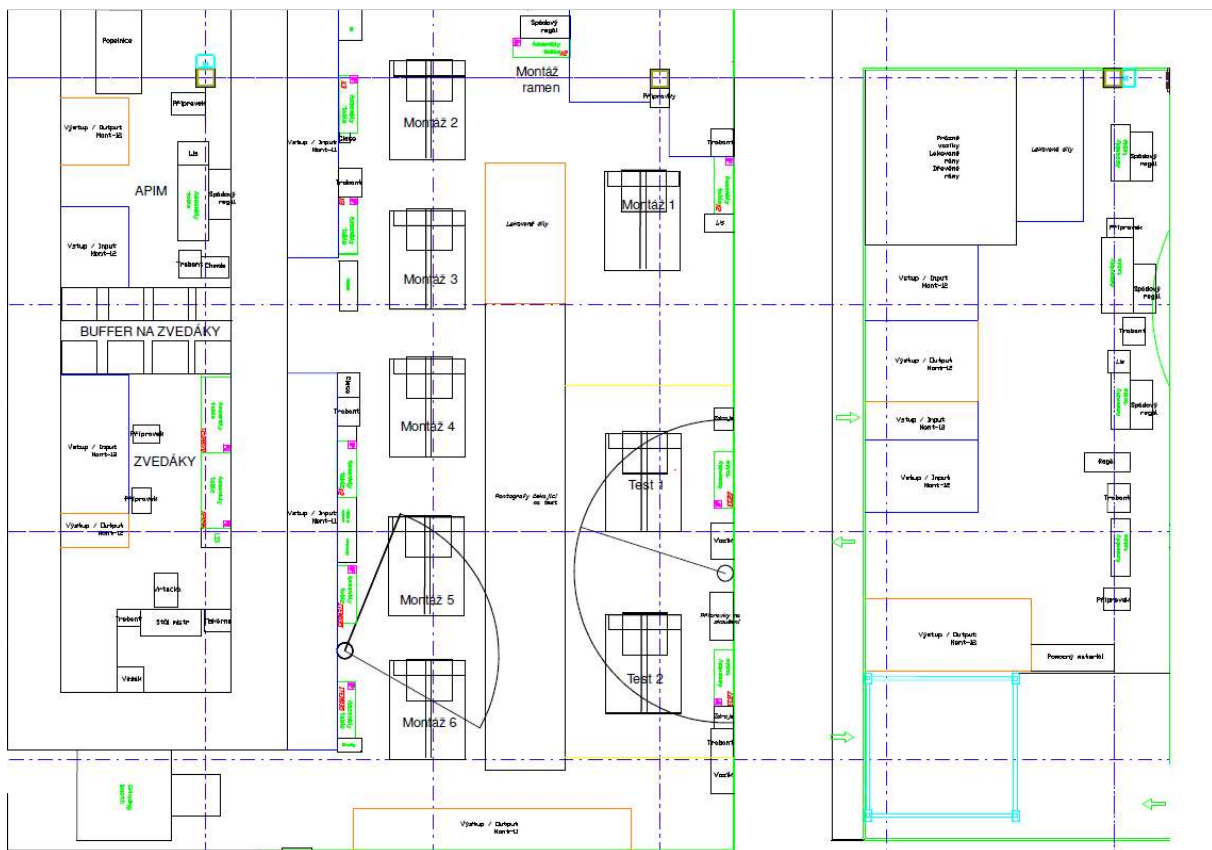
### 10.1 Současný layout výrobní linky

Jedním z kroků před samotnou tvorbou simulace je potřeba seznámit se s výrobním procesem a místem, kde se výrobní proces odehrává. Nejvhodnějším způsobem, jak zjistit a vizualizovat výrobní linku, je pomocí layoutu. Layout výrobní linky pantografu je zobrazen na obrázku 17. V adekvátní kvalitě je layout ve formátu .dwg v příloze 1. Z tohoto layoutu je zřejmé, že hlavní

výrobní linka pantografů je uspořádána jako linka ve tvaru „U“. Linka se skládá z šesti výrobních pracovišť, dvou zkušebních pracovišť a jednoho pracoviště pro finální vizuální technickou kontrolu. Každé pracoviště má svůj prostor pro vstupní materiál na layoutu znázorněn modrou barvou za každým montážním stolem. Dalším prostorem pro vstup materiálu je oranžová zóna uprostřed linky, která slouží pro vstup lakovaných dílů. Další zóna je buffer pantografů před testováním. Tento buffer byl vytvořen, protože délka operace zkoušení je delší než délka montážního taktu. A tím se vytvářely fronty rozpracované výroby mezi pracovišti.

K výrobní lince pantografů náleží také pracoviště montáž podsestav a příslušenství pro pantografy. Tato pracoviště jsou montáž zvedáků, pružících jednotek, Apimů, ADD, vypružení a pohonů. Linku přímo zásobují pracoviště pružících jednotek a zvedáků. Ostatní výrobky jsou předávány přímo na expedici a většinou se prodávají jako náhradní díly.

Pomocí SW Autocad, ve kterém je layout nakreslený a udržovaný v aktualizované podobě, proběhl sběr dat v podobě základních rozměrů stávajícího stavu výrobní linky. Linka pantografů má 12 x 22,2 m. To znamená, že její rozloha je 266,4 m<sup>2</sup>. Linka včetně pracovišť pro montáž podsestav zabírá plochu 494,3 m<sup>2</sup>. Jednou z největších částí linky je místo, kde se ukládají pantografy, které čekají na testování. Sektor pro čekající výrobky na test má rozměry 12,3 x 2,1m, to je 25,83 m<sup>2</sup>.



Obrázek 17 Layout výrobní linky

## 10.2 Plán výroby

Dalším krokem sběru dat bylo zjištění kolik výrobků je potřeba v následujících 12 měsících vyrobit a o jaké druhy výrobků jde. Tato data byla stažena s interního MRP systému. Výsledkem je, že v následujících 12 měsících je potřeba vyrobit 971 pantografů. Na

následujících 12 měsíců je ve společnosti vypočteno zhruba 250 pracovních dní. Z toho vyplývá, že každý den se musí vyrobit cca 4 pantografy, aby byly splněny požadavky zákazníků. Podle požadavků zákazníků lze určit, že výrobní linku pantografu musí každých 114 minut opustit vyrobený pantograf.

Na obrázku 18 je náhled na následujících 7 položek výrobního plánu. V prvním sloupci jsou čísla položek a v následujícím sloupci jsou názvy rodin, do kterých jsou položky rozděleny. Sloupec „Název“ je název položky, ve kterém jsou popsány základní charakteristiky pantografu. V dalších sloupcích jsou datum a týden odeslání zákazníkovi a v posledním sloupci je množství, které požaduje zákazník dodat. Kompletní plán výroby je v příloze 2.

Číslo položky	Rodina	Název	Datum požad	Týden	Množ.požad.
FT0074210-105-1P00	AXNG	PANTOGRAF AX-NG 061 BU	21.03.2022	13	4
NOINS VE040909-105	LX	PANTOGRAF LX 3200 EL 046 25kV	21.03.2022	13	2
VE040909-0105	LX	PANTOGRAF LX 3200 EL 046 25kV	21.03.2022	13	2
VE040909-0105	LX	PANTOGRAF LX 3200 EL 046 25kV	21.03.2022	13	1
VE040909-0105	LX	PANTOGRAF LX 3200 EL 046 25kV	21.03.2022	13	2
M00042-71-L	BW	PANTOGRAF STADLER FLIRT	21.03.2022	13	2
M00042-71-L	BW	PANTOGRAF STADLER FLIRT	21.03.2022	13	2

Obrázek 18 Náhled do výrobního plánu

### 10.3 Rodiny výrobků

Ve společnosti je vyráběno velké portfolio pantografů, které čítá okolo 70 typů. Z důvodu velkého množství typu pantografů bylo pro usnadnění tvorby simulace rozhodnuto diplomantem, že se na základě podobnosti a náročnosti montáže jednotlivých typů rozdělí pantografy do rodin. V každé rodině byl určen, na základě četnosti vyráběných kusů dle výrobního plánu, jeden představitel. Pro pantografy bylo použito interní rozdělení na druhy AX-NG, LX, STT, BW. V těchto rodinách jsou pantografy s velikou podobností, které se mnohokrát liší pouze barvou nátěru nebo orientací menších dílů, proto by toto sloučení do rodin nemělo výrazně ohrozit výsledky simulace. Z plánu pro následujících 12 měsíců bylo zjištěno, kolik se má vyrobit jednotlivých výrobků rozdělených podle rodin. Počet vyráběných kusů je znázorněn v následující tabulce 2.

V tabulce 2 jsou vypsáni jednotliví představitelé rodin a kolik kusů těchto představitelů se má vyrábět. Z tabulky je zřejmé, že nejvíce vyráběnou rodinou jsou pantografy rodiny AXNG, a to skoro o dvojnásobek vyráběných kusů oproti druhé nejčastější rodině STT.

Tabulka 2 Počet vyráběných představitelů

Rodina	Počet kusů	Představitel
AXNG	413	FT0074210
STT	236	7212765
BW	190	M00042-64-L
LX	63	VE040909-0105
SX	42	VE043106-0101
CX	24	VE041877-0102

## 10.4 Výrobní časy

Pro tvorbu simulačního modelu jsou nedílnou součástí data, která určují výrobní časy jednotlivých výrobků. Ve společnosti je používán software TPV 2000, který je využíván pro řízení konstrukčních částí výrobků jako jsou kusovníky nebo výkresy. Také je používán technology, kteří vytváří výrobní postup a k jednotlivým operacím výrobního postupu je přiřazována časová náročnost operace. Protože tyto časové hodnoty jsou málo podrobné a některé jsou i dlouho neaktualizované, jsou tato data pro tvorbu simulace nedostačující. A tak bylo diplomantem rozhodnuto, že budou naměřeny jednotlivé montážní operace podrobněji. Z každé rodiny pantografů byl vybrán nejčastější představitel, který byl přeměřen. Každý z přeměřených produktů byl změřen třikrát pro větší přesnost výsledků měření.

Celkové hodnoty naměřených výrobních časů podle rodin je v tabulce 3. Z této tabulky je jasné, že výrobní časy jednotlivých rodin se mohou lišit až o čtyřnásobek. Nejčastěji vyráběná rodina pantografů má výrobní čas druhý nejnižší. A nejdelší výrobní čas mají pantografy BW, kterých se v následujících dvanácti měsících má vyrobit 190 kusů. Oproti tomu má nejkratší výrobní čas rodina SX, kterých se bude vyrábět pouze 42 kusů. Výrobní časy v tabulce 2 jsou uváděny v hodinách, jak je i standardem ve společnosti.

Tabulka 3 Výrobní časy rodin

	Rodina				
	AX-NG	LX	STT	BW	SX
Výrobní čas [Hod]	4,96	12,36	5,46	15,46	3,45

V tabulce 4 je poté rozložení časů po jednotlivých pracovištích. V tabulce je použit součet časů jednotlivých činností na pracovišti. V tabulce je použito triangulární rozložení časů, které udává minimální hodnotu naměřeného času, průměrnou hodnotu a maximální hodnotu naměřených časů. Tyto hodnoty poté použije Tecnomatix Plant Simulation pro výpočet distribuční funkce. U triangulárního rozdělení mají střední hodnoty rozdělení mnohem vyšší pravděpodobnost než hodnoty okrajové. Časové hodnoty jsou napsány ve stejném formátu, jako používá Plant Simulation, a to ve formátu „Dny: hodiny: minuty: sekundy“.



**Tabulka 4 Trinagulární rozdělení časů po jednotlivých pracovištích**

Pracoviště	BW			SX			CX		
	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max
Příprava rámu	2:45.0	2:46.0	2:47.0	2:30.0	4:30.0	5:30.0	2:30.0	4:30.0	5:30.0
1				25:25.0	34:0.0	45:26.0	25:25.0	34:0.0	45:26.0
Lower arm bench	15:00.0	20:00.0	25:00.0	19:10.0	23:10.0	27:10.0	19:10.0	23:10.0	27:10.0
2	20:00.0	25:00.0	30:00.0	3:14.0	4:14.0	5:14.0	3:14.0	4:14.0	5:14.0
3	45:50.0	56:04.0	1:11:08.0	39:43.0	48:44.0	57:43.0	39:43.0	48:44.0	57:43.0
4	20:50.0	26:04.0	31:08.0	30:48.0	34:48.0	38:48.0	30:48.0	34:48.0	38:48.0
5	1:26:58.0	1:32:54.0	1:41:42.0	13:38.0	17:00.0	20:20.0	13:38.0	17:00.0	20:20.0
6	1:26:58.0	1:32:54.0	1:41:42.0	34:41.0	36:45.0	38:49.0	34:41.0	36:45.0	38:49.0
test	2:15:21.0	2:18:03.0	2:20:46.0	1:50:00.0	2:05:00.0	2:40:00.0	1:50:00.0	2:05:00.0	2:40:00.0
Pracoviště	AX-NG			LX			STT		
	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max
Příprava rámu	2:30.0	4:30.0	5:30.0	2:30.0	4:30.0	5:30.0	2:30.0	4:30.0	5:30.0
1	25:25.0	34:0.0	45:26.0	25:25.0	34:0.0	45:26.0	25:25.0	34:0.0	45:26.0
Lower arm bench	19:10.0	23:10.0	27:10.0	19:10.0	23:10.0	27:10.0	19:10.0	23:10.0	27:10.0
2	3:14.0	4:14.0	5:14.0	3:14.0	4:14.0	5:14.0	3:14.0	4:14.0	5:14.0
3	39:43.0	48:44.0	57:43.0	39:43.0	48:44.0	57:43.0	39:43.0	48:44.0	57:43.0
4	30:48.0	34:48.0	38:48.0	30:48.0	34:48.0	38:48.0	30:48.0	34:48.0	38:48.0
5	13:38.0	17:00.0	20:20.0	13:38.0	17:00.0	20:20.0	13:38.0	17:00.0	20:20.0
6	34:41.0	36:45.0	38:49.0	34:41.0	36:45.0	38:49.0	34:41.0	36:45.0	38:49.0
test	1:50:00.0	2:05:00.0	2:40:00.0	5:05:00.0	5:33:00.0	6:01:00.0	1:50:00.0	2:05:00.0	2:40:00.0

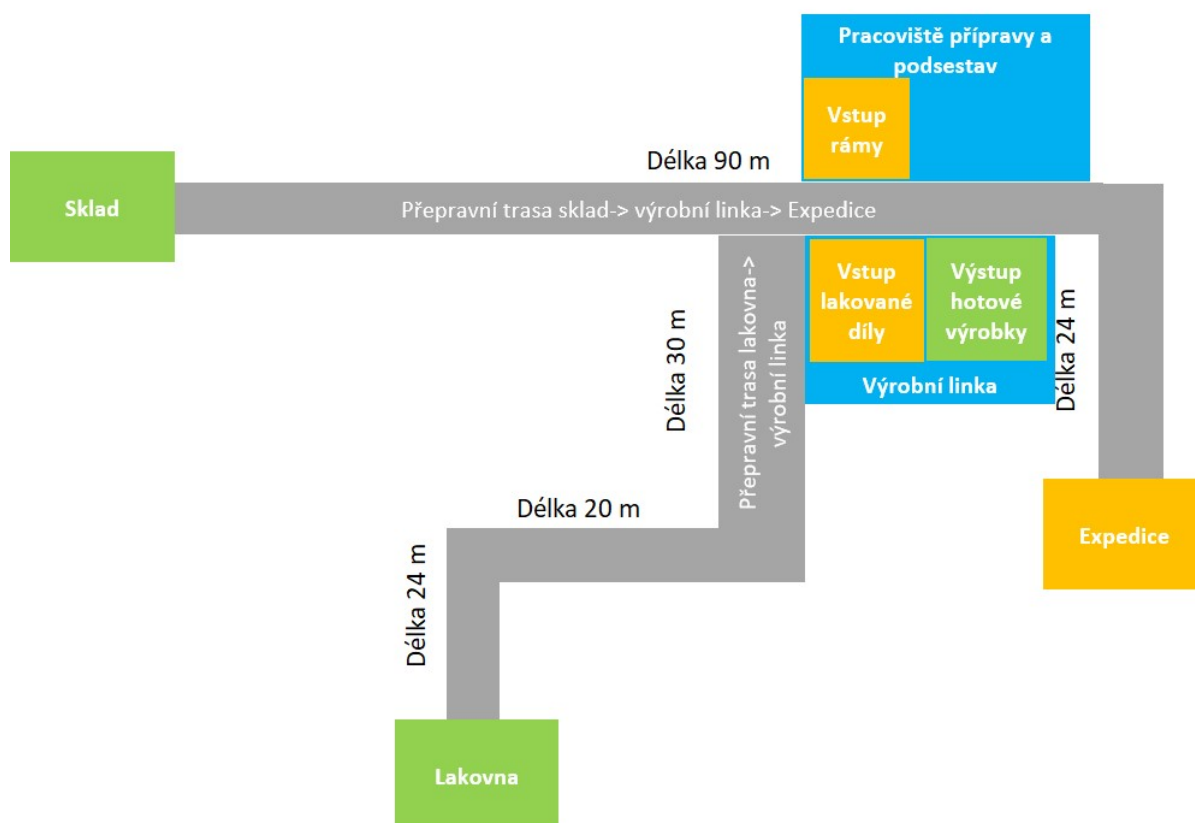
## 10.5 Zásobování linky

Linka je zásobována ze tří zdrojů. Prvním zdrojem je sklad materiálu, kde se materiál vyskladní ze skladového místa a umístí do transportního vozíku. Vychystávání vozíků s materiálem probíhá na základě materiálového požadavku u výrobního příkazu. Větší materiál je umístěn v paletách v konzolových regálech, ze kterých je potřeba paletu sundat pomocí retraku. Drobnější díly jsou umístěny v regálech nebo ve vertikálním výtahovém skladovacím systému. Pokud je vychystán všechny materiál, pracovník skladu přemístí vozík s materiálem do zóny na skladě, která určuje, že je možné vozík odvést na linku. Materiál odváží osoba, která je zodpovědná za přísun materiálu na linku.

Druhým zdrojem je zásobování linky lakovanými díly, které jdou z lakovny taktéž na základě stejného výrobního příkazu a materiálového požadavku. Díly jsou lakovány v dávkách podle výrobního plánu na jednotlivé pantografy. Po lakování jsou sady uloženy v blízkosti lakovny a v případě potřeby jsou převezeny na výrobní linku.

Posledním zdrojem materiálu jsou kanbanové regály umístěné u linky. Tento kanbanový systém je doplňován dodavatelem spojovacího materiálu. Dodavatel přijíždí doplňovat regál na základě předpokládaného odběru dílů. Po příjezdu dojde vyzvednout prázdné krabice, které jsou uloženy vedle regálu a v dalším závozu je přiveze naplněné. Operátoři montáže si z tohoto kanbanu odebírají spojovací materiál dle potřeby montáže.

Délky přepravních tras byly vyčteny z layoutu firmy. Délky a směry přepravy jsou schematicky znázorněny na obrázku 19. Místa nakládky materiálu jsou znázorněny zeleně a místa vykládky jsou znázorněny oranžově. Pracovní plochy patřící lince pantografů jsou znázorněny modrou barvou.



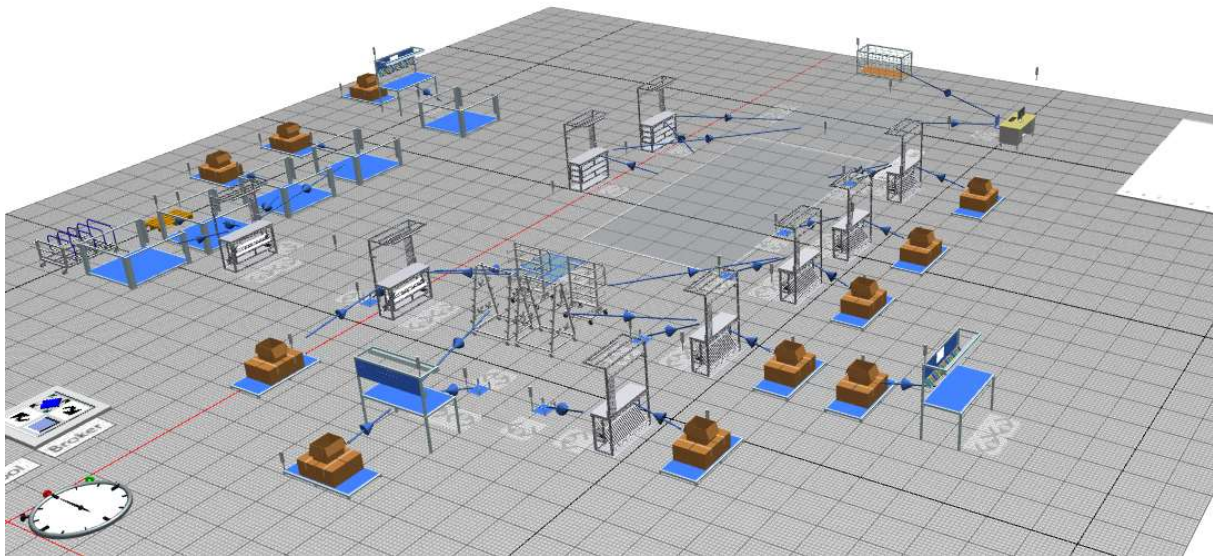
Obrázek 19 Délky přepravních tras

## 11 Tvorba 3D simulačního modelu

Aby bylo dosaženo co nejpřesnějších výsledků, které se co nejvíce podobají realitě, je potřeba všechna sesbíraná data aplikovat do simulačního modelu, pokud možno co nejpřesněji a nejrealističtěji.

### 11.1 Vytvoření stávajícího layoutu v Tecnomatix Plant Simulation

V simulaci byly jednotlivé objekty představující např. montážní stoly, vozíky s materiálem nebo regály nahrazeny 3D modely, které reprezentují reálný vzhled a rozměry těchto objektů. Dále byla pozornost věnována správnému rozdělení pracovních prostředků po výrobní lince a také jejich vzdálenostmi od sebe. Na obrázku 20 je zobrazen náhled na vytvořený layout v Plant Simulation.



Obrázek 20 Layout linky v Plant simulation

### 11.2 Implementace plánu výroby do simulace

Do simulace byl vložen výrobní plán dle přílohy 2. Náhled na výrobní plán je zobrazen na obrázku 21. V prvním sloupci jsou nastavena data typu objekt a je nazván MU podle zkratky Mobile Unit. Tento sloupec představuje objekty jednotlivých pantografů a v dalším sloupci typu integer pod názvem number jsou čísla představující množství vyráběných kusů jednotlivých objektů. Následuje jméno objektu v tomto případě jméno rodiny, do kterých pantografy byly rozděleny, typu string.

	object 1	integer 2	string 3	table 4
string	MU	Number	Name	Attrib...
1	.PracProstredky.MU.Pantograf_AX_NG	4	AXNG	
2	.PracProstredky.MU.Pantograf_LX	2	LX	
3	.PracProstredky.MU.Pantograf_LX	2	LX	
4	.PracProstredky.MU.Pantograf_LX	1	LX	
5	.PracProstredky.MU.Pantograf_LX	2	LX	
6	.PracProstredky.MU.Pantograf_BW	2	BW	
7	.PracProstredky.MU.Pantograf_BW	2	BW	
8	.PracProstredky.MU.Pantograf_BW	9	BW	

Obrázek 21 Plán výroby v Tecnomatix plant simulation

### 11.3 Přiřazení kusovníků a výrobních časů k entitám

Do tabulky T\_VyrobniPostup byly vypsány jednotlivé rodiny výrobků. V dalších sloupcích jsou vnořené tabulky, které obsahují výrobní postup s výrobními časy a kusovníky jednotlivých rodin. Na obrázku 22 je vidět že sloupce Postup a Kusovník jsou typu table, takže jednotlivé buňky obsahují vnořené tabulky s požadovanými daty. Pro znázornění toho, že jsou data vyplněna musí být vždy v buňkách vnořených tabulek vložen symbol v tomto případě písmena P a K.

	string 0	table 1	table 2	string 3
string	Vyrobek	Postup	Kusovník	
1	AXNG	p	k	
2	LX	p	k	
3	STT	p	k	
4	BW	p	k	
5	SX	p	k	
6	CX	p	k	
7				

Obrázek 22 T\_VyrobniPostup

Simulace si potřebná data jako výrobní čas a další krok práce sbírá z tabulky T\_vyrobni postup pomocí metod. Pro zjištění potřebného času k výrobní operaci využívá metody, která se nazývá M\_ZjistiVyrobniCas.

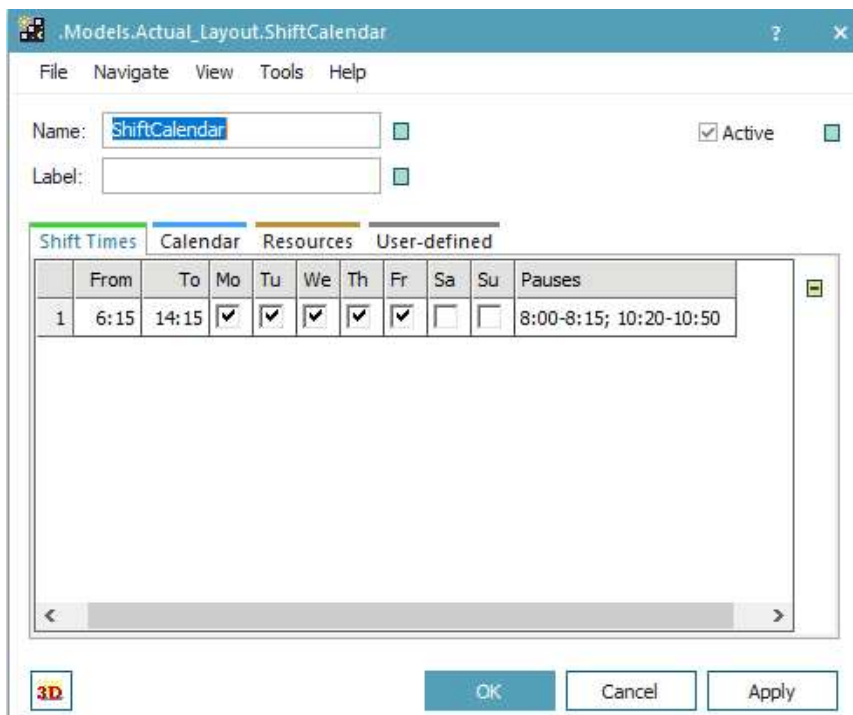
Pro zjištění kusovníku z této tabulky se volá metoda Init, která na začátku každé simulace nalezne kusovníky jednotlivých výrobků po pracovištích a tyto kusovníky jsou pak použity pro smontování výrobku do jednotlivých montážních pracovišť.

### 11.4 Nastavení pracovníků a pracovní doby

Na výrobní lince pantografů pracuje deset pracovníků. Z toho šest pracovníků je přímo na výrobní lince a podílí se na montáži finálního výrobku. Jeden pracovník skládá podsestavy zvedáků a vypružení lišt pro pantografy a tím zásobuje linku pantografů těmito podsestavami. Další dva zaměstnanci pracují jako zkušební technici, kteří zkouší finální výrobek podle specifikace kusové zkoušky. Posledním pracovníkem je zaměstnanec technické kontroly, který kontroluje finální výrobek vizuálně. Všichni tito dělníci pracují na jednu směnu od 6:15 do

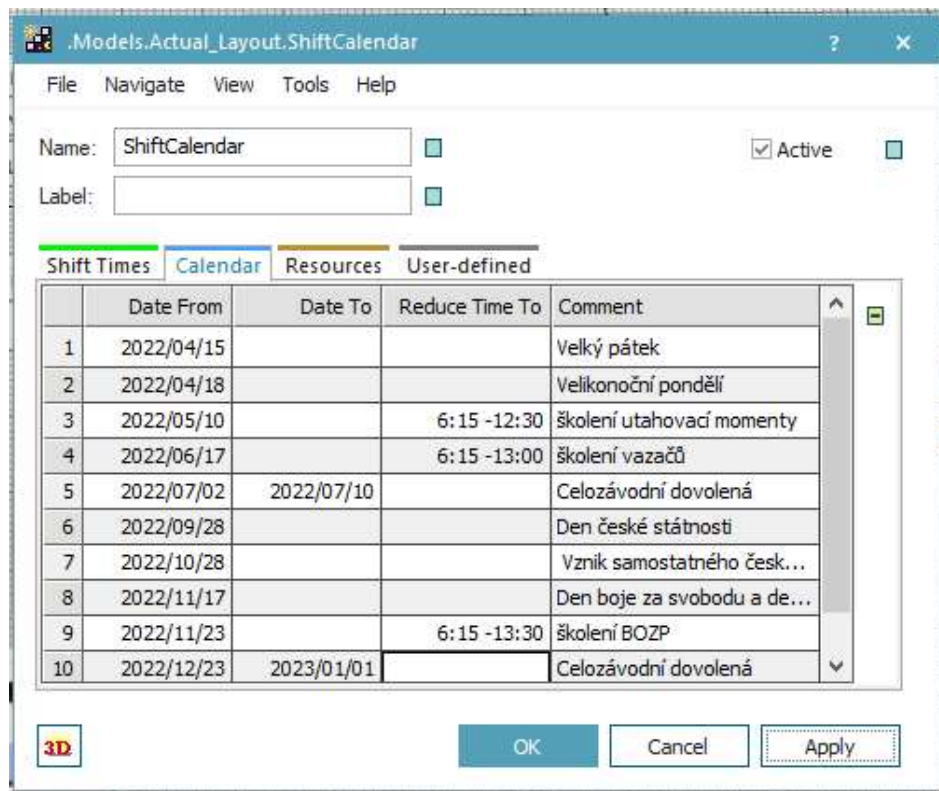
14:15. V této pracovní době mají přesně dané pauzy na odpočinek od 8:00 do 8:15 a na oběd od 10:20 do 10:50.

V Plant Simulation bylo pro nadefinování výše popsaného potřeba využít prvků WorkerPool, Broker a ShiftCalendar. Pro nastavení směn bylo použito objektu ShiftCalendar, který umožňuje plánovat různé směny pro různé pracovníky a také je v něm možné naplánovat i výrobní odstávky. Na obrázku 23 je zobrazeno nastavení jednosměnného provozu, kde jsou vidět nastavené hodnoty jako jsou pracovní dny a pracovní doba s pauzami.



Obrázek 23 Nastavení směnnosti v ShiftCalendar

V simulaci jsou dále zohledněny státní svátky, které zasahují do pracovních dnů. Je zde také nastavena doba celozávodní dovolené. Dalším důvodem zastavení výroby, které jsou v simulaci naplánovány, jsou školení zaměstnanců. Všechny tyto odstávky jsou nadefinovány v prvku ShiftCalendar. Nadefinování je znázorněno na obrázku 24. Z tohoto obrázku lze vyčíst, kdy jsou odstávky plánované, na jak dlouho a z jakého důvodu odstávka vznikne.



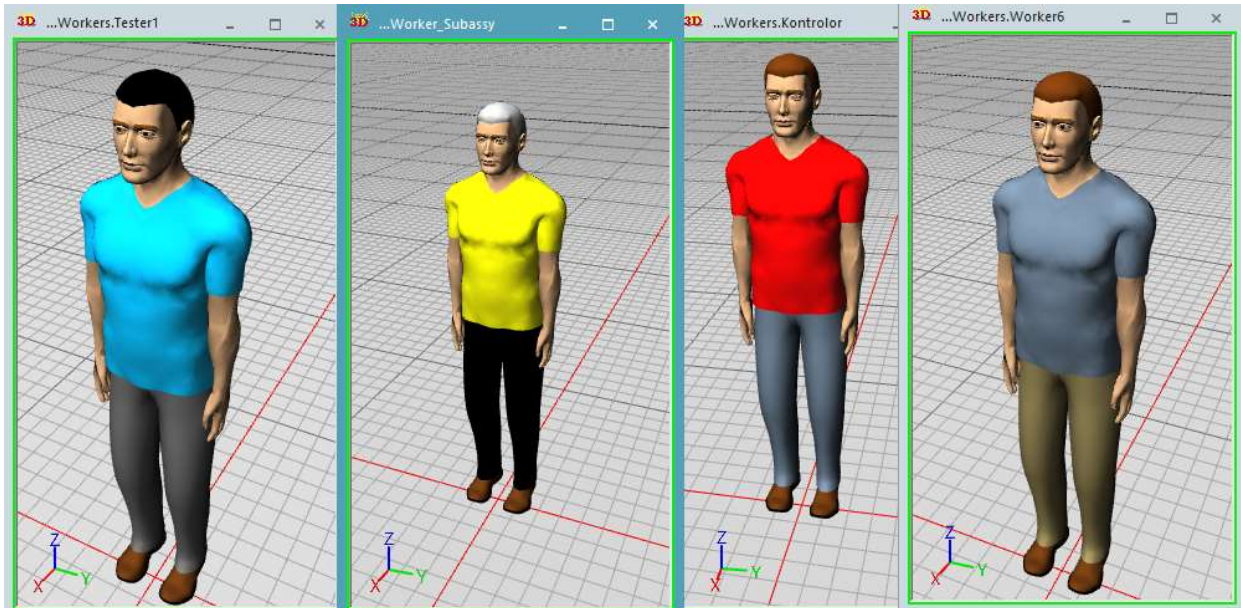
Obrázek 24 Výrobní odstávky

Dalším krokem bylo potřebné vytvořit a nastavit tabulku zaměstnanců v objektu WorkerPool a přiřadit k nim směnu, která jim náleží a jejich podporované úkony. Nastavení pracovníků je vidět na obrázku 25. Každý pracovník má nadefinované pracovní úkony, které jsou přidávány v průběhu tvorby simulace. Dále jsou zde nastaveny rychlosti jednotlivých pracovníků a efektivita jejich práce. Z obrázku je vidět, že je takto nastaveno deset pracovníků.

	Worker	Amou...	Shift	Speed	Efficiency	Additional Servic...				
1	*.PracProstredky.Workers.Worker1	1	Shift-1	0.8		Worker1	Preparation_1	carrying	Carrying1_2	BringZvedak
2	*.PracProstredky.Workers.Worker2	1	Shift-1	0.8		WorkerLowerArm	Carrying2_3	Worker2	Preparation_2	
3	*.PracProstredky.Workers.Worker3	1	Shift-1	0.8		Worker3	Carrying3_4			
4	*.PracProstredky.Workers.Worker4	1	Shift-1	0.8		Worker4	Carrying4_5			
5	*.PracProstredky.Workers.Worker5	1	Shift-1	0.8		Worker5	Carrying5_6			
6	*.PracProstredky.Workers.Worker6	1	Shift-1	0.8		Worker6	Carrying2test			
7	*.PracProstredky.Workers.Tester1	1	Shift-1	0.8		Tester1	Carrying7			
8	*.PracProstredky.Workers.Tester2	1	Shift-1	0.8		Tester2	Carrying8			
9	*.PracProstredky.Workers.Kontrolor	1	Shift-1	0.8		Kontrolor	Carrying10			
10	*.PracProstredky.Workers.Worker_Subassy	1	Shift-1	0.8		Zvedak	CarryingZvedak	Carrying5B	Springbox	

Obrázek 25 Nastavení pracovníků ve WorkerPool

Pro snazší rozlišení druhu pracovníka při běhu simulace jsou nadefinovány různé barevné varianty jednotlivým pracovníkům. Pracovníci finální montáže mají defaultní nastavení barevné kombinace a u ostatních pracovníků toto bylo změněno. Barevné rozlišení lze vidět na obrázku 26. Zkušebnímu technikovi bylo přiděleno modré triko, pracovníkovi, který montuje podstavy žluté, červené triko má zaměstnanec technické kontroly a šedivé triko mají ostatní zaměstnanci výrobní linky.



Obrázek 26 Barevné rozlišení pracovníků

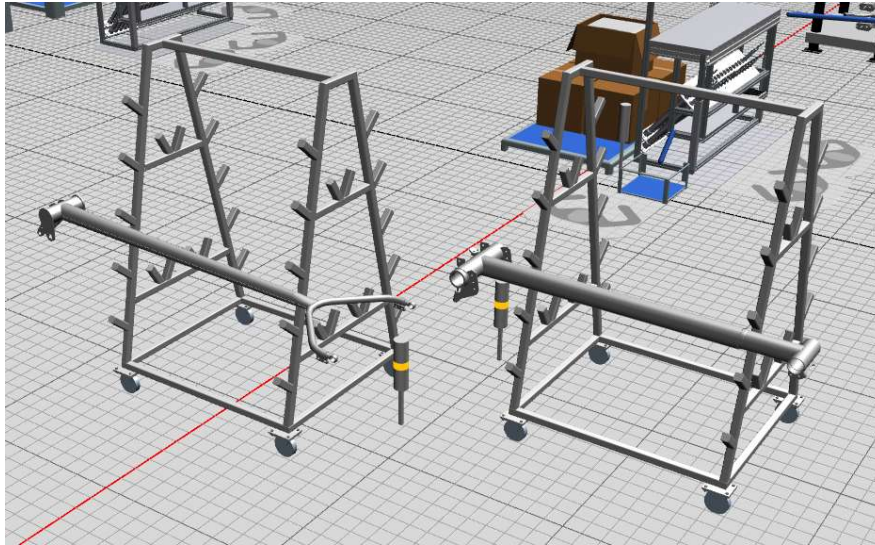
## 11.5 Vytvoření vlastních tříd MUs

Zkratka MU, nebo MUs (množné číslo), pochází z anglického Mobile Unit nebo Mobile Units. Znamenají díly, které se pohybují procesem a díky nim jsou vytvářené výrobky. Pro simulaci pantografů byly vytvořeny MUs dle obrázku 27. Jako hlavní MUs jsou díly, které začínají slovem Pantograf. Tyto díly vstupují do linky jako hlavní díl, na který se montují ostatní komponenty.



Obrázek 27 Vytvořená MUs

Aby byly jednotlivé díly podobné co nejvíce realitě, byl jim nastaven tvar a rozměry podle jejich reálného modelu. Na obrázku 28 jsou vyobrazeny modely horního a dolního ramene pantografu na vozících.



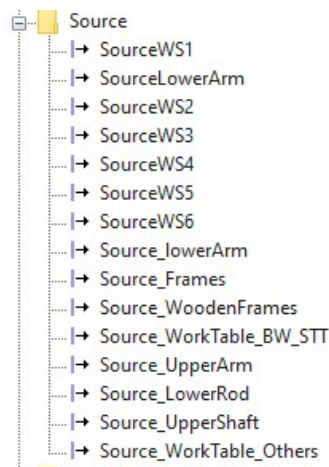
Obrázek 28 Vzhled UpperArm a LowerArm

## 12 Zásobování linky v simulaci

Pro zajištění chodu linky je potřebné zajistit přísun materiálu potřebný k tvorbě výrobků. Pro zásobování a skladování materiálu na lince jsou použity objekty typu source, store, buffer.

### 12.1 Objekty typu Source

Objekty source neboli zdroje, slouží ke generování materiálu, a tím zajišťují přísun materiálu na výrobní pracoviště. Seznam všech vytvořených zdrojů je na obrázku 29. Nejdůležitějším z nich je zdroj, který generuje hlavní MU, a to je Source\_Frames. Tento zdroj je propojený s metodou, která generuje denní dávku a tím je zajištěn přísun materiálu podle plánu výroby. Za účelem zamezení vzniku velkých skladových zásob a front na lince jsou během víkendů a odstavek ke zdrojům materiálu přiřazen i směnový kalendář stejně jako k pracovníkům. Tím je zajištěno, že při odstavkách výroby se materiál negeneruje.

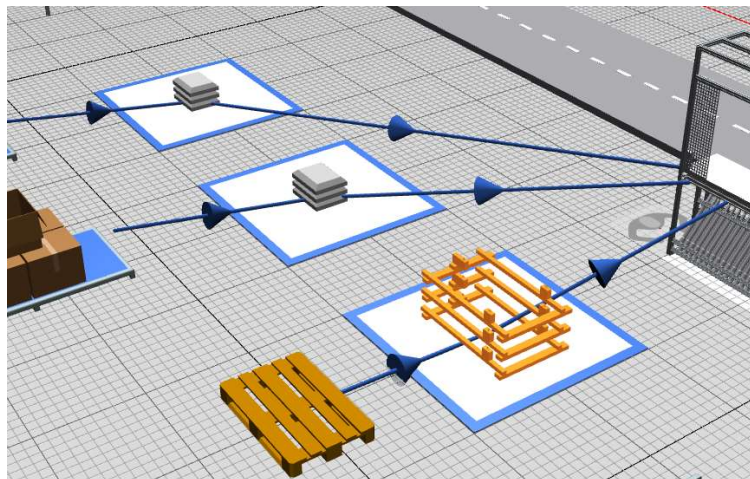


Obrázek 29 Seznam použitých objektů typu source



## 12.2 Objekty typu Buffer

Buffer se z pravidla umísťuje mezi dva objekty. Jeho funkce spočívá v tom, že automaticky díly tlačí na výrobní pracoviště, takže při dokončení předchůdce je možné ihned začít pracovat na dalším kusu. V této simulaci byly buffery použity před každým montážním pracovištěm. A byl i použit buffer pro vstup hlavního dílu do procesu výroby. Na obrázku 30 je znázorněn vstup materiálu na přípravné pracoviště pomocí bufferů.



Obrázek 30 Objekty typu buffer

## 12.3 Objekty typu Store

Objekty typu store v simulaci slouží jako sklady nebo skladová místa výrobků nebo příchozích dílů.

### Skladové místo pro springboxy

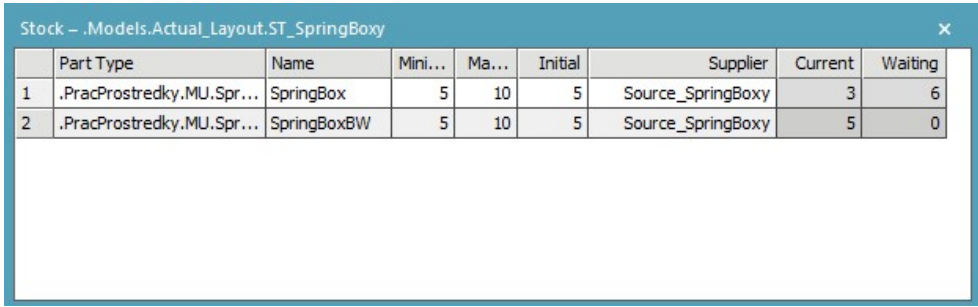
Pro zásobování prvního pracoviště linky byl použit objekt typu store, který je pojmenovaný jako ST\_springboxy. U tohoto objektu byla upravena grafika tak, aby pro umístění MUs byly využívány různé police. Na obrázku 31 je znázorněno, jak v každé polici je jiný druh MU. Supermarket springboxů je na obrázku 31 právě doplňován pracovníkem.



Obrázek 31 Supermarket ST\_SpringBoxy

Tento objekt byl nadefinován jako supermarket a je zásobován z jiného skladového místa. V supermarketu jsou nastaveny položky, které má obsahovat a jejich minimální a maximální množství. Důležité je také k typu dílu přiřadit dodavatele, v tomto případě je použit store, který

je výstupem z montáže springboxů. Konfigurace tohoto supermarketu je znázorněna na obrázku 32.

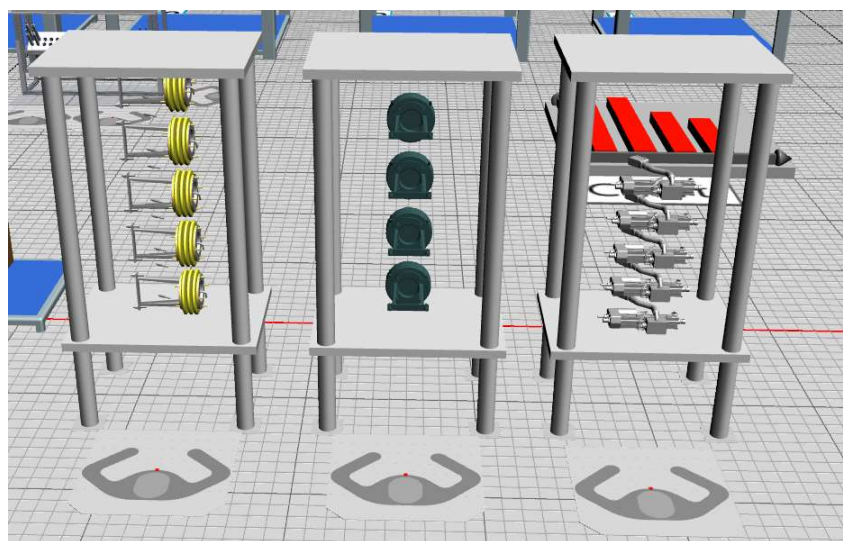


	Part Type	Name	Mini...	Ma...	Initial	Supplier	Current	Waiting
1	.PracProstredky.MU.Spr...	SpringBox	5	10	5	Source_SpringBoxy	3	6
2	.PracProstredky.MU.Spr...	SpringBoxBW	5	10	5	Source_SpringBoxy	5	0

Obrázek 32 Konfigurace supermarketu ST\_zvedaky

### Kanban pro zvedáky pantografů

Další objekt typu store byl použit pro zvedáky, který funguje na principu kanbanu. Byla vytvořena vzorová třída ST\_zvedáky. Vzorová třída definuje rozměry a vzhled objektu. Na každý typ zvedáku byl vytvořen jeden store s konfigurací supermarketu. Jako zdroj supermarketu je zároveň zdroj před montáží zvedáků. Z toho vyplývá, že když klesne množství v supermarketu na definovanou minimální hodnotu, zdroj vytvoří díly potřebné k montáži zvedáku. Ukázka kanbanu zvedáků je na obrázku 33. Před jednotlivými skladovými místy je vidět pracovní místo operátora. Na toto místo přichází operátor, který jde naskladnit vyrobený kus.



Obrázek 33 Kanban na zvedáky pantografů

## 13 Použité metody

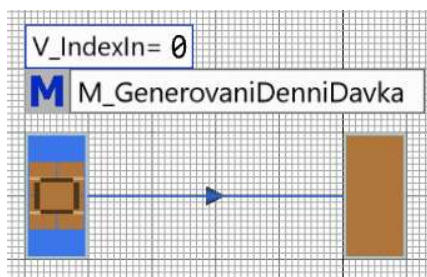
Pro nadefinování správného chodu simulace je potřeba metod, které jsou psané v jazyce SimTalk 2.0. Pomocí těchto metod lze naprogramovat události, které jsou spouštěny jinými objekty.

### 13.1 Metoda pro generování denní dávky

Ve společnosti Faiveley Transport Czech a.s. musí být každý den na konci směny připraven materiál na následující pracovní den. Materiál se připravuje dle plánu výroby, tak aby se jedna výrobní dávka nedělila do více výrobních příkazů. Je počítáno s tím, že se každý den stihne

vyrobit pět pantografů, takže se připravuje materiál pro 5 kusů. Pokud je výrobní dávka větší, než pět, potom se připraví celá dávka a s přebývajícými kusy se počítá další den.

V simulaci se tato problematika řeší pomocí objektů M\_GenerovaniDenniDavka, V\_InexIn, Source a Drain. Objekty jsou zobrazeny na obrázku 34.



Obrázek 34 Objekty pro generování denní dávky

Metoda M\_GenerovaniDenniDavka je zobrazena na obrázku 35. Tato metoda má za úkol slučovat řádky požadovaných MUs z tabulky MUselection, ve které jsou nadefinované chronologicky za sebou výrobní požadavky. Metoda sčítá řádky, dokud nedosáhne počtu 5 kusů nebo nedosáhne konečného počtu řádek v tabulce MUselection.

```
.Models.Actual_Layout.M_GenerovaniDenniDavka
var n, numIn : integer
var part : object

if V_IndexIn = 0
  V_IndexIn +=1
  MUselection["NumInOver", V_IndexIn] := 0
end
n := 5
numIn := MUselection["NumInOver", V_IndexIn]
if V_IndexIn <= MUselection.Ydim
  repeat
    for var i := 1 to MUselection["Number",V_IndexIn]
      part := MUselection["MU",V_IndexIn].Create(B_Frames)
      part.Name := MUselection["Name",V_IndexIn]
      numIn+=1
    next
    V_IndexIn +=1
  until numIn >= n OR V_IndexIn > MUselection.Ydim
  MUselection["NumInOver", V_IndexIn] := numIn - n
end
```

Obrázek 35 M\_GenerovaniDenniDavka

Před spuštěním další simulace jsou hodnoty v tabulce MUselection a sloupci NumInOver vymazány. Pomocí metody Init. Tato metoda je zobrazena na obrázku 36.

```
.Models.Actual_Layout.Init
MUselection.delete({"NumInOver",1}..{"NumInOver",*})
```

Obrázek 36 Metoda Init

## 13.2 Metoda pro zjištění kusovníku

Za účelem dosažení správného počtu dílů a druhů dílů, které mají být použity pro smontování jednotlivých výrobků bylo potřeba vytvořit vnořenou tabulku do tabulky T\_VyrobniPostup. Například postup pro nalezení kusovníku pro pantograf AXNG na pracovišti „Assembly1“ je znázorněn na obrázku 37.

string 0	table 1	table 2
string Vyrobek	Postup	Kusov
1	AXNG	p k
2	LX	p k
3	STT	p k
4	BW	p k
5	SX	p k
6	CX	p k
7		
8		
9		
10		
11		
12		

object 0	table 1	string 2
string Station	BOM	
1	Assembly	b
2	Assembly1	b
3	LowerArmBench	b
4	Assembly2	b
5	Assembly3	b
6	Assembly4	b
7	Assembly5	b
8	Assembly6	b
9	TestBench	
10	VisualCheck	
11		
12		

string 0	integer 1	integer 2	string 3	string 4	string 5
string Part	Count	Count			
1	Parts_WS1	1			
2	Zvedak	1			
3	LowerRod	1			
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

Obrázek 37 Hierarchie tabulek pro kusovník

Metoda, která vybírá z předchozích tabulek správný kusovník je vyobrazena na obrázku 38. Tato metoda je volána na začátku každé simulace. V první řadě smaže všechna data v kusovníkách po pracovištích z předchozích simulačních běhů. Poté nalezne kusovníky k jednotlivým výrobkům rozdělené po pracovištích podle tabulek z obrázku 37. A tyto hodnoty zapíše do kusovníku k jednotlivým pracovištím.

```

.Models.Actual_Layout.Init *
var kusovník: table
var BOM : table
Var BillofMaterial :table
var index : integer
MUselection.delete({"NumInOver",1}..{"NumInOver",*})

for var i := 1 to T_VyrobniPostup.Ydim
    kusovník := T_VyrobniPostup["Kusovník",i]
    for var j := 1 to kusovník.Ydim
        kusovník["Station",j].AssemblyList.Delete -- vymazání kusovníku na začátku simulace
        kusovník["Station",j].PartListMode := "Depends on Main MU"
        kusovník["Station",j].EntranceCtrl:=""
    next
next

for var i := 1 to T_VyrobniPostup.Ydim -- nalezení kusovníku
    kusovník := T_VyrobniPostup["Kusovník",i]
    for var j := 1 to kusovník.Ydim
        BOM := kusovník["BOM", j]
        BillofMaterial := kusovník["Station",j].AssemblyList
        index := BillofMaterial.Ydim
        BillofMaterial[1,index+1]:=T_VyrobniPostup["Vyrobek",i]
        for var k := 1 to BOM.Ydim
            BillofMaterial[2,index+k]:=BOM["Part",k] --Zapsání dílů do Assembly listu
            BillofMaterial[3,index+k]:=BOM["Count", k] -- Zapsání počtu kusů k jednotlivým dílům
        next
    next
next

```

Obrázek 38 Metoda pro zjištění kusovníku

### 13.3 Metoda pro zjištění výrobního času

Naměřené hodnoty montážních časů byly zapsány do tabulek výrobních postupů jednotlivých výrobků. Byly opět použity vnořené tabulky. Znázornění hierarchie tabulky s časy a výrobními postupy jsou na obrázku 39. Na obrázku je znázorněno nalezení časů a operací pro pantograf BW na pracovišti „Assembly1“.

string Vyrobek	table Postup	table Kuso	string Stanice	table Cinnosti	string Cinnost	string Vyro...	string MinC...	string Prum...	string Max...	string Odc...	string strir
1 AXNG	p	k	1 Assembly	c	1 Příprava materiálu na rám	TRIA	1:13....	1:13....	1:13....		
2 LX	p	k	2 Assembly1	c	2 Vystřikání dutin rámu. Nasazení zásepek	TRIA	4:40....	4:51....	5:13....		
3 STT	p	k	3 LowerArmBench	c	3 Stružení díry pro trubku tažnou, stružení děr a závitů	TRIA	9:54....	9:56....	12:40....		
4 BW	p	k	4 Assembly2	c	4 Pilování návarků pro trubku tažnou	TRIA	1:02....	1:06....	1:09....		
5 SX	p	k	5 Assembly3	c	5 Otočení rámu	TRIA	31.00....	36.00....	44.00....		
6 CX	p	k	6 Assembly4	c	6 Vyříznutí závitů pro dorazy, Stružení děr pro rameno dolní,	TRIA	5:09....	9:27....	16:55....		
7			7 Assembly5	c	7 Očištění rámu od nálepky a před lepením gumy lihem	TRIA	53.00....	1:15....	1:36....		
8			8 Assembly6	c	8 Lepení gumy na rám	TRIA	4:01....	4:06....	4:11....		
9			9 TestBench	c	9 Montáž dorazů (řezání na potřebnou délku a lepení)	TRIA	11:25....	12:33....	13:42....		
10			10		10 Podsestava trubky vyrovnávací	TRIA	6:35....	8:40....	10:45....		
11			11		11 Po zaschnutí lepidla namontování dorazů na rám	TRIA	2:15....	3:41....	5:06....		
12			12		12 Dotažení matic na stole rámu před předáním.	TRIA	55.00....	1:37....	1:58....		
13			13		13 Montáž Boxu na rám	TRIA	10:36....	10:36....	10:36....		
14			14		14 Vystřikání, vystružení, stružení nálepky, zaklepnutí zásepek na trubku tažnou	TRIA	2:41....	2:41....	2:41....		
15			15		15 Trubka tažná - pilování pro středový řetěz	TRIA	7:33....	7:33....	7:33....		
16			16		16 Nacacení středového řetězu	TRIA	4:35....	5:13....	6:57....		

Obrázek 39 Hierarchie tabulek pro výrobní postup

Z těchto tabulek získává data metoda `M_ZjistiVyrobníCas`, která je zobrazena na obrázku 40. Tato metoda je volána pomocí výrobku, který vstupuje do výrobního stanoviště. Následně se načte výrobní postup se seznamem činností dle výrobku a místa, kde se nachází. Poté se spustí smyčka, která postupně vygeneruje časy, dle triangulárního rozdělení, k jednotlivým činnostem na pracovištích a tyto vygenerované časy k sobě přičítá. A výsledným časem je na výrobním pracovišti pro daný výrobek suma těchto časů.

```

--time -- typ navratove hodnoty - metoda je definovana jako funkce
-- funkce vrátí výrobní cas podle definovaneho technologického postupu
Var Vyrobek          :string
Var WorkPlan         :table
Var Stanice          :Object
Var MinCas           :time
Var PrumCas          :time
Var MaxCas           :time
Var cas              :time
Var Postup           :Table
Var SumCas           :Time

Vyrobek              := @.Name -- Odkaz na entitu jména výrobku, který metodu zavolal
Stanice              := ? -- Odkaz na objekt, ze kterého je metoda zavolána
-- zjištění v ýrobního postupu výrobku
WorkPlan             := root.T_VyrobníPostup["Postup", Vyrobek]
Postup:= WorkPlan["Cinnosti", Stanice]

for var i := 1 to Postup.Ydim
  -- načtení parametrů distribuční funkce
  MinCas := Postup["MinCas",i]
  MaxCas := Postup["MaxCas",i]
  PrumCas := Postup["PrumCas",i]
  -- vygenerování čísla a převedení na čas
  cas := z_triangle(1,PrumCas,MinCas,MaxCas)
  SumCas+=cas
next

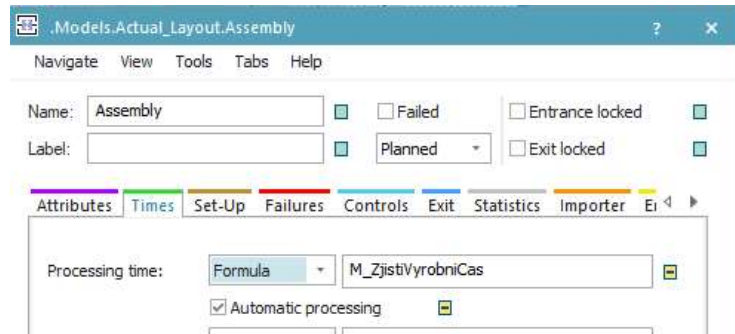
result := SumCas --funkce vrátí získaný čas
    
```

Obrázek 40 `M_ZjistiVyrobníCas`

## 14 Nastavení výrobních pracovišť

U každého objektu výrobního pracoviště lze nastavit funkce a metody při vstupu a výstupu výrobku na pracoviště. Tyto funkce musí být správně nadefinované, aby byla z výsledné simulace získána relevantní data.

Po zjištění kusovníku, které je obstaráno inicializační metodou je potřeba zjistit, jak dlouho se bude daný výrobek vyrábět. K tomuto slouží metoda `M_ZjistivYrobniciCas`, která je přiřazena u objektů v záložce times processing time. Toto nastavení je zobrazeno na obrázku 41.



Obrázek 41 Nastavení metody pro zjištění výrobního času

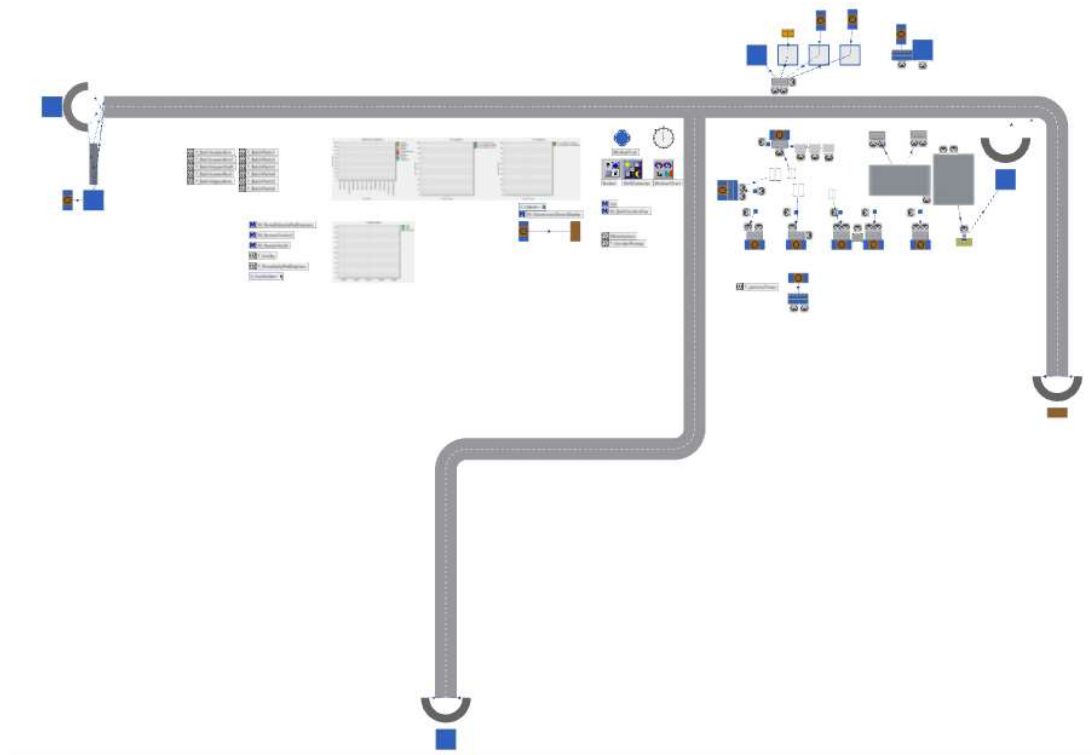
Jelikož není známa velikost zmetkovitosti výrobních pracovišť je na všech pracovištích nastavena zmetkovitost 5 %.

## 15 Simulace zásobování linky

Simulace zásobování linky se zabývá časem přepravy jednotlivých dílů z výrobní a do výrobní linky.

### 15.1 Vymodelování dopravních tras

Délky a směr dopravních tras byly stanovené dle aktuálního layoutu. Hlavní dopravní trasa vede ze zóny vyskladněných vozíků až k výstupní zóně hotových výrobků. Dále pak je napojena trasou na expedici. Druhá cesta vede z výstupní zóny materiálu z lakovny až ke vstupní zóně lakovaných dílů na lince pantografů. Vzhled vymodelovaných dopravních tras je znázorněn na obrázku 42.

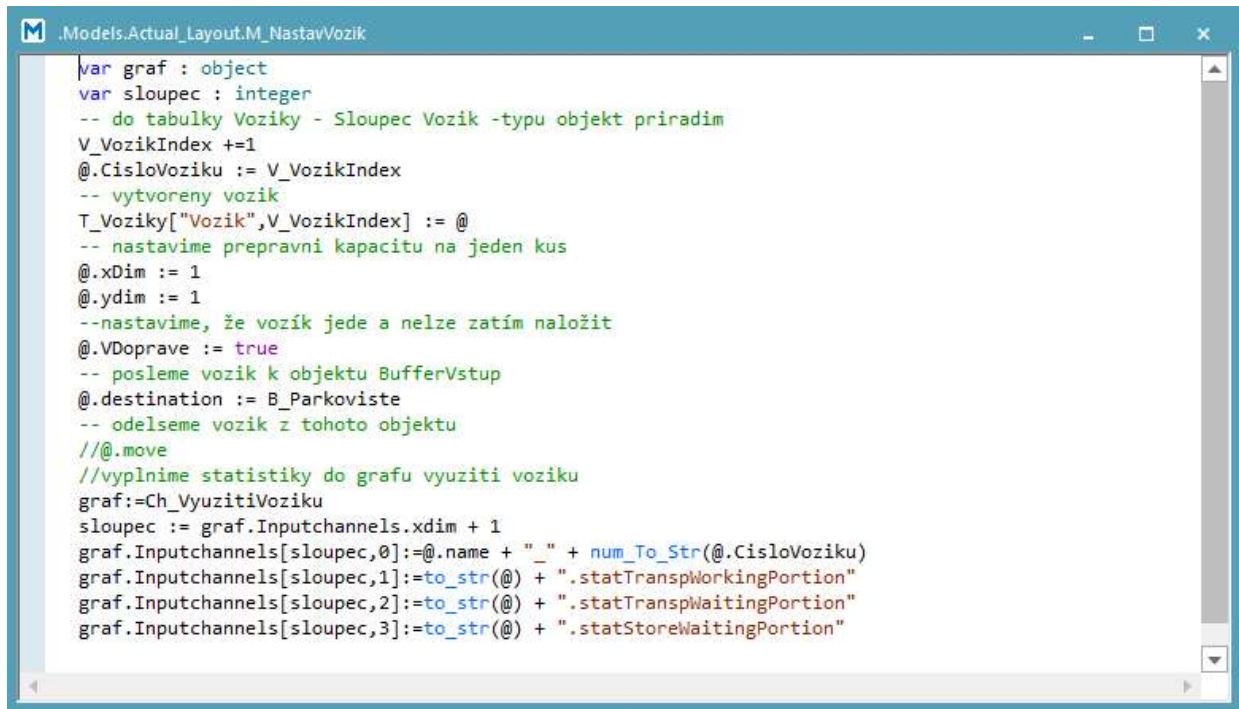


Obrázek 42 Vymodelování dopravních tras

## 15.2 Použité metody pro simulaci tras

K zajištění správného přepravování materiálu a hotových výrobků a k určení správných míst nakládky a vykládky je nutné do simulace implementovat metody, které tyto věci hlídají a řídí.

Jednou z metod je metoda z obrázku 43, která je používána pro nastavení vozíku. Touto metodou je v první řadě nastaveno a přiřazeno číslo vygenerovaného vozíku. Tato metoda také nastavuje přepravní kapacitu vozíku, kde se pomocí nadefinování proměnných dá přiřadit, kolik přepravních jednotek se vejde vedle sebe nebo na sebe. A jako počáteční místo vozíku je nastaveno parkoviště vozíků. Dále je touto metodou vyplňován graf využití vozíků.

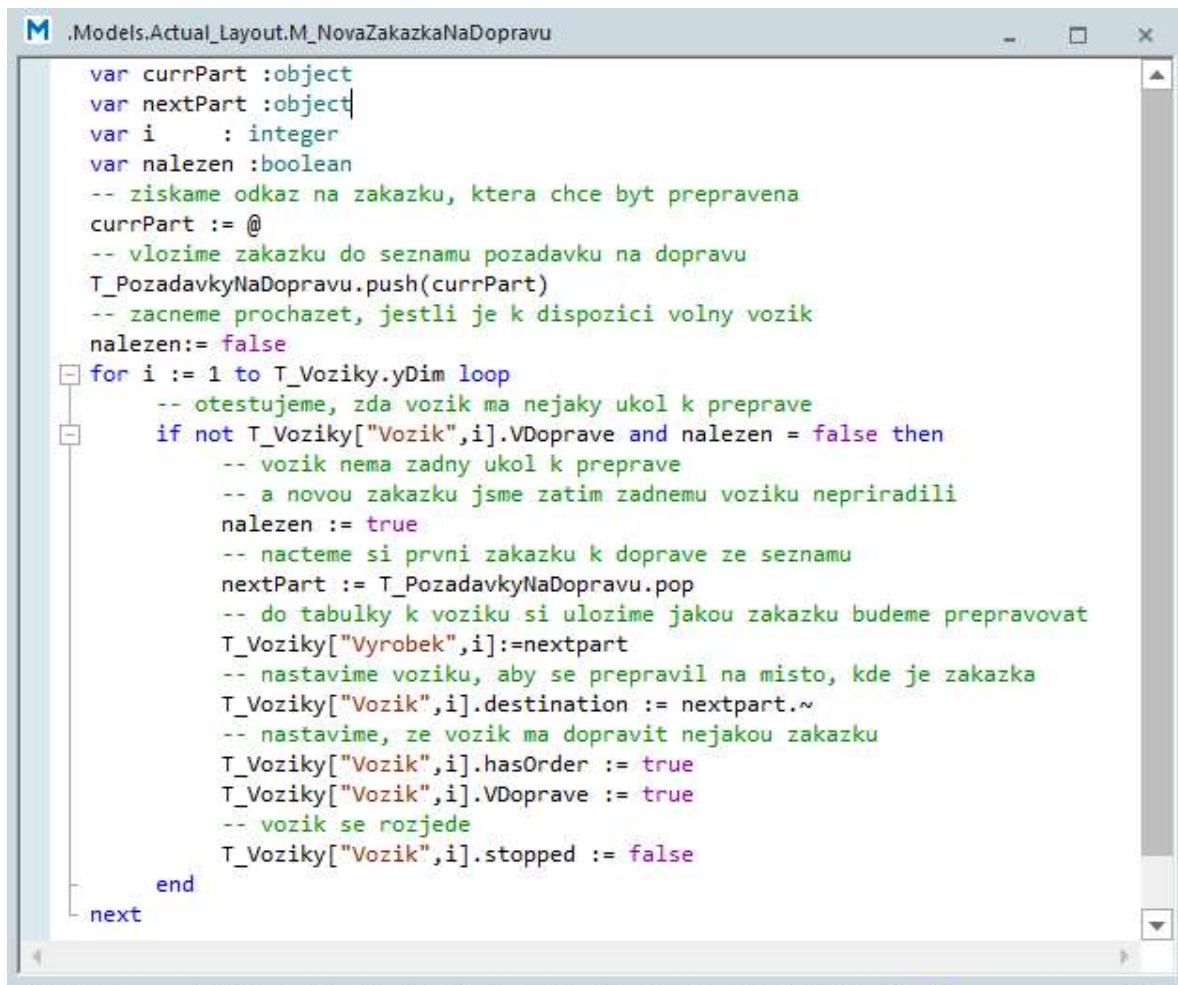


```
.Models.Actual_Layout.M_NastavVozik
var graf : object
var sloupec : integer
-- do tabulky Voziky - Sloupec Vozik -typu objekt priradim
V_VozikIndex +=1
@.CisloVoziku := V_VozikIndex
-- vytvoreny vozik
T_Voziky["Vozik",V_VozikIndex] := @
-- nastavime prepravní kapacitu na jeden kus
@.xDim := 1
@.ydim := 1
--nastavime, že vozík jede a nelze zatím naložit
@.VDoprave := true
-- posleme vozik k objektu BufferVstup
@.destination := B_Parkoviste
-- odelseme vozik z tohoto objektu
//@.move
//vyplnime statistiky do grafu vyuziti voziku
graf:=Ch_VyuzitiVoziku
sloupec := graf.Inputchannels.xdim + 1
graf.Inputchannels[sloupec,0]:=@.name + "_" + num_To_Str(@.CisloVoziku)
graf.Inputchannels[sloupec,1]:=to_str(@) + ".statTranspWorkingPortion"
graf.Inputchannels[sloupec,2]:=to_str(@) + ".statTranspWaitingPortion"
graf.Inputchannels[sloupec,3]:=to_str(@) + ".statStoreWaitingPortion"
```

Obrázek 43 Metoda pro nastavení vozíku

Další metoda je určena pro vytvoření zakázek, které jsou určené k přepravě. Nejdříve se získá odkaz na výrobek, který má být přepraven a zapíše se do tabulky zakázek na přepravu. Dále probíhá kontrola, zda vozík aktuálně přepravuje či nikoli. Pokud vozík nepřepravuje žádnou zakázku, je mu přiřazena první zakázka z tabulky zakázek. Jakmile je vozíku přiřazena zakázka, tak se rozjede. Tato metoda je i s komentáři na obrázku 44.





```
.Models.Actual_Layout.M_NovaZakazkaNaDopravu
var currPart :object
var nextPart :object
var i      : integer
var nalezen :boolean
-- ziskame odkaz na zakazku, ktera chce byt prepravena
currPart := @
-- vlozime zakazku do seznamu pozadavku na dopravu
T_PozadavkyNaDopravu.push(currPart)
-- zacneme prochazet, jestli je k dispozici volny vozik
nalezen:= false
for i := 1 to T_Voziky.yDim loop
  -- otestujeme, zda vozik ma nejaky ukol k preprave
  if not T_Voziky["Vozik",i].VDoprave and nalezen = false then
    -- vozik nema zadny ukol k preprave
    -- a novou zakazku jsme zatim zadnemu voziku nepriradili
    nalezen := true
    -- nacteme si prvni zakazku k dopravu ze seznamu
    nextPart := T_PozadavkyNaDopravu.pop
    -- do tabulky k voziku si ulozime jakou zakazku budeme prepravovat
    T_Voziky["Vyrobek",i]:=nextpart
    -- nastavime voziku, aby se prepravil na misto, kde je zakazka
    T_Voziky["Vozik",i].destination := nextpart.~
    -- nastavime, ze vozik ma dopravit nejakou zakazku
    T_Voziky["Vozik",i].hasOrder := true
    T_Voziky["Vozik",i].VDoprave := true
    -- vozik se rozjede
    T_Voziky["Vozik",i].stopped := false
  end
next
```

Obrázek 44 Metoda pro přiřazení zakázky na dopravu

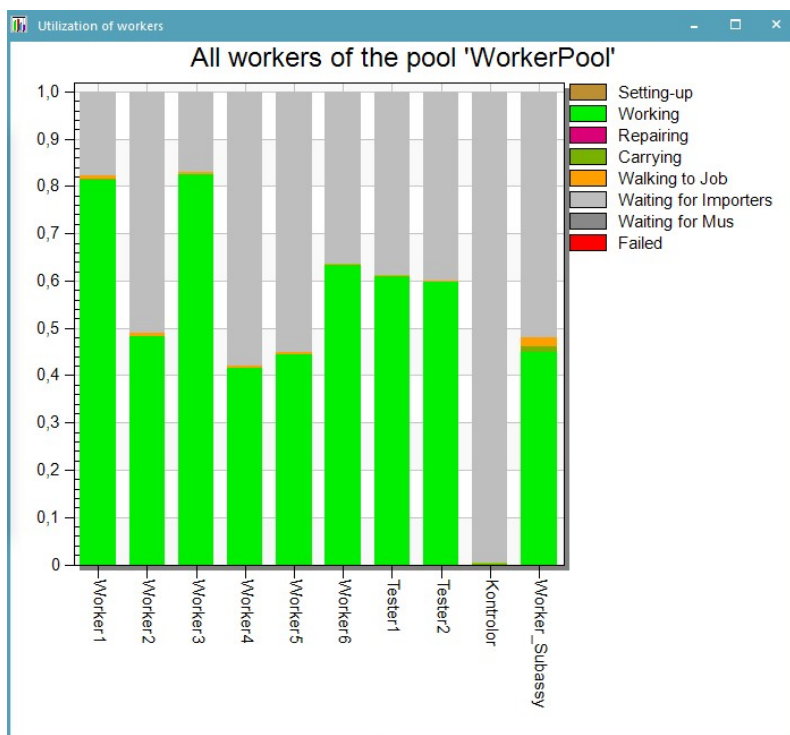
Poslední metodou používanou pro nastavení vozíků je metoda, která určuje vozíku, kam zakázka má být přepravena. Touto metodou je také určeno, odkud a co má být přepraveno. Pokud je prázdná fronta zakázek v tabulce se zakázkami, tak je vozík odeslán na parkoviště.

## 16 Sledování ukazatelé výrobní linky

Za účelem zjištění dat o výrobě ze simulace jsou použity objekty, které jsou schopny při běhu simulace a po jejím skončení ukazovat vhodné ukazatele.

### 16.1 Ukazatel vytížení pracovníků

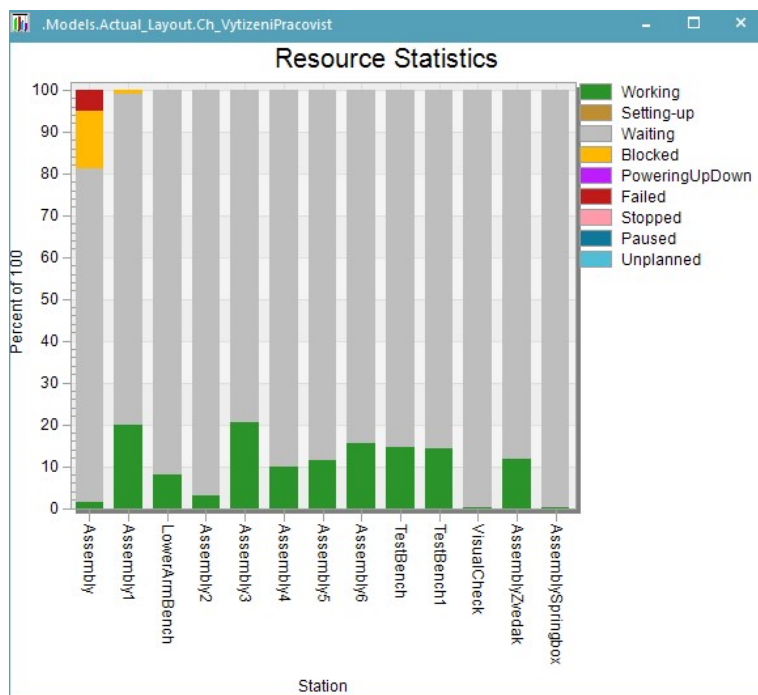
Pro zjištění vytížení pracovníku byl použit objekt typu WorkerChart, který je nastaven tak, aby ukazoval procentuální podíl druhů činností u každého pracovníka. Na grafu z obrázku 45 jsou na vodorovné ose znázorněni jednotliví pracovníci výroby a na ose svislé jsou pak znázorněny procentuální podíly. Z tohoto sloupcového grafu lze vyčíst jednotlivé vytížení pracovníků prací znázorněno zelenou barvou a například vytížení pracovníků chůzí. Tato činnost je znázorněna barvou oranžovou.



Obrázek 45 Graf vytížení pracovníků

## 16.2 Ukazatel vytížení pracovišť

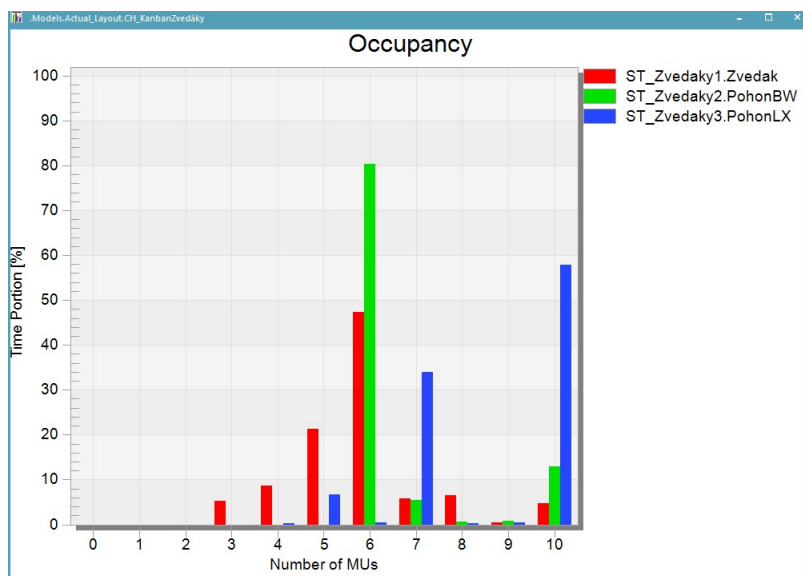
Pomocí tohoto ukazatele je možné zjistit, jaké operace se nejčastěji provádějí na jednotlivých pracovištích a jak jsou jednotlivá pracoviště pracovním vytížená. Tento ukazatel napoví, jaké ztrátové časy jsou nejčastější, například čekání nebo blokování pracoviště. Graf vytížení pracovišť je znázorněn na obrázku 46.



Obrázek 46 Vytížení pracovišť

### 16.3 Obsazení kanbanu pro zvedáky

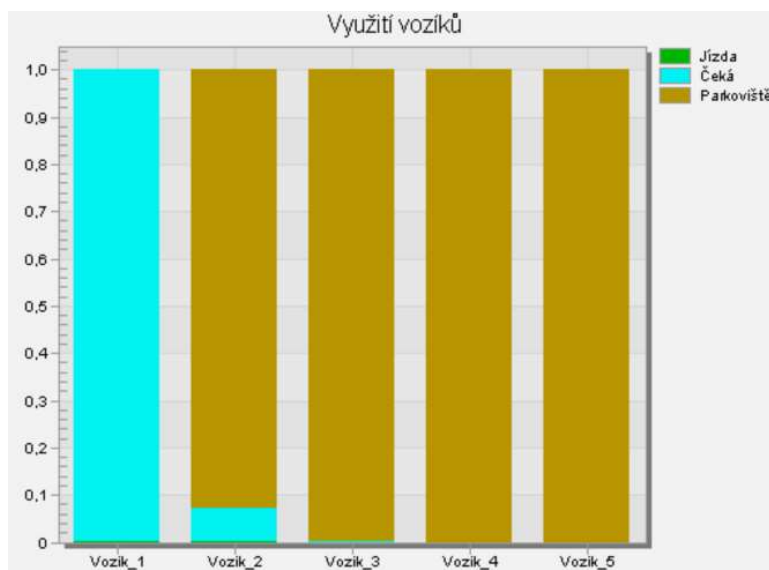
Dalším sledovaný ukazatel je obsazení kanbanu pro zvedáky jednotlivými druhy MUs. Tento graf je zobrazen na obrázku 47 a je vhodný pro zjištění, jestli není u některého druhu MU nastaveno zbytečně vysoký počet nebo naopak nízký počet minimálního a maximálního množství. Graf zobrazuje, jaký počet MU je procentuálně nejčastější v jednotlivých skladových místech.



Obrázek 47 Obsazení kanbanu pro zvedáky

### 16.4 Sledování vytížení vozíků

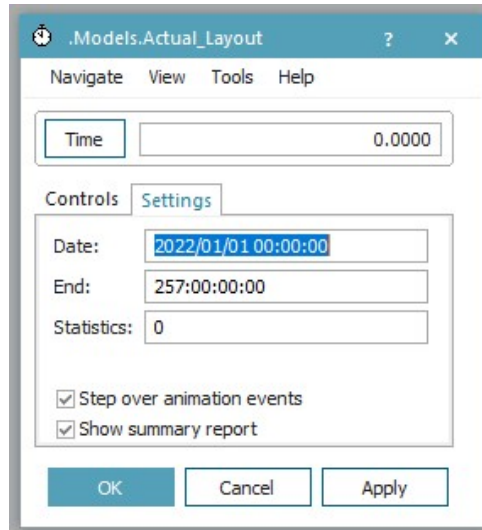
U tohoto grafu jsou znázorněny činnosti, kterými jsou vytíženy vozíky, které přepravují zakázky mezi jednotlivými částmi výrobního podniku. Graf pro sledování vytížení vozíků je znázorněn na obrázku 48.



Obrázek 48 Graf pro sledování vytížení vozíků

## 17 Vyhodnocení simulačního běhu stávajícího řešení

Délka simulačního běhu byla nastavena na dobu, za kterou jsou vyrobeny všechny výrobky. Po několika zkušebních bězích bylo zjištěno, že za dobu 257 dní by měly být vyrobeny všechny zakázky. Nastavení simulačního běhu je ukázáno na obrázku 49. Datum začátku simulace byl nastaven na 1.1.2022 a konec za 257 dní.



Obrázek 49 Nastavení času simulačního běhu

Na obrázku 50 je znázorněna souhrnná statistika vyrobených kusů ze simulačního běhu. Z této statistiky lze vyčíst, kolik se vyrobilo různých druhů výrobků. Dalším výstupem z této statistiky je procentuální podíl mezi výrobou, skladováním a přepravou výrobků. Při takto nastaveném simulačním modelu procentuální podíl práce s přidanou hodnotou u všech druhů výrobků je kolem jednoho procenta. Nejhorší výsledek přidané hodnoty je u výrobku AXNG, který je 0,49 %. Tento výsledek je odlišný od jiných druhů pantografů, protože výrobní doba je výrazně nižší než u ostatních produktů.

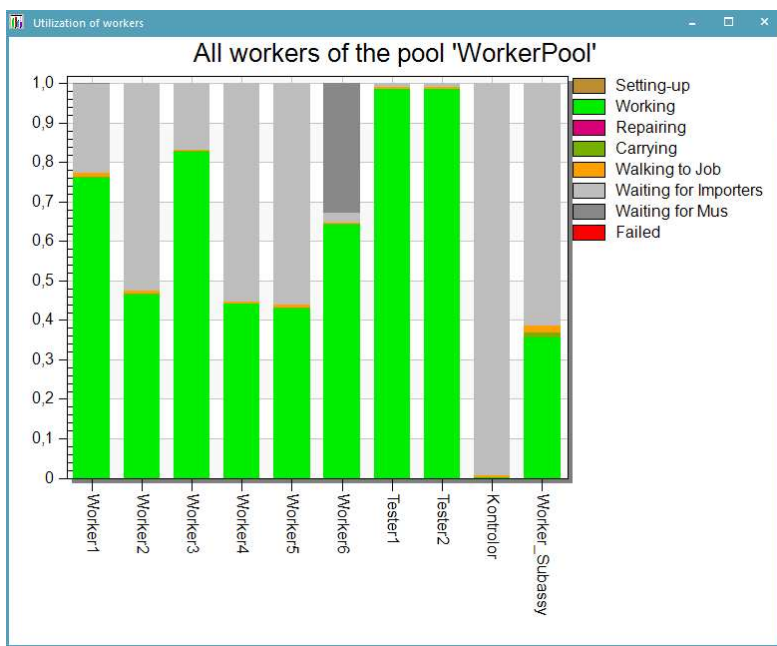
Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
D_Expedice	AXNG	48:21:33:44.3328	413	0	2.86%	0.05%	97.10%	0.49%	
D_Expedice	BW	50:01:49:46.5056	190	0	5.36%	0.00%	94.63%	0.90%	
D_Expedice	CX	26:09:14:35.7371	24	0	4.13%	0.10%	95.77%	0.92%	
D_Expedice	LX	48:16:28:48.0083	66	0	4.59%	0.03%	95.37%	0.78%	
D_Expedice	STT	42:23:30:23.9661	236	0	3.49%	0.06%	96.45%	0.56%	
D_Expedice	SX	27:02:16:08.4379	42	0	4.65%	0.04%	95.31%	0.88%	
Drain	Part	0.0000	257	0					

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

Obrázek 50 Souhrnná statistika vyrobených kusů

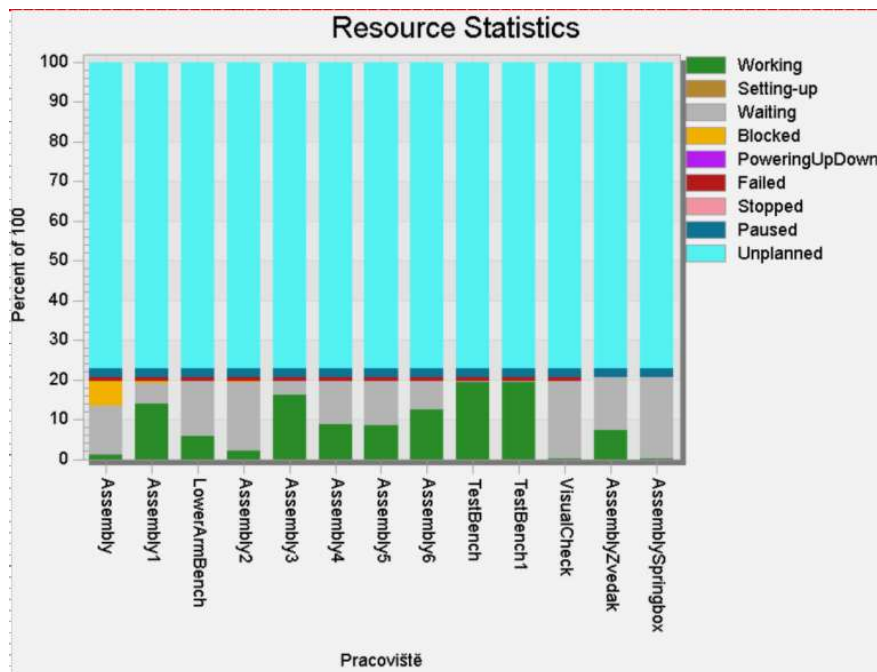
Z grafu, který znázorňuje vytížení pracovníků a jejich procentuální podíl činností je vidět, že nejvíce vytíženými pracovníky jsou zkušební technici. Nejméně vytíženým je pracovník technické kontroly, který má nejkratší dobu procesního času na vyrobený kus. Díky tomuto grafu je zřejmé, proč vznikají fronty výrobků před prvním, třetím, šestým a oběma testovacími pracovišti. Je to z důvodu nesprávného vybalancování linky pracovních činností po

pracovištích. Před šestým stanovištěm navíc vzniká fronta z důvodu čekání na výrobky. Tento graf je znázorněn na obrázku 51.



Obrázek 51 Vytížení pracovníků

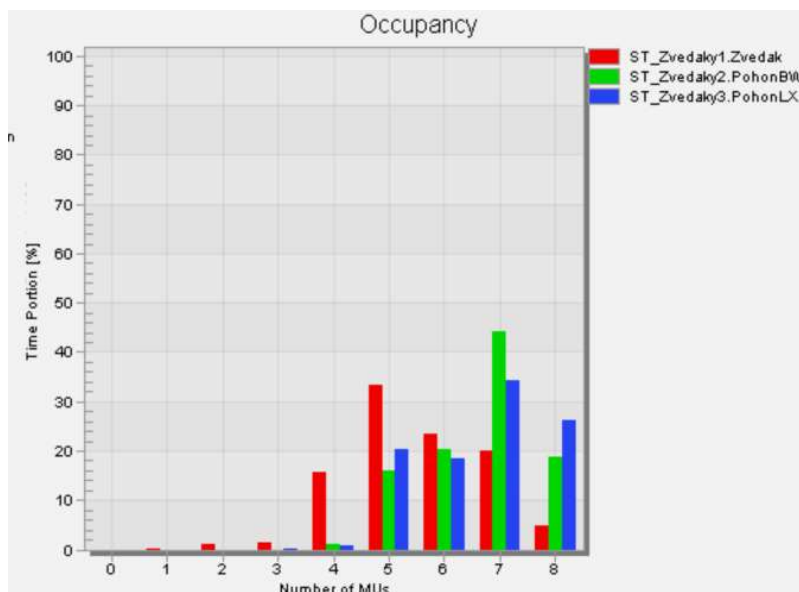
Využití jednotlivých pracovišť je znázorněno na obrázku 52. Nejvíce vytíženými pracovišti jsou stejně jako u pracovníků pracoviště testování a montáž jedna a tři. Velký podíl má u všech stanovišť čekání, které je ovlivněno prvními dny simulace, kdy se výrobní linka naplňuje. Dalším důvodem čekání je i nevybalancování výrobní linky.



Obrázek 52 Vytížení pracovišť

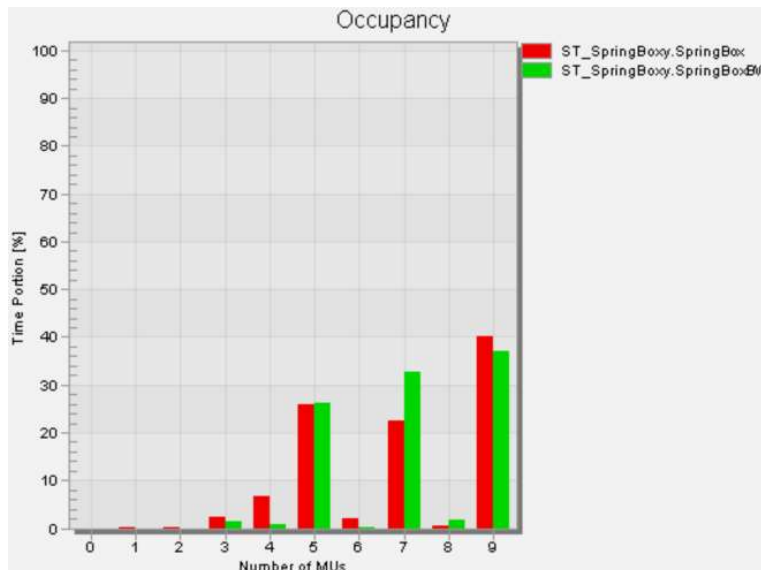
Na obrázku 53 je znázorněno vytížení kanbanu zvedáků. Z tohoto grafu lze určit, že většinou nedochází k nedostatku zvedáků až na červeně znázorněný, u kterého se vyskytuje i obsazení jedním kusem na skladovém místě. Minimální skladová místa tudíž lze snížit u zeleně a modře

znázorněné podsestavy. Naopak u červeného zvedáku je možné lehce navýšit počet kusů na skladovém místě.



Obrázek 53 Obsazení kanbanu zvedáky

U skladových míst spring boxů se skladové množství většinou pohybovalo nad čtyřmi kusy. V ojedinělých případech docházelo k poklesu především červeně znázorněných podsestav pod hodnotu čtyř kusů. Proto je možné navýšit skladové množství u červených a lehce snížit počet kusů u zelených podsestav na skladovém místě. Graf obsazenosti tohoto skladového místa je vyobrazen na obrázku 54.



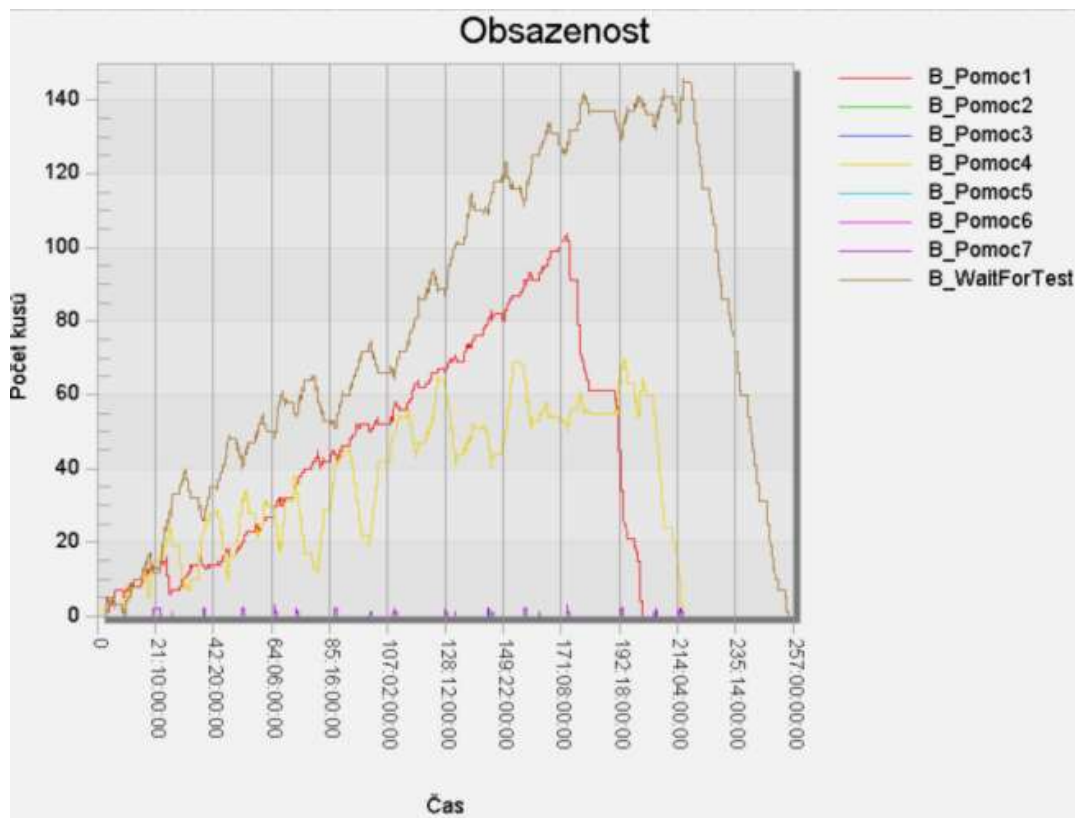
Obrázek 54 Obsazení skladového místa Spring boxy

Jako potvrzení předešlých výsledků vytížení pracovníků lze využít tabulku, která je zobrazena na obrázku 55. Lze z ní vyčíst, že nejvíce pracovního času bylo stráveno operacemi testování a pracemi na stanovištích jedna, tři a šest.

Services	Dwelling Time: Count	Sum	Mean Value	Standard Deviation	Min	Max	Mediation Time: Count	Sum	Mean Value	Standar
1 Test	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	
2 kontrola	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	
3 Zvedak	1171	18:20:20:55.3217	23:10.6536	9:34.5249	21.6912	35:29.5384	969	75:18:29:09.8356	1:52:35.9854	9
4 CarryingZvedak	976	2:15:35.7885	8.3358	10.8016	1.2500	33.1857	355	5:13:52:52.9949	22:37.6704	4
5 CarryingSB	1954	3:09:25.6273	5.8166	7.5786	2.5150	37.3032	1954	31:17:17:16.5004	23:22.5775	3
6 Springbox	1954	17:08:40.5656	31.5868	9.7345	3.5613	44.8942	1572	32:00:47:28.7598	29:20.5908	4
7 Kontrolor	973	8:54:13.7044	32.9432	26.7906	0.6876	5:04.5800	2	16:30:00.0000	8:15:00.0000	10
8 Carrying10	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	
9 Tester2	1007	52:11:21:15.6350	1:15:02.1605	44:52.5858	0.6876	3:25:00.0000	1001	201:05:45:17.2773	4:49:29.7475	14
10 Carrying8	484	8:16.1010	1.0250	0.0000	1.0250	1.0250	0	0.0000	0.0000	
11 Tester1	1009	52:12:26:08.0676	1:14:57.0942	42:19.5783	6.8223	3:25:00.0000	1000	198:14:29:35.0231	4:45:59.3750	14
12 Carrying7	488	8:23.5824	1.0319	0.1531	1.0250	4.4076	1	2:15:59:21.2958	2:15:59:21.2958	
13 Worker6	1290	34:03:59:16.6946	38:08.3385	22:39.8789	9.6260	1:52:23.1909	1256	216:14:02:24.3089	4:08:18.8410	13
14 Carrying2test	1166	32:54.3871	1.6933	2.3960	1.0250	41.8236	198	85:04:20:43.0275	10:19:29.9143	18
15 Worker5	1212	23:06:17:50.5154	27:38.3090	25:33.1467	7.1669	1:48:57.2289	267	95:14:01:48.7497	8:35:30.7444	21
16 Carrying5_6	976	17:20.6204	1.0662	1.0240	0.6816	32.4664	4	1:08:28:15.5467	8:07:03.8867	9
17 Worker4	1207	23:14:55:11.2514	28:10.8958	11:12.1205	1.1046	46:07.3682	236	85:05:45:00.0000	8:40:06.3559	16
18 Carrying4_5	973	16:35.2769	1.0229	0.0464	1.0250	1.0250	0	0.0000	0.0000	
19 Worker3	1412	44:01:54:21.5436	44:57.2107	26:46.5605	1.1046	2:11:19.2237	1399	169:02:35:56.3388	2:54:03.8573	11
20 Carrying3_4	972	48:08.8401	2.9721	0.0954	2.9751	2.9751	0	0.0000	0.0000	
21 WorkerLowerArm	1136	16:04:39:43.9787	20:31.6760	6:59.5492	15.0750	33:19.2282	590	60:17:07:35.8760	2:28:10.9422	9
22 Carrying2_3	1946	43:07.3857	1.3296	1.3510	1.0250	18.8129	61	1:06:13:29.1868	29:43.7572	2
23 Worker2	1032	5:22:00:36.9933	8:15.3847	8:22.4122	13.1606	35:56.8376	69	28:19:01:29.4702	10:00:53.4706	22
24 Preparation_2	999	3:00:27:17.5114	4:21.0986	1:14.6680	1.0367	12:03.8937	531	49:03:20:51.2361	2:13:15.5767	8
25 Worker1	1348	37:13:05:03.9747	40:06.4570	29:01.0510	4.5008	2:17:59.9029	377	150:05:49:51.0918	9:33:52.3371	20
26 Preparation_1	999	3:00:27:17.5114	4:21.0986	1:14.6680	1.0367	12:03.8937	998	86:00:01:57.2762	2:04:05.4081	6
27 carrying	1007	3:24:52.1852	12.2067	3.3780	0.7101	19.3298	1005	72:18:40:27.1642	1:44:16.7434	6
28 Carrying1_2	994	1:40:50.4003	6.0869	4.2200	0.0515	19.1849	861	6:06:19:18.9831	10:28.5238	2
29 BringZvedak	973	2:29:33.8423	9.2229	3.4968	5.3653	23.4464	969	4:19:39:15.8118	7:09.6758	2
30 StandardService	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	

Obrázek 55 Statistika pracovních činností

Obrázek 56 zobrazuje počet kusů v čase čekající na další operaci před všemi pracovišti. Z tohoto obrázku je zřejmé, že práce mezi pracovišti je nerovnoměrně rozdělena a tím vznikají velké fronty. Nejhorší výsledek je před pracovišti testování.



Obrázek 56 Obsazenost bufferů

## Validace simulačního modelu

Chování simulačního modelu se podobá realitě, kde vznikají fronty nedokončené výroby před zkoušením výrobků. Z tohoto důvodu je v realitě i vytvořena plocha, která slouží pro odstavení výrobků před zkoušením.

Další podobnost je ve vytížení pracovníků testování. Tyto pracovníci jsou v realitě tak i v simulaci vytíženi na 100 % a výpadkem jednoho z těchto zkušebních techniků způsobuje větší frontu rozpracované výroby před testováním. Zároveň je simulace podobná i v případě vizuální kontroly, kde pracovník je vytížen minimálně. V realitě tento pracovník obsluhuje více výrobních linek a tím je zvýšeno jeho vytížení.

Dále je z reality známo, že nejvytíženějšími pracovníky na lince jsou pracovníci, kteří obsluhují pracoviště číslo jedna a tři. Z výsledků simulačního běhu je zřejmé, že tuto podobnost simulační model také splňuje.

Plán výroby na následujících 12 měsících je sestaven, tak aby byla výrobní linka schopna vyrobit všechny požadované výrobky. V simulačním běhu bylo zjištěno, že je linka schopna splnit plán během 257 pracovních dní. V tomto případě se simulační model liší o sedm pracovních dní.

Z grafu na obrázku 52 je vidět, že na pracovišti „Assembly“ neboli na přípravném pracovišti vzniká velký podíl blokování stanoviště výrobky. V realitě je to z důvodu čekání na dva pracovníky, kteří připravují výrobek k montáži.



## 18 Navrhované varianty

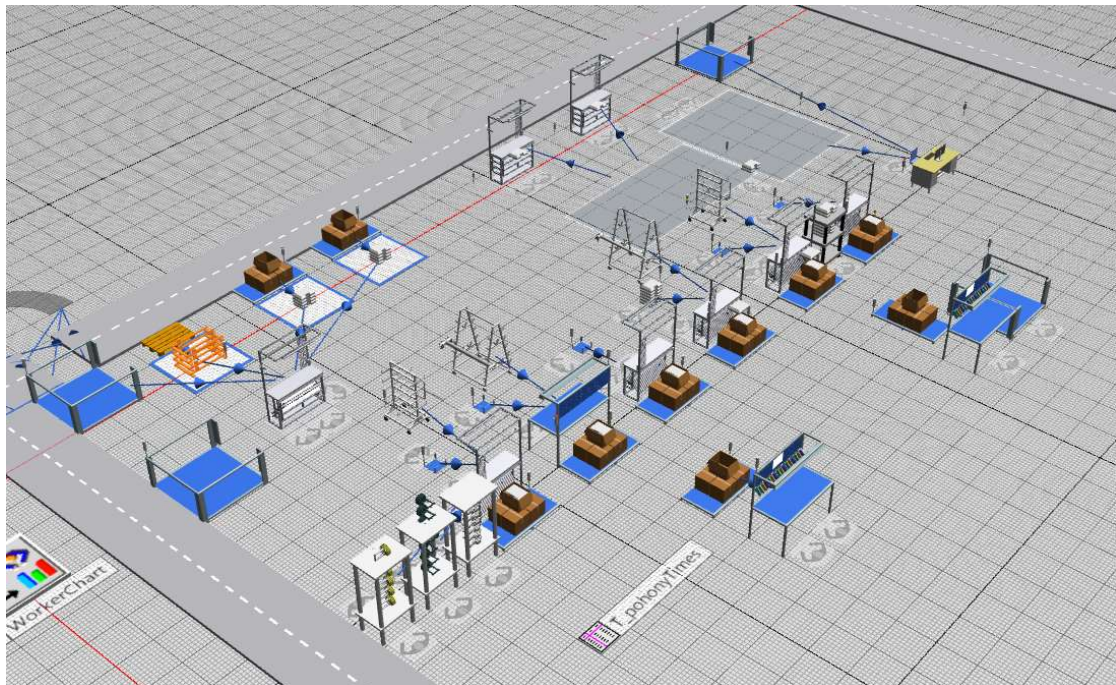
Za účelem zlepšení výrobního procesu pantografů byly vytvořeny simulační modely i pro následující varianty. Pro zhodnocení jednotlivých variant je potřeba provést simulační běhy, aby bylo možné jednotlivé varianty porovnat.

### 18.1 Varianta s pěti montážními pracovišti

Při tvorbě simulačního modelu této varianty proběhly následující změny:

- Odstranění jednoho pracoviště
- Vybalancování práce mezi pět pracovišť
- Přesunutí montáže podsestav blíže ke skladovému místu
- Úprava linky do tvaru písmene „I“

Práce, která byla vykonávána na šestém pracovišti byla přesunuta na předcházející pracoviště s dodržáním sledů operací dle technologického postupu. Layout je znázorněn na obrázku 57.



Obrázek 57 Layout linky s pěti montážními pracovišti

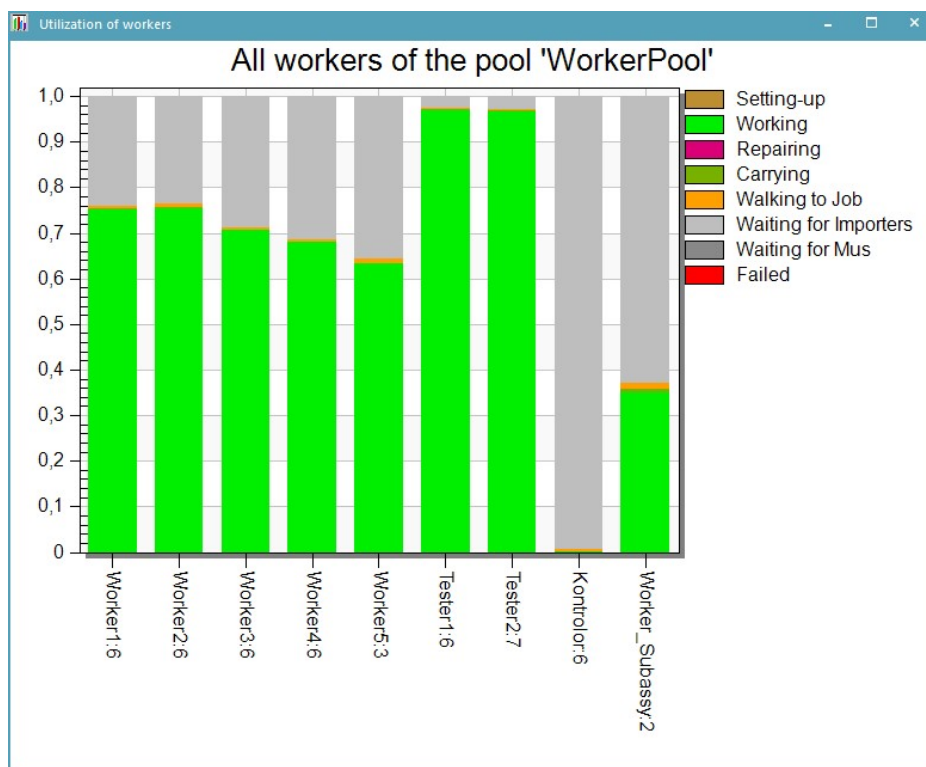
Souhrnné statistiky simulačního běhu jsou zobrazeny na obrázku 58. Oproti současnému stavu se výrobní doba všech objednávek zkrátila o jeden den. Dále bylo dosaženo úspory o jednoho pracovníka pomocí snížení počtu montážních stolů a jinému vybalancování práce.

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
D_Expedice	AXNG	48:23:04:31.4870	413	0	3.08%	0.05%	96.87%	0.49%	
D_Expedice	BW	50:02:30:27.8469	190	0	5.76%	0.00%	94.24%	0.92%	
D_Expedice	CX	26:13:29:01.9810	24	0	5.84%	0.08%	94.08%	0.92%	
D_Expedice	LX	48:16:14:50.0089	66	0	4.80%	0.03%	95.17%	0.78%	
D_Expedice	STT	43:03:43:48.9920	236	0	3.86%	0.06%	96.08%	0.56%	
D_Expedice	SX	27:07:09:30.8321	42	0	6.13%	0.04%	93.83%	0.89%	
Drain	Part	0.0000	256	0					

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

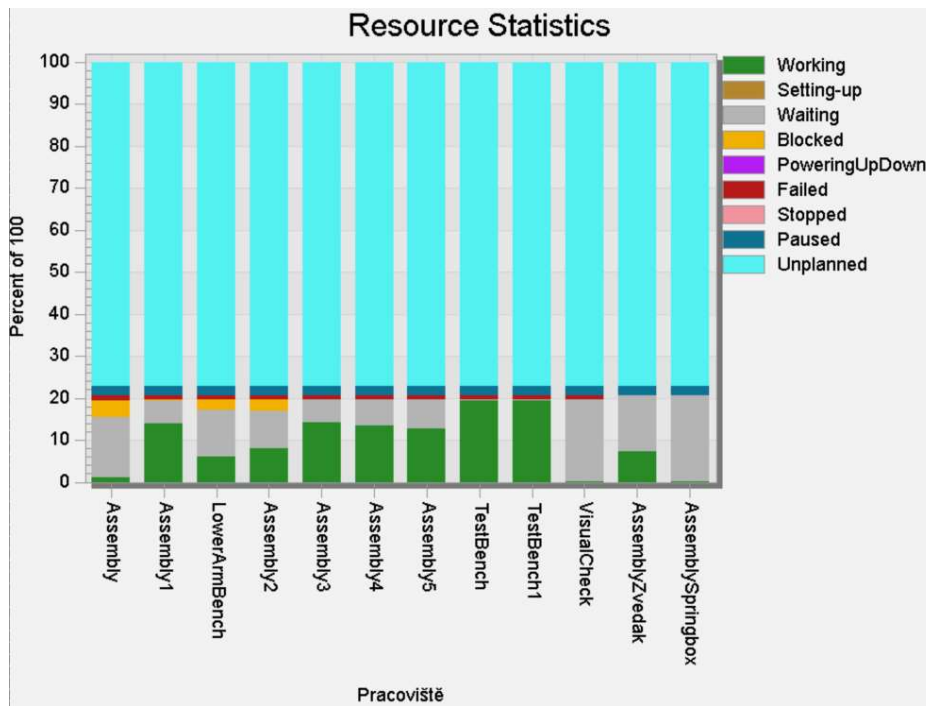
Obrázek 58 Souhrnná statistika s pěti pracovišti

Také došlo k navýšení i vytíženost pracovišť a operátorů. Tyto výsledky jsou znázorněny na obrázcích 58 a 59. Oproti současnému stavu došlo k navýšení vytíženosti pracovníků o 16,7 % a vytíženosti pracovišť o 3,34 %. Dalšími úsporami jsou snížení počtu operátorů o jednoho a zmenšení záběru podlažní plochy linou o 227 m<sup>2</sup>. Graf vytíženosti pracovníků varianty s pěti montážními stoly je na obrázku 59.



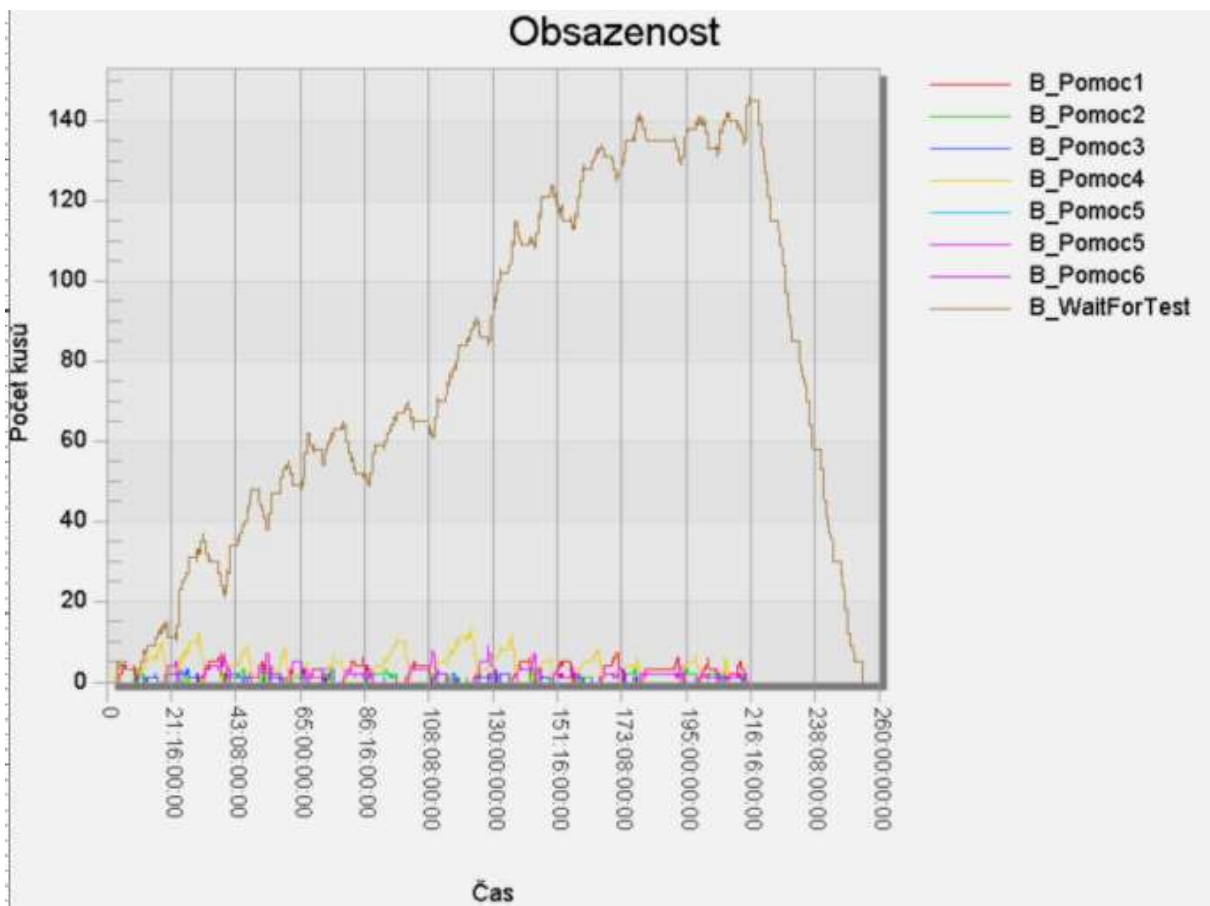
Obrázek 59 Vytížení pracovníků varianty s pěti montážními stoly

Graf vytíženosti pracovišť varianty s pěti montážními stoly je na obrázku 60.



Obrázek 60 Vytížení pracovišť varianty s pěti montážními stoly

Z grafu na obrázku 61 je zřejmé, že u této varianty došlo ke zlepšení vyváženosti práce mezi jednotlivými pracovišti. Úzkým místem ale stejně zůstávají pracoviště testování, kde nedošlo k žádné změně oproti stávajícímu stavu.



Obrázek 61 Obsazenost bufferů pět pracovišť

## 18.2 Varianta s pěti montážními pracovišti bez operátora montáže podsestav

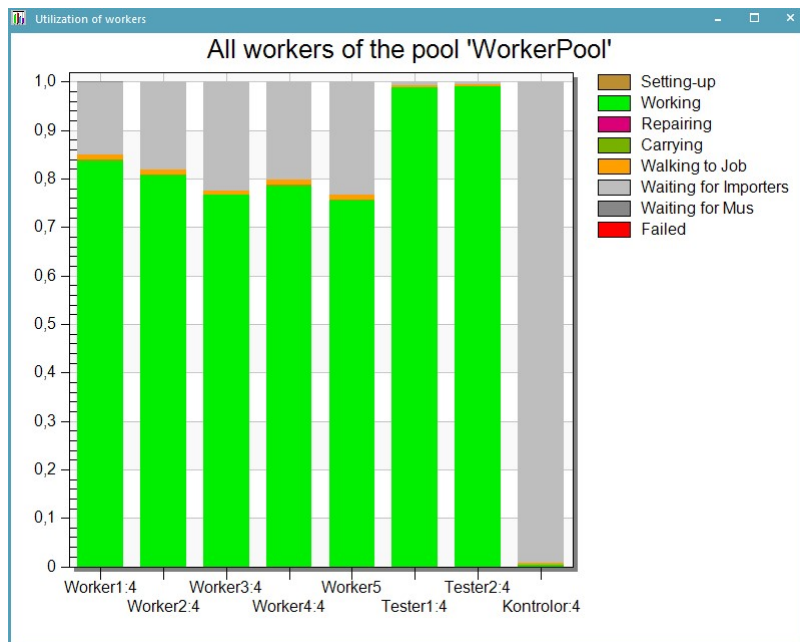
Tato varianta je stejná jako varianta s pěti montážními stoly. Jediným rozdílem mezi těmito variantami je zrušení pracovníka montáže podsestav. Práce tohoto pracovníka je přidělena všem ostatním pracovníkům montáže. Souhrnná statistika simulačního běhu této varianty je zobrazena na obrázku 62. Plán výroby u této varianty je splněn za 256 dní.

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
D_Expedice	AXNG	49:02:59:56.4699	413	0	3.32%	0.00%	96.68%	0.49%	
D_Expedice	BW	50:07:42:17.6334	190	0	5.65%	0.00%	94.35%	0.92%	
D_Expedice	CX	26:17:02:51.9453	24	0	4.08%	0.00%	95.91%	0.90%	
D_Expedice	LX	48:19:26:31.0018	66	0	4.63%	0.00%	95.37%	0.79%	
D_Expedice	STT	43:07:40:35.4063	236	0	3.39%	0.00%	96.61%	0.55%	
D_Expedice	SX	27:12:46:05.8157	42	0	5.69%	0.00%	94.30%	0.88%	
Drain	Part	0.0000	256	0					

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

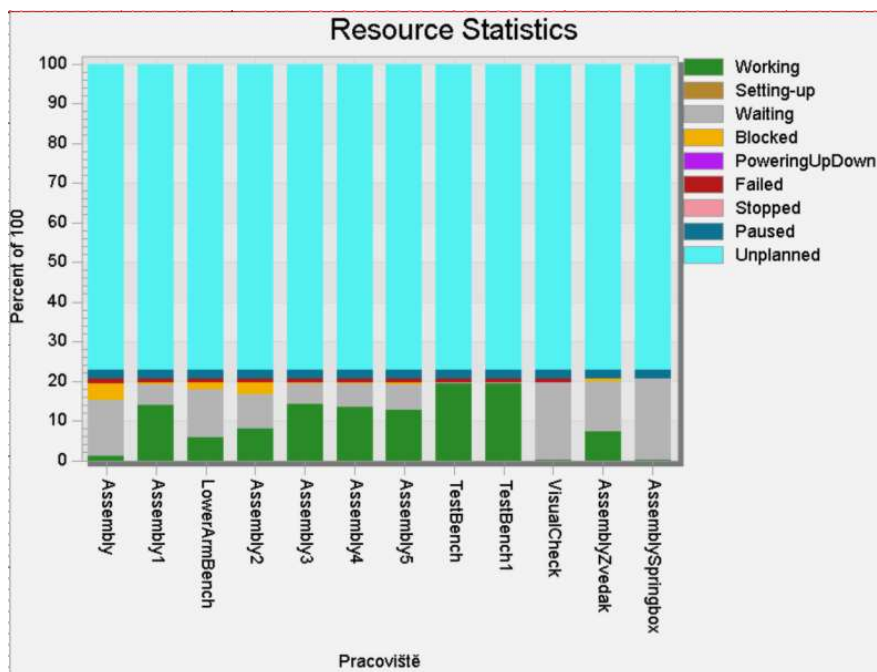
Obrázek 62 Souhrnná statistika varianty s pěti pracovišti bez operátora podsestav

Z grafu na obrázku 63 je zřejmé, že rozdělením práce pracovníka podsestav mezi zbývající pracovníky montáže stoupla vytiženost pracovníků a to o 25,1 % oproti současnému stavu. Úzkým místem linky zůstávají pracovníci testování.



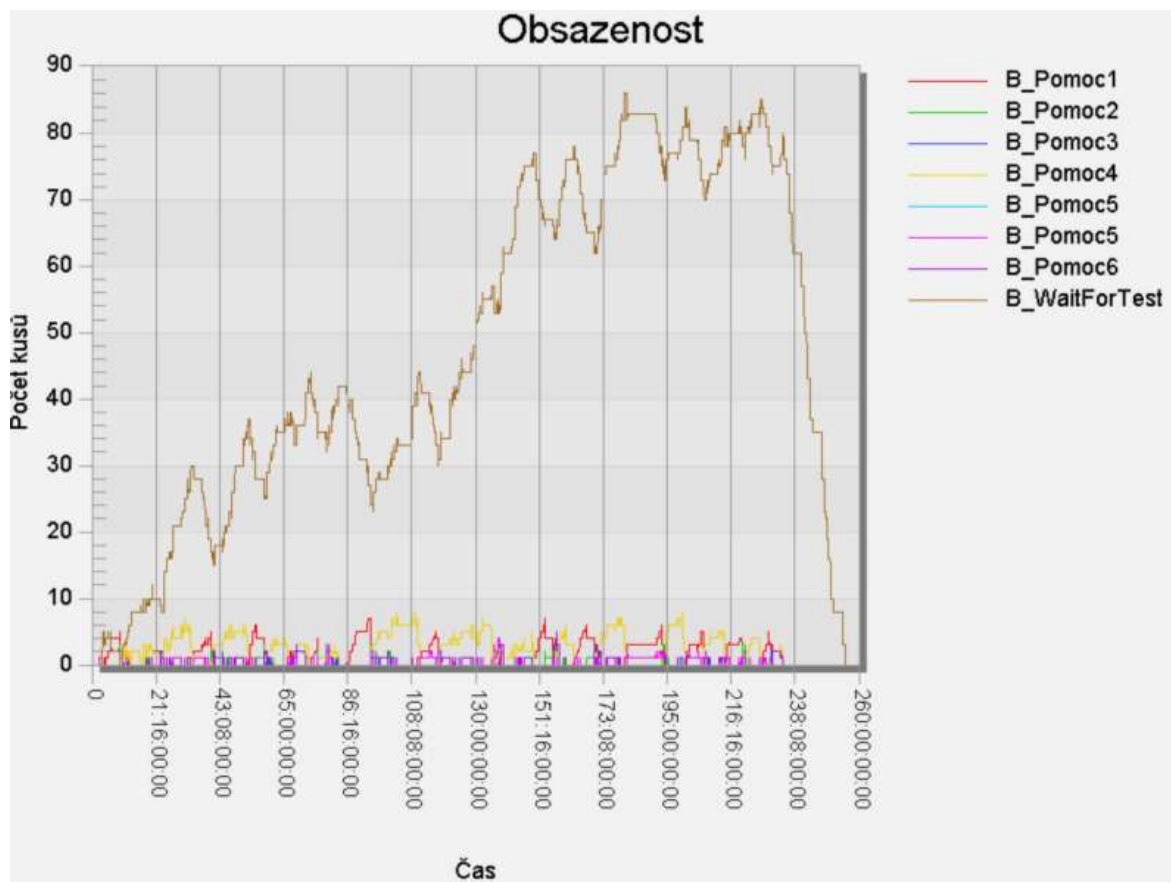
Obrázek 63 Vytiženost pracovníků u varianty s pěti pracovišti bez operátora podsestav

Na grafu, který je vyobrazen na obrázku 64 je znázorněno vytížení pracovišť u této varianty. Z tohoto obrázku je zřejmé, že vytíženost pracovišť zůstává velice podobné průměrná změna oproti současnému stavu je 3,38 %.



Obrázek 64 Vytížení pracovišť varianty s pěti montážními stoly bez operátora podsestav

Na obrázku 65 je znázorněn graf obsazenosti bufferů před pracovišti. Odstraněním pracovníka podsestav došlo k navýšení průběžné doby výroby a tím mírně klesl i počet kusů, které čekají na testování.



Obrázek 65 Obsazenost bufferů pět pracovišť bez operátora podsestav

### 18.3 Varianta s pěti montážemi bez operátora montáže podsestav se třemi zkušebními techniky

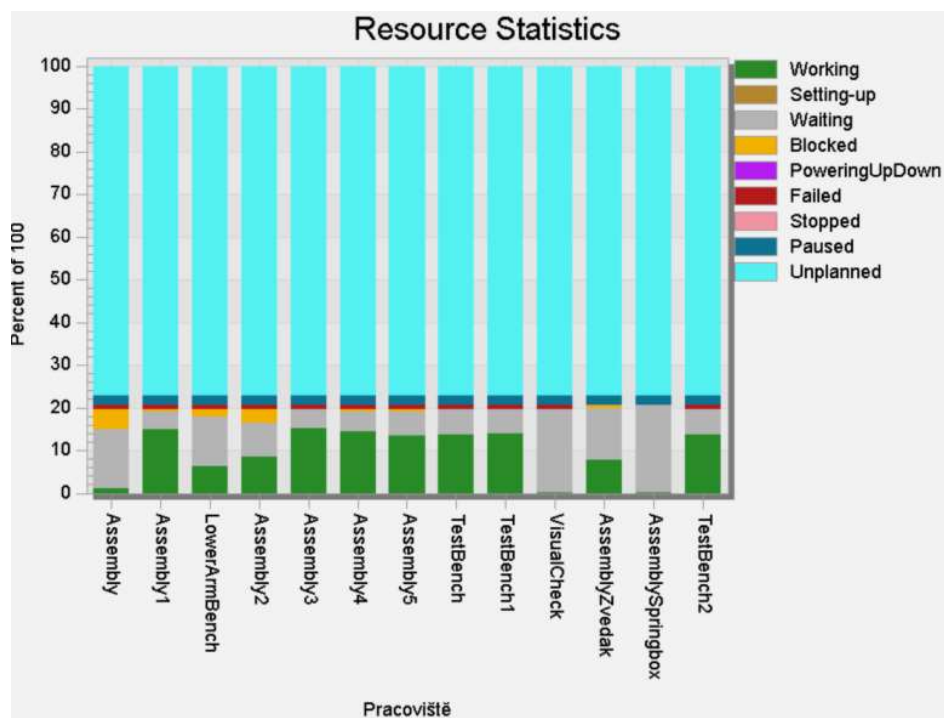
Tato varianta se shoduje s předchozí variantou jediným rozdílem je přidání jednoho testovacího pracoviště. U této varianty došlo ke snížení doby pro splnění plánu výroby o 19 dní oproti současnému řešení. Dále došlo k navýšení procenta práce s přidanou hodnotou v průměru o 0,24 % oproti současnému řešení. Souhrnná statistika simulačního běhu tohoto řešení je vyobrazena na obrázku 66.

Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
D_Expedice	AXNG	36:04:49:17.8661	413	0	4.45%	0.00%	95.55%	0.66%	
D_Expedice	BW	37:20:51:26.8691	190	0	7.33%	0.00%	92.66%	1.22%	
D_Expedice	CX	19:14:43:29.2267	24	0	7.04%	0.00%	92.96%	1.22%	
D_Expedice	LX	37:06:39:56.7049	66	0	5.80%	0.00%	94.20%	1.02%	
D_Expedice	STT	31:23:18:09.7599	236	0	4.69%	0.00%	95.31%	0.75%	
D_Expedice	SX	22:00:14:30.8916	42	0	7.19%	0.00%	92.81%	1.09%	
Drain	Part	0.0000	238	0					

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

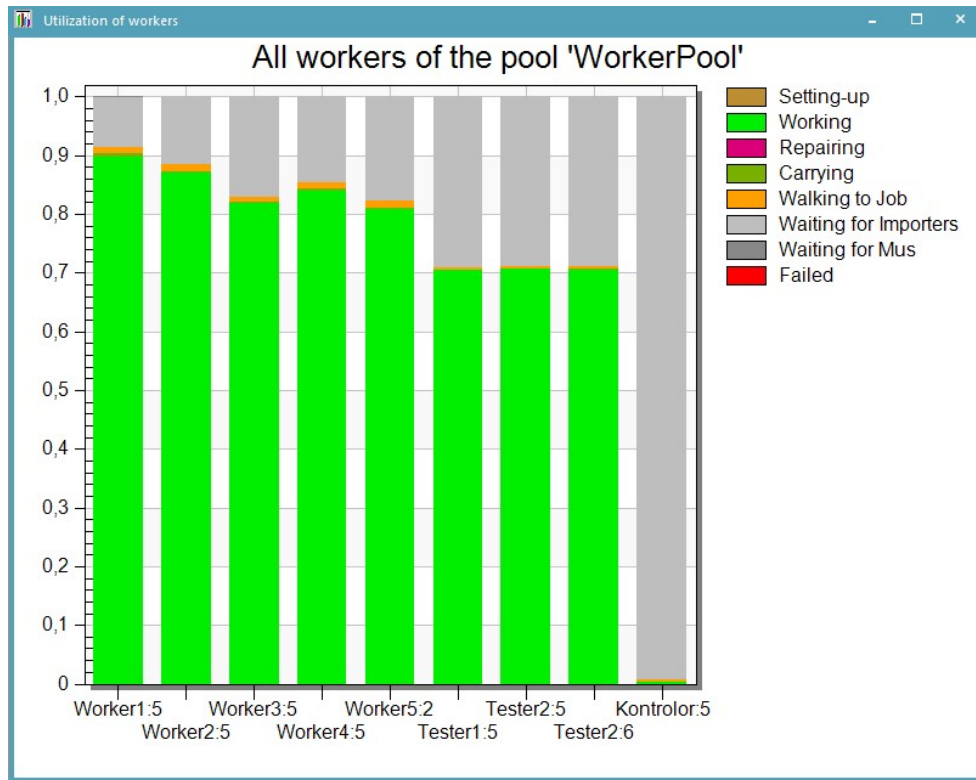
Obrázek 66 Souhrnná statistika pět pracovišť se třemi testy

Na obrázku 67 je zobrazeno vytížení jednotlivých pracovišť. Díky rozdělení práce testování do tří pracovišť došlo ke snížení vytížení testovacích pracovišť.



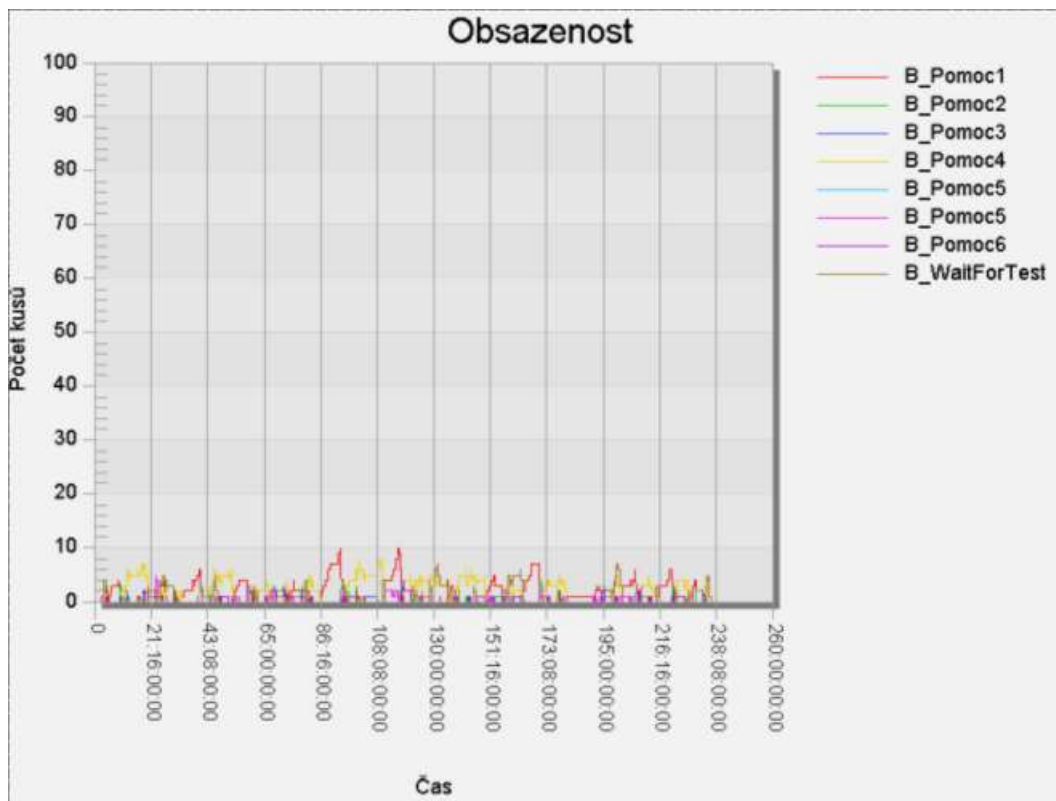
Obrázek 67 Vytížení pracovišť s pěti montážemi bez operátora podsestav se třemi testy

Na obrázku 68 je zobrazen graf, který znázorňuje vytížení pracovníků.



Obrázek 68 Vytíženost pracovníků s pěti pracovišti bez operátora podsestav se třemi testy

Přidáním třetího testovacího místa obsazenost bufferu před testováním prudce klesla. Toto je zřejmé z grafu na obrázku 69.



Obrázek 69 Obsazenost bufferů pět pracovišť bez operátora podsestav se třemi testy

## 18.4 Varianta se čtyřmi montážními pracovišti

Při tvorbě této varianty proběhly následující změny:

- Odstranění dvou pracovišť
- Vybalancování práce mezi čtyři pracoviště
- Přesunutí pracovišť montáže naproti hlavní lince
- Přesunutí přípravného pracoviště na území linky
- Úprava linky do tvaru písmene „I“
- Přesunutí montáže ramen dolních na pracoviště podsestav

Tato varianta má jiné dispoziční řešení než předchozí varianty, jak lze vidět na obrázku 70. Všechna montážní pracoviště jsou umístěna k hlavní komunikaci mezi skladem a expedicí. V této variantě byla použita pouze čtyři montážních pracoviště na hlavní lince. Při tomto řešení byla přidána práce montážníkovi podsestav. Montážník podsestav nyní montuje pružící jednotky a zvedáky, jako v předchozích variantách a další jeho činností je montáž spodních ramen.



Obrázek 70 Layout linky se čtyřmi montážními pracovišti

Výsledky simulačního běhu jsou na obrázku 71. Celková doba na splnění celého plánu výroby je jako při současném stavu 257 dní. Oproti variantě s pěti montážními pracovišti má nežádoucí vyšší procenta u skladování a u přidané hodnoty.

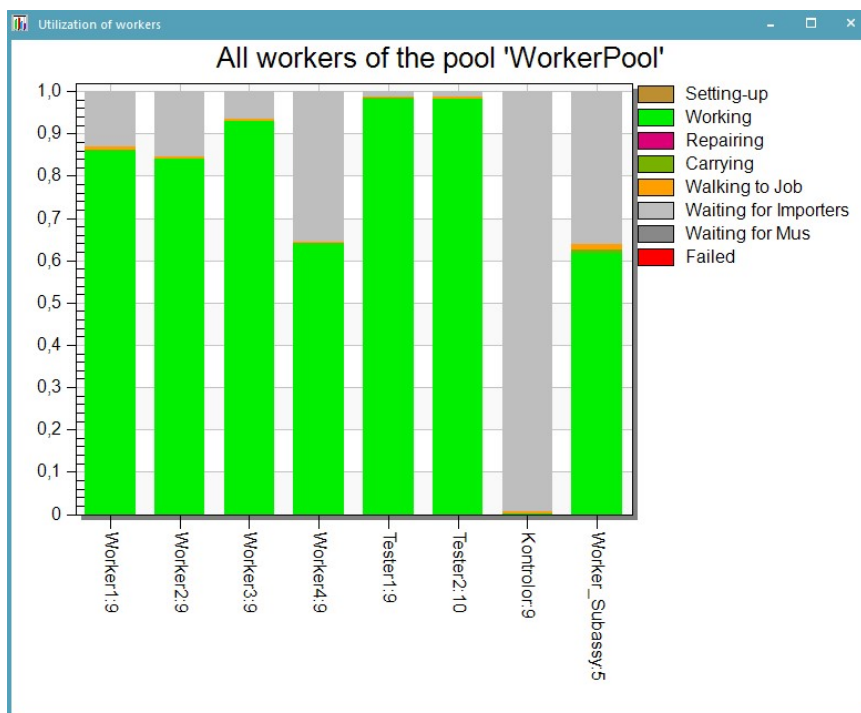


Object	Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added	Portion
D_Expedice	AXNG	50:16:40:44.2576	413	0	3.10%	0.04%	96.86%	0.44%	
D_Expedice	BW	51:17:54:02.3759	190	0	4.86%	0.00%	95.14%	0.86%	
D_Expedice	CX	27:20:08:07.1379	24	0	4.93%	0.07%	94.99%	0.82%	
D_Expedice	LX	50:01:50:40.6032	66	0	3.45%	0.03%	96.53%	0.73%	
D_Expedice	STT	44:04:42:56.2252	234	0	3.31%	0.05%	96.63%	0.50%	
D_Expedice	SX	28:18:37:26.9831	42	0	4.08%	0.03%	95.89%	0.78%	
Drain	Part	0.0000	257	0					

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted

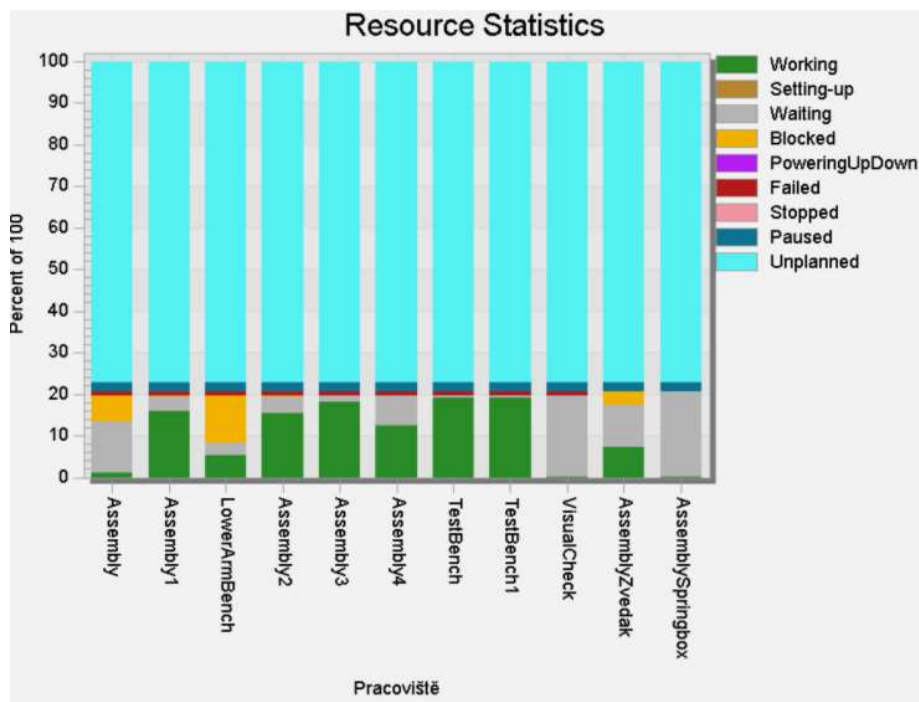
Obrázek 71 Souhrnná statistika varianty se čtyřmi pracovišti

Z obrázku 72 je zřejmé že oproti ostatním variantám má tato varianta mnohem lepší využití pracovní doby zaměstnanců. Aritmetický průměr práce jednotlivých pracovníků zde nabývá hodnoty 73,2 %. To je o 24,1 % více než je tomu u současného stavu, kde tato hodnota nabývá 49,1 %. U této varianty je vidět, že toto je minimální možný počet montážních pracovišť. To znamená, že objem práce jednoho z pracovišť už by se nedal rozmístit mezi jednotlivá pracoviště.



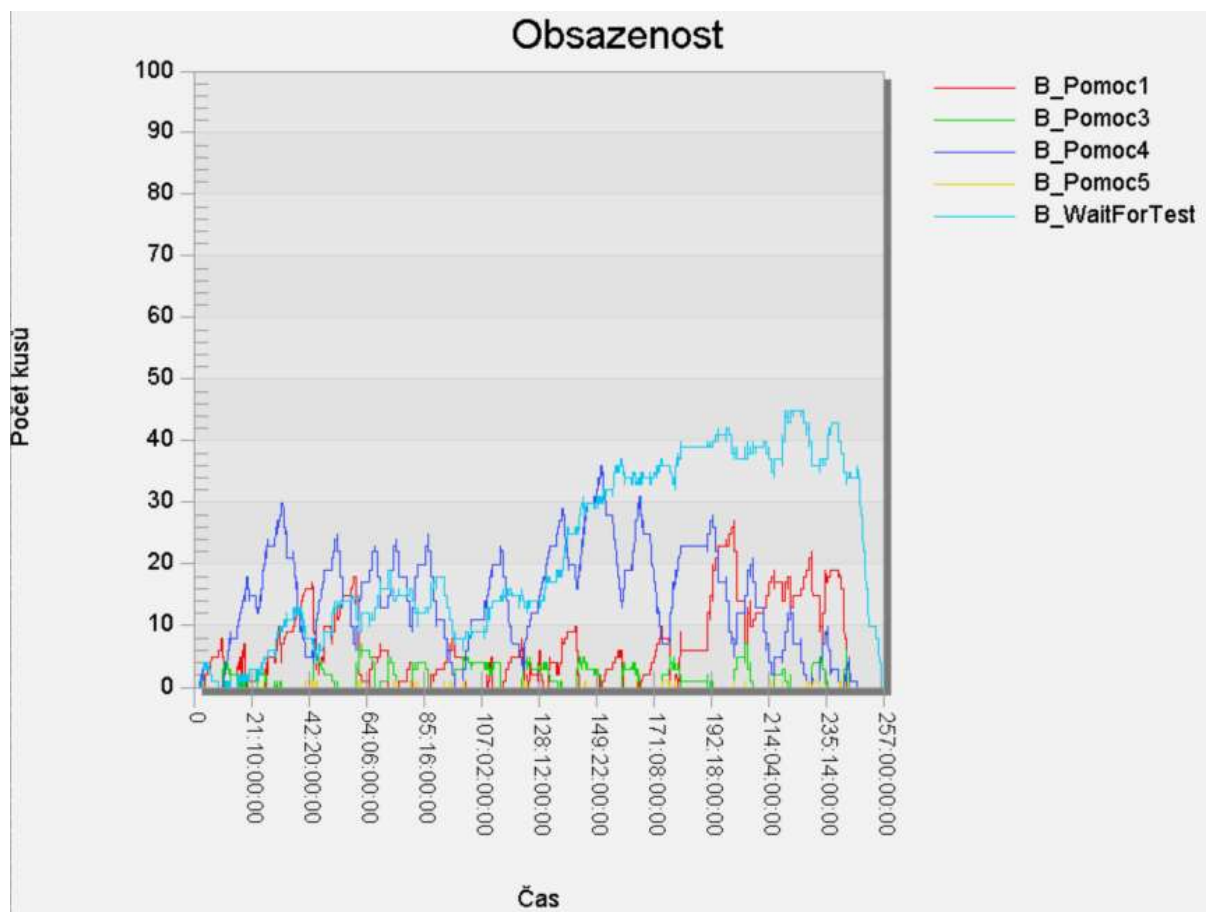
Obrázek 72 Vytížení pracovníků varianty se čtyřmi montážními stoly

Stejně jako u vytíženosti pracovníků nastal pozitivní nárůst vytíženosti pracovišť oproti předchozím variantám. Vytíženost pracovišť je zobrazena na obrázku 73.



Obrázek 73 Vytížení pracovišť varianty se čtyřmi montážními stoly

V tomto případě je horší vyváženost práce a tím nastává i vyšší počet kusů čekající na následující pracoviště. Graf obsazenosti bufferů je vyobrazen na obrázku 74.



Obrázek 74 Obsazenost bufferů čtyři pracoviště

## 19 Porovnání variant jednotlivých navržených opatření

Pro porovnání jednotlivých variant byla vybrána metoda bazické varianty. Tato metoda používá pro hodnocení nejvýhodnějších variant z jednotlivých kritérií tzv. bazickou variantu. Bazická varianta se stanoví jako ta nejlepší, popř. ideální varianta. Jednotlivé varianty kritérií se u této metody musí porovnat s bazickou hodnotou. Při porovnání je třeba rozlišovat, zda se jedná o maximalizační nebo minimalizační kritéria. Při hodnocení maximalizačních kritérií je srovnání podíl dílčí varianty s bazickou hodnotou. A u minimalizačních kritérií je tomu naopak neboli podíl mezi bazickou hodnotou a dílčí variantou.

Aby bylo možné porovnávat jednotlivé varianty je třeba vybrat vhodná kritéria hodnocení a poté stanovit váhy jednotlivých kritérií. Váhy kritérií určují významnost daného kritéria. Čím je váha kritéria vyšší, tím má kritérium větší význam. Pro určení váhy kritérií je využita Saatyho metoda. Tato metoda je založena na srovnání významu dvojic v Saatyho matici. Výčet kritérií a jejich hodnocení v Saatyho matici je znázorněn v tabulce 5. Dle knihy Jiřího Fotra [28] je tato metoda rozdílná oproti jiným metodám srovnávání vah kritérií v tom, že u porovnávaných dvojic se neurčuje pouze, které kritérium je významnější, ale i to, kolikrát je významnější. Přesné výpočty se vzorci lze prohlédnout v příloze 4.

Tabulka 5 Stanovení vah kritérií Saatyho metodou

	Průměrná délka průběžné doby výroby	Počet pracovníků	Podlažní plocha linky	Vytíženost pracovníků	Vytíženost pracovišť	Procentuální podíl práce s přidanou hodnotou	Procentuální podíl skladování materiálu	Geom. průměr	váha
Průměrná délka průběžné doby výroby	1	2	3	3	9	5	1	2,60	0,25
Počet pracovníků	1/2	1	3	3	9	5	1	2,14	0,21
Podlažní plocha linky	1/3	1/3	1	5	9	7	1/2	1,51	0,15
Vytíženost pracovníků	1/3	1/3	1/3	1	5	5	1/7	0,75	0,07
Vytíženost pracovišť	1/9	1/9	1/9	1/5	1	2	1/9	0,25	0,02
Procentuální podíl práce s přidanou hodnotou	1/5	1/5	1/7	1/5	1/2	1	1/9	0,25	0,02
Procentuální podíl skladování materiálu	1	1	2	7	9	9	1	2,73	0,27
Suma geometrických průměrů								10,23	

Hodnoty jednotlivých porovnávaných kritérií jsou znázorněny v tabulce 6. tyto hodnoty jsou výstupem ze simulačních běhů jednotlivých variant. V posledním řádku tabulky jsou popsány povahy kritérií podle toho, zda jsou kritéria maximalizační nebo minimalizační. Zelenou barvou jsou označeny nejlepší výsledky jednotlivých kritérií.

**Tabulka 6 Hodnoty kritérií**

	Průměrná délka průběžné doby výroby [Hod]	Počet pracovníků	Podlažní plocha linky [m <sup>2</sup> ]	Vytíženost pracovníků [%]	Vytíženost pracovišť [%]	Podíl práce s přidanou hodnotou [%]	Podíl skladování materiálu [%]
Stávající řešení	937,07	10	494,3	49,1	38,76	0,75	95,77
5 montážních pracovišť	939,8	9	267	65,8	42,1	0,76	95,04
5 montážních pracovišť bez podsestav	944,13	8	267	74,3	42,14	0,76	95,5
5 montážních pracovišť bez podsestav + 3x test	713,96	9	267	70,6	39,1	0,99	93,915
4 montážní pracoviště	972,6439	8	240	73,2	45,5	0,69	96
Váha kritéria	0,25	0,21	0,15	0,07	0,02	0,02	0,27
povaha	Min	Min	Min	Max	Max	Max	Min

V tabulce 7 jsou znázorněny hodnoty porovnání dílčích variant s bazickou hodnotou. Následně jsou zde vypočteny výsledky jednotlivých variant. Tyto výsledky jsou soumou násobku dílčích užiteků a vah jednotlivých kritérií.

**Tabulka 7 Hodnocení kritérií bazickou metodou**

	Průměrná délka průběžné doby výroby	Počet pracovníků	Podlažní plocha linky	Vytíženost pracovníků	Vytíženost pracovišť	Procentuální podíl práce s přidanou hodnotou	Procentuální podíl skladování materiálu	Výsledek
Stávající řešení	0,762	0,800	0,486	0,661	0,852	0,758	0,981	0,775
5 mont. pracovišť	0,760	0,889	0,899	0,886	0,925	0,768	0,988	0,874
5 mont. pracovišť bez podsestav	0,756	1,000	0,899	1,000	0,926	0,768	0,983	0,903
5 mont. pracovišť bez podsestav, 3x test	1,000	0,889	0,899	0,950	0,859	1,000	1,000	0,945
4 mont. pracoviště	0,734	1,000	1,000	0,985	1,000	0,697	0,978	0,911
Váhy kritérií	0,25	0,21	0,15	0,07	0,02	0,02	0,27	
Povaha	Min	Min	Min	Max	Max	Max	Min	
Báze	713,96	8	240	74,3	45,5	0,99	93,915	

### Zmírněná plýtvání plynoucí z nejjvýhodnější varianty

Jako nejjvýhodnější řešení, vyšla z hodnocení pomocí bazické metody, varianta s pěti montážními pracovišti bez operátora montující podsestavu a se třemi pracovišti testování. Zavedením této varianty, oproti současnému stavu, jsou zmírněna tato plýtvání:

- Ztráta manipulací
- Ztráta ze zásob
- Ztráta ze zbytečného pohybu
- Ztráta z čekání
- Ztráta z nadprodukce

### Úspory plynoucí z nejjvýhodnější varianty

Na implementaci této varianty nejsou zapotřebí žádné náklady, kromě nákladů na odebrání a přesun pracovních stolů na stávající lince a obnovení starého testovacího zařízení. Vyčíslení roční úspory vedoucí ze zavedení této varianty je vyčísleno v tabulce 8.

**Tabulka 8 Úspory dosažené zavedením nejjvýhodnější varianty**

Roční úspory při zavedení varianty			
Typ úspory			
	ušetření pracovníci	Hodinová sazba na pracovníka [Kč]	Roční úspora [Kč]
Počet pracovníků	1	1000	1 890 000,00
	ušetřená plocha [m <sup>2</sup> ]	sazba na 1 m <sup>2</sup> [Kč/měsíc]	
Podlažní plocha	227,3	400	90 920
	Úspora celkem [Kč]		1 980 920,00

## 20 Závěr

Tato diplomová práce pojednává o úvodu do problematiky výrobní linky pantografů. V první části se práce věnuje teoretické části, ve které jsou popsána důležitá témata potřebná k pochopení problematiky. Tato témata se týkají logistiky, logistických technologií a plýtvání ve výrobních podnicích.

Po úvodu do logistiky a plýtvání se práce zabývá možnostmi dispozičních řešení, které lze využít pro řešení nedostatků výrobní linky. U těchto dispozičních řešení byly popsány jejich výhody a nevýhody. Dále jsou v práci popsány základy simulace a rozdíly mezi spojitými a diskretními simulacemi.

Po teoretickém úvodu je v práci popsána výrobní společnost, ve které se výrobní linka nachází. V této části je také představen vyráběný produkt pantograf a jeho funkcionality. Na základě popsaného stávajícího stavu výrobní linky jako je stávající layout a výrobní postup pantografu čtenář dostane představu o problematice.

Po seznámení s výrobkem byla práce zaměřena na získávání reálných dat o výrobě pantografů především získání výrobních časů naměřením jednotlivých činností po pracovištích. Dále byla data získávána z layoutu společnosti a data z MRP systému jako kniha zakázek nebo výrobní postupy výrobků.

Další součástí této práce byl proces tvorby simulace výrobní linky pantografů v softwaru Tecnomatix Plant Simulation a popsání procesu tvorby simulačního modelu do diplomové práce. Důraz byl kladen na tvorbu simulačního modelu, tak aby se simulační běhy co nejvíce podobaly reálnému řešení výrobní linky pantografů ve firmě Faiveley Transport Czech a.s..

Po vytvoření simulačního modelu se diplomová práce věnovala výběru vhodných ukazatelů pro zjištění vytíženosti pracovníků, přepravních prostředků a pracovních míst. Poté byl proveden simulační běh stávajícího řešení a pomocí zvolených ukazatelů jsou v práci popsány výstupy ze simulačního běhu.

Po provedení simulačního běhu stávajícího řešení a jeho hodnocení byly vytvořeny simulační modely a simulační běhy navrhovaných opatření. Poté následovalo vyhodnocení variant pomocí metody bazické varianty. Nejdříve byla stanovena kritéria a jejich váhy pomocí metody Saatyho metody. A poté byly hodnoceny jednotlivé varianty.

Nejlépe hodnocenou variantou z hodnocení vyšla varianta s pěti montážními pracovišti, bez operátora montující podsestavy a se třemi pracovišti testování. Pomocí této varianty došlo k úsporám oproti stávajícímu řešení u kritérií počtu pracovníků, velikosti zabrané podlažní plochy linkou, vytíženosti pracovníků a vytíženosti pracovišť. Počet pracovníků byl snížen o jednoho operátora tím došlo ke zvýšení vytíženosti pracovišť o 3,38 % a vytíženosti pracovníků o 21,5 % oproti současnému řešení linky. Podlažní plocha zabíraná linkou je touto variantou snížena o 46 %. S implementací této metody nejsou vázány žádné náklady. Při zavedení této varianty jsou vyčísleny roční úspory na 1 980 920 Kč.

Dalším krokem pro urychlení splnění plánu vyráběných kusů by bylo zaměření se na zkušební stanoviště linky. Tato stanoviště se u většiny variant chovají jako úzké místo linky. Zlepšení by mohlo například rozdělením práce zkušebních techniků na montážní pracoviště. Také by bylo vhodné prověřit, zda všechny operace zkušebních techniků jsou potřebné a nedochází tím k plýtvání typu nadměrného zpracování.

## Seznam použitých zdrojů

1. **Jeřábek, Karel, Kampf, Rudolf a Bartuška, Ladislav.** *Logistické minimum*. České Budějovice : Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, 2016. 978-80-7468-073-1.
2. **Svatoš, Miroslav, a další.** *Zahraniční obchod teorie a praxe*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2009. 978-80-247-2708-0.
3. **Vávrová, Věra a Tomek, Gustaf.** *Řízení výroby a nákupu*. Praha : Grada Publishing s.r.o., 2007. 987-80-247-1479-0.
4. **M., Lambert D. a kol.** *Logistika: příkladové studie, řízení zásob, přeprava a skladování, balení*. 2. vydání. Brno : CP Books, 2005. 80-251-0504-0.
5. **Marie, Jurová a kolektiv.** *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2016. 978-80-271-9330-1.
6. **Roser, Christoph.** Muda, Mura, Muri: Tři zla ve výrobě. *prumysloveinzenyrstvi.cz*. [Online] Lean Solution & Simulation, s.r.o., 13. 3 2019. [Citace: 31. 10 2021.] <https://www.prumysloveinzenyrstvi.cz/muda-mura-muri-tri-zla-ve-vyrobe/>.
7. **Tomek, Gustav a Vávrová, Věra.** *Jak zvýšit konkurenční schopnost firmy*. 1. vydání. Praha : C. H. Beck, 2009. 978-80-7400-098-0.
8. **Kotora, Bohumír.** Cross-docking zrychluje toky zboží. *Logistika*. [Online] Logistika, 16. 11 2018. [Citace: 15. 11 2021.] <https://logistika.ekonom.cz/c1-66342560-cross-docking-zrychluje-toky-zbozi>.
9. **Cross-dock.** *Česká logistika*. [Online] 2021. [Citace: 15. 11 2021.] <https://www.ceskalogistika.cz/cross-dock/>.
10. **Význam logistiky neustále narůstá.** *Topvision*. [Online] 2021. [Citace: 17. 11 2021.] <https://www.topvision.cz/blog/vyznam-logistiky-neustale-narusta>.
11. **Štůsek, Jaromír.** *Řízení provozu v logistických řetězcích*. Praha : C.H Beck, 2007. 978-80-7179-534-6.
12. **Váchal, Jan a Vochozka , Marek.** *Podnikové řízení*. Praha : Grada Publishin a.s., 2013. 80-247-8682-6.
13. **Šimon, Michal a Miller, Anotnín.** Kanban – výroba tahem, IT Systems 4/2014. *SystemOnLine S přehledem ve světě informačních technologií*. [Online] 21. 5 2014. [Citace: 14. 11 2021.] <https://m.systemonline.cz/rizeni-vyroby/kanban-vyroba-tahem.htm>.
14. **Wöhe, Günter a Kislingerová, Eva.** *Úvod do podnikového hospodářství*. 2. přepracované a doplněné vydání. Praha : C.H. Beck, 2007. 978-80-7179-897-2.
15. **Tomek, Gustav a Vávrová, Věra.** *Integrované řízení výroby*. Praha : Grada Publishing a. s., 2014. 978-80-247-9106-7.
16. **Pavelka, Marcel.** Efektivní a štíhlá logistika. *MM Průmyslové spektrum*. [Online] 15. 4 2014. [Citace: 17. 11 2021.] <https://www.mmspektrum.com/clanek/efektivni-a-stihla-logistika>.
17. **Nejznámější metody analýzy materiálového toku.** *Astrajs*. [Online] Superb WordPress Themes, 2021. [Citace: 20. 11 2021.] <https://www.astrajs.cz/nejznamejsi-metody-analyzy-materialoveho-toku/>.
18. **What is a spaghetti diagram? visTABLE.** [Online] plavis GmbH, 20. 10 2021. [Citace: 20. 11 2021.] <https://www.vistable.com/blog/what-is-a-spaghetti-diagram/>.

19. **Value stream map.** *Lean six sigma definition.* [Online] BPI Newsphere by AF themes, 2021. [Citace: 20. 11 2021.] <https://www.leansixsigmadefinition.com/glossary/value-stream-map/>.
20. **Košturiak, Ján, a další.** *Kaizen - osvědčená praxe českých a slovenských podniků.* místo neznámé : Computer Press, a.s., 2010. 978-80-251-2349-2.
21. **Sayer, J. Natalie a Williams, Bruce.** *Lean for dummies.* Indianapolis : Wiley Publishing, Inc., 2007. 978-0-470-09931-5.
22. **Do, Doanh.** What is Muda, Mura, Muri? *The Lean Way.* [Online] 5. 8 2017. [Citace: 14. 11 2021.] <https://theleanway.net/muda-mura-muri>.
23. **Tvorba prostorového uspořádání.** *Digital Factory.* [Online] Západočeská univerzita v Plzni, Katedra průmyslového inženýrství a managementu, 2011. [Citace: 29. 10 2021.] <https://www.digipod.zcu.cz/index.php/oblasti-nasazeni/tvorba-prostoroveho-usporadani>.
24. **Hlavenka, Bohumil.** *Projektování výrobních systémů (technologické projekty I).* druhé vydání. Brno : VUT Brno, 1990. 80-214-0144-3.
25. **Rumíšek, Pavel.** *Technologické projekty.* Brno : VUT Brno, 1991. 80-214-0385-3.
26. **Dlouhý, Martin, a další.** *Simulace podnikových procesů.* Brno : Computer Press, 2007. ISBN 978-80-251-1649-4.
27. **Vaculík, Josef a Zapletal, Josef.** *Podpůrné metody rozhodovacích procesů.* Brno : Masarykova univerzita v Brně, 1998. 80-210-1943-3.
28. **Fotr, Jiří a Souček, Ivan.** *Tvorba a řízení portfolia projektů.* Praha : Grada Publishing, a.s., 2015. ISBN 978-80-247-5275-4.
29. **Plant simulation.** *Siemens PLM.* [Online] Siemens Industry Software Inc., 2019. [Citace: 14. 11 2021.] <https://www.plm.automation.siemens.com/store/cz-cz/trial/plant-simulation.html>.
30. **Wabtec.** *Wabtec city.* [Online] 2019. <https://wabtec-city.com/>.
31. **Manufacturing Pull vs Push PowerPoint Template.** *SlideModel.* [Online] SlideModel. [Citace: 14. 11 2021.] <https://slidemodel.com/templates/manufacturing-pull-vs-push-powerpoint-template/>.
32. **Roser, Christoph.** PUSH vs. PULL: Rozdíl mezi výrobními systémy PUSH a PULL. *Průmyslové Inženýrství.* [Online] 12. 6 2017. [Citace: 10. 11 2021.] <https://www.prumysloveinzenyrstvi.cz/push-vs-pull-rozdil-vyrobnimi-systemy-push-a-pull/>.
33. **M.Dlouhý, J Fábry, M. Kuncová, T. Hladík.** *Simulace podnikových procesů.* Brno : Computer Press, 2007. ISBN 978-80-251-1649-4.
34. **Zlochová, Martina.** Optimalizace výrobních buněk. *API .* [Online] API - Akademie produktivity a inovací, s.r.o., 29. 10 2015. [Citace: 29. 11 2021.] <https://www.e-api.cz/25780-optimalizace-vyrobnich-bunek>.
35. **ČSN EN 50206-1** *Drážní zařízení – Kolejová vozidla – Pantografové sběrače: Vlastnosti a zkoušky.* místo neznámé : Praha: Český normalizační.
36. **Bansow, Steffen.** *Tecnomatix Plant Simulation: modeling and programming by means.* Cham[Švýcarsko] : Springer, 2016. ISBN 978-3-319-36449-0.
37. **Banks, Jerry, Clarson, John a Nelson, Barry.** *Discrete-Event System Simulation.* místo neznámé : Pearson Education Limited, 2014. ISBN 978-1-292-02437-0.



## Seznam elektronických příloh

Layout linky .....	Příloha 1
Plán výroby .....	Příloha 2
Simulační model.....	Příloha 3
Hodnocení variant.....	Příloha 4