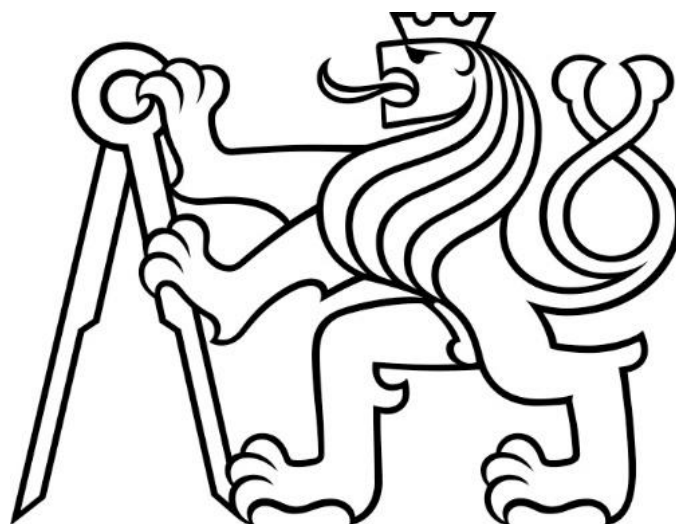


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav řízení a ekonomiky podniku



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Simulační studie využití manipulační  
techniky v průmyslovém podniku

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kadlec** Jméno: **Zdeněk** Osobní číslo: **440645**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav řízení a ekonomiky podniku**  
Studijní program: **Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Řízení a ekonomika podniku**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Simulační studie využití manipulační techniky v průmyslovém podniku**

Název diplomové práce anglicky:

**Simulation Study of the Utilization of Handling Equipment in an Industrial Company**

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod, cíle a úkoly práce
2. Teoretická část – výrobní logistika a její trendy, simulace a simulační nástroje, struktura simulačního projektu
3. Praktická část – charakteristika a analýza současného stavu, tvorba koncepčního a simulačního modelu, návrh experimentů, simulace a optimalizace, vyhodnocení výsledků
4. Závěry a doporučení

Seznam doporučené literatury:

1. GROS, Ivan a kol. Velká kniha logistiky. Vydání: první. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. 607 stran. ISBN 978-80-7080-952-6.
2. JUROVÁ, Marie a kol. Výrobní a logistické procesy v podnikání. První vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. 254 stran. Expert. ISBN 978-80-247-5717-9.
3. MANLIG, František. Využití počítačové simulace výrobních systémů. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014. 99 s. ISBN 978-80-7494-162-7.
4. LAW, Averill M. Simulation modeling and analysis. Fifth edition. New York: McGraw-Hill Education, [2015]. ©2015. xviii, 776 stran. ISBN 978-0-07-340132-4.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Pavel Scholz, ústav řízení a ekonomiky podniku FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **12.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **28.02.2021**

Ing. Pavel Scholz  
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. František Freiberg, CSc.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkane(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Anotační list

**Jméno autora:** Zdeněk Kadlec

**Fakulta:** Fakulta strojní

**Zadávací ústav:** Ústav řízení a ekonomiky podniku

**Studijní program:** Strojní inženýrství

**Studijní obor:** Řízení a ekonomika podniku

**Studijní ročník:** 2019/2020

**Název diplomové práce:** Simulační studie využití manipulační techniky v průmyslovém podniku

**Název diplomové práce anglicky:** Simulation study of the Utilization of Handling Equipment in the Industrial Company.

**Vedoucí práce:** Ing. Pavel Scholz

<b>Bibliografické údaje:</b>	Počet stran	106
	Počet obrázků	58
	Počet grafů	10
	Počet tabulek	25
	Počet příloh	1

**Klíčová slova:** Simulace zásobování materiálem; Dopravní prostředky; Manipulační prostředky; Manipulační technika

**Key words:** Material supply simulation; Transport utilities; Manipulation technology; Handling technology

### **Anotace:**

Tato diplomová práce se zabývá problematikou historického vývoje a současného stavu ve vnitropodnikové logistice. Zabývá se vývojem a možnostmi současných simulačních softwarů pro zefektivnění nákladů, které vznikají ve výrobě. Dále analyzuje současný stav vnitropodnikové přepravy v podniku Schwarzmüller Žebrák, vytváří simulační model výchozího stavu, a dále navrhuje a analyzuje dopady scénářů ke změnám efektivity vnitropodnikové přepravy.

### **Anotation:**

This thesis is focused on the hystorical development and current status in the in-company logistics. It focuses on the development and options that current simulation software provides. Further it analyze current state of in-house transport in Schwarzmüller Žebrák, creates simulation model of default state , and analyzes impact of different scenarios leading to change of efectivity of in-house transportation.

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 zákona č.121/2000Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne.....

.....

Podpis autora

## **Poděkování**

Chtěl bych tímto poděkovat v první řadě vedoucímu práce Ing. Pavlu Scholzovi, za odbornou pomoc při výběru tématu, za podklady a rady při práci se simulačním softwarem a trpělivost při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat zástupcům společnosti Schwarzmüller Žebrák za zprostředkování dat k jednotlivým simulacím a zodpovězení veškerých přidružených dotazů k procesům v podniku.

# Obsah

Obsah .....	6
Úvod.....	10
1 Logistika .....	12
1.1 Historie a vývoj .....	12
1.1.1 Pojem logistika .....	12
1.1.2 Prvopočátky logistiky .....	12
1.1.3 Poválečný přístup k logistice .....	13
1.1 Členění logistiky.....	15
1.2 Cíle logistiky .....	16
1.3 Základní logistické funkce a činnosti .....	17
2 Výrobní logistika.....	19
2.1 Definice výrobní logistiky.....	19
2.2 Cíle výrobní logistiky .....	20
2.3 Činnosti výrobní logistiky.....	20
2.4 Řízení výroby .....	21
2.4.1 Tlačné systémy řízení výroby .....	21
2.4.2 Tažné systémy řízení výroby .....	22
2.5 Prostorová struktura podniku.....	25
2.5.1 Materiálový tok .....	26
2.5.2 Rozmístění pracovišť .....	26
2.5.3 Výkresová dokumentace .....	29
2.5.4 Metody rozmisťování pracovišť .....	29
2.5.5 Optimalizace materiálového toku .....	30
2.6 Prostředky vnitropodnikového transportu .....	33
2.6.1 Manipulační jednotky .....	33
2.6.2 Transportní obaly ve vnitropodnikové přepravě .....	34
2.6.3 Manipulace s materiálem .....	35
2.7 Mechanizovaná manipulace .....	36
2.7.1 Dopravníky .....	36
2.7.2 Manipulační vozíky s motorovým pohonem .....	37
2.8 Moderní trendy ve vnitropodnikové logistice .....	40
2.8.1 Automated Guided Vehicles (AGV).....	40
2.8.2 Digitalizace a inovativní technologie .....	41

2.8.3 Ekologičnost výroby .....	41
2.8.4 Konsignační sklady .....	42
2.8.5 Využití virtuální a augmentované reality .....	42
3 Simulace a simulační nástroje .....	42
3.1 Definice simulace .....	43
3.2 Dělení simulačních modelů .....	43
3.2.1 Diskrétní a spojité .....	43
3.2.2 Statické a dynamické .....	44
3.2.3 Deterministické a stochastické .....	44
3.3 Pojmy související se simulacemi .....	44
3.4 Aplikace simulace .....	45
3.5 Výhody a nevýhody využití simulací .....	46
3.6 Simulační software .....	47
3.7 Podstatné vlastnosti při výběru simulačního SW .....	47
3.7.1 Všeobecné vlastnosti .....	47
3.7.2 Hardwarové a softwarové požadavky .....	48
3.7.3 Animace a dynamická grafika .....	48
3.7.4 Statistické nástroje .....	49
3.7.5 Zákaznická podpora a produktová dokumentace .....	49
3.7.6 Prezentace výstupů .....	49
3.7.7 Porovnání simulačního software s programovacími jazyky .....	49
3.7.8 Dělení simulačního SW .....	50
3.8 Simulační softwary .....	50
3.8.1 Softwary pro všeobecné použití .....	50
3.8.2 Simulační softwary pro využití ve výrobním procesu .....	53
3.9 Struktura simulačního projektu .....	56
4 Charakteristika podniku .....	59
5 Popis použitého softwaru .....	61
5.1 Smart TDM G2 .....	61
5.1.1 Klíčové vlastnosti programu .....	61
5.1.2 Export dat .....	62
5.2 Microsoft Excel .....	62
5.3 FlexSim .....	63
5.3.1 Klíčové vlastnosti programu .....	63
5.3.2 Základní nastavení .....	63

5.3.3 Terminologie .....	63
5.3.4 Tvorba 3D Modelu .....	64
5.3.5 Tvorba procesních toků.....	66
6 Simulační studie .....	69
6.1 Formulace problému.....	69
6.2 Plán studie .....	70
6.3 Sběr dat .....	70
6.4 Tvorba modelu .....	71
6.4.1 Návrh 3D Modelu reálného systému.....	71
6.4.2 Vytvoření Proces Flow .....	75
6.4.3 Ostatní nastavení modelu .....	77
6.5 Vytvoření programu.....	77
6.6 Validace programu.....	81
6.7 Návrh scénářů.....	82
6.8 Analýza výstupních dat scénářů .....	83
6.8.1 Využití transportérů před omezením výroby.....	84
6.8.2 Využití transportérů před omezením výroby, pokud bude o jeden transportér méně .....	86
6.8.3 Využití transportérů před omezením výroby, pokud bude o dva transportéry méně.....	87
6.8.4 Využití transportérů před omezením výroby, při nárůstu požadavků o 20% .....	88
6.8.5 Využití transportérů před omezením výroby při nárůstu požadavků o 20 %, pokud bude o jeden transportér méně .....	89
6.8.6 Využití transportérů před omezením, po dnech v týdnu .....	90
6.8.7 Využití transportérů po skončení omezení výroby .....	91
6.8.8 Využití transportérů po skončení omezení výroby, pokud bude o jeden transportér méně .....	92
6.8.9 Využití transportérů po skončení omezení výroby, pokud bude o dva transportéry méně.....	93
6.9 Interpretace výsledků .....	94
6.9.1 Rozdíl v množství požadavků a efektivitě využití transportérů před a po.....	94
6.9.2 Potřebné množství transportérů při neměnném množství požadavků na transport v budoucnosti.....	95
6.9.3 Potřebné množství transportérů při změně objemu požadavků .....	95
6.9.4 Potřebné množství transportérů v závislosti na dnech .....	95



6.10 Návrhy a doporučení.....	96
Závěr .....	98
Zdroje .....	100
Seznam obrázků .....	104
Seznam Tabulek.....	106
Seznam příloh.....	106

# Úvod

Už od dob, kdy člověk dokázal vytvářet primitivní nástroje, začal hledat nejefektivnější postup k vytvoření funkčního celku, který by vyhovoval jeho potřebám. Se zvyšující se složitostí technologického postupu výroby rostla i potřeba efektivního využití veškerých zdrojů. V dnešní době, kdy je ve valné většině oborů extrémně vysoká konkurence, poskytuje každá úspora nákladů, případně zvýšení efektivity výrobního procesu nezanedbatelnou konkurenční výhodu. Velice důležité je efektivitu celého výrobního procesu analyzovat a zdokonalovat v reálném čase, k čemuž je ideální využívat veškerých dostupných možností. Mezi moderní nástroje, které pomáhají tohoto cíle dosáhnout, patří i online sledování a analýza efektivního využití, či simulační software. Na základě informací získaných ze sledování vozíků jsme s využitím simulačního software schopni vytvořit virtuální obraz výrobního procesu, na kterém je možno pomocí změn jednoho nebo více parametrů (například směnnosti provozu, doby směn, počtu pracovníků apod.) simulovat komplexní dopad změn na celý proces. Hlavní výhodou těchto SW je, že se dá dopad jednotlivých změn vyhodnotit předem bez zásahu do reálného provozu, dokud není jistota, že změny budou přínosné, a ne naopak.

Z výše uvedených důvodů se i společnost Schwarzmüller snaží implementovat nové technologie a přístupy k řešení problémů. V souvislosti s nedávným nákupem sledovacího software, který snímá pohyb vnitropodnikových manipulátorů, je hlavním cílem této diplomové práce analyzovat a vyhodnotit možné změny systému transportu materiálu (např. počtu manipulátorů nebo způsobu jejich řazení) v podniku Schwarzmüller Žebrák za pomoci simulačního softwaru.

V první kapitole se práce zabývá definováním, historickým vývojem, členěním a významem logistiky. Následně se detailněji zaměřuje na výrobní logistiku, jakožto nejdůležitější součást logistického řetězce pro tuto práci. Ve třetí části práce popisuje základy simulačních přístupů a možnosti simulačního softwaru. Ve čtvrté kapitole se nachází stručný popis zkoumaného podniku. Následně se práce zaměřuje na návrh a realizaci simulační studie. K té je v první řadě nutné získat datové podklady (layout podniku, transportní vzdálenosti mezi stanovišti, počet manipulátorů v podniku, počet požadavků na transport za daný časový úsek, ...). Na základě výše uvedených dat, a dále dat z podnikového informačního systému a vlastního pozorování je navržen statický model transportních cest v podniku. V dalším kroku jsou do tohoto statického modelu dosazena naměřená dynamická data (doba přesunu mezi stanovišti, hmotnost přepravy), čímž se ze statického modelu stane model dynamický, který odpovídá současnému skutečnému stavu ve výrobním závodě. Na tomto dynamickém modelu je následně provedena optimalizace

výroby s ohledem na požadavky zadavatele při různých, ať už hypotetických, či reálných scénářích výroby.

Poslední část se pak zaměřuje na zpracování výstupů studie, interpretaci výsledků a návrh opatření k dosažení definovaných cílů.

# Teoretická část

## 1 Logistika

Jedná se o jednu z mnoha vědních disciplín, zabývajících se řízením podniku. Podle definice dle CSCMP – Council of Supply Chain Management Professionals z roku 2006 je logistika ta podmnožina dodavatelského řetězce, která „plánuje, realizuje a efektivně a účinně řídí dopředné i zpětné toky výrobků, služeb a příslušných informací od místa původu do místa spotřeby a skladování zboží tak, aby byly splněny požadavky konečného zákazníka. K typickým řízeným aktivitám patří doprava, správa vozového parku, skladování, manipulace s materiály, plnění objednávek, návrh logistické sítě, řízení zásob, plánování nabídky a poptávky a řízení poskytovatelů logistických služeb. V různé míře logistické funkce zahrnují také vyhledávání zdrojů a nákup, plánování a rozvrhování výroby, balení, kompletace a služby zákazníkům. Je zapojena do všech úrovní plánování a realizace – strategické, operativní a taktické.“ (Gros, 2016 str. 25) Řízením logistiky se pak rozumí začlenění všech výše jmenovaných činností s ohledem na maximální stupeň koordinace a optimalizace jednotlivých procesů do celého logistického řetězce. Zároveň je jeho cílem propojit logistické a ostatní související podnikové činnosti, například výrobou, prodejem, marketingem, financemi a IT technologiemi.

### 1.1 Historie a vývoj

Logistika prošla od doby, kdy se jí začal člověk zabývat dlouhodobým vývojem. Ten je možné rozdělit do dvou hlavních etap, a to *historické etapy*, končící v polovině dvacátého století, a *moderní etapy*, trvající do dnešního dne.

#### 1.1.1 Pojem logistika

Samotné slovo logistika je odvozeno z řeckého „logos“, což ve volném překladu znamená počítání, nebo rozum. Samotný pojem logistika poprvé užil Švýcar Antoine-Henry de Jomini, který v knize Náčrt vojenského umění, vydané roku 1838, přikládal logistice stejným význam jako strategii a taktice. Odtud tento postupem času pronikl do celého světa jako zastřešující slovo týkající se veškeré vojenské lokalizace, zásobování, přepravy materiálu a munice. V dnešní době se dá logistika rozdělit do dvou větví, na *vojenskou* a *civilní logistiku*.

#### 1.1.2 Prvopočátky logistiky

Logistika jako taková, ač si to tehdejší lidé neuvědomovali, se objevovala v přístupu k práci již od doby prvních lidí. Od chvíle, kdy se začali lidé sdružovat do kmenů, jim byly přiřazovány různé role a úlohy v primitivních logistických řetězcích. Příkladem může být například lov mamutů stylem vykopání jámy, jak popisuje Bakešová: „Jedni kopali, druzí odstraňovali vykopanou hlínu. A další – v podstatě předchůdci dnešní logistiky – zajišťovali a přinášeli jídlo a

*pití a kůže, na kterých byla vykopaná hlína přemístována“ (Bakešová, a další, 2008).*

S postupem času se od primitivního projektu „vykopání jámy“ lidstvo přesouvalo ke stále větším a tím i na logistické zajištění náročnějším projektům. Bohužel jsou z dávných dob k dispozici pouze nepřesné nebo neúplné informace o přístupu „vedoucích pracovníků“ k řešení logistických problémů jejich doby. Za zmínku nicméně stojí například způsob zajištění materiálu a koordinace tisíců otroků k výstavbě egyptských pyramid, což byl v tehdejší době primitivních technologií mistrovský logistický kousek. Z důvodu významnosti tohoto činu je některými autory vnímán jako hypotetický počátek logistiky.

### **1.1.3 Poválečný přístup k logistice**

Původ logistiky, tak jak ji můžeme chápat v dnešním komplexním pojetí, se datuje zhruba do roku 1850. Jedním z hlavních důvodů pro rozvoj logistických dovedností byl tehdejší přerod tržního prostředí, který se projevoval zvyšováním do té doby omezeného množství sortimentu jednotlivých prodejců nebo množstvím konkurence. To způsobilo „*nutnost rychlé inovace výrobků, nutnost vyrábět bohatý sortiment výrobků a poskytovat širokou paletu služeb. To vše vedlo k vývoji nových, levnějších, a hlavně účinnějších metod distribuce zboží*“ (Reiterová, 2011).

Sixta a Mačát v roce 2005 rozdělili přístup k logistice v období po druhé světové válce na čtyři etapy:

- před rokem 1950;
- 1951-1970;
- 1971-1985;
- od roku 1985 do současnosti.

#### **Před rokem 1950**

Období je charakterizováno „*Nedostatkem technických prostředků, moderních technologií a výpočetní techniky, proto z této doby lze najít pouze vědecké práce řešící problémy řízení materiálového toku.*“ (Gros, 1996). Myšlení, trendy a logistická praxe jsou v této době do civilního prostředí implementovány z vojenského prostředí.

#### **Roky 1951-1970**

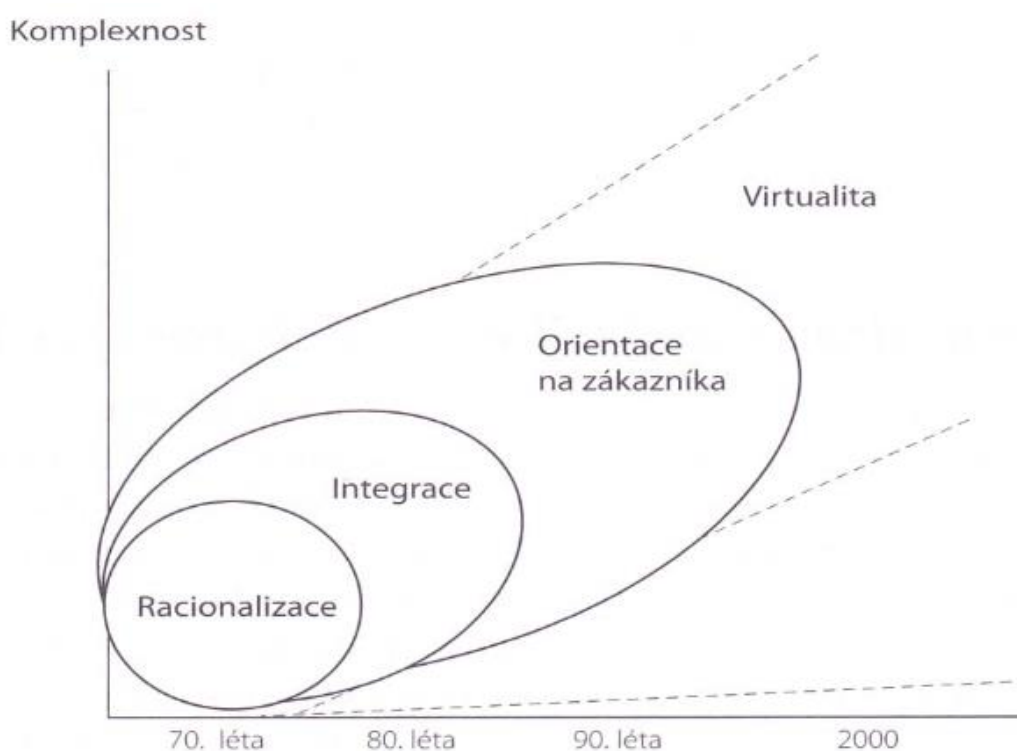
Pro toto období je typická analýza nákupního chování zákazníků, případně výhodný nákup a prodej zboží. *K implementaci logistiky do hospodářské praxe přispěla zejména energetická krize, jež měla za následek rozvoj materiálového managementu a nových výrobních strategií* (Sixta, a další, 2005). Plánování bylo v tomto období jednoduché, neboť díky přesně stanovitelné a nepříliš dynamické poptávce šla přesně naplánovat jak výroba, tak i ekonomické a materiálové zdroje subjektů.

## Roky 1971-1985

V této době se začíná v logistice využívat ve vyšší míře IT technika, což zapříčinilo ohromné zrychlení procesů a zlepšení funkce komunikačních kanálů. Integrace procesů způsobila růst efektivity, produktivity a konkurenceschopnosti podniků. Zastřešování procesů ve společnosti probíhalo jako „Integrace do jednoho systému, a to od počátku v hranicích podniku jako vnitřní integrace dílčích logistických funkcí nákupu, zásobování, výroby a distribuce, do té doby zabezpečovaných jednotlivými podnikovými útvary.“ (Fišer, 2008)

## Roky 1985 – současnost

Po roce 1985 ustoupila do pozadí samotná výroba, společnosti se začaly soustředit více na okolí, významnou se stala komunikace s okolím podniku. Důležitá byla úroveň kontaktu se zákazníkem. Dále došlo k zaměření na servis, který dokázala společnost konstantně nabízet svým zákazníkům. Dnes je trend v logistice nastaven směrem k integraci a unifikaci podnikových systémů, které sbírají a ukládají data z celého logistického řetězce v reálném času do databází. Díky analýze těchto dat je možné navrhnout opatření pro maximální optimalizaci celého systému.

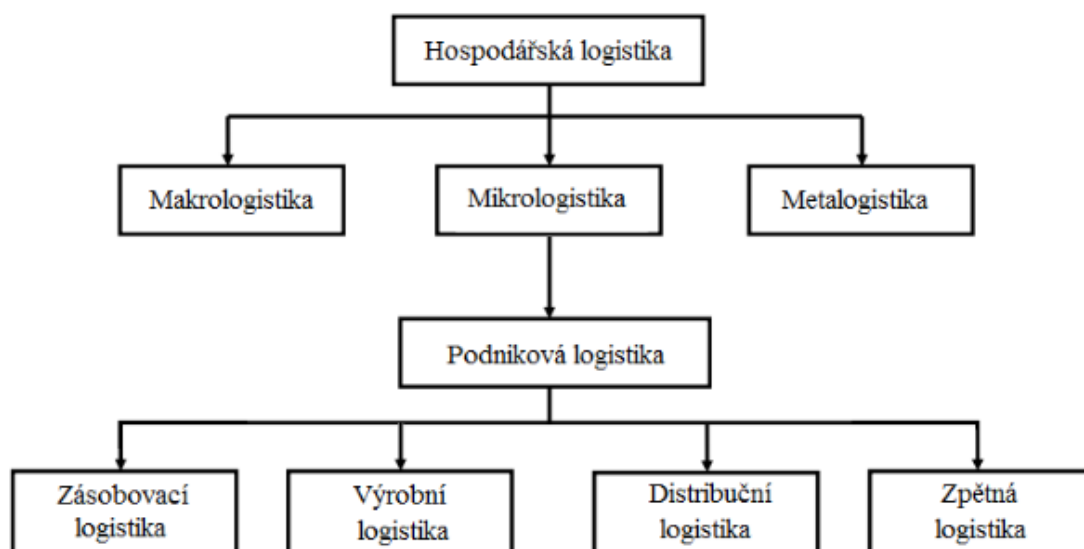


Obr. 1 -Evoluce logistiky; Zdroj: STEHLÍK, A, KAPOUN J: Logistika pro manažery. 2008.

Na Obr. 1 je znázorněn vývoj komplexnosti logistického řetězce od roku 1970 do dnešního dne.

## 1.1 Členění logistiky

Nejjednodušší členění logistiky (viz Obr. 2) dělí v první úrovni komplexní logistický řetězec na tři podmnožiny z hlediska oblasti zkoumání.



Obr. 2 - Členění logistiky Zdroj: (Sixta, a další, 2005)

### Makrologistika

Zabývá se globálními dopady logistiky z pohledu velkých hospodářských celků (národní hospodářství, regionální hospodářství ad.). Zkoumá možnosti především v oblastech mezinárodních dopravních sítí, integrací mezinárodních výrobních kapacit nebo legislativy.

### Metalogistika

*„Logistický podnik realizuje převážnou část logistických řetězců vně určité organizace, tj. realizuje propojení mezi dodavatelem a zákazníkem.“* (Sixta, a další, 2005)

### Mikrologistika

*„Zabývá se logistickými řetězci uvnitř průmyslového závodu, mezi závody v rámci jednoho podniku nebo uvnitř provozního skladu, či mezi ním a odlehčovacemi sklady v rámci velkoobchodního podniku apod. Jedná se tedy o dílčí, neúplné pojetí, ve kterém logistické řetězce nevedou přímo až k zákazníkům.“* (Ryšavý, 2009)

Mikrologistika se v další úrovni člení na další čtyři druhy. Zásobovací logistika řeší nákup materiálu a zásobování podniku. Výrobní logistika je pro potřeby této práce nejdůležitější částí mikrologistiky, a z tohoto důvodu je popsána důkladněji v kapitole 2. Distribuční logistika funguje jako spojovací článek mezi výrobní logistikou a oddělením odbytu. Zabývá se plánováním přepravních tras, řízením dodávek k zákazníkům za kontinuálního snižování

nákladů. Zpětná logistika je pak řešení toků použitých výrobků, obalů a odpadů od odběratele zpátky do místa vzniku k recyklaci, nebo likvidaci.

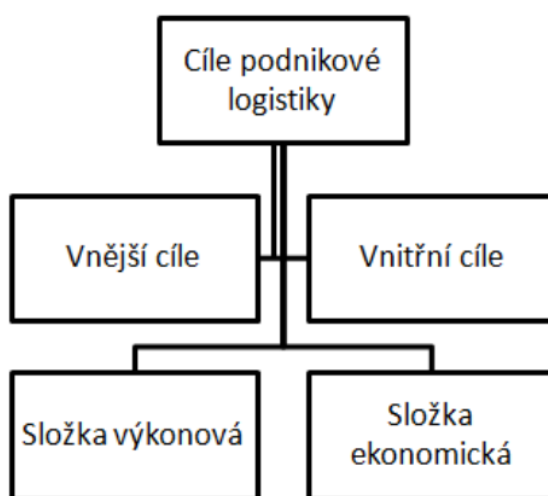
## 1.2 Cíle logistiky

Po rozdělení logistiky na jednotlivé podmnožiny je možné definovat cíle jednotlivých podmnožin na základě oblasti, kterou se daná podmnožina zabývá.

Hlavním cílem logistického řízení je „*uspokojování konkrétních přání zákazníků v optimálním čase. Zákazník je ústředním článkem celého řetězce, neboť od něj vychází počáteční impuls a zároveň končí celý řetězec zabezpečující pohyb jak prostředků hmotné, tak nehmotné povahy. Hmotné prostředky představují pohyb hotových výrobků, obalů a odpadů, zatím co nehmotné pak soubor logistických činností a služeb, včetně pohybu informací*“ (Machková , a další, 2003).

Existují dvě možnosti dělení logistických cílů (viz Obr. 3). V prvním případě lze cíle rozdělit dle pole působnosti na cíle vnitřní a vnější. V druhém případě se dělí dle způsobu měření výsledků na cíle výkonové a ekonomické.

Z hlediska stanovování podnikových cílů je podstatné nastavit v podniku rovnováhu mezi jednotlivými cíli a jejich nastavení v podniku takovým způsobem, aby byly splnitelné současně.



Obr. 3 - Rozdělení cílů logistiky; Zdroj: (Sixta, a další, 2005)

### Vnější cíle

Jejich účelem je uspokojování potřeb a požadavků zákazníků a rozšíření služeb. Mezi vnější cíle patří:

- zvyšování objemů prodeje;
- zkracování dodacích lhůt;
- zvyšování úplnosti a spolehlivosti dodávek;
- zvyšování pružnosti logistických služeb.



## Vnitřní cíle

Vycházejí z vnějších cílů podniku a „orientují se na postupnou redukci nákladů, při dodržení vnějších cílů. Jedná se zejména o náklady na zásoby, na výrobu, na dopravu, na manipulaci, na řízení apod.“ (Reiterová, 2011)

## Výkonové cíle

Za výkonový cíl se dá považovat dosažení konstantní úrovně služeb, kdy „požadovaný materiál a zboží bylo v odpovídajícím množství, druhu a očekávané jakosti na stanoveném místě v daném okamžiku.“ (Reiterová, 2011). Za výkonový cíl se dá pokládat zajištění maximální rychlosti všech služeb.

## Ekonomické cíle

Podstatou ekonomického cíle logistiky je „zajištění služeb s přiměřenými náklady, jež jsou vzhledem k poskytované úrovni služeb optimální“ (Pernica, 1994).

## 1.3 Základní logistické funkce a činnosti

Pro dosažení logistických cílů je nutné správně definovat a následně aplikovat funkce (nebo také činnosti či aktivity) logistického řízení.

V případě, kdy je potřeba jasně definovat komplexní logistický systém, je nutné „vymezit soubor činností, aktivit a funkcí, které partneři realizují pro splnění požadavků konečných zákazníků, které jsou souhrnně označovány jako logistické činnosti“ (Gros, 2016). Mimo tuto definici pak stojí aktivity týkající se přímo technologického procesu výroby. Neexistuje jednotné členění logistických činností, veškeré prováděné třídění je závislé na volbě třídícího kritéria, stupni rozkladu činností nebo účelu, za jakým je třídění prováděno. Například Lambert definuje jako hlavní logistické činnosti „zákaznický servis, prognózování, plánování poptávky, řízení zásob, logistickou komunikaci mezi podnikovými funkcemi, podnikem a jeho okolím, manipulaci s materiálem, přenos a zpracování objednávek, balení, podporu servisu a náhradní díly“ (Lambert, a další, 1998).

(Gros, 2016) definuje 7 základních funkcí logistického systému, které jsou zastoupeny do určité míry v každém logistickém systému (viz Tab. 1).

Tab. 1 - Základní logistické činnosti dle Grosse

Základní logistické funkce	
<b>Plánování na strategické a operativní úrovni</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Rozhodování o cílech</li><li>- Lokalizace lidských, materiálních a finančních zdrojů</li><li>- Nastavení struktur systémů</li></ul>

Základní logistické funkce	
<b>Získávání zdrojů</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nákup (surovin, materiálů, dílů, komponent)</li> <li>- Transformace entit ve výrobě, poskytování služeb</li> <li>- Distribuce výrobků zákazníkům</li> <li>- Realizace zpětných toků (vratky, recyklovatelné suroviny, ...)</li> </ul>
<b>Doprava surovin</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mezioperační doprava</li> <li>- Vnitropodniková doprava</li> <li>- Mezipodniková doprava</li> </ul>
<b>Manipulační operace</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ve výrobě</li> <li>- Ložné operace (nakládka, vykládka)</li> <li>- Skladové operace</li> <li>- Kompletační operace</li> </ul>
<b>Balení</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Výrobků, palet, přepravních celků</li> </ul>
<b>Identifikace zboží</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kódy, návody k použití, ...</li> </ul>
<b>Pomocné operace</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manipulace s vratnými obaly, ...</li> </ul>

Zdroj: Vlastní zpracování dle (Gros, 2016)

Pro porovnání Štůsek dělí logistické funkce na šest klíčových a pět podpůrných aktivit (viz Tab. 2). Podle něj se „klíčové aktivity se realizují v každém logistickém kanálu, podpůrné aktivity se budou realizovat v dané firmě podle okolností“ (Štůsek, 2007).

Tab. 2 - Rozdělení aktivit logistiky podle Štůska

Klíčové aktivity	Úlohy klíčových aktivit
<b>Řízení služeb zákazníkům</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Určení potřeby zákazníků a požadavky odběratelů</li> <li>- Analýza odezvy odběratelů</li> <li>- Definice úrovně poskytovaných služeb</li> </ul>
<b>Řízení cyklu objednávek</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Přenos informací o objednávkách</li> </ul>
<b>Řízení materiálu</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Strategie zásobování surovinami, polotovary a hotovou výrobou</li> <li>- Prognózování krátkodobého odbytu</li> <li>- Analýza stavu skladů</li> </ul>
<b>Řízení výroby</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plánování a řízení výroby, termínování kapacitního využití</li> <li>- Řízení výzkumu a vývoje</li> </ul>
<b>Řízení distribuce</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volba distribučních kanálů</li> <li>- Tvorba a správa distribuční sítě</li> </ul>
<b>Řízení dopravy</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analýza a volba dopravních služeb</li> <li>- Časové plánování dopravy</li> <li>- Plánování technologie nakládky a vykládky</li> <li>- Určení přepravních tras</li> <li>- Zpracování požadavků na přepravu</li> </ul>

<b>Podpůrné aktivity</b>	<b>Úlohy podpůrných aktivit</b>
<b>Skladování</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geografické umístění skladů</li> <li>- Rozmístění zásob ve skladech</li> </ul>
<b>Manipulace s materiálem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volba zařízení</li> <li>- Strategie o rozhodování a zařízení</li> <li>- Postup výběru objednávek</li> <li>- Skladové hospodářství</li> </ul>
<b>Nákup</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Výběr zdroje dodávek</li> </ul>
<b>Balení</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definice manipulace, skladování</li> <li>- Ochrana před ztrátou, či poškozením</li> </ul>
<b>Správa informací</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sběr, úschova a analýza dat</li> </ul>

Zdroj: Vlastní zpracování; dle (Štůsek, 2007)

Při porovnání obou autorů lze pozorovat jasnou shodu v oblasti faktorů, které považují za nezbytné pro kompletní funkcionalitu logistického řetězce v podniku.

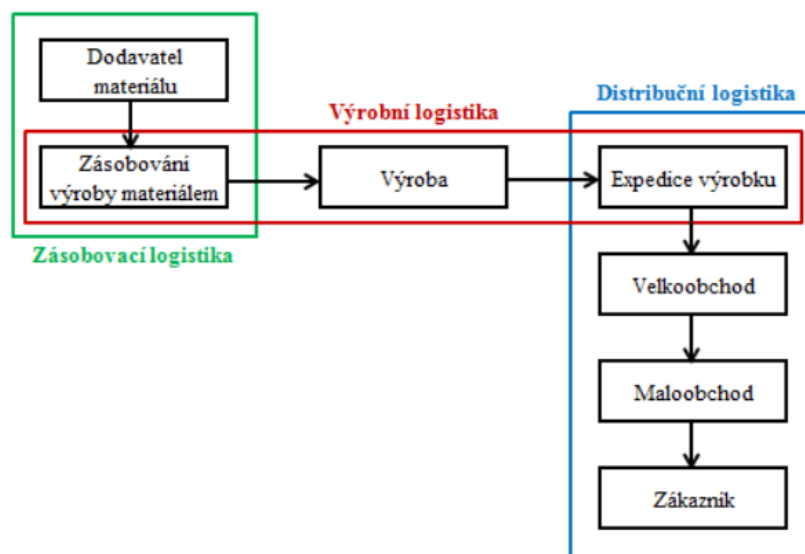
## 2 Výrobní logistika

V předchozí kapitole byla popsána logistika jako komplexní celek aktivit mezi mnoha subjekty napříč celým dodavatelsko-odběratelským řetězcem.

Pro účely této práce je nutné konkrétněji popsat část tohoto řetězce, výrobní logistiku, a sice z toho důvodu, že se práce zabývá pouze transportem materiálu a možnostmi řízení manipulátorů, a to vše pouze na vnitropodnikové bázi.

### 2.1 Definice výrobní logistiky

V prostředí malých a středních podniků není problematika zásobení výroby příliš obtížná, stačí mít tento systém správně nastaven. Ve velkých podnicích je naproti tomu výrobní logistika extrémně náročný proces, kdy v případě problémů na jednom úseku dojde k narušení celého procesu. Pozice výrobní logistiky v podniku je definována na Obr. 4.



Obr. 4 - Postavení výrobní logistiky ve výrobním řetězci; Zdroj: (Horváth, 2007)

Více zdrojů definuje výrobní logistiku jako „*přepravní, skladovací a komisionářské (vychystávací) činnosti, které spojují ve výrobním procesu jednotlivé výrobní kroky a činnosti organizační*“. Zabývá se tedy tím, co se děje s materiálem (polotovary, výrobními celky ad.) od doby, kdy překročí brány podniku, do doby, kdy tyto entity podnik opustí. Výrobní logistika tedy v podniku zahrnuje tyto oblasti:

- výrobní podnikové plánování,
- plánování a řízení výroby,
- ostatní činnosti spojené s podnikovou přepravou a skladováním.

## 2.2 Cíle výrobní logistiky

Hlavním cílem výrobní logistiky je „*zajištění dostačujícího a pravidelného přísunu materiálu k zabezpečení výrobního procesu a zajištění plynulého odsunu hotových výrobků – zboží do skladu a jejich následná expedice mimo firmu*“ (Bakešová, a další, 2008).

Podle (Dubravcová, a další, 1998) existují v podniku následující protichůdné požadavky jednotlivých útvarů, které je potřeba brát v potaz při plánování výrobního procesu.

- Nákupní oddělení preferuje velké dávky nakupované od stálých, osvědčených dodavatelů, neboť tak lze dosáhnout výhodné nákupní podmínky i nákladové vztahy.
- Výroba preferuje práci ve velkých výrobních dávkách a s malým počtem variant výrobků a s co nejmenšími změnami ve výrobním procesu za co nejefektivnějšího využití výrobních kapacit.
- Prodej naproti tomu chce co největší pružnost výroby, maximální rychlost reakce na změny poptávky, rychlé zpracování zakázek, široký sortiment s velkou mírou customizace, pružnou velikost dávky.

Naplnění veškerých těchto požadavků je v podstatě nedosažitelné, je možné pouze hledat kompromisy. Cílem výrobní logistiky není hledání těchto kompromisů, ale nalezení „*společného, kooperativního cíle pro všechny útvary podniku, a tím i úplné uspokojení potřeb zákazníka, dosažitelné při splnění výkonového cíle a ekonomického cíle*“ (Susko, 2010).

Obecným úkolem pak je zajištění bezporuchového a hospodárného průběhu výroby při zabezpečení legitimních pracovních podmínek. Výrobní logistika se také může zabývat plánováním rozvoje výrobních pracovišť nebo obnovy, rozvoje, přestavby již existujících výrobních provozů.

## 2.3 Činnosti výrobní logistiky

Z výše definovaných cílů výrobního plánování (Susko, 2010) definuje následující hlavní činnosti:

- plánování předvýrobního skladování materiálů a polotovarů
- manipulace s materiálem v různých stupních fáze výroby
- mezioperační a operační doprava

- meziperační skladování
- manipulace při montáži celků
- manipulace s hotovými výrobky
- zajištění příznivých pracovních podmínek pro zaměstnance.

## 2.4 Řízení výroby

První z možností, jak dosahovat konstantně výrobních cílů a pozitivně ovlivňovat vnitropodnikovou logistiku, je správná volba systému řízení výroby a jeho efektivní implementace.

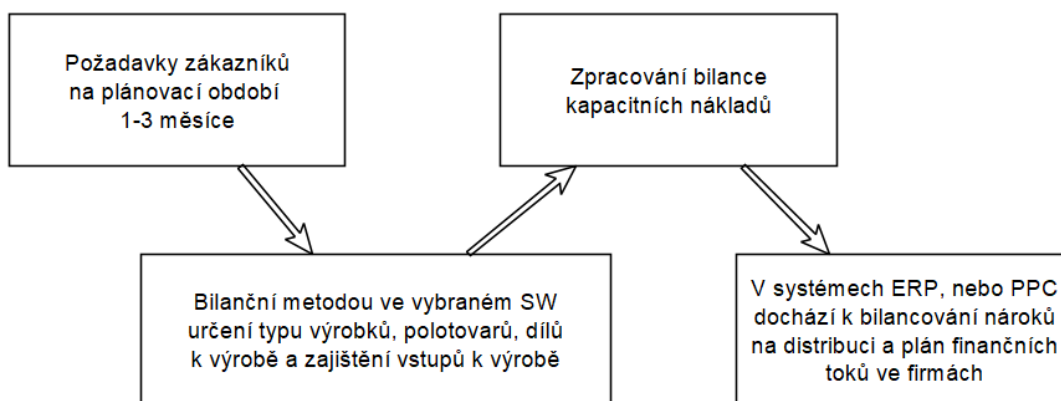
Z důvodu transformace tržního prostředí z trhu nabídky na trh poptávky musí být v dnešní době podnik schopen flexibilně a rychle reagovat na měnící se požadavky zákazníků. Proto podniky vyvíjejí snahy o zkracování veškerých časů a vyšší flexibilitu napříč celým výrobním procesem. Existují dva základní principy v řízení výroby, tlačné a tahové. V souvislosti se změnou tržního chování zákazníků a celkovým vývojem na trhu se podniky snaží zaměřovat především na tahový systém výroby.

### 2.4.1 Tlačné systémy řízení výroby

Jedná se o nejstarší, v dnešní době již překonaný, systém pro plánování materiálových toků ve výrobě. Nazývá se MRPII a vznikl jako nadstavba k bilančnímu systému MRP již v 70. letech 20. století. Tlačný se nazývá z důvodu, že v centralizovaném SW jsou zapsány veškeré parametry a souslednosti pro jednotlivé útvary. Podle těchto plánů pracoviště vyrábějí díly, polotovary atd. a "tlačí" je do následného útvaru.

Využití nachází především „*v podnicích se sofistikovanou strukturou materiálových toků*“ (Gros, 2016), které jsou charakterizovány:

- stupňovitými procesy, v nichž je třeba pro výrobu finálního produktu realizovat řadu kroků od výroby polotovarů, dílů, přes komponenty montážní skupiny, až po finální výrobek,
- nejednoznačným určením polotovarů a dílů, které mohou být nejen vstupy pro další výrobní stupně, ale také hotovými výrobky a jsou využívány s různou intenzitou pro různé finální výrobky,
- výrobou velmi rozsáhlého výrobního sortimentu výrobků vyráběných v mnoha variantách a nároky na pestré materiálové vstupy,
- zpětnými vazbami, kdy se některé polotovary vracejí na předcházející výrobní stupně,
- sdruženými výrobami, v nichž v některém stupni zpracování vzniká více než jeden výrobek nebo polotovar, v nějakém většinou daném poměru se dále zpracovávají.



Obr. 5 - Postup při užití tlačného systému; Zdroj: (Gros, 2016)

*„Výsledek těchto bilančních propočtů je následně porovnán s disponibilními zdroji podniku. Pokud jsou postačující, je plán reálný. Pokud ne, je třeba navrhnout odstranění úzkých míst a proces (Obr. 5) opakovat.“* (Gros, 2016)

Problémem tohoto přístupu je fakt, že vychází z přesné znalosti požadavků zákazníků na dané plánovací období. V případě změny požadavků zákazníků je nutné celý plán přepracovat, což může způsobit, že se některé položky, které jsou tou dobou již ve stavu nedokončené výroby různě rozmístěny po jednotlivých výrobních útvarech, stanou nepotřebnými. Ty je poté potřeba buďto recyklovat, nebo zaskladnit, což v obou případech přináší zbytečné náklady pro výrobce.

Mezi další nevýhody se řadí nutnost neustálé aktualizace databáze výrobních dat, norem nebo kusovníků. Také je nutnost veškerá data zadávat jako konstanty, není zde možnost práce s náhodnými veličinami. Dále systém neumí sám rozpoznat úzká místa, nepružně reaguje na změny požadavků zákazníků či finanční nákladnost používaného SW.

Výhodou tlakového systému je možnost relativně jednoduché automatizace množství propočtů, vlastnění rozsáhlé databáze vstupních dat. Díky rychlosti výpočtů je jednoduché měnit plány na operativní úrovni a integrace a provázanost veškerých úrovní plánování, od strategické do operativní úrovně.

#### 2.4.2 Tažné systémy řízení výroby

*„Padesátá léta a zejména konec minulého století je typický odklonem od optimalizace dílčích podnikových funkcí a procesů k integrované optimalizaci toku materiálů, informací a hodnot.“* (Gros, 2016).

Podstata tažného systému spočívá v tom, že výroba je tažena poptávkou zákazníků. V první fázi je stanoven termín dodání zboží k zákazníkovi a od tohoto data jsou odečítány manipulační a výrobní časy. Tím je získána doba, kdy je potřeba začít produkci. Zásoby jsou v tomto přístupu doplňovány na základě předpovědí, ale materiál se do logistického řetězce přesouvá až na základě poptávky od zákazníka. Mezi hlavní přednosti patří

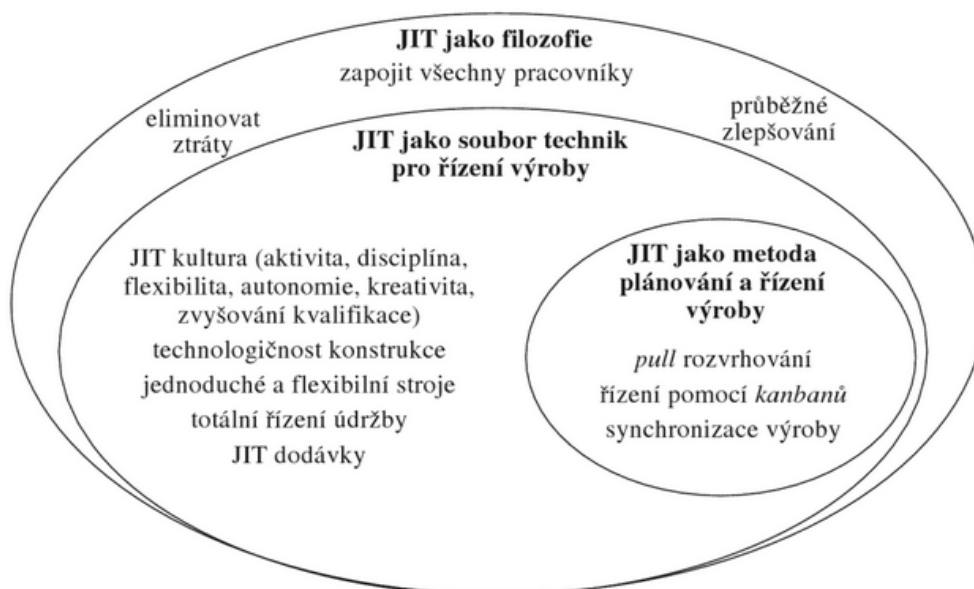
minimalizace skladových zásob, rozpracované výroby a snížení rizika souvisejícího s nižším množstvím poptávky.

### JIT Systém (Just In Time)

Metoda Just In Time významně změnila přístupy k plánování materiálových toků napříč celými podniky. Níže se nacházejí definice hlavní myšlenky filozofie JiT od několika autorů:

- „Dostání správných materiálů na správné místo ve správnou dobu“ (Banerjee, a další, 1993);
- „Odstraňování časových ztrát při dodávání materiálů (dílů, komponent) právě včas“ (Pernica, 2005);
- „Výroba jen toho, co je potřebné, a tak efektivně, jak je jen možné“ (Gros, 1996).

Hlavní přístupy k metodě JiT jsou zobrazeny na Obr. 6



Obr. 6 - Pojetí JiT; Zdroj: (Keřkovský, a další, 2012)

Hlavní podstatou tohoto přístupu je tedy výroba pouze toho, co je potřebné s maximální možnou efektivitou, zamezení veškerému plýtvání (prostředků, kapacit, času) při zachování co nejvyšší možné úrovně kvality výrobků. Řízení výroby podle metody JiT se zaměřuje na následující podnikové činnosti (viz. Tab. 3):

Tab. 3 - Rozdělení aktivit logistiky podle Štůska

Oblast	Nároky dle JiT
Fáze vývoje a konstrukce výrobků	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimalizace počtu výrobních operací</li> <li>- Minimum dodatečných změn ve výrobě</li> <li>- Minimalizace nároků na pracnost</li> <li>- Definování mezních cílových nákladů již ve fázi vývoje</li> <li>- Integrace nákladů na distribuci</li> <li>- Minimalizace doby na vývoj a technickou přípravu</li> <li>- Modularita výroby, standardizace dílů a polotovarů</li> </ul>
Využití časů ve výrobě	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimalizace seřizovacích časů</li> <li>- Minimalizace nákladů spojených s náběhem výroby</li> </ul>
Organizace pracovišť	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementace skupinových technologií</li> <li>- Seskupování technologicky a výrobně podobných výrobků</li> </ul>
Řízení kvality	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Odpovědnost jednotlivců za kvalitu výroby</li> <li>- Kontrola kvality na každém pracovišti</li> <li>- Hodnocení dosahovaných výsledků a zavádění opatření k případné nápravě</li> <li>- Odměňování pracovníků na základě plnění kvalitativních norem výroby</li> <li>- Zlepšování kvality jako kontinuální proces</li> </ul>
Zásobování	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redukce množství zásob</li> <li>- Snížení nákupních cen materiálu</li> <li>- Úspora nákladů za skladovací prostory</li> </ul>
Využití kapacit k výrobě	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Snižování velikosti výrobních dávek za účelem menšího množství vázaného kapitálu</li> <li>- Minimalizace nákladů při co nejefektivnějším využití výrobních kapacit</li> <li>- Rychlý a jednoduchý tok mezi pracovišti</li> </ul>
Dodavatelský řetězec	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vzájemná důvěra s dodavatelem</li> <li>- Zajištění dodávek v úzkém časovém okně pro eliminaci prostoje a nákladů na skladování</li> </ul>
Změny v plánování	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nákup podle termínových potřeb plánu</li> <li>- Zpřesnění plánů z důvodů nulových zásob</li> </ul>
Podmínky pro bezporuchový chod výroby	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prevence poruch</li> <li>- Analýza důvodů poruch</li> <li>- Možnosti předcházení poruchám</li> </ul>

Zdroj: Vlastní, dle (Gros, 2016)

Vrcholná forma JiT se nazývá **Just in Sequence**. Její podstatou je to, že dodavatel zásobuje výrobní proces přímo k montážní lince. Tato metoda nachází využití především v případě využití komponentů náročných na skladování nebo produkty s velkým množstvím variant provedení.

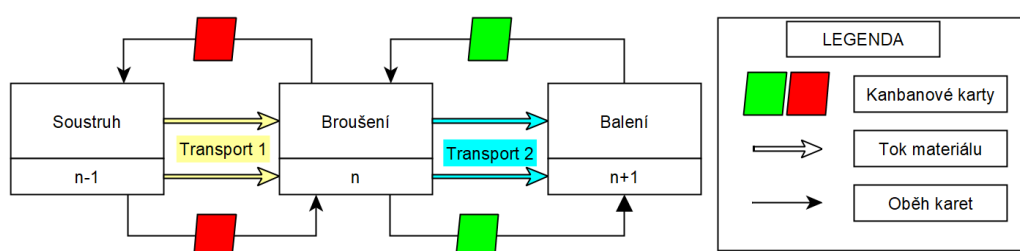
### Kanbanový systém

Kanbanový systém byl historicky první implementovaný systém fungující na principu tahu. Byl vyvinut společností Toyota v 50. letech 20. století. Jeho podstatou je fragmentace výrobního procesu na vzájemně



navazující celky, tzv. regulační obvody. V těchto systémech každý výrobní stupeň "n" funguje jako odběratel stupně "n-1" a zároveň jako dodavatel stupně "n+1". Příklad je znázorněn na obr.7, kdy středisko "Broušení" figuruje v případě operace "Transport1" jako odběratel a v případě operace "Transport2" jako dodavatel. Plánování kanbanového systému výroby probíhá přijetím objednávky od zákazníka.

Po zpracování objednávky zákazníka je vystavena tzv. kanbanová karta předchozímu výrobnímu stupni. Takto celý řetězec pokračuje až po dosažení prvního výrobního stupně. V okamžiku dodání objednávky z předcházejícího stanoviště na stanoviště, které vystavilo objednávku, putuje kanbanová karta spolu s dodávkou a funguje tedy jako dodací list. Kompletní proces je znázorněn na Obr. 7. V dnešní době již existuje i varianta kdy je kanban kompletně digitalizován.



Obr. 7 - Podstata Kanbanového systému; Zdroj: Vlastní, dle (Gros, 2016)

Je důležité kontrolovat množství vydaných kanbanových karet napříč podnikem, neboť s rostoucím počtem karet roste podíl nedokončené výroby v podniku. Samotné karty jsou pak v podniku řazeny na tzv. kanbanové tabuli podle priority, na jednom výrobním stanovišti tedy může být více objednávek najednou. Kanbanové karty se dělí na dva nejpoužívanější druhy, výrobní a přepravní. Náležitosti těchto karet jsou na Obr. 8.

Výrobní karta			Přepravní karta		
Popis operace: Výroba polotovaru xy	Druh přepravního obalu: Převrška	Číslo karty:	Popis Kyselina sírová	Druh přepravního obalu: plastový kontejner	Číslo karty:
Identifikační číslo:	Počet kusů v obalu: 25 ks	Datum vystavení:	Identifikační číslo:	Počet kusů, množství, v obalu: 154 kg	Datum vystavení:
Výrobní stupeň: Výroba běhounů	Velikost dávky: 50 ks	Na pracoviště: Vulkanizace	Dodavatel: Spolchemie sklad	Termín objednávky: Pokles pod signální mez	Na pracoviště: Kardex Liberec
Kontrolní pracoviště:	Datum výroby/směna: 5.10./odpolední		Kontrolní pracoviště:	Termín vyřízení: 2 dny	
Materiál:	Výrobní postup:		Signální mez: 30kg	Čárový kód:	

Obr. 8 - Náležitosti Kanbanových karet; Zdroj: (Gros, 2016)

## 2.5 Prostorová struktura podniku

Další z faktorů, který ovlivňuje významným způsobem výrobní logistiku, je systém uspořádání výroby a s tím související materiálové toky v závodu. Ovlivňuje především dobu přepravy materiálu v podniku. Snahou je vytvořit

takové uspořádání výrobního systému, aby byl pohyb jak mezi jednotlivými pracovišti, tak i uvnitř pracoviště co nejpřirozenější, nejkratší, a bez zbytečných překážek na trase. Mezi faktory, díky kterým je tohoto cíle dosahováno, patří materiálový tok a rozmístění pracovišť v podniku. Nástroji usnadňujícími dosažení těchto cílů jsou pak různé varianty diagramů či výkresová dokumentace.

### 2.5.1 Materiálový tok

Pohyb veškerých entit, resp. materiálový tok v podniku, je definován třemi veličinami; *Směrem pohybu, Intenzitou toku a Frekvencí toku. Pro analýzu a následnou optimalizaci materiálových toků je potřeba definovat prostor ve kterém k těmto tokům dochází.* (Jurová, 2016) tento prostor nazývá jako model výroby a dělí ho na tři části:

- **pracoviště** je základní výrobní a organizační buňka výrobního procesu, prostorově omezená, vybavená výrobními zařízeními, za jejichž pomoci pracovní síla (výrobní dělník nebo operátor) uskutečňuje vymezenou část postupných přeměn materiálových prvků;
- **výrobní úsek** je soustavou pracovišť tvořících výrobní a organizační celek, v němž se vyrábí uzavřený soubor dílců;
- **výrobní jednotka** je sdružení několika výrobních úseků, jimiž se uzavírá výrobní proces určitého montážního celku nebo soubor těchto celků. (Jurová, 2016)

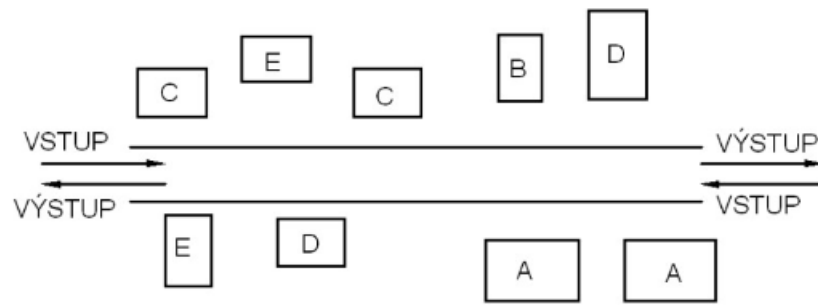
### 2.5.2 Rozmístění pracovišť

Optimální rozmístění pracovišť a strojů je jedním z hlavních cílů technologického projektování. Cílem je zabezpečení efektivnosti výroby, co nejjednodušší řízení, minimální vzdálenosti mezi jednotlivými operacemi, vyhovění legislativním a bezpečnostním předpisům, to vše při využití co nejmenší zastavěné plochy.

Řešení možností rozložení pracovišť je řešeno v závislosti na druhu, průběhu a úrovni specializace výrobního procesu v čase.

### Volné uspořádání

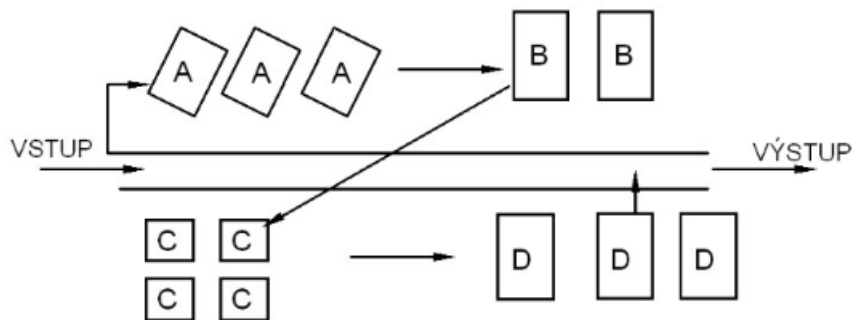
Je nejméně efektivní variantou, při níž jsou stroje a pracoviště seskupeny náhodně. Vznik tohoto uspořádání byl soustředěn v podnicích, kam byla zařízení kupována postupně, nebo pokud nebylo možné určit jednoznačně směr materiálového toku, případně návaznost jednotlivých operací. V podstatě se v dnešní době již nevyskytuje, ale pokud ano, tak v případě kusové nebo prototypové výroby. Příklad volného uspořádání je na Obr. 9



Obr. 9 - Volné uspořádání; Zdroj: (Čvanda, 2010)

### Technologické uspořádání

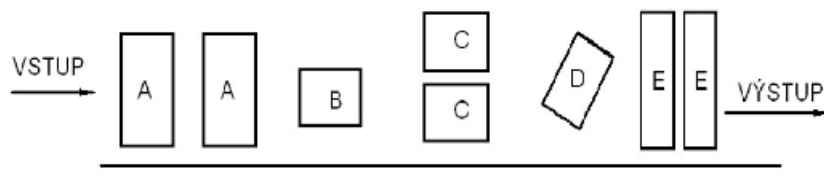
Zaměřuje se na výrobní proces, výroba se shlukuje do celků v závislosti na charakteru prováděné operace. Využití má v případě finančně náročných zařízení, která vyrábějí velké množství různých součástek. Mezi nevýhody tohoto uspořádání patří *„složitě plánování a řízení výroby a vyvažování kapacit, náročná příprava a manipulace, hromadění zásob, dlouhé průběžné časy výroby, těžko identifikovatelné příčiny chyb, nerovnoměrný materiálový tok a využití obsluhy“* (Jurová, 2016). Příklad technologického uspořádání výroby je na Obr. 10.



Obr. 10 - Technologické uspořádání; Zdroj: (Čvanda, 2010)

### Předmětné uspořádání

Typické využití nachází předmětné uspořádání v případě vysoké sériovosti ve výrobě nebo při vícenásobné výrobě menších sérií. Je tedy orientované na výrobek. Výhodou tohoto uspořádání je *„snížení rozpracovanosti, zkrácení drah pro přesun materiálu, zkrácení mezioperačních časů a průběžné doby výroby, zmenšení výrobních ploch, snížení nákladů na skladování, zlepšení operativního řízení výroby“* (Bořecký, 2012). Mezi nevýhody tohoto uspořádání patří skutečnost, že změna výrobního programu vyvolá nutně i změny v uspořádání strojů, dále nutnost kontrolovat efektivní využití strojů a potřeba konstruovat drahé specifické stroje pouze pro jednu operaci. Příklad předmětného uspořádání je na Obr. 11.

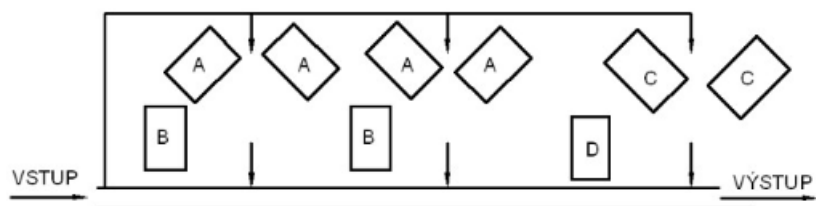


Obr. 11- Předmětné uspořádání; Zdroj: (Čvanda, 2010)

### Modulární uspořádání

„Uspořádání je charakteristické seskupováním stejných technologických bloků, z nichž každý plní více technologických funkcí. Celý provoz se tak skládá ze stejných nebo podobných skupin pracovišť – modulů.“ (Rumíšek, 1991)

V praxi to znamená, že je celý podnik rozdělen na jednotlivé moduly, kdy každý modul obsahuje jednu technologickou funkci, a v podniku může být neomezené množství těchto modulů. Výhodou je vysoká produktivita, krátké operační časy a průběžná výroba, krátké manipulační dráhy nebo lepší kontrola a organizace práce a řízení výroby. Nevýhodou je složitější technická příprava výroby a vysoké náklady na stroje a zařízení. Modulární uspořádání je na Obr. 12.

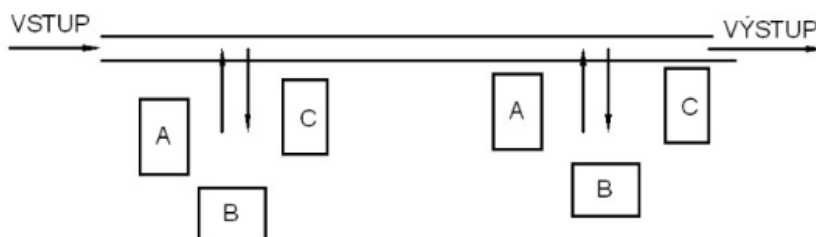


Obr. 12 - Modulární uspořádání; Zdroj: (Čvanda, 2010)

### Buňkové a hnízdové uspořádání

Jedná se o modifikovanou verzi modulárního uspořádání. Kombinuje pozitivní aspekty technologického a předmětného uspořádání v případě potřeby vyrábět malé nebo střední produkce dílů linkovým způsobem. „Uspořádání je chápáno jako prostorové seskupení technologicky rozdílných strojů, které umožňuje zpracovat technologicky příbuzné komponenty. Jsou sestavovány tzv. výrobní rodiny, které jsou vytvořeny z produktů s podobnými nároky na zpracování.“ (Jurová, 2016)

Varianta buňkového uspořádání je znázorněna n Obr. 13.

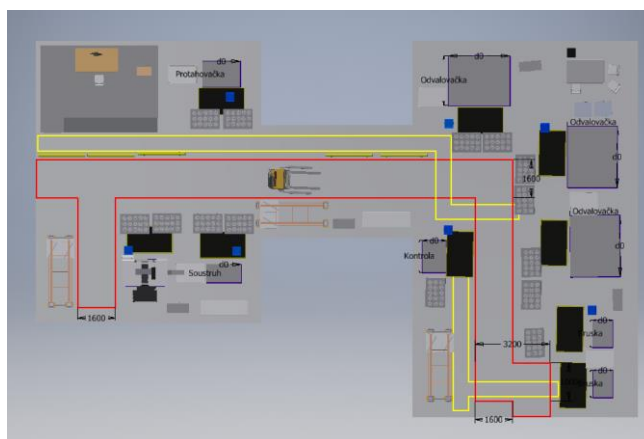


Obr. 13 - Buňkové uspořádání; Zdroj: (Čvanda, 2010)

V případě umísťování strojů do prostor, kterými podnik disponuje, je také důležité brát v potaz vzdálenost mezi jednotlivými stroji, vzdálenost od transportních cest a vzdálenost od stěn a sloupů ve výrobní hale.

### 2.5.3 Výkresová dokumentace

Zaznamenává půdorys podniku, zahrnuje dispozici „strojů a zařízení, rozmístění strojů a zařízení, kde je třeba brát v úvahu bezpečnostní normy, ekologické požadavky, materiálové toky, přístupy pracovníků apod.“ (Jurová, 2016). Také je potřeba počítat s prostorovou náročností manipulačních prostředků a vyráběných komponent. Možná varianta znázornění podnikového layoutu je vidět na Obr. 14.



Obr. 14 - Layout pracoviště s materiálovými toky; Zdroj: (Kadlec, a další, 2018)

### 2.5.4 Metody rozmísťování pracovišť

Pracovištěm v tomto případě může být jakákoliv výrobní jednotka nacházející se v podniku (objekt, dílna, stroj, soustrojí, nebo zařízení). Cílem plánu pracovišť je jejich rozmístění do prostoru podniku takovým způsobem, aby byl zajištěn plynulý materiálový tok. Problémem ovšem může být konflikt jednotlivých požadavků na rozmístění. V důsledku toho je možné, že vytvořený model nedokáže nabídnout optimální řešení. V tu chvíli je potřeba výstupy těchto modelů považovat pouze za orientační pro finální řešení layoutu výroby.

#### Analytické metody

Analytické metody fungují především na principu sledování a zaznamenávání materiálových toků v podniku a jejich zaznamenávání do tabulek. Je potřeba vědět odkud, kam, v jakém množství a v jaké intenzitě se materiál přesouvá. Metody se liší ve vyznačení "zón" v podniku. První možností je definování zóny jako výrobního celku, např. výrobní útvar, oddělení, pracoviště. Druhou možností je vytvoření souřadnicové sítě v podniku, označení jednotlivých sektorů a analýzy pohybu mezi těmito sektory. Tyto analytické metody se dají převést do grafické podoby ve formě Sankeyova diagramu (viz kapitola 2.5.5).

## Metoda Computer Relative Allocation of Facilities Technique (CRAFT)

Vychází z metody síťové analýzy. Cílem metody je určit rozmístění výrobních strojů takovým způsobem, aby náklady vznikající při manipulaci mezi nimi byly co nejnižší. „Se změnou rozmístění pracovišť se mění vzdálenost mezi nimi. Produkt musí podle technologického postupu projít určitým pořadím těchto pracovišť. Pracoviště se vzájemně vyměňují tak dlouho, dokud není nalezeno řešení, které již nelze zlepšit.“ (Jurová, 2016).

### Simulace

Zkoumá možnosti a jevy, které by mohly ve výrobě nastat za daných podmínek. Nachází uplatnění především v situaci, kdy by testování změn v reálném prostředí bylo příliš složité. Mezi hlavní výhody simulací se řadí nízké náklady na vytvoření modelu oproti implementaci v reálném prostředí, možnost změn rychlosti toku času, či snadné zkoumání možností úprav systému. Za nevýhody lze považovat potřebu odborného školení zaměstnanců, obtížná interpretace výsledků, případně časová a finanční náročnost. Simulacím se tato práce více věnuje v kapitole Simulace a simulační nástroje.

### Heuristický přístup

V případě, kdy matematické modelování nepřináší relevantní výsledek nebo je jejich použití vzhledem k charakteristice problému nemožné, přichází na řadu heuristický přístup. V něm se „hledá řešení pomocí algoritmu, o němž je možno se domnívat, že vede k řešení, ale není možno toho dosáhnout exaktní metodou a formulací“ (Jurová, 2016). Použitím náhradního algoritmu nacházíme pouze suboptimální řešení problému, které ovšem může vyhovovat potřebám podniku.

### 2.5.5 Optimalizace materiálového toku

Jedna z mnoha definic materiálového toku zní takto: „Materiálový tok je organizovaný pohyb materiálu ve výrobním procesu, nebo oběhu. Je typický směrem, intenzitou, délkou, výkonem, frekvencí a strukturou (svislé i vodorovné členění), vlastnostmi přepravovaného materiálu, manipulační a dopravní technikou.“ (Božek, a další, 2006).

Pokud chceme dosahovat maximální efektivity materiálových toků v podniku, je potřeba, aby toky byly přímočaré, přehledné, nejkratší v rámci možností, jednosměrné (nevratné) a bez problémového křížení. Průběh materiálového toku ovlivňuje dle Jurové *objem, sortiment, druh a typ výrobního procesu, úroveň technologické složitosti a členitosti všech výrobních procesů, montážních skupin, celků atp.; počet operací uskutečňovaných v jednotlivých fázích výrobního procesu a pracovních místech; tvar, členitost a specifika prostoru výrobního procesu; způsob řešení dopravy; umístění pomocných, podpůrných provozů a služeb (např. středisko údržby, výdej nářadí atp.)* (Jurová, 2016). Cílem je odhalit slabá či úzká místa transportního systému a navrhnout možnosti optimalizace.

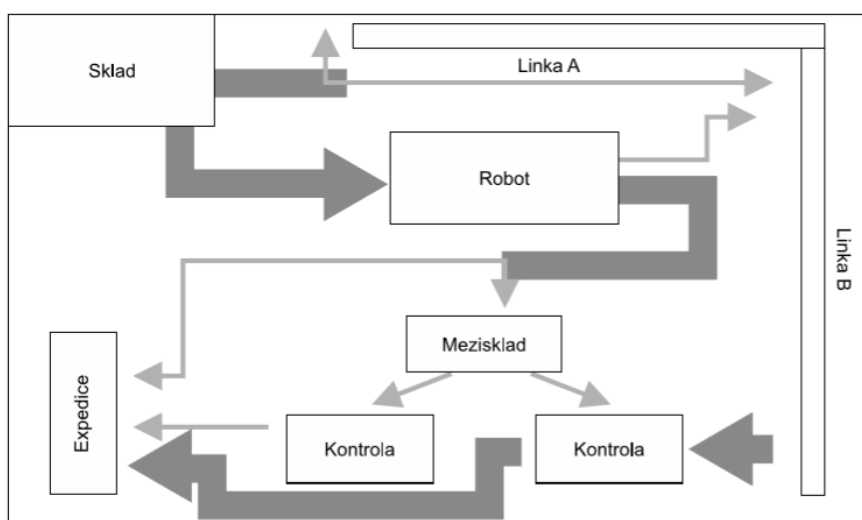
V dnešní době existují analyzační a vizualizační nástroje, sloužící k hodnocení vlastností materiálových toků v podniku. Řadí se mezi ně například Sankeyův diagram, Spaghetti diagram, Postupový diagram či metoda Value Stream Mapping.

## Sankeyův diagram

Znázorňuje průběh materiálových toků podnikem i jeho podmnožinami (jednotlivé budovy, dílny apod.). Tloušťka jednotlivých šipek značí množství transportovaného materiálu mezi jednotlivými sektory. Při konstrukci Sankeyova diagramu se vychází z šachovnicové tabulky materiálových toků (Obr. 15). „Objekty a činnosti uvedené v řádcích představují místa, ze kterých materiál odchází, a objekty a činnosti ve sloupcích představují místa, ke kterým materiál přichází. Platí zde pravidlo, že objem materiálu, který se za určitý časový úsek do zkoumaného objektu dostane, musí za stejný časový úsek odejít.“ (Pešek, 2016). Jedna z možných grafických variant Sankeyova diagramu je znázorněna na Obr. 16.

ODPÍŠLACÍ MÍSTO	PŘIJÍMACÍ MÍSTO													CELKEM ODESLÁNO [t]
	EXPEDICE	SKLAD VÝŠL. A PŘÍJ. MAT.	SLÉVÁRNA	SKLAD VÁLC. MAT. A PÁL. MAT.	MECHAN. DÍLNA	DŘEVOOBR. DÍLNA	ÚSTŘEDNÍ SKLAD	SKLAD ŘEZIVA	SKLAD UMÍ	KOTELNA	SKLAD ODPADU	SKLAD KÁRA	POPEL	
CIZÍ PODNIK, PŘÍJ. DOZÁK	8 353	—	—	1 150	200	—	975	650	4 350	—	—	—	—	15 678
SKLAD VÝŠL. A PŘÍJ. MAT.	—	10 353	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 353
SLÉVÁRNA	—	—	—	—	5 100	—	—	—	—	—	—	5 728	525	11 353
SKLAD VÁLC. MAT. A PÁL. MAT.	—	—	—	—	1 150	—	—	—	—	—	—	—	—	1 150
MECHAN. DÍLNA	5 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2 825	—	—	7 825
DŘEVOOBR. DÍLNA	—	—	50	—	500	—	—	—	—	100	50	—	—	700
ÚSTŘEDNÍ SKLAD	—	—	80	—	875	50	—	—	—	—	—	—	—	975
SKLAD ŘEZIVA	—	—	—	—	—	650	—	—	—	—	—	—	—	650
SKLAD UMÍ	—	—	900	—	—	—	—	—	—	3 450	—	—	—	4 350
KOTELNA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	300	3 050	3 350
SKLAD ODPADU	875	2 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2 875
CELKEM PŘIJATO [t]	5 875	10 363	1 135	1 150	7 825	700	975	650	4 350	3 580	2 875	6 228	3 575	59 459

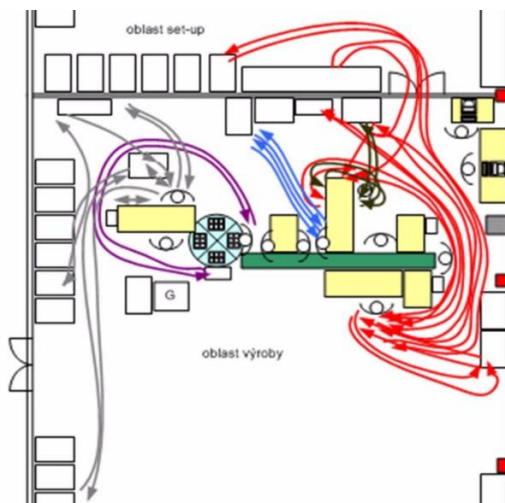
Obr. 15 - Šachovnicová tabulka; Zdroj: vutbr.cz



Obr. 16 - Sankeyův diagram materiálových toků; Zdroj: (Jurová, 2016)

## Spaghetti diagram

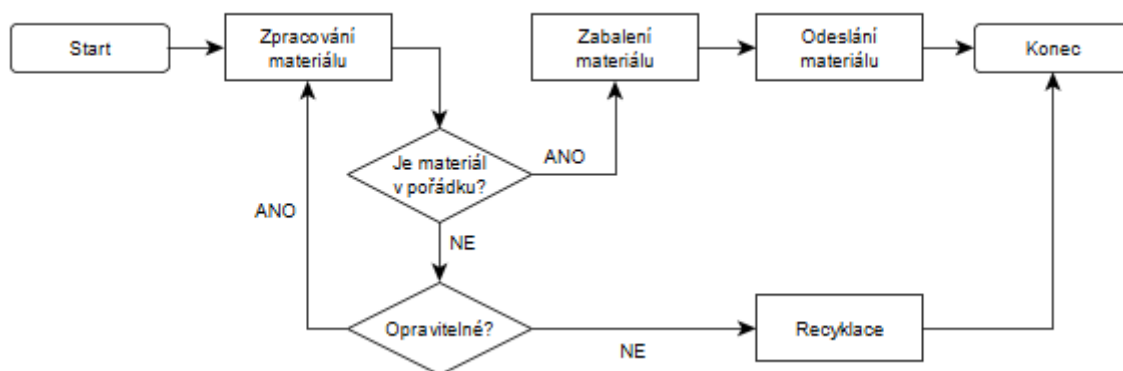
Jedna z nejprimitivnějších metod analýzy materiálového toku. Využívá se při nacházení nejvhodnějšího layoutu pracoviště či přepravní cesty. Principem metody je přesné sledování pohybu pracovníka ve vymezeném prostoru za daný časový úsek. Druhy pohybů jsou barevně odlišeny podle jejich efektivity, zpravidla platí, že čím je na dané cestě pracovník méně vytížen, tím tmavší barva trasy (viz Obr. 17). V dnešní době dochází k elektronizaci tohoto způsobu měření, například sledování pracovníků za pomoci GPS signálu nebo propojení se skladovým hospodářstvím.



Obr. 17 - Spaghetti diagram; Zdroj: e-api.cz

## Postupový diagram

Někdy je také nazýván vývojovým diagramem. Jedná se o univerzální nástroj používaný i mimo logistiku. Slouží k zobrazení postupu, algoritmů krok po kroku. Cílem je znázornit souslednost všech operací (manipulačních, technologických, kontrolních) prováděných v daném procesu. Při využití postupového diagramu jsou používány jednoduché symboly, které mohou být doplněny dalšími v závislosti na potřebách a složitosti metody. Základní varianta vývojového diagramu je znázorněna na Obr. 18.

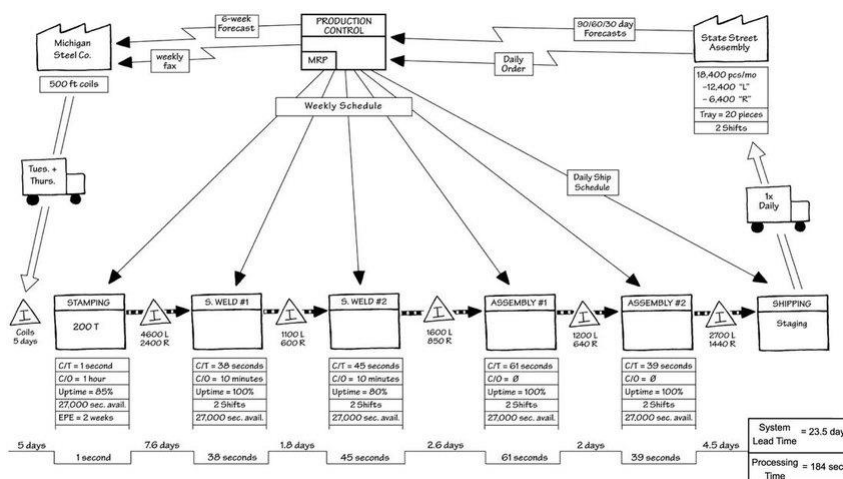


Obr. 18 - Vývojový diagram; Zdroj: Vlastní



## Value Stream Mapping (Mapování hodnotových toků)

Vytvořeno společností Toyota jako součást její metodiky štihlého řízení výroby. Hodnotové toky jsou popisovány řadou zástupných symbolů, které lze rozdělit na „*symboly pro znázornění materiálového toku, symboly pro znázornění informačního toku a obecné symboly*“ (Mašín, 2003). Významem tohoto mapování je analýza a definování současného stavu. Výstupní hodnotová mapa (Obr. 19) by měla obsahovat sled procesů, sumu průběžných dob, index přidané hodnoty a efektivní i neefektivní využití časového fondu.



Obr. 19 - Value Stream Mapping; Zdroj: researchgate.net

## 2.6 Prostředky vnitropodnikového transportu

Vzhledem k tomu, že tato práce se zabývá transportem materiálu mezi jednotlivými výrobními odděleními (případně sklady, mezisklady), není nutné popisovat veškeré prostředky sloužící k transportu materiálu. Je potřeba popsat pouze prostředky které slouží k vnitropodnikovému transportu. Pro účely této práce bylo zvoleno dělení na Manipulační jednotky a Transportní obaly.

### 2.6.1 Manipulační jednotky

Slouží pro sdružování výrobků (polotovary, součástek, rozpracované výroby) do kompaktnějších celků, ve kterých jsou následně transportovány. (Pernica, 2005) rozděluje manipulační jednotky do čtyř řádů.

#### Manipulační jednotky 1. řádu

Slouží pro ruční manipulaci. Příkladem je například skupina výrobků ve fólii, sud, tlaková láhev, krabice, bedna nebo přepravka. Pro snadnější vytváření jednotek vyššího celku existuje v soustavě ISO normalizovaná tabulka půdorysných rozměrů pro tyto manipulační jednotky, kdy výchozí rozměr je 600x400mm. Výška není definována. Hodnoty jsou stanoveny s ohledem na maximálně efektivní využití palet.

## **Manipulační jednotky 2. řádu**

Jsou „odvozenou manipulační jednotkou, která je přizpůsobená k mechanizované nebo automatizované manipulaci (ukládání ve skladech, mezioperační manipulace, meziobjektová a vnější přeprava)“ (Miras, 2019). Skládá se z 16-24 jednotek 1.řádu a jejich hmotnost se pohybuje od 250 kg do 1000 kg (ve výjimečných případech až 5000 kg). Jedná se hlavně o palety, nebo malé kontejnery. Manipulace s nimi probíhá prostřednictvím vysokozdvíhových vozíků, regálových zakladačů, případně dopravníků s užitnou hmotností do 5 tun.

## **Manipulační jednotky 3. řádu a 4. řádu**

Slouží výlučně pro mezipodnikovou, nebo kombinovanou přepravu. Jejich hmotnost se pohybuje v rozmezí 5-40 tun u 3. řádu a až 2 000 t u 4. řádu.

### **2.6.2 Transportní obaly ve vnitropodnikové přepravě**

Pro transport manipulačních jednotek je využíváno obalových materiálů, které jsou využívány v závislosti na řádu manipulační jednotky. Pro účely vnitropodnikového transportu se dají rozdělit na krabice (bedny, přepravky) a palety.

#### **Krabice, bedny, přepravky**

Nejčastěji svým provedením spadají do manipulačních jednotek 1. řádu, v případě větší varianty do 2. řádu. Představuje nejvíce zastoupený transportní obal, nejčastěji z kartonu, případně pro lepší vlastnosti (především nosnost) z vlnité lepenky. Existuje mnoho variant provedení (chlopňové, s víkem, s odtrhovací páskou, případně kombinace těchto technologií). V případě využití tohoto obalu je důležité vyřešit také způsob fixace produktu v něm, z důvodu nutnosti zamezit poškození výrobků. Tento problém je řešen buďto rozdělením obalu na jednotlivé segmenty, nebo vložením výplňového materiálu (bublinková folie, polystyren, kartonová drť).

#### **Paletové manipulační jednotky**

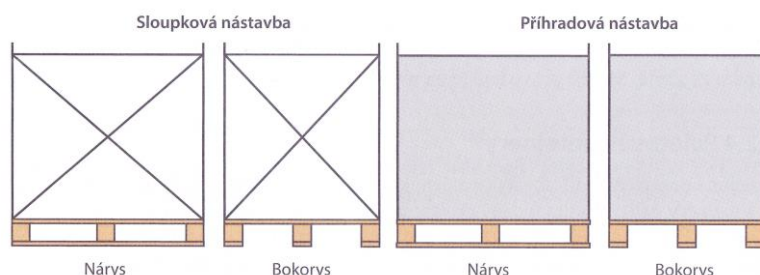
„Standardizovaná základna pro sdružování obalů do manipulačních jednotek.“ (Gros, 2016) Standardizován je tvar a rozměry palet, což umožňuje jejich zaměnitelnost. Díky tomuto tvaru a normalizaci manipulačních jednotek 1. řádu je možné po většinu času využít efektivně celou plochu palety. Tvar je uzpůsoben pro transport vidlicovými vozíky a pro transport na válečkových tratích. Nejpoužívanějším materiálem pro znovupoužitelné palety je dřevo, ovšem existují i palety plastové a kovové. Pro jednorázové palety se využívá lisovaný dřevní či papírový odpad. Nosnost palet je zhruba 1000 kg, v závislosti na materiálu a opotřebení palety. Fyzické rozměry jsou pak dány druhem palety (viz. Tab. 4).

Tab. 4 - Druhy palet

Typ palety	Rozměry (mm)
Europaleta	1200 x 800
ISO Paleta	1200 x 1000
Poloviční Europaleta	600 x 400

Zdroj: Vlastní zpracování

Základním principem ukládání obalů na paletu je jejich vrstvení. Je důležité dbát na stabilitu jednotlivých vrstev a rovnoměrné zatížení palety. V případě, kdy toho nejde dosáhnout, nebo když obaly umístěné na paletách nedosahují potřebné pevnosti, se využívá nástaveb na palety. Jedná se buďto o sloupkové nebo příhradové nástavby (Obr. 20).



Obr. 20 - Varianty nástaveb na palety; Zdroj: (Gros, 2016)

## 2.6.3 Manipulace s materiálem

### 2.6.3.1 Ruční manipulace

„Ruční manipulací s břemenem se rozumí přepravování nebo nošení břemene jedním nebo současně více zaměstnanci včetně jeho zvedání, pokládání, strkání, tahání, posunování nebo přemísťování, při kterém v důsledku vlastností břemene nebo nepříznivých ergonomických podmínek může dojít k poškození páteře zaměstnance nebo onemocnění z jednostranné nadměrné zátěže. Za ruční manipulaci s břemenem se pokládá též zvedání a přenášení živého břemene.“ (Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.). Hlavní nevýhodou manipulace materiálu lidskou silou je množství rizikových faktorů ohrožující zdraví a životy pracovníků. Tyto rizikové faktory se rozdělují do čtyř kategorií podle zdroje rizika (viz. Tab. 5).

Tab. 5 - Druhy rizik při manuální manipulaci

Zdroj rizika	Příklady rizik
Manipulovaný objekt	Hmotnost, velikost, tvar, struktura povrchu, ostré hrany, absence úchytů
Pracovní prostředí	Teplota, vlhkost, hlučnost, osvětlení, povrch podlahy, překážky
Manipulant	Věk, zdravotní stav, fyziologické znaky, psychický stav
Návyky manipulanta	Držení těla, způsob provádění pohybů, špatný úchop

Zdroj: (Gros, 2016)

Rizika uvedená v Tab. 5 je možné redukovat využitím vhodných nástrojů pro manipulaci s materiálem. Při vertikálním přesunu těžkých břemen se využívá především zdvihacích plošin, manipulačních schůdků, případně kladkostrojů. V případě horizontální přepravy působí problémy především kombinace vysoké hmotnosti a vzdálenosti. Jako pomůcky se využívají rudly, vozíky či manuální paletové vozíky.

## **2.7 Mechanizovaná manipulace**

Z důvodu extrémní náročnosti nebo nerealizovatelnosti transportu za pomoci nepoháněných pomůcek existují mechanizované pomůcky, které se dají rozdělit na vozíky, dopravníky a jeřáby.

### **2.7.1 Dopravníky**

Nejprimitivnější a nejméně flexibilní nástroj pro transport materiálu. Dělí se podle toho, jestli jsou s pohonem, či bez, na gravitační a poháněné.

#### **Gravitační dopravníky**

Fungují na jednoduchém principu rozdíly výšky mezi výchozím a cílovým bodem dopravy. Jedná se o nakloněnou plechovou plochu, žlab. Nejčastěji slouží pro přepravu manipulačních jednotek 1. stupně (krabice, přepravky). Výhodou jsou nulové náklady na energie. Je nutné kontrolovat rychlost skluzu manipulačních jednotek. Pokud by byla příliš malá může dojít k hromadění a ucpání skluzu, při vysoké hrozí zničení přepravovaných předmětů.

#### **Poháněné dopravníky**

Jsou využívány v případě, kdy je potřeba dopravit jednotky s vysokou frekvencí a stálým směrem toku na větší vzdálenosti. Existují dopravníky poháněné a nepoháněné, kde musí dodat směr pohybu manipulační jednotce operátor. Pro transport kompaktních celků se využívá válečkových dopravníků, pro sypké hmoty pak pásové dopravníky. Speciální variantou je pak závěsný dopravník, který nachází využití například v lakovnách.

#### **Jeřáby**

Fungují především v provozech, kde dochází k přepravě velkých nebo těžkých celků v rámci jedné budovy. Zpravidla jsou využívány v podniku, který má na základě potřeby jeden, tzv. mostový jeřáb, jenž pokrývá celou plochu dané budovy. V jedné ose slouží k pohybu kolejnice na každé straně budovy, ve druhé pak tzv. "kočka" která se pohybuje v prostoru mezi kolejnicemi. V případě otevřených provozů je využíváno portálové řešení, kdy je "kočka" upevněna mezi dvěma sloupy, které je možno přesouvat různě po podniku.

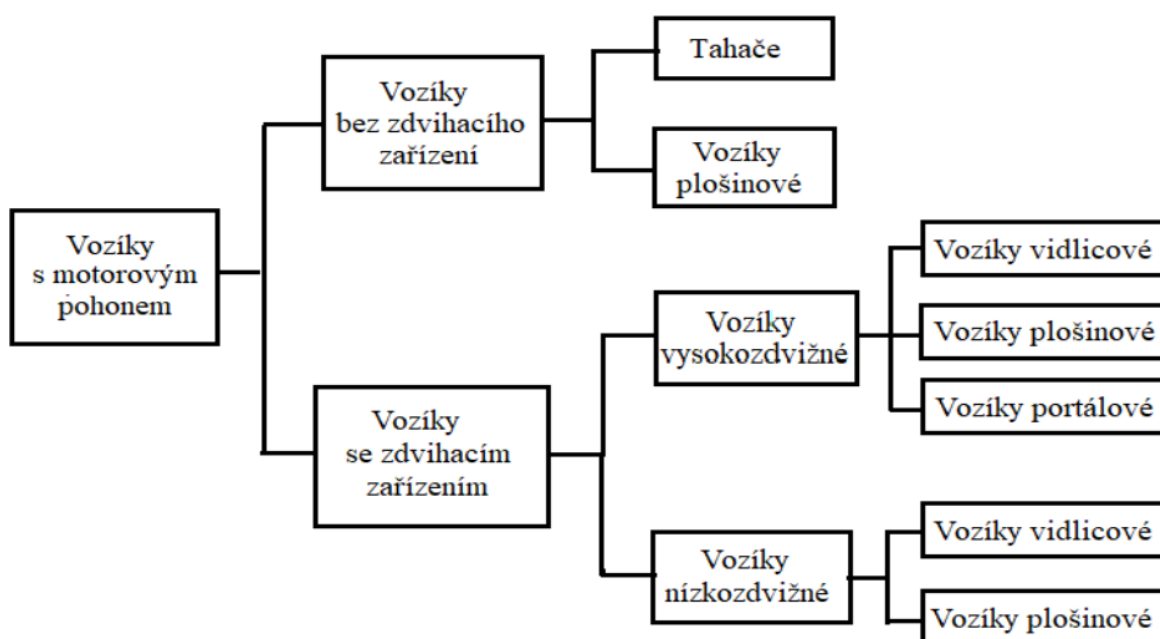
#### **Regálové zakladače**

Jsou využívány ve skladech, které se orientují na maximální úsporu místa, a mají proto regály i ve výškách, kam klasický VZV. V každé řadě skladu je instalován jeden tento zakladač na klasickém čtyřkolovém podvozku. Na

něm je též posazen sloup ve výšce regálů, po kterém vyjíždí kabina s vidlicemi kolmo ke skladovacím místům. Na vrchu je dráha zakladače vedena pomocí kolejníc umístěných na horní hraně regálu.

## 2.7.2 Manipulační vozíky s motorovým pohonem

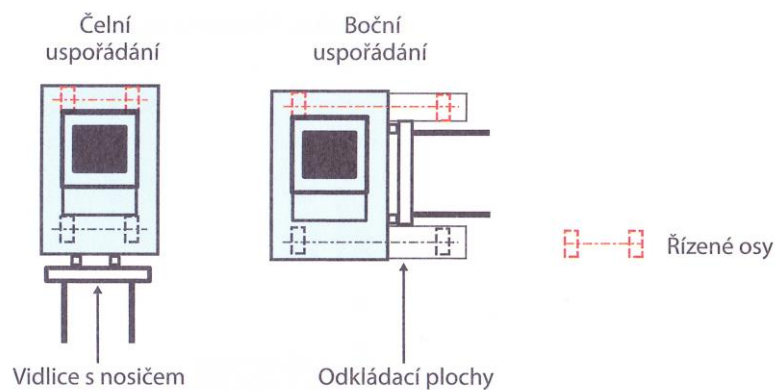
Tato nejrozsáhlejší skupina manipulačních prostředků je hojně využívána ve většině provozů. Jejich hlavní výhodou je kombinace přepravy jak v horizontální, tak i vertikální rovině. Slouží pro přepravu palet, boxů, krabic a kontejnerů napříč celým výrobním procesem, od vstupního skladu až do skladu expedičního. Pokud slouží k přepravám vyšších zátěží, využívá se především spalovacích či vznětových motorů. V případě nižších zátěží je možné použít vozíky poháněné elektromotorem. Základní dělení vozíků je zobrazeno na Obr. 21.



Obr. 21 - Rozdělení vozíků s motorovým pohonem; Zdroj: (Kiňo, 2018)

### Vysokozdvížné vozíky (VZV)

Jedná se o nejčastěji využívaný typ poháněných vozíků. Jejich charakteristickým znakem je „zdvihací zařízení složené z dvojitého teleskopického stožáru se dvěma až třemi výsuvnými teleskopickými prvky, které je osazeny nosičem s manipulačními vidlicemi, případně s plošinou“ (Gros, 2016). Vidlice mají zpravidla rozteč nastavenou na manipulaci s paletami. VZV se dají rozdělit podle polohy zdvihací vidlice vůči hlavnímu směru pohybu na vozíky s čelním, či bočním umístěním zdvihacího zařízení (viz Obr. 22).



Obr. 22 - Možnosti uspořádání VZV; Zdroj: (Gros, 2016)

Hlavní části čelního vysokozdvížného vozíku jsou popsány na Obr. 23.



Obr. 23- Části VZV, Vozík HELI 1-3,5t; Zdroj: vysokozdvizny-vozik.cz

Hlavní parametry, podle kterých se jednotlivé VZV charakterizují, jsou dle Grose tyto: „Nosnost, výška zdvihu, jezdová rychlost, rychlost zdvihu, manévrovatelnost, stoupavost, tažná síla“ (Gros, 1996).

## Nosnost

- 1) **Kapacitní nosnost** je maximální hmotnost zátěže, kterou je vozík schopný zdvihnout do své maximální výšky zdvihu.
- 2) **Alternativní nosnost** vychází z předpokladu, že s rostoucí výškou zdvihu klesá nosnost vozíku; tedy pro nižší výšku zdvihu bude hodnota alternativní nosnosti vyšší než kapacitní nosnost.
- 3) **Relativní nosnost** souvisí se vzdáleností těžiště břemene od těžiště vozíku, se vzrůstající vzdáleností parabolicky klesá nosnost.

## Výška zdvihu

- 1) **Maximální výška zdvihu** je výška zdvihu břemena plus přídavek pro zajištění bezpečné manipulace s břemenem při jeho zakládání. Zpravidla je tento přídavek 300 mm.
- 2) **Celková výška** je nejvyšší výška, ve které hrozí riziko kontaktu břemene se strukturami skladu. Vypočítá se jako součet zdvihové

výšky stroje plus výška břemena, je omezena nejnižšími strukturami skladu (osvětlení, vzduchotechnika).

- 3) **Minimální výška při zataženém zdvihacím zařízení.** Tato hodnota je důležitá pro hladký průjezd strukturami skladu (podhledy, dveře apod.)

### **Pojezdová rychlost a rychlost zdvihu**

Hlavní překážkou pro efektivní využití těchto vlastností VZV je schopnost operátora vozíku, nikoliv technické překážky. Proto jsou tyto vlastnosti limitovány omezovači od dodavatele na 10-15 km/h pro pojezdovou rychlost a 0,3-0,5 m/s pro rychlost zdvihu.

### **Manévrovatelnost**

Má velký vliv pro plánování výrobních i skladovacích prostor. Prostor, který VZV potřebuje pro hladké otočení, určuje šíři manipulačních uliček. Ta je zpravidla v rozmezí 3-5 metrů. Manévrovatelnost VZV závisí na volbě varianty řízení. Existují dvě varianty, čtyřcestný a kloubový vozík.

### **Stoupavost**

Hodnota maximálního stoupání, které je vozík schopný překonat bez poškození zdvihacího zařízení.

### **Tažná síla**

V případě zaháknutí transportních kontejnerů za vozík určuje, jakou zátěž dokáže poháněný vozík uvést. Závisí především na výkonu motoru.

### **Vychystávací vozíky**

Varianta VZV, která slouží ke kompletaci ze skladových míst. Na rozdíl od klasických VZV, kde se pohybuje pouze vidlice, zde je v pohybu celá kabina i s řidičem. To mu umožňuje snadnější přístup ke skladovanému materiálu a výběr například jenom jedné krabice, namísto nutnosti sundání celé palety. Využití mají v případě velkého množství různého zboží nebo v expedičních skladech.

### **Plošinové vozíky a tahače**

Slouží pro horizontální přepravu většího množství materiálu na relativně velké vzdálenosti (mezi halami). Plošinové mají náklad naložený na zadní části a mohou být modulárně osazeny nádobami na různé formy materiálů (písek, kapaliny). Tahače mají oproti VZV nespornou výhodu v nižší pořizovací ceně a možnosti vléci několik vozíků. Absence vidlice u obou těchto variant také způsobuje vyšší stoupavost obou variant.

## 2.8 Moderní trendy ve vnitropodnikové logistice

Trendy v logistice v současné době jsou silně vázány na sílící vliv Průmyslu 4.0, poptávka je především po co nejvyšší rychlosti, pružnosti a digitalizaci služeb, autonomních vozidlech. Nezanedbatelný je také vliv moderních trendů, ať už se jedná o snahu o co nejekologičtější přístup, nebo o možnosti, které nabízí sdílená ekonomika ve formě konsignačních skladů.

### 2.8.1 Automated Guided Vehicles (AGV)

Jedná se o plně automatizované manipulátory. Zpravidla se k jejich pohonu využívá elektromotor. Řízení AGV jednotek je řešeno naprogramováním cílových stanic, tras, způsobu řešení kolizí do řídicí jednotky stroje. Výhodou je jejich snadná implementace do stávajícího podnikového prostředí a relativně snadná změna jejich pracovní náplně (stačí předefinovat program). Nachází využití především ve středně velkých podnicích pro transport na krátké a středně dlouhé vzdálenosti.

Mezi výhody jejich implementace patří zvýšení přesnosti a bezpečnosti provozu, jasně definovaná a neměnná trasa v průběhu času, pracovní doba je omezená pouze kapacitou baterie, nízké náklady na provoz nebo vysoká flexibilita. Níže jsou popsány hlavní varianty provedení AGV, využívané ve vnitropodnikové přepravě.

Existují různé varianty navigování AGV, například indukční, optická, magnetická (stroj následuje magnetický náěr na podlaze), laserová, nebo navigace dle GPS souřadnic.

#### **Automatický vysokozdvížený vozík**

Autonomní varianta běžného VZV, slouží pro rozvoz zboží na paletě po podniku. Jeho nevýhody a limity jsou stejné jako u klasických VZV. Slouží pro manipulaci s paletami ve skladovacích prostorech. Klíčovou vlastností pro jeho funkčnost je analýza zatížení vidlice. Jeho nevýhodou je vysoká cena, uplatnění nachází až při vyšším stupni automatizace.

#### **Paletový vozík**

Levnější a méně komplexní verze automatického VZV, je limitována nižší výškou zdvihu břemene. Slouží pouze pro přepravu nákladu na paletách v rámci skladů nebo výroby. Jeho výhodou je nižší cena než u AG VZV.

#### **Montážní AGV**

Slouží pro přepravu dílů mezi jednotlivými pracovišti na montážních linkách. Jeho výhodou je jeho snadná implementace do systému, vysoká customizace funkcí či relativně nízké pořizovací a provozní náklady.

Mezi další varianty patří *Plošinové AGV, Tažné AGV, Podbíhací AGV, AGV pro přesun osob, nebo Mini-AGV.*



## 2.8.2 Digitalizace a inovativní technologie

Z důvodu nedostatku pracovních sil, zvyšující se rychlosti vývoje nových technologií a také tlaku odběratelů na co nejnižší náklady je pro zachování konkurenceschopnosti podniku nutné neustále zvyšovat efektivitu napříč celým logistickým řetězcem. Digitalizace technologií umožňuje optimalizaci kapacit, zvyšování pracovního výkonu a kvality při zachování flexibilitnosti celého řetězce. Výhodou při digitalizaci je vysoká modularita nových technologií, která umožňuje transformovat dodavatelský řetězec evoluční změnou. To umožňuje pružnější reakce na potřeby společnosti i jejího okolí, přizpůsobení zákazníkům či při zvyšování možností customizace produktů. Jednotlivé druhy podnikových informačních systémů, které ovlivňují výrobní logistiku, jsou charakterizovány dále v Tab. 6

Tab. 6 - Druhy podnikových IS ovlivňující výrobní logistiku

Zkratka	Název	Využití
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>	Řízení zdrojů Datové podklady pro ostatní aplikace Automatizace a integrace klíčových prvků
SCM	<i>Supply Chain Management</i>	Komunikace s dodavateli v celém řetězci Koordinace a řízení dodavatelů
BI	<i>Business Intelligence</i>	Monitorování výrobních ukazatelů Sledování a plán trendů
PLM	<i>Product lifecycle management</i>	Správa dat z životního cyklu produktu Řízení a optimalizace výrobních toků Komunikace napříč týmy
DF	<i>Digital factory</i>	Tvorba digitálních obrazů reálných podniků Analýza a optimalizace logistických toků
APS	<i>Advanced planning and scheduling</i>	Operativní a dílenské rozvrhování Plánování podnikových zdrojů na základě vstupních parametrů
MES	<i>Manufacturing execution systém</i>	Řízení a hodnocení výroby Online sledování produkce Analýza výkonosti a produktivity výroby a plánů
PT	<i>Position tracker</i>	Sledování polohy a vlastností přepravních jednotek v reálném čase

Zdroj: Vlastní; dle (Scholz, 2020)

## 2.8.3 Ekologičnost výroby

Ačkoliv má z logistického řetězce největší ekologický dopad přeprava zboží mezi jednotlivými společnostmi, především pak doprava automobilová, nezanedbatelnou stopu CO<sub>2</sub> po sobě zanechávají také prostředky vnitropodnikové manipulace. Při snaze o snížení dopadů se podniky zaměřují na optimalizaci tras, protože čím kratší vzdálenost jednotlivá vozidla ujedou, tím menší uhlíkovou stopu vyprodukují. Také se legislativně zpřísňují normy CO<sub>2</sub>, které musí jednotlivé manipulátory splňovat. Řešením jsou alternativní pohony (elektrina, CNG), jejichž nevýhoda, omezená kapacita, není ve vnitropodnikové přepravě tak významná, protože je možné manipulátory

dobíjet kontinuálně, případně je cyklit takovým způsobem, aby se vždy část využívala a část byla v nabíjecí stanici.

#### **2.8.4 Konsignační sklady**

Jedná se o možnost, jak šetřit náklady na straně dodavatele i odběratele tím, že je majetek, který stále ještě dodavatel vlastní se všemi náležitostmi (riziko neprodejnosti, pohyb cen, inflace) uskladněn ve skladu odběratele. Cílem je přiblížit zboží k zákazníkovi. Dodavatel sklad pravidelně doplňuje a odběratel z něj odebírá zboží podle potřeby. Při odběru zákazník odešle seznam odebraného zboží (konsignaci) dodavateli, který zboží vyfakturuje a doplní stav skladu. Nejčastější variantou spolupráce je sklad vývozce u obchodního zastoupení v zahraničí nebo sklad materiálu u zákazníka pro pohotovému odebrání materiálu.

#### **2.8.5 Využití virtuální a augmentované reality**

První možností využití VR a AR je tvorba layoutu výrobních či skladovacích prostor. Nejprve se ve specializovaném SW navrhne trojrozměrný layout řešených prostor, včetně veškerého vybavení. Výstup z tohoto kroku je následně převeden do 3D prostředí a pracovník prostřednictvím brýlí pro virtuální realitu může "procházet" prostory odpovídající skutečnosti. Díky tomu může určit případné nedokonalosti v ergonomii pracovišť, překážky na trasách či možné optimalizace.

Další možností využití AR je použití brýlí ve výrobním a skladovacím procesu. Ve výrobě brýle promítají pracovníkovi pracovní postup bod po bodu nebo místo ukotvení dílu. Ve skladovém hospodářství dokáží promítnout v kombinaci s GPS navigací konkrétní místo uskladnění hledaných výrobků a nejkratší trasu k místu uskladnění. To šetří čas pracovníka, náklady (díky nižšímu počtu zaměstnanců), a tím i efektivitu výroby.

### **3 Simulace a simulační nástroje**

V moderní době je pro jednotlivé podniky extrémně důležité dosahovat maximální efektivity napříč veškerými podnikovými činnostmi. Jedním ze způsobů, jak této efektivity dosáhnout, je optimalizace procesů. Standardním přístupem k optimalizaci je využití konvenčních metod, které vycházejí z průmyslového inženýrství. Současné výrobní systémy jsou ovšem natolik komplikované, že konvenční metody nedostačují a je potřeba využívat simulační nástroje.

Ty dokáží s relativně vysokou přesností prognózovat budoucí chování reálného systému. V případě plánování a optimalizace logistických procesů se dá konstatovat, že využívání simulací je již standardem a nutností. Potřeba správné funkce logistických procesů a zásobování vychází z požadavků na vysokou modularitu a customizaci produktového portfolia. Přínosy správného využívání simulací přináší řadu konkurenčních výhod, především pak značné finanční úspory.

Počítačová simulace se využívá v oblastech projektového managementu, výrobních procesů, skladů, obchodních procesů, dodavatelských řetězců, přepravy nebo služeb.

### 3.1 Definice simulace

„Simulace je výzkumná metoda, jejíž podstata spočívá v tom, že zkoumaný systém nahradíme jeho simulátorem a s ním provádíme pokusy s cílem získat informace o původním zkoumaném systému. Simulační model je dynamický systém, v němž nastávají události a stavy jako ve zkoumaném (simulovaném) systému, a to ve stejném pořadí, avšak obecně v jiných časových okamžicích. Prvky modelu nemusí být trvale v modelu, mohou se dynamicky měnit.“ (Votava, a další, 2008)

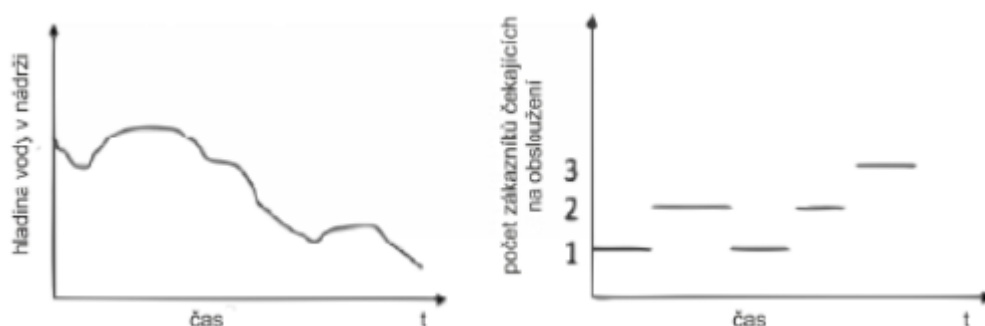
Reálný systém je do simulačního prostředí převeden pomocí matematických a logických vazeb, které reflektují chování reálného systému. Cílem je vytvoření odpovídajícího simulačního modelu, který co nejpřesněji odpovídá reálnému stavu v podniku. V okamžiku, kdy je model takto nadefinován, je možné ho využít ke zkoumání otázek a scénářů o reálném systému. Díky simulačnímu modelu je tedy možné analyzovat a predikovat důsledek plánovaných změn reálného systému, jejich dopad na výkonnost a chování systému, bez nutnosti finančních výdajů na již existující fyzický systém.

### 3.2 Dělení simulačních modelů

Simulační modely se dají dělit podle několika kritérií, nejčastější dělení je popsáno níže.

#### 3.2.1 Diskrétní a spojité

Jedná se o dělení z hlediska simulačního kroku (viz. Obr. 24). Ve většině systémů se nedá přesně definovat, jestli je systém čistě diskrétní, nebo čistě spojitý. Nicméně pro účely simulací se vždy dá určit, které hledisko převažuje. V diskrétních systémech se proměnné mění skokově v přesně daném časovém okamžiku (např. příchod zákazníka do fronty). V případě spojitého systému se proměnné mění kontinuálně v čase (pohyb auta po silnici).



Obr. 24- Porovnání spojitě a diskrétní funkce; Zdroj: (Votava, a další, 2008)

### 3.2.2 Statické a dynamické

Statický simulační model vyjadřuje systém v pevně daném okamžiku v čase, případně popisuje systém, který se v čase nemění. Příkladem statických simulací jsou například určité aplikace metody Monte Carlo. Naproti tomu dynamické simulace odrážejí vývoj systému v čase, typicky například dopravníkové systémy v podnicích.

### 3.2.3 Deterministické a stochastické

Deterministické modely pracují bez výskytu pravděpodobnosti, tj. veškeré informace zanesené v modelu vždy nastanou se 100% pravděpodobností. V praxi se tyto modely prakticky nevyskytují, jejich příkladem může být přesně daný a dokonale specifikovaný systém diferenciálních rovnic, sloužící k výpočtení chemických reakcí. Výstup z deterministických modelů je jasně dán a v případě, kdy nedojde ke změně vstupních parametrů, bude vždy totožný.

Stochastické modely pak pracují s pravděpodobností. Vyskytují se daleko častěji a prakticky ve všech aplikacích, například v řízení front a zásob. Výstupy ze stochastických modelů jsou při opakování simulačního běhu různé, je tedy potřeba je považovat pouze za přibližné. Možností, jak dosáhnout přesnějších výstupů, je vyšší množství simulačních běhů a následná interpretace výsledků.

## 3.3 Pojmy související se simulacemi

V souvislosti se simulacemi je možné se setkat s následujícími pojmy:

### **Systemém**

Systemémem se rozumí množina entit (stroje, lidé ad.), které kooperují za účelem dosažení určitého výstupu. V praxi systém zahrnuje veškeré činitele, které ovlivňují výstupní hodnoty. Z tohoto důvodu je možné v rámci jednoho podniku definovat několik systémů v závislosti na účelu analýzy.

**Stav systému:** Soubor proměnných ovlivňujících systém v daném časovém okamžiku.

**Model:** Virtuální reprezentace systému, obsahuje zpravidla strukturní vazby a dále matematické a logické vztahy, které systém definují stavem systému, entitami, událostmi a procesy.

**Událost:** Děj v čase ovlivňující stav systému, například vstup nového požadavku do systému.

### **Entita**

Každá jednotka v systému, která vyžaduje jasně dané zobrazení v modelu (stroj, polotovár, zákazník, manipulační jednotka).

**Atribut entity:** Charakteristika jednotlivé entity, např. rozměry, hmotnost, priorita.

**Seznam entit:** Jedná se o soupis závislých entit, které mají mezi sebou nějaký vztah (výrobky ve frontě).

### 3.4 Aplikace simulace

Simulací je využíváno ve velkém množství rozdílných aplikací. Jedná se o užitečný a výkonný způsob pro řešení následujících druhů problémů:

- „*Návrh a analýza výrobních systémů*“
- *Analýza logistických řetězců*
- *Určování systému doplňování skladů*
- *Hodnocení systému vojenské infrastruktury nebo její logistické náročnosti*
- *Hardwarové požadavky a požadavky na síťové protokoly*
- *Hardwarové a softwarové požadavky na počítačové systémy*
- *Návrh a řízení transportních systémů (letiště, dálniční síť, přístavy)*
- *Analýza těžících operací“* (Law, 2007)

Dalo by se říci, že simulace jsou v dnešní době využívány v oblasti výroby a činnostmi s ní spojenými. Dokonce se jedná o nejčastější oblast aplikace, a to z několika důvodů. Existuje široká paleta využití simulací za účelem „*návrhu a optimalizace výrobních systémů*“ (Law, 2007).

Klíčové důvody pro využití simulací ve výrobě a logistice tedy jsou:

- Zvýšená konkurence v mnoha odvětvích vytváří tlak na automatizaci, produktivitu a kvalitu. Tyto nové automatizované systémy jsou pak mnohem komplexnější, a jejich analýzu lze provádět zpravidla pouze za pomoci simulací.
- Cena výpočetní techniky se každým rokem snižuje, zatímco výpočetní kapacity a tím i jejich využitelnost pro simulace se zvyšuje.
- Simulační softwary se stávají přívětivější po grafické a uživatelské stránce, zároveň je jejich obsluha a vytvoření simulačního modelu intuitivnější, a tím i časově méně náročné.
- Implementace animací napomáhá k lepšímu pochopení a využití simulačního SW výrobními manažery.

#### Cíle simulací ve výrobních systémech

Pravděpodobně největší výhodou využívání simulací ve výrobním prostředí je to, že poskytují vedoucím pracovníkům „*komplexní pohled dopadu lokálních změn na celý systém*“ (Law, 2007). V případě, kdy je provedena změna na jednotlivém pracovišti, lze v celku dobře definovat její dopad na dané pracoviště, ale daleko hůře určit, jak se projeví v kontextu celého systému.

Mezi další cíle simulací patří například:

- zvýšené množství výstupů (vyšší počet výrobků při stejném časovém fondu),
- snížení výrobních a kontrolních časů,

- efektivní využití lidské a strojní práce,
- snížení požadavků na kapitál,
- zvýšení podílu včasného dodání produktů k zákazníkům.

Simulace se dají využít pro řešení mnoha výrobních problémů, které (Law, 2007) dělí do tří hlavních kategorií: *Množstevní nároky na vybavení a personál; Hodnocení výkonnosti a Hodnocení operativních procedur.*

### **Množstevní nároky na vybavení a personál**

Zkoumá, kolik strojů, jakého druhu a v jakém rozložení je potřeba pro splnění výrobních cílů. Dále se orientuje na požadavky na transport materiálu a množství manipulačních jednotek, umístění a velikost skladovacích prostor, dopady změny implementace nového stroje do výrobního procesu nebo dopady změny časových fondů práce.

### **Hodnocení výkonnosti**

Zabývá se především analýzou úzkých míst ve výrobě, analýzou průchodnosti systému pro výrobek a analýzu času, které entity stráví v systému.

### **Hodnocení operativních procedur**

Jedná se o simulace výrobních plánů (velikost dávek, dodávání součástek na jednotlivá střediska), kontrolu řízení dopravníků a AGVS, o analýzu systémů na kontrolu kvality, případně hodnocení efektivního plnění JIT strategie.

## **3.5 Výhody a nevýhody využití simulací**

Využívání simulací s sebou přináší vždy jak výhody, tak i nevýhody. Je věcí managementu podniku, aby si tyto faktory zanalyzoval, vyhodnotil a následně rozhodl, zdali je pro něj investice do vytvoření simulačního modelu rentabilní, nebo ne. Hlavní výhody a nevýhody využití simulací jsou shrnuty v Tab. 7

*Tab. 7 - Výhody a nevýhody simulací*

<b>Výhody</b>	<b>Nevýhody</b>
Nižší průběžné náklady	Cena simulačního SW
Časová úspora testování nových řešení	Požadavky na kvalifikovanou obsluhu
Kontrola experimentálních podmínek	Časová náročnost rentability investice
Možnost řešení v hypotetické rovině (simulovaný systém nemusí existovat)	Nutnost sběru, analýzy a interpretace množství dat
Rozvoj lidského potenciálu	Chybovost zaměstnanců

*Zdroj: Vlastní*

## 3.6 Simulační software

Jedním z nejdůležitějších rozhodnutí, která musí tvůrce simulačního modelu udělat, je volba simulačního softwaru. V případě volby příliš jednoduchého SW existuje hrozba nedostatečného množství funkcí, případně nastavitelných variabilit v systému. Pokud je použitý SW naopak příliš komplikovaný, může být pro pracovníka příliš složitý na pochopení, případně může generovat příliš velké množství výsledků na zpracování.

Veškerý dostupný simulační software dostupný na dnešním trhu musí splňovat několik základních požadavků, které vycházejí z charakteristik diskretních simulačních modelů. Mezi tyto hlavní vlastnosti patří například schopnost generování pseudonáhodných čísel podle dané pravděpodobnosti (0-100 %), případně dle zadaného (nejčastěji exponenciálního) rozdělení, rozhodování o souslednosti operací, automatický zápis a mazání záznamů, shromažďování výstupů a jejich interpretace či detekce konfliktních podmínek.

## 3.7 Podstatné vlastnosti při výběru simulačního SW

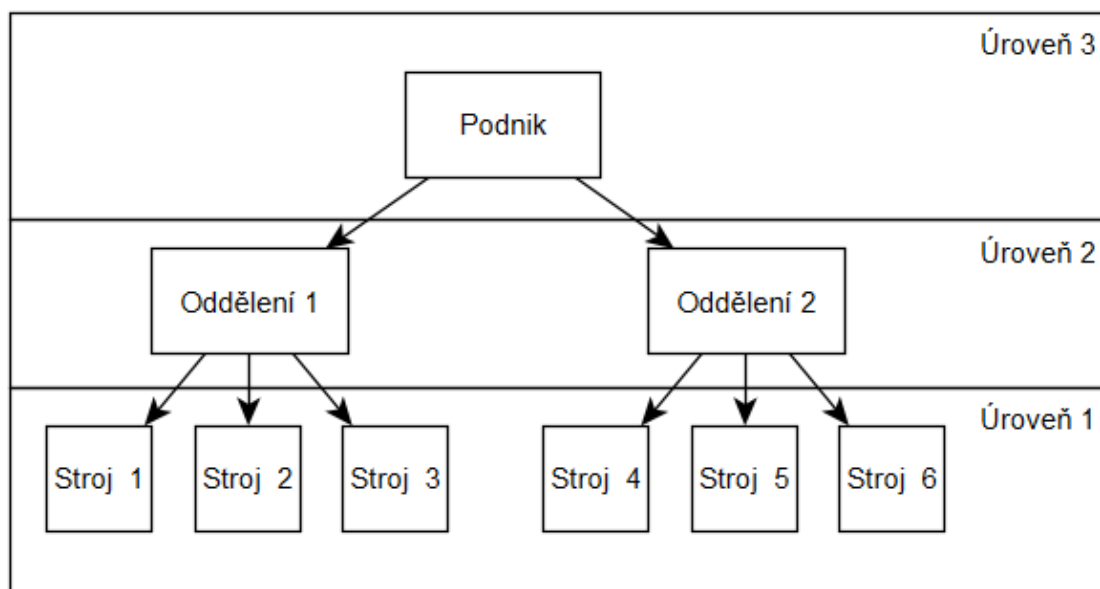
V případě výběru simulačního SW existuje široká škála vlastností, podle kterých se SW volí.

### 3.7.1 Všeobecné vlastnosti

Základní a nejdůležitější vlastnost, kterou by měl simulační SW obsahovat definuje (Law, 2007) jako „*modelovací flexibilitu*“. Modelovací flexibilitou je v tomto případě myšlena možnost namodelovat proces takovým způsobem, aby jeho operační postupy mohly dosáhnout jakéhokoliv stupně komplexnosti. Mezi prvky, které ovlivňují modelovací flexibilitu, patří například schopnost definování a změny atribut jednotlivých entit a proměnných systému k jejich využití v simulačním procesu, schopnost využití logických a matematických funkcí, možnost ukládání modelů do knihoven a jejich následná modifikace pro jiná využití.

Druhou nejdůležitější všeobecnou vlastností je pak uživatelská přívětivost simulačního softwaru. Základním nástrojem k dosažení maximální uživatelské přívětivosti je přehledné grafické uspořádání programu (UI), případně doplňkové produkty k SW (manuály, instruktážní videa apod.).

Další podstatnou vlastností je schopnost SW vytvářet hierarchické uspořádání. To slouží ke shlukování entit do stále obsáhlejších množin, přičemž každá z těchto množin se dá samostatně využívat v jiných simulačních projektech. Příklad v podnikové praxi je zobrazen na Obr. 25. Dle tohoto schématu se dá jako samostatná jednotka použít jak jednotlivé oddělení, tak celý podnik.



Obr. 25 – Hierarchie podniku; Zdroj: Vlastní

Konkurenční výhodu poskytuje také rychlost simulačních výpočtů, využitelnost vytvořených simulačních modelů pro všechny (nejen toho kdo ho vytvořil), schopnost kooperace s ostatními podnikovými softwary (především import/export dat), simulace nákladů a v neposlední řadě také cena softwarové licence.

### 3.7.2 Hardwarové a softwarové požadavky

Základní rozhodování v tomto ohledu se týká platformy, kterou podnik disponuje (Windows, Linux, iOS). Téměř veškerý SW je v dnešní době dostupný pro platformu Windows PC. V případě, kdy SW existuje na více platformách, je vyžadována jejich vzájemná komptabilita napříč platformami. Také je důležitá nízká HW náročnost simulačního SW, především pak využití RAM, výpočetní paměti a náročnost na grafickou kartu.

### 3.7.3 Animace a dynamická grafika

V případě animování procesů jsou klíčové elementy systému zobrazeny jako ikony, které v čase mění pozici, barvu a tvar v závislosti na vývoji modelu v čase. Příkladem je například změna barvy vysokozdvížného vozíku v modelu v závislosti na tom, jestli je, nebo není naložen.

Animace se dají rozdělit na průběžné a post-procesní (záznamové). V případě průběžných jsou zobrazovány pohyby v systému v reálném čase v průběhu běhu simulace. Výhodou je možnost určení míst, kde dochází ke kumulaci manipulačních jednotek, případně enormnímu využití strojů. Nevýhodou je jejich náročnost na výpočetní paměť. Post-procesní animace vytváří obraz pohybů také v průběhu simulačního běhu, ale nezobrazuje ho v reálném čase. Místo toho ho ukládá na disk, kde je možné ho přehrát v budoucnu, čímž šetří výpočetní paměť, a tím zkracuje dobu potřebnou pro provedení simulačního běhu.



Další možností třídění animací je jejich dělení na animace dvojrozměrné a trojrozměrné či krokové a plynulé.

### 3.7.4 Statistické nástroje

V případě, kdy by simulační software neměl dostatečnou podporu statisticko-analytických metod, nebylo by z něj možné dostat relevantní výsledky. Mezi nejvýznamnější statistické nástroje, které musí simulační SW podporovat, patří schopnost generovat náhodná a pseudonáhodná čísla, určení intervalů důvěryhodnosti nebo určení doby záběhu systému.

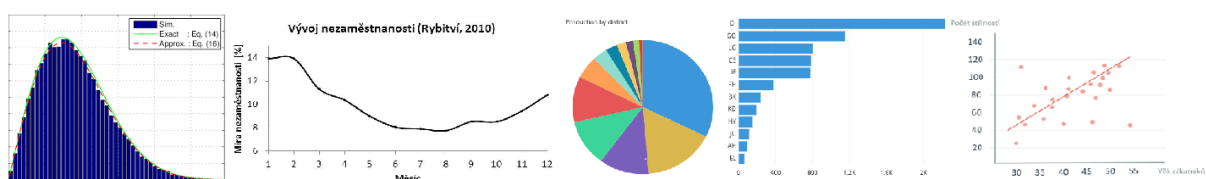
### 3.7.5 Zákaznická podpora a produktová dokumentace

Poskytování poprodejních služeb je další z podstatných vlastností ovlivňujících výběr produktu. Prodejce by měl pořádat pravidelné workshopy pro začínající uživatele softwarů, případně pak specializovaná školení pro jednotlivé společnosti v závislosti na využití v daném prostředí. Samozřejmostí je také existence nonstop technické podpory jednotlivých distributorů (call centrum, chatbot).

Dokumentace a manuály dodávané společně s produktem by pak měly dosahovat takové úrovně, aby bylo pouze s nimi možno plně využívat dodávané produkty. Obvyklá je v dnešní době existence kontextuální online databáze s postupy a řešením nejčastějších problémů. Další média, která mohou poskytovat přidanou hodnotu produktu, jsou pravidelné newslettery, aktualizace SW či uživatelské workshopy a konference.

### 3.7.6 Prezentace výstupů

SW by měl obsahovat upravitelné šablony výstupů, ale také možnost vytvořit nové na míru podnikovým potřebám. Software by měl také být schopný výstupy graficky interpretovat, ať už graficky (viz. Obr. 26), nebo ve formě tabulek.



Obr. 26 - Druhy grafů (Zleva: Histogram, Časová řada, Koláčový graf, Sloupcový graf, Korelační graf)

Stále se opakující požadavky na vlastnosti simulačního softwaru daly vzniknout programům, které se specializují na návrh a analýzu simulačních modelů, namísto dříve využívaných programovacích jazyků, ať už se jednalo o C, C++, nebo Java prostředí.

### 3.7.7 Porovnání simulačního software s programovacími jazyky

(Law, 2007) definuje následující výhody a nevýhody využívání simulačního softwaru oproti programovacím jazykům.

### Výhody simulačního SW

- Simulační SW obsahuje veškeré funkce potřebné pro stavbu simulačního modelu, což šetří čas potřebný pro tvorbu modelu.
- Prostředí simulačního SW je více intuitivní pro vytváření simulačního modelu než všeobecné prostředí programovacích jazyků.
- Úprava a údržba simulačních modelů je jednodušší v prostředí simulačního SW.
- Díky automatické kontrole problémů dochází k jejich častějšímu odhalení.

### Výhody programovacích jazyků

- Nutnost "přeučit" se na nový simulační software, v případě, kdy už pracovník umí programovací jazyky
- Rychlejší procesní časy simulačního běhu
- Větší flexibilita programování pro zkušené uživatele
- Nižší cena na pořízení SW

### 3.7.8 Dělení simulačního SW

Od doby prvního využívání simulací se simulační SW dělil do dvou tříd, simulační jazyky a specializovaný simulační SW. Zatímco simulační jazyky nabízely velké množství modelovací flexibility, ale byly obtížnější na použití, tak simulátory nabízely užší paletu využití s lepším uživatelským rozhraním. Postupným vývojem z těchto dvou druhů simulací vznikly dvě větve simulačního softwaru, tak jak se klasifikují dnes.

#### Simulační balíček pro všeobecné použití

Může být použit v jakékoliv aplikaci, ovšem pro některé oblasti (výroba, procesní řízení) potřebuje dodatečné moduly pro maximální efektivitu.

#### Aplikačně-orientovaný simulační balíček

Obsahuje utility pouze pro dané oblasti aplikace, například výrobní, zdravotnictví, služby či animace.

## 3.8 Simulační softwary

Simulační prostředí je již od svého vzniku úzce spojeno s vývojem výpočetní techniky. První softwary se začaly objevovat na počátku 90. let 20. století. „V Evropě se jednalo o simulátory Simple++, Simul8 a Taylor II., za oceánem potom Extend a Simcad.“ (Nagy, 2016)

### 3.8.1 Softwary pro všeobecné použití

Jak již bylo řečeno výše, mají širší využití než v oblasti výroby.

## Arena

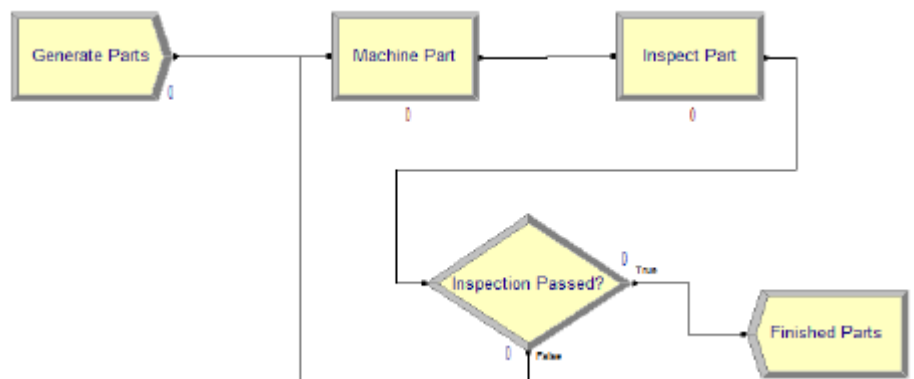
Jedná se o jeden z nejrozšířenějších simulačních systémů od společnosti Rockwell Software. Využívá ho řada nadnárodních společností napříč všemi oblastmi podnikání, například IBM, UPS, Nike nebo Lufthansa. Samotný software obsahuje dle distributora (Arena, 2020) následující:

- modelovací prostředí pro vývojové diagramy s rozsáhlou knihovnou předdefinovaných bloků sloužících k modelování procesů bez potřeby programování;
- kompletní rozsah možností pro statistické rozdělení pro přesné modelování variability procesu;
- schopnost definovat trasy mezi objekty pro simulace;
- statistickou analýzu a generaci reportů;
- možnosti realistických 2D a 3D animací sloužící k vizualizaci.

Výhodami tohoto softwaru jsou pak

- kvalitní vizualizace efektů změny systému nebo procesu,
- zkoumání možností změn pro nové procedury nebo metody bez nutnosti narušení současného systému,
- efektivní řešení úzkých míst,
- snížení operativních nákladů,
- přesnější finanční prognózování podniku,
- lepší správa úrovně zásob, lidských zdrojů, komunikačních systémů a výroby.

Základní model vytvořený v SW Arena je zobrazen na Obr. 27. Obr. 27



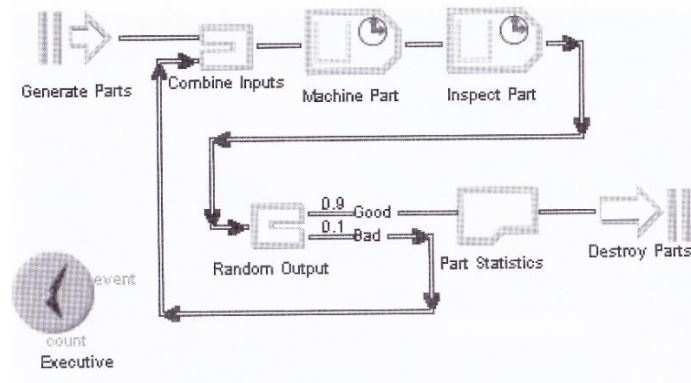
Obr. 27 - Model výrobního systému v SW Arena; Zdroj: researchgate.net

## ExtendSim

Jeden z prvních softwarů se simulační nadstavbou, v dnešní době existuje již 10. generace tohoto produktu. Existuje ve čtyřech verzích, lišících se oblastmi využití. Všechny čtyři verze mají společné základní funkce a liší se modulární nadstavbou. Model je vytvářen výběrem bloků z knihoven, jejich umístěním do modelu, následným propojením symbolizujícím tok entit v procesu a nakonec upřesněním vlastností entit a toků za pomoci dialogového okna. Ukázkový model ze Softwaru ExtendSim je na Obr. 28.

Klíčové schopnosti softwaru jsou tyto:

- vysoká možnost konfigurovatelnosti systému z důvodu customizací jednotlivých bloků,
- neomezené množství úrovní hierarchie entit,
- podpora 2D a 3D animací,
- grafická interpretace výsledků,
- možnost integrace dat z MS Excel.



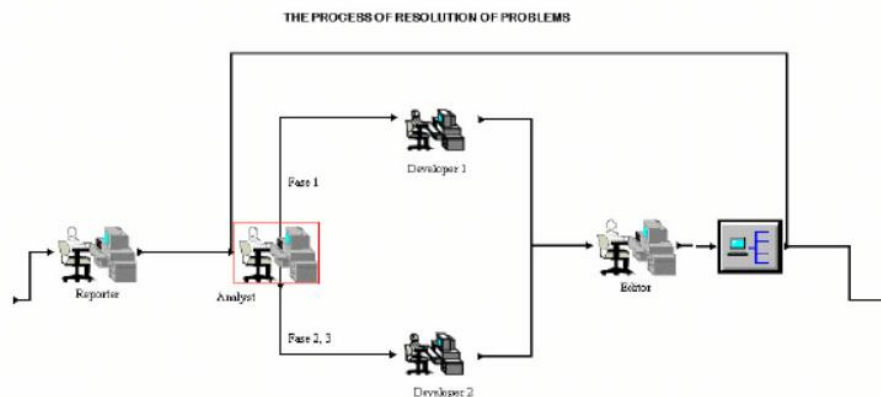
Obr. 28 - Model výrobního systému v prostředí SW Extend; Zdroj: (Law, 2007)

## Simprocess

Jedná se o produkt od společnosti CACI Products Company. Jedná se o multistupňový integrovaný nástroj sloužící pro simulaci podnikových procesů. Prostředí je vyobrazeno na Obr. 29.

Skládá se ze tří nástrojů:

- grafické mapování procesů a činností sloužící k jejich přesnému popisu;
- nástroj pro zpracování diskretních simulací, sloužící pro analýzu chování složitých systémů,
- ABC (activity based costing), sloužící k lokalizaci nákladů pro jednotlivé entity systému na základě činností, které vykonávají.

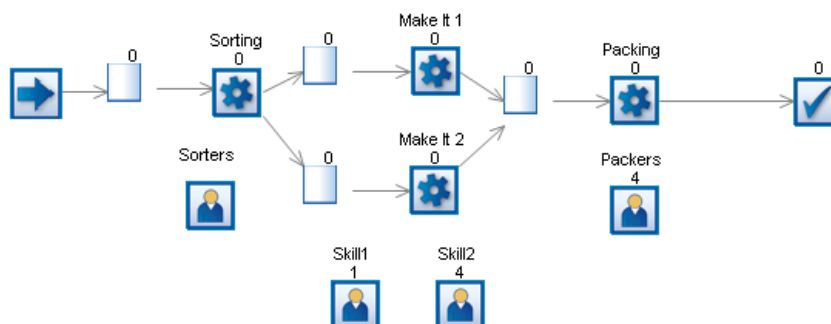


Obr. 29 - Prostředí SW Simprocess; Zdroj: researchgate.net

## Simul8

Jedná se o relativně jednoduchý, intuitivní simulační SW distribuovaný společností Simul 8 Corporation. Soustředí se především na diskrétní modelování podnikových procesů. Ukázkový výstup ze SW Simul8 je na Obr. 30. Hlavní charakteristiky dle distributora (Simul8, 2016) jsou:

- možnost vytvoření neomezeně složitých simulací,
- modifikovatelné knihovny entit,
- vlastní programovací jazyk,
- rychlost a flexibilita,
- možnost vytváření vlastních rozhraní.



Obr. 30 - Prostředí SW Simul8; Zdroj: simul8.com

Další varianty simulačního softwaru pro všeobecné užití jsou například AnyLogic, GPSS/H, HyPerformix Workbench, Micro Saint, nebo SLX.

### 3.8.2 Simulační softwaru pro využití ve výrobním procesu

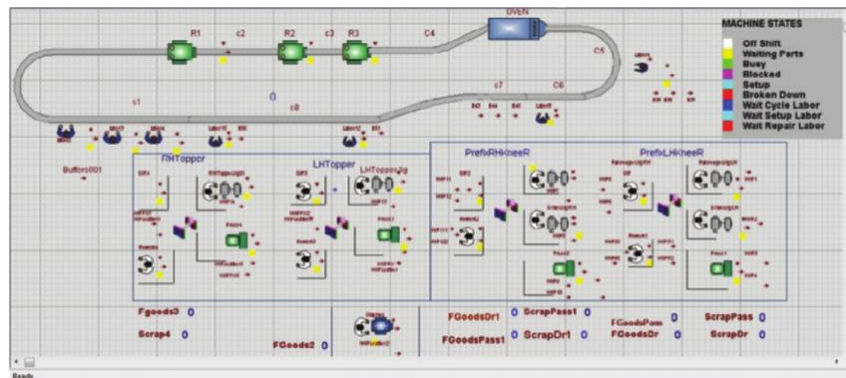
V dnešní době existuje velké množství simulačních softwarů, které jsou si více či méně podobné. Tato kapitola popisuje ty nejvýznamnější.

#### Witness

Simulační SW od společnosti Lanner Group. Jedná se o jeden z nejrozšířenějších softwarů pro simulační modelování. Nabízí velké množství jednoduše konfigurovatelných objektů jak pro diskrétní, tak pro průběžné modelování. V současné době je v prodeji již 23. verze tohoto programu. Základní uživatelské rozhraní s jednoduchým modelem je znázorněno na Obr. 31.

Výhody tohoto systému podle distributora (Witness, 2019) jsou:

- jednoduchá tvorba 3D modelu z 2D zdroje,
- snadné zobrazení statistik systému,
- webový přístup do knihovny entit,
- podpora grafických funkcí (například stíny),
- možnost importace nových 3D tvarů,
- podpora výstupních CAD formátů (Autodesk, Solidworks, Microstation).

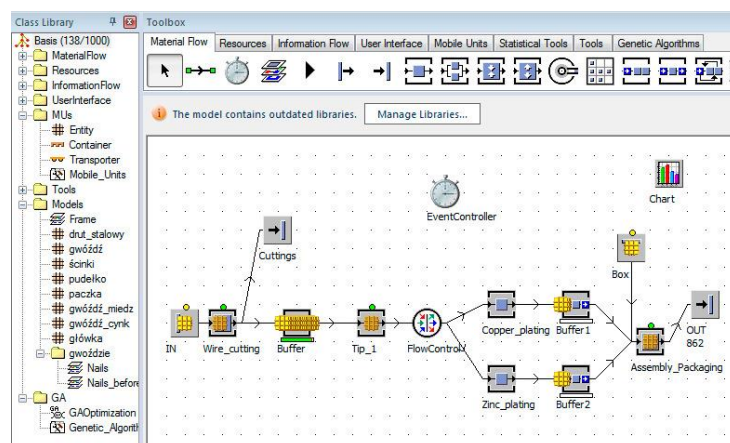


Obr. 31 - UI SW Witness; Zdroj: researchgate.net

## Tecnomatix Plant Simulation

Jedná se o SW od společnosti Siemens, který funguje jako efektivní nástroj pro vytváření dynamických simulací diskrétních událostí. Slouží k vytváření, charakterizování a optimalizaci digitálních modelů výrobních a logistických systémů (Obr. 32). Na takto vytvořených modelech lze provádět scénáře a experimenty za účelem získání pravděpodobných výsledků změn, ještě před fyzickou instalací výrobních systémů. Dokáže optimalizovat toky materiálu, využití zdrojů a logistických nástrojů ve všech úrovních plánování (od strojů až po komplexní výrobní závody). Klíčové vlastnosti dle (AxiomTech, 2020) jsou:

- objektivě orientovaná, interaktivní, strukturovaná a hierarchická simulace;
- možnost prezentace jak ve 2D, tak i ve 3D;
- existence uživatelských a aplikačních knihoven;
- programovací jazyk SimTalk, odvozený od C++, pro tvorbu Metod, které řídí objekty v systému;
- generátor náhodných čísel pro reálnější porovnání systému se skutečností;
- moduly pro analýzu (Sankey diagram, Bottleneck analýza ad.)
- genetický algoritmus sloužící k automatické optimalizaci parametrů systému.

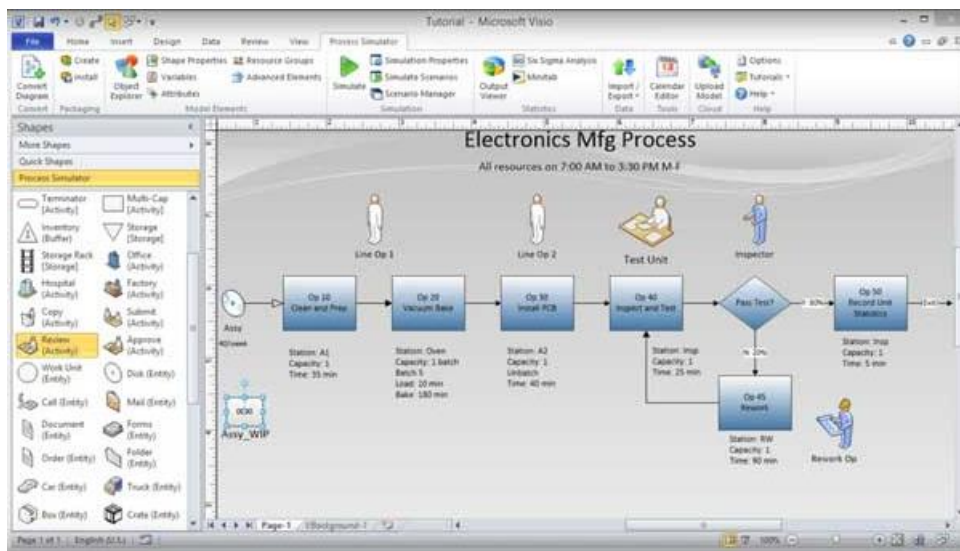


Obr. 32 - UI SW Tecnomatix Plant Simulation; Zdroj: researchgate.com

## ProModel

Jedná se o program od společnosti ProModel (Obr. 33), který funguje buď ve verzi samostatného softwaru, nebo jako doplněk k aplikacím od společnosti Autodesk. Poskytuje managementu příležitost otestovat nové nápady, procesní změny a zlepšení systému ještě před vynaložením času a zdrojů nutných pro stavbu nebo úpravy na současném systému. Soustředí se dle distributora (ProModel, 2020) především na:

- efektivní využívání zdrojů,
- kapacitu systémů,
- zlepšení funkce procesů,
- analýzu průchodnosti a úzkých míst,
- logistický řetězec,
- služby zákazníkům,
- podnikovou hierarchii.



Obr. 33 - UI SW ProModel; Zdroj: promodel.com

### 3.8.2.1 FlexSim

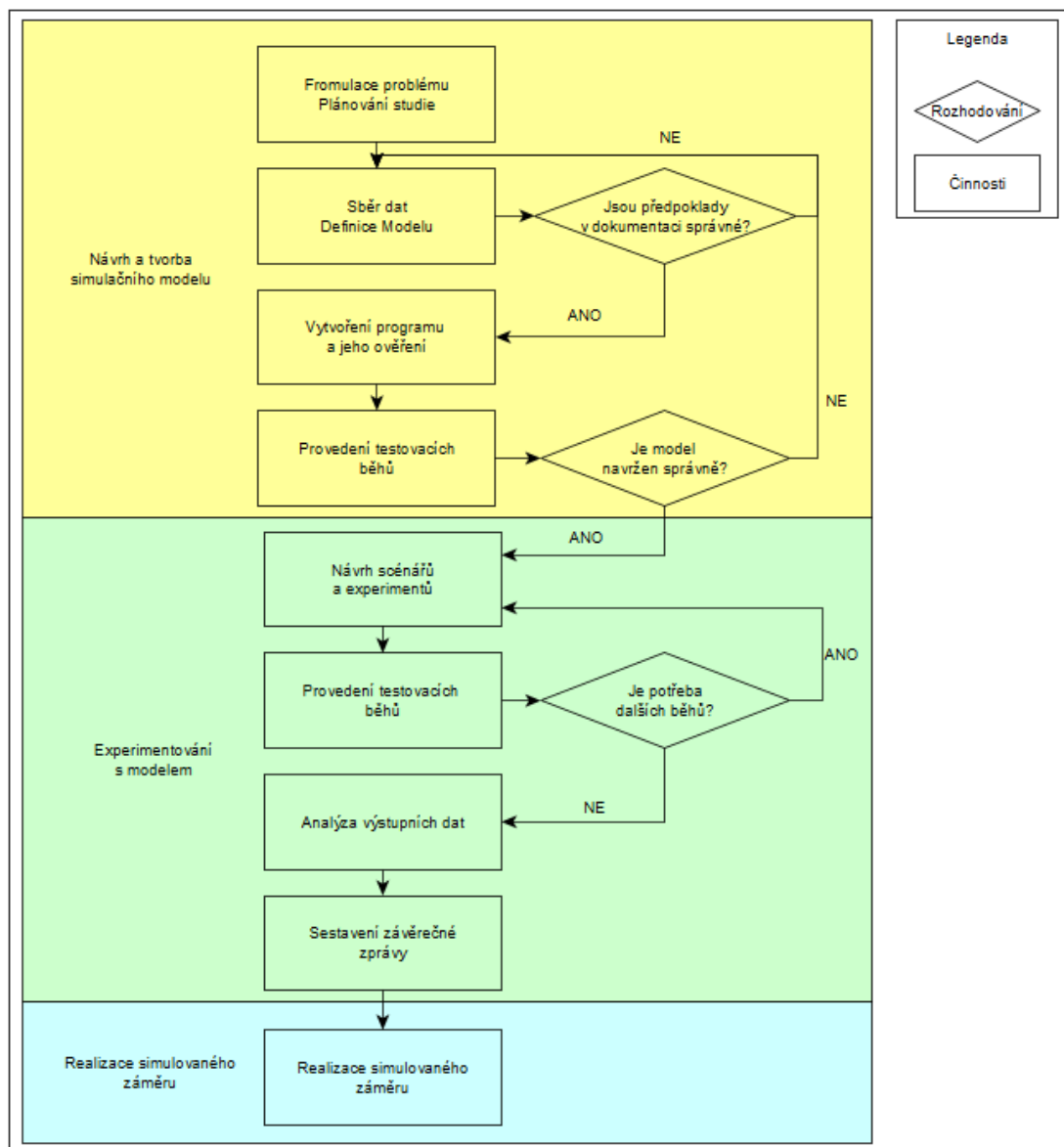
Jedná se o simulační software od společnosti FlexSim Software Products. Jedná se o 3D simulační SW, který slouží k modelování výroby, balení, skladování, manipulaci s materiálem a celou řádku dalších podnikových procesů včetně logistiky. Je velmi rozšířen a využíván například ve společnostech Coca Cola, DHL, Ford Motor Company, Fiat-Chrysler, Solaris, Oriflame, či NASA. FlexSim je využit v praktické části práce a možnostem, které nabízí, se věnuje vlastní kapitola 5.3.

Další softwary specializované na simulace výrobních procesů jsou například AutoMod, EnterpriseDynamics nebo QUEST.



### 3.9 Struktura simulačního projektu

Vytvoření virtuálního simulačního modelu a jeho následná analýza a optimalizace je však pouze jednou z mnoha činností v řetězci činností, které tvoří simulační studii. Nejdůležitější činnosti jsou pak popsány dále. Základní kroky v simulační studii jsou znázorněny na Obr. 34.



Obr. 34 - Kroky v simulační studii; Zdroj: Vlastní, dle ha-vel.cz

#### Formulace problému a plánování studie

Všechny simulační studie začínají specifikací problémů, kterými se simulace zabývá. Určuje je zpravidla manažer, který má danou oblast podniku na starost. Klíčové je přesně a srozumitelně definovat řešené problémy a na základě této definice určit, jestli je tento problém vůbec možné řešit za pomoci simulace. Poté se uskutečňuje série meetingů mezi manažerem a specialisty na simulace, kde se přesně stanoví hlavní a vedlejší cíle studie. V poslední fázi tohoto kroku se rozhoduje o tom, jaký přístup bude pro vytvoření simulačního modelu nejvýhodnější.



## **Sběr dat a definice modelu**

Místo tohoto kroku se liší dle různých autorů. Je možné ho provádět kontinuálně již od prvních kroků simulační studie, nicméně dle (Law, 2007) je jeho místo v řetězci hned po naplánování průběhu studie. Charakter dat se může lišit dle účelu simulací. Může jít například o rozložení entit v systému, jejich charakteristiky, vstupy do systému, případně pravidla řešení konfliktů v systémech. Data zpravidla zajišťuje zadavatel práce, ať už přímo, či zprostředkovaně. V dnešní době se nejčastěji data předávají v elektronické formě.

Následně dochází k definici modelu, především k úrovni jeho hloubky a detailnosti. V základu se definuje základní podoba modelu a k němu se následně přidružují další vlastnosti. Je ovšem třeba dávat pozor, aby velikost modelu příliš nenabobtnala. To by mohlo způsobit příliš dlouhé procesní časy simulačního běhu. Vlastnosti modelu jsou určeny v závislosti na:

- cílech projektu,
- výkonových ukazatelích,
- dostupnosti dat,
- počítačové omezení,
- omezení z hlediska času a nákladů.

### **Jsou předpoklady v dokumentech správné?**

Dochází k strukturované kontrole simulačních předpokladů systému krok po kroku před publikem manažerů, simulačních specialistů a ostatních zainteresovaných osob. Je důležité ho provést před zahájením tvorby modelů, aby nebylo nutné model významně pozměňovat v průběhu tvorby. V případě nalezení nedostatků v dokumentaci se simulační projekt vrací o krok zpět a model je znovu definován.

### **Vytvoření modelu a jeho ověření**

Jedná se o vytvoření modelu, ať už v programovacím jazyku či v simulačním softwaru. Tento krok je potřeba provést pokud možno v nejvyšší kvalitě, neboť model vytvořený v tomto kroku bude sloužit jako podklad pro veškeré simulační běhy v budoucnosti. Následně dochází k ověření funkčnosti modelu.

### **Provedení testovacích běhů**

Provedení testovacích běhů je nutné pro získání dat, která slouží k validaci systému.

### **Je model naprogramován správně?**

K ověření správnosti naprogramování je možno použít několik možných přístupů. V každém případě by měli simulační specialisté být schopni ověřit správnost výstupů z modelu. Další možností je situace, kdy simulační model funguje jako obraz reálného systému. Pak je možné porovnat podobnost

výstupů simulačního modelu a reálného systému. Jinou možností je využití statistických nástrojů, především pak citlivostní analýzy k určení faktorů, které mají nejvyšší dopad na výstupní hodnoty. Tyto "důležitější" faktory je potřeba namodelovat pečlivěji, s vyšší přesností.

### **Návrh scénářů a experimentů**

V případě scénářů se naskytá možnost analýzy současného stavu, či řešení stylem "co by kdyby?". Dochází ke změnám vlastností entit, případně pak k jejich přeskupování, ke změnám v počtu entit v systému či v délce transportních drah. Také je důležité pro každou konfiguraci systému určit délku simulačního běhu, délku náběhu (pokud je to faktorem) nebo počet simulačních běhů (v okamžiku, kdy se v systému projevuje pravděpodobnost).

### **Provedení testovacích běhů**

V tomto kroku dochází k simulačním experimentům, které slouží k získání dat pro následné vyhodnocení.

### **Analýza výstupních dat**

Výstupní data se analyzují dvěma hlavními způsoby:

- určení absolutní výkonnosti dané systémové konfigurace,
- porovnáním různých systémových konfigurací navzájem mezi sebou.

### **Sestavení závěrečné zprávy**

Jedná se o ucelení výstupů práce, popsání dosažení definovaných cílů simulačního běhu a uložení výsledků pro využití v současných i budoucích projektech. Také dochází k vytvoření prezentací či digitálních modelů sloužících k předání výstupů simulačních projektů vedení podniku.

# Praktická část

## 4 Charakteristika podniku

Práce se zabývá simulací interního transportu materiálu v pobočce podniku Schwarzmüller, Žebrák. Tento podnik se zabývá „výrobou prémiových inteligentních komerčních vozidel“ (Schwarzmüller, 2020).

### Schwarzmüller s.r.o

Společnost patří ve svém oboru mezi největší společnosti v Evropě. Díky tomu dokáže nabídnout zákazníkům vysoce individuální řešení jejich požadavků. Spolu se svými dceřinými společnostmi ročně vyrobí zhruba 11 000 návěsů. Firma zaměstnává ve svých čtyřech závodech (Freinberg, Dunaharaszti, Žebrák a Neustadt/Dosse) celkem 2500 zaměstnanců a její roční obrat se pohybuje okolo 400 milionů eur. Firma dodává své produkty do 21 států centrální a východní Evropy. Vybrané informace o společnosti se nacházejí v Tab. 8

Tab. 8 - Základní údaje o společnosti

Logo společnosti	
Rok založení	1871
Sídlo společnosti	Freinberg (Rakousko)
Forma společnosti:	GmbH (s.r.o.)
Vedoucí management	CEO Roland Hartwig CSO Michael Weigand CFO Georg Preschern
Počet zaměstnanců	2,500 (včetně Hüffermann Transportsysteme)
Roční obrat	409 000 000€ (včetně Hüffermann Transportsysteme)
Země působení	Belgie, Bosna a Hercegovina, Bulharsko, Itálie, Chorvatsko, Litva, Lotyšsko, Lucembursko, Nizozemí, Polsko, Rumunsko, Rusko, Švýcarsko, Srbsko, Slovensko, Slovinska, Ukrajina
Prodejní značky	Schwarzmüller & Hüffermann

Zdroj: [Schwarzmuller.com](http://Schwarzmuller.com)

V produktovém portfoliu společnosti se nachází na 150 různých druhů návěsů, které se dají rozčlenit do 8 kategorií:

- valníková vozidla,
- sklápěcí vozidla,
- vozidla s posuvnou podlahou,
- mrazírenská a skříňová vozidla,
- nízkoložná vozidla,
- klanicová vozidla,
- cisternová vozidla,
- výměnná (modulární) vozidla.

Společnost se snaží nastavit co nejvyšší úroveň služeb, ať už se jedná o kapacitu návěsů, kvalitu zpracování či uživatelskou přístupnost řešení. Zaměřuje se na výrobu robustních konstrukcí, ovšem s nízkou hmotností. Díky tomu dokáže napříč svým produktovým portfoliem nabízet až o tunu lehčí návěsy ve srovnání s konkurencí. Společnost se zároveň snaží o maximální úroveň zákaznického servisu a poprodejních služeb.

### **Schwarzmüller Žebrák**

Práce se zabývá interní manipulací v pobočce podniku Schwarzmüller, nacházející se v Žebráku, CZ. Roční výrobní kapacita podniku činila v roce 2019 1900 vozidel, což činí zhruba 43 vozidel týdně. Toto číslo je relativně nižší než u ostatních závodů patřících pod značku Schwarzmüller, to je ovšem dáno tím, že se tato pobočka specializuje na výrobu složitějších vozidel. Výrobní program pobočky Žebráku se skládá ze segmentovaných sklápěcích návěsů (Obr. 35), třístranných sklápěcích návěsů a přívěsů (Obr. 36), valníkových a sklápěcích nadstaveb.

*Obr. 35 - Segmentovaný sklápěcí návěs*



*Zdroj: schwarzmuller.com*

*Obr. 36 - Třístranný sklápěcí návěs*



*Zdroj: schwarzmuller.com*

## 5 Popis použitého softwaru

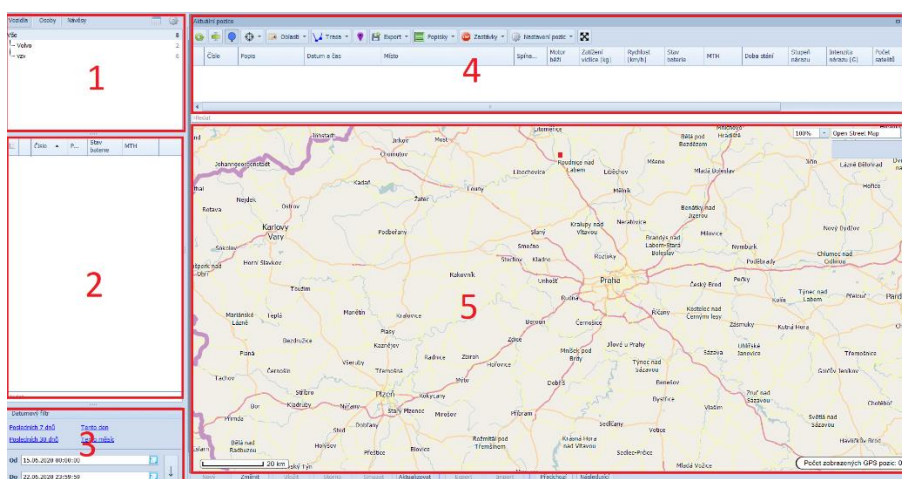
Pro účely této práce je potřeba v první řadě získat data o současném stavu procesu v podniku, tato data analyzovat a na jejich základě vytvořit koncepční a simulační model pro testování scénářů k dosažení co nejvyššího stupně optimalizace v podniku.

### 5.1 Smart TDM G2

Pro sledování reálného systému a získání datových podkladů o jeho chování se v práci využívá software Smart TDM G2 od výrobce TOROLA design s.r.o. v České republice distribuovaný společností GX SOLUTIONS s.r.o. Tento software slouží k nepřetržitému online sledování manipulačních jednotek v podniku, identifikaci jejich operátorů, hodnocení efektivity využití, případně sledování stavu akumulátorů. Pro účely této práce je využita verze klienta 3100 z 2/2020.

#### 5.1.1 Klíčové vlastnosti programu

Základní funkce vychází z rozložení základního UI na Obr. 37. Jeho jednotlivé části jsou popsány níže.



Obr. 37 - Základní UI SW Smart TDM G2; Zdroj: Vlastní

#### Volba sledovaných jednotek (1)

V tomto dialogovém okně je možné měnit a filtrovat, které podnikové zdroje budou sledovány. V případě podniku Schwarzmüller Žebrák se jedná o sledování vozidel, osob a v omezeném režimu i návěsů. Pro účely této práce jsou hodnocena data z vozidel, konkrétně se jedná o pět čelních VZV, jeden boční manipulátor a dva manipulátory značky Volvo, které mají širší sféru uplatnění v podnikové logistice.

Pro každý z vozíků je možné nastavit řadu konkrétních vlastností, například nosnost vidlice, pracovní normy a parametry, případně hodnoty pro vyhodnocení kolizí či akcelerometr.

## Přehled základních charakteristik vybraných jednotek (2)

Nachází se zde přehled jednotek vybraných v dialogovém okně (1) s výpisem jejich nejdůležitějších charakteristik (číslo, popis, stav baterie v % a počet provozních hodin). Také je zde možnost označit pouze některé (nebo všechny) a následně pro takto vybrané vygenerovat provozní deníky, sestavy, historii pozic nebo graf naměřených dat.

## Datový filtr (3)

Je v něm možno nastavit interval, ze kterého jsou čerpána data pro sestavy, provozní deníky, grafy či sledování tras.

## Základní práce s UI (4)

V této oblasti se nacházejí záložky sloužící k základní interpretaci dat. Možnosti se liší v závislosti na jednotkách označených k analýze. V případě vozidel je možné zobrazit a upravit oblasti, ve kterých se pohybují, jejich pohyb v čase (včetně animací), zastávky (dají se filtrovat podle doby stání, případně pouze stání se zapnutým motorem). Také se zde nachází rozšířený popis vlastností vybraných vozidel.

## Grafická interpretace (5)

Zde se nachází základní grafická interpretace definovaných dat, je možné vidět definované oblasti na mapě, aktuální a historická data o pohybu vozidel, to vše v grafické podobě. Mapové podklady je možné přepínat mezi klasickými, hybridními nebo je možné vložit vlastní (například CAD modely).

### 5.1.2 Export dat

Software obsahuje množství možností pro export dat. Data jsou primárně exportována ve formátu .xlsx k následnému zpracování v SW MS Excel. Další možností je export grafů z reálných dat a jejich následné porovnání s výstupy ze simulačních běhů, které slouží k validaci simulačního návrhu.

## 5.2 Microsoft Excel

Provozní data z programu SMART TDM G2 jsou zpracovávána v prostředí MS Excel. Tento SW je vybrán z důvodu jeho rozšířenosti, dostupnosti a jednoduchosti. Základní funkcí v SW MS Excel, využitelnou pro tento problém, jsou kontingenční tabulky. Příklad formy exportovaných dat je na Obr. 38.

Stop	Misto do	Doba jizdy	MTH	Stav	Najezd [m]	Max. zatížení [kg]	Řidič
2	06:11:00 Area 1	00:11:00		Výpruha	0,0	0,0	111
3	06:11:00 Area 1	00:00:09	00:00:09	Vatoběh	0,0	0,0	111
4	06:11:20 Area 1	00:00:11	00:00:11	Pohyb	3,0	0,0	111
5	06:12:00 Area 1	00:00:49	00:00:49	Vatoběh	0,0	0,0	111
6	06:13:34 Area 1	00:01:25	00:01:25	Pohyb	187,0	0,0	111
7	06:17:40 Area 1	00:04:14	00:04:14	Vatoběh	0,0	0,0	111
8	06:18:37 Area 1	00:00:49	00:00:49	Pohyb	60,0	0,0	111
9	06:18:47 Area 1	00:00:10	00:00:10	Vatoběh	0,0	0,0	111
10	06:19:26 Area 1	00:00:39	00:00:39	Pohyb	36,0	0,0	111
11	06:19:31 Area 1	00:00:05	00:00:05	Vatoběh	0,0	0,0	111
12	06:19:36 Area 1	00:00:05	00:00:05	Pohyb	2,0	0,0	111
13	06:19:41 Area 1	00:00:05	00:00:05	Vatoběh	0,0	0,0	111
14	06:19:46 Area 1	00:00:05	00:00:05	Pohyb	0,0	0,0	111
15	06:19:56 Area 1	00:00:10	00:00:10	Vatoběh	0,0	0,0	111
16	06:20:22 Area 1	00:00:26	00:00:26	Pohyb	21,0	0,0	111
17	06:20:27 Area 1	00:00:05	00:00:05	Vatoběh	0,0	0,0	111
18	06:20:32 Area 1	00:00:05	00:00:05	Pohyb	0,0	0,0	111
19	06:20:42 Area 1	00:00:10	00:00:10	Vatoběh	0,0	0,0	111
20	06:21:02 Area 1	00:00:20	00:00:20	Pohyb	28,0	0,0	111
21	06:21:12 Area 1	00:00:10	00:00:10	Vatoběh	0,0	0,0	111
22	06:21:17 Area 1	00:00:05	00:00:05	Pohyb	2,0	0,0	111
23	06:21:22 Area 1	00:00:05	00:00:05	Vatoběh	0,0	0,0	111
24	06:22:12 Area 1	00:00:50	00:00:50	Pohyb	52,0	0,0	111
25	06:22:17 Area 1	00:00:05	00:00:05	Vatoběh	0,0	0,0	111
26	06:22:41 Area 1	00:00:28	00:00:28	Pohyb	72,0	0,0	111
27	06:23:30 Area 1	00:02:45	00:02:45	Vatoběh	0,0	0,0	111
28	06:24:24 Area 1	00:00:54	00:00:54	Pohyb	154,0	0,0	111
29	06:27:39 Area 1	00:01:15	00:01:15	Vatoběh	0,0	0,0	111
30	06:27:40 Area 1	00:00:10	00:00:10	Pohyb	1,0	0,0	111
31	06:28:30 Area 1	00:00:50	00:00:50	Vatoběh	0,0	0,0	111
32	06:29:08 Area 1	00:00:30	00:00:30	Pohyb	28,0	0,0	111
33	06:29:41 Area 1	00:00:36	00:00:36	Vatoběh	0,0	0,0	111

Obr. 38 - Příklad dat exportovaných do MS Excel; Zdroj: Vlastní

## 5.3 FlexSim

„Flexsim je 3D simulační software, který slouží k modelování, simulování, predikci a vizualizaci business systémů v řadě odvětví: výrobě, manipulaci s materiálem, zdravotnictví, skladování, těžbě, logistice a dalších odvětvích. Je jak výkonný, tak uživatelsky přívětivý.“ (FlexSim, 2020). Pro účely této práce je využita verze FlexSim 2020 Update 1, Express version.

### 5.3.1 Klíčové vlastnosti programu

Základní vlastnost softwaru spočívá v možnosti vytvořit fyzický model procesu a k němu separátně nastavit procesní toky v něm.

### 5.3.2 Základní nastavení

V případě založení nového modelu je potřeba definovat jednotky, ve kterých model pracuje. Pro případ této studie jsou použity jednotky (viz. Tab. 9) standardně využívané v České republice.

Tab. 9 - Nastavení základních jednotek

Jednotka	Základní jednotka
Čas	Sekunda (s)
Vzdálenost	Metr (m)
Objem	Litr (l)
Formát času	HH: MM: SS
Formát data	Den: Měsíc: Rok

Zdroj: Vlastní

### 5.3.3 Terminologie

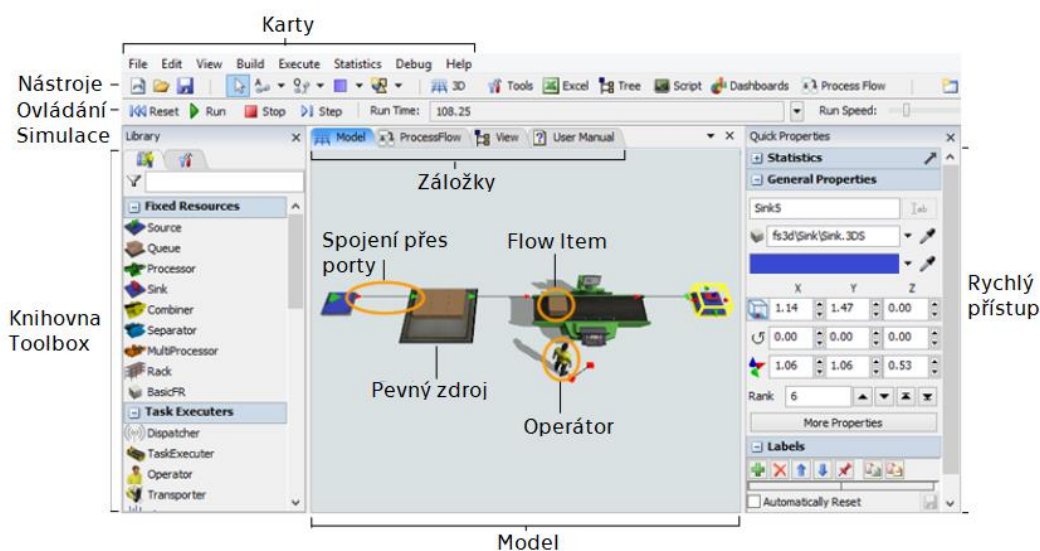
**Objects** – objekty, které fungují jako základní stavební bloky 3D simulačního modelu, a dělí se na 3 základní typy: *Flowitems* (pohybují se skrz model, jedná se typicky o materiál, polotovary), *Fixed resources* (pevné zdroje, které jsou statické a každý má svou specifickou funkci) a *Task executers* (vykonavatelé úkolů, jejichž funkcí je transport FlowItems v simulaci). Kromě těchto základních typů existuje široká paleta dalších objektů.

**Labels** – štítky, slouží k uložení informací, například hodnota nákladů nebo doba pro zpracování.

**Itemtype** – speciální verze štítku, označuje typ položky, popisuje typ produktu nebo číslo dílu.

### 5.3.4 Tvorba 3D Modelu

Pro vytváření 3D modelu je využíváno základní uživatelské rozhraní (Obr. 39). Lze v něm nastavit základní layout podniku, logické návaznosti mezi procesy, nastavení jednotlivých strojů atd.



Obr. 39 - UI k návrhu 3D modelu; Zdroj: flexsim.com; Upraveno

### Model



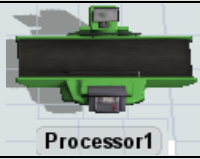







Nachází se v centrálním okně, slouží jako hlavní pracovní plocha k vytváření 3D obrazu reálného systému. Potřebné objekty je možné přetahovat z knihovny. V případě spuštění simulačního běhu se začnou objekty pohybovat a kooperovat v závislosti na nastavené logice.


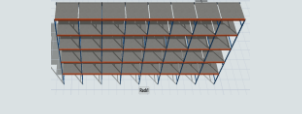
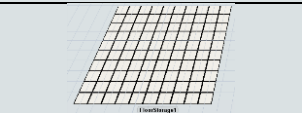
### Knihovna

Nachází se v levé části UI, obsahuje sbírku objektů využitelných pro tvorbu simulačního modelu. Každý objekt v knihovně je definován jedinečnými vlastnostmi, které je ovšem možno i měnit uživatelem. Objekty sloužící pro 3D diskrétní modelování v knihovně SW FLEXTIM se dělí dle Tab. 10



Tab. 10 - Diskrétní objekty v knihovně FlexSim

Kategorie	Název	Zobrazení	Využití
Pevné zdroje <i>Fixed Resources</i>	Zdroj <i>Source</i>		Vytvoření a uvolnění položek do systému na základě definovaných parametrů
	Fronta <i>Queue</i>		Dočasné skladiště položek, dokáže jich přijmout více najednou, případně je selektovat a rozdělovat na dávky
	Procesor <i>Processor</i>		Řídí zpoždění položek, zajišťuje obsluhu pro přípravné a procesní operace, plánuje odstávky
	Výpušť <i>Drain</i>		Odstraňuje položky pryč ze simulace
	Slučovač <i>Combiner</i>		Kombinuje vstupující položky dle definovaných parametrů
	Oddělovač <i>Separator</i>		Rozkládá a rozděluje kombinované jednotky podle definovaných parametrů
	Víceúčelový procesor <i>Multiprocessor</i>		Provádí sadu operací nebo procesů v definovaném pořadí, vždy zpracovává pouze jednu položku
Vykonavatelé Úkolů <i>Task Executors</i>	Jednoduchý vykonavatel úkolů <i>Simple Task Executor</i>		Slouží k jednoduchému vykonávání úkonů
	Operátor <i>Operator</i>		Přenesení položek mezi objekty, možnost být přivolán k operacím, obsluha stroje
	Vysokozdvížený vozík <i>Transporter</i>		Převoz více položek v jeden okamžik mezi objekty

	Robot		Transport z jednoho místa na druhé v rozmezí dosahu ramen a otočných kloubů
Skladování <i>Warehousing</i>	Regál Rack		Slouží pro simulaci skladování ve více horizontálních rovinách
	Skladování na podlaze <i>Floor Storage</i>		Skladování v jedné horizontální rovině na podlaze

Zdroj: SW Flexsim

### Panel rychlého přístupu

Napravo od pracovní plochy se nachází panel rychlého přístupu, sloužící k rychlé úpravě nastavení vybraných objektů nebo nástrojů. Také se v něm nachází důležité informace (statistiky) o vybraných objektech při simulačním běhu.

### Záložky

Slouží k rychlému přepínání mezi základní pracovní plochou a prostředím pro správu některých nástrojů.

### Porty a jejich propojení

Porty, skrze které mezi sebou dochází ke komunikaci objektů. Každý objekt jich může mít neomezené množství. Existují dva základní typy dle (Beaverstock, a další, 2012):

- *vstupní a výstupní porty: směřování položek z jednoho objektu na druhý;*
- *centrální porty: vytvoření vazby mezi objektem, ze kterého je potřeba přenést položku na jiný objekt, a vykonavatelem úkolů.*

### Menu, Ovládání simulace

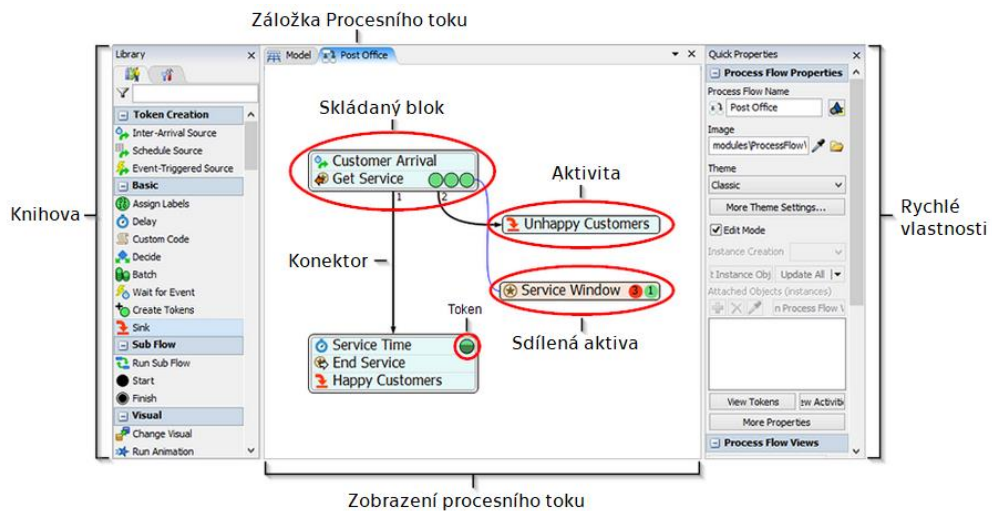
Hlavní menu slouží k zastřešení veškerých nástrojů a příkazů využívaných při návrhu modelů. Ovládání simulace zahrnuje funkce pro řízení a ovládání simulačních běhů.

### Prostředí

Slouží ke customizaci vizuálu SW, například nastavení jasů, kontrastu a grafické podoby UI.

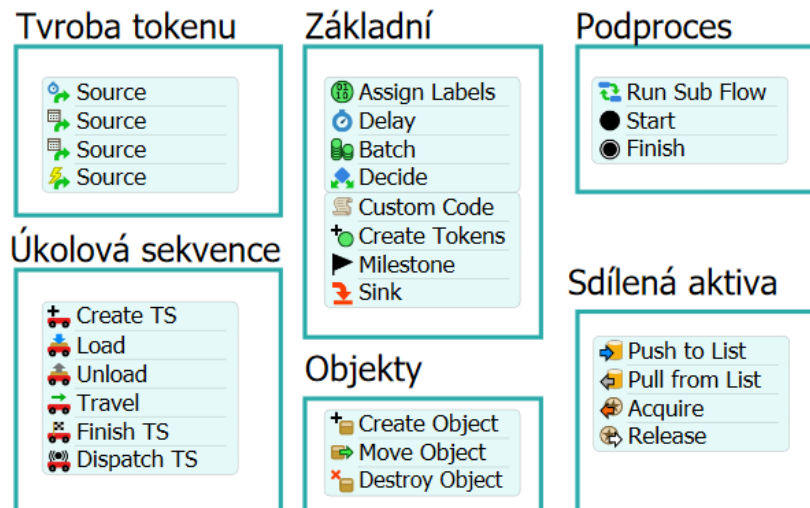
### 5.3.5 Tvorba procesních toků

Pro model vytvořený v přechozím kroku lze nastavit komplexní charakteristiky v záložce procesních toků. Lze zde nastavit generace materiálu, jeho vlastnosti, přesuny, volbu manipulátoru a veškeré ostatní charakteristiky transportu. Základní části uživatelského rozhraní pro tvorbu procesních toků jsou znázorněny na Obr. 40.



Obr. 40 - UI k návrhu procesního toku; Zdroj: flexsim.com; Upraveno

Stejnou funkci jako v případě tvorby 3D modelu zde má Model, Knihovna, Panel rychlého přístupu, Menu a prostředí. Rozdíly jsou pak popsány níže. Základní možnosti v knihovně pro řízení procesních toků jsou na Obr. 41.



Obr. 41 - Knihovna k řízení procesních toků; Zdroj: Vlastní

## Token

Základní komponenta procesního toku je tzv. Token. Jedná se o období Flow Items pro systém vytváření procesních toků. Pohybují se mezi jednotlivými aktivitami, pouze na rozdíl od Flow Items není potřeba, aby byly reprezentovány fyzicky. Mohou například symbolizovat vytvoření objednávky nebo uskupení palet určené k přepravě atp. V základní variantě je token definován jako „datový kód pohybující se procesním tokem“ (FlexSim, 2020). Jsou viditelné v procesním toku pouze v okamžiku, kdy simulace probíhá. Každý token obsahuje následující informace:

- **ID**, které je automaticky přiřazováno jednotlivým tokenům v okamžiku jejich vytvoření, unikátní a neměnné napříč celým simulačním procesem;
- **Jméno (Name)** sloužící k identifikaci tokenu uživatelem, je možné ho měnit v průběhu procesu skrze příkazy;
- **Značka (Label)** je nezbytnou součástí pro výstavbu komplexního a dynamického procesního toku. Obsahuje jedinečnou informaci o tokenu, která určuje, co se s ním stane, když prochází procesním tokem.

## Aktivita

„Aktivita funguje jako hlavní stavební jednotka v procesním toku. Jedná se o logickou operaci, nebo o jednotlivý krok v procesním toku.“ (FlexSim, 2020) Nacházejí se v knihovně, odkud jsou přetahovány do návrhu procesního toku. V okamžiku, kdy token vstoupí do aktivity, uskuteční logickou posloupnost úkonů spojených s informací obsaženou v aktivitě.

## Sdílená aktiva

Jedná se o konečný zdroj informací, který token může buďto získat, nebo zanechat na určitých místech v procesním toku. Jsou velice podobné aktivitám, ale liší se v několika malých detailech. Existují tři typy sdílených aktiv:

- **Zdroj (Resource)** – omezená zásoba zdroje, která může být získána, nebo uvolněna. Slouží k simulování zásob zboží, času, materiálu, lidských zdrojů.
- **Seznam (List)** - reprezentuje seznam tokenů, flow items, úkolových sekvencí nebo čísel. Může být lokální (pouze pro daný procesní tok), či globální (pro celý simulační běh).
- **Zóna (Zone)** – slouží ke sběru statistických informací, běžně nedosažitelných pro standardní aktivity. Také slouží k omezení přístupu do části procesního toku v závislosti na statistických hodnotách či jiných kritériích.

## Konektor

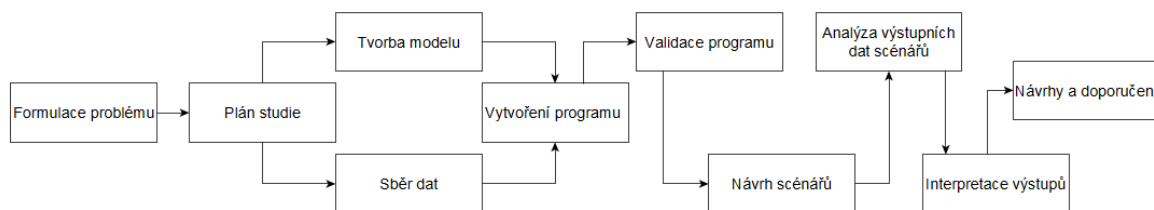
Slouží k propojení dvou aktivit. V případě simulačního běhu tokeny používají konektory pro přesun mezi aktivitami.

## Blok (Skládaný blok)

Díky nim lze spojovat několik aktivit do jedné sekvence postupných kroků. Díky tomu je možné je jednodušeji přesouvat či editovat. V okamžiku, kdy token vstoupí do bloku, postupuje jednotlivými aktivitami od shora dolů.

## 6 Simulační studie

Na základě informací v kapitole 3.9 byly určeny činnosti a jejich logická souslednost pro tuto konkrétní simulační studii (viz. Obr. 42).

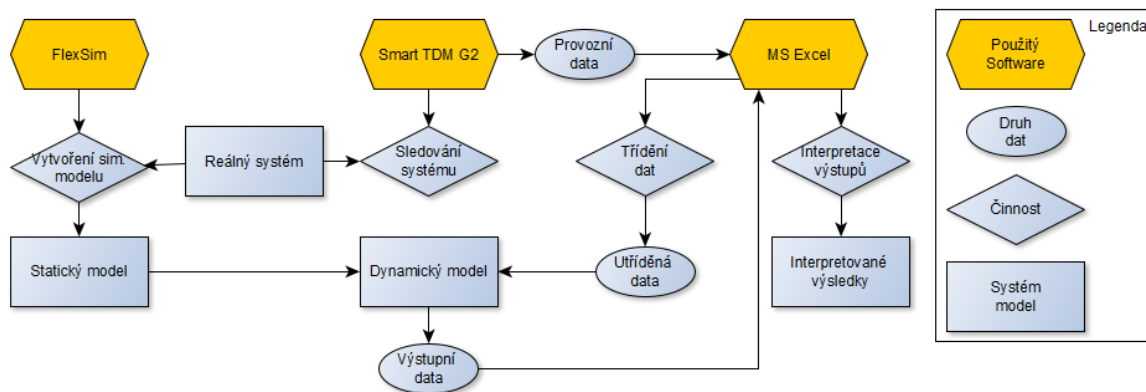


Obr. 42 - Činnosti a jejich návaznost v simulační studii; Zdroj: Vlastní zpracování

Dle Obr. 42 lze určit, že je potřeba v první řadě přesně formulovat problém, kterým se bude studie zabývat. Následně je možné kontinuálně sbírat data o reálném systému a zároveň vytvářet simulační model. V okamžiku, kdy jsou tyto dvě činnosti dokončeny, je možno vytvořit samotný simulační běh (program). Ten je poté potřeba validovat, tj. ověřit, jak moc simulovaná data odpovídají skutečnému systému. Na ověřeném modelu lze následně jednoduchými modifikacemi, případně vložením jiné sady vstupních dat simulovat různé scénáře. Jejich výsledky je následně nutné interpretovat a navrhnout opatření k dosažení vytyčených cílů.

### 6.1 Formulace problému

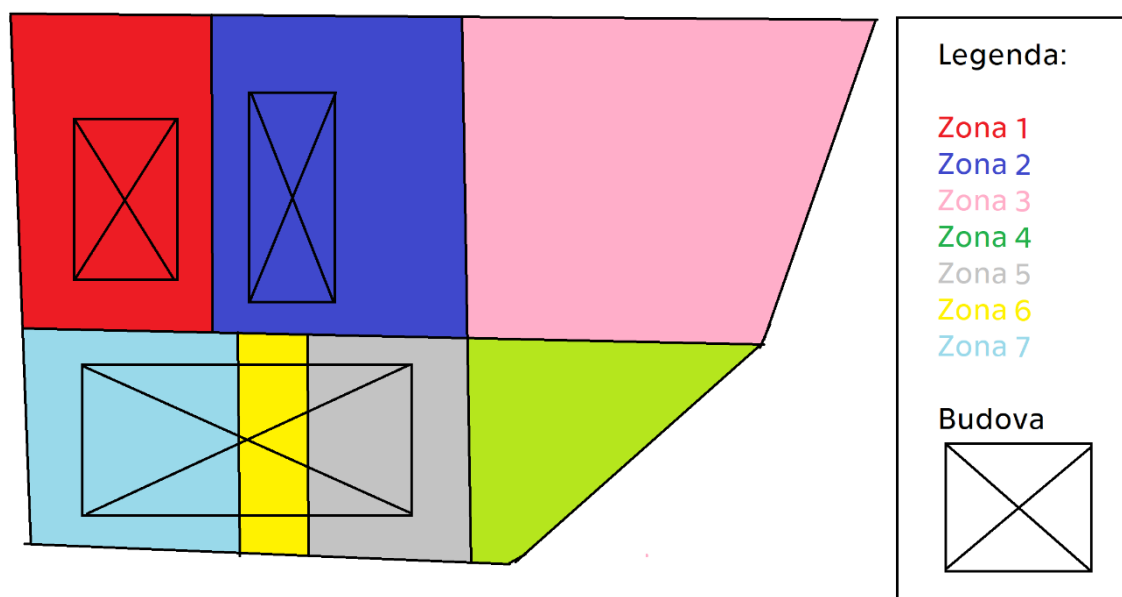
Prvním krokem v simulační studii bylo definovat základní otázky, podmínky, charakteristiky systému, a především základní myšlenku a cíl celé studie. Ve spolupráci s podnikem byl nakonec určen cíl analýzy efektivity využití transportních prostředků ve vnitropodnikovém prostředí v případě různých scénářů. Tyto scénáře se rámcově zabývají snížením počtu manipulátorů, jejich využitím po dnech v týdnu, či rozdílu v efektivitě jejich využití před a po mimořádném stavu ve výrobě, který byl způsoben pandemií Covid-19. K tomu bylo potřeba využít veškeré poskytnuté datové podklady (layout podniku, údaje o transportérech, data o přepravě). Na základě těchto podkladů byl stanoven přístup k tvorbě modelu a analýze dat. Pro tento přístup bylo potřeba definovat které činnosti v simulačním běhu budou řešeny kterým softwarem, toto rozdělení je znázorněno na Obr. 43.



Obr. 43-Účel využití jednotlivého SW; Zdroj: Vlastní zpracování

## 6.2 Plán studie

V první řadě bylo potřeba rozdělit prostor podniku na jednotlivé zóny. Po konzultaci s podnikem bylo stanoveno, že podnik bude rozdělen na sedm zón, viz Obr. 44. Barva a rozložení zón na tomto plánu zároveň koresponduje s jejich barvou a označením v simulačním modelu.



Obr. 44 - Rozdělení zón v podniku; Zdroj: Vlastní

Mezi těmito zónami je následně sledován pohyb jednotlivých transportérů, konkrétně pak číslo transportéru vykonávajícího činnost, datum pohybu, startovní zóna, cílová zóna, doba jízdy a stav vozíčku při úkonu (pohyb, práce, volnoběh, vypnutý).

Následně byly transportéry rozděleny do dvou skupin, a sice podle podstaty nákladu, který přepravují, na skupinu VZV se 6 vysokozdvíhacími vozíčky, a skupinu Volvo, ve které se nacházejí dva Volvo manipulátory.

Po dokončení analýzy současného stavu a vytvoření modelu bylo navrženo několik scénářů sloužících k předpovědi, jak by změny ve výrobním procesu ovlivnily využití transportérů. Dvěma hlavními přístupy byly změna množství požadavků na transport, případně změna v počtu transportérů. Bohužel nejen tento podnik zasáhla krize spojená s pandemií Covid-19. Z důvodu poklesu výroby bylo tedy potřeba některé scénáře modifikovat, či dokonce kompletně vypustit. Nicméně některé scénáře byly přidány, vesměs pro porovnání stavu využití transportérů před krizí a po ní.

Veškeré analyzované scénáře jsou detailněji popsány v kapitole 6.7.

## 6.3 Sběr dat

Hlavním zdrojem dynamických dat o množství požadavků pro simulační model jsou výstupy ze SW Smart TDM G2. Vzhledem k tomu, že podnik v době celonárodních opatření proti nákaze Covid-19 pracoval v pozměněném

režimu, data z těchto dní nebyla brána v potaz. Dalším omezením byla nekonzistence výstupních dat z jednotlivých manipulátorů. Zatímco některé byly kompletně osazeny, jiné neměly kontrolu volnoběhu, nebo snímač zatížení. Díky tomu jsem veškerý pohyb rozdělil pouze na Zapnuto (práce, pohyb, volnoběh) a Vypnuto. Dalším problémem a neznámou ke zpracování byla neznalost prodlevy mezi obdržením požadavku a startem pohybu k místu, odkud byl požadavek realizován.

Všechna data byla exportována a sloučena do jednoho excelového souboru, který sloužil jako zdroj pro všechny následující výpočty.

### Omezení z hlediska dat

Dny, které byly následně použity jako zdroj dat pro simulační běhy, se dají rozdělit do dvou intervalů. Do prvního intervalu patří dny před krizí (konkrétně pracovní dny od 3.2.2020 do 24.2.2020) a jako vzorek po návratu k běžnému stavu bylo využito dat z pracovních dní od 11.5.2020 do 26.6.2020.

### Omezení z hlediska času

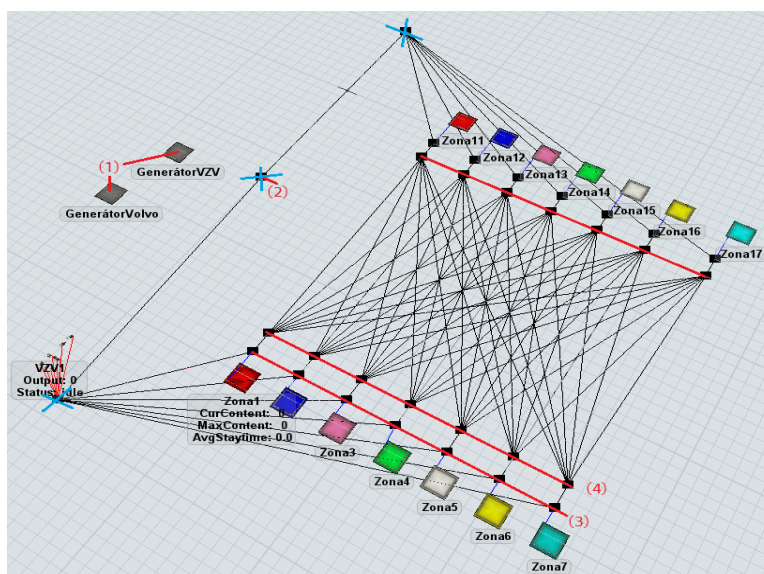
Časové omezení exportu dat bylo definováno neměnným filtrem na ranní směnu SW TDM G2. To znamená, že veškerá exportovaná data pocházejí z časového intervalu od 6:00 do 14:30 hod.

## 6.4 Tvorba modelu

Modelování v simulačním prostředí FlexSim se z podstaty softwaru členilo na dvě části: *tvorba 3D modelu* a *definování procesních toků* v modelu. Obě dvě části probíhaly v případě tohoto projektu kontinuálně, nicméně pro přehlednost jsem se rozhodl je popsat odděleně.

### 6.4.1 Návrh 3D Modelu reálného systému

V první fázi tvorby modelu jsem se zaměřil na vytvoření základních objektů, které byly potřebné ke správnému fungování celku.

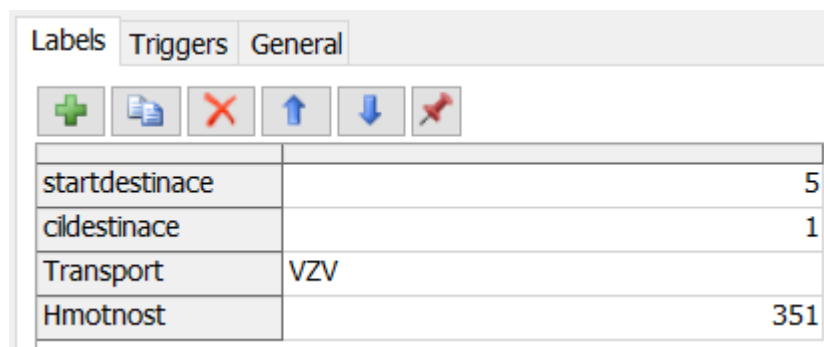


Obr. 45 - První verze 3D modelu v SW Flexsim; Zdroj: Vlastní



## Nastavení objektů

V první řadě jsem nastavil objekty, které reprezentují požadavky na přepravu v systému. Každému objektu jsem přiřadil 3D model v závislosti na způsobu jejich transportu, skupina VZV převáží krabice, skupina Volvo pak palety. Dále jsem každému objektu přiřadil čtyři *labels*, díky kterým dokáží kompletně řídit jejich pohyb systémem a zároveň vyhodnocovat jejich výstupy, viz Obr. 46. Nastavení těchto *labelů* je popsáno v kapitole 6.4.2.



Label	Value
startdestinace	5
cildestinace	1
Transport	VZV
Hmotnost	351

Obr. 46 - Nastavení labels pro Itemy; Zdroj: Vlastní

Label *startdestinace* určuje, ze které zóny požadavek vychází, *cildestinace*, do které zóny putuje, *Transport* pak jestli je objekt určen k transportu manipulátorem ze skupiny VZV, či Volvo, a *Hmotnost* značí, jaká je hmotnost daného nákladu. V případě Obr. 46 se jedná o požadavek na transport ze Zony5 do Zony11 pomocí transportéru ze skupiny VZV, hmotnost nákladu je 351kg.

## Nastavení generátorů

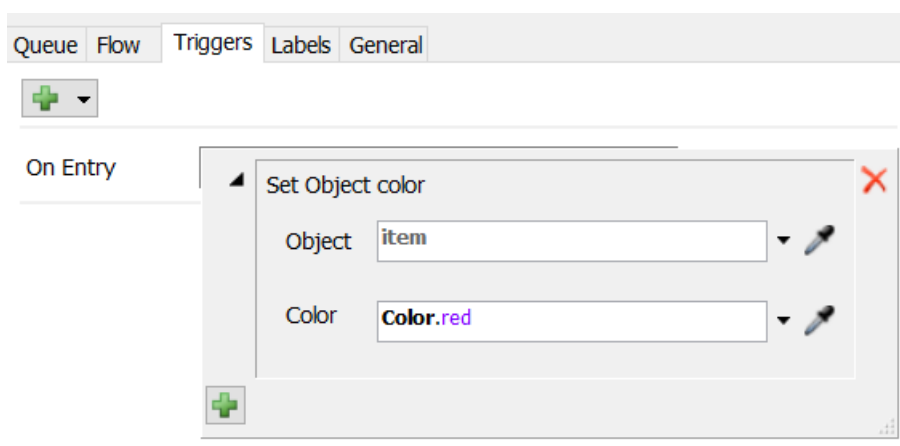
Po zadefinování objektů jsem vytvořil dvě zóny (1), které slouží ke generování požadavků, což je popsáno dále v kapitole 6.5. Z těchto zón se požadavky na přepravu (v tomto případě reprezentovány *Itemy*) přesouvají okamžitě do Zony1-7 v závislosti na labelu *Startdestinace* daného *Itemu*.

## Nastavení Zón

Dále jsem vytvořil 14 objektů *Queue*. Dvojice těchto objektů stejné barvy a počátečního čísla označení vždy odpovídá korespondující zóně dle Obr. 44 v kapitole 6.1. Jednociferně označené zóny (tj. Zona1 – Zona7) jsou místa, kde požadavek na transport vzniká, zatímco dvouciferně označené zóny (tzn. Zona11 – Zona17) jsou cílové zóny, kde je náklad vyložen.

*Vstupní zóny* jsem se rozhodl pro zpřehlednění ve výstupním modelu nastavit takovým způsobem, aby se v okamžiku, kdy do nich objekt sloužící k transportu vstoupí, zbarvil na barvu korespondující zóny. Tím je přehledně po skončení simulačního běhu v cílových zónách vidět, odkud tento objekt putoval. Příklad tohoto nastavení pro Zonu1 je znázorněn na Obr. 47.





Obr. 47 - Nastavení barvy vstupujícího objektu; Zdroj: Vlastní

Spouštěč (Trigger) On Entry znamená, že úkon bude proveden v okamžiku, kdy objekt vstoupí do zóny. Set Object Color je druh úkonu, kdy je zadanému objektu (v tomto případě Item) nastavena barva (pro Zonu1 je to barva červená). Následně jsem veškeré zóny propojil pomocí objektu *Network Path*, který mi umožnil nastavit vzdálenosti mezi jednotlivými zónami a zároveň slouží pro vedení transportérů.

### Nastavení transportérů

Po propojení zón jsem do modelu přidal manipulátory, které jsou rozdělené na skupiny Transporters (VZV1 – VZV6) a Volvo (Volvo1, Volvo2). Tyto manipulátory jsou připojeny na Network Node (2), odkud vstupují na začátku simulačního běhu do systému.

### Nastavení Network Node

V okamžiku, kdy bylo vytvořeno spojení mezi zónami, bylo potřeba nastavit pravidla pro pohyb transportérů v systému. Nejprve jsem nastavil nulovou vzdálenost pro všechny konektory související s uzly (na Obr. 45 znázorněny jako (X)), které se nacházejí mimo přepravní prostor. Díky tomu veškerý čas, který stráví transportéry v systému, bude počítán jako cesta. Tedy vozíček po vykonání jednoho úkolu zůstane stát na místě, dokud nevyvstane další požadavek na transport, který okamžitě začne vykonávat. Pro všechny cesty mezi úsečkami (4) a (5) jsem nastavil průměrná data pro dobu přepravy získaná z MS Excel (viz. Tab. 11).

Tab. 11 - Vzdálenosti mezi zónami

	Zona11	Zona12	Zona13	Zona14	Zona15	Zona16	Zona17
Zona1	34,36	100,26	303,05	289,07	283,02	191,36	122,28
Zona2	133,42	30,39	151,68	188,96	96,79	141,58	223,44
Zona3	297,5	150,88	70,51	178,66	192,86	173,4	401,9
Zona4	286,86	185,42	148,06	23,65	52,37	177,53	248,11
Zona5	294,55	107,8	244,92	59,02	35,69	99,04	189
Zona6	161,8	104,46	182	144,5	98,37	10,55	120,11
Zona7	121,15	262,82	338,09	227,19	217,54	92,21	32,19

Zdroj: Vlastní

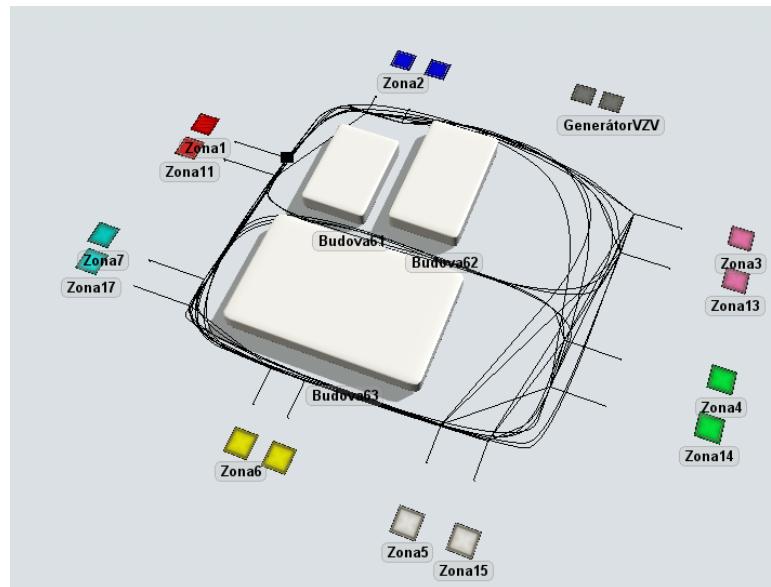
Po tomto nastavení ovšem vyvstal problém s tím, že vozíky mají naprogramováno vyhledávání co nejkratší cesty k cíli. Takže pro některé cesty volily cestu přes jinou zónu místo přímé cesty s nadefinovanou vzdáleností, a to způsobovalo nepřesnosti modelu. Tento problém jsem vyřešil vložením dalšího uzlu do systému (3), odkud transportéry nabírají items. Následně se po node přesouvají instantně do uzlu (4). Uzly v přímce (4) jsou pak naprogramovány tak, aby posílaly transportéry po potřebných trasách díky kódu (Obr. 48), který se spouští OnArrival (při vstupu transportéru do uzlu).

```
10 if( traveler.VZVcil == 1)
11 {
12     return 1;
13 }
14 if( traveler.VZVcil == 2)
15 {
16     return 2;
17 }
18 if( traveler.VZVcil == 3)
19 {
20     return 3;
21 }if( traveler.VZVcil == 4)
22 {
23     return 4;
24 }if( traveler.VZVcil == 5)
25 {
26     return 5;
27 }if( traveler.VZVcil == 6)
28 {
29     return 6;
30 }if( traveler.VZVcil == 7)
31 {
32     return 7;
33 }
34 else
35 {
36     return 0;
```

Obr. 48 Naprogramování uzlů pro správnou volbu cesty; Zdroj: Vlastní

*Traveler* je v tomto případě transportér provádějící úkon, *traveler.VZVcil* je název labelu na tomto transportéru a *hodnota za ==* je pak hodnota, kterou tento label obsahuje. Část kódu *return X* pak vrací číslo, díky kterému se transportér pošle do daného výstupního portu v uzlu, což v případě správně nastavených portů (Port 1 vede do Zony11 atd.) nasměruje transportér na správnou cestu.

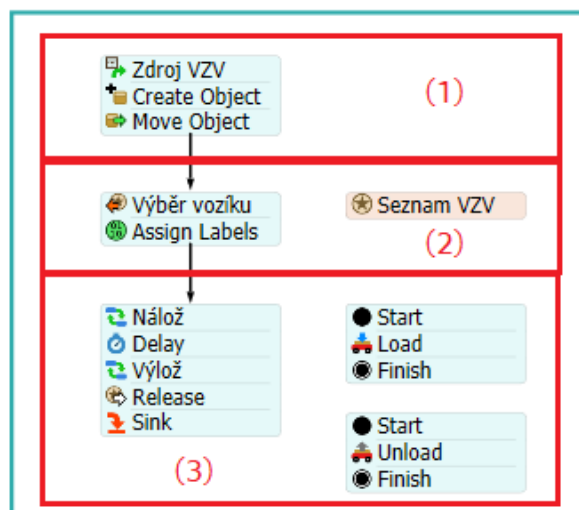
Pro tuto chvíli byl 3D model po funkcionální stránce nastaven, provedl jsem jen úpravy za účelem toho, aby model graficky více odpovídal skutečnému layoutu závodu. Konečný stav 3D modelu je na Obr. 49.



Obr. 49-Konečný stav 3D modelu; Zdroj: Vlastní

## 6.4.2 Vytvoření Proces Flow

Procesní tok bylo potřeba vytvořit pro každou skupinu transportérů zvlášť. Rozdíly jsou popsány na konci této kapitoly. Základní popis se bude vztahovat k popisu procesního toku ke skupině VZV a dá rozdělit do 3 fází: (Vytvoření požadavku (1), Přiřazení manipulátoru (2), a Samotný manipulační proces (3)(viz. Obr. 50)).



Obr. 50 - Procesní tok k přepravě pomocí VZV; Zdroj: Vlastní

### Vytvoření požadavku

Slouží k vytvoření objektu reprezentujícího požadavek na přepravu a přesun tohoto objektu do výchozí zóny. Požadavky vytvářené pro VZV jsou rozdělené na přepravu se zátěží a bez zátěže, Volvo má pouze jednu sadu požadavků, protože Volvo nejsou osazena senzorem zatížení.

**Zdroj** generuje tokeny na základě zadaných parametrů.

*Start Time* je počáteční čas generování tokenů (v sekundách od času 0:00), *Duration* značí dobu, po kterou bude zdroj tokeny generovat (v sekundách). *Quantity* označuje množství vygenerovaných tokenů. *Name* určuje pojmenování vygenerovaného tokenu, *Start* a *Cil* pak určuje startovní a cílovou zónu přepravy. *Transport* definuje hodnotu labelu Transport (pro určení skupiny manipulátoru), *Hmotnost* pak hodnotu stejnojmenného labelu a tím i hmotnost přepraveného materiálu. Možnosti nastavení jsou popsány konkrétně v Tab. 12.

Tab. 12 - Možnosti nastavení zdroje

Start Time	Duration	Quantity	Name	Start	Cil	Transport	Hmotnost
21600	30600	VZV Naložený	PaletaXY	1 až 7	1 až 7	VZV	VZV Hmotnost
21600	VZV SCH_2	VZV Prázdný	PaletaXY	1 až 7	1 až 7	VZV	0
21600	VOLVO_SCH	VOLVO	PaletaXY	1 až 7	1 až 7	VOLVO	0

Pozn: Červeně vyznačené položky čerpají data ze stejnojmenných importovaných tabulek

Zdroj: Vlastní

**Create object** vytváří item ve 3D modelu a přiřazuje mu hodnoty do labelů na základě labelů tokenu dle Tab. 13

Tab. 13 - Klíč pro přiřazení labelů itemů dle tokenu

Label name	
Token	Item
Start	startdestinace
Cil	cildestinace
Transport	Transport
Hmotnost	Hmotnost

Zdroj: Vlastní

**Move object** následně slouží pro přesun *Itemu* do výchozí zóny pro transport na základě hodnoty v labelu *Start* na *Tokenu* dle klíče v Tab. 14

Tab. 14 - Klíč pro startovní destinaci

Label	token.Start						
Start	1	2	3	4	5	6	7
Přesun do	Zona1	Zona2	Zona3	Zona4	Zona5	Zona6	Zona7

Zdroj: Vlastní

## Výběr vozíku

V tomto kroku program volí transportér na základě listu dostupných transportérů (VZV 1-6 pro transport s pomocí VZV, VOLVO 1-2 pro transport skupinou Volvo). Dále přiděluje transportéru labely *VZVstart* a *VZVcil*, které slouží pro volbu cest manipulátoru v modelu (viz. Obr. 48).

## Manipulační proces

Popisuje, jak se má transportér chovat v modelu. V prvním kroku *Nálož* je definováno, kde má transportér naložit objekt dle klíče v Tab. 14. *Delay* slouží

jako grafický předěl mezi naložením a vyložením nákladu. Výlož pak podle klíče v Tab. 15

Tab. 15 - Klíč pro cílovou destinaci

Label	token.Cil						
Start	1	2	3	4	5	6	7
Přesun do	Zona11	Zona12	Zona13	Zona14	Zona15	Zona16	Zona17

Zdroj: Vlastní

Funkce *Release* poté slouží k odpoutání transportéru od úkolu a jeho návrat do Listu, ve kterém čeká na další úkol. *Sink* slouží k recyklaci tokenu.

### 6.4.3 Ostatní nastavení modelu

#### Tabulky

Model obsahuje celkem 6 tabulek importovaných z MS Excel. Jejich využití je popsáno v Tab. 16

Tab. 16 - Využití importovaných tabulek

Název tabulky	Hodnoty pro Blok; label	Poznámka
VZV naložený	Zdroj VZV; Quantity	V kombinaci s VZV Hmotnost
VZV Prázdný	Zdroj VZV; Quantity	Pro Hmotnost = 0;
VZV Hmotnost	Zdroj VZV; Hmotnost	V kombinaci s VZV naložený
VOLVO	Volvo; Quantity	Pro Hmotnost = 0;
Volvo SCH	Zdroj Volvo; Volvo SCH	Korekce filtrovaných dat
VZV SCH_2	Zdroj VZV; Duration	Korekce filtrovaných dat

Zdroj: Vlastní

Korekce volnoběhů slouží pro zkorigování vyfiltrovaných dat doby přepravy z datové analýzy.

#### Funkce importu

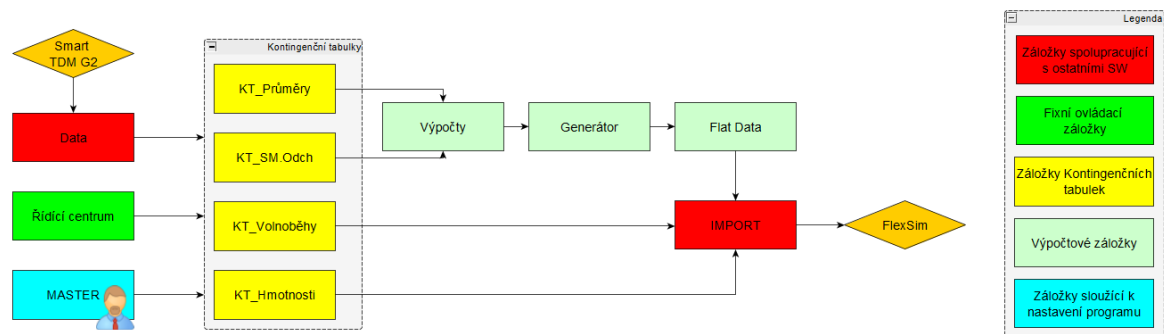
V případě použití na novém zařízení je potřeba nastavit cestu k výchozímu souboru dat Master Excel.

#### Doba běhu simulace

Doba běhu simulace je nastavena na jednu směnu od 6:00 do 14:30 hod.

## 6.5 Vytvoření programu

Po nastavení základních parametrů modelu bylo potřeba vytvořit prostředí pro import dat do modelu. K tomu posloužilo prostředí MS Excel, ve kterém jsem vytvořil program, který za pomoci kontingenčních tabulek na základě dat exportovaných z programu Smart TDM G2 dokáže vygenerovat pseudonáhodná čísla pro simulační běh. Vše, co je potřeba pro vygenerování nových čísel, je zadat dny, pro které chci hodnoty generovat, případně zadat procentuální předpoklad změny výroby a aktualizovat program. Kompletní využití všech záložek v programu je znázorněno na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**



Obr. 51 - Využití jednotlivých listů v MS Excel; Zdroj: Vlastní

## Data

Na této záložce se nacházejí veškerá surová data importovaná ze SW Smart TDM GM. V první řadě je byla potřeba utřídit a odfiltrovat. Toho bylo dosaženo pomocí analýzy rozložení časových údajů takovým způsobem, že byly odfiltrovány všechny transporty, jejichž doba trvání byla 5 a méně sekund, a dále veškeré doby, kdy se transportéry nacházely ve stavu vypnutý a volnoběh. Ukázka těchto dat je znázorněna v kapitole 5.1.

## Záložka Řídicí centrum

Slouží pro fixní nastavení filtrů pro více kontingenčních tabulek najednou.

## Záložka MASTER

Jedná se o jedinou záložku, do které je potřeba zasahovat. Konkrétně je zde potřeba nastavit data, ze kterých jsou čerpány hodnoty ke zpracování, a případně procentuální změnu množství požadavků.

Obr. 52 - UI Záložky MASTER; Zdroj: Vlastní

## Kontingenční tabulky

Tyto tabulky slouží k zobrazení dat, která slouží jako zdroj k výpočtům statistických veličin v dalších krocích. Veškeré filtry jsou řízeny globálně na ostatních listech, není zde tedy potřeba nic měnit. Ukázková kontingenční tabulka je zobrazena na Obr. 53.

Počet z Místo do	Popisky sloupců						
Popisky řádků	ZK_Zona1	ZK_Zona2	ZK_Zona3	ZK_Zona4	ZK_Zona5	ZK_Zona6	ZK_Zona7
ZK_Zona1	1662	173	11	49	179	34	355
ZK_Zona2	156	1965	92	140	191	102	151
ZK_Zona3	10	58	248	99	18	13	15
ZK_Zona4	68	174	90	3288	1154	67	173
ZK_Zona5	221	197	17	747	2932	62	195
ZK_Zona6	60	59	4	83	124	200	49
ZK_Zona7	254	222	9	73	187	67	1715
<b>Celkový součet</b>	<b>2431</b>	<b>2848</b>	<b>471</b>	<b>4479</b>	<b>4785</b>	<b>545</b>	<b>2653</b>

Obr. 53 - Kontingenční tabulka pro naložené VZV, Průměrná hodnota; Zdroj: Vlastní

V řádcích se nachází příslušné cílové zóny, ve sloupcích potom zóny odkud požadavek vychází, hodnoty v příslušných buňkách pak vyjadřují sumu požadavků mezi výchozí a cílovou zónou za definované období.

### Kontingenční tabulky průměr

Slouží pro vypočítání průměrné hodnoty počtu požadavků mezi jednotlivými zónami pro parametry filtrů, které jsou pevně uloženy a jejich hodnoty jsou nastaveny dle Tab. 17

Tab. 17 - Nastavení filtrů pro záložky průměr

Záložka	Stav	Doba jízdy(s)	VZV	Zatížení (kg)
Naložený průměr	Pohyb, Práce	<6; ∞)	1-6	<1; ∞)
Prázdný průměr	Pohyb, Práce	<6; ∞)	1-6	0
Volvo průměr	Pohyb, Práce	<6; ∞)	7-8	0

Zdroj: Vlastní

### Kontingenční tabulky SM. ODCH

Slouží pro výpočet směrodatné odchylky počtu požadavků na transport mezi zónami ve vybrané dny podle parametrů dle Tab. 18

Tab. 18 - Nastavení filtrů pro záložky směrodatné odchylky

Záložka	Stav	Doba jízdy(s)	VZV	Zatížení (kg)
Naložený SModch	Pohyb, Práce	<6; ∞)	1-6	<1; ∞)
Prázdný SModch	Pohyb, Práce	<6; ∞)	1-6	0
Volvo SModch	Pohyb, Práce	<6; ∞)	7-8	0

Zdroj: Vlastní

### Kontingenční tabulka Hmotnost

Používá stejné filtry, slouží pro generování hodnoty pro label Hmotnost, ovšem pouze pro naložené vozíky.

### Kontingenční tabulka Volnoběhy

Volnoběhy byly ze základního filtru vynechány, protože jejich ponechání zanechávalo vysoké množství pohybů v jedné zóně, což způsobovalo velké zkreslení. Tyto hodnoty jsem tedy vyřešil tím způsobem, že jsem spočítal průměrnou dobu trvání volnoběhu, která je vynásobena počtem transportů v daný den. Tyto časy jsou pak zadány do simulace způsobem, kdy zdroje přestanou generovat požadavky v době trvání volnoběhů před plánovaným ukončením simulace.

### Záložka Výpočty

Na této záložce dochází k přepočtu hodnot z kontingenčních tabulek pro průměry a směrodatné odchylky na jeden den.

VZV Naložený Průměr							
Popisky řádků	ZK_Zona1	ZK_Zona2	ZK_Zona3	ZK_Zona4	ZK_Zona5	ZK_Zona6	ZK_Zona7
ZK_Zona1	47,4857143	4,94286	0,31429	1,4	5,11429	0,97143	10,1429
ZK_Zona2	4,45714286	56,1429	2,62857	4	5,45714	2,91429	4,31429
ZK_Zona3	0,28571429	1,65714	7,08571	2,82857	0,51429	0,37143	0,42857
ZK_Zona4	1,94285714	4,97143	2,57143	93,9429	32,9714	1,91429	4,94286
ZK_Zona5	6,31428571	5,62857	0,48571	21,3429	83,7714	1,77143	5,57143
ZK_Zona6	1,71428571	1,68571	0,11429	2,37143	3,54286	5,71429	1,4
ZK_Zona7	7,25714286	6,34286	0,25714	2,08571	5,34286	1,91429	49

Obr. 54 - Ukázka listu Výpočty; Zdroj: Vlastní

Na Obr. 54, podobně jako na Obr. 53 představují vodorovné a svislé názvy cílovou, resp. startovní zónu. Hodnoty z předchozích kroků jsou zde přepočteny na jeden den, resp. jeden simulační běh. Z důvodu, kdy je možnost, že by počet požadavků byl za daný čas roven nule je potřeba vzorec upravit následujícím způsobem

$$=IFERROR('Naložený průměr'!B9;0)/\$D\$1$$

Tento zápis vrátí hodnotu 0 v případě, kdy by mělo dojít k dělení nulou.

### Záložka Generátor

Tabulky v této záložce se generují na základě průměrů a směrodatných odchylek ze záložky Výpočty pseudonáhodné hodnoty požadavků pro jednotlivé skupiny transportérů a hmotnosti které převážejí transportéry skupiny VZV. Hodnoty jsou generovány na základě normálního rozdělení. Veškerá data jsou generována 10x. Ukázka jedné takto vygenerované tabulky dat je na Obr. 55.

VZV NALOŽENÝ							
VZV nalož	ZK_Zona1	ZK_Zona2	ZK_Zona3	ZK_Zona4	ZK_Zona5	ZK_Zona6	ZK_Zona7
ZK_Zona1	53	4	0	3	3	2	16
ZK_Zona2	5	67	5	3	7	2	4
ZK_Zona3	0	3	20	3	0	0	1
ZK_Zona4	2	5	0	80	34	6	9
ZK_Zona5	5	10	0	29	127	0	8
ZK_Zona6	2	3	0	2	6	7	1
ZK_Zona7	5	7	0	3	4	1	62



Obr. 55 - Ukázka záložky Generátor; Zdroj: Vlastní

V tomto případě bylo nutno vytvořit složitější zápis, sloužící k odfiltrování veškerých problémů, které se mohli v okamžiku generování pseudonáhodných čísel vyskytnout. Tento kód a popis jeho částí se nachází v Tab. 19

Tab. 19 - Ukázkový kód listu Generátor

Ukázkový kód:	
=ABS(IFERROR(NORM.INV(NÁHČÍSLO());Výpočty!XY;Výpočty!AB);0))	
Část kódu	Účel kódu
ABS()	Eliminuje možnost záporného počtu požadavků
IFERROR(;0)	V případě erroru vrátí hodnotu požadavků 0
NORM.INV()	Čísla se generují podle normálního rozdělení
NÁHČÍSLO();	Generované číslo je náhodné podle parametrů níže
VÝPOČTY!XY;	Odkaz na příslušnou buňku na listě výpočty, kde se nachází průměrná hodnota pro dané rozdělení
VÝPOČTY!AB;	Odkaz na příslušnou buňku na listě výpočty, kde se nachází směrodatná odchylka pro dané rozdělení

Zdroj: Vlastní

## Záložka FlatData

Slouží k vytvoření průměrných hodnot z deseti generačních běhů ze záložky Generátor.

## Záložka Import

Slouží k úpravě koeficientu množství výroby, hodnoty ze záložky FlatData jsou zde násobeny koeficientem plánované využitelnosti. Následně jsou tato data importována do tabulek v SW FlexSim. Vzorový přehled veškerých importovaných dat je zobrazen na Obr. 56.

VZV naložení ZK_Zona1	ZK_Zona2	ZK_Zona3	ZK_Zona4	ZK_Zona5	ZK_Zona6	ZK_Zona7	VOLVO ZK_Zona1	ZK_Zona2	ZK_Zona3	ZK_Zona4	ZK_Zona5	ZK_Zona6	ZK_Zona7		
ZK_Zona1	65	5	0	2	4	1	13	ZK_Zona1	53	8	9	3	3	1	4
ZK_Zona2	5	60	3	4	6	3	4	ZK_Zona2	8	25	12	8	18	1	2
ZK_Zona3	0	3	8	5	1	0	1	ZK_Zona3	9	8	54	9	4	0	4
ZK_Zona4	2	5	3	96	33	4	5	ZK_Zona4	3	5	10	27	11	1	2
ZK_Zona5	6	6	1	21	73	2	4	ZK_Zona5	3	20	5	9	34	1	2
ZK_Zona6	2	2	0	3	3	9	1	ZK_Zona6	1	1	0	1	1	1	0
ZK_Zona7	7	8	0	2	4	2	56	ZK_Zona7	5	3	3	2	2	0	7
VZV Prázdné ZK_Zona1	ZK_Zona2	ZK_Zona3	ZK_Zona4	ZK_Zona5	ZK_Zona6	ZK_Zona7	Hmotnost ZK_Zona1	ZK_Zona2	ZK_Zona3	ZK_Zona4	ZK_Zona5	ZK_Zona6	ZK_Zona7		
ZK_Zona1	84	9	1	6	7	1	15	ZK_Zona1	286	282	62	652	305	856	294
ZK_Zona2	6	88	4	6	8	1	5	ZK_Zona2	274	766	872	504	551	1347	479
ZK_Zona3	1	3	12	2	1	0	1	ZK_Zona3	366	1355	636	390	581	1283	393
ZK_Zona4	4	7	4	248	45	2	8	ZK_Zona4	293	1220	422	593	831	2141	902
ZK_Zona5	9	10	3	55	117	4	12	ZK_Zona5	289	869	902	580	543	912	745
ZK_Zona6	1	1	0	41	5	8	2	ZK_Zona6	1471	1039	105	1827	592	791	878
ZK_Zona7	10	8	1	8	13	3	68	ZK_Zona7	490	936	350	484	468	1002	487
0 ZK_Zona1	ZK_Zona2	ZK_Zona3	ZK_Zona4	ZK_Zona5	ZK_Zona6	ZK_Zona7	Volebnéhy ZK_Zona1	ZK_Zona2	ZK_Zona3	ZK_Zona4	ZK_Zona5	ZK_Zona6	ZK_Zona7		
ZK_Zona1	27632	29752	30600	30390	30534	30544	30188	ZK_Zona1	26625	29976	30600	30600	30600	30600	30224
ZK_Zona2	30120	29375	27492	30600	29466	30503	29722	ZK_Zona2	30120	29225	30204	30376	29340	30496	30368
ZK_Zona3	30600	29384	25848	30240	30600	30600	30600	ZK_Zona3	30600	30136	25902	30132	30600	30600	30600
ZK_Zona4	30525	30600	30600	29439	30072	30600	30600	ZK_Zona4	30600	30480	30270	28602	28697	30600	30600
ZK_Zona5	30555	28640	30600	30096	29546	30438	30600	ZK_Zona5	30600	27000	30600	29457	29240	30558	30288
ZK_Zona6	30600	30447	30600	30600	30518	30507	30600	ZK_Zona6	30600	30540	30600	30600	30558	30567	30600
ZK_Zona7	29825	30300	30600	30600	30600	30600	30020	ZK_Zona7	30190	30420	30600	30600	30600	30600	30019

Obr. 56 - Ukázka dat připravených k importu do SW FlexSim; Zdroj: Vlastní

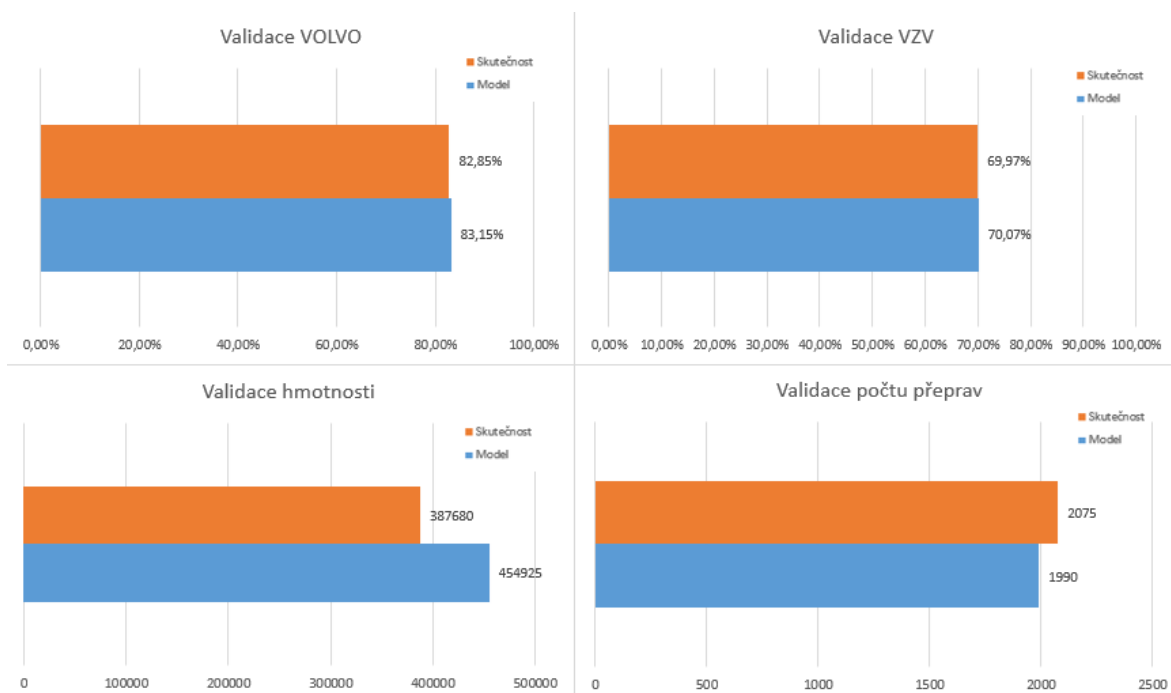
## 6.6 Validace programu

Pro validaci programu bylo zvoleno porovnání výstupu ze SW Smart TDM G2 za období 3. – 7. února 2020 a výstupů simulačního běhu při použití dat za stejné časové období. Porovnání získaných hodnot je v Tab. 20 a v také v obrázku Sada grafů 1.

Tab. 20 - Validace modelu

	Skutečnost	Model	Rozdíl
Využití Volvo	82,85 %	83,15 %	0,30 %
Využití VZV	69,97 %	70,07 %	0,10 %
Množství přeprav za den	2075	1990	4,27 %
Hmotnost (kg)	387 680	454 925	17,35 %

Zdroj: Vlastní



Sada grafů 1 - Validace modelu; Zdroj: Vlastní

Klíčovými hodnotami pro naplnění cílů práce je využití obou skupin transportérů. Z tohoto důvodu a z důvodu odchylky množství přepravy za den pod 5 % je model validní a odpovídající skutečnému stavu pro účely této práce. Vyšší rozdíl v oblasti hmotnosti je z mého pohledu dán v první řádově většími čísly, kterých tato veličina dosahuje, což se při generování pseudonáhodných čísel projeví relativně větším rozptylem čísel. Dalším z důvodů může být menší množství dat, protože ne všechny transportéry jsou osazeny snímačem zatížení.

## 6.7 Návrh scénářů

Po konzultaci se společností bylo navrženo devět různých scénářů pro analýzu efektivního využití vnitropodnikových transportérů v případě změn v systému. Tyto scénáře byly voleny především díky povaze dat o reálném systému, relativní jednoduchosti posouzení jejich výstupů a také s přihlédnutím k neočekávaným událostem, které se v období vypracování této práce vyskytly. Hlavní kategorie ovlivňující scénáře se týkaly časového hlediska (dní, ze kterých pocházela data), počtu aktivních transportérů a množství požadavků na transport v systému. Na základě těchto kategorií bylo navrženo následujících devět scénářů:

- 1) Využití transportérů před omezením výroby;
- 2) Využití transportérů před omezením výroby, pokud bude o jeden transportér méně;
- 3) Využití transportérů před omezením výroby, pokud bude o dva transportéry méně;
- 4) Využití transportérů před omezením výroby, při nárůstu požadavků o 20 %;
- 5) Využití transportérů před omezením výroby, při nárůstu požadavků o 20 %, pokud bude o jeden transportér méně;
- 6) Využití transportérů před omezením, po dnech v týdnu.
- 7) Využití transportérů po skončení omezení výroby;
- 8) Využití transportérů po skončení omezení výroby, pokud bude o jeden transportér méně;
- 9) Využití transportérů po skončení omezení výroby, pokud bude o dva transportéry méně;

Konkrétní atributy jednotlivých scénářů jsou popsány v Tab. 21

Tab. 21 - Základní atributy scénářů

Scénář	Doba měření	Počet VZV	Počet Volvo	% Výroba
1	Před omezením*	6	2	100
2	Před omezením*	5	2	100
3	Před omezením*	4	2	100
4	Před omezením*	6	2	120
5	Před omezením*	5	2	120
6	Před omezením*	6	2	100
7	Po skončení opatření**	6	2	100
8	Po skončení opatření**	5	2	100
9	Po skončení opatření**	2	2	100

\*Před omezením znamená doba před propuknutím pandemie COVID-19.

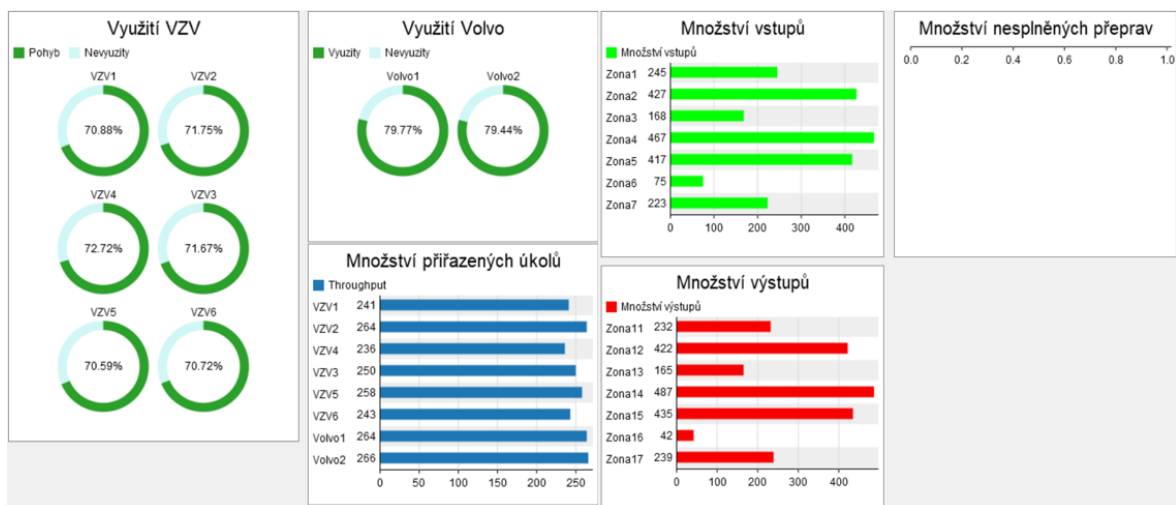
\*\*Po skončení opatření znamená po návratu ke standardní směnnosti provozu, tj. po ukončení opatření související s pandemií COVID-19.

Zdroj: Vlastní

## 6.8 Analýza výstupních dat scénářů

Výstupní data jednotlivých scénářů byla analyzována v SW MS Excel. Hlavní zaměření se týkalo efektivního využití jednotlivých skupin transportérů

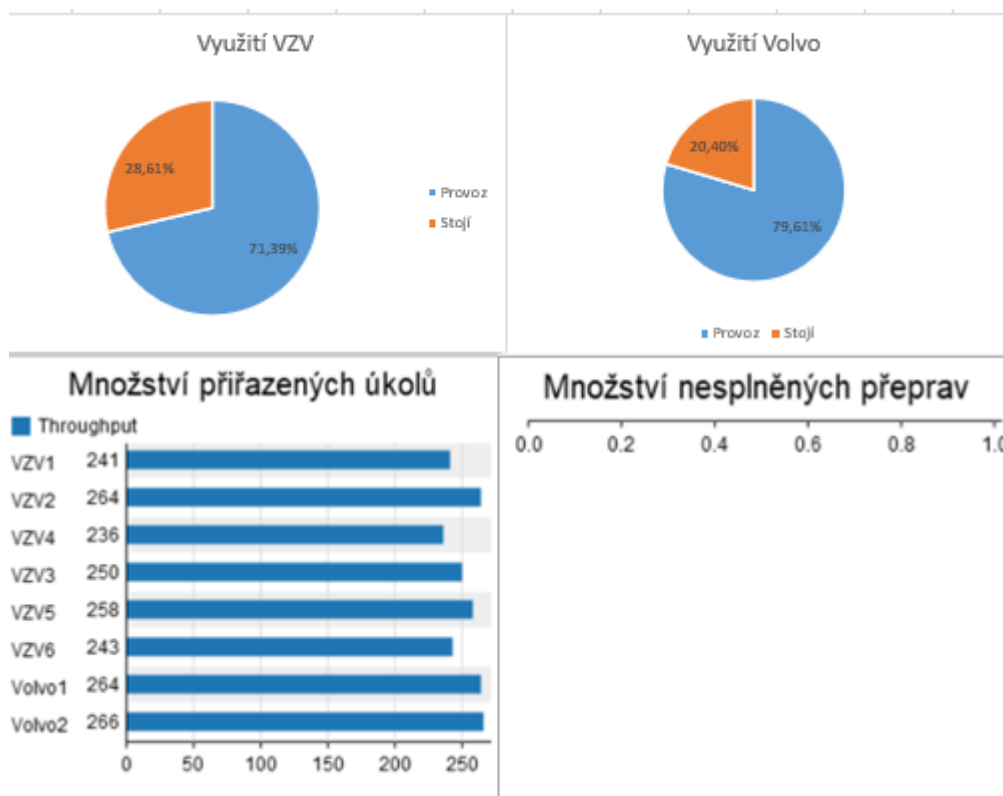
za daných podmínek, počtu úkolů přiřazených pro jednotlivé transportéry, případně toho, kolik přeprav nebylo splněno v případě maximálního vytížení jedné ze skupin transportérů. Příklad výstupních dat je zobrazen na Obr. 57.



Obr. 57 - Vzorová výstupní data simulačních běhů; Zdroj: Vlastní

### 6.8.1 Využití transportérů před omezením výroby

Pro tento simulační běh byl využit základní model skutečného stavu, který sloužil i pro validaci. Nebylo potřeba provádět žádné modifikace. Jediná změna oproti tomuto výchozímu modelu je import dat z jiných dní (viz Tab. 21).

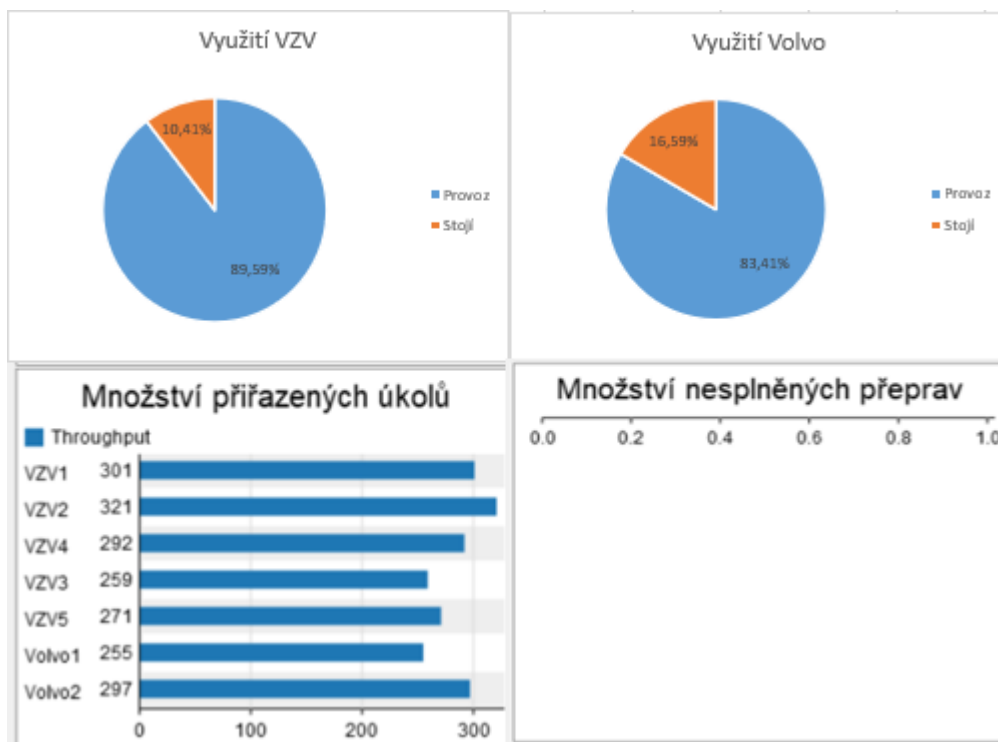


Sada grafů 2 - Výstupní hodnoty Scénáře 1; Zdroj: Vlastní

Z výstupů na obrázku Sada grafů 2 lze určit, že skupina VZV je v případě standardního stavu systému zatížena o 8,21 % vyšším počtem požadavků než skupina transportérů Volvo. Tomu odpovídá i to, že na jeden manipulátor Volvo připadá v průměru o 6,16 % požadavků za směnu více než pro transportér ze skupiny VZV. Důležité je, že všechny přesuny byly uskutečněny při využití transportérů menším než 100 %, což znamená, že je v systému prostor pro zefektivnění.

## 6.8.2 Využití transportérů před omezením výroby, pokud bude o jeden transportér méně

Tento scénář se zabývá hypotetickou možností, jaká by byla efektivita vnitropodnikového transportu v případě, kdy by byl jeden transportér ze skupiny VZV vyřazen. Modifikace základního simulačního modelu byla provedena odebráním VZV6 ze skupiny VZV.



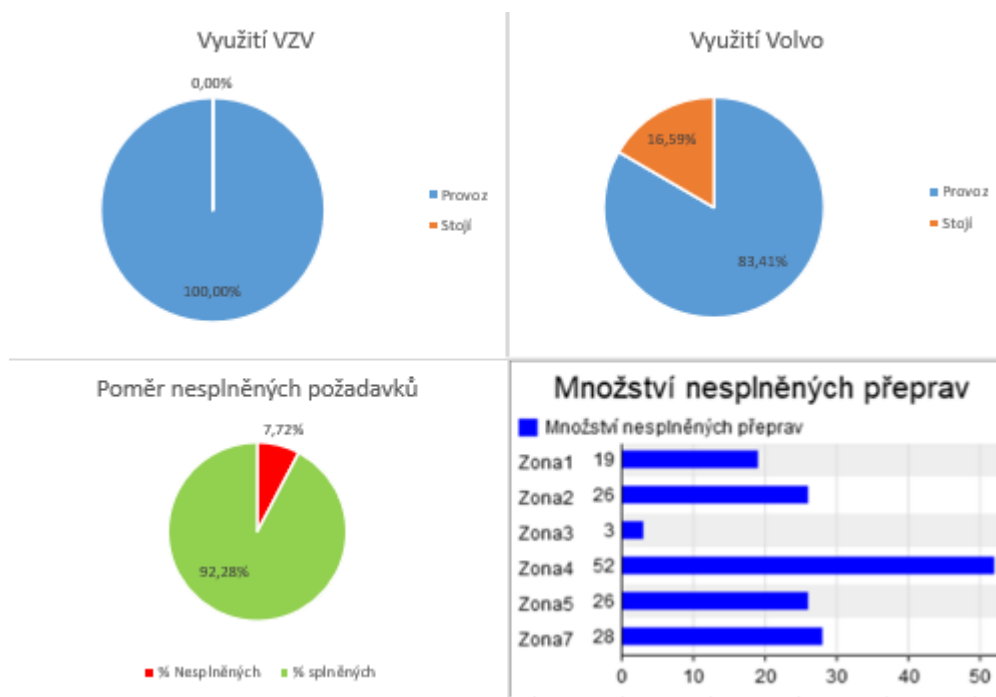
Sada grafů 3 - Výstupní hodnoty scénáře 2; Zdroj: Vlastní

Z dat na obrázku Sada grafů 3 lze určit, že i v případě, kdy by došlo, ať už díky neočekávané události, nebo cíleně, k odebrání jednoho transportéru z provozu, by byly ostatní schopny jeho práci zastat díky splnění veškerých přepravních požadavků, ačkoliv při vytížení 89,59 %.

*Poznámka: Rozdíl ve využití skupiny Volvo 3,8 % mezi scénářem 1 a 2 je dán systémem generování dat (například více požadavků na delších transportech na úkor kratších).*

### 6.8.3 Využití transportérů před omezením výroby, pokud bude o dva transportéry méně

Tento hypotetický scénář popisuje situaci, kdy by najednou došlo k vyřazení dvou transportérů skupiny VZV ve stejném časovém úseku. V základním modelu došlo k odebrání dvou transportérů ze skupiny VZV, konkrétně VZV5 a VZV6.

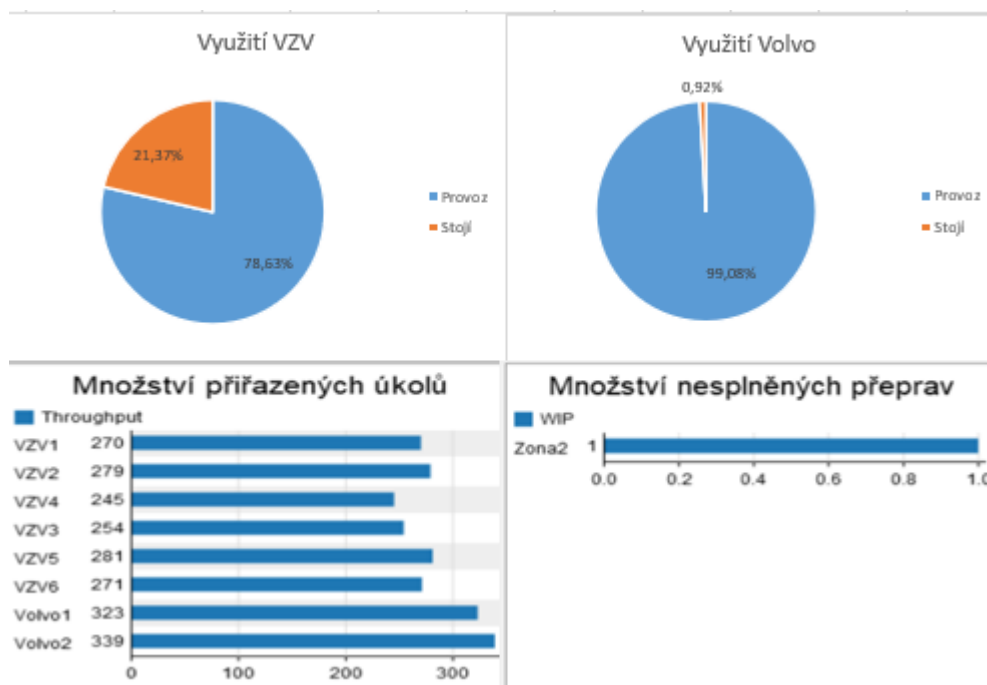


Sada grafů 4 – Výstupní hodnoty scénáře 3; Zdroj: Vlastní

Z dat na obrázku Sada grafů 4 lze určit, že v tuto chvíli se přesun stává již nerealizovatelným, neboť veškeré vozíky jsou na 100 % využity po celou dobu směny, a i přesto existují nesplněné požadavky na přepravu. Konkrétně se jedná o 154 požadavků, které tvoří 7,72 % všech požadavků vygenerovaných v daném simulačním běhu.

## 6.8.4 Využití transportérů před omezením výroby, při nárůstu požadavků o 20%

Tento scénář se zabývá hypotetickou situací, při níž společnost bude rozšiřovat výrobu a bude potřeba vyšší objem vnitropodnikového transportu. Byl nastaven tak, že v Excelu došlo k nastavení přírážky 20 % k počtu všech vygenerovaných požadavků.



Sada grafů 5 - Výstupní hodnoty scénáře 4; Zdroj: Vlastní

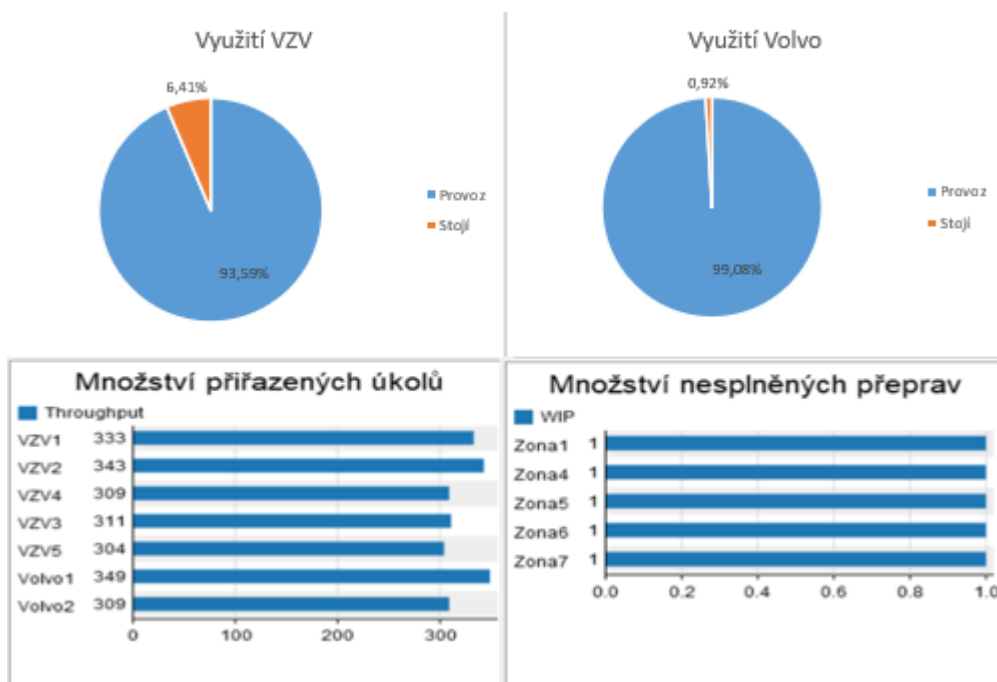
Díky datům na obrázku Sada grafů 5 lze určit, že v případě nárůstu výroby o 20 % lze očekávat problémy v efektivním zajištění přepravy. Zatímco skupina VZV by tento hypotetický nárůst zvládla v pořádku, s využitím 78,63 %, skupina Volvo s využitím 99,08 % je na absolutní hraně únosnosti, kdy jakákoliv prodleva v transportu, nečekaná událost či zvýšené množství požadavků způsobí neschopnost plnění požadavků ve vymezeném čase.

*Pozn2: Nesplněná přeprava dosahující jednotkových hodnot je dána tím, že byl požadavek vygenerován v příliš krátkém časovém úseku před koncem simulačního běhu, a vinou toho byl transportér teprve na cestě.*



### 6.8.5 Využití transportérů před omezením výroby při nárůstu požadavků o 20 %, pokud bude o jeden transportér méně

Tento scénář je kombinace scénáře 2 a scénáře 4. Popisuje situaci, za níž by se podnik rozhodl v současné době zbavit jednoho z transportérů a následně se mu zvýšil objem výroby. Základní model byl modifikován odebráním VZV5 ze skupiny VZV a zároveň byla nastavena hodnota generovaných požadavků na 120 % oproti standardnímu stavu.



Sada grafů 6 – Výstupní hodnoty scénáře 5; Zdroj: Vlastní

Dle dat na obrázku Sada grafů 6 lze určit, že v případě tohoto scénáře se dostává na hranu únosnosti využití i skupina VZV. Pro zajištění správného fungování transportu by bylo potřeba maximalizovat efektivitu řízení, a i tak by každá nepředpokládaná událost znamenala zpoždění v transportu.

## 6.8.6 Využití transportérů před omezením, po dnech v týdnu

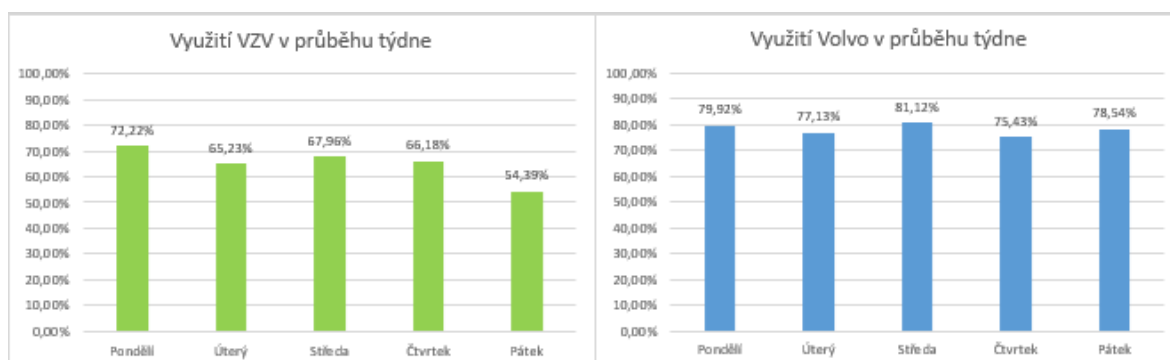
Poslední scénář se zabýval využitím jednotlivých transportérů v závislosti na dni v týdnu. Využití jednotlivých transportérů dle simulačního modelu se nachází v Tab. 22

Tab. 22 - Využití transportérů v závislosti na dni

	Pondělí	Úterý	Středa	Čtvrtek	Pátek
VZV1	72,42 %	64,02 %	68,32 %	66,30 %	54,17 %
VZV2	72,30 %	66,32 %	65,62 %	63,60 %	52,44 %
VZV3	71,30 %	67,50 %	67,99 %	65,60 %	55,19 %
VZV4	71,97 %	64,45 %	69,66 %	65,54 %	55,78 %
VZV5	72,64 %	64,08 %	67,78 %	67,15 %	54,73 %
VZV6	72,71 %	65,01 %	68,36 %	68,89 %	54,03 %
Suma VZV	72,22 %	65,23 %	67,96 %	66,18 %	54,39 %
Volvo1	81,03 %	75,73 %	82,02 %	73,86 %	77,31 %
Volvo2	78,81 %	78,53 %	80,22 %	77,00 %	79,77 %
Suma Volvo	79,92 %	77,13 %	81,12 %	75,43 %	78,54 %

Zdroj: Vlastní

Rozdělení efektivního využití jednotlivých skupin transportérů je pro přehlednost zobrazeno na obrázku Sada grafů 7.

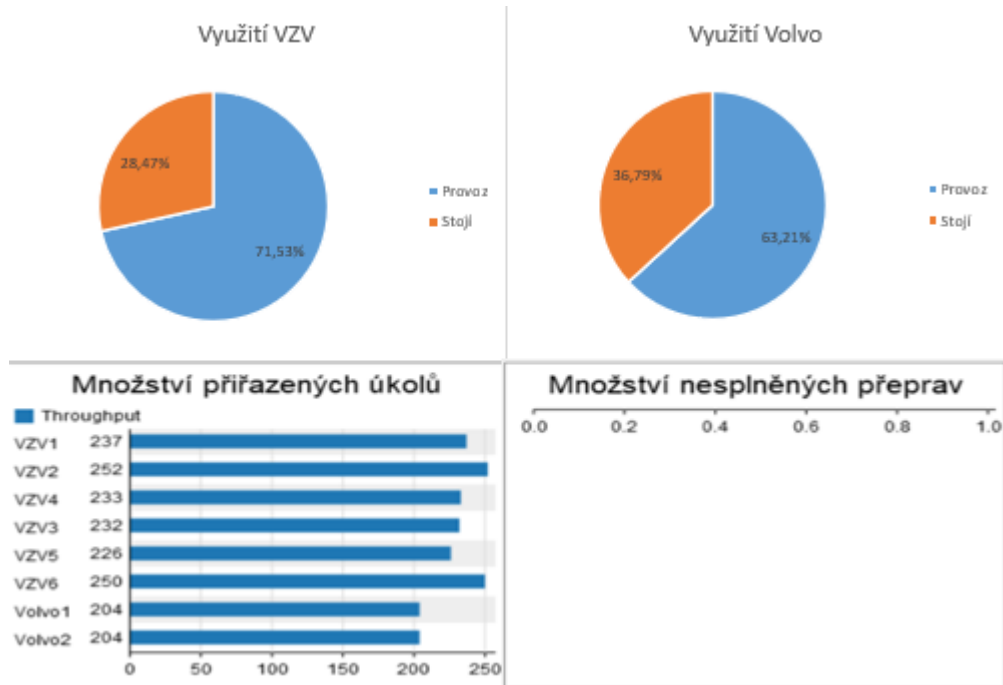


Sada grafů 7 - Výstupní hodnoty scénáře 6; Zdroj: Vlastní

Z dat na obrázku Sada grafů 7 lze jasně sledovat vyšší stabilitu skupiny Volvo. Rozdíl jejího využití napříč všemi dny je pouze zanedbatelných 5,69 %, zatímco u skupiny VZV se jedná o rozdíl 17,83 %. Pro tuto skupinu je charakteristické vysoké vytížení v pondělí a ve středu, naopak absolutně nejméně práce tyto transportéry vykonají v pátek.

### 6.8.7 Využití transportérů po skončení omezení výroby

Tento scénář vychází ze základního modelu, liší se v nastavení dní, které slouží jako zdroj dat. V tomto případě, na rozdíl od základního modelu pracuje SW s daty, která pocházejí ze dní po ukončení omezení výroby, které souviselo s pandemií COVID-19.

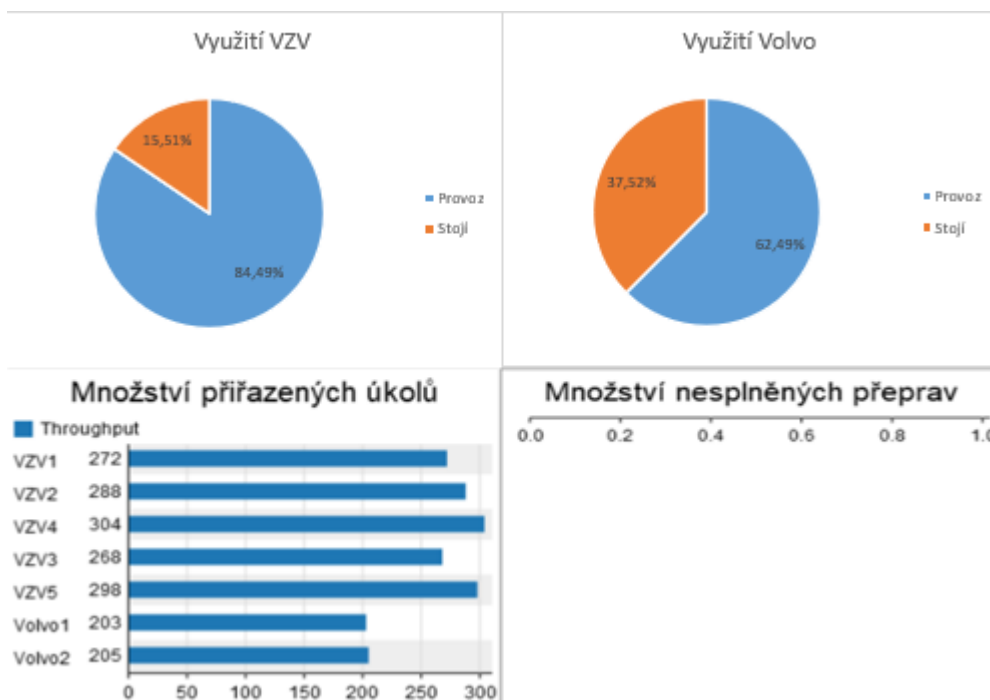


Sada grafů 8- Výstupní hodnoty scénáře 7; Zdroj: Vlastní

Ze dat na obrázku Sada grafů 8 lze na první pohled vidět, že po skončení mimořádného stavu výroby došlo k poklesu požadavků u obou skupin transportérů. Porovnání stavu před a po viz kapitola 6.9.

## 6.8.8 Využití transportérů po skončení omezení výroby, pokud bude o jeden transportér méně

V tomto scénáři se jedná o stejnou problematiku jako ve scénáři 2 (viz 6.8.2). Jediným rozdílem je časový úsek sloužící pro zdroj dat.

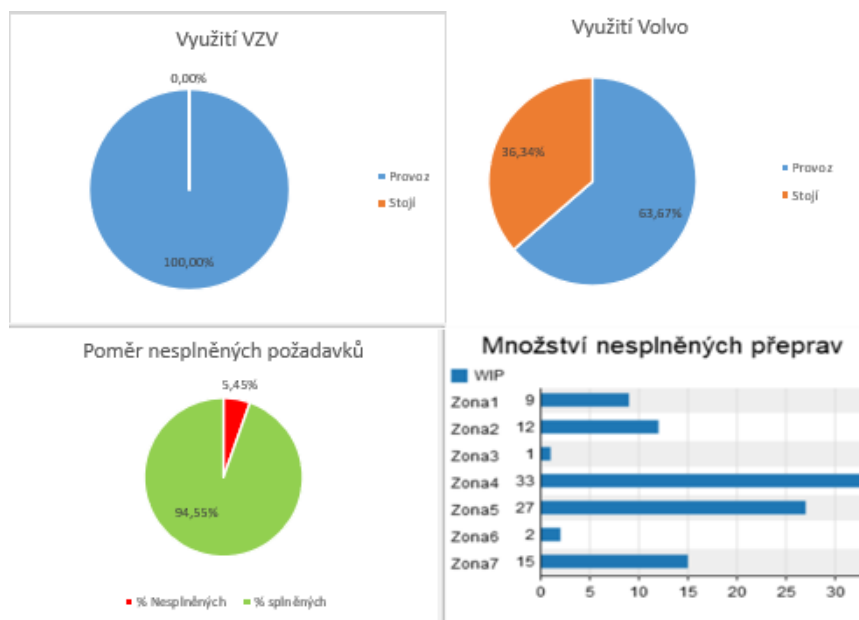


Sada grafů 9 - Výstupní hodnoty scénáře 8; Zdroj: Vlastní

Dle údajů z obrázku Sada grafů 9 lze sledovat, že pokud bude týdenní produkce společnosti pokračovat v trendu nastaveném po návratu k běžnému pracovnímu nasazení, je variant s použitím o jeden transportér skupiny VZV méně použitelná, přičemž transportéry mají průměrné využití 84,49 %.

### 6.8.9 Využití transportérů po skončení omezení výroby, pokud bude o dva transportéry méně

Jedná se o variantu scénáře 3 (kapitola Využití transportérů před omezením výroby, pokud bude o dva transportéry méně 6.8.3) s tím rozdílem, že data pro generování požadavků pocházejí z doby po návratu k běžnému rozdělení práce.



Sada grafů 10 - Výstupní hodnoty scénáře 9; Zdroj: Vlastní

Dle obrázku Sada grafů 10 lze určit, že možnost využití pouze 4 transportérů skupiny VZV je nemožné i v případě použití dat z tohoto časového úseku. Možností je zde přenesení některých z požadavků skupiny VZV na transportéry Volvo, bylo by ovšem nutné propočítat nákladovost tohoto řešení.

## 6.9 Interpretace výsledků

Výsledky ze simulačních běhů pro jednotlivé scénáře se dají interpretovat do několika skupin: *rozdíl v množství požadavků a efektivitě využití transportérů před a po, potřebné množství transportérů při neměnném množství požadavků na transport v budoucnosti, potřebné množství transportérů při změně objemu požadavků, potřebné množství transportérů v závislosti na dnech.* Interpretace základních výstupů jednotlivých scénářů je v Tab. 23

Tab. 23 - Přehled interpretace výsledků

Scénář	Využití VZV (%)	Využití Volvo (%)	Množství nesplněných přeprav	Poměr nesplněných přeprav
1	79,61 %	79,60 %	0	0 %
2	89,59 %	83,41 %	0	0 %
3	100 %	83,41 %	154	7,72 %
4	78,63 %	99,08 %	1	<1 %
5	93,59 %	99,08 %	5	<1 %
6	X*	X*	X*	X*
7	71,53 %	63,21 %	0	0 %
8	84,94 %	62,49 %	0	0 %
9	100 %	63,67 %	100	5,45 %

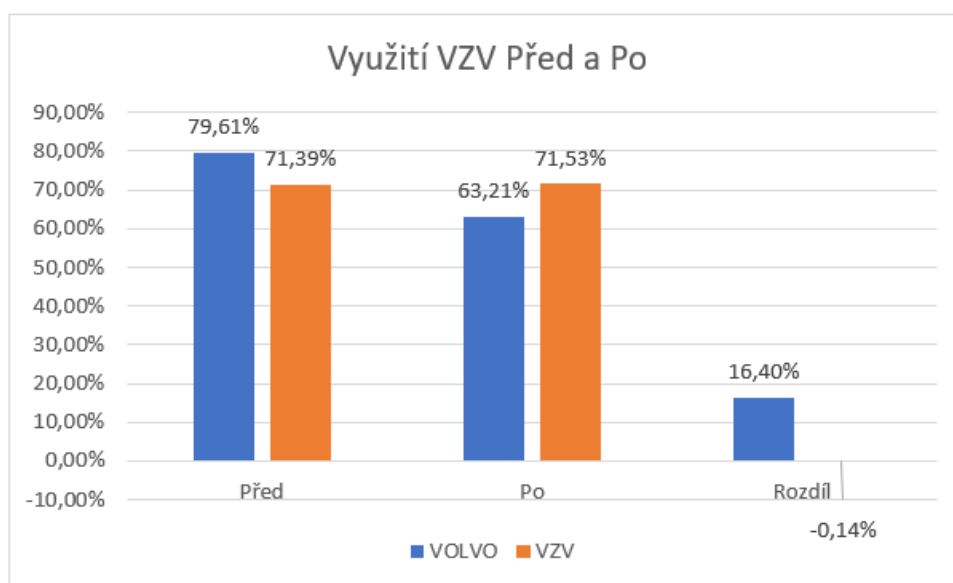
\*Viz interpretace výsledků v kapitole 6.9.1

Zdroj: Vlastní

Všechny níže nastíněné interpretace počítají se standardním pracovním vytížením, bez nenadálých událostí (nehody, poruchy, dovolená).

### 6.9.1 Rozdíl v množství požadavků a efektivitě využití transportérů před a po

Porovnání jednotlivých skupin transportérů je graficky znázorněno na Obr. 58.



Obr. 58 - Využití transportérů v závislosti na časovém úseku; Zdroj: Vlastní

Dle těchto dat se dá říci, že zatímco množství požadavků pro skupinu VZV zůstalo beze změny, pro Volvo transportéry došlo k poklesu jejich efektivního využití o 16,4 %.

### **6.9.2 Potřebné množství transportérů při neměnném množství požadavků na transport v budoucnosti**

Dle datových výstupů scénářů v kapitole 6.8 lze vidět, že v současné době je množství transportérů využívaných v podniku předimenzované. V případě, kdy podnik neočekává v dohledné době významné navýšení výroby, by bylo možné ušetřit náklady vyřazením jednoho transportéru skupiny VZV. V takovém případě by byl transport v podniku stále zajištěn v dostatečné míře.

Pokud podnik očekává naopak recesi a chtěl by ušetřit náklady, je možné odebrat i druhý transportér ze skupiny VZV. To ovšem není bez rizika, neboť využití vozíků by pak bylo na hranici efektivity. V případě expanze podniku by bylo potřeba znovu přidávat flotilu.

Skupina transportérů Volvo je v současném stavu efektivně nastavená, jakékoliv zásahy do množství transportérů by byly kontraproduktivní.

### **6.9.3 Potřebné množství transportérů při změně objemu požadavků**

V případě, že se výrobní program podniku vrátí do doby před krizí, je podnik se současnou flotilou transportérů schopný obstarat transport ve výrobě prostřednictvím skupiny VZV až do 20% nárůstu požadavků.

Hranice 20% nárůstu je na druhou stranu kritická pro transportéry Volvo v okamžiku, kdy se podnik k této hranici bude potřeba pořídit další manipulátor tohoto typu a přiřadit ho do Volvo skupiny.

### **6.9.4 Potřebné množství transportérů v závislosti na dnech**

Data v kapitole 6.8.6 vypovídají o tom, že v současné době není ve skupině Volvo důvod upravovat počty transportérů v závislosti na dnech díky jejich konstantnímu využití.

U skupiny VZV by na druhou stranu tento přístup stál za zvážení, protože rozdíl téměř 18 % mezi minimálním a maximálním využitím je již celkem markantní.

## 6.10 Návrhy a doporučení

Pro zefektivnění využití transportérů ve společnosti Schwarzmüller Žebrák a tím i snížení nákladů jsem na základě pozorování a analýzy simulačních scénářů, současného stavu národního průmyslu, a se zohledněním veškerých nepředpokládaných událostí které se letos vyskytly navrhl následující doporučení (seřazeno podle významnosti):

### 1) Snížit počet transportérů ve skupině VZV o 1

V rámci simulačních scénářů se nenašel jediný, ve kterém by odebrání jednoho transportéru této skupiny způsobilo jejich nedostatek pro stále stejně efektivní transport podniku.

### 2) Zachovat počet transportérů ve skupině Volvo

Počet transportérů ve skupině Volvo je v současnosti ideální. Přidání, byť jen jediného by způsobilo neefektivní nakládání se zdroji, odebrání pak nedostatek pro podnikové potřeby.

### 3) Zvážit využití transportérů skupiny VZV v pátek

V pátek jsou tyto transportéry využívány jen z poloviny, nabízí se tedy možnost ušetřit náklady za jejich využívání v daný den tím, že se na tento jeden den v týdnu odstaví.

### 4) Zvážit možnosti systému řízení transportérů

V případě, kdy by firma pořídila centralizovaný systém řízení transportérů, byla by možná počítačová optimalizace efektivity. Poptávající na transport by do systému zadal svoji pozici, cílovou pozici a program by sám přiřadil nejefektivnější formu transportu.

### 5) Přiřazení transportérů k jednotlivým zónám

S ohledem na nemožnost přemístění samotných technologií uvnitř závodu navrhuji přiřadit transportéry na nejexponovanější místa, tím by došlo ke zkrácení časů. Zóny nemusí být nutně definovány stejně jako v této práci. Prověření ideálního výchozího rozmístění transportérů bohužel nebylo kvůli omezeným možnostem licence Expres SW FlexSim možno provést.

### 6) Sledovat množství požadavků pro možné rozšíření flotily

V případě, kdy se budou hodnoty požadavků blížit ke 120 % stavu z února 2020, bude potřeba řešit rozšíření počtu VZV, v závislosti na tom, jestli se společnost rozhodne jeden transportér v současné době ubrat (viz bod 1). V okamžiku dosažení stavu 120% výroby z února 2020 bude opět potřeba 6 transportérů VZV. Zároveň bude potřeba za těchto podmínek pořídít třetí transportér ze skupiny Volvo.



## **7) Zkonsolidovat výbavu jednotlivých transportérů ve skupině VZV**

Některé z manipulátorů nedisponovaly v době sběru dat senzorem zatížení. Díky tomu vznikaly nesrovnalosti ve stavu vozíků (práce, pohyb, volnoběh).

## **8) Upravit nastavení výstupů v SW TDM G2**

SW exportuje časové údaje i po vteřinových úsecích, pokud se změní stav transportéru. Takto krátké časové úseky jsou nerelevantní pro použití v simulačním prostředí, pokud by bylo možné nastavit filtry po delších časových úsecích, určitě by to usnadnilo práci s daty a zvýšilo jejich přehlednost.

## Závěr

Díky zvyšujícímu se tempu technologického vývoje a rostoucímu množství konkurence je potřeba neustále zavádět nové technologie a postupy pro úsporu nákladů, případně inovovat stávající. Za tímto účelem se společnost Schwarzmüller Žebrák rozhodla implementovat SW na sledování manipulačních jednotek v reálném čase. Na základě datových podkladů z tohoto SW bylo možné vytvořit simulační model, který v první řadě podniku přinesl data o současném využití manipulátorů, a dále předpověděl jejich potřebu v budoucnu na základě hypotetických scénářů.

K dosažení hlavního cíle této práce bylo v první řadě analyzovat současný stav a potencionální scénáře budoucího vývoje v oblasti vnitropodnikového transportu ve společnosti, a na základě těchto podkladů navrhnout možnosti pro dosažení vyšší efektivity transportu za pomoci simulačního SW. K dosažení tohoto cíle bylo potřeba nejdříve utřídit a analyzovat data o reálném systému. Na základě logistického typu problému byl zvolen simulační SW FlexSim pro samotné vytvoření simulačního modelu. Po vytvoření modelu bylo nejprve potřeba ověřit, jak moc odpovídá reálnému systému, a následně jeho vypovídající schopnost. K tomu bylo potřeba vytvořit program v MS Excel, který poskytoval dynamická data k jednotlivým simulačním běhům.

Po ověření validity modelu byly detailně specifikovány jednotlivé scénáře. Ty byly buďto reálné, sloužily k porovnání stavu mezi dvěma časovými úseky, nebo hypotetické, zkoumaly, co se stane, v případě, kdy se změní některý z parametrů systému. Po provedení simulačních běhů pro jednotlivé scénáře bylo potřeba analyzovat výstupní data, graficky je zpracovat a interpretovat jejich význam. Hlavní výstupní data pro jednotlivé scénáře (s výjimkou šestého, který je detailněji popsán níže) se nacházejí v Tab. 24.

Tab. 24 - Využití jednotlivých skupin manipulátorů podle scénářů

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Využití VZV (%)	79,61	89,59	100	78,63	93,59	X	71,53	84,94	100
Využití Volvo (%)	79,60	83,41	83,41	99,08	99,08	X	63,21	62,49	63,67

Zdroj: Vlastní

Šestý scénář se lišil v podstatě zkoumání, kdy vstupní časový úsek nebyl souvislý, ale jednalo se o data pro jednotlivé dny, proto jsou výstupní data z něj interpretována samostatně v Tab. 25.

Tab. 25 - Využití jednotlivých skupin manipulátorů po dnech v týdnu

	Pondělí	Úterý	Středa	Čtvrtek	Pátek
Využití VZV	72,22	65,23	67,96	66,18	54,39
Využití Volvo	79,92	77,13	81,12	75,43	78,54

Zdroj: Vlastní

Na základě těchto výstupních dat byla navržena opatření, která by měla přinést vyšší efektivitu využití transportérů v podniku a minimalizaci s tím spojených nákladů, to vše při minimálním riziku a s ohledem na ostatní výrobní a nevýrobní faktory. Mezi nejvýznamnější opatření patří možnost snížení počtu manipulátorů ve skupině VZV o jeden, zachování počtu ve skupině Volvo, případně navrhnout úpravu využití v jednotlivých dnech v týdnu, který by vyrovnal potřebu manipulátorů mezi jednotlivými dny.

Dalším přínosem práce je také fakt, že podnik v tento moment disponuje jednoduše ovladatelným modelem závodu, který může sloužit k testování dalších budoucích scénářů.

## Zdroje

**Almanach produkce -katalog firem a produktů pro průmysl. 2017.** *Vozíky s automatickým řízením: Automatic-guided vehicles.* [Web] Český Těšín : Trade Media International, Trade Media International, 2017.

**Arena. 2020.** Arena Simulation Software. *Arena Features.* [Online] 2020. [Citace: 15. 06 2020.] <https://www.arenasimulation.com/what-is-simulation/discrete-event-simulation-software>.

**AxiomTech. 2020.** Plant Simulation. *AxiomTech.* [Online] 2020. [Citace: 15. 06 2020.] <https://www.axiomtech.cz/25357-texnomatix-plant-simulation>.

**Bakešová, Miroslava a Křestán, Vladimír . 2008.** *Základy Logistiky.* Jihlava : Vysoká škola polytechnická Jihlava, 2008. ISBN 978-80-87035-08-5.

**Banerjee, P. a Golhar, D. Y. 1993.** *Implementation: A Comparative study of JIT and Non-JIT Manufacturing Firms.* místo neznámé : Emerald, 1993. Sv. 23. ISSN 0960-0035.

**Beaverstock, Malcolm, a další. 2012.** *Applied Simulation: Modeling and Analysis using flexsim.* Orem : FlexSim Software Products Inc., 2012. . ISBN 978-0-9832319-2-9.

**Božecký, Jan. 2012.** *NÁVRH OPTIMALIZACE USPOŘÁDÁNÍ TECHNOLOGICKÝCH PRACOVIŠT V MALÉM STROJÍRENSKÉM PODNIKU.* Brno : Fakulta strojního inženýrství, 2012.

**Božek, P., Rybanský, R. a Vidová, H. 2006.** *Výrobní logistika.* Bratislava : STU Bratislava, 2006. ISBN 80-227-2463-7.

**CCSMP. 2006.** Council of Supply Chain Management Professionals. *CCSMP.* [Online] 2006. [cscmp.org](http://cscmp.org).

**Česká ergonomická společnost. 2004.** Co je to ergonomie. *Oborový portál pro BOZP.* [Online] 12. 05 2004. [Citace: 12. 06 2020.] <https://www.bozpinfo.cz/co-je-ergonomie>.

**Čvanda, Petr. 2010.** *Technologický projekt výroby rotačních součástí.* Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010.

**Dlouhý, Martin. 2007.** *Simulace podnikových procesů.* Brno : Computer press, 2007. ISBN 978-80-251-1649-4.

**Dubravcová, Jitka a Dubravec, Petr. 1998.** Dubravec. *Výrobní logistika.* [Online] 2. 3 1998. [Citace: 9. 6 2020.] <http://www.dubravec.cz/dubravcovi/cl000002.htm#a1>.

**Ducháčková, Eva. 2017.** *Optimalizace logistických nákladů ve výrobním podniku.* Liberec : Technická univerzita Liberec, 2017.

**Fišer, Jakub. 2008.** *Skladové hospodářství konkrétního podniku.* Brno : Masarykova univerzita, 2008.

- FlexSim. 2020.** Welcome to Flexsim. *FlexSim.com*. [Online] 2020. [Citace: 22. 06 2020.] <https://docs.flexsim.com/en/20.1/Introduction/Welcome/>.
- Gros, Ivan a kol. 2016.** *Velká kniha LOGISTIKY*. Praha 6 : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. ISBN 978-80-7080-952-5.
- Gros, Ivan. 1996.** *Logistika*. Praha 6 : Vysoká škola chemicko-technologická, 1996. ISBN 80-7080-262-6.
- Horváth, Gejza. 2007.** *Logistika ve výrobním podniku*. Plzeň : Západočeská univerzita, 2007. ISBN 978-80-7043-634-9.
- Hosni, Adra. 2007.** Logistics and Warehouse Simulation Simulation --Case Study. *Dynamicssimulationonline*. [Online] 2007. [Citace: 13. 06 2020.] <http://www.dynamicsimulationonline.com/processIndustryModelingSimulation/Logistics%20simulation.pdf>.
- Jurová, Marie a kol. 2016.** *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha : Grada publishing, 2016. ISBN 978-80-271-9330-1.
- Kadlec, Zdeněk a Mach, Martin. 2018.** *Projekt: Výroba ozubeného kola*. Praha : ČVUT Fakulta strojní, 2018.
- Katedra výrobních systémů a automatizace TUL.** Výrobní logistika, plánování, řízení výroby a počítačová simulace. *Katedra výrobních systémů a automatizace*. [Online] [Citace: 12. 06 2020.] <http://www.ksa.tul.cz/profirmy/vyrobní-logistika-planovani-rizeni-vyroby-a-pocitacova-simulace>.
- Keřkovský, Miroslav a Valsa, Ondřej. 2012.** *Moderní přístupy k řízení výroby*. místo neznámé : CH.Beck, 2012. 978-80-7179-319-9.
- Kišo. 2018.** *Využití mobilního robota ve vybraném provozu společnosti ŠKODA AUTO a.s.* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2018.
- Kohler, Tomáš. 2017.** *NÁVRH AUTOMATICKÉHO VOZÍKU AGV*. Brno : VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2017.
- Kovář, Miroslav. 2010.** *Optimalizace vnitřního materiálového toku*. Brno : ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY VUT, 2010.
- Lambert, Douglas, Stock, James R. a Eran, Lisa M. 1998.** *Fundamentals of Logistics Management* . místo neznámé : McGraw-Hill, 1998. ISBN 13: 9780256141177.
- Law, Averill M. 2007.** *Simulation modeling and analysis*. Tucson, Arizona : McGraw-Hill, 2007. ISBN 978-0-07-298843-7.
- Machková , Hana, Černošlávková, Eva a Sato, Alexej. 2003.** *Mezinárodní obchodní operace*. Praha : Grada Publishing, 2003. ISBN 80-247-0686-5 .
- Mašíň, Ivan. 2003.** *Mapování hodnotového toku ve výrobních procesech*. Liberec : .Institut průmyslového inženýrství, 2003. ISBN 80-902235-9-.

- Mikuš, Marek. 2018.** *Ověření logistického konceptu řízení zásob.* Brno : Ústav automobilního a dopravního inženýrství VUT, 2018.
- Miras. 2019.** Miraslebl . *Miraslebl personal WEB.* [Online] 2019. <https://www.miras.cz/seminarky/logistika/vyrobni-logistika.php>.
- MŠMaTV. 2009.** Modelování dopravy na pozemních komunikacích (ČÁST 3). *Stránky Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy.* [Online] Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava, 2009. [Citace: 16. 06 2020.] <http://projekt150.havel.cz/node/96>.
- Nagy, Martin. 2016.** *Simulace a optimalizace výrobního procesu při aplikaci vstřikovacích forem v lisovnách.* Brno : Ústav strojírenské technologie VUT , 2016.
- Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. 2007.** § 28 odst. 1 nařízení vlády č. 361/2007 Sb., nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. *Zákony pro lidi.cz.* [Online] AION CS 2010-2020, 2007. [Citace: 11. 6 2020.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361#p28-1>.
- Pernica, Petr. 1994.** *Logistika : vymezení a teoretické základy : určeno pro stud. Podnikohospodářské fak. VŠE Praha.* Praha : VŠE Praha, 1994. ISBN 80-7079-820-3.
- . 2005. *Logistika pro 21. století: Supply chain management.* Praha : Radix, 2005. ISBN 80-86031-59-4.
- Pešek, Ondřej. 2016.** *NÁVRH NOVÉHO ROZMÍSTĚNÍ TECHNOLOGICKÝCH PRACOVÍŠŤ V PROVOZU VÝROBY MĚDĚNÝCH DÍLCŮ.* Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2016.
- ProModel. 2020.** ProModel Products. *ProModel.* [Online] 2020. [Citace: 16. 06 2020.] <https://www.promodel.com/products/ProModel>.
- Průšová, Lenka. 2016.** *Optimalizace oděvní výroby aplikací počítačové simulace v prostředí systému Witness.* Liberec : Katera oděvnictví TUL, 2016.
- Reiterová, Alice. 2011.** *Optimalizace vybraného distribučního řetězce.* České Budějovice : JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH, 2011.
- Rödl, Martin. 2014.** *Racionalizace zásobování montážních linek.* Plzeň : Fakulta strojní západočeské univerzity, 2014.
- Rumíšek, Pavel. 1991.** *Technologické projekty.* Brno : VUT Brno, 1991. ISBN 80-214-0385-3.
- Ryšavý, Jan. 2009.** *Význam logistiky v dopravních podnicích ČR.* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2009.
- Scholz, Pavel. 2020.** Digitální Podnik;. *Moodle vyuka.* [Online] 25. 02 2020. [Citace: 12. 06 2020.]

- Schwarz Müller. 2020.** Press Material. *Schwarz Müller*. [Online] 05 2020. [Citace: 28. 06 2020.] [https://www.schwarzmueller.com/fileadmin/info\\_kontakt/pressematerial/en/schwarzmueller\\_medienbasistext\\_2020\\_en.pdf](https://www.schwarzmueller.com/fileadmin/info_kontakt/pressematerial/en/schwarzmueller_medienbasistext_2020_en.pdf).
- Simul8. 2016.** Simul8. *Simul8*. [Online] 2016. [Citace: 15. 06 2020.] <https://www.simul8.com/products/>.
- Sixta, Josef a Mačát, Václav. 2005.** *Logistika: Teorie a praxe*. Brno : Computer Press, 2005. ISBN 8025105733.
- Skácal, Pavel. 2011.** *Logistický řetězec, hmotné a informační toky v podniku CEDES Logistik*. Olomouc : Moravská vysoká škola olomouc, 2011.
- Smart TDM G2. 2020.** Uživatelský manuál základních číselníků a funkcí. *GXSolutions.cz*. [Online] 2020. [Citace: 22. 06 2020.] <http://gxsolutions.cz/Smart-TDM-G2-MCZ.pdf>.
- Stehlík, Antonín a Kapoun, Josef. 2008.** *Logistika pro manažery*. Praha : Ekopress, 2008. ISBN 8086929378.
- Susko, Petr. 2010.** *Výrobní logistika*. Brno : VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2010.
- Štůsek, Jaromír. 2007.** *Řízení provozu v logistických řetězcích*. místo neznámé : C. H. Beck, 2007. ISBN 8071795346.
- Ulrych, Zdeněk a Miller, Antonín. 2013.** SystemOnLine. *Simulace logistických toků a zásobování materiálem*. [Online] 12. 12 2013. [Citace: 12. 06 2020.] <https://m.systemonline.cz/rizeni-vyroby/simulace-logisticky-toku-a-zasobovani-materielem.htm>. ISSN 1802-615X.
- Votava, Václav, a další. 2008.** *Simulace ve strojírenství*. Plzeň : Západočeská univerzita Plzeň, 2008. ISBN 978-80-7043-659-2.
- Witness. 2019.** Process Modeling & Simulation Software -WITNESS 14. *Witness*. [Online] Lanner.com, 2019. [Citace: 15. 06 2020.] Process Modeling & Simulation Software -WITNESS 14. <http://www.lanner.com/en/witness/>.

## Seznam obrázků

Obr. 1 - Evoluce logistiky .....	14
Obr. 2 - Členění logistiky .....	15
Obr. 3 - Rozdělení cílů logistiky .....	16
Obr. 4 - Postavení výrobní logistiky ve výrobním řetězci.....	19
Obr. 5 - Postup při užití tlačného systému .....	22
Obr. 6 - Pojetí JiT.....	23
Obr. 7 - Podstata Kanbanového systému .....	25
Obr. 8 - Náležitosti Kanbanových karet .....	25
Obr. 9 - Volné uspořádání .....	27
Obr. 10 - Technologické uspořádání.....	27
Obr. 11- Předmětné uspořádání .....	28
Obr. 12 - Modulární uspořádání .....	28
Obr. 13 - Buňkové uspořádání .....	28
Obr. 14 - Layout pracoviště s materiálovými toky.....	29
Obr. 15 - Šachovnicová tabulka .....	31
Obr. 16 - Sankeyův diagram materiálových toků .....	31
Obr. 17 - Spaghetti diagram.....	32
Obr. 18 - Vývojový diagram .....	32
Obr. 19 - Value Stream Mapping .....	33
Obr. 20 - Varianty nástaveb na palety.....	35
Obr. 21 - Rozdělení vozíků s motorovým pohonem .....	37
Obr. 22 - Možnosti uspořádání VZV .....	38
Obr. 23 - Části VZV, Vozík HELI 1-3,5t.....	38
Obr. 24 - Porovnání spojitě a diskrétní funkce .....	43
Obr. 25 - Hierarchie podniku .....	48
Obr. 26 - Druhy grafů .....	49
Obr. 27 - Model výrobního systému v SW Arena.....	51
Obr. 28 - Model výrobního systému v prostředí SW Extend .....	52
Obr. 29 - Prostředí SW Simprocess .....	52
Obr. 30 - Prostředí SW Simul8.....	53
Obr. 31 - UI SW Witness .....	54
Obr. 32 - UI SW Tecnomatix Plant Simulation.....	54
Obr. 33 - UI SW ProModel .....	55
Obr. 34 - Kroky v simulační studii .....	56
Obr. 35 - Segmentovaný sklápěcí návěs .....	60
Obr. 36 - Třístranný sklápěcí návěs .....	60
Obr. 37 - Základní UI SW Smart TDM G2.....	61
Obr. 38 - Příklad dat exportovaných do MS Excel .....	63
Obr. 39 - UI k návrhu 3D modelu .....	64
Obr. 40 - UI k návrhu procesního toku .....	67
Obr. 41 - Knihovna k řízení procesních toků .....	67
Obr. 42 - Činnosti a jejich návaznost v simulační studii .....	69
Obr. 43 - Účel využití jednotlivého SW.....	69
Obr. 44 - Rozdělení zón v podniku .....	70



Obr. 45 - První verze 3D modelu v SW Flexsim .....	71
Obr. 46 - Nastavení labels pro ltemy .....	72
Obr. 47 - Nastavení barvy vstupujícího objektu .....	73
Obr. 48 - Naprogramování uzlů pro správnou volbu cesty .....	74
Obr. 49 - Konečný stav 3D modelu.....	75
Obr. 50 - Procesní tok k přepravě pomocí VZV.....	75
Obr. 51 - Využití jednotlivých listů v MS Excel. <b>Chyba! Záložka není definována.</b>	
Obr. 52 - UI Záložky MASTER.....	78
Obr. 53 - Kontingenční tabulka pro naložené VZV, Průměrná hodnota .....	79
Obr. 54 - Ukázka listu Výpočty.....	80
Obr. 55 - Ukázka záložky Generátor.....	81
Obr. 56 - Ukázka dat připravených k importu do SW FlexSim .....	81
Obr. 57 - Vzorová výstupní data simulačních běhů .....	84
Obr. 58 - Využití transportérů v závislosti na časovém úseku .....	94

## Seznam grafů

Sada grafů 1 - Validace modelu.....	82
Sada grafů 2 - Výstupní hodnoty Scénáře 1 .....	85
Sada grafů 3 - Výstupní hodnoty scénáře 2 .....	86
Sada grafů 4 – Výstupní hodnoty scénáře 3 .....	87
Sada grafů 5 - Výstupní hodnoty scénáře 4 .....	88
Sada grafů 6 – Výstupní hodnoty scénáře 5 .....	89
Sada grafů 7 - Výstupní hodnoty scénáře 6 .....	90
Sada grafů 8- Výstupní hodnoty scénáře 7 .....	91
Sada grafů 9 - Výstupní hodnoty scénáře 8 .....	92
Sada grafů 10 - Výstupní hodnoty scénáře 9.....	93

## Seznam Tabulek

Tab. 1 - Základní logistické činnosti dle Grosse .....	17
Tab. 2 - Rozdělení aktivit logistiky podle Štůska .....	18
Tab. 3 - Rozdělení aktivit logistiky podle Štůska .....	24
Tab. 4 - Druhy palet .....	35
Tab. 5 - Druhy rizik při manuální manipulaci .....	35
Tab. 6 - Druhy podnikových IS ovlivňující výrobní logistiku .....	41
Tab. 7 - Výhody a nevýhody simulací .....	46
Tab. 8 - Základní údaje o společnosti .....	59
Tab. 9 - Nastavení základních jednotek .....	63
Tab. 10 - Diskrétní objekty v knihovně FlexSim .....	65
Tab. 11 - Vzdálenosti mezi zónami .....	73
Tab. 12 - Možnosti nastavení zdroje .....	76
Tab. 13 - Klíč pro přiřazení labelů itemů dle tokenu .....	76
Tab. 14 - Klíč pro startovní destinaci .....	76
Tab. 15 - Klíč pro cílovou destinaci .....	77
Tab. 16 - Využití importovaných tabulek .....	77
Tab. 17 - Nastavení filtrů pro záložky průměr .....	79
Tab. 18 - Nastavení filtrů pro záložky směrodatné odchyly .....	79
Tab. 19 - Ukázkový kód listu Generátor .....	81
Tab. 20 - Validace modelu .....	82
Tab. 21 - Základní atributy scénářů .....	83
Tab. 22 - Využití transportérů v závislosti na dni .....	90
Tab. 23 - Přehled interpretace výsledků .....	94
Tab. 24 - Využití jednotlivých skupin manipulátorů podle scénářů .....	98
Tab. 25 - Využití jednotlivých skupin manipulátorů po dnech v týdnu .....	99

## Seznam příloh

### 1. Fyzický nosič CD1

#### Obsah:

- a. MASTER EXCEL.xlsx; *zpracování dat a generování požadavků;*
- b. Výstupy.xlsx; *zpracování výstupních dat;*
- c. Základní model.fsm; *základní simulační model v SW FlexSim*