



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MODELOVÁNÍ ZPŮSOBŮ ŘÍZENÍ ZÁSOB A ZÁSOBOVÁNÍ VÝROBNÍ LINKY

MODELLING OF VARIOUS INVENTORY MANAGEMENT METHODS AND
PRODUCTION LINE DELIVERY CONCEPTS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Alexandr Kopytko

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Hloska, Ph.D.

Zadaní bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Alexandr Kopytko**
Studijní program: Strojrenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Hloska, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Modelování způsobů řízení zásob a zásobování výrobní linky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Sestavení přehledu teoretických modelů řízení zásob a vytvoření simulačního modelu uvažujícího sklad materiálu a výrobní linku pro každý z těchto způsobů řízení.

Cíle bakalářské práce:

Sestavení přehledu teoretických modelů řízení zásob a vytvoření pro každý z těchto způsobů simulační model uvažující sklad materiálu a výrobní linku.

Provedení kritické diskuze parametrů modelů řízení zásob vzhledem ke vstupním parametrům vytvořených simulačních modelů.

Zvolení jednoho z vytvořených simulačních modelů a rozšíření o simulaci různých způsobů procesu zásobování výrobní linky materiálem z hlediska použitých přepravních a manipulačních prostředků a řízení jejich činnosti.

Určení vhodných výkonnostních ukazatelů modelovaného systému a uvedení přehledu vstupních parametrů, které ovlivňují hodnoty těchto ukazatelů.

Navržení matice simulačních experimentů, pomocí kterých bude možné kvantitativně zhodnotit vliv hodnot vstupních parametrů na sledované výstupní ukazatele. Provedení a vyhodnocení simulačních experimentů.

Seznam doporučené literatury:

KÜHN, Wolfgang. Digitale Fabrik. München [u.a.]: Hanser, 2006. ISBN 978-344-6406-193.

LAW, Averill. M. Simulation Modeling and Analysis. Fourth edition. Singapore : Mc Graw Hill, 2007.

978-007-125519-6.

BANGSOW, Steffen. Tecnomatix Plant Simulation. 2nd ed. New York: Springer, 2020, ISBN 978--030-41543-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Obsahem této bakalářské práce je přehled teoretických modelů řízení zásob a jejich namodelování v softwaru Plant Simulation od společnosti Siemens. Namodelované systémy jsou podrobeny experimentům s cílem zjistit vlivy jednotlivých vstupních parametrů na výrobní produkci. Jeden z modelů je rozšířen o různá manipulační zařízení. U manipulačních zařízení je zkoumán vliv řídicích parametrů na jejich efektivitu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Logistika, materiálový tok, simulační metoda, zásobování, manipulační zařízení, matice experimentů.

ABSTRACT

The content of this bachelor thesis is an overview of theoretical models of inventory management and their modeling in Plant Simulation software from Siemens. The modeled systems are subjected to experiments in order to determine the effects of individual input parameters on production. One of the models is extended by various handling equipment. In the case of handling equipment, the influence of control parameters on their efficiency is investigated.

KEYWORDS

Logistics, material flow, simulation method, supply, handling equipment, matrix of experiments.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Kopytko, A. *Modelování způsobu řízení zásob a zásobování výrobní linky*. Brno, 2021. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 56 s. Vedoucí diplomové práce Jiří Hloska.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jiří Hloska, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 21. května 2021

.....

Alexandr Kopytko

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Hloskovi, Ph.D. za cenné rady a odbornou pomoc, bez které by tato práce nevznikla.

Taktéž děkuji mé rodině a blízkým za trpělivost a podporu během studia, díky které jsem neztratil motivaci dovést práci do konce.

OBSAH

Úvod.....	11
1 Teoretická část.....	12
1.1 Teorie zásob.....	12
1.1.1 Řízení zásob.....	12
1.2 Modely zásob.....	15
1.2.1 Typy modelů zásob.....	16
1.3 Materiálový a informační tok.....	17
1.3.1 Materiálový tok.....	18
1.3.2 Informační tok.....	20
1.4 Logistické řetězce.....	20
1.4.1 Články logistického řetězce.....	20
1.4.2 Tradiční řetězce s přetržitými toky.....	20
1.4.3 Řetězce s kontinuálními toky.....	21
1.4.4 Řetězce se synchronním tokem.....	21
1.5 Vliv modelu poptávky na řízení zásob.....	22
1.5.1 Push systém.....	22
1.5.2 Pull systém.....	22
1.5.3 Závislá poptávka.....	23
1.5.4 Nezávislá poptávka.....	23
1.6 Logistické technologie.....	23
1.6.1 Kanban.....	23
1.6.2 Just-in-time.....	24
1.6.3 Just-in-sequence.....	25
1.7 Manipulační a přepravní zařízení.....	26
1.7.1 Válečkové tratě.....	26
1.7.2 Ruční manipulace.....	26
1.8 Simulační metoda.....	26
1.8.1 Rozdělení simulací.....	27
1.8.2 Software plant simulation.....	27
2 Praktická část.....	28
2.1 Mapa toků hodnot.....	28
2.1.1 Kanban.....	28
2.1.2 Just-In-Sequence.....	29
2.1.3 Just-In-Time.....	30
2.2 Provádění experimentů.....	30
2.2.1 Vstupní parametry a parametry řízení zásob.....	30
2.2.2 Dodací čas.....	32
2.2.3 Poruchovost.....	34
2.2.4 Směnový režim.....	35
2.2.5 Signální hladina a velikost odvolávek.....	35
2.3 Vyhodnocení provedených experimentů.....	41
2.4 Implementace manipulačních prostředků.....	42
2.4.1 Válečkový dopravník.....	42
2.4.2 Ruční manipulace.....	46
2.5 Vyhodnocení provedených experimentů.....	49

Závěr	50
Seznam použitých zkratek a symbolů.....	53
Seznam příloh	54

ÚVOD

Nedílnou součástí velkých prosperujících podniků je správně fungující logistika. Vhodně zajištěná manipulace s materiálem a informacemi o materiálu přináší podniku jistou ekonomickou výhodu a stabilitu výrobního procesu, ať už se jedná o vnitropodnikovou manipulaci, nebo dodávání materiálu od externího dodavatele.

K navržení výrobních a manipulačních procesů se používají simulační softwary jako je Plant Simulation od společnosti Siemens. Tento software byl v této bakalářské práci využit k vytvoření několika různých druhů modelů zásobování uvažujících sklad a výrobní linku.

Před spuštěním simulačního softwaru je důležité si určit, co je potřeba vytvořit, jak to má fungovat a jakých výsledků je třeba dosáhnout. V daném případě je potřeba se seznámit s logistikou a porozumět problematice, se kterou se zde lze setkat. Různé způsoby řízení zásobování a vytváření odvolávek byly vymyšleny již v minulém století, tyto metody a modely lze aplikovat, nebo je dobré si nimi aspoň inspirovat.

Pro dosažení co nejpřesnějších výsledků blízcích se k realitě lze implementovat různé atributy, jako jsou prostoje, výrobní rychlosti, nebo rychlost manipulace na dopravních jednotkách. Tento proces, kdy se mění parametry a sleduje se jejich vliv, lze označit jako provádění experimentů.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 TEORIE ZÁSOB

Jedná se o rozpracovaný materiál, nebo hotové výrobky, které jsou skladovány a budou podrobeny výrobním procesům, nebo budou předány odběrateli. Jejich existence zajišťuje chod podniku a stálý provoz. [1] Přestože zásoby se vytváří proto, aby nedošlo k zastavení výroby a následným ztrátám, jejich existence způsobuje ekonomické zatížení podniku. Ekonomické zatížení podniku závisí na množství zásob a jejich materiálové hodnotě. Zásoby pro výrobu automobilů nebo letadel budou mnohem nákladnější, než zásoby pro výrobu domácí elektroniky. Zásoby mohou však být užitečné během sezonních výkyvů a nadměrné poptávky. Podniky, u kterých je stabilní poptávka po jejich zboží, ale materiál pro jeho výrobu je jenom sezonní, musí vytvářet zásoby, aby dokázali uspokojit celoroční poptávku trhu. V zemědělském průmyslu se můžeme setkat s rostoucí cenou zboží v závislosti na ročním období a době sklizně. V takovém případě podnik profituje z vytvořených zásob. Při nedostatečném množství zásob může podnik ztratit zákazníka, nebo zastavit výrobu. To může vést k větším výdajům, než by byly výdaje na skladování. [2] Některé podniky vytváří tzv. spekulativní zásoby. Podnik nakoupí materiál za sníženou cenu a později prodá za cenu zvýšenou. Je ovšem potřeba zvážit, zda zisk z prodeje bude vyšší, než náklady na skladování. [3]

Zásoby vnikají i ve výrobě mezi výrobními operacemi. Zajišťují plynulost a návaznost výrobních operací bez prostojů, jejich nadbytek však zvyšuje náklady. Proto je důležité dobré plánování a řízení zásob. [1]

Za součást běžných zásob se považují i tzv. „zásoby na cestě“. Jedná se například o materiál, který se nachází na cestě od dodavatele k odběrateli. Tento materiál však není dostupný z hlediska dodávky, nebo prodeje, dokud nedorazí k odběrateli. [2]

1.1.1 ŘÍZENÍ ZÁSOB

Cílem je, aby bylo na skladě dostatečné množství zásob pro uspokojení poptávky. [4] Figuruje zde dvě hlavní proměnné, a to jsou říditelné a neříditelné proměnné, které ovlivňují celý proces řízení zásob. Pro realizaci výpočtů se používají pomocné proměnné. Přeměňují vstupní hodnoty na výstupní. Setkat se můžeme i s nákladovými proměnnými, které figuruje v neříditelných a pomocných proměnných. [5]

Pomocí říditelných proměnných rozhodujeme o tom, kdy a v jakém množství je dobré vytvářet, nebo doplňovat zásoby. [5]

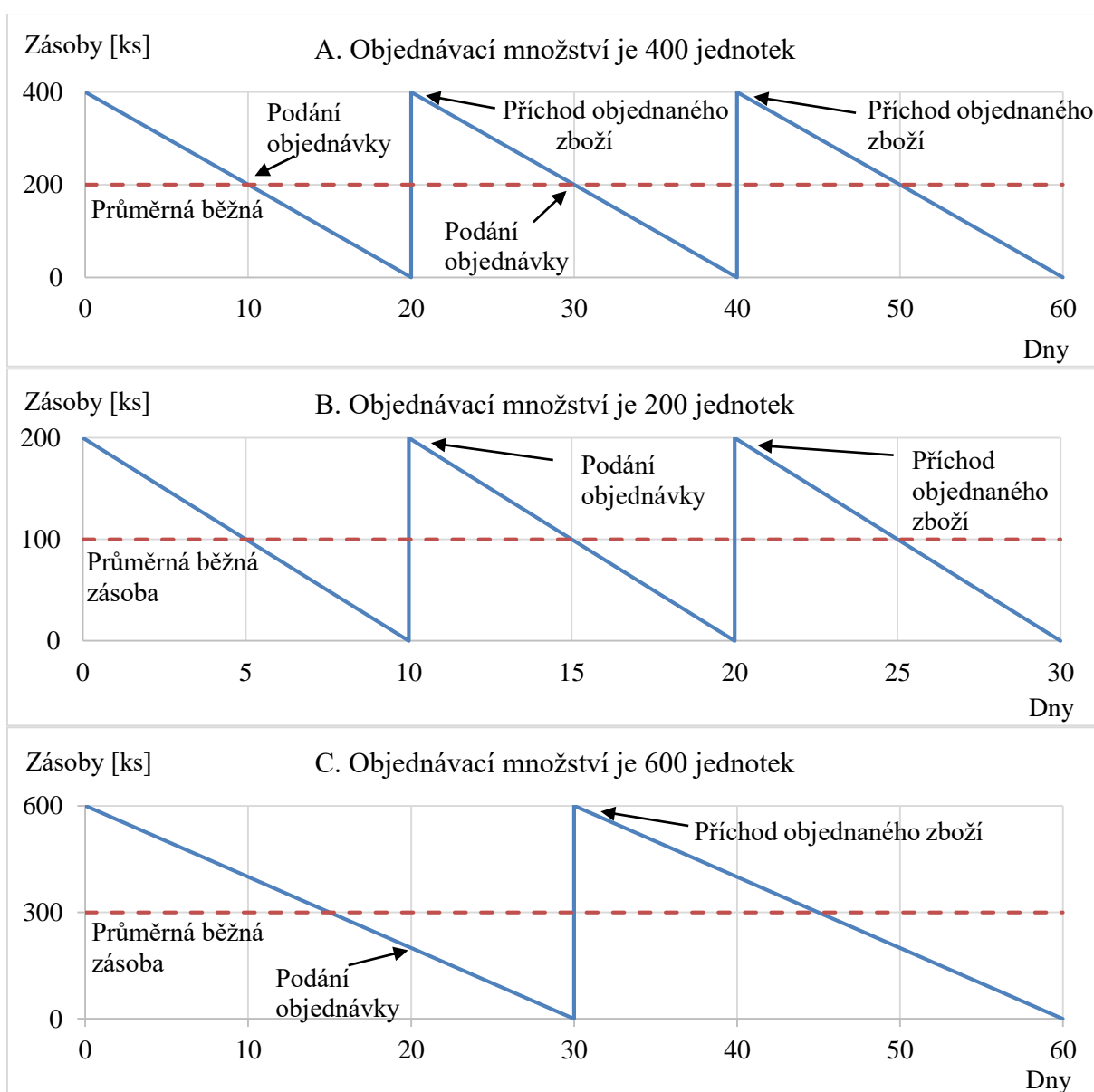
- Velikost objednávky: Zásoby jsou zpravidla doplňovány ve stejném, nebo různém množství. Předpokládáme, že množství dodaného zboží je shodné s velikostí objednávky.
- Délka dodávaného cyklu: Jedná se o čas, který uběhne mezi jednotlivými objednávkami materiálu.
- Objednávací úroveň: Jedná se o limitní množství přítomného materiálu na skladě, kdy při jeho dosažení se odesílá objednávka na doplnění skladu.

- Pojistná zásoba: Slouží k dočasnému zajištění fungování výroby za předpokladu, že nedojde ke včasnému doplnění materiálu.

Neřiditelné proměnné nelze ovlivnit a kolikrát ani predikovat. [5]

- Celková roční poptávka: Jedná se o vytvoření predikce roční spotřeby materiálu.
- Pořizovací lhůta dodávky: Vyjadřuje čas, který uběhne od vytvoření objednávky po doplnění materiálu na sklad. [5]

Nákladové proměnné dělíme do dvou kategorií podle jejich zařazení. Jednotkové nákladové proměnné, jako jsou skladovací, fixní pořizovací a náklady z nedostatku zásob řadíme mezi neřiditelné proměnné, zbylé celkové roční, celkové roční fixní pořizovací a celkové roční náklady z nedostatku zásob mezi pomocné proměnné. [5]



Obrázek 1.: Vliv objednávacího množství na průměrný stav zásob v podmínkách konstantní poptávky a konstantní celkové doby doplnění zásob [1]

Následující výpočty jsou uvedeny podle [6]

Průměrná zásoba u výrobce:

$$\bar{Z}_v = \frac{Z_{max}}{2} \quad (1)$$

Frekvence dodávek z výroby:

$$f_1 = \frac{Q}{2 \cdot \bar{Z}_v} \quad (2)$$

Velikost dodávky do prodejny:

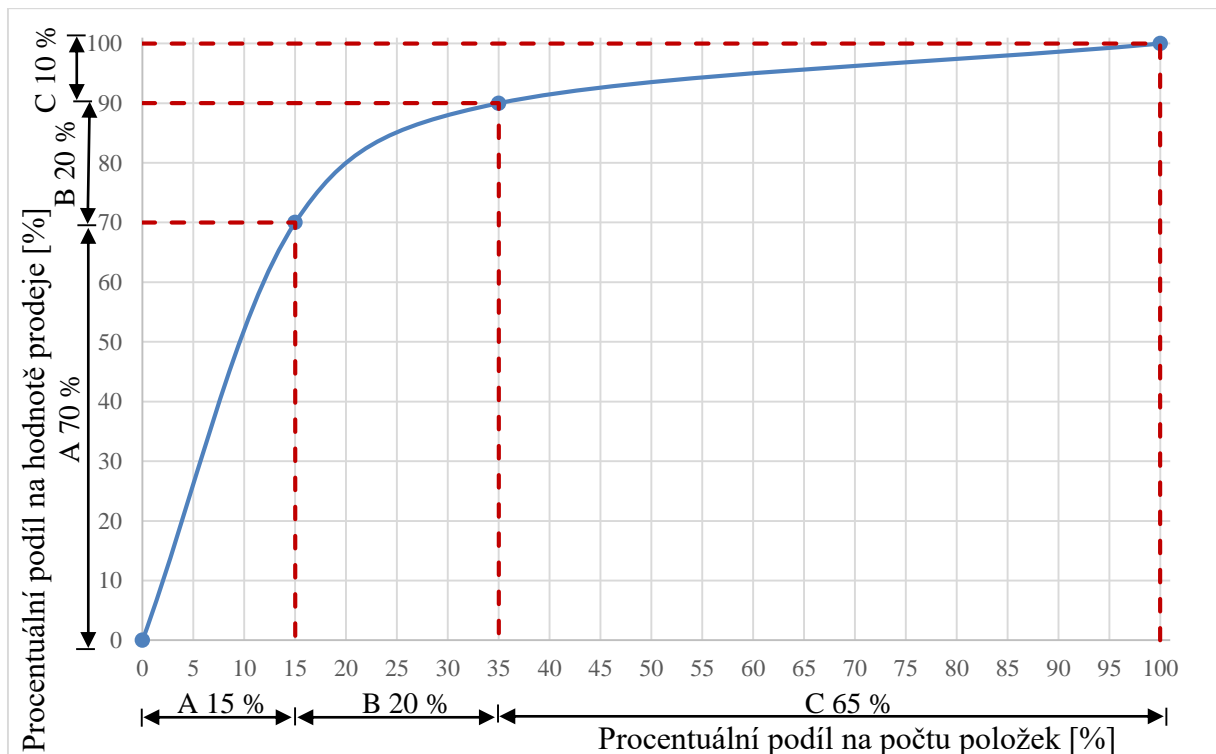
$$q_2 = \frac{Q}{f_2} \quad (3)$$

Průměrná zásoba v meziskladu:

$$\bar{Z}_s = \frac{Q}{2} \cdot \frac{f_2 - f_1}{f_1 \cdot f_2} \quad (4)$$

ABC ANALÝZA

ABC analýza se používá pro klasifikování materiálu dle jeho hodnoty a množství. Rozděluje materiál do tří nebo více skupin podle jeho důležitosti. Položky A zastupují 15 % materiálu a 70 % zisku, položky B 20 % materiálu a 20 % zisku a položky C 65 % materiálu a 10 % zisku. Graficky to lze vyjádřit následujícím způsobem: [4]



Obrázek 2.: Klasifikace položek podle analýzy ABC [4]

Materiál ve skupině A způsobuje velkou ekonomickou vytíženost podniku kvůli jeho velké ekonomické hodnotě. Je proto velice důležité provádět pravidelné inventury materiálu a dbát na správné velikosti objednávek v závislosti na poptávce. [6] V mnoha případech je běžné, že malý počet hodnotných položek zabírá velký podíl na objemu zásobování. Tomuto „efektu“ se říká Paretovo pravidlo - uvádí se poměr 80:20, tj. např. ~20 % veškeré populace vlastní ~80 % veškerého majetku. V takovém případě je vhodné použít metodu synchronního zásobování, aby nedošlo k nepotřebnému umrtvení kapitálu. [7]

XYZ ANALÝZA

Klasifikuje materiál dle jeho spotřeby. Materiál s pravidelnou spotřebou a pouze příležitostnými výkyvy je označován X. Pro tento materiál pak lze stanovit synchronizovaný systém zásobování s výrobními procesy a není potřeba vytvářet velké zásoby. Zásoby, u kterých nastávají velké sezónní výkyvy, které nelze zcela přesně predikovat, se označují Y. Je proto potřeba vytvořit určité množství zásob, které by dokázaly dané výkyvy pokrýt. Poslední kategorií jsou zásoby, u kterých nelze predikovat odbyt a jejich spotřeba je nepravidelná, jejich označení je Z. U tohoto produktu lze vytvořit dostatečně velkou pojistnou zásobu, nebo vytvářet speciální objednávky, které mohou způsobit vyšší náklady. [6]

Rozdělení může provést zkušený pracovník na základě jeho znalostí, nebo jej lze stanovit pomocí variačního koeficientu statisticky. Po určení variačního koeficientu se položky seřadí vzestupně. Do skupiny X se zařadí položky s hodnotou do 50 %, do skupiny Y s hodnotou mezi 50 % a 90 % a do skupiny Z se zařadí zbývající položky. [6]

Výpočet variačního koeficientu pro každou položku [6]:

$$V_i = \frac{s_i}{\bar{h}_i} \cdot 100 \quad (5)$$

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (h_{ij} - \bar{h}_i)^2} \quad (6)$$

1.2 MODEL Y ZÁSOB

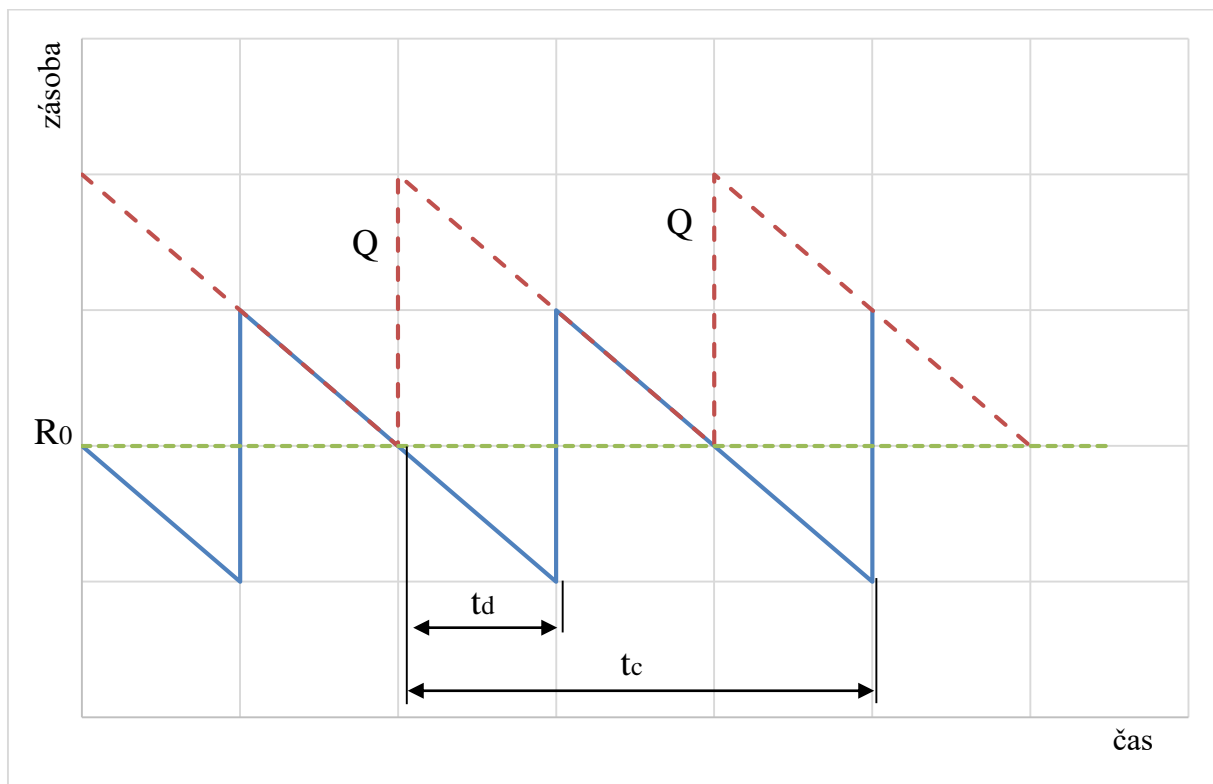
Rozdělují se dle jejich potřeby, poptávky, pořizovací lhůty zásob a jejich časovém faktoru. [5]

- Deterministický systém: je předem známé množství odebíraného materiálu v určitém časovém období a pořizovací lhůta.
- Stochastický systém: množství odebíraného materiálu můžeme určit jenom teoreticky a pořizovací lhůta je neurčitá.
- Statický systém: množství odebíraného materiálu je konstantní a bez výkyvů, nezávisle na čase.
- Dynamický systém: množství odebíraného materiálu se mění v závislosti na čase. Může se jednat například o sezónní výkyvy.

1.2.1 TYPY MODELŮ ZÁSOB

SYSTÉMY S PEVNOU VELIKOSTÍ OBJEDNÁVKY

Množství objednávaného zboží je vždy konstantní a rozlišujeme zde pouze okamžik, během kterého se vytvoří objednávka na dodání nového materiálu. Signál pro objednání může vzniknout při dosažení signální hladiny zásob, tento typ modelu nazýváme (R_oQ). Kontrola stavu zboží na skladu se provádí pomocí automatizační nebo informační technologie. Jedná se o dražší způsob řízení, avšak průměrný stav zásob může být díky tomu nižší. [5]

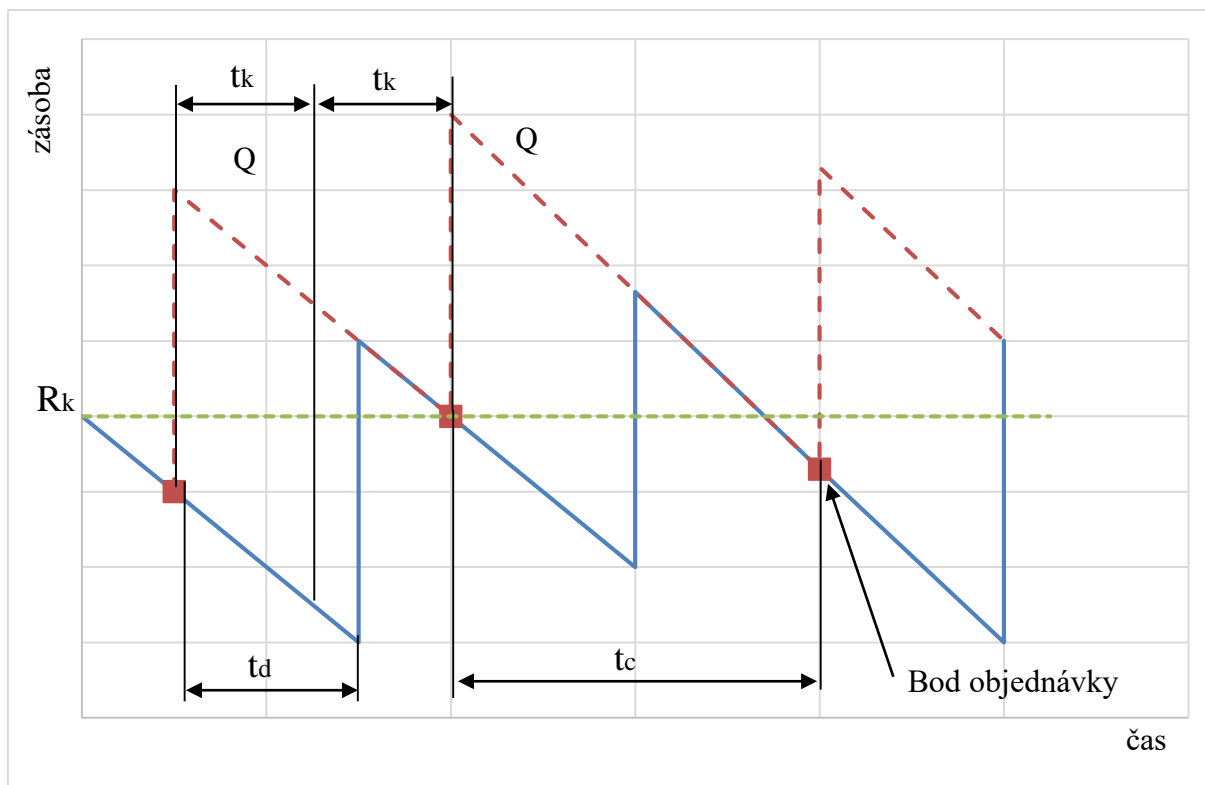


Obr 3.: Model s konstantní velikostí objednávky a s kontrolou zásob po každém výdeji (plnou čarou fyzická zásoba, čárkovaně dispoziční zásoba) [5]

Pro objednávací úroveň platí [5]:

$$R_o = p \cdot t_d \quad (7)$$

Při použití druhého typu modelu (R_kQ) se v pravidelných intervalech provádí kontrola stavu zboží na skladu a v závislosti na množství materiálu se provádí odvolávka. V takovém případě materiál může klesnout pod signální hladinu a bude dále ubývat, dokud se neprovede inventura a nezjistí se jeho pokles. Tento typ kontroly je jednodušší a levnější, jeho nevýhodou je riziko z vyčerpání zboží a nadměrné zásoby v porovnání s předchozím systémem kontroly. [5]



Obr 4.: Model s konstantní velikostí objednávky a pravidelnou kontrolou zásob (plnou čarou fyzická zásoba, čárkovaně dispoziční zásoba) [5]

Pro objednávací úroveň platí [5]:

$$R_k = p(t_d + \alpha \cdot t_k) \quad (8)$$

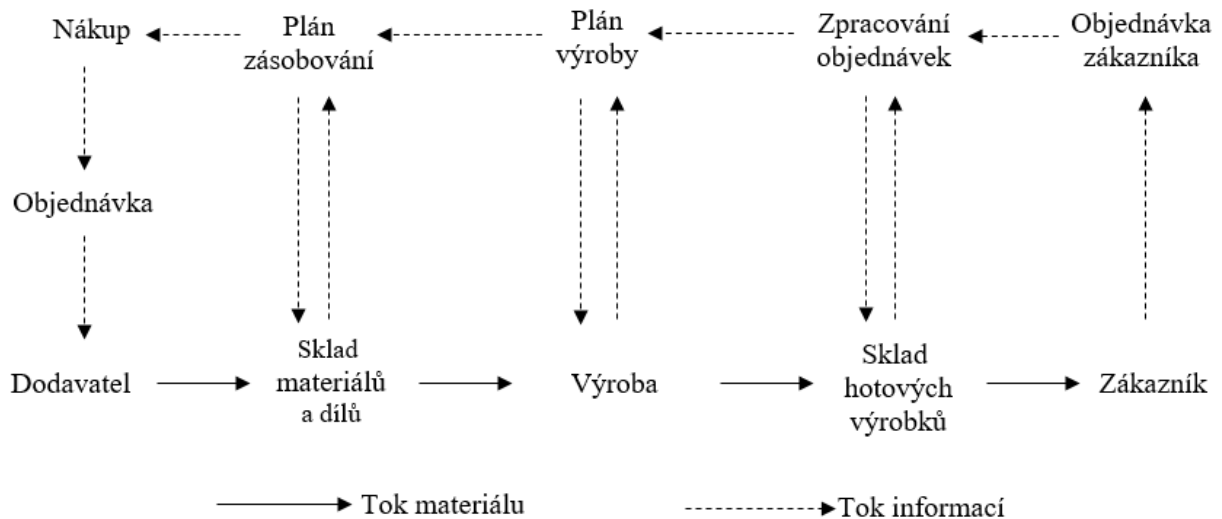
$$\alpha \in \langle 0,5; 0,7 \rangle$$

SYSTEMY S PEVNÝMI OBJEDNÁVACÍMI TERMÍNÝ

U tohoto systému se objednává zboží v pravidelných intervalech. Může se objednávat vždy konstantní, nebo proměnné množství materiálu. Objednané množství materiálu při proměnném zásobování se rovná rozdílu mezi požadovaným množstvím a dispozičním množstvím materiálu. Stejně jako u systému s pevnou velikostí objednávky, tak i tady se setkáváme s inventurou, která probíhá v pravidelných časových intervalech, nebo s inventurou, která probíhá pokaždé, když dojde ke snížení množství materiálu. [5]

1.3 MATERIÁLOVÝ A INFORMAČNÍ TOK

Důležitým aspektem logistiky je spojování dílčích procesů do celkového systému fungování. Správné řízení materiálového a informačního může ovlivnit efektivitu fungování celého podniku.



Obrázek 5.: Informační a materiálový tok [7]

1.3.1 MATERIÁLOVÝ TOK

Jedná se o základní tok, který reprezentuje veškerý pohyb materiálu. Počínaje u těžby surovin, přes jejich zpracování a výrobu až ke konečnému odběrateli hotového produktu. Patří sem i tok odpadu, který vznikne během zpracovávání suroviny nebo od konečného uživatele hotového produktu. [9]

AKTIVNÍ A PASIVNÍ PRVKY

Využívají se při organizaci materiálového toku a jsou definovány následovně [9]:

- Aktivní prvky ovlivňují pasivní prvky a jsou to zejména dopravní prostředky a manipulační zařízení.
- Pasivní prvky logistického řetězce jsou ovlivňovány prvky aktivními. Mezi ně patří přepravní a manipulační jednotky.

PŘEPRAVNÍ ŘETĚZEC

Reprezentuje veškeré přepravní operace. Od těžby suroviny, přes veškerá místa, kde se zpracovává, až po přepravu k zákazníkovi a následnou přepravu na odpadní místo. [9]

LOGISTICKÝ ŘETĚZEC

Logistický řetězec řeší veškeré činnosti, které souvisí s pohybem materiálu a zahrnuje do sebe přepravní řetězec a materiálový tok. Nejedná se jenom o plánování a organizaci materiálového toku, ale také o administrativní činnost a pohyb informací. [9]

DISKRÉTNÍ MATERIÁLOVÝ TOK

Ve většině případů se v simulacích logistického systému můžeme setkat s diskretním materiálovým tokem, kdy je materiál přepravován od zdroje ke spotřebnímu prvku. Přemísťovaným materiálem jsou zde kusové výrobky, může se jednat i o palety s výrobky. Pohyb materiálu probíhá v pravidelných či nepravidelných intervalech. [10]

PRŮCHODNOST

Je definovaná jako intenzita vstupu materiálu a rychlostí v , kterou se pohybuje přepravní zařízení. Její maximální hodnoty λ_{MAX} , například u pásového dopravníku, lze dosáhnout tehdy, když bude mezera mezi počátečními body jednotlivých výrobků rovna délce jednoho výrobku $s = s_0$. Obecný vztah pro průchodnost je definován následovně [10]:

$$\lambda = \frac{v}{s} \quad (9)$$

STUPEŇ VYTÍŽENÍ

Jedná se o procentuální veličinu, která nám udává, jaké bylo dosaženo průchodnosti v závislosti na její maximální hodnotě. Maximální stupeň vytížení je roven 100%, tedy $\lambda = \lambda_{MAX}$. Této hodnoty ovšem lze dosáhnout pouze teoreticky. Ve skutečném provozu musí být mezi jednotlivými výrobky z bezpečnostních důvodů rozestup. Stupeň vytížení je definován následujícím vztahem [10]:

$$\rho = \frac{\lambda}{\lambda_{MAX}} \quad (10)$$

TAKT

Definuje nám, kolik času uběhne mezi průchody jednotlivých prvků na konečné stanici v ústí materiálovém toku [10].

$$T = \frac{1}{\lambda} \quad (11)$$

DOBA MEZI PRŮCHODY

Je veličina podobná taktu, avšak rychlost v a rozestup mezi prvky s a délka materiálu s_0 není konstantní. „Dobu mezi průchody t pak je třeba chápat jako náhodnou veličinu s rozdělením daným hustotou pravděpodobnosti a distribuční funkcí (vyjadřující pravděpodobnost, že doba mezi průchody nepřekročí určitou hodnotu – zde dobu t_k).“ Pak platí vztah [10]:

$$0 \leq f(t) \leq \infty \rightarrow F(t_k) = \int_0^{t_k} f(t) dt \quad (12)$$

Střední doba mezi průchody:

$$E(t) = \int_0^{\infty} f(t) \quad (13)$$

DOBA PRŮCHODU

Jedná se časový údaj, který nám udává, jak dlouho trvalo, než jeden výrobek urazil vzdálenost l mezi body A a B. Předpokládá je ideální pracovní systém, kdy je rychlost v a rozestup s konstantní. Pak platí [10]:

$$\tau = \frac{l}{v} \quad (14)$$

1.3.2 INFORMAČNÍ TOK

V dnešní době je přenos informací realizován elektronicky pomocí počítačových technologií. Jedná se o obousměrný tok, který přenáší data s údaji mezi články. Může to být faktura, informace o stavu zboží, objednávka apod. Mezi některými uzly se můžeme setkat s vícesměrným pohybem informací. Jedná se třeba o informační systém pro řízení výroby. Je důležité umět s daty pracovat a získávat z nich potřebné informace. Správná práce s daty a jejich ochrana může zajistit podniku jistou konkurenční výhodu. [9]

1.4 LOGISTICKÉ ŘETĚZCE

Pod pojmem logistický řetězec můžeme chápat proces přemístování. Jedná se o informační a materiálový tok v dopravní, podnikové a obchodní sféře. V případě hmotného přemístování mluvíme o hotových výrobcích, surovém materiálu, osobách a dokonce i energiích. Informační přemístění zajišťuje realizaci a správnost hmotného přemístění. Do informačního přemístění můžeme však také započítat nehmotný pohyb peněz. [2]

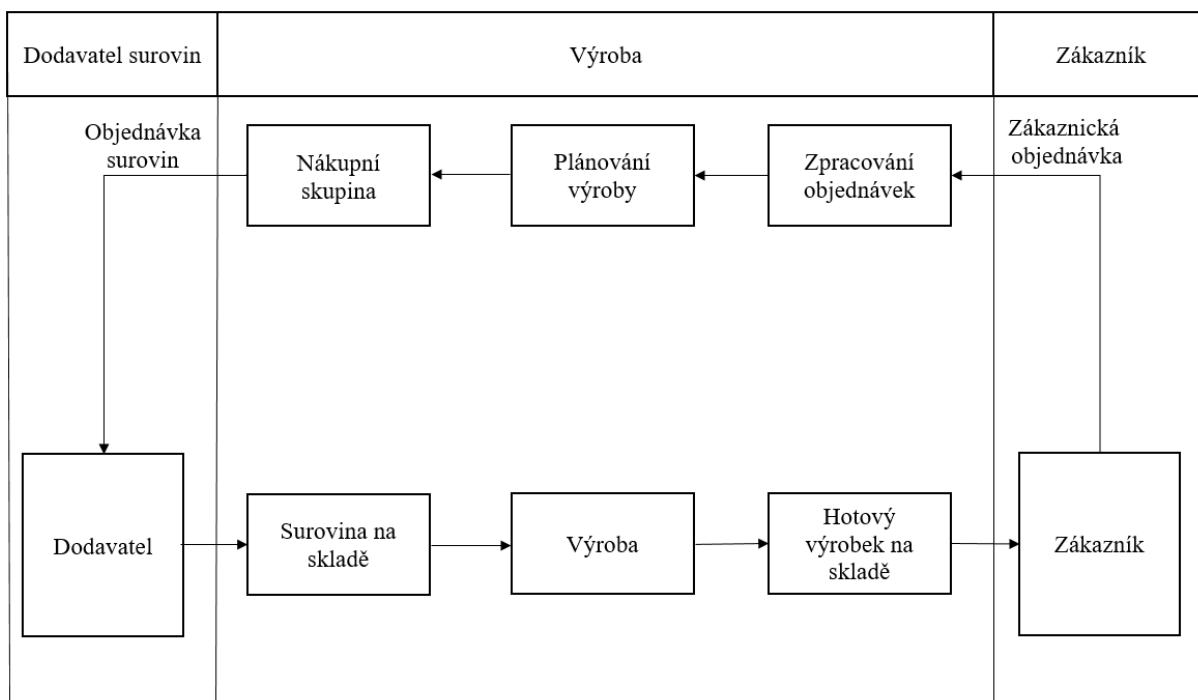
1.4.1 ČLÁNKY LOGISTICKÉHO ŘETĚZCE

S články logistického řetězce se můžeme setkat v dopravně a v podnicích. Mezi podnikové články mohou patřit továrny a jejich výrobní linky, dílny, sklady, atp. U dopravního sektoru to jsou železniční stanice, přístavy, překladiště, letiště, velkoobchodní sklady.

1.4.2 TRADIČNÍ ŘETĚZCE S PŘETRŽITÝMI TOKY

Mezi dodavatelem a odběratelem vznikne smlouva na základě možného odbytu. Materiál je odebírán ve velkém množství tak, aby bylo dosaženo množstevní slevy a výhodné ceny za přepravu. Následuje naskladnění materiálu a jeho spotřeba v rámci sériové výroby, kdy se hotové výrobky taktéž skladují a čekají na odbyt. Veškeré přemístování hmotného materiálu funguje na základě push principu (princip tlaku). Pokud dojde k vyčerpání zásob, vytvoří se nová objednávka a vyhotoví se nové zboží. Tento systém fungování může zapříčinit nadměrné zásoby hotových výrobků a surového materiálu a následné přerušení materiálového

a informačního toku a prostoje. [2] 95 % celkové průběžné doby v řetězci se promarní prostoji a skladováním. [11]



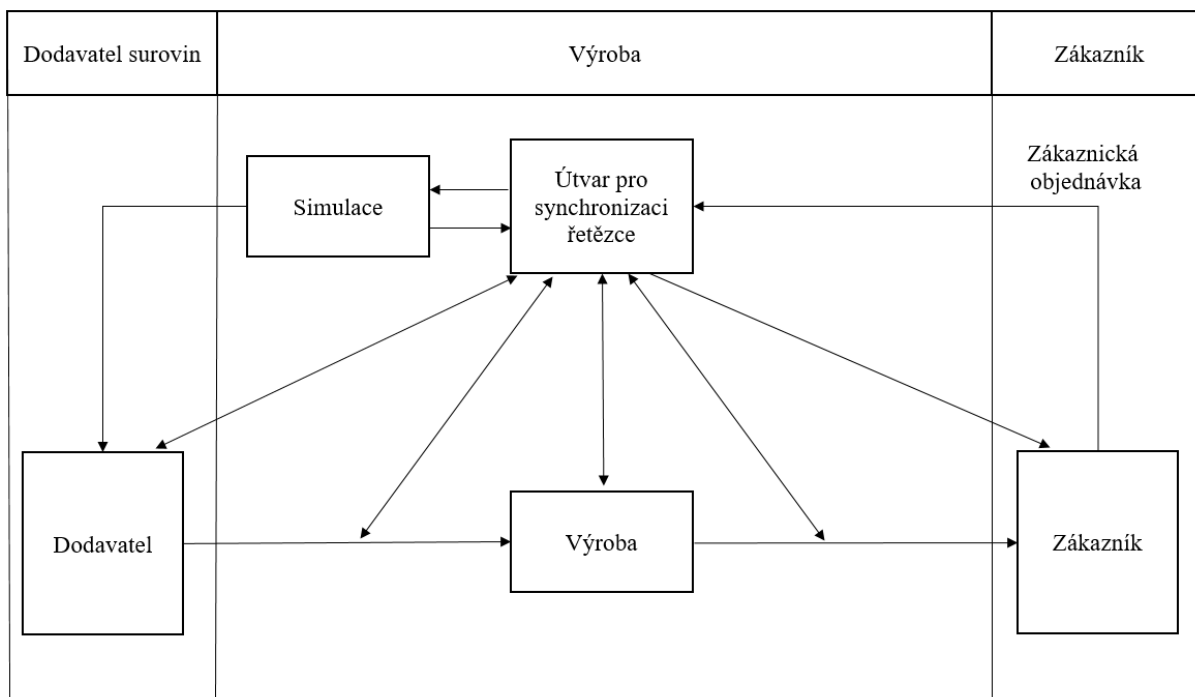
Obrázek 6.: Logistický řetězec s přetržitými toky [2]

1.4.3 ŘETĚZCE S KONTINUÁLNÍMI TOKY

Hlavním článkem je zde výroba, která musí být pružná a schopná reagovat na požadavky zákazníka. Podnik pracuje s technologií JIT (Just-in-Time), nebo JIS (Just-in-Sequence) a uplatňuje se zde Pull princip (princip tahu) pro veškeré hmotné toky. [2] Díky tomuto systému vznikají minimální nebo žádné zásoby mezi výrobou a dodavatelem a minimální zásoby hotových výrobků. Materiál je dodáván častěji a v menším množství, to zajišťuje podniku plynulejší fungování. [11]

1.4.4 ŘETĚZCE SE SYNCHRONNÍM TOKEM

Řetězec se synchronním tokem je tvořen dodavatelem, výrobcem a zákazníkem. Hlavní roli zde hraje řídicí článek, který synchronizuje výrobu v závislosti na objednávkách zákazníka a má přístup k veškerým informacím ve všech článcích v reálném čase. V jednotlivých článcích, i mezi nimi, se nachází pouze minimální množství materiálu. Tento systém dokáže pružně reagovat na požadavky zákazníka díky vzájemné informovanosti a dostupnosti simulačních programů, díky kterým lze experimentálně zjistit dopady na jednotlivé výrobní a přepravní změny. [11]



Obrázek 7.: Logistický řetězec se synchronními toky [2]

1.5 VLIV MODELU POPTÁVKY NA ŘÍZENÍ ZÁSOB

Jedná se o zásadní faktory, které ovlivňují metodu řízení zásob.

1.5.1 PUSH SYSTÉM

Výrobce predikuje poptávku po vyráběném materiálu. Dle toho je rozvržena výroba a materiál je „tlačen“ na trh. Při špatném sestavení predikce nebo změně poptávky může dojít k nadbytečnému naskladnění materiálu, o který není v danou chvíli zájem. V takovém případě podnik čelí zbytečné ekonomické zátěži. [4]

1.5.2 PULL SYSTÉM

Materiál se vyrábí v závislosti na poptávce. Výroba je zahájena, teprve když přijde odvolávka, nikoli dříve. Tento systém výroby umožňuje mít pouze malé nebo žádné zásoby, čímž podnik získává jistou ekonomickou výhodu. Dodávky materiálu je však potřeba provádět častěji a jejich cena může být proto vyšší. [4]

1.5.3 ZÁVISLÁ POPTÁVKA

Jedná se o materiál, který bude podléhat výrobním operacím. Jeho závislost je ovlivněná poptávkou po konečném výrobku, pro který bude materiál využit. Potřebu závislého materiálu lze stanovit z poptávky po konečném hotovém výrobku. [1]

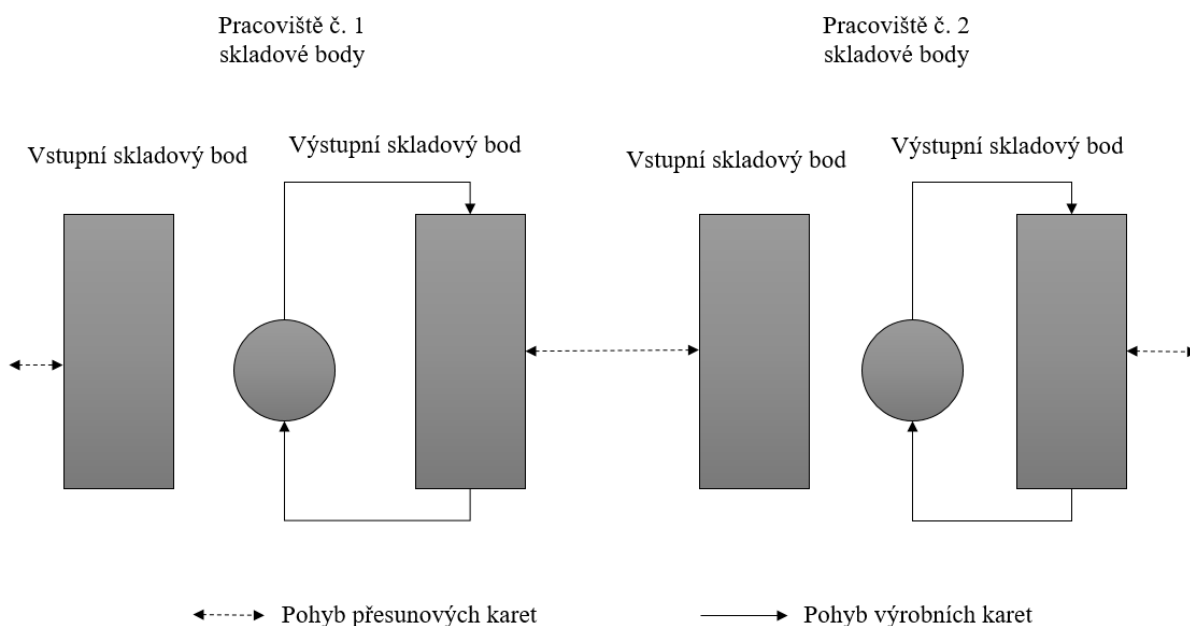
1.5.4 NEZÁVISLÁ POPTÁVKA

Jedná se hotový výrobek připravený k odbytu. Jeho odbyt závisí pouze na poptávce zákazníka, lze jej predikovat. [1]

1.6 LOGISTICKÉ TECHNOLOGIE

1.6.1 KANBAN


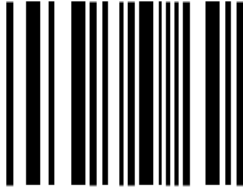
Jedná se o bezzásobovou technologii, která byla vyvinuta japonskou firmou Toyota Motors. Hlavním cílem je, aby výrobní materiál byl dodán přesně v ten moment, kdy jej výroba potřebuje. Využívá se zejména v automobilovém a strojírenském průmyslu, kde je velkosériová výroba s jednosměrným tokem materiálu. Systém je založený na principu samořídících regulačních okruhů, které jsou tvořeny dodávajícím článkem a odebírajícím článkem pracujícím na „pull principu“. Množství objednaného materiálu odpovídá obsahu dodaného dopravního prostředku. Dodavatel ručí za správné množství a potřebnou kvalitu dodaného materiálu. Odběratel se zavazuje danou objednávku převzít. Dalším předpokladem je, že spotřeba materiálu je rovnoměrná a bez velkých výkyvů v sortimentu či množství. Díky tomu je možné, aby dodavatel a odběratel nevytvářeli zásoby. [8]



Obrázek 8.: Systém kanbanových karet [12]

Nositelům informace jsou zde kanbanové karty. Využívají se zde dva druhy karet: tzv. „přesunové“ a „výrobní“. Daný proces probíhá následujícím způsobem: odběratel odešle objednávku ve formě prázdného dopravního prostředku s výrobní kanbanovou kartou dodavateli. Dodavatel po přijetí přepravního prostředku s výrobní kanbanovou kartou zahájí výrobu materiálu. Následně dodavatel naplní dopravní prostředek pevně daným množstvím a druhem materiálu a odešle ho spolu s pohybovou kanbanovou kartou odběrateli. [13]

Kanbanové karty vydává útvar operativního řízení v přesně daném množství v souladu s plánem finální montáže. Slouží zároveň jako dispečerský doklad o průběhu výroby.

Dodavatel: PU1	Zákazník: PU2
Popis: Production Unit 1	Umístění: Loc02
#Kanbans: 9	Kontejner: Box1
	Množství: 100
Vytvořeno: 10/12/2013 22:33:00	Popis: Item 012345
Vytištěno: 11/12/2013 12:10:11	
	Kanban ID:
INTEGRATED KANBAN SYSTEM	
Číslo dílu: 012345	

Obrázek 9.: Ukázka kanbanové karty [14]

1.6.2 JUST-IN-TIME

System JIT lze definovat následujícími způsoby:

- „Výrobní strategie, která výrazně snižuje výrobní náklady a zlepšuje kvalitu prostřednictvím eliminace ztrát a efektivnějšího využití zdrojů podniku.“[15]
- „Dostat správné materiály na správné místo ve správnou dobu.“[16]
- „Program, který se zaměřuje na eliminaci činností, které nepřidávají hodnotu, a to v rámci všech operací podniku; cílem je výroba vysoce kvalitních výrobků (nulový výskyt vad), vysoká úroveň produktivity, nižší stav zásob a rozvíjení dlouhodobých vztahů s ostatními články dodávkového řetězce.“[17]

Jedná se o rozšíření systému kanban, kde je propojen nákup, výroba a logistika, proto je technologie mimořádně náročná na zavádění a řízení. Systém byl vyvinut v 50. letech v Japonsku. Dle filozofie systému JIT jsou pojistné zásoby a zásoby na skladě nežádoucí a nepotřebné a jejich existence je zapříčiněná poruchami ve výrobě a řízení. [2] Ideální ekonomická velikost objednávky je jedna jednotka. Implementováním systému JIT lze dosáhnout značného zlepšení fungování firmy. S tím se můžeme setkat u firem jako je Rank Xerox, nebo Harley–Davidson, které díky danému systému dosáhly značného snížení nákladů a zlepšení výkonu fungování. [1]

Díky technologii JIT lze dosáhnout následujících výhod:

- snížení množství zásob ve výrobě a hotových výrobků
- zdokonalení úrovně řízení mezi všemi sektory výroby
- zlepšení produktivity a zrychlení doby cyklu výroby
- snížení nákladů na skladování v závislosti na množství přepravovaného zboží při jedné objednávce
- zlepšení zákaznického servisu

Nevýhody technologie JIT:

- zvýšené náklady na přepravu kvůli sníženému množství přepravovaného zboží
- zhoršení dopravní průjezdnosti na silnicích
- zvýšení škodlivého dopadu na ekosystém díky větší vytiženosti dopravních prostředků

Technologie není vhodná pro podniky, kde vznikají vysoké náklady při vyčerpání zásob, jelikož systém JIT snižuje hladinu zásob na minimum. Důležitou roli hraje geografická lokace dodavatele a odběratele zboží. Kvůli velké vzdálenosti, nebo špatné přístupnosti se může dodání zboží zkomplikovat a mít nepříznivý finanční dopad. [1]

1.6.3 JUST-IN-SEQUENCE

Technologie JIS je považována za zdokonalenou technologii JIT. Hlavní důraz se klade na pořadí dodávaných komponent. Systém si proto vyžaduje perfektní spolupráci mezi dodavatelem a odběratelem v plánování období a řízení dodávek. Zavedením této technologie může výrobce snížit množství zásob dílů u výrobní linky a vytvořit podmínky pro výrobu různých typů výrobků na jednom pracovišti. Sekvenci dodávek dílů od různých dodavatelů vytváří distributor, a následně je včasné dodává na výrobní linku, nebo jsou díly dodávány v požadované sekvenci přímo od dodavatele. V sekvenční technologii zásobování se můžeme setkat se sekvenčními kontejnery. Sekvenční kontejner obsahuje stejné díly různého provedení, například kapoty různých barev, nebo různé díly v závislosti na jejich potřebě během výroby. [18]

1.7 MANIPULAČNÍ A PŘEPRAVNÍ ZAŘÍZENÍ

Jedná se o tzv. aktivní prvky. Jedná se o technické prostředky, které zajišťují manipulaci s přepravu materiálu. Patří sem prostředky pro zdvih, prostředky pro stohování, dopravníky a dopravní prostředky. [26]

Dále se tato kapitola zabývá válečkovými dopravníky a ruční manipulací z důvodu jejich použitím v praktické části bakalářské práce.

Je potřeba zohlednit skupenství materiálu (pasivní prvek) pro zvolení vhodného dopravníku. Může se jednat o pevný materiál v sypkém stavu jako je písek nebo uhlí, dále to mohou být palety, bedny, kontejnery, nebo nakonec jednotlivé kusy, např. tyče, plechy. Kapalné a plynné materiály mohou být uloženy v manipulačních jednotkách, jako jsou sudy a tlakové láhve nebo se může jednat o volně ložený materiál, který je dopravován potrubím. [23]

1.7.1 VÁLEČKOVÉ TRATĚ

Válečková trať je tvořena otočnými válečky, jejichž čepy jsou uloženy v rámu konstrukce. Materiál je dopravován po válečkové trati nejčastěji kolmo k ose válečků. Trať nemusí být pouze rovná a přímá, může tvořit oblouky, klesat a stoupat. Tyto parametry je ovšem potřeba zohlednit při plánování dopravy a navrhování pohonu. [24] Pohyb materiálu může být způsoben gravitační tíhou tělesa, jedná se o gravitační trať, nebo může být pohyb vyvolán nuceně, například elektromotorem připojeným k válečkům. Válečkové tratě se používají v rámci vnitropodnikové dopravy materiálu. [25]

1.7.2 RUČNÍ MANIPULACE

S kusovým materiálem manipuluje člověk. Pokud se jedná o materiál standardní velikosti a váhy (velikost a váha výrobků, s kterou je dovoleno pracovníku manipulovat, je stanovena zaměstnavatelem) může pracovník materiál přenášet sám bez pomoci manipulační techniky. Pokud materiál přesahuje stanovené požadavky, je potřeba využít manipulační techniku.

1.8 SIMULAČNÍ METODA

Pomocí simulační metody lze navrhnout a zkoumat chování složitých modelů systému v různých podmínkách, jedná se o napodobení reálného systému. Díky tomu není potřeba systém skutečně realizovat pro jeho vyzkoušení a je možné ve výrazně zkráceném čase zjistit jeho dlouhodobé chování. [19] Skutečná realizace může být nákladná a komplikovaná. Při navrhování simulace je důležité co nejpřesněji napodobit skutečné faktory, jako je přísun materiálu, změny zakázek, směnový režim apod. Získané informace mohou být použity k posouzení strategie, vylepšení technologie a vyjasnění určitých rozhodnutí za předpokladu, že se stejně bude chovat modelovaný systém. [20] Je možné se setkat s různými simulačními programy pro simulaci materiálového toku, jako je Witness, SimPro, Simio, Arena, Dosimis-3 a Plant simulation.

1.8.1 ROZDĚLENÍ SIMULACÍ

Simulace se dělí do několika následných kategorií v závislosti na jejich chování. Stochastické modely uvažují a zohledňují vznik náhodných událostí a vlivů, které mohou nastat. Deterministické modely nezohledňují vznik náhodných událostí. V diskrétních simulacích se jako hlavní proměnná míní simulační čas. Simulační čas se posouvá od události k události. [5] Ve spojitě simulaci procesů nabývají proměnné všech hodnot, které jsou stanovené v určitém intervalu. Statické simulace zobrazují chování systému v daném časovém okamžiku. Dynamické simulace zachycují chování navrženého systému v závislosti na čase. [21]

1.8.2 SOFTWARE PLANT SIMULATION

Pro realizaci jednotlivých simulačních programů byl využit Software Plant Simulation od společnosti Siemens. Software nabízí jednoduchý a zřetelný přístup pro vytvoření diskrétních událostí. Pomocí digitálního přístupu lze vytvořit model výrobní linky, dopravníkového systému, i model jednoho stroje a zkoumat charakteristiky namodelovaného systému. Software také nabízí analytické nástroje. Jedná se o prvky, které analyzují data, (např. testy hypotéz, shody s rozdělením apod.), nebo nástroje jako Grantt chart, Sankey diagram apod. Dále jsou dostupné statistiky (určité hodnoty sledované proměnné jako je směrodatná odchylka, minimum, maximum, modus, průměr apod.) a grafy. Pomocí těchto nástrojů lze zkoumat nejen produktivitu daného systému a dobu průchodu z dlouhodobého hlediska, ale je možné také odhalit úzká místa. [22]

Knihovna obsahuje jednotlivé prvky, jako jsou „spojovací stanice, zdroj, pásový dopravník“, které lze spojovat a vytvářet funkční řetězce pro tok materiálu a informací. Jednotlivé prvky lze definovat pomocí funkcí, které se nabízí v jejich menu, nebo lze do prvku zapsat metodu (naprogramovat kód), díky kterému lze zadat přesné chování jednotlivých prvků v systému.

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Tato část bakalářské práce obsahuje navržené simulační modely třech různých typů zásobování skladu a výrobní linky. Následně je zde ukázka implementace manipulačních prostředků pro vnitropodnikové zásobování výrobní linky. Na závěr jsou popsány a vyhodnoceny experimenty, které byly provedeny změnou vstupních parametrů a přidáním chybovosti výrobní linky.

2.1 MAPA TOKŮ HODNOT

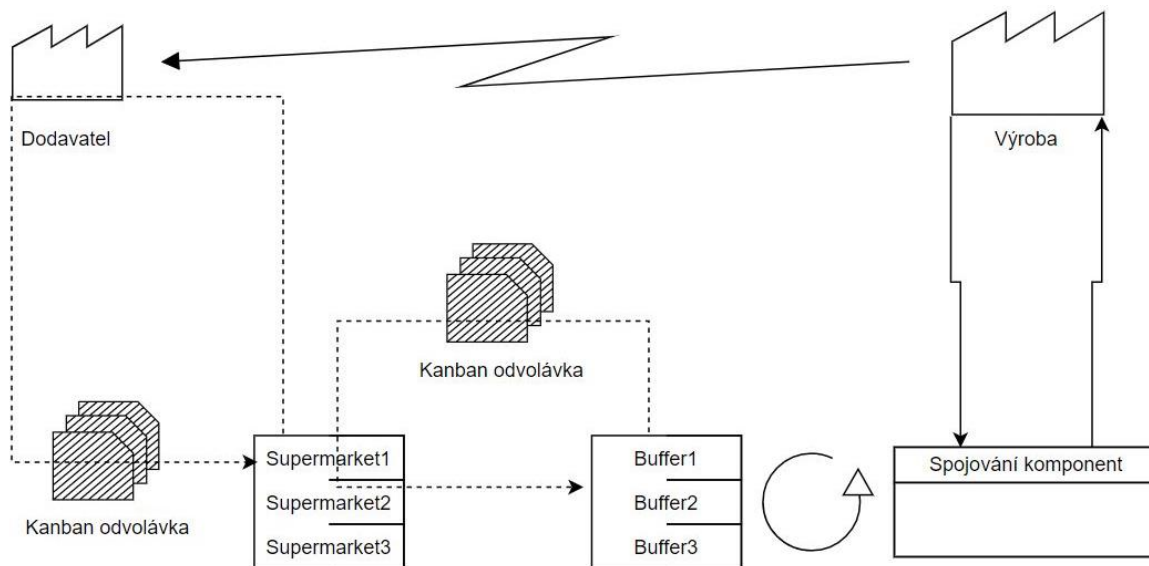
Před vytvořením simulačního modelu pomocí softwaru Plant Simulation byl vytvořen pojmový model, který znázorňuje princip fungování systému. Na začátku celého procesu je nadefinováno, jaké hlavní produkty bude výrobce vyrábět a jaké vedlejší produkty bude dodávat dodavatel. Tyto produkty budou následně spojeny podle barvy (červené díly s červenými výrobky, modré s modrými a zelené se zelenými). Supermarket znázorňuje hlavní sklad materiálu, buffer reprezentuje úložný zásobník, který se nachází před výrobní linkou a je do něj vloženo pouze pár kusů materiálu, aby nemusel být materiál pro každou montáž zavážen z hlavního skladu.

V příloze bakalářské práce jsou uloženy vytvořené simulační modely.

2.1.1 KANBAN

Na obrázku č. 10 můžeme vidět navržené schéma, pomocí kterého byla následně realizovaná simulace.

Výrobce zasílá dodavateli informaci o zahájení výroby. Dodavatel následně maximálně naplní supermarkety 1 - 3 a z něj jsou následně naplněny buffery 1 - 3 na maximální hodnotu. Potom, co klesne hladina materiálu v bufferu na signální hladinu, se do supermarketu odešle informace s požadavkem o doplnění materiálu, materiál v bufferu je následně doplněn. Když klesne hladina materiálu v supermarketu na signální hladinu, je dodavateli zaslána informace s požadavkem o dodání materiálu. Dodavatel následně dodá materiál.

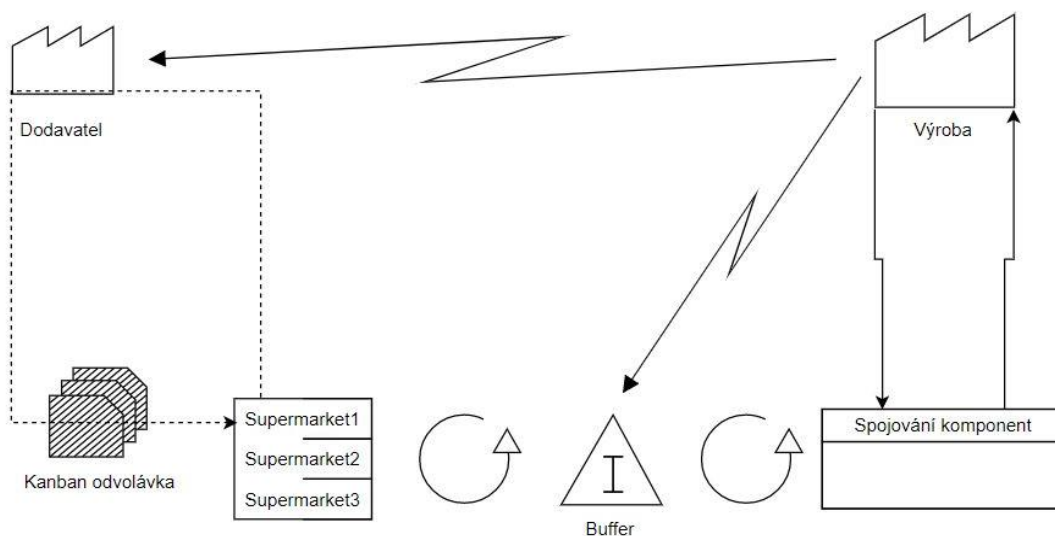


Obrázek 10.: Mapa toku materiálu a informací u systému kanban [zdroj: vlastní]

2.1.2 JUST-IN-SEQUENCE

Dodávání materiálu mezi dodavatelem a supermarketem 1-3 funguje na stejném principu, jako předchozí systém kanban. Systém JIS je implementován mezi supermarketem 1-3 a bufferem. K tomuto rozhodnutí došlo v rámci obohacení systému zásobování. Pokud by byl nastaven systém JIS mezi dodavatelem a supermarketem, potom by stačilo pouze nadefinovat stejné pořadí, ve kterém budou na linku přijíždět hlavní díly a vedlejší díly. V takovém případě by stačil pouze jeden supermarket a jeden buffer.

Před zahájením výroby dodavatel naplní supermarket 1-3 na maximální hodnotu. Do bufferu bude přesunut materiál v závislosti na informaci, která přijde z výrobní linky. Informace je zaslána ještě předtím, než hlavní díl doputuje na spojovací stanici. Tím vzniká dostatečná časová prodleva, aby byl vedlejší díl včas dodán ze supermarketu do bufferu.

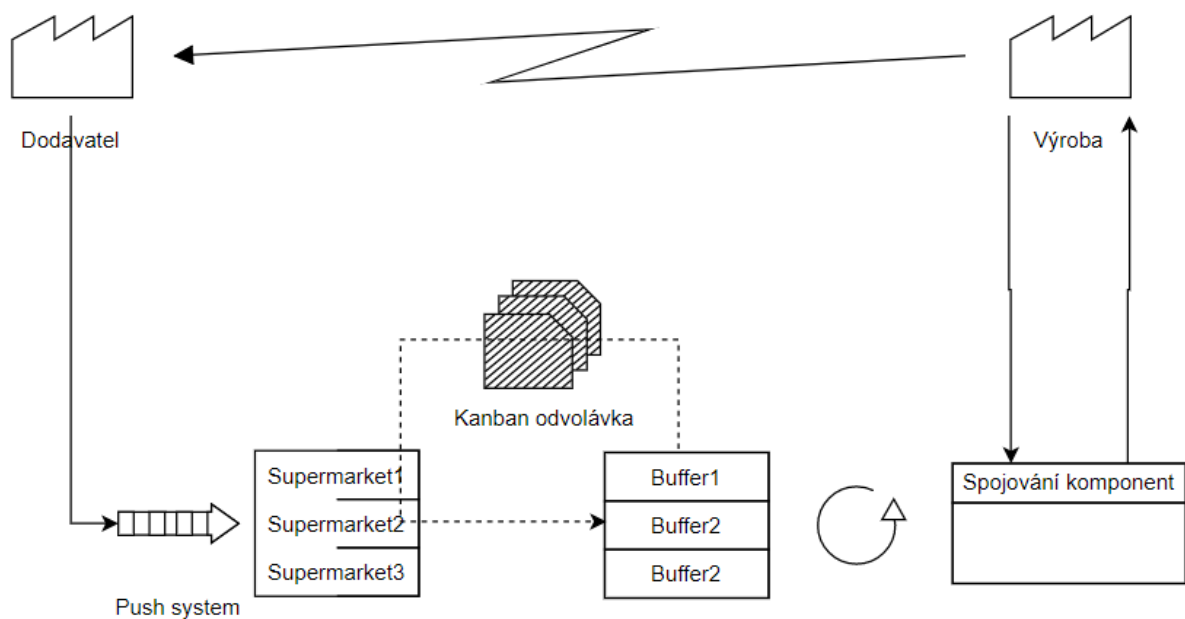


Obrázek 11.: Mapa toku materiálu a informací u systému JIS [zdroj: vlastní]

2.1.3 JUST-IN-TIME

V tomto případě je dodávání materiálu mezi dodavatelem a supermarkety 1-3 realizován systémem JIT. Dodávání materiálu do bufferu 1-3 je realizováno systémem kanban. Při zahájení procesu se dodavateli odešle informace o zahájení výroby a dodavatel dodává konstantní množství v pevně stanovených intervalech.

Systém JIT na dodávání materiálu ze supermarketu do bufferu byl vyhodnocen jako nevhodný. V případě že by došlo k zastavení výrobní linky nebo k poruše, hrozilo by okamžité přeplnění bufferu a zahlcení výroby nadbytečným materiálem. Taktéž nelze přesně určit výrobní sekvenci z krátkodobého hlediska.



Obrázek 12.: Mapa toku materiálu a informací u systému JIT [zdroj: vlastní]

2.2 PROVÁDĚNÍ EXPERIMENTŮ

Cílem všech simulačních modelů je co nejvíce se přiblížit ideální plánované produkci. Ideální produkce výrobní linky byla nastavena na 10 080 výrobků za 7 dní, to znamená jeden vyrobený výrobek za jednu minutu v ideálním provozu bez faktorů ovlivňujících nepřetržitý chod. Této produkce ovšem nelze v reálném případě dosáhnout kvůli prostojům, výrobním chybám, seřizování výrobních strojů a případným neplánovaným chybám při dodávání materiálu.

2.2.1 VSTUPNÍ PARAMETRY A PARAMETRY ŘÍZENÍ ZÁSOB

Intenzita materiálového toku na všech montážních linkách je jeden výrobek za jednu minutu. Na lince se vyskytují celkem tři druhy výrobků, které jsou rozděleny barvou. Vstupní sekvence těchto výrobků je nastavená náhodně, avšak z dlouhodobého hlediska bude dodržen poměr červená-modrá-zelená 3:2:5.

Tabulka 1.: Vstupní data zdroje na výrobní lince [zdroj: vlastní]

Zdroj na výrobní lince			
Prvek	Frekvence [%]	Intenzita [ks/min]	Název
.UserObjects.Transporter1	30	1	Cervena
.UserObjects.Transporter2	20	1	Modra
.UserObjects.Transporter3	50	1	Zelena

Dodání materiálu od dodavatele do supermarketů probíhá v ideálním případě okamžitě. Spojovací stanice pracuje s 0% chybovostí.

KANBAN

Kapacita jednotlivých supermarketů je navržena dle vstupní sekvence, aby byla zajištěná výroba na 90 minut.

Tabulka 2.: Vstupní data zásobníků [zdroj: vlastní]

Stanice	Kapacita [ks]	Signální hladina [ks]	Barva prvku
Supermarket1	27	9	Červená
Supermarket2	18	6	Modrá
Supermarket3	45	15	Zelená
Buffer1	5	2	Červená
Buffer2	5	2	Modrá
Buffer3	5	2	Zelená

JUST-IN-SEQUENCE

V tomto systému se vyskytuje pouze jeden buffer, do kterého jsou ukládány výrobky všech barev. Pokud dojde k jeho zaplnění, informace o požadovaném výrobku čeká ve frontě a požadovaný výrobek je doplněn po následném uvolnění místa.

Tabulka 3.: Vstupní data zásobníků [zdroj: vlastní]

Stanice	Kapacita [ks]	Signální hladina [ks]	Barva prvku
Supermarket1	27	9	Červená
Supermarket2	18	6	Modrá
Supermarket3	45	15	Zelená
Buffer	5	-	Červená Modrá Zelená

JUST-IN-TIME

Kapacita všech supermarketů je nastavená na neomezené množství (znázorněno symbolem -1) z důvodu možné nepřesnosti nastavení ideální sekvence dodávání materiálu.

Tabulka 4.: Vstupní data zásobníků [zdroj: vlastní]

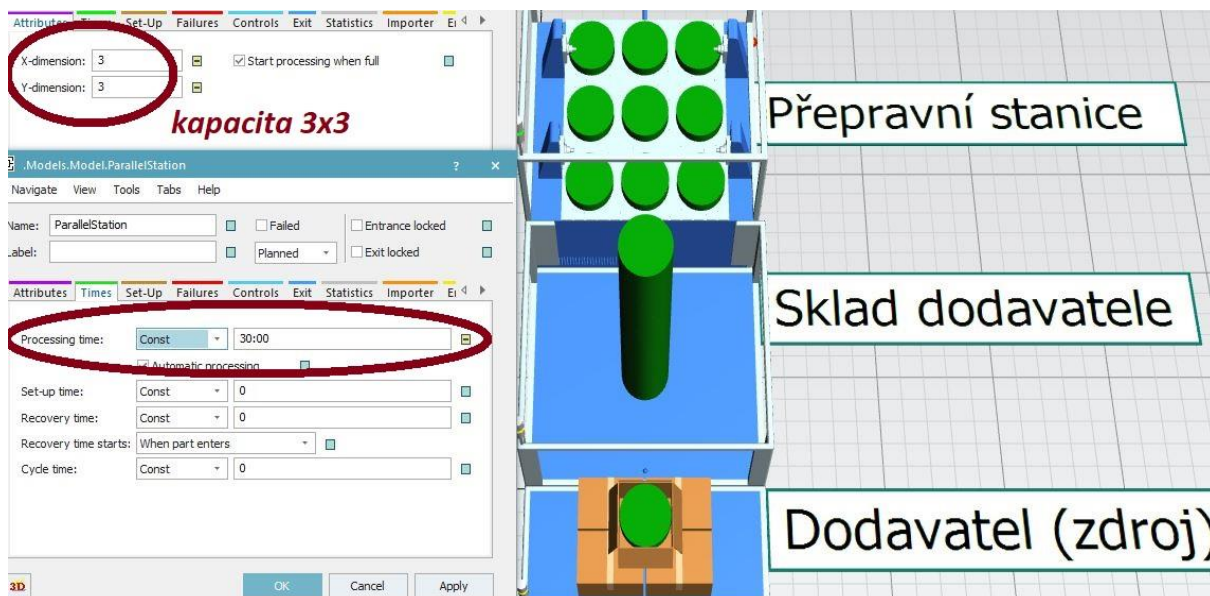
Stanice	Kapacita [ks]	Signální hladina [ks]	Barva prvku
Supermarket1	-1	-	Červená
Supermarket2	-1	-	Modrá
Supermarket3	-1	-	Zelená
Buffer1	5	2	Červená
Buffer2	5	2	Modrá
Buffer3	5	2	Zelená

2.2.2 DODACÍ ČAS

Dodací doba nového materiálu do každého supermarketů od chvíle, kdy byla odeslána odvolávka, je 30 minut. Dle poměru vstupní sekvence byla signální hladina nastavená tak, aby dodání nového materiálu proběhlo v tu chvíli, kdy dojde k jeho vyčerpání (tato úvaha byla realizována už v předešlém kroku v ideálním provozu).

Dodací prodleva byla realizována pomocí stanice ParallelStation (nazvěme přepravní stanice). Přepravní stanice dokáže pojmout požadovaný počet výrobků a uchovat je po stanovený čas, tuto hodnotu však nelze nastavit na neomezenou kapacitu, jako tomu je například u prvku buffer. Její vlastnosti v daném případě vyhovují k simulaci prodlevy, která vzniká, než jsou výrobky přivezeny od dodavatele do supermarketu.

Proces funguje následujícím způsobem. Přepravní stanice je prázdná, má uzavřený vstup (nepřijímá výrobky od dodavatele). Ve chvíli, kdy kapacita supermarketu klesne na signální hladinu, odešle se informace s požadavkem o dodání materiálu. Vstup přepravní stanice se otevře, její kapacita se naplní na požadované množství a stanice čeká 30 minut (processing time), následně jsou výrobky přesunuty do supermarketu.



Obrázek 13.: Převravní stanice a její parametry [zdroj: vlastní]

U systému kanban a JIS bylo dosaženo stejných výsledků. Lze vidět, že navržené výrobní poměry však nebyly přesně dodrženy. Produkce se snížila o 30 kusů, což odpovídá počátečním 30 minutám, než byl materiál naskladněn. Jelikož průměrný doba, kterou stráví výrobek na výrobní lince, jsou dvě minuty, celková produkce se sníží o dva výrobky.

U systému JIT byl aspekt dodacího času součástí ideálního i reálného modelu kvůli podstatě fungování samotného systému JIT. Výsledky na výstupu jsou stejné, jako v tabulce 6 v kolonce „Implementace dodacího času“.

Tabulka 5.: Vliv dodacího času na produkci [zdroj: vlastní]

KANBAN/JIS	Ideální fungování			Implementace dodacího času		
	Vyrobena [ks]	Podíl z celkové kapacity [%]	Výrobní čas [hod:min]	Vyrobena [ks]	Podíl z celkové kapacity [%]	výrobní čas [hod:min]
Červená	448	31,1	7:28	442	31,4	7:22
Modrá	264	18,4	4:25	260	18,5	4:20
Zelená	726	50,5	12:07	706	50,1	11:48
Celkem	1438	100	24:00:00	1408	100	23:30

Experimenty byly prováděny po dobu 24 hodin. Ztrátu vzniklou dodacím časem lze v reálném provozu eliminovat včasným odesláním objednávky, v simulaci by to bylo možné řešit nastavením delšího času simulačního běhu a zanedbat výsledky získané během prvních 30 minut, kdy výrobní linka nepracuje. Nabízejí se dvě varianty získání výsledků pro produkci trvající 7 dní. V prvním případě ztrátu 30 výrobků budeme počítat v každém pracovním dnu a produkce tedy klesne na 9 870 výrobků za 7 dní. Ve druhém případě prvotní objednávka vznikne předčasně a následující objednávky na sebe navazují v nepřetržitém provozu. V takovém případě produkce neklesne a bude stále na hodnotě 10 080 výrobků za 7 dní.

2.2.3 PORUCHOVOST

Přibližováním se k reálnému modelu byla přidána poruchovost na poslední obráběcí stanici. Průměrný čas na opravu poruchy (mean time to repair) je 1 minuta. Pracovní čas na obráběcí stanici je nastavený na 1 minutu. Při vzniku poruchy se začínají hromadit výrobky před stanicí ve frontě (použit prvek buffer). Během 7 dnů se v bufferu nahromadilo nejvíce 522 výrobků při 5% poruchovosti. Při 10% poruchovosti tato hodnota vzrostla na 1 037 výrobků. Tyto hodnoty ovšem nemusejí být ve skutečném modelu reálné a jsou dány určitými náhodnými událostmi modelu.

Tabulka 6.: Vliv poruchovosti na produkci [zdroj: vlastní]

KANBAN/JIS	Poruchovost 5 %		Poruchovost 10 %	
	Vyrobena [ks]	Podíl z celkové kapacity [%]	Vyrobena [ks]	Podíl z celkové kapacity [%]
Červená	2894	30,3	2727	30,2
Modrá	1915	20,0	1811	20,0
Zelená	4749	49,7	4500	49,8
Celkem	9558	100,0	9038	100,0
	Čas [hod:min]	Přibližný počet	Čas [hod:min]	Přibližný počet
Prostoje	8:42	522	17:19	1039

U systému JIT se během 7 dnů nahromadilo v bufferu nejvíce 521 výrobků při 5% poruchovosti. Při 10% poruchovosti tato hodnota vzrostla na 1042 výrobků.

Tabulka 7.: Vliv poruchovosti na produkci [zdroj: vlastní]

JIT	Poruchovost 5 %		Poruchovost 10 %	
	Vyrobena [ks]	Podíl z celkové kapacity [%]	Vyrobena [ks]	Podíl z celkové kapacity [%]
Červená	2894	30,3	2727	30,2
Modrá	1915	20,0	1811	20,0
Zelená	4749	49,7	4500	49,8
Celkem	9558	100,0	9038	100,0
	Čas [hod:min]	Přibližný počet	Čas [hod:min]	Přibližný počet
Prostoje	8:42	522	17:19	1039

V daném případě byly výsledky posouzeny bez prvotního dodacího času, aby nedošlo ke zkreslení výsledných údajů. Čas simulačního běhu byl nastaven na 7 dní a 30 minut.

2.2.4 SMĚNOVÝ REŽIM

Směnový režim je nedílnou součástí každé firmy. V některých případech se během pauzy výroba nezastavuje a na pracovní pozici přijde jiný pracovník. Tato pauza může být ovšem využita k pravidelné kontrole a čištění stroje, nebo ke změně jeho nastavení v případě, že stroj bude vyrábět jiný produkt. V takových případech stroj nemůže být využit k provádění pracovních operací. Celková týdenní produkce se u všech systémů sníží o 630 výrobků v případě, že během krátkých 15minutových přestávek bude pracovník nahrazen kolegou a výroba bude pokračovat.

U systému JIT je potřeba tento faktor zohlednit kvůli pravidelnému dodávání výrobků. Pokud je výroba pozastavena po dobu pauzy, je potřeba tuto informaci zohlednit při uzavírání kontraktu s dodavatelem, jinak v daném případě budou supermarkety přeplněny nadbytečným materiálem. Při uzavírání kontraktu je taktéž důležité zohlednit odlišný časový harmonogram pro různé směny a víkendy a také pro svátky a jiné výjimečné události.

	From	To	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	So	Pauses
1	6:00	14:00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	9:00-9:15; 12:00-12:30
2	14:00	22:00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	18:00-18:15; 20:30-21:00
3	22:00	6:00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1:00-1:15; 4:30-5:00

Obrázek 14.: Směnový režim [zdroj: vlastní]

2.2.5 SIGNÁLNÍ HLADINA A VELIKOST ODVOLÁVEK

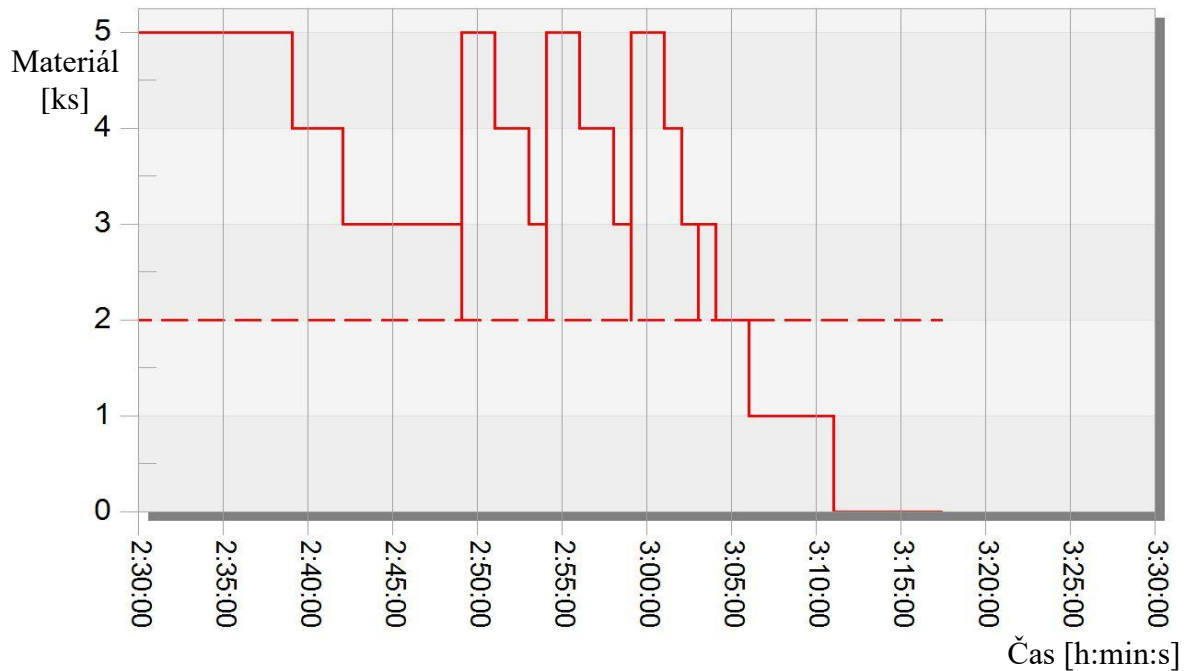
Nastavení signální hladiny a velikosti odvolávek probíhá v závislosti na výrobním taktu, sekvenci a době dodání nového materiálu. Pokud je doba dodání 30 minut, takt výroby je 1 minuta a výrobní sekvence je nastavena 3:2:5 (červená:modrá:zelená), pak za 30 minut bude vyrobeno 9 červených, 6 modrých a 15 zelených výrobků. To platí ovšem jenom za předpokladu, že by se daný plán sekvenční výroby naplnil každých 30 minut.

Optimální velikost signální hladiny je sledována především v supermarketech, velikost odvolávky je v modelu zadávána u dodavatele.

KANBAN

Na obrázku 15 lze vidět, že teoretická úvaha pro stanovenou sekvenci není platná a při přesném nastavení signální hladiny v supermarketech dochází k vyčerpání některých materiálů v konečném prvku buffer dříve, než jsou naskladněny. Dochází k zastavení výroby, vznikají tzv. prostoje. To se děje i přesto, že v bufferu mezi výrobní linkou a skladem se nacházejí minimálně další dva rezervní výrobky.

Sledováním stavu zboží v bufferech před výrobní linkou lze zjistit, kdy a kde dojde k vyčerpání materiálu a následně je potřeba zvýšit velikost signální hladiny, aby se tento případ nadále již neopakoval.



Obrázek 15.: Stav červeného materiálu v bufferu před výrobní linkou [zdroj: vlastní]

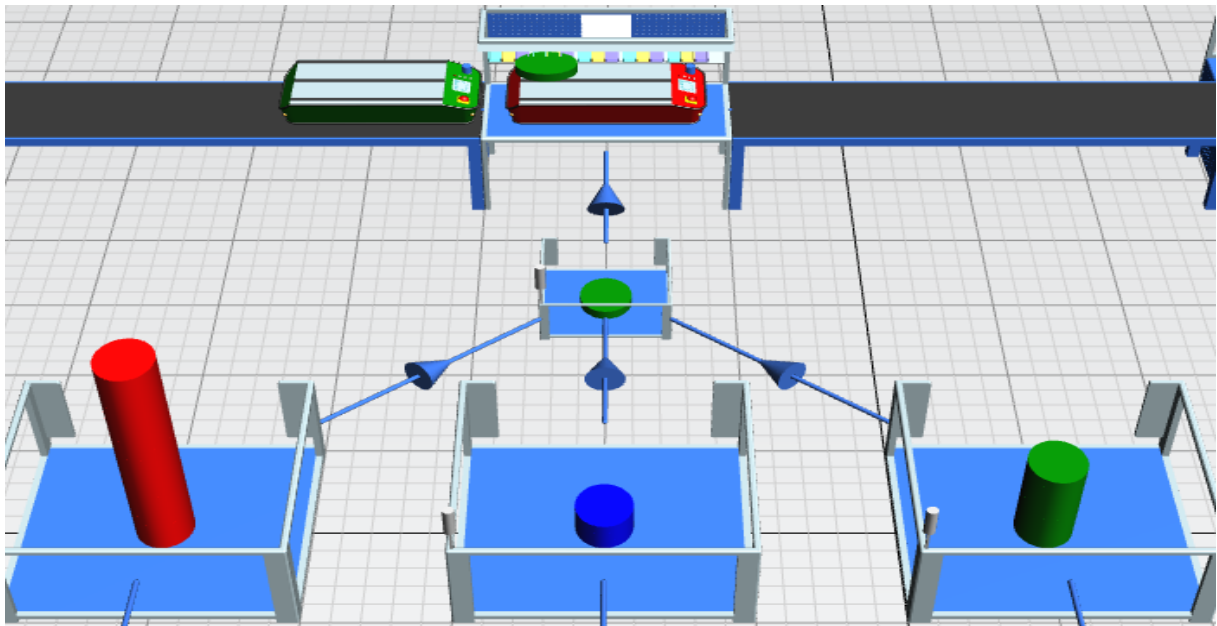
Jak lze vidět na obrázku 15, červené výrobky dosáhly signální hladiny přibližně v čase 3:04:00 a už nebyly doplněny ze supermarketu. Následně došlo k jejich vyčerpání přibližně v čase 3:11:00. Pokud nové zásoby stihnou dorazit dříve, než na montážní lince bude požadován červený výrobek, výroba nebude pozastavena. Tato situace je ovšem riskantní a v dané situaci byly červené výrobky požadovány dříve, než byly naskladněny. Tento problém se posupně projevil ve všech bufferech. Následně byly signální hladiny navýšené, jak je znázorněno v Tabulka 8. Tím byla vytvořena dostatečná rezerva, než dorazí nový materiál.

Tabulka 8.: Nastavení signálních hladin [zdroj: vlastní]

Prvek	Velikost odvolávky [ks]	Signální hladina [ks]
Supermarket1	27	10
Supermarket2	18	7
Supermarket3	45	16

JUST-IN-SEQUENCE

U systému JIS nebylo možné včasné doplnit materiál při nastavených teoretických velikostech signálních hladin. I přesto, že je materiál přesunut ze supermarketů do bufferu o 1 minutu a 14 sekund dříve, než je spotřebován na výrobní lince, jeho doplnění není možné realizovat včasné, aby nebyla pozastavená výroba. Při vyčerpání materiálu dochází k poruše a díly jsou následně smontovány špatným způsobem, jak lze vidět na obrázku 16.



Obrázek 16.: Špatná montáž zapříčiněná vyčerpáním zásob [zdroj: vlastní]

Příčinou této chyby může být logika řízení, která je nastavena za začátku výrobní linky a zajišťuje přemístění materiálu ze supermarketů do bufferu. Logika řízení je nastavená, aby při příchodu výrobku s názvem „Cervena“ otevřela výstup ze Supermarket1, kde jsou kompatibilní díly, a daný díl byl přesunut do bufferu. Pokud je ovšem Supermarket1 prázdný, žádné díly se nepřemístí a výrobek s názvem „Cervena“ putuje dál po výrobní lince ke spojovací stanici bez kompatibilního materiálu. Než tento výrobek bude dopraven do spojovací stanice, do bufferu už bude přemístěn díl jiné barvy v závislosti na tom, jaký výrobek vstoupí na počátku výrobní linky. V daném případě to byl výrobek zelené barvy, jak můžeme vidět na obrázku 16. Nastavená logika řízení danou situaci nepředvíдалa.

```

var dil : object

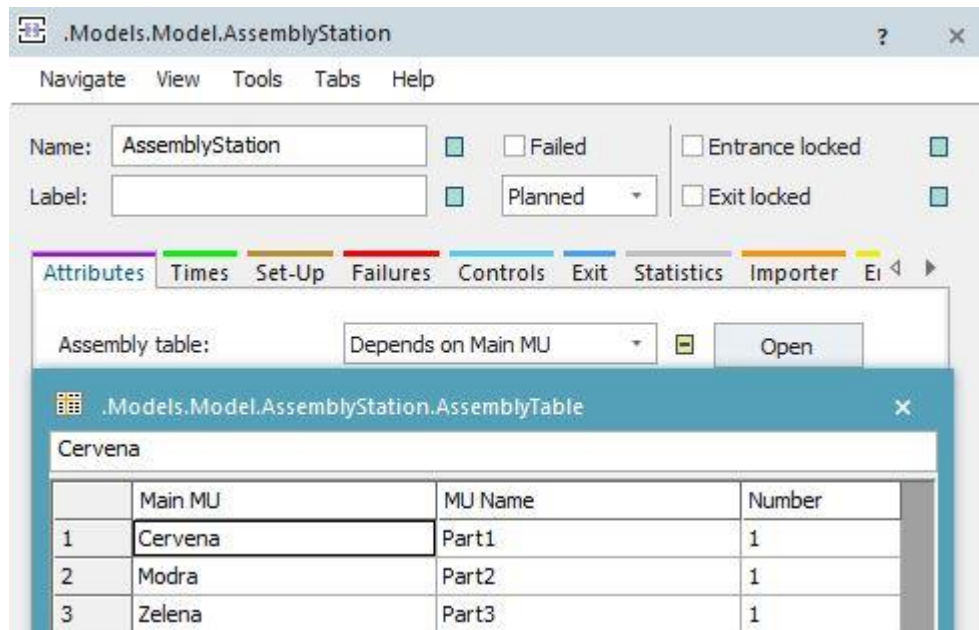
--odvolavka dilu
switch @.Name --jmeno dilu
case "Cervena"
    Supermarket1.ExitLocked := false
case "Modra"
    Supermarket2.ExitLocked := false
case "Zelena"
    Supermarket3.ExitLocked := false
else
    debug -- neznamy dil
end

```

Obrázek 17.: Logika řízení zajišťující přemístění materiálu ze supermarketů do bufferu [zdroj: vlastní]

Pro dosažení co nejlepších produkčních výsledků je ovšem potřeba vyřešit velikost signální hladiny. Pokud bude metoda pozměněna a kompatibilní díl bude přemístěn až potom, co bude naskladněn, vyřeší se tím problém s chybnou montáží. To ovšem nevyřeší prostoje. V daném případě může takto „nedokonale“ nastavená logika řízení být optickým indikátorem pro vyčerpání materiálu v jednom ze supermarketů.

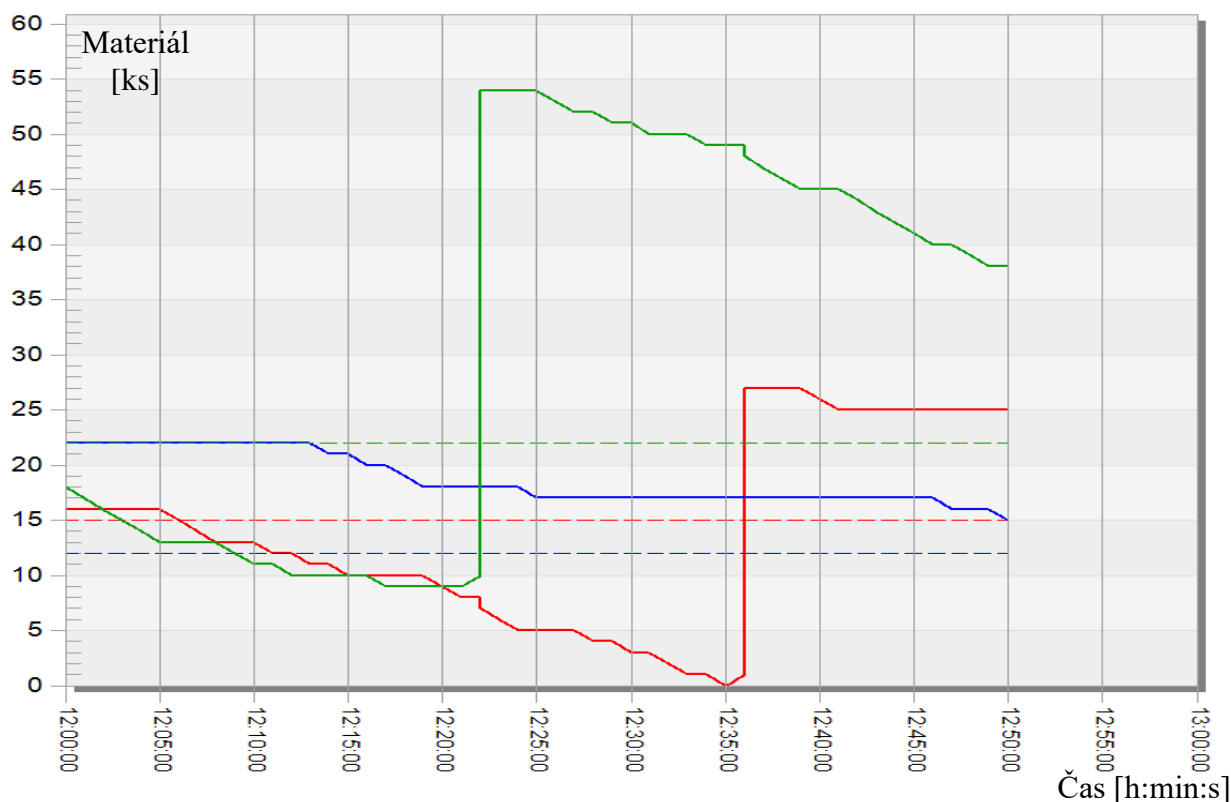
Minimální velikosti signálních hladin byly stanoveny experimentálně. Na spojovací stanici bylo nastaveno, aby se vždy spojovaly kompatibilní díly, jak je vidět na obrázku 18. Při nedodržení tohoto parametru se simulační běh zastaví a lze vidět, které barvy výrobek na spojovací stanici čeká bez kompatibilního dílu. Toto pozorování bylo provedeno na základě sedmidenního provozu. Na obrázku 19 lze vidět, že v čase 10:35:00 došlo k vyprázdnění supermarketu s červenými výrobky a vzápětí k jejich doplnění. Tento stav postupně nastal ve všech supermarketech. Lze to brát jako „ideální“ načasování doplnění zásob.



Jedním z důvodů značně vyšších signálních hladin je odstranění bufferů před výrobní linkou, jako to je u systému kanban, které mají vlastní signální hladinu a zajišťují rezervu dvou dalších výrobků, které se v nich nachází. Druhým důvodem je potřeba dřívějšího dodání materiálu ze supermarketu do bufferu. Odvolávka totiž vzniká na začátku výrobní linky a je vyžadováno okamžité přemístění potřebného prvku ze supermarketu do bufferu.

Tabulka 9.: Nastavení signálních hladin v supermarketech [zdroj: vlastní]

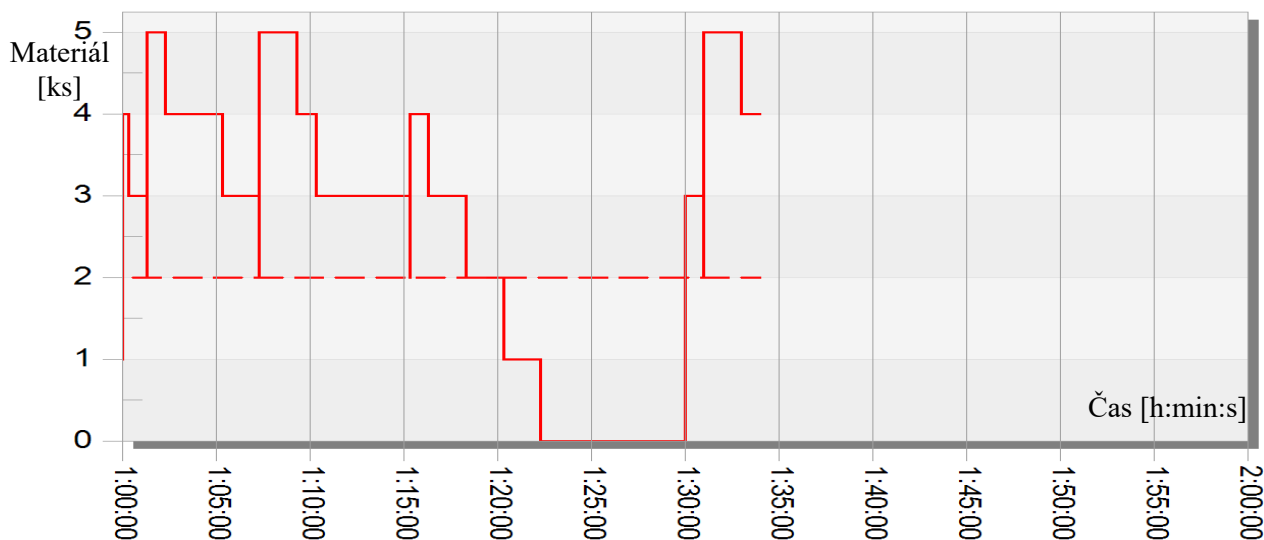
Prvek	Signální hladina [ks]
Červená	15
Modrá	12
Zelená	22



Obrázek 19.: Stav materiálu a velikosti signálních hladin v supermarketech [zdroj: vlastní]

JUST-IN-TIME

U systému JIT se signální hladiny v supermarketech nevyskytují, je potřeba nastavit ideální velikost odvolávek, a jejich čas dodání. Pro následné srovnávání modelů byl nastaven čas dodání zboží taktéž na 30 minut. Velikost odvolávek je potřeba nastavit tak, aby nedošlo k přeplnění supermarketů a taktéž, aby nenastala situace s vyčerpáním zboží a pozastavením výroby.



Obrázek 20.: Stav červeného materiálu v bufferu před výrobní linkou [zdroj: vlastní]

Jak lze vidět na obrázku 20, teoretické velikosti dodacích dávek nebyly dostatečné. Červený materiál byl vyčerpán přibližně v čase 1:22:00 a k jeho doplnění došlo až v čase 1:30:00. Mezitím došlo k pozastavení výroby a výrobky se začaly na lince akumulovat.

Tabulka 10.: Nastavení ideální velikosti odvolávky [zdroj: vlastní]

Prvek	Velikost odvolávky [ks]
Červená	12
Modrá	7
Zelená	16

V tabulce 10 jsou vidět ideální velikosti odvolávek, které byly nastaveny pozorováním stavu materiálu v bufferech před výrobní linkou, aby nedošlo k pozastavení výroby. Z dlouhodobého hlediska je toto nastavení nevyhovující. Jak lze vidět na obrázku 21, po 24 hodinách provozu bylo v supermarketu1 130 dílů, v supermarketu2 73 dílů a v supermarketu3 52 dílů. Toto množství je nad rámec kapacity, které bylo dosaženo v předešlých systémech.

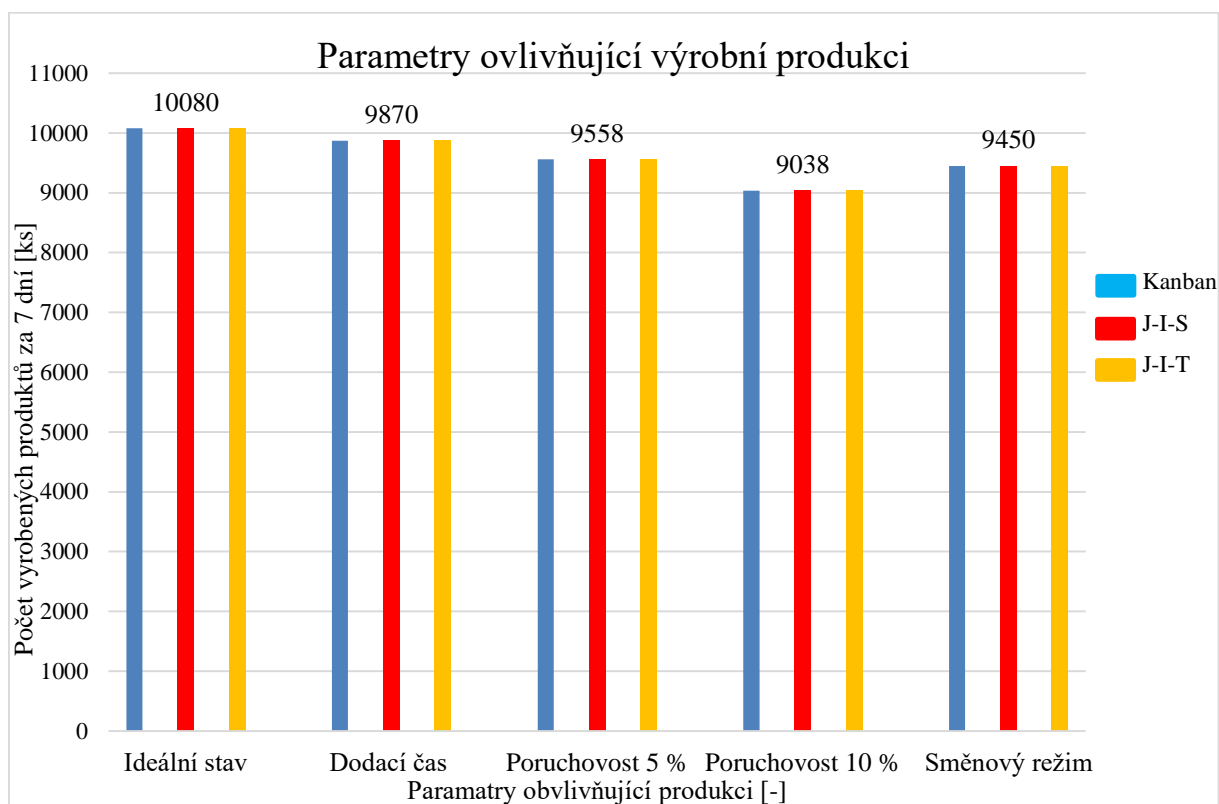
Supermarket1		Supermarket2		Supermarket3	
Contents:	130	Contents:	73	Contents:	52
Minimum contents:	0	Minimum contents:	0	Minimum contents:	0
Maximum contents:	130	Maximum contents:	76	Maximum contents:	60
Entries:	576	Entries:	336	Entries:	768
Exits:	446	Exits:	263	Exits:	716

Obrázek 21.: Zaplnění supermarketů [zdroj: vlastní]

V případě, že by se jednalo o simulaci trvající 7 dní, tyto hodnoty by byly sedminásobné. Je proto potřeba zvážit, zda je pro podnik výhodnější mít pozastavenou výrobu, nebo mít přeplněné sklady.

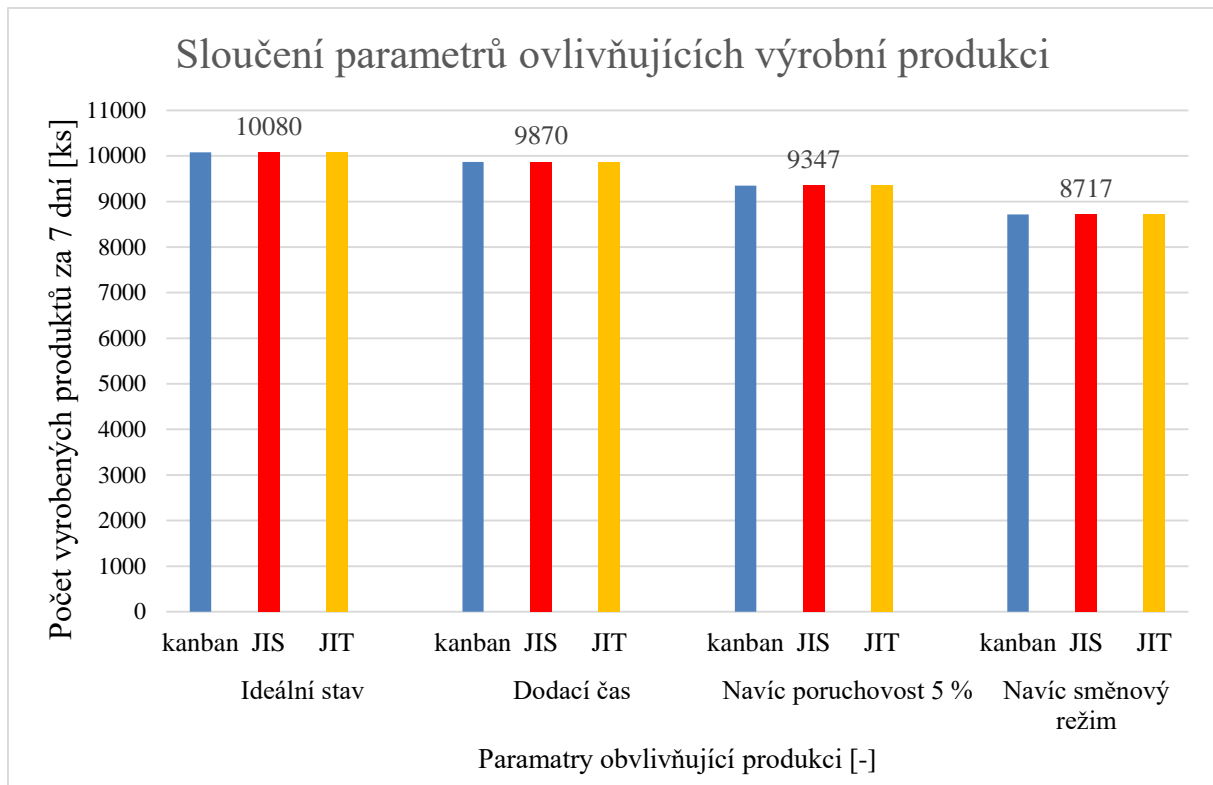
2.3 VYHODNOCENÍ PROVEDENÝCH EXPERIMENTŮ

Na simulačních modelech byly provedeny experimenty, které ovlivňují výrobní produkci.



Obrázek 22.: Parametry ovlivňující výrobní produkci [zdroj: vlastní]

Každý z daných parametrů byl implementován samostatně, aby byl vidět jeho vliv nezávisle na ostatních parametrech. Jak lze vidět na obrázku 22, všechny systémy dosáhly stejných výsledků. Příčinou toho je správné nastavení signálních hladin a velikostí odvolávek.



Obrázek 23.: Sloučení parametrů ovlivňujících produkci [zdroj: vlastní]

Na obrázku 23 lze vidět výslednou produkci, které bylo dosaženo postupnou implementací všech použitých parametrů. U všech systémů bylo dosaženo stejných výsledků.

2.4 IMPLEMENTACE MANIPULAČNÍCH PROSTŘEDKŮ

Pro implementaci manipulačních prostředků byla zvolená simulace se systémem kanban. Důvodem byla větší přehlednost oproti systému JIS, kdy v posledním kroku se vyskytuje jenom jeden buffer a dochází tam k míchání tří typů výrobků. Další příčinou byla větší stabilita systému oproti systému JIT, kdy při změně taktu, prostojů, nebo výrobních časů je potřeba měnit jednotlivé časy dodávání materiálu, aby nedošlo k přeplnění supermarketů.

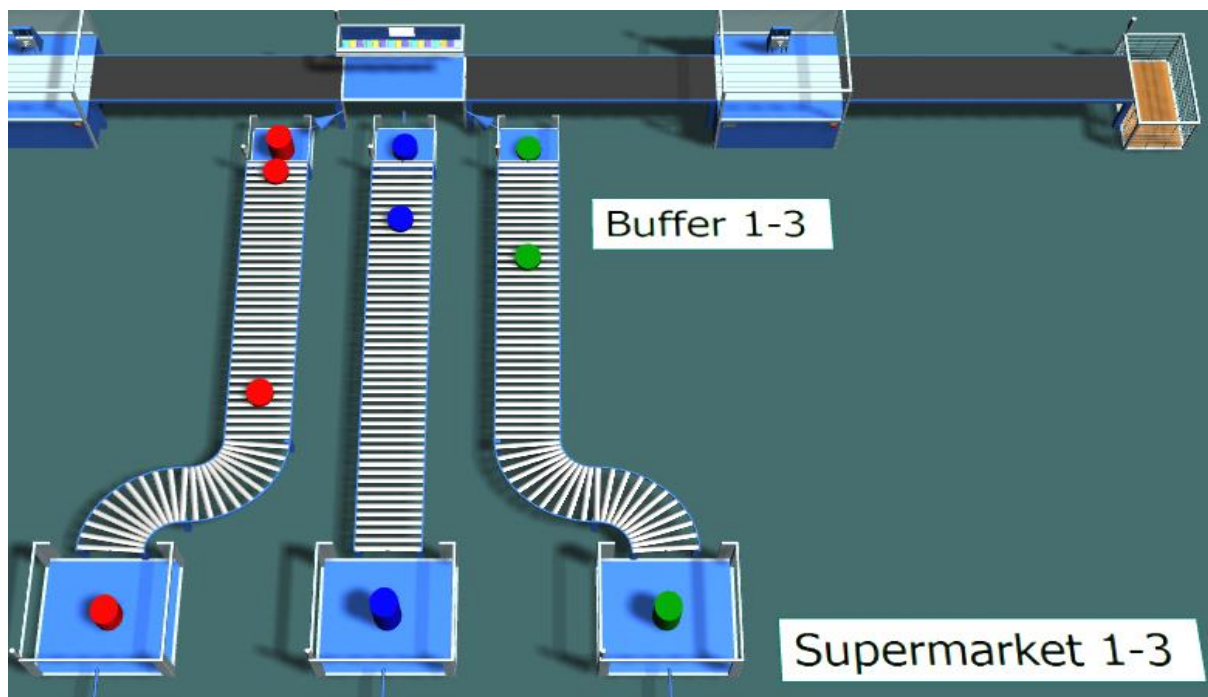
Kvůli lepší zřetelnosti byly experimenty prováděny bez použití směnového kalendáře a bez poruchovosti pracovních stanic.

2.4.1 VÁLEČKOVÝ DOPRAVNÍK

Válečkový dopravník byl zvolen z důvodu jeho časté využitelnosti ve skutečném výrobním průmyslu a také díky jeho schopnosti dočasně uložit materiál v případě zaplnění konečné stanice, aniž by vznikly prostoje na jeho počátku.

Dopravník je nainstalován mezi každým supermarketem a bufferem a jeho délka činí 50 m. Na obrázku 24 byla využita kratší vzdálenost dopravníku kvůli přehlednosti.

Velikost signálních hladin, čas odvolávky a množství dodaného zboží bylo převzato z kapitoly 2.2.5.



Obrázek 24.: Implementace válečkového dopravníku [zdroj: vlastní]

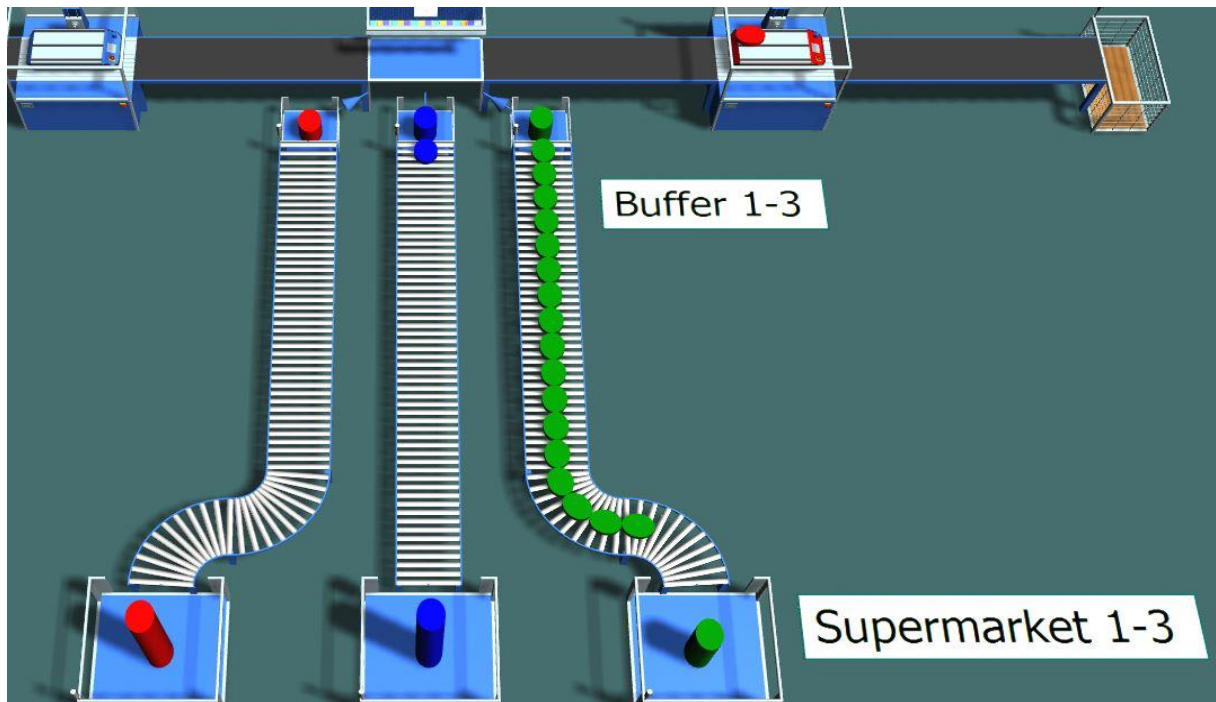
KAPACITA DOPRAVNÍKU

Mezi základní nastavitelné parametry patří kapacita válečkového dopravníku. Tento parametr se v praxi nenastavuje, pokud se nejedná o objemné výrobky velké hmotnosti, ale i to se řeší rozložením hmoty. Při tvorbě simulačního programu může být tento parametr zásadní pro zjednodušení vytváření požadovaného modelu. V daném případě vzniká v bufferech odvolávka na 3 kusy materiálu. Dovolené kapacity byly nastaveny podle tabulky 11. (Maximální kapacita je podílem délky dopravníku 50 m a délky dopravovaného výrobku 0,5 m tj.: 100 kusů.)

Tabulka 11.: Kapacity válečkových dopravníků [zdroj: vlastní]

	Dopravník1 [červená]	Dopravník2 [modrá]	Dopravník3 [zelená]
Kapacita [ks]	1	3	100

Jak lze vidět na obrázku 25, tyto metody nastavení nejsou vhodné. Pro ilustraci byl použit kratší válečkový dopravník. Ve chvíli, kdy se vyšle z bufferu před výrobní linkou odvolávka, začíná se materiál přemisťovat ze supermarketu na válečkový dopravník, dokud není zboží v bufferech doplněno na maximální kapacitu. Tím vzniká naplnění válečkových dopravníků s kapacitou 3 a 100 kusů nadbytečným materiálem.



Obrázek 25.: Nastavení různých kapacit válečkových dopravníků [zdroj: vlastní]

Pokud by byla kapacita nastavená na jeden výrobek, nevyužil by se plný potenciál válečkových dopravníků a při rychlosti 1 m/s by trvala doprava jednoho výrobku 50 sekund. Jak lze vidět v tabulce 12, nejméně časově vytížený dopravník vykonává práci přes 25 % času z celého sledovaného období. I přesto, že je kapacita nastavená pouze na jeden výrobek, ve všech případech lze vidět, že materiál musel v některých případech na dopravníku čekat, než byl přesunut do buffer. Délka jednoho výrobku je 0,5 m.

$$\text{Průchodnost dopravníku: } \lambda = \frac{v}{s} = \frac{1}{50} = \frac{1}{50} \frac{ks}{s} \quad (15)$$

$$\text{Maximální průchodnost dopravníku: } \lambda_{MAX} = \frac{v}{s_0} = \frac{1}{0,5} = 2 \frac{ks}{s} \quad (16)$$

$$\text{Stupeň vytížení: } \rho = \frac{\lambda}{\lambda_{MAX}} = \frac{\frac{1}{50}}{2} = \frac{1}{100} \rightarrow 1\% \quad (17)$$

Jelikož dopravník pracuje, jen když dorazí odvolávka na zboží, je potřeba daný stupeň vytížení vynásobit časovou vytížeností, aby byl získaný skutečný stupeň vytížení. U tabulky 13 byla tato hodnota vynásobená koeficientem 3, jelikož se nedopravuje pouze jeden kus materiálu, ale tři, tedy průchodnost dopravníku $\lambda = \frac{3}{50} \frac{ks}{s}$.

Tabulka 12.: Vytíženost válečkových dopravníků při kapacitě 1 kus [zdroj: vlastní]

	Dopravník1 [červená]	Dopravník2 [modrá]	Dopravník3 [zelená]
Časová vytíženost [%]	36	27,35	56,75
Skutečný stupeň vytíženosti [%]	0,36	0,27	0,57
Podíl přepravených výrobků [%]	31,15	18,54	50,31
Uzavřený výstup [%]	9,82	11,78	14,51

Naprogramováním vhodné logiky řízení lze nastavit, kolik položek má být přesunuto a přitom zanechat neomezenou kapacitu dopravníku. V daném případě při vzniku odvolávky jsou ze supermarketu poslány tři kusy materiálu. Díky dané metodě značně klesla vytíženost válečkových dopravníků, jak lze vidět v tabulce 13.

```

buffer1.ObjednaneMnozstvi := buffer1.ObjednaneMnozstvi - 1
if buffer1.ObjednaneMnozstvi = 0 then
    ?.ExitLocked := true
end

```

Obrázek 26.: Logika řízení zajišťující přesun potřebného množství materiálu [zdroj: vlastní]

Tabulka 13.: Vytíženost válečkových dopravníků při použití metody [zdroj: vlastní]

	Dopravník1 [červená]	Dopravník2 [modrá]	Dopravník3 [zelená]
Časová vytíženost [%]	9,13	6,15	15,17
Skutečný stupeň vytíženosti [%]	0,27	0,18	0,46
Podíl přepravených výrobků [%]	31,50	18,57	49,93
Uzavřený výstup [%]	0,27	0,96	1,12

RYCHLOST DOPRAVNÍKU

Změnou rychlosti dopravníků lze sledovat změnu časové vytiženosti a stupně vytiženosti.

Tabulka 14.: Vliv rychlosti na vytiženost dopravníků [zdroj: vlastní]

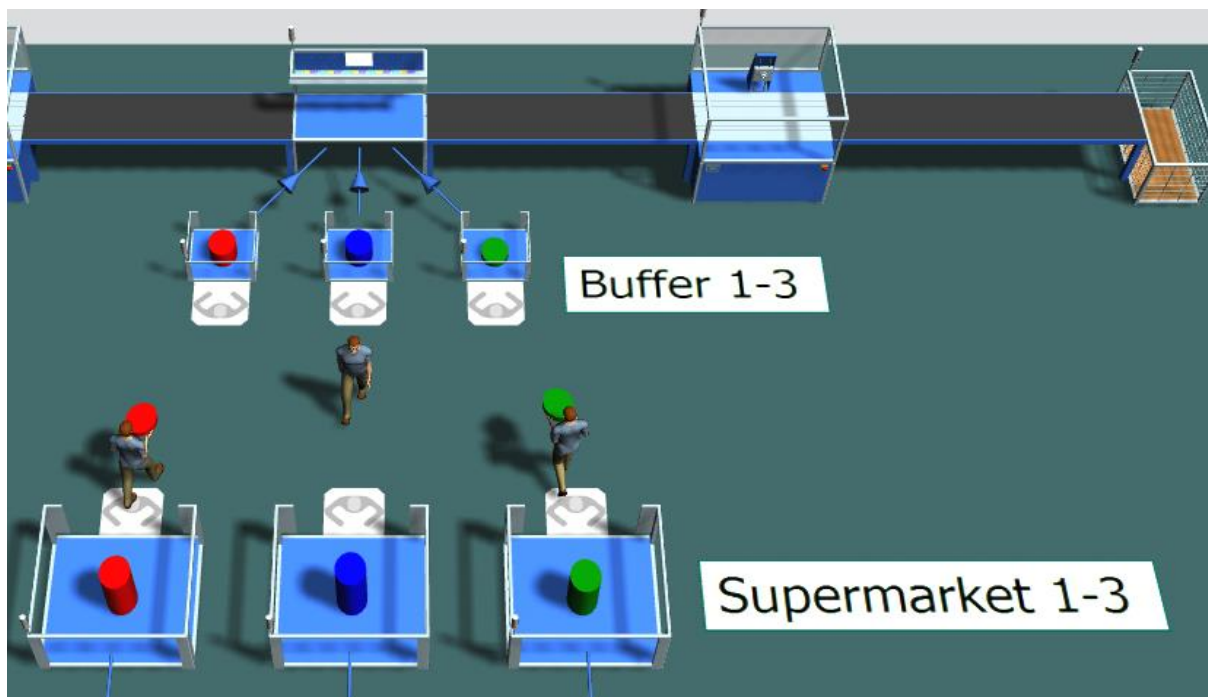
	Dopravník1 [červená]	Dopravník2 [modrá]	Dopravník3 [zelená]
Rychlost [m/s]	2	2	2
Časová vytiženost [%]	4,73	3,58	7,63
Skutečný stupeň vytiženosti [%]	0,142	0,107	0,229
Podíl přepravených výrobků [%]	31,50	18,57	49,93
Uzavřený výstup [%]	0,30	0,99	0,60
Rychlost [m/s]	10	10	10
Časová vytiženost [%]	1,22	1,53	2,06
Skutečný stupeň vytiženosti [%]	0,037	0,046	0,062
Podíl přepravených výrobků [%]	31,50	18,57	49,93
Uzavřený výstup [%]	0,33	1,01	0,65
Rychlost [m/s]	20	20	20
Časová vytiženost [%]	0,78	1,27	1,36
Skutečný stupeň vytiženosti [%]	0,023	0,038	0,041
Podíl přepravených výrobků [%]	31,50	18,57	49,93
Uzavřený výstup [%]	0,33	1,01	0,65

Navržené parametry poukazují na vliv rychlosti na stupeň vytižení válečkového dopravníku. Implementovat rychlost 20 m/s by obnášelo jisté komplikace pro transportování těžkých a objemných materiálů. I přesto, že se byl vždycky materiál okamžitě přesunut z dopravníku do bufferu, u všech případů je vidět, že uzavřený výstup není nulové hodnoty. To může být způsobeno nulovými rozestupy mezi přepravovanými prvky v jedné dávce. Při přesunu prvního prvku může dojít k nepatrné časové prodlevě, kdy druhý prvek čeká, než je jeho předchůdce přesunut. Lze to také považovat za nedokonalost simulačního programu.

2.4.2 RUČNÍ MANIPULACE

V druhém případě byla zvolená ruční manipulace s materiálem. Může se jednat o ruční přenášení materiálu, nebo přesouvání materiálu s využitím ručního paletového vozíku. Důležitým aspektem zde zůstává člověk, který danou činnost vykonává nezávisle na pomocné technice.

Pracovní stanoviště jsou nainstalována mezi supermarketky a buffery. Vzdálenost 50 m byla zachována.



Obrázek 27.: Implementace ruční manipulace s materiálem [zdroj: vlastní]

POČET PRACOVNÍKŮ A JEJICH PRACOVNÍ MÍSTO

Tabulka 15 ukazuje výsledky, kterých bylo dosaženo při 24h simulačním běhu. Každému pracovníku bylo pevně přiřazené pracovní místo, na každém pracovišti se nacházel jeden pracovník a jeho rychlost pohybu byla 1,5 m/s. V závislosti od požadavků výroby lze sledovat vytíženosti jednotlivých pracovníků.

Tabulka 15.: Sledované parametry pracovníků [zdroj: vlastní]

rychlost 1,5 m/s						
Pracovník	Počet	Přenášení materiálu [%]	Cesta pro materiál [%]	Čekání [%]	Ujita vzdálenost [km]	Signální hladina [ks]
Červený	1	16,6	16,9	66,5	44	13
Modrý	1	11	11,2	78	30	9
Zelený	1	27	27,8	45,2	75	21
Červený	3	5,5	5,6	88,8	15	12
Modrý	3	3,7	3,7	92,6	10	9
Zelený	3	9	9,3	81,7	25	18

Při zvyšování počtu pracovníků se úměrně snižuje absolvovaná vzdálenost a čas, po který pracovník přenáší materiál.

Pokud pracovníci nemají pevně přidělené pracovní místo, vykonávají práci v závislosti na tom, který požadavek na doplnění materiálu přijde jako první. To znamená, že pokud požadavek

na doplnění modrého materiálu, který je nejméně žádaný, přijde jako první, všichni pracovníci začínají doplňovat modrý materiál, nezávisle na tom, že o chvíli později vznikl požadavek na zelený materiál, který je nejžádanější. Kvůli tomuto aspektu neorganizovanosti můžou vzniknout nežádoucí prostoje.

Pokud by měli být všichni pracovníci ekvivalentně vytiženi, muselo by se jejich množství odvíjet od výrobní sekvence, to znamená, že by pro červený materiál měli být 3 pracovníci, pro modrý 2 a pro zelený 5.

RYCHLOST POHYBU

Změny rychlosti pohybu je možné dosáhnout pouze využitím manipulační techniky, jako je například elektrický vysokozdvizný vozík. Pokud by byla rychlost pohybu nastavená na 3 m/s místo původních 1,5 m/s, dalo by se uvažovat o zredukování počtu pracovníků. Tabulka 16 ukazuje výsledky, kterých bylo dosaženo při 24h simulačním běhu.

Tabulka 16.: Změna rychlosti a počtu pracovníků [zdroj: vlastní]

rychlost 3 m/s						
Pracovník	Počet	Přenášení materiálu [%]	Cesta pro materiál [%]	Čekání [%]	Ujita vzdálenost [km]	Signální hladina [ks]
Červený	1	8,3	8,5	83,2	44	10
Modrý	1	5,5	5,7	88,8	30	7
Zelený	1	13,5	14,4	72,1	75	19
Červený	3	2,8	2,8	94,4	15	12
Modrý	3	1,8	1,9	96,3	10	9
Zelený	3	4,5	4,8	90,7	25	18

V tabulce 15 a 16 lze sledovat, že v každém z experimentů se musela změnit signální hladina v supermarketech. Tento aspekt není standartní a je nejspíše zapříčiněn nedokonalostí nastaveného simulačního systému. Tabulka 16 ukazuje různé signální hladiny pro červený materiál i přesto, že ve druhém případě je více pracovníků vykonávajících transportní činnost. Větší počet pracovníků zajistí rychlejší přenos materiálu ze supermarketu do bufferu a tím zajistí dřívější vznik odvolávky. Tyto výsledky byly získány na základě týdenního času simulačního běhu.

2.5 VYHODNOCENÍ PROVEDENÝCH EXPERIMENTŮ

Z hlediska funkčnosti, oba manipulační systémy dosáhly požadovaného výrobního cíle ideálního systému s implementovaným dodacím časem. Rozšířením systému o směnový režim a poruchovost by bylo dosaženo stejných výsledků, jako v předchozí kapitole.

Při porovnávání manipulačních systémů lze tvrdit, že válečkový dopravník zajišťuje přehlednější, jednodušší a přesnější fungování. V tabulce 14 lze vidět, že vytíženost válečkových dopravníků je příliš nízká. Daný problém lze řešit spojením válečkových dopravníků

a vytvořením tak jednoho dopravníku se třemi vstupy a třemi výstupy. Vniklý dopravník musí být rozšířen o separátor před konečnými výstupy, který správně roztrídí materiál, a zabezpečovacím systémem na vstupu, který zajistí postupný přejezd z různých vstupů, aby nedocházelo ke kolizím.

Výhodou využití pracovníků je jejich flexibilita. Jak lze vidět v tabulce 16, po většinu času pracovníci nevykonávají žádnou práci a pouze čekají na příchod odvolávky. Tento čas by bylo možné využít k zadání jiné práce v podniku.

ZÁVĚR

Teoretická část této bakalářské práce se zaměřuje na obecné seznámení se s logistikou a vysvětlením jednotlivých pojmů, se kterými se lze setkat, jako je logistický řetězec, materiálový a informační tok a také výrobní sekvence, takt a výpočty, které byly použity v praktické části. Jsou zde vysvětlené světově významné logistické technologie jako je kanban, JIT a JIS, které posloužily jako vzor k namodelovaným simulačním systémům.

Praktická část obsahuje navrženém mapy toků hodnot, pomocí kterých byly vytvořené simulační modely. Byly celkem vytvořeny tři simulační modely. U každého modelu byl použit jiný způsob vytváření odvolávek a dodávání materiálu. Na vytvořených modelech byly provedeny experimenty, které ovlivňují produkci. Posledním krokem bylo rozšíření jednoho z modelů o manipulační zařízení v rámci vnitropodnikové manipulace a následná změna řídicích parametrů a sledování jejich vlivu na efektivitu.

Všechny namodelované systémy zásobování obsahují dvě části. První část je dodávání materiálu od externího dodavatele na sklad, druhou částí je vnitropodniková manipulace s materiálem. U všech modelů bylo dosaženo stejných výrobních výsledků během provádění experimentů a změnou řídicích parametrů. Rozdílné ovšem byly signální hladiny, velikosti odvolávek, množství použitých stanic a zaplnění skladů.

Nejefektivnějším systémem pro vnitropodnikovou manipulaci byl vyhodnocen systém JIS kvůli nízkému počtu bufferů před výrobní linkou. Systém kanban byl vyhodnocen jako nejvhodnější systém pro dodávání materiálu od externího dodavatele. S touto kombinací se lze setkat ve společnosti Škoda auto a.s. Systém JIT lze považovat za vhodný pouze tehdy, pokud je předem známý odbyt anebo pokud přebytek nebo nedostatek dodávaného materiálu nehraje významnou roli z dlouhodobého hlediska.

Poslední část praktické části se zabývá implementací manipulačních prostředků a provedením experimentů. Oba manipulační prostředky lze nastavit tak, aby nebyla narušená výrobní produkce. Ovšem cena a náročnost na udržování těchto prostředků je odlišná, taktéž jejich využitá efektivita.

Tuto práci považuji za seznámení se s logistikou, modelováním v softwaru Plant Simulation a pochopení základních vstupních a výrobních parametrů a jejich vlivy. Navržené modely lze zkoumat daleko podrobněji změnou řady dalších vstupních a výrobních parametrů a vyhodnotit jejich efektivitu je možné nejen na základě produkce, ale také z ekonomického hlediska.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] LAMBERT, Douglas. *Logistika: příkladové studie, řízení zásob, přeprava a skladování, balení zboží*. 2. Praha: Computer Press, 2000. ISBN 80-7226-221-1.
- [2] VANĚČEK, Drahoš a Dalibor KALÁT. *Logistika: (1. díl. Úvod, řízení zásob a skladování)*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2003. ISBN 80-7040-652-6.
- [3] KULČÁK, Ludvík. *Logistika: studijní text pro distanční vzdělávání*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-7204-464-8.
- [4] MOJŽIŠ, Vratislav. *Logistické technologie*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-469-6.
- [5] DÖMEOVÁ, Ludmila. *Modely řízení zásob I*. Praha: Credit, 2004. ISBN 80-213-1140-1.
- [6] TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, VŠB. *Logistika: soubor odborných příspěvků k metodologii a k aplikačním nástrojům*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2001. ISBN 80-7078-915-8.
- [7] MIKULEC, Petr. *Logistika sbírka příkladů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2005. ISBN 80-7318-340-4.
- [8] SIXTA, Josef a Václav MAČÁT. *Logistika teorie a praxe*. Brno: CP Book, 2005. ISBN 978-80-251-0573-3.
- [9] DANĚK, Jan a Miroslav PLEVNÝ. *Výrobní a logistické systémy*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2005. ISBN 80-7043-416-3.
- [10] HLOSKA, Jiří. *Optimalizace materiálového toku v hromadné výrobě simulačními metodami*. Brno, 2015. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Miroslav Škopan.
- [11] PERCINA, Petr. *Logistika pro 21. století*. Praha: Radix, 2005. ISBN 80-86031-59-4.
- [12] LAMBERT, D. M., STOCK, J. R. a ELLRAM, L. M. *Logistika*, 1. vyd, Praha: Computer Press, 2000, ISBN 80-7226-221-1.
- [13] DRAHOTSKÝ, Ivo a Bohumil ŘEZNÍČEK. *Logistika - procesy a jejich řízení*. Brno: Computer Press, 2003. ISBN 80-7226-521-0.
- [14] Kanbanový Systém a kontrola Tahem. *Kanban-system* [online]. Starnberg, Německo [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://www.kanban-system.com/cs/kanbanovy-system-a-kontrola-tahem/>
- [15] S. SOHAL, Amrik, Liz RAMSAY a Danny SAMSON. *International Journal of Operations & Production Management: JIT Manufacturing: Industry Analysis and a Methodology for Implementation*. 7. Emerald Publishing Limited, 1993. ISSN 0144-3577. s. 4-21.

- [16] Snehemay Banejee, Damodar Y. Golhar, „EDI Implementation: A Comparative Study of JIT and Non-JIT Manufacturing Firms“, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* 23, no. 7 (1993), s. 22-31.
- [17] Larry C. Giunipero, Waik K. Law, „Organization Support for Just-in-Time Implementation“, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* 1, no. 2 (1990), s. 35-36.
- [18] GROS, Ivan. *Velká kniha logistiky*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. ISBN 978-80-7080-952-5.
- [19] SIXTA, Josef. *Logistika: metody používané pro řešení logistických projektů*. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-2563-2.
- [20] JUROVÁ, Marie. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5717-9.
- [21] HOUŠKA, Milan. *Simulační modely I*. Praha: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, 2005. ISBN 978-80-213-1334-7.
- [22] *Automa: odborný časopis pro automatizační techniku*. 22. 2016. ISSN 1210-9592.
- [23] VANĚČEK, Drahoš a Dalibor KALÁT. *Logistika: 2. díl: Řízení dodavatelského řetězce, doprava*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2004. ISBN 80-7040-653-4.
- [24] MALÍK, Vratislav. *Válečkové tratě v teorii a praxi*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963. ISBN 9788021426290.
- [25] KAŠPÁREK, Jaroslav. *Dopravní a manipulační zařízení*. Brno. Skripta. Vysoké učení technické v Brně.
- [26] STRAKOŠ, Vladimír. *Přepravní a manipulační prostředky I*. Přerov: Vysoká škola logistiky, 2015. ISBN 978-80-87179-41-3.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

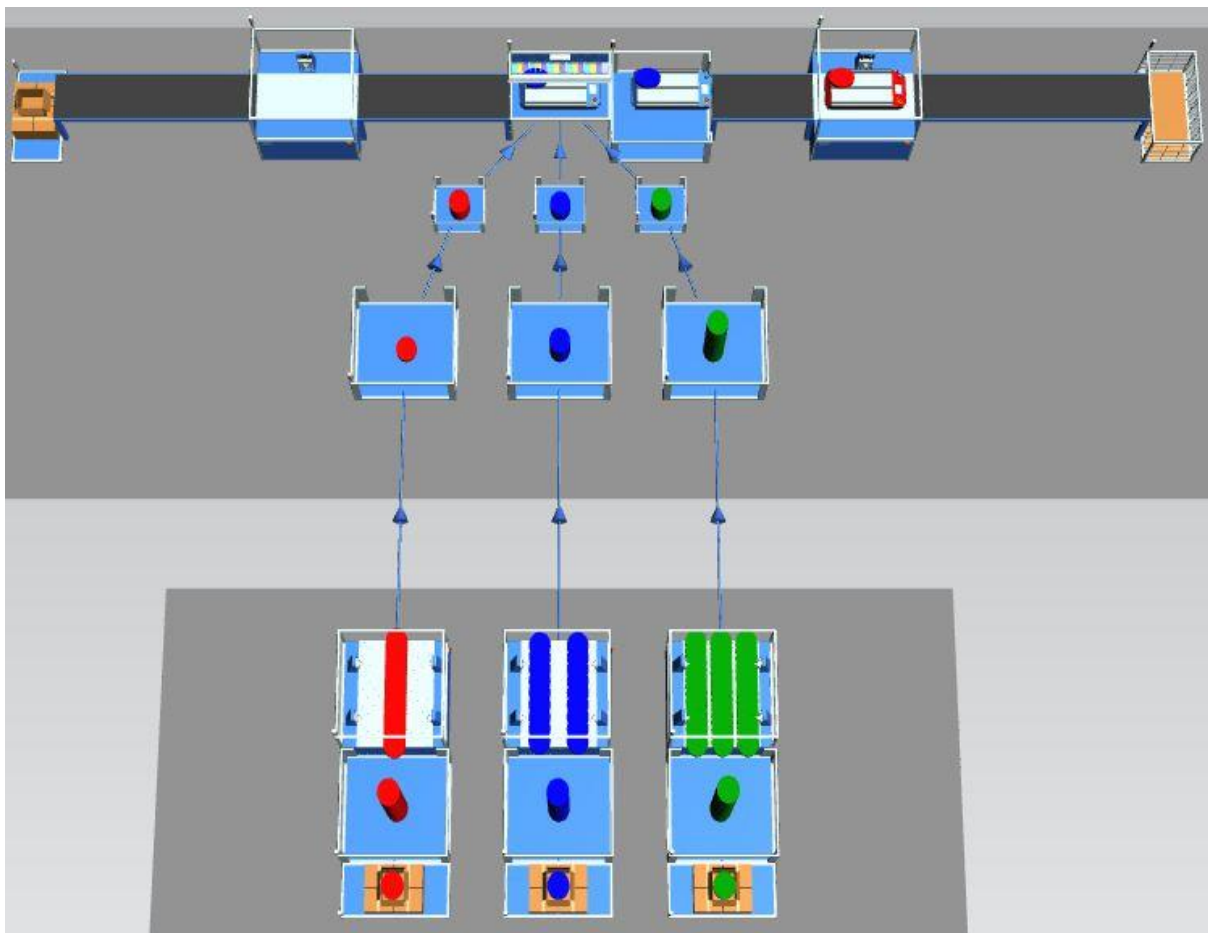
\bar{h}_i	[-]	Průměrná hodnota spotřeby i-té materiálové položky
f_1	[1/rok]	Frekvence dodávek z výroby
f_2	[1/rok]	Frekvence dodávek do prodejny
h_{ij}	[-]	Hodnota spotřeby i-té materiálové položky v j-tém měsíci
n	[měs]	Počet měsíců
p	[ks/den]	Intenzita spotřeby
Q	[ks/rok]	Počet vyprodukovaných jednotek
q_2	[ks]	Velikost dodávek do prodejny
R_k	[ks]	Objednávací úroveň v pravidelných kontrolních intervalech
R_o	[ks]	Objednávací úroveň po každém výdeji
s	[m]	Rozestup materiálu
s_i	[-]	Směrodatná odchylka spotřeby i-té materiálové položky
T	[s/ks]	Takt
t_d	[den]	Požizovací lhůta
t_k	[hod]	Pravidelný kontrolní interval
v	[m/s]	Rychlost pohybu materiálu
V_i	[%]	Variační koeficient
Z_{Max}	[ks]	Maximální zásoba u výrobce
\bar{Z}_s	[ks]	Průměrná zásoba v meziskladu
\bar{Z}_v	[ks]	Průměrná zásoba u výrobce
α	[-]	Koeficient zajištěnosti
λ	[ks/s]	Průchodnost
λ_{Max}	[ks/s]	Maximální průchodnost
ρ	[%]	Stupeň vytížení
τ	[s]	Doba průchodu

SEZNAM PŘÍLOH

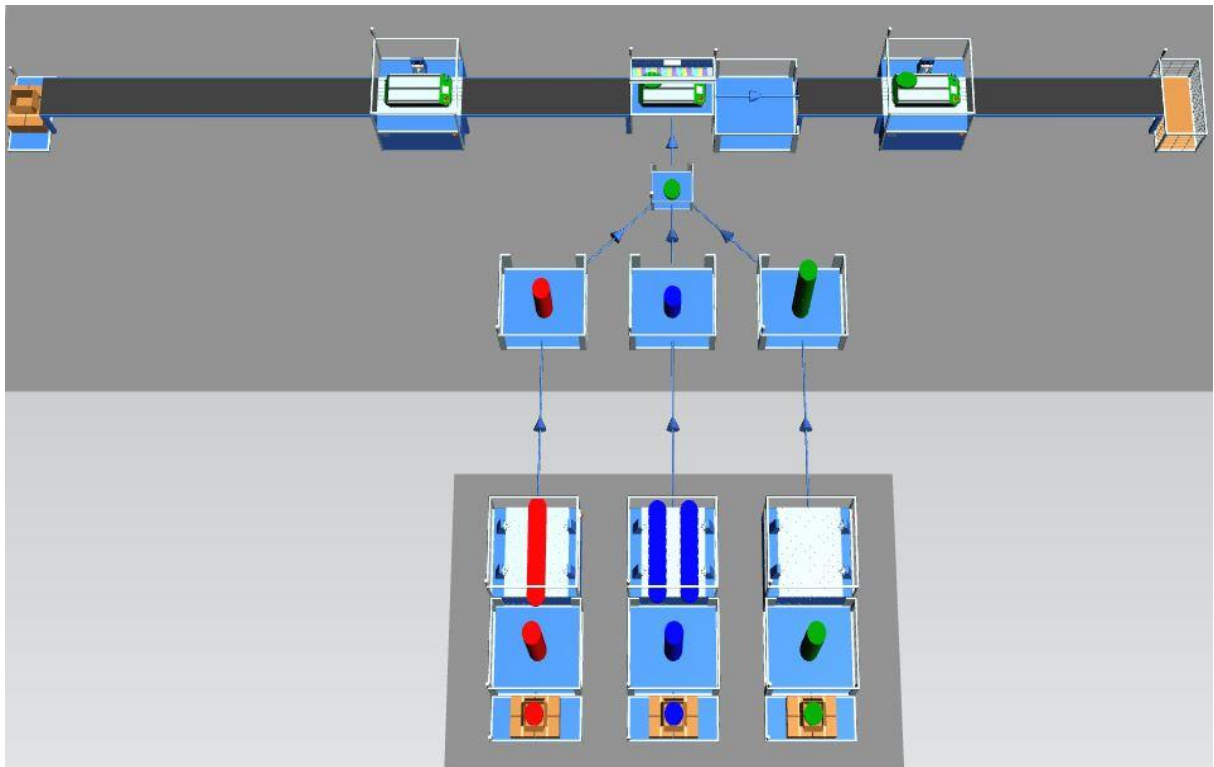
Příloha 1.: Vzhled simulačního modelu systému kanban a JIT [zdroj: vlastní]

Příloha 2.: Vzhled simulačního modelu systému JIS [zdroj: vlastní]

PŘÍLOHY



Příloha 1.: Vzhled simulačního modelu systému kanban a JIT [zdroj: vlastní]



Příloha 2.: Vzhled simulačního modelu systému JIS [zdroj: vlastní]