



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

**MOŽNOSTI ČLENĚNÍ A EVIDENCE DAT PRVKŮ
LOGISTICKÉHO ŘETĚZCE S VYUŽITÍM DISKRÉTNÍ
POČÍTAČOVÉ SIMULACE**

POSSIBLE CLASSIFICATION AND RECORDING OF DATA FROM ELEMENTS OF A LOGISTICAL
CHAIN USING DISCRETE EVENT COMPUTER SIMULATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Seidl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Sedláček

BRNO 2019

ABSTRAKT

Cílem této práce je provedení rešeršního rozboru o využití diskretní simulace a od toho se odvíjející tvorba simulačního modelu v SW Plant Simulation od firmy Siemens. V rešeršní části jsou definovány všechny potřebné pojmy pro úplné a správné splnění zadání bakalářské práce. Praktická část práce je zaměřena na testování průchodnosti modelu a analýzu jeho výstupních dat. Na konci této části práce je zvážení možnost záznamu dat prvků logistického řetězce pro simulační model a jejich eventuální aplikace do reálných systému.

KLÍČOVÁ SLOVA

Optimalizace, diskretní počítačová simulace, simulační model, logistika

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to deepen the possibilities of usage of simulation model in SW Plant Simulation from the company Siemens. In the research part are defined all necessary terms and definitions for completion and fulfilment of the bachelor thesis. The second, practical part is focused on testing the continuity of the model and analyse the output obtained data. At the end of practical part is considered the possibility of recording data of the logistic chain for the simulation model and they potential application into the real system.

KEYWORDS

Optimization, discreet computer simulation, simulation model, logistics

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SEIDL, T. *Možnosti členění a evidence dat prvků logistického řetězce s využitím diskrétní počítačové simulace*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 41 s. Vedoucí diplomové práce Martin Sedláček



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Martina Sedláčka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2019

.....

Tomáš Seidl

PODĚKOVÁNÍ

Prostřednictvím těchto řádků bych rád poděkoval své nejbližší rodině a své přítelkyni za neutuchající psychickou podporu během studia.

OBSAH

Úvod	7
1 Teoretická část.....	8
1.1 Logistika	8
1.1.1 Logistický řetězec	8
1.1.2 Logistický systém	9
1.1.3 Materiálový tok	9
1.1.4 Informační tok.....	10
1.2 Optimalizace.....	11
1.2.1 Simulace.....	11
1.2.2 Validace.....	12
1.2.3 Verifikace.....	13
1.2.4 Diskrétní počítačová simulace	13
1.2.5 Využití simulace.....	14
2 Praktická část.....	15
2.1 Simulační model.....	15
2.1.1 Pojmový model.....	15
2.1.2 Parametry modelu	16
2.1.3 Verifikace a validace modelu	18
2.2 Optimalizace simulačního modelu	20
2.2.1 Výchozí nastavení modelu.....	21
2.2.2 Testování modelu	21
2.2.3 Simulační experimenty	24
2.2.4 Analýza výsledků simulace.....	26
2.3 Metodika záznamu dat modelu	27
Závěr	28
Seznam použitých zkratk a symbolů	30
Seznam příloh.....	31

ÚVOD

V současné době je kladen čím dál větší důraz na rychlost. Na urychlování dějů všude kolem nás. V takto zrychlené době není člověk nucen jen rychle uvažovat, ale i rychle jednat. Po zaměstnancích jsou vyžadovány dostatečně kvalitní výsledky za co možná nejkratší dobu. Vedení k těmto požadavkům přistupuje zejména s ohledem na výslednou finanční prosperitu podniku a udržení konkurenceschopnosti v dnešní zrychlené době.

I z tohoto ohledu vznikají ve společnostech specializovaná oddělení zaměřená na co nejefektivnější hospodárnost chodu podniku. V těchto odděleních je hlavním tématem pojem logistika. Pod tímto pojmem se rozumí tok hmotného či nehmotného materiálu. Tento tok si lze představit například jako pohyb peněz, informací, materiálu, polotovarů nebo výrobků. Směřuje vždy od dodavatele, přes skladové prostory až k odběrateli. Nedílnou součástí logistiky je také likvidace odpadového materiálu, která je v současnosti pod rostoucím dohledem a řídí přísnými pravidly.

Logistika je lidstvem vědomě či nevědomě využívána už po tisíce let. Její absolutní rozmach ale nastal až v posledních desetiletích, kdy se ukázalo, že je ten neúčinnější nástroj na časovou a finanční optimalizaci chodů podniků. Logistika stojí na zkušenostech, znalostech, rozsáhlém monitoringu trhu a sledování jejich nejnovějších trendů a technologií. Smysl efektivní logistiky tkví v její komplexnosti. Logistiku můžeme vnímat skrze celou sférou podnikání. Počátečním úkonem logistiky může být samotný nákup, skladování, řízení výroby, plánování zakázek a odbytu. Jedná se tedy soubor činností, které je třeba vykonat, aby co nejefektivněji došlo ke splnění vytyčených cílů.

Jeden z nástrojů pro zvýšení efektivnosti podnikové logistiky jsou počítačové simulační programy. Prostřednictvím nich lze modelovat reálné systémy a vytvářet tak jejich širokou analýzu nebo modelovat plánované logistické systémy, a tím zhodnotit jejich realizovatelnost či využitelnost.

V této bakalářské práci se zaměřuji na vytvoření simulačního modelu výrobního závodu a jeho podrobný popis. Tento model je testován, výsledné hodnoty jsou porovnány s předpokládanými hodnotami výstupů a zhodnoceny. Jsou nastíněny způsoby optimalizace modelu různými pozměňujícími úkony. Následuje analýza těchto změn s ohledem na vznikání ztrát průchodnosti simulačního modelu a jejich možného zaznamenávání.

1 TEORETICKÁ ČÁST

Terminologický přehled, který je zpracován v následujících odstavcích, slouží k lepšímu porozumění problematice řešené v této bakalářské práci. Nacházejí se zde definice a postupy, s jejichž pomocí byl vytvořen, testován a analyzován vytvořený počítačový model, do kterého byl promítnut zkoumaný výrobní závod.

1.1 LOGISTIKA

Logistiku je možno definovat jako řízení materiálového, informačního a finančního toku s ohledem na včasné splnění požadavků finálního zákazníka a s ohledem na tvorbu zisku v celém toku materiálu. Plnění těchto požadavků je prováděno vlastním vývojem výrobku, vhodným výběrem dodavatele, odpovídajícím způsobem realizace potřeby zákazníka, vhodným přemístěním požadovaného výrobku k zákazníkovi a zajištěním likvidace zastaralého výrobku. [1]

Dle [2] se mezi faktory ovlivňující logistiku řadí:

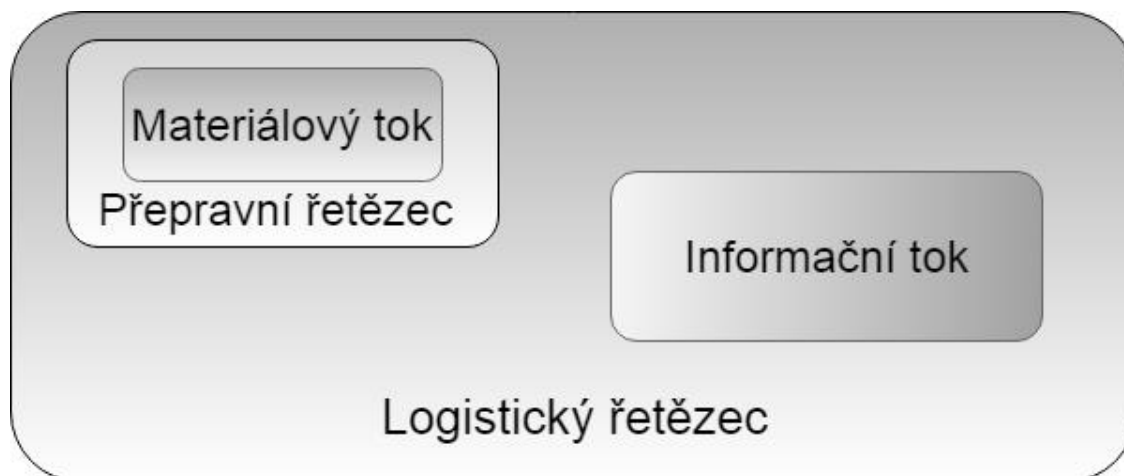
- požadavky trhu;
- způsob dopravy;
- výrobní program;
- technologické určující faktory;
- právní rámcové podmínky logistiky;

Základním cílem logistiky je při minimalizaci celkových nákladů zabezpečit požadavky zákazníka. Zákazník je vnímán jako nejdůležitější článek logistického řetězce. Od zákazníka vychází požadavky na zabezpečení dodávky zboží a s ní souvisejících dalších služeb. U zákazníka také končí logistický řetěz, který zabezpečuje pohyb materiálu a zboží. [1]

1.1.1 LOGISTICKÝ ŘETĚZEC

Pojem logistický řetězec lze popsat jako provázanou posloupnost aktivit, jejichž uskutečnění je nutnou podmínkou k dosažení konečného efektu. [3]

Obecně je logistický řetězec dělen na hmotnou a nehmotnou stránku, přičemž hmotná stránka spočívá v přemísťování věcí a nehmotná stránka v přemísťování informací. Přemísťování informací je poté nedílnou součástí k tomu, aby bylo možné uskutečnit následné přemístění věcí. [4]



Obr. 1: Znárodnění logistického řetězce [7]

Z hlediska plánování logistických řetězců je nutno mít dokonalou znalost o charakteristických vlastnostech, množství a tvaru manipulovatelného materiálu. Za tímto účelem se materiál rozřídí do manipulačních skupin zboží s velmi podobnými vlastnostmi. Na tomto základě je možné manipulovat s materiálem podobné skupiny určitým typem technických prostředků shodným způsobem. [1]

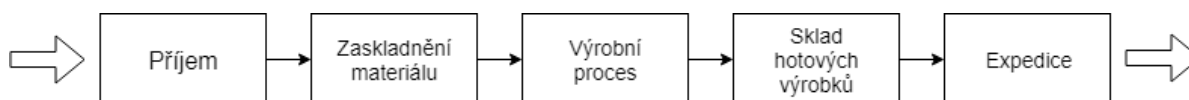
1.1.2 LOGISTICKÝ SYSTÉM

Logistickým systémem se rozumí účelně uspořádané množiny všech technických prostředků, zařízení, budov, cest a pracovníků, podílejících se na uskutečňování logistického řetězce. [3]

1.1.3 MATERIÁLOVÝ TOK

Materiálový tok je pohyb materiálu ve výrobním procesu, cílevědomě vedený tak, aby byl materiál k dispozici na daném místě a v potřebném množství, nepoškozený, v daném okamžiku a s předem určenou spolehlivostí. [3]

Materiálový tok ve firmě je znázorněn na následujícím obrázku.



Obr.2: Materiálový tok ve firmě [10]

Aktivní prvky zajišťují dopravu materiálu ve výrobním závodě. Jsou technické prostředky a zařízení pro manipulaci, přepravu, skladování balení, fixaci a další pomocné prostředky a zařízení. Dále to jsou také prostředky a zařízení sloužící činností s informacemi. [1]

Jejich charakteristika dle [4]: Aktivní prvky jsou prostředky, jejichž působením se realizují toky pasivních prvků v logistickém řetězci. Posláním aktivních prvků je uskutečňovat posloupnosti netechnologických operací, jakými jsou:

- operace balení;
- tvorby a rozebírání manipulačních a přepravních jednotek;
- nakládky;
- vykládky;
- překládky;
- přepravy;
- uskladňování;
- vyskladňování;
- rozdělování;
- kompletace;
- identifikace;
- sběr;
- zpracování;
- přenos a jiné.

Pasivními prvky jsou materiály, které probíhají logistickým řetězcem. Jedná se o:

- suroviny;
- základní a pomocné materiály;
- díly;
- nedokončené a hotové výrobky;
- obaly a přepravní prostředky;
- odpad;
- informace. [4]

Můžeme je nazývat manipulovatelné, přepravované nebo skladovatelné kusy, jednotky nebo zásilky. Účelem operací, které pasivní prvky musí postupně vykonat, je překonat prostor a čas. [1]

1.1.4 INFORMAČNÍ TOK

Z hlediska výroby uvažujeme informační tok jako součást materiálového toku. Pohyb materiálu vede k vytvoření informací, které mohou být použity k vytvoření nebo usměrnění dalšího pohybu materiálu. [5]

Informační tok také určuje čas a sekvenci dílů, ve kterém odvolaný materiál započne materiálový tok. [8]

1.2 OPTIMALIZACE

Snaha o optimalizaci materiálového toku vzniká ve všech fázích výrobního cyklu. Hlavní těžiště optimalizace spočívá ve fázi plánování nové výroby, kde je jedním ze základních úkolů navrhnout neoptimálnější materiálový tok. [4]

Optimalizace nachází největší využití při sériové až hromadné výrobě, v níž dochází k opakování stejných operací. V takovémto případě může i nepatrná změna vést k velkým úsporám. Úspory u materiálového toku mohou být způsobeny vhodným: [6]

- rozmístěním výrobních objektů;
- situováním skladových ploch;
- prostorovým uspořádáním pracovních míst, zařízení a strojů;
- technickým navržením dopravní techniky a skladovacího systému;
- zvolením manipulační jednotky.

Správným navržením materiálového toku lze tedy dosáhnout:

- jednotného směru toku (bez zpětného pohybu a křížení);
- eliminace nadbytečné manipulace;
- zkrácení dopravních vzdáleností;
- zajištění plynulosti materiálu.

V praxi bývá na optimalizaci pohlíženo jako na výběr z technicky možných variant realizovatelných řešení. Jednotlivá řešení vychází z již ustálených, případně v současnosti používaných manipulačních zařízení na stejné konstrukční bázi. V konečném důsledku to znamená, že vybraná varianta nemusí být optimální, ale v rámci nadefinovaných omezení se optimální variantě přibližuje. Je to tedy nejlepší z možných uvažovaných variant. [4]

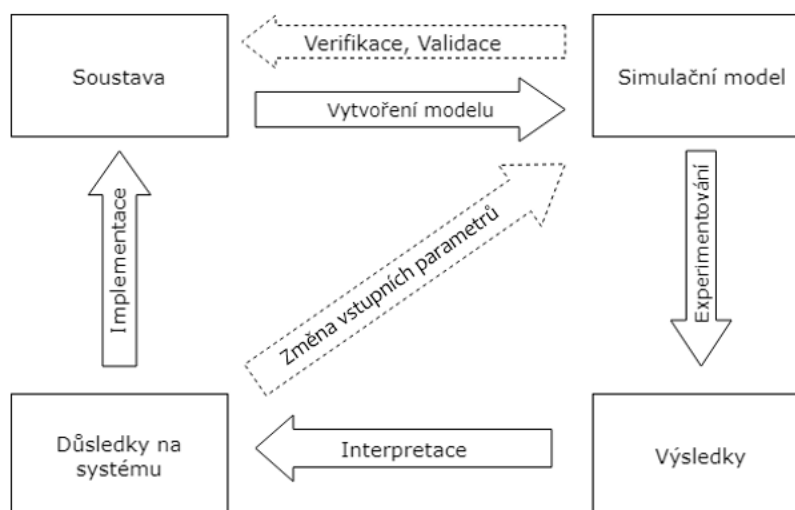
1.2.1 SIMULACE

Pro optimalizaci složitých a rozsáhlých logistických systémů nebo jejich částí je použití simulace ve virtuální realitě v podobě počítačového modelu, do kterého je reálný systém přenesen, velmi vhodné, často dokonce jediné v praxi akceptovatelné řešení. [7]

Podstata simulace spočívá v tom, že s modelem experimentujeme, abychom získali informace o původním zkoumaném systému.

Při vytváření simulačního modelu systému používáme různé parametry. Může jít o parametry zjištěné měřením, pokud vytváříme model existujícího systému, parametry předpokládané, nebo odhadnuté. U všech druhů parametrů je zapotřebí vědět, do jaké míry nepřesnost měření, předpoklady, nebo jejich odhad ovlivňuje chování modelu a přesnost získaných výsledků. [8]

Simulační modelování vzniká vhodnou abstrakcí zkoumané soustavy, po které dostáváme systém. V simulačním projektování místo pojmu systém používáme pojem model. [5] Cyklus simulačního modelování je blíže znázorněn na obrázku:



Obr. 3: Cyklus simulačního modelování [5]

Podle chování v čase lze dělit modely následovně [11]:

- **Statické** – popisují určitou událost v daném časovém okamžiku;
- **Dynamické** – popisují různé stavy systému, které se během simulace mění.

Podle charakteru procesu dělíme modely na [11]:

- **Stochastické** – analyzovaný problém nebo metoda řešení mají náhodný charakter;
- **Deterministické** – v modelu nejsou zahrnuty žádné náhodné veličiny a všechny procesy se vyznačují jednoznačně určenými příčinami a jejich následky.

A podle způsobu zachycení časového faktoru v modelu se dělí modely na [11]:

- **Spojité** – hodnoty atributů se mění v čase spojitě;
- **Diskrétní** – proměnné hodnoty modelu se v čase mění skokově.

1.2.2 VALIDACE

Validací modelu se rozumí ověření, že počítačový model v oblasti aplikovatelnosti prokazuje uspokojivou míru shody s realitou v souladu se zamýšleným použitím. [9]

Pokud vytváříme model existujícího systému tak nejjednodušším způsobem kontroly je srovnání reálných dat s výstupy modelu. Nelze očekávat úplnou shodu modelu a reality, protože model vždy zůstane zjednodušením reality. Z tohoto důvodu se doporučuje se vyvarovat modelování nejrůznějších detailů, protože se komplikuje případné pozdější editování počítačového modelu. [9]

Model podle dosažené validity může být:

- **Replikativně validní** – reprodukuje data reálného systému;
- **Prediktivně validní** – model poskytuje data předtím, než je poskytuje reálný systém;
- **Strukturně validní** – model je schopný nejenom reprodukovat pozorovaná data, ale je schopný také věrně odrazit způsob činnosti reálného systému. [9]

1.2.3 VERIFIKACE

Verifikace modelu znamená ověření, zda počítačový model reprezentuje pojmový model se stanovenou mírou přesnosti [4].

1.2.4 DISKRÉTNÍ POČÍTAČOVÁ SIMULACE

Diskrétní počítačové simulace jsou charakteristické tím, že se proměnné v modelu mění skokově (nespojité) pouze nastala-li určitá událost. Pro řízení chování modelu, jenž představuje zjednodušení složité reality využívají tzv. next-event techniku, což znamená, že model se mění, pouze pokud se provede určitá událost. Model, na kterém simulace probíhá, pak obsahuje chronologicky navazující děje. Díky výsledkům získaných ze simulace můžeme zjišťovat chování složitého dynamického systému, jehož stav se mění v čase, za různých podmínek. [9]

Diskrétní simulace využívá tyto složky, které jsou pro ni typické a zároveň jí reprezentují:

- **Čas** – v závislosti na nastavení jednotek (dny, hodiny atd.) se čas mění skokově;
- **Události** – změny v daném systému, který simulujeme;
- **Generátor náhodných čísel** – ke generování náhodných čísel se využívají pseudo-generátory;
- **Statistiky** – výstupem simulace jsou statistická data získaná při simulaci, která musíme dále zpracovávat, abychom získali výsledné informace;
- **Koncové podmínky** – simulace by mohla pokračovat do nekonečna, proto je nutné definovat koncové podmínky, při kterých simulace ukončí svou činnost. [9]

1.2.5 VYUŽITÍ SIMULACE

Pro reálnou nebo plánovanou soustavu je vytvořen simulační model, který dle předem zvolené míry detailnosti a přesnosti, odpovídá soustavě. Funkci a logiku vytvořeného simulačního modelu je nutné ověřit a zjistit, zda odpovídá chování reálné nebo plánované soustavy. Ověření se provádí verifikací a validací vytvořené soustavy. Takto ověřený simulační model je dále využíván pro experimentování, kdy jsou vyhodnocovány varianty úprav logiky, či parametrizace soustavy. Vyhodnocené výsledky z experimentů musí být interpretovány a je nutné zhodnotit možné důsledky na plánovanou soustavu. Následným zvolením akceptovatelné varianty přechází cyklus simulačního modelu do fáze implementace navržených změn do reálného systému. [8]

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Obsahem praktické části bakalářské práce je přiblížení vlastností simulačního modelu, a to zejména jeho systémové rozdělení, popis výchozích parametrů a znázornění logiky řízení. Následuje verifikace a validace modelu, způsoby optimalizace, testování modelu a následné zhodnocení dosažených výstupů simulace. Další částí je návrh metodiky záznamu dat prvků logistického řetězce pro simulační model a možnosti její aplikace do reálných systémů.

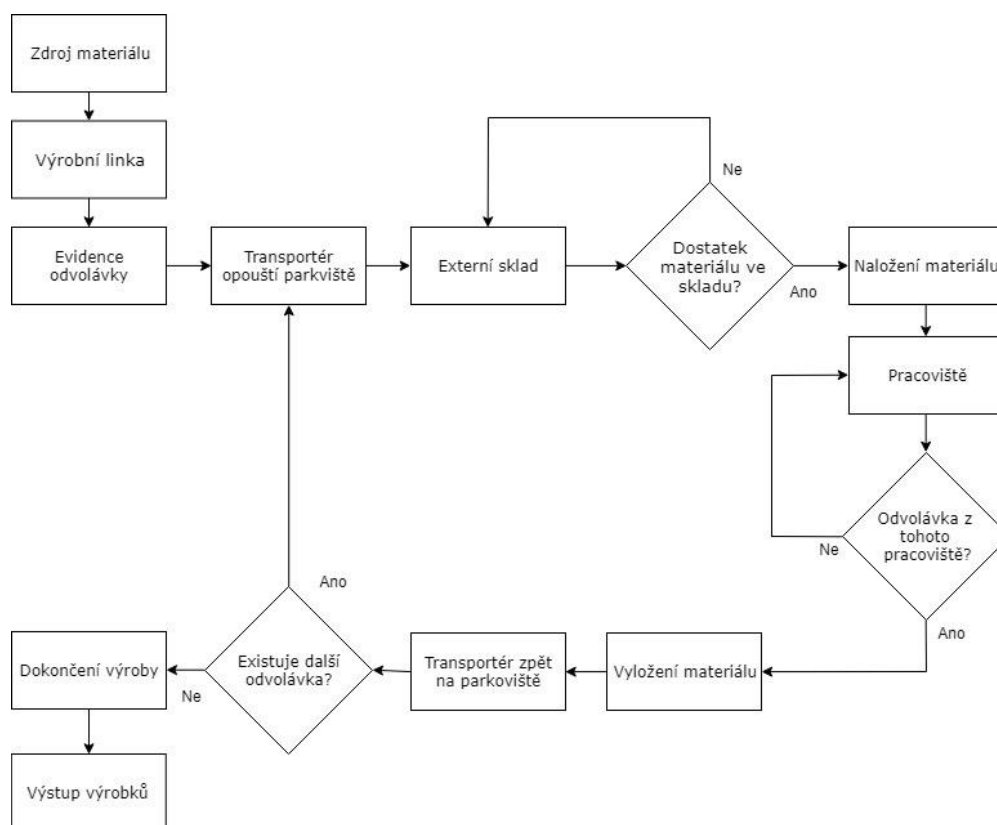
2.1 SIMULAČNÍ MODEL

Simulační model byl vytvořen v SW Plant Simulation na základě vytvořeného pojmového modelu. Úkolem modelu je simulovat zhotovení výrobků ve výrobním závodě. Výrobní model se skládá ze tří sériově zapojených výrobních linek, ke kterým je paralelně připojen logistický okruh ve formě externích skladů. Dopravu materiálu v logistické části modelu zabezpečuje transportér.

Pro simulaci jsou výrobní linky závodu a logistický okruh vytvořeny v nezávislých rámech simulačního programu. Jednotlivé rámy jsou správně logisticky propojeny tak, aby bylo možné uskutečnit plynulý chod materiálu skrze celý výrobní závod. Ten se v simulačním programu skládá ze základního rámu, v němž je naznačen vstup materiál a výstup finálního zhotoveného výrobku. Mezi těmito dvěma objekty jsou zapojeny další tři rámy – výrobní linky, mezi nimiž se nachází dva zásobníky polotovarů. Na výrobní linky je paralelně napojen poslední rám – logistický okruh. Výše popsany celek tvoří kompletní simulační model.

2.1.1 POJMOVÝ MODEL

Pojmový model byl zhotoven pro účel vytvoření simulačního modelu. Je realizován formou vývojového diagramu, kde je popsána funkce řízení logistického modelu. Jsou zde znázorněny události vznikající během simulace od počátku vstupu materiálu na výrobní linky, přes jednotlivé logistické úkony transportéru, až po výstup finálního výrobku z výrobních linek.



Obr. 4: Pojmový model

Vstupní materiál je dodáván na výrobní linky. Pracovní stanice výrobních linek, napojené na externí část modelu, v případě nedostatku materiálu v zásobnících, vytvářejí odvolávku. Tato odvolávka je evidována transportérem, který opouští parkoviště a pokračuje do externích skladů. Pokud je v externím skladu dostatek materiálu, je transportér naložen. Jestliže tomu tak není, transportér pokračuje do dalšího externího skladu. Poté směřuje k jednotlivým zásobníkům pracovních stanic výrobních linek, kde vykládá nebo nevykládá materiál, v závislosti na tom, zda byla odvolávka vytvořena tímto pracovištěm. Po vyložení materiálu putuje transportér zpět na parkoviště, kde čeká na další vytvoření odvolávky od jednoho z pracovišť. Případný dodaný materiál je do zásobníků stažen pracovními stanicemi a pokračuje vyhotovení výrobku, který je finálním výstupem výrobního závodu.

2.1.2 PARAMETRY MODELU

Výrobní linky simulačního modelu podléhají vstupním parametrům uvedeným v příloze P1. Každá pracovní stanice výrobní linky má jasně definovanou svou poruchovost. Ta se do simulačního programu zadává pomocí proměnné a je udávána v procentech. Pro tuto proměnnou platí, že pokud je její hodnota rovna 100 %, pak k poruše daného zařízení nedochází. Poruchovost v praxi znamená, že dojde-li k poruše na dané pracovní stanici, je nutná její oprava. S tím souvisí i doba potřebná k opravě pracovní stanice, která je pro všechny stanice výrobního závodu stejná a její hodnota je 390 vteřin.

Na jednotlivých pracovních stanicích se během aktivního provozu z materiálu stává polotovár a po absolvování pracovních činností na všech pracovištích vystupuje tento dříve surový materiál jako finální výrobek. Vstupující materiál na výrobní linky je trojího druhu. Jeho počet a poměr je popsán v následující tabulce:

Tab. 1: Parametry vstupního materiálu

Pracovní název vstupního materiálu [-]	Poměr vstupního materiálu [ks]	Počet materiálu v řadě za sebou [ks]
Model A	140	8
Model B	210	8
Model C	400	8

S různorodostí zpracovávaného materiálu ve výrobním závodě souvisí i doba přenastavení pracovní stanice. Tato doba je definovaná u výrobní stanice s názvem: POD1_05. K úkonu přenastavení se přistupuje tehdy, pakliže se na stanici objeví materiál jiného druhu, než byl materiál předchozí. Jedná se tedy o časový interval, během kterého je stanice uvedena mimo provoz. Dochází přitom k potřebným změnám, které umožní zpracování následujícího odlišného materiálu. Vzhledem k tomu, že toto přenastavení podléhá historii druhu materiálu na dané výrobní stanici, jsou jeho intervaly pro jednodušší pochopení znázorněny v tabulce.

Tab. 2: Doba přenastavení pracovní stanice POD1_05

POD1_05	Model A	Model B	Model C
Model A	0 s	0 s	15 s
Model B	0 s	0 s	15 s
Model C	15 s	15 s	0 s

Obdobnou specifickou vlastností disponuje třetí pracovní stanice výrobní linky s pracovním názvem SVA. Zde je opět doba potřebná k přenastavení, ale jeho řízení je jednodušší a dochází k němu vždy při uvedení nového druhu materiálu na stanici bez ohledu na předchozí druh materiálu. Časové intervaly jsou zde ale delší, což znamená, že prodleva při přenastavení této stanice je podstatně větší.

Tab. 3: Doba přenastavení pracovní stanice SVA3_03

SVA3_03	Doba přenastavení [s]
Model A	66
Model B	75
Model C	80

Mezi jednotlivých výrobními linkami se nacházejí dva zásobníky polotovarů. První z nich je umístěn za počáteční linkou a jeho kapacita je definována na 30 kusů. Druhý zásobník se nachází před poslední linkou a je určen maximálně pro 25 kusů polotovarů. Na výrobní linky je napojena logistická část, znázorněna v příloze P2. Logistická část se skládá ze zavázacího okruhu a čtyř externích skladů, které prostřednictvím transportéru zásobují materiálem jednotlivé zásobníky pracovních stanic výrobních linek. Každá z nich je na externí část modelu napojena právě dvěma zásobníky, ze kterých si stanice výrobních linek odebírají potřebný materiál. V logistické části modelu je hlavním operačním ústrojím transportér. Ten má obdobně jako pracovní stanice předem definovanou poruchovost: 95 % a vlastní rychlost: 20 km/hod. Jako počáteční a koncová pozice je pro transportér vytvořeno parkoviště, které je umístěno mezi externími sklady a zavázacím okruhem, v němž jsou umístěny zásobníky.

2.1.3 VERIFIKACE A VALIDACE MODELU

Ověřením, že počítačový model dostatečně reprezentuje vytvořený pojmový model a že zejména způsob jeho řízení je realizovatelný a logicky správně navržen, lze verifikaci považovat za splněnou.

Shodou výstupních parametrů modelu s předpokládanými hodnotami výstupu byla ověřována validace modelu. V tomto případě se validací modelu rozumí ověření, že průchodnost výrobních linek je alespoň přibližně shodná s vypočtenou hodnotou průchodnosti. Linky byly pro kontrolu vzhledem k výpočtům, upraveny takovým způsobem, aby bylo ověření modelu realizovatelné. Jsou tedy pro účely validace nastaveny bez poruchovosti, a tudíž i bez doby na opravu. Také je zde eliminována doba přenastavení pracovních stanic.

Vzhledem k tomu, že statistické propočty, které slouží k ověření průchodnosti výrobní linky, nelze realizovat pro více výrobních linek s různými výrobními časy, je validace zjednodušena a provádí se pouze pro jednu výrobní linku. Tato výrobní linka spadá pod směnný provoz, který je jednotný pro všechny linky a je definován následující tabulkou.

	6:00 - 14:00		14:00 - 22:00		20:00 - 6:00	
Směna 1	█		█		█	
Směna 2	█		█		█	
Směna 3	█		█		█	
Celková doba přestávek [min]	165	Celková pracovní doba [min]	1275			

Obr. 5: Směnný provoz

K validaci byla vybrána první zařazená výrobní linka s pracovním názvem POD. Pro názornost shody výstupních parametrů s výsledky statistických propočtů byla simulace při validaci prováděna na 1 den a posléze i na 120 dní provozu výrobní linky. Pro

posouzení validace modelu je třeba vypočítat průchodnost vybrané výrobní linky. K tomuto účelu poslouží následující rovnice:

$$t_1 = t_{s_1} * 60 \quad (1)$$

kde:

- t_1 [s] – doba provozu výroby (den)
 t_{s_1} [min] – celková pracovní doba (den)

$$t_2 = (t_{s_1} * 60) * 120 \quad (2)$$

kde:

- t_2 [s] – doba provozu výroby (120 dní)

$$s_1 = \frac{t_1}{t_0} \quad (3)$$

kde:

- s_1 [ks] – statistická průchodnost výrobků (den)
 t_0 [s] – doba operace na pracovní stanici linky

$$s_2 = \frac{t_2}{t_0} \quad (4)$$

kde:

- t_2 [min] – doba provozu výroby (120 dní)
 s_2 [ks] – statistická průchodnost výrobků (120 dní)

Do rovnic (1), (2), (3) a (4) byly dosazeny parametry výrobní linky. Dále tedy platí, že:

$$t_1 = 1275 * 60 = 76500 \text{ s}$$

$$t_2 = (1275 * 60) * 120 = 9180000 \text{ s}$$

$$s_1 = \frac{76500}{72} = \mathbf{1062,5 \text{ ks}}$$

$$s_1 = \frac{9180000}{72} = \mathbf{127500 \text{ ks}}$$

Pomocí vypočítaných výsledků jsme schopni zhodnotit validaci modelu. K celkovému zhodnocení validace modelu je zapotřebí, jak výsledků statistických propočtů, tak i výsledků průchodnosti vygenerovaných simulačním softwarem. Výsledky jsou zobrazeny na obr. 6, kde kolonky „All Types“ vyjadřují právě průchodnosti modelu.

Doba simulace: 1 den				
Object	All Types	Model_A	Model_B	Model_C
Výstup_POD	1062	200	296	566
Doba simulace: 120 dní				
Object	All Types	Model_A	Model_B	Model_C
Výstup_POD	127500	23800	35704	67996

Obr. 6: Vygenerovaná průchodnost pro validaci

Je zřejmé, že vypočtené hodnoty průchodnosti jsou takřka shodné s výsledky simulace modelu. Validaci lze tedy považovat za úspěšnou. K tomuto závěru přispívá fakt, že obdobnými statistickými propočty by došlo k dalším shodám průchodností jednotlivých výrobních linek. Shodná průchodnost dílčích linek je dána tím, že mají podobný charakter materiálového toku, a liší se pouze zadanými parametry, mezi které patří počet stanic nebo nastavení daných pracovišť. Po tomto tvrzení lze ověření chodu všech výrobních linek, a tedy celého simulačního modelu bez logistické části, považovat za splněné.

2.2 OPTIMALIZACE SIMULAČNÍHO MODELU

Optimalizací simulačního modelu se rozumí úpravy výchozího nastavení modelu do takové míry, aby byly názorně představeny vlivy jednotlivých změn tohoto nastavení. Jednotlivé kroky optimalizace jsou zvoleny s ohledem na možnost změny daného výchozího parametru a patří mezi ně:

- hladiny odvolávky;
- rychlost transportéru;
- kapacita transportéru;

2.2.1 VÝCHOZÍ NASTAVENÍ MODELU

Simulovaný model s výchozími parametry výrobní linky (viz příloha P1) a s napojenou logistickou částí, by měl generovat denní průchodnost přibližně o 30 kusů výrobků menší, než je průchodnost výrobních linek bez logistického okruhu. K tomuto faktu se přistupovalo během celé optimalizace. Pro splnění této podmínky byl simulační model nastaven na tyto parametry:

Tab. 4: Výchozí nastavení modelu

Směnný provoz [-]	aktivní
Poruchovost [-]	aktivní
Doba pro přenastavení [-]	aktivní
Hladina odvolávky [ks]	40
Rychlost transportéru [m/s]	5,56
Kapacita transportéru [ks]	8

Před spuštěním simulace bylo třeba vhodně nastavit její dobu. Pro simulovaný čas 120 dnů, bylo třeba trvání simulace nastavit na 123 dnů, a to z důvodu, aby se zkoumaný model testoval v plném provozu, se všemi obsazenými výrobními stanice a byl tak eliminován náběh systému. Nastavením simulačního programu se přebývající 3 dny při výsledných hodnotách průchodnosti neobjevovaly, tj. došlo k simulaci požadovaného počtu dnů.

2.2.2 TESTOVÁNÍ MODELU

Celkové testování modelu slouží k ověření úbytku na celkové průchodnosti vlivem připojení externích skladů. Hodnoty průchodností mají také svůj význam jako výchozí bod pro simulační experimenty. Tím je myšlena skutečnost, že po ověření ztrát průchodnosti jsou jejich hodnoty klíčové pro tvorbu optimalizace jednotlivých nastavení modelu.

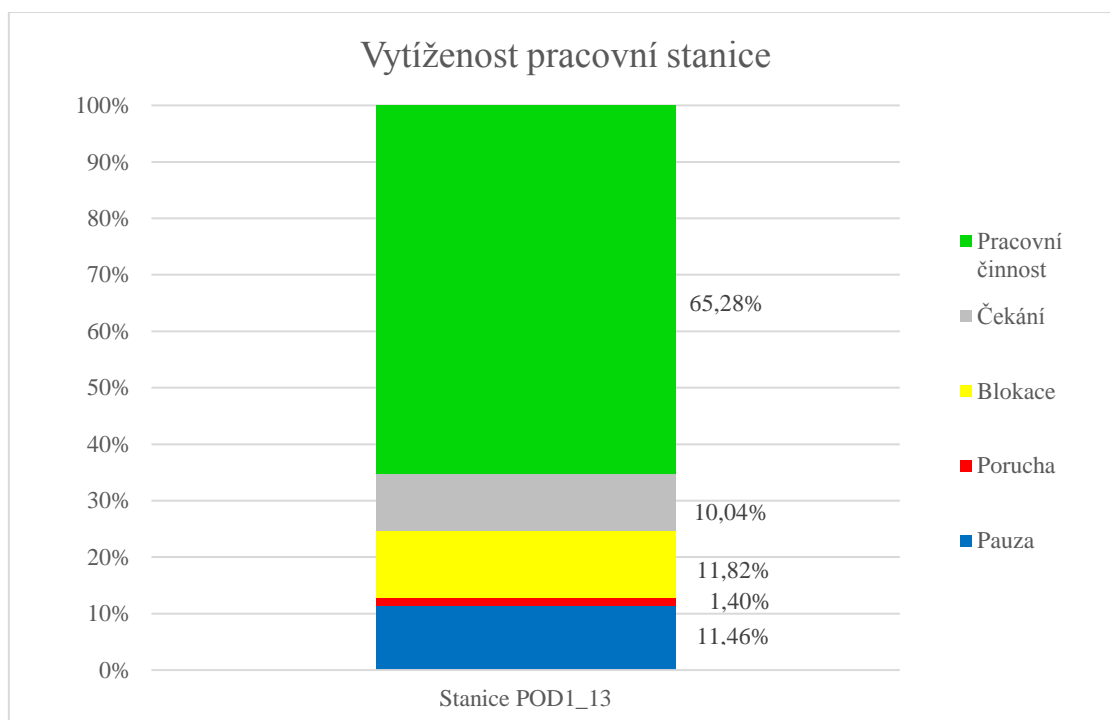
Nejprve je testování zaměřeno na výrobní část závodu, tedy na testování vzájemně propojených výrobních linek. Průchodnost je ověřována při neaktivní i aktivní poruchovosti. Je tomu tak z důvodu zohlednění jejího vlivu na celkovou průchodnost.

Při neaktivní poruchovosti je také testován stav, kde nejsou uvažovány aktivní ani časy přenastavení a je tedy testován pouze vliv různých pracovních časových intervalů jednotlivých stanic. Pro posouzení průchodnosti jsou zadávané hodnoty poruchovostí dílčích pracovních stanic totožné s hodnotami uvedenými v příloze I. K těmto charakteristickým vlastnostem jsou přidány doby oprav a přenastavení pracovních stanic.

Tab. 5: Jednotlivé hodnoty poruchovostí výrobních linek

	Poruchovost [-]	Doba přenastavení [-]	Logistická část [-]	Celková průchodnost [ks]	Denní průchodnost [ks]
Stav 1	neaktivní	neaktivní	neaktivní	105517	879
Stav 2	neaktivní	aktivní	neaktivní	105517	879
Stav 3	aktivní	neaktivní	neaktivní	98686	822
Stav 4	aktivní	aktivní	neaktivní	93695	780

Během simulačního procesu stavu 4 dochází hned k několika fázím provozu pracovních stanic. Pro názornost činností pracoviště, jsou u náhodně vybrané stanice vyobrazeny poměry procentuálního rozdělení simulovaného období (viz obr. 6).



Obr. 6: Vytížení pracovní stanice

Pro zelené pole platí, že pracovní stanice aktivně vykonává práci, pro kterou je předurčena. Šedé pole značí její neobsazenost, tzn. že stanice čeká na další polotovary z pracovní stanice, která se nachází v řadě před touto stanicí. Žluté pole signalizuje blokaci a ta nastává v případě, že se nepodaří opracovaný polotovar z aktuálního pracoviště přemístit na pracoviště následující. Tento jev nastane, pakliže následující stanice stále vykonává svou práci, je opravována nebo blokována. Porucha je znázorněna červeným polem a je přímým

následkem zadané hodnoty poruchovosti. Modrým polem je vyobrazena doba, kdy pracoviště není v pracovním režimu, tudíž nevykonává žádnou činnost.

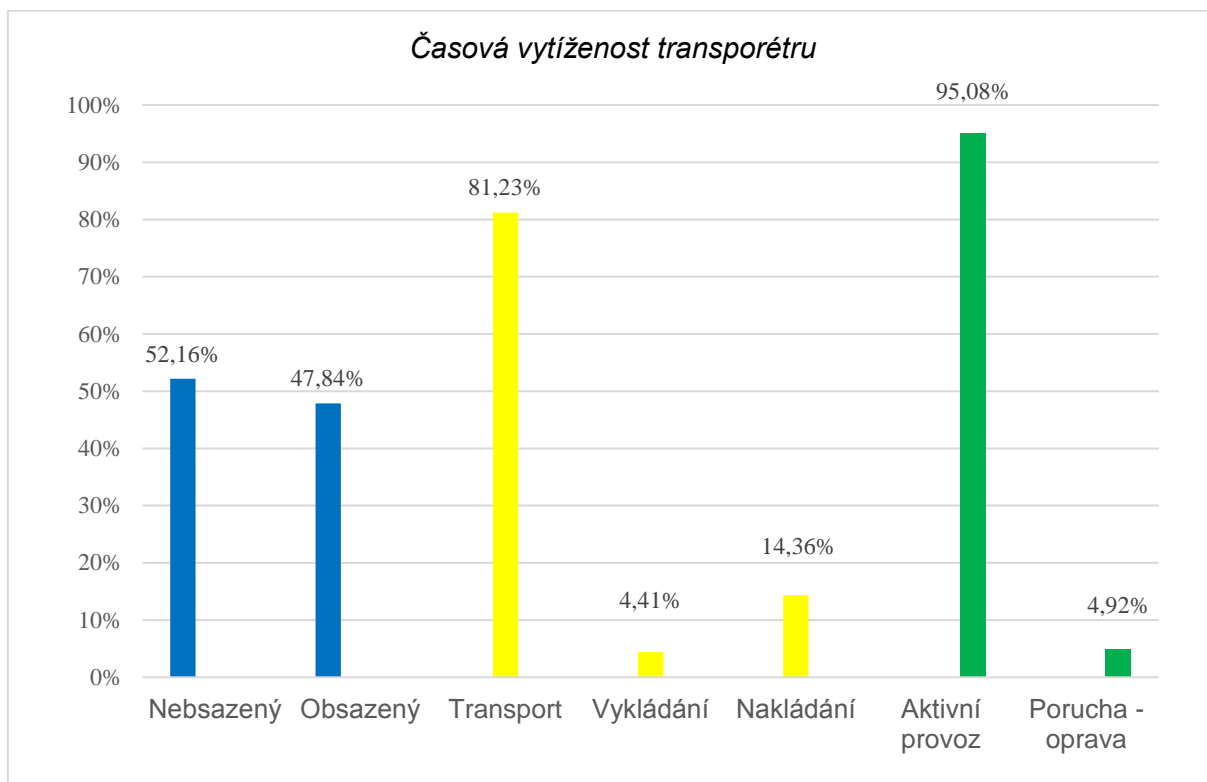
Jednotlivé zásobníky, umístěné mezi linkami, se během simulace vyznačují velmi odlišnou obsazeností. Zatímco prvně umístěný zásobník je téměř polovinu simulovaného času celý zaplněn, obsazenost druhého zásobníku je během času simulace rozložena nerovnoměrně, ale nedochází k převládajícímu počtu kusů, jako je tomu u zásobníku prvního. Tyto dva jevy jsou způsobené zejména umístěním zásobníků. První zásobník je zařazen tak, že celé tři čtvrtiny všech pracovních stanic, a tedy celé dvě linky s označením SVA a DOK, jsou až za jeho výstupem. Roli hraje také to, že pracovní čas na stanicích první linky je v porovnání s průměrným pracovním časem dalších dvou linek nižší, čímž musí logicky docházet k hromadění polotovarů v prvním zásobníku. Za druhým zásobníkem je umístěna pouze jedna výrobní linka, která má sice vyšší pracovní čas na stanicích v porovnání s předchozími linkami, avšak tato linka není zatížena žádným časem potřebným k přenastavení stanic během změny druhu materiálu. Procentuální obsazenost zásobníků během doby simulačního procesu je znázorněna v příloze P4.

Pro testování výrobních linek s připojenými externími sklady je nutné zmobilizovat operační transportér. Z výchozího nastavení modelu lze vyčíst, že transportér je schopen na jednu odvolávku dodat do zásobníku výrobní linky osm kusů materiálu. Simulační model s aktivní logistickou částí, s nastavenými hodnotami dle výchozího nastavení modelu (proto označení modelu nulovým – výchozím – stavem), vykazují průchodnost modelu viz tab. 6. Vygenerovaná denní hodnota průchodnosti slouží zejména k ověření hodnoty úbytku průchodnosti vlivem připojené logistické části.

Tab. 6: Průchodnost celého výrobního závodu při výchozím nastavení modelu

	Poruchovost [-]	Doba přenastavení [-]	Logistická část [-]	Celková průchodnost [ks]	Denní průchodnost [ks]
Stav 0	aktivní	aktivní	aktivní	89640	747

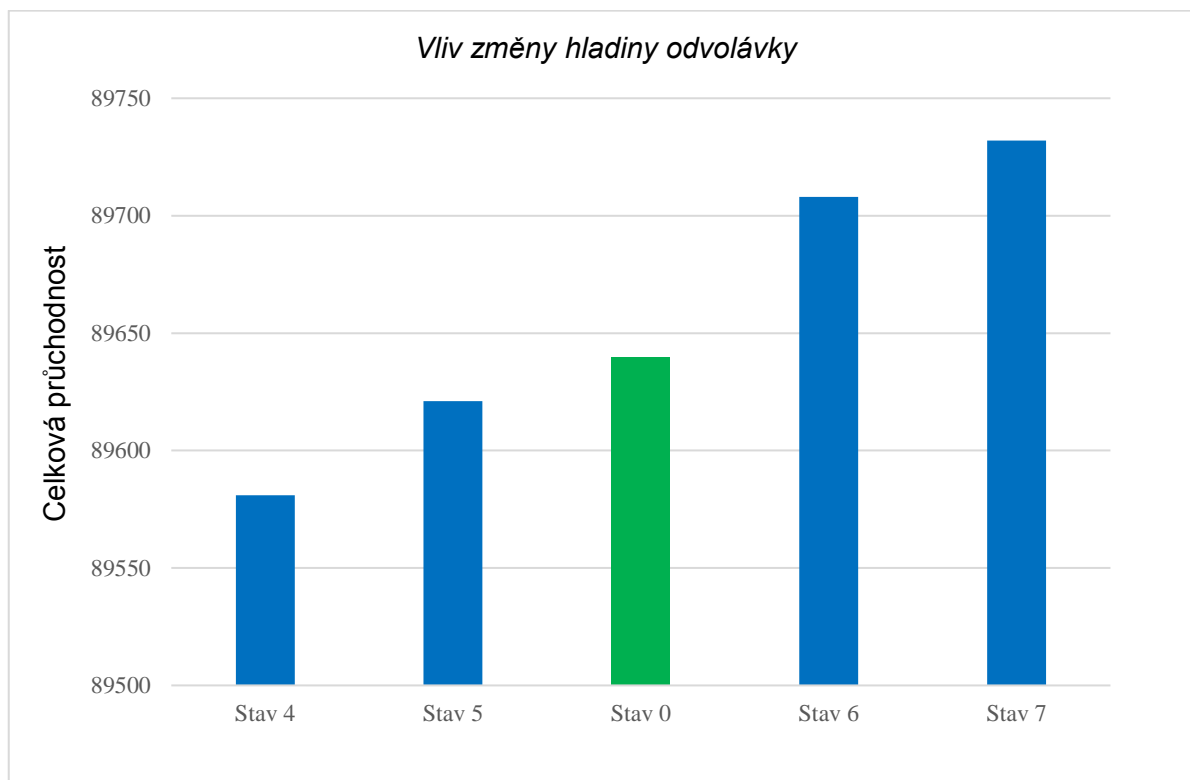
Procentuální časová vytiženost transportéru, operujícího v logistické části modelu je na obr. 7. Celková vzdálenost, kterou transportér při vykonávání simulace urazí, je 46786,6807 km.



Obr. 7: Časová vytiženost transportéru logistické části

2.2.3 SIMULAČNÍ EXPERIMENTY

Logistická část modelu je řízena hladinou odvolávky. Její hodnota v praxi znamená to, že pokud počet kusů materiálu v zásobníku klesne na hodnotu hladiny odvolávky, je z tohoto pracoviště evidována odvolávka. Pro větší pochopení vlivu odvolávky na chod modelu je možné přistoupit k prvnímu způsobu optimalizace. Byly simulovány stavy, kdy jsou parametry výchozího nastavení modelu zachovány s výjimkou hodnoty hladiny odvolávky. Ta je měněna a její změna je na průchodnosti modelu zaznamenána na následujícím obrázku.



Obr. 8: Vliv změny hladiny odvolávky na průchodnosti

Stav 0 – zelený sloupec grafu představuje celkovou průchodnost pro systém s výchozím nastavením. U ostatních stavů lze vypočítat jednotlivé vlivy na změnu průchodnosti, které se v časovém intervalu simulace pohybují pouze v řádů desítek.

Dalším možným krokem optimalizace modelu je změna kapacity transportéru. U nových hodnot kapacit byla navíc ještě pozměněna rychlost transportéru, což se ukázalo jako zásadní ovlivňující faktor na celkovou průchodnost modelu. Změny rychlostí transportéru byla vždy od původní rychlosti o 5 km/hod.

Pro přehlednost je v příloze P3 uvedena tabulka s kompletními výsledky průchodností, vygenerovaných při testování během simulačních experimentů.

2.2.4 ANALÝZA VÝSLEDKŮ SIMULACE

Prostřednictvím optimalizačních úprav výchozího stavu modelu byly testovány jednotlivé stavy počítačového modelu.

V první sekci testování byly výrobní linky nastaveny do čtyř experimentálních stavů, kde byl zahrnut vliv poruchovosti a čas přenastavení. Jak lze vyčíst z tab. 5, při aktivní poruchovosti pracovních stanic očekávaně klesla průchodnost výrobních linek. Je tomu tak díky času, který si vytvořené závady na pracovištích vyžádaly. Zajímavý fakt ovšem nastane při neaktivní poruchovosti. Zde lze pozorovat, že průchodnosti při aktivním přenastavení pracovních stanic jsou totožné s průchodnostmi při nečinné době přenastavení. Při bližší analýze bylo ale zjištěno, že se u průchodností mění vzájemný poměr průchozích druhů materiálů a tím dojde ke kompenzaci potenciální ztráty průchodnosti způsobené vlivem doby přenastavení stanic.

V druhé části optimalizačních experimentů je testován model s výchozím nastavením (stav 0). Tato hodnota průchodnosti nám slouží k tíženému porovnání vlivu logistické části na celkovou průchodnost výrobního závodu. Ta má dle očekávání vliv na celkovou denní průchodnost a v tomto modelu do takové míry, že z ní odebírá celých 33 kusů výrobků. Tento úbytek je způsoben tím, že během simulace nastane okamžik, kdy je zásobník pracovní stanice zcela vyprázdněn. Takovýto jev se dostaví tehdy, když transportér není schopný zařídit dostatečnou dodávku materiálu do zásobníku. Pro názornost vlivu kapacity transportéru je dále experimentováno s velikostí její hodnoty. Jak lze vidět v příloze P3, při navýšení kapacity o pouhé jedno přepravní místo vzroste celková průchodnost modelu. Při tomto simulovaném stavu nedochází k úplnému vyprázdnění ani u jednoho z šesti zásobníků pracovních stanic. Naopak dodávka materiálu na výrobní linky je v takové kvantitě, že pracovní linky většinu času čekají na materiál z předchozího pracoviště, než aby čekaly na materiál z externího skladu. Je to dáno hlavně tím, že stanice napojena na zásobník má neustálou možnost odebrat materiál, a také tím, že takto napojená pracovní stanice nemá definovanou poruchovost.

Při dalších optimalizačních krocích byla měněna rychlost transportéru. Při těchto změnách došlo k rapidnímu poklesu/zvýšení hladiny odvolávky, i když byla hodnota rychlosti měněna řádově o jednotky km/hod. Pro zvýšenou kapacitu nehraje růst rychlosti téměř žádnou roli, protože se nemění fakt, že zásobník je naplněn a výrobní linky pracují prakticky bez prostojů. Ovšem při snížení rychlosti transportéru se jen zvýrazní jeho neschopnost dodávky potřebného materiálu na výrobní linky. Je tomu tak i při zachování původní kapacity a snížení rychlosti vozu a také logicky i při snížené kapacitě s rychlostí.

2.3 METODIKA ZÁZNAMU DAT MODELU

Hlavním inženýrským úkolem, při plánování logistiky, je zabezpečit maximální hospodárnost provozu výroby. S tím úzce souvisí snaha o eliminaci vlivů, které by mohli mít zásadní vliv například na plynulost provozu, intervaly pracovních činností, přetíženost pracovníků či včasnou dodávku materiálu. Všechny tyto aspekty mají přímý nebo nepřímý vliv na plynulost výroby, se kterou hospodárnost provozu úzce souvisí.

Nástrojem predikce nežádoucích vlivů na plynulost provozu jsou počítačové simulace. Dokonce pomocí nich lze zaznamenávat data modelu, aniž by nějaký reálný model existoval. Proto je počítačová simulace využívána napříč všemi odvětvími průmyslu. Její největší výhodou je, že šetří čas, který by zabraly pokusy o realizaci chybně fungujícího modelu. S tím samozřejmě souvisí i finanční stránka plánování výroby. Počítačové simulace lze ovšem využít i na existující modely a podrobovat je tak důkladné analýze. Výstupem analýzy mohou být optimalizační kroky, které povedou k eliminaci ztrát a tím ke zdokonalení provozu výroby.

Při sbírání dat zkoumaného modelu je tedy nejžádanější nalezení úzkých míst modelu, ve kterých vznikají ztráty (pakliže vůbec nějaká taková místa existují). Možnosti, kde všude a jakými způsoby ztráta vzniká jsou zobrazeny v příloze P5.

Zaznamenávání dat logistického modelu by mělo být směřováno právě tím směrem, kde ztráty v logistice vznikají. Optimalizace modelu je účinnější, pokud je na začátku rozpoznáno centrum vzniku ztráty a jsou zkoumány její příčiny a vlivy, než když je jasná informace o existenci ztráty v logistice a nastává snaha o nalezení jejího místa původu.

Prostřednictvím počítačové simulace je tedy nejvhodnější zaznamenávat data tak, aby časový interval mezi vznikem ztráty, jejím rozpoznáním a následným odstraněním byl co nejkratší. Je tedy dobré nastavit simulační procesy vzhledem k potenciálním úzkým místům modelu, které lze odborným odhadem určit. Od nákupu materiálu až po dodávku výrobků ke spotřebiteli je takových míst mnoho, proto je potřeba, aby metodika záznamu dat modelu byla v co nejširším pojetí, ale s hlavním cílem, který je soustředění se na místa možných vzniku ztrát.

ZÁVĚR

V úvodní kapitole této práce byla pozornost zaměřena na základní pojmy týkající se logistiky, na kterou navazovala definice logistického řetězce a logistického systému. Poté byly vysvětleny navazující pojmy, kterými jsou materiálový a informační tok. Pro potřeby následného vytvoření simulačního modelu v bakalářské práci byla objasněna diskrétní počítačová simulace a její využití, nástroje potřebné pro kontrolu funkčnosti a správného chodu modelu.

Navazující praktická část práce se zaměřila na detailní popis modelovaného výrobního závodu, kde byl pro účely tvorby modelu vytvořen ve formě vývojového diagramu pojmový model. Na základě tohoto modelu byla uskutečněna verifikace a validace simulačního modelu, který byl pro realizovatelnost těchto ověření zjednodušen a mohlo tak dojít k porovnání vygenerovaných hodnot průchodnosti s hodnotami vypočítanými. Ve vývojovém diagramu byla nastíněna logika řízení dopravního transportéru operujícího v logistické části modelu. Toto řízení podléhalo prvotnímu předpokladu, který udával hodnoty průchodnosti celého modelu výrobního závodu. Počítačový model byl vytvořen v programu SW Plant Simulation, který pro svou funkci řízení metod využívá programovací jazyk SimTalk 2.0. Pro ověření jednotlivých hodnot průchodnosti byl model podroben jednoduché simulaci, díky které se ověřilo, že logika řízení modelu je vytvořena správně.

V dalším úseku praktické části práce bylo zavedeno výstupní nastavení modelu, které bylo dodržováno v následujícím testování. Aby měl model požadované propozice pro výsledné hodnoty průchodnosti, byl určen časový interval simulace v počítačovém programu. Testování bylo rozděleno na dvě části.

V první z nich byl testován výrobní závod bez logistické okruhu – tedy pouze výrobní linky. U nich se aktivovali/deaktivovali jednotlivé poruchovosti a doby k přenastavení výrobních stanic. Pro názornost vytíženosti pracovní stanice byla vybrána jedna z nich a bylo na ní demonstrováno procentuální časové vytížení. Dále byl uveden rozdíl v obsazenosti zásobníků a zdůvodnění této difference.

V druhé části testování byl zjišťován vliv logistické části modelu na celkové průchodnosti výrobního závodu. Tento test se odvíjel od předpokladu, že logistický okruh měl na průchodnosti závodu odebírat cca 30 kusů výrobků. Pro potřeby testování podléhaly výrobní linky i logistická část výchozímu nastavení modelu. Tím došlo k ověření, že logistický okruh skutečně způsobuje předpokládanou ztrátu průchodnosti. Dále se přistupovalo k předem určeným způsobům optimalizace. Po přenastaveních a následných testováních modelu byla uvedena závislost změny parametrů pomocí optimalizace na celkové průchodnosti.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] SIXTA, Josef a Václav MAČÁT. *Logistika: teorie a praxe*. Brno: CP Books, 2005, 315 s. ISBN 80-251-0573-3.
- [2] SCHULTE, Christof. *Logistika*. Praha: Victoria Publishing, 1994. ISBN 80-85605-87-2.
- [3] PERNICA, Petr. *Logistika pro 21. století: (supply chain management). 1. Díl*. Praha: RADIX, 2005, 570 s. ISBN 80-86031-59-4
- [4] ŠTOČEK, Jiří. *Optimalizace materiálového toku ve vybraném průmyslovém závodě*. Brno: Vysoké učení technické. ISBN 80-214-2885-6. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav dopravní techniky, 2004. 144 s. Vedoucí práce doc. Ing. Břetislav Mynář CSc.
- [5] VAJRAN, Matuš. *Simulační verifikace komplexního technologického projektu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 187 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Pavel Rumíšek, CSc.
- [6] MÁČALA, S. *Ověření dosažení požadované sekvence výrobků při průchodu oblastí lakovny pomocí simulačního modelu*. Brno, 2014: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 66 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Škopán CSc.
- [7] HLOSKA, Jiří. *Optimalizace materiálového toku v hromadné výrobě simulačními metodami*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 187 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.
- [8] SEDLÁČEK, Martin. *Projektování logistických řetězců pomocí počítačové simulace*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 64 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Škopán CSc.
- [9] PROKOP, Aleš. *Aplikace diskrétní simulace v oblasti podpory projektování dopravníkové techniky*. Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 70 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Škopán CSc.
- [10] FUSOVÁ, Daniela. *Optimalizace toku vratných obalů v rámci koncernu*. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav managementu, 80 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Marie Jurová

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

<i>DOK</i>	[-]	Pracovní název třetí výrobní linky
<i>POD</i>	[-]	Pracovní název první výrobní linky
<i>POD1_05</i>	[-]	Pracovní stanice výrobní linky POD
<i>s₁</i>	[-]	Statistická průchodnost výrobků (den)
<i>s₂</i>	[-]	Statistická průchodnost výrobní (120 dní)
<i>SVA</i>	[-]	Pracovní název druhé výrobní linky
<i>SVA3_03</i>	[-]	Pracovní stanice výrobní linky SVA
<i>SW</i>	[-]	Software
<i>t₀</i>	[-]	Doba operace na pracovní stanici linky
<i>t₁</i>	[s]	Doba provozu výroby (den)
<i>t₂</i>	[s]	Doba provozu výroby (120 dní)
<i>t_{s1}</i>	[min]	Celková pracovní doba

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Vstupní parametry výrobních linek.....	P1
Příloha 2: Logistická část modelu.....	P2
Příloha 3: Vliv změny kapacity a změny rychlosti transportéru na průchodnosti.....	P3
Příloha 4: Obsazenosti zásobníků.....	P4
Příloha 5: Ztráty logistiky.....	P5

PŘÍLOHY

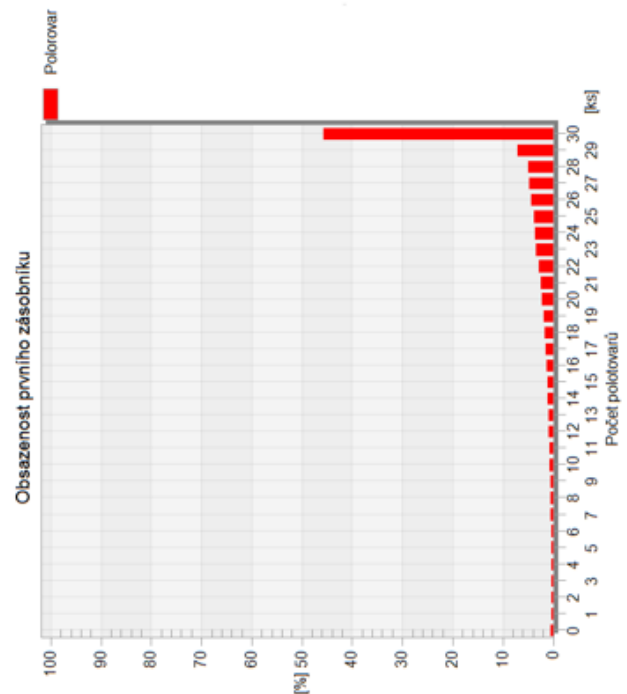
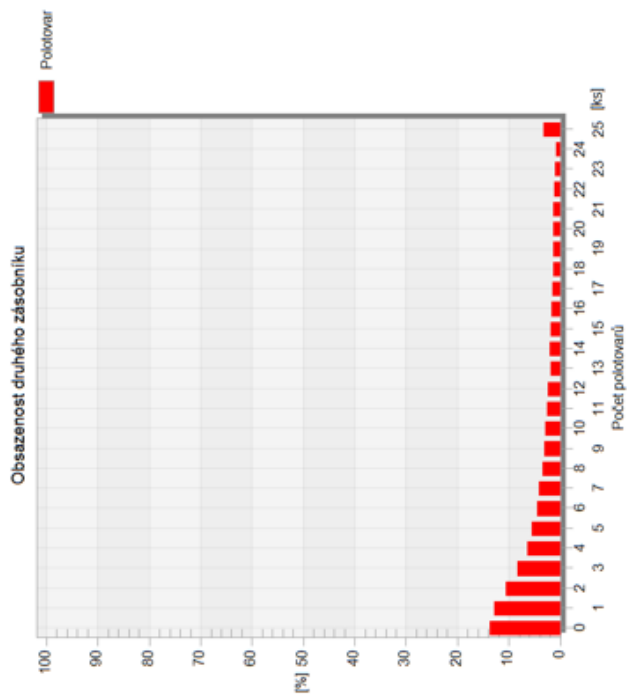
Příloha 1: Vstupní parametry výrobních linek

Pracovní název výrobní linky [-]	POD		SVA		DOK	
Výrobní čas na pracovišti [s]	72		71		87	
	Název pracoviště [-]	Poruchovost [%]	Název pracoviště [-]	Poruchovost [%]	Název pracoviště [-]	Poruchovost [%]
	POD1_01	99,82	SVA3_01	99,90	DOK_01	99,90
	POD1_02	98,52	SVA3_02	98,03	DOK_02	99,82
	POD1_03	99,94	SVA3_03	95,89	DOK_03	99,82
	POD1_04	99,41	SVA3_04	97,64	DOK_04	99,31
	POD1_05	98,29	SVA3_05	98,30	DOK_05	99,69
	POD1_06	99,45	SVA3_06	98,28	DOK_06	99,61
	POD1_07	99,93	SVA3_07	98,30	DOK_07	99,91
	POD1_08	98,50	SVA3_08	97,54	DOK_08	99,71
	POD1_09	96,40	SVA3_09	98,47	DOK_09	99,91
	POD1_10	98,95	SVA3_10	97,98	DOK_10	99,70
	POD1_11	98,50	SVA3_11	99,59	DOK_11	99,91
	POD1_12	98,50	SVA3_12	98,01	DOK_12	99,70
	POD1_13	98,50	SVA3_13	99,90	DOK_13	99,32
	POD1_14	99,93	SVA3_14	99,96	DOK_14	99,71
			SVA3_15	99,94	DOK_15	99,69
			SVA3_16	99,96	DOK_16	99,90
					DOK_17	99,91
					DOK_18	99,91
					DOK_19	99,92
					DOK_20	99,94
					DOK_21	99,93
					DOK_22	99,91
					DOK_23	99,90
					DOK_24	99,84
					DOK_25	99,93
					DOK_26	99,90

Příloha 3: Vliv změny kapacity a změny rychlosti transportéru na průchodnosti

Název děje [-]	Poruchovost [-]	Logistická část [-]	Hladina odvolávky [ks]	Kapacita transportéru [ks]	Rychlost transportéru [m/s]	Průchodnost [ks]	Denní průchodnost [ks]	
Stav 8			40	7	4,17	63749	531	
					5,56	81119	675	
					6,94	92983	774	
	aktivní	aktivní	40	8	4,17	71625	596	
					5,56	89640	747	
					6,94	95450	795	
	aktivní				9	4,17	79060	658
						5,56	94937	791
						6,94	95673	797

Příloha 4: Obsazenosti zásobníků



Příloha 5: Ztráty logistiky

