



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

SIMULAČNÍ MODELY VÝROBY MAPUJÍCÍ TOK HODNOT

VALUE STREAM MAPPING SIMULATION MODEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Zámečník

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Hloska, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

| | |
|-------------------|--|
| Ústav: | Ústav automobilního a dopravního inženýrství |
| Student: | Lukáš Zámečník |
| Studijní program: | Strojírenství |
| 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:

Simulační modely výroby mapující tok hodnot

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vytvoření parametrizovatelného simulačního modelu logistického řetězce, který zachycuje materiálový a informační tok včetně toku hodnot. Vyhodnocení efektivity modelovaného systému provést z pohledu:

Využití výrobních zdrojů.

Využití skladových kapacit.

Využití transportních a manipulačních zdrojů.

Tvorby přidané hodnoty, tedy rozlišení činností přispívajících k hodnotě produktu a činností bez přidané hodnoty.

Cíle bakalářské práce:

Definování potřebných technických parametrů, které je třeba určit pro vyhodnocení efektivity modelovaného systému.

Návrh a vytvoření uživatelského rozhraní k simulačnímu modelu, pomocí kterého bude možné parametry zadávat a měnit.

Simulační model bude umožňovat statistické vyhodnocení výše uvedených kritérií (ukazatelů).

Návrh matice simulačních experimentů, pomocí kterých bude možné provést citlivostní analýzu zkoumající vliv změny vhodně vybraných parametrů na související kritéria.

Provedení a vyhodnocení simulačních experimentů.

Seznam doporučené literatury:

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

NOCHE, Bernd a Mathias BÖS. Simulation der Transportverkehre. MAYER, Gottfried, Carsten PÖGE, Sven SPIECKERMANN a Sigrid WENZEL, ed. Ablaufsimulation in der Automobilindustrie [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020, 2020-03-14, s. 155-171 [cit. 2020-10-06]. ISBN 978-3-662-59387-5. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-662-59388-2_11.

BANKS, Jerry, CARSON II, Barry L. NELSON a David M. NICOL. Discrete-event system simulation. Upper Saddle River, N.J: Pearson Education, Inc., 2009. ISBN 978-013-8150-372.

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

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

Tato bakalářská práce se v teoretické části dotýká témat logistiky, simulací, štíhlé výroby a mapování toku hodnot. Hlavním cílem praktické části je tvorba parametrizovatelného simulačního modelu logistického řetězce, který zachycuje materiálový a informační tok včetně toku hodnot. Simulační model je vytvořen pomocí softwaru Plant Simulation od společnosti Siemens PLM. Součástí práce je verifikace a validace simulačního modelu a návrh matice experimentů, pomocí které je provedena citlivostní analýza simulačního modelu v podobě experimentů. Závěrem jsou experimenty vyhodnoceny z pohledu předem zvolených kritérií a ukazatelů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Logistika, Plant Simulation, Simulace, Mapování toku hodnot, Štíhlá výroba

ABSTRACT

The theoretical part of this bachelor thesis concerns about the topics of logistics, simulations, lean manufacturing and value stream mapping. The main goal of the practical part is to create a parameterizable simulation model of the logistics chain, which captures the material and information flow, including the flow of values. The simulation model is created in Plant Simulation software from Siemens PLM. The thesis also includes verification and validation of the simulation model and the design of a matrix of experiments, which is used for sensitivity analysis of the simulation model in the form of experiments. Finally, the experiments are evaluated in terms of pre-selected criteria and indicators.

KEYWORDS

Logistics, Plant Simulation, Simulation, Value stream mapping, Lean manufacturing

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZÁMEČNÍK, Lukáš. *Simulační modely výroby mapující tok hodnot* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132208>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 50 s. Vedoucí práce Jiří Hloska.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 21. května 2021

.....

Lukáš Zámečník

PODĚKOVÁNÍ

Zde bych rád poděkoval mému vedoucímu Ing. Jiřímu Hloskovi Ph.D. za cenné rady, připomínky a odbornou pomoc v průběhu tvorby práce. Rád bych také ocenil jeho vlídnost a časovou flexibilitu.

Poděkování rovněž patří mé rodině a přítelkyni za podporu při studiu.

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD | 11 |
| 1 LOGISTIKA | 12 |
| 1.1 LOGISTICKÝ ŘETĚZEC | 12 |
| 1.2 MATERIÁLOVÝ TOK | 13 |
| 1.3 INFORMAČNÍ TOK | 14 |
| 2 SIMULACE..... | 15 |
| 2.1 NÁSTROJE PRO TVORBU SIMULAČNÍHO MODELU | 16 |
| 2.2 SW PLANT SIMULATION | 16 |
| 3 ŠTÍHLÁ VÝROBA..... | 17 |
| 3.1 TOYOTA PRODUCTION SYSTEM | 17 |
| 3.2 JIDOKA | 18 |
| 3.3 JUST IN TIME | 18 |
| 3.4 KANBAN | 18 |
| 4 MAPOVÁNÍ TOKU HODNOT | 19 |
| 4.1 MAPOVÁNÍ TOKU HODNOT IDENTIFIKUJE | 19 |
| 4.1.1 NADVÝROBA..... | 19 |
| 4.1.2 NADBYTEČNÉ ZÁSoby | 19 |
| 4.1.3 POHYB..... | 19 |
| 4.1.4 TVORBA VADNÝCH VÝROBKŮ | 20 |
| 4.1.5 ZPRACOVÁNÍ | 20 |
| 4.1.6 ČEKÁNÍ..... | 20 |
| 4.1.7 TRANSPORT | 20 |
| 4.2 DŮLEŽITÉ POJMY VSM | 20 |
| 4.3 SYMBOLIKA MAPOVÁNÍ TOKU HODNOT | 21 |
| 5 SIMULAČNÍ MODEL..... | 22 |
| 5.1 POPIS MODELOVANÉHO SYSTÉMU | 22 |
| 5.1.1 POPIS NAKLÁDKY..... | 23 |
| 5.1.2 POPIS VYKLÁDKY A PRVNÍ ČÁSTI VÝROBNÍHO ŘETĚZCE..... | 24 |
| 5.1.3 POPIS DRUHÉ ČÁSTI VÝROBNÍHO ŘETĚZCE A EXPEDICE | 24 |
| 5.2 PARAMETRY SYSTÉMU | 25 |
| 5.3 VERIFIKACE A VALIDACE | 26 |
| 5.3.1 VALIDACE DODÁVEK POLOTOVARŮ | 26 |
| 5.3.2 VALIDACE VÝROBNÍCH, KONTROLNÍCH A REPASNÍCH LINEK | 28 |
| 5.3.3 VALIDACE EXPEDIČNÍ ČÁSTI MODELU | 32 |
| 5.4 UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ..... | 33 |
| 6 MATICE EXPERIMENTŮ | 34 |
| 6.1 VARIANTA A..... | 35 |
| 6.2 VARIANTA B | 36 |
| 6.3 VARIANTA C | 38 |
| 6.4 VARIANTA D..... | 39 |
| 6.5 VARIANTA E | 40 |
| 6.6 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ | 42 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 6.6.1 | VYHODNOCENÍ PRŮCHODNOSTI | 42 |
| 6.6.2 | VYHODNOCENÍ STŘEDNÍHO ČASU PRŮCHODU A VA TIME | 42 |
| 6.6.3 | VYHODNOCENÍ VYTÍŽENÍ VÝROBNÍCH ZDROJŮ | 43 |
| 6.6.4 | VYHODNOCENÍ SKLADOVÝCH KAPACIT | 44 |
| 6.6.5 | VYHODNOCENÍ KVALITY VÝROBY | 44 |
| 6.6.6 | VYUŽITÍ TRANSPORTNÍCH ZDROJŮ | 44 |
| ZÁVĚR..... | | 46 |
| SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ | | 49 |
| SEZNAM PŘÍLOH..... | | 50 |

ÚVOD

S rostoucí automatizací a rostoucím zájmem o aplikaci metod štihlé výroby na výrobní systémy, roste také zájem o tvorbu simulací výrobních systémů. Simulace umožňují realizaci výrobního systému ve formě simulačního modelu vytvořeného na základě parametrů stávajícího výrobního systému, případně na základě návrhu budoucího výrobního systému. V obou případech simulace umožňuje otestování různých variant nastavení systému ještě před jejich realizací, což je nepřekonatelnou výhodou, přinášející značné ekonomické úspory.

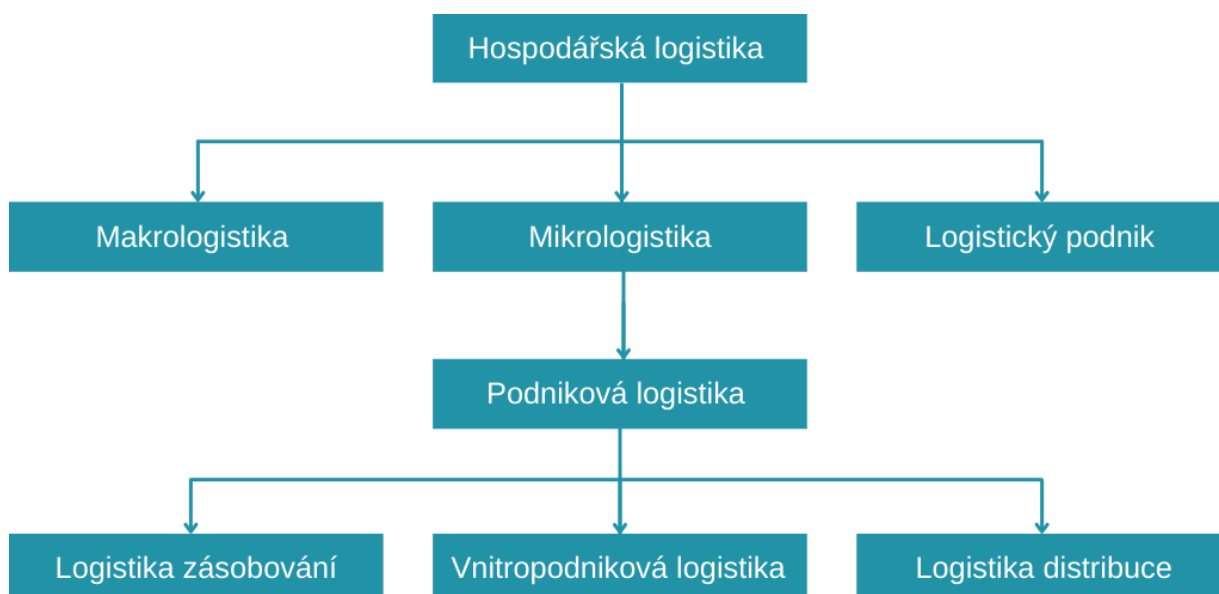
V teoretické části této práce bude charakterizována logistika a popsány její základní pojmy. Následuje pojednání o tvorbě simulací, simulačních modelů a nezbytných krocích při jejich tvorbě. Představeny budou také používané nástroje pro tvorbu simulací v podobě profesionálních softwarů a aktuální trendy v podobě aplikace s měsíčním předplatným, která umožňuje optimalizovat méně komplexní výrobní systémy pomocí chytrého telefonu. Zbylá část teoretické části se věnuje tématice štihlé výroby, představeny jsou vybrané známé metody sloužící k optimalizaci výrobních systémů. Pozornost je poté věnována převážně mapování toku hodnot, což je jedna z metod štihlé výroby, která sleduje výrobní systém z pohledu přidávání nebo nepřidávání hodnoty produktu. Přiblíženy budou rovněž druhy plýtvání, které mapování toku hodnot identifikuje, užívaná symbolika a také její základní pojmy.

Praktická část bude věnována tvorbě parametrizovatelného simulačního modelu logistického řetězce a jeho popisu. Představím jeho možnou parametrizaci, dále verifikaci a validaci modelu. Jakmile je simulační model verifikován a validován je možno přistoupit k návrhu matice simulačních experimentů zkoumající vliv změny vhodně vybraných parametrů na předem zvolené sledované ukazatele. Pro matici experimentů je v plánu navrhnout pět variant, které cílí na optimalizaci navrženého výrobního systému. Experimenty závěrem vyhodnotím právě z pohledu předem určených ukazatelů, které jsou sledovány a porovnávány v rámci jednotlivých variant.

1 LOGISTIKA

Logistika je obor, který lze charakterizovat jako řízení materiálového, informačního i finančního toku s ohledem na včasné a ekonomicky nejvýhodnější řešení požadavků všech zúčastněných stran, a hlavně finálního odběratele. [1] Cílem logistiky je postarat se o tok a rozmístění zdrojů tak, aby byl zdroj vždy k dispozici ve správný čas a na správném místě, kdy nebo kde je ho pro další operaci potřeba v požadovaném množství a kvalitě. Je důležité, aby byl tok zdrojů zkoordinován a synchronizován z hlediska množství, kvality a času, přičemž musí být ekonomicky optimalizován, a to jako celek. [2].

Na obr. 1 je znázorněno základní dělení logistiky. Makrologistika se zabývá logistickými řetězci nezbytnými pro výrobu specifických výrobků od těžby surovin až po prodej a dodání produktu zákazníkovi. Mikrologistika se orientuje na logistický systém pouze uvnitř určité společnosti, to znamená na logistické řetězce uvnitř průmyslových objektů nebo mezi více objekty, avšak v rámci jedné společnosti. Logistický podnik pak realizuje většinu logistických řetězců vně společnosti, zajišťuje realizaci propojení mezi dodavatelem a zákazníkem. [1]



Obr. 1 Základní dělení logistiky, přepracováno dle [1]

1.1 LOGISTICKÝ ŘETĚZEC

Logistický řetězec je nejdůležitějším pojmem logistiky, skládá se z informačního a materiálového toku. Obecně lze logistický řetězec považovat za souhrn všech provázaných posloupných činností, které musí být vykonány ke konečnému požadovanému efektu. [3] Dle [3] je možné logistický řetězec popsat jako: „... takové dynamické propojení trhu spotřeby s trhy surovin, materiálů a dílů v jeho hmotném a nehmotném aspektu, které účelně vychází od poptávky (objednávky) konečného zákazníka (kupujícího, spotřebitele), resp. které se váže na konkrétní zakázku, výrobek, druh či skupinu výrobků.“

Hmotná stránka (hledisko) logistického řetězce spočívá v přemístování a uchování věcí, které jsou schopny uspokojit určitou potřebu konečného zákazníka. Nehmotná stránka logistického řetězce spočívá v přemístování případně uchování informací potřebných k tomu, aby se uchování a přemístění všech uvedených aspektů mohlo uskutečnit. [4]

V logistických řetězcích můžeme rozlišovat pasivní a aktivní prvky. Jako pasivní prvky označujeme objekty, které putují logistickým řetězcem. Mohou to být například suroviny, nedokončené nebo hotové výrobky, informace, obaly a přepravní prostředky, odpad a další. Často se tedy označují jako zboží, jelikož dochází ke směně pasivních prvků od dodavatele k zákazníkovi. Aktivní prvky slouží k realizaci pohybu pasivních prvků tzn. jejich úkolem je realizace logistických funkcí. Mezi aktivní prvky lze zařadit například technické prostředky a zařízení pro manipulaci, přepravu, skladování, balení a fixaci. [3]



Obr. 2 Logistický řetězec, přepracováno dle [5]

1.2 MATERIÁLOVÝ TOK

Znamená řízený pohyb materiálu, prováděný cílevědomě tak, aby byl materiál k dispozici na správném místě, v požadovaném množství, kvalitě a čase, a také s předem danou spolehlivostí. Pohyb je prováděn pomocí aktivních prvků logistického řetězce, tzn. pomocí manipulačních a přepravních nebo pomocných prostředků. [3]

Pro materiálový tok platí řada ekonomických závislostí, jež se mohou projevat na celém logistickém řetězci. Kupříkladu jednicové náklady na materiálový tok jsou ovlivněny několika vlivy: povahou a množstvím materiálu, trasou, po které se materiál pohybuje, úrovní řízení toku a časem. [3] Dle [5] rozlišujeme materiálový tok na základě povahy přepravovaného materiálu na diskrétní a spojitý, kdy diskrétní materiálový tok představuje přemístování materiálu společných entit (palety, přepravky, bedny atd.) a tok spojitý jako tok plynného nebo kapalného média například potrubím.

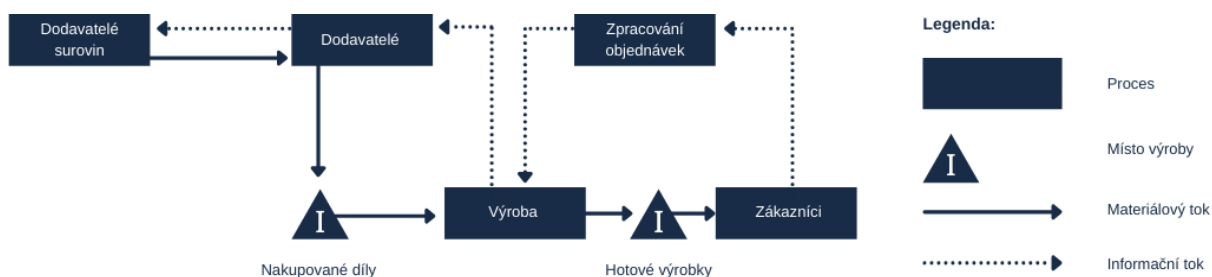
Na základě typu úlohy je možné pozorovat následující charakteristické rysy materiálového toku [5]:

- **Průchodnost** [$\text{ks} \cdot \text{s}^{-1}$] sleduje efektivitu systému z hlediska dosažené produkce
- **Takt** [s] je intenzita materiálového toku v určitém místě konkrétního stroje
- **Doba průchodu** [s] je časový údaj definující dobu, za kterou člen materiálového toku urazí vzdálenost mezi dvěma body

- **Obsazenost** [ks] je míra zaplnění určitého místa, kterým prochází materiálový tok vzhledem ke kapacitě

1.3 INFORMAČNÍ TOK

Z pohledu výroby považujeme informační tok za nedílnou součást materiálového toku, kdy pohyb materiálu vede k vytvoření informací nebo naopak informace jako například objednávka zákazníka vede k tvorbě nebo usměrnění následujícího toku materiálu. [6] Zjednodušeně by se tedy dalo říct, že informační tok uvádí materiálový tok do pohybu a naopak. Na obr. 3 je možné vidět průběh materiálového a informačního toku.

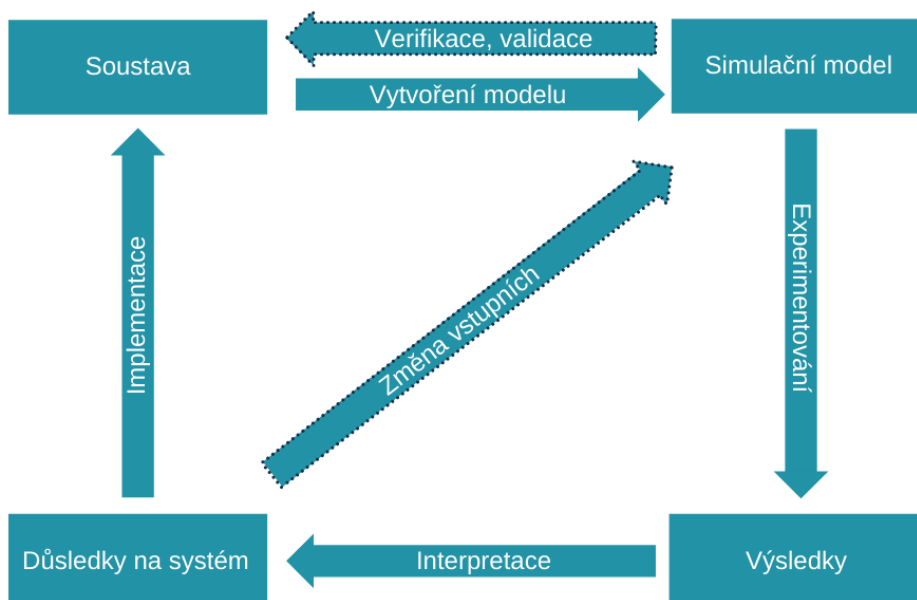


Obr. 3 Tok hodnot, přepracováno dle [23]

2 SIMULACE

Jedná se o napodobení zkoumaného systému. Uplatnění nachází zejména tam, kde by reálné vyzkoušení systému a jeho variant bylo příliš nákladné, náročné nebo i dokonce nemožné a přinášelo by značné ztráty. [7] V případě složitých a rozsáhlých logistických systémů používáme simulaci v podobě simulačního modelu vytvořeného na počítači, do kterého je skutečný systém přenesen, lze ho využít v jakékoliv fázi simulace ať už při plánování nebo při realizaci systému. [5]

Tvorba simulačního modelu vyžaduje různé vstupní parametry, pokud je vytvářen model existujícího systému, lze použít parametry zjištěné měřením, případně předpokládané nebo odhadnuté na základě zkušeností, nebo parametrů technických zařízení. Odhady parametrů ovlivní přesnost modelu a jím získaných výstupních hodnot. [8] Jakmile je simulační model validován slouží také jako nástroj pro provádění simulačních experimentů. Simulační experimenty poskytují výsledné hodnoty výstupních veličin simulačního modelu. [5] Na obr. 4 je zobrazen postup tvorby simulačního modelu.



Obr. 4 Tvorba simulačního modelu, přepracováno dle [6]

Hlavním přínosem a důvodem realizace simulací je zvýšení stupně poznání zkoumaného systému, tzn. poznání různých variant, které mohou v systému nastat a vyhodnocení výkonnosti systému. Lepšího poznání systému lze využít při následných úpravách systému tak, aby bylo dosaženo požadovaných hodnot, které jsou blízké předem určeným cílovým parametrům simulovaného systému. Simulace obecně přináší mnoho výhod, počínaje možností celý systém před realizací otestovat a podrobit experimentům, a také výhody ekonomické. Ekonomický přínos simulace je jednou z hlavních motivací pro tvorbu návrhu a provádění příslušných úprav. [5]

Důležitými pojmy simulace jsou také již zmíněná validace nebo verifikace. Dalo by se říct, že jsou to nejdůležitější úkony, které je třeba vykonat při tvorbě simulačního modelu. Tyto pojmy lze popsat dle [21] takto:

Verifikace: Podstatou verifikace simulačního modelu je ujištění se, zda simulační model přesně zobrazuje koncepční model. Při verifikaci simulačního modelu je proto důležité pokládat si otázku, zda opravdu vymodelovaný systém reprezentuje koncepční model například z pohledu použitých systémových komponent, struktury systému, hodnot parametrů a dalších.

Validace: Validací rozumíme proces, při kterém se porovnává fungování simulačního modelu s chováním skutečného systému, případně zadaného systému. Jedná se o proces iterační, kdy je potřeba validační kroky opakovat a simulační model upravovat do té doby, než se budou parametry simulovaného systému a reálného v dostatečné míře shodovat. Porovnávají se například časy průchodu jednotlivými stanicemi, případně poté průchodnost celého systému. Všechny známé parametry musí odpovídat skutečnému nebo navrhovanému systému s maximální přesností, aby výstupy simulace byly hodnotné a vypovídající.

2.1 NÁSTROJE PRO TVORBU SIMULAČNÍHO MODELU

Jako hardware pro tvorbu simulačních modelů využíváme počítače (výpočetní techniku) společně se softwarem, kterých je dnes na trhu již mnoho, např: SimPro, Witness, Simul8, ProModel nebo Plant Simulation. [5] Poslední zmíněný byl použit v praktické části této bakalářské práce.

Za zmínku stojí rovněž aplikace, které v dnešní době vznikají, jako je například SimVSM od společnosti SimPlan AG, která je určena přímo pro problematiku mapování toku hodnot. Lze ji nainstalovat jak na počítači, tak na chytrém telefonu. Nabízí jednoduché uživatelské rozhraní a přehledné výstupy v podobě grafů a dalších statistik. K jednotlivým výrobním operacím lze taktéž pořizovat fotky pracoviště a přidávat poznámky. Nutno podotknout, že se jedná spíše o aplikaci pro vlastní užití a mapování nepříliš komplexních výrobních procesů. Pro více komplexní modely už je vhodnější sáhnout po výše zmíněných profesionálních programech.

2.2 SW PLANT SIMULATION

Tecnomatix Plant Simulation je efektivní software pro dynamickou simulaci diskretních událostí od společnosti Siemens PLM Software, jež umožňuje tvorbu digitálních modelů výrobních a logistických systémů. Na odladěných digitálních modelech lze následně provádět poměrně rychle, v krátkém čase rozsáhlé experimenty a scénáře, které mohou nastat, a to bez narušení stávajícího výrobního systému. Verifikovaných a validovaných modelů lze také využít k pozorování zaplnění určitých objektů a míst v systému, pomocí různých typů grafů. Pokud je simulací využito již v procesu plánování, je možno získat pravděpodobné výsledky dlouho před instalací skutečných výrobních systémů. SW Plant Simulation pracuje s programovacím jazykem SimTalk, který je podobný ostatním známým programovacím jazykům jako C++, Basic či Pascal. Je využíván pro tvorbu metod, které řídí činnost objektů, nebo také pro předem naprogramované prvky systému. [9]

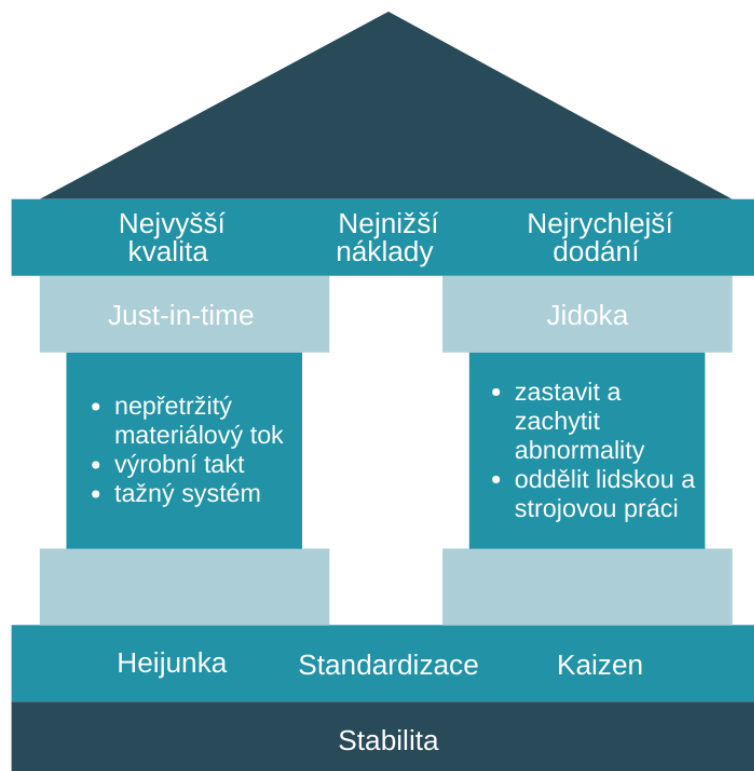
3 ŠTÍHLÁ VÝROBA

Štíhlá výroba neboli Lean Manufacturing, je metoda, která si dává za cíl minimalizaci činností, které nepřinášejí žádnou hodnotu zákazníkovi a zároveň maximalizaci činností přinášejících hodnotu zákazníkovi nebo produktu. [10]

Počátky štíhlé výroby se datují již na začátek dvacátého století, kdy Henry Ford zavedl systém hromadné výroby, což znamenalo nepřetržitý pohyb prvků výrobním procesem. Později se o systém hromadné výroby Fordu začala zajímat Toyota. Po nastudování systému Fordu Toyota usoudila, že podobný systém hromadné výroby není vhodný pro uskutečnění i v Toyotě hlavně z důvodu příliš malého japonského trhu a jeho různorodosti. Pozdější experimenty, vedly k vytvoření systému Toyota Production System (TPS), který je známým, stále využívaným a vylepšovaným nástrojem štíhlé výroby. [11]

3.1 TOYOTA PRODUCTION SYSTEM

Výrobní systém zajišťující nejlepší kvalitu a nejnižší náklady s co nejkratší dodací lhůtou. TPS zakládá na konceptu chrámu s dvěma pilíři, který lze vidět na obr. 5, kdy jeden pilíř se skládá z Just-in-Time a druhý z Jidoka. [12] K dosažení očekávaných výsledků, musí správně fungovat oba pilíře, pokud by jeden nebo druhý nefungoval tak, jak má, chrám padá a očekávané výsledky se nedostaví.



Obr. 5 TPS chrám, přepracováno dle [12]

Dosažení lepší výkonnosti je možné pomocí omezení plýtvání na minimum. Plýtváním jsou zde myšleny činnosti, které nepřinášejí žádnou přidanou hodnotu nebo nejsou nezbytně nutné. Rozlišujeme sedm druhů plýtvání, které je potřeba omezit nebo úplně odstranit, podle Taiichi Ohna [13]. Podrobněji se jednotlivým druhům plýtvání věnuje kapitola 4.1.

- Nadvýroba
- Nadbytečné zásoby
- Pohyb
- Tvorba vadných výrobků
- Zpracování
- Čekání
- Transport

3.2 JIDOKA

Je metoda, kterou lze detekovat a neprodleně provádět kroky k opravě poruch ve výrobním procesu. Využívá strojního zařízení, jež dokáže automaticky detekovat problém, zastavit probíhající operaci, aby bylo možné provést kontrolu a úpravy nebo opravy. Informace o problému jsou sdíleny na obrazovce, tzv. „andonu“, a operátoři mohou pokračovat v práci na ostatních strojích. [14] Tento automatizovaný systém zastavení stroje při detekování problému byl jednoznačně průlomový jako celý TPS, jelikož již nebylo třeba jednoho operátora na jeden stroj, ale jeden operátor mohl obsluhovat klidně i desítky automatizovaných strojů.

3.3 JUST IN TIME

Metoda JIT znamená výrobu pouze toho, co je potřeba a když je to potřeba, a to v každé fázi výroby, což znamená eliminaci plýtvání, konzistentní kvalitu a rovnoměrný tok výroby. Pokud klesne hladina zásob na tzv. signální hladinu, pružně jsou dodávány nové zásoby ve správný čas a ve správném množství, tak aby nedocházelo k zastavení nebo zpomalení výrobního procesu. Stavebním kamenem JIT je systém Kanban, jež poskytuje automatickou metodu doplňování součástí v reálném čase a zároveň udržování zásob na minimu. [14]

3.4 KANBAN

Kanban předcházel vzniku JIT, zpočátku se jednalo o plánovací systém pro štihlou výrobu pocházející z TPS, později však Toyota představila JIT. Zpočátku byl užíván v automobilovém průmyslu, to se ovšem začalo měnit na začátku 21. století. Dnes už se běžně využívá například i v odvětví softwarového průmyslu. Kanban je metodou užívanou pro řízení pracovního toku pro definování, správu a zlepšování služeb, které přináší znalost systému. Hlavním cílem této metody je tvorba větší hodnoty pro zákazníka bez vzniku dalších nákladů a zároveň minimalizace plýtvání bez ztráty produktivity. [15]

4 MAPOVÁNÍ TOKU HODNOT

Přeloženo z anglického Value stream mapping (VSM), je jedna z metod štíhlé výroby, která pochází ze společnosti Toyota Motors Corporation, kde ji v období 50. let 20. století označovali jako „Material and Information Flow Analysis“ (MIFA). Později roku 1999 byla vydána kniha „Learning to See“ od Mika Rothera a Johna Shooka, kde byl poprvé použit termín mapování toku hodnot, který se používá dodnes. [16]

Metoda VSM slouží k zobrazení proudění toku materiálu a informací, zároveň nám pomáhá pochopit již zmíněné toky hodnot. Operace jsou mapovány z hlediska přidávání nebo nepřidávání hodnoty zákazníkovi za účelem minimalizace operací bez přidané hodnoty. Mohou být využity pro zobrazení současného stavu, tj. analýza toku hodnot (VSA), nebo také pro zobrazení stavu, kterého chceme v budoucnosti dosáhnout, tj. design toku hodnot (VSD). Tuto metodu lze využít například pro návrh nové výrobní linky, zlepšení toku materiálu a informací na existujících výrobních linkách, nebo pro určení dodací lhůty a času pro doplňování ve výrobě. Aplikace této metody však není omezena pouze na výrobní linky a hmatatelné produkty, své uplatnění nachází rovněž v IT, softwarovém odvětví a taktéž u znalostních prací, jelikož zde vede k lepší komunikaci a efektivnější spolupráci. [16] [18]

4.1 MAPOVÁNÍ TOKU HODNOT IDENTIFIKUJE

Mapování toku hodnot identifikuje sedm druhů plýtvání neboli činností bez přidané hodnoty, které již byly zmíněny v kapitole 3.1, dle [18] [19] lze tyto druhy plýtvání popsat následovně.

4.1.1 NADVÝROBA

Nadbytečná produkce je spouštěčem několika dalších forem plýtvání. Pokud je vyráběný výrobek nadprodukován, dochází k tvorbě dalšího plýtvání v podobě zbytečných nákladů pro skladování, využití zbytečných surovin a kapitálu vloženého do uskladněných produktů.

4.1.2 NADBYTEČNÉ ZÁSoby

Plýtvání zásobami můžeme chápat jako náklady vynaložené na skladování a uchovávání přebytečných zásob. Tento druh odpadu zahrnuje plýtvání prostorem, nákladů na přepravu a plýtvání způsobené znehodnocováním skladovaných výrobků.

4.1.3 POHYB

Plýtvání pohybem představuje veškerý pohyb osob (zaměstnanců) nebo zařízení, který je složitý nebo není nezbytně nutný. Může způsobovat zranění, prodloužení doby výroby a tím zvýšení nákladů.

4.1.4 TVORBA VADNÝCH VÝROBKŮ

Vadné výrobky jsou dalším plýtváním, jelikož je potřeba je opravit, případně úplně vyhodit. Dochází k tvorbě nákladů na opravu nebo na nové suroviny a zároveň ke ztrátě času, proto je vhodné věnovat odladění systému zvýšenou pozornost, aby bylo dosaženo co možná nejvyšší úrovně spolehlivosti.

4.1.5 ZPRACOVÁNÍ

Nadměrným zpracováním (opracováním) jsou myšleny všechny výrobní kroky, které nepřinášejí další hodnotu, jsou zbytečné nebo naopak přinášejí větší hodnotu, než je zákazníkem požadována. Tyto kroky vedou k tvorbě vlastností/funkcí produktu, které nejsou zákazníkem nutně vyžadovány a ani očekávány, tím pádem jsou to nadbytečně vynaložené náklady.

4.1.6 ČEKÁNÍ

Čekání je nejnázornější druh plýtvání, který prezentuje všechny kroky ve výrobním procesu, jež jsou pomalé a způsobují zpoždění nebo prostoje. Je snadno identifikovatelný, jelikož se jedná o ztracený čas, který netvoří další hodnotu, například zboží čekající na doručení, zařízení čekající na opravu.

4.1.7 TRANSPORT

Je druh plýtvání sledující zbytečnou přepravu produktů nebo materiálu z místa na místo, aniž by to zákazníkovi přinášelo jakoukoliv hodnotu. Zbytečná přeprava může znamenat zvýšení nákladů na čas, skladovací prostor a prostoje strojů.

K těmto 7, již dlouho známým druhům plýtvání, se v poslední době stále častěji přidává i osmý druh plýtvání, a to nevyužitý potenciál pracovníka, z pohledu aplikování znalostí, zkušeností a schopností pracovníka pro zlepšení výrobního procesu. [22]

4.2 DŮLEŽITÉ POJMY VSM

Přidaná hodnota – value added time:

Je čas, kdy jsou realizovány operace, které produktu přidávají hodnotu a uvádějí ho do stavu požadovaného zákazníkem, je jím tedy myšlen čas, za který je zákazník ochoten zaplatit. Za tyto operace lze považovat převážně ty, které mění fyzické, chemické případně jiné vlastnosti produktu. [22]

Nepřidaná hodnota – non-value added time:

Je opakem přidané hodnoty, ačkoliv ne úplně doslovně. Jedná se o čas, který je nutně potřebný k tvorbě, či doručení vyráběného produktu, přičemž za tyto operace už zákazník

není ochoten zaplatit. Tyto operace si lze představit jako například zbytečnou manipulaci s materiálem nebo různé prostoje výrobního systému. [22]

Index přidané hodnoty – VA index:

Vyjadřuje poměr celkové doby, kdy je produktu přidávána hodnota v podobě operací, za které je zákazník ochoten zaplatit, ku celkové době, která je potřebná ke vzniku produktu. Tento index se vyjadřuje v procentech a obvykle se pohybuje v nižších jednotkách procent, například 0,5 % až 3 %, ovšem vždy to závisí na sledovaném výrobním procesu. [21]

4.3 SYMBOLIKA MAPOVÁNÍ TOKU HODNOT

K tvorbě map toku hodnot je využíváno normalizovaných symbolů, pomocí kterých se vizualizuje materiálový a informační tok. Symbolů existuje celá řada, některé jsou univerzální a používané napříč celým průmyslem, nicméně každá společnost si symboly upravuje, případně tvoří své vlastní tak, aby vyhovovaly jejich potřebám. [17] Na následujícím obr. 6 je vyobrazena nejpoužívanější symbolika mapování toku hodnot.



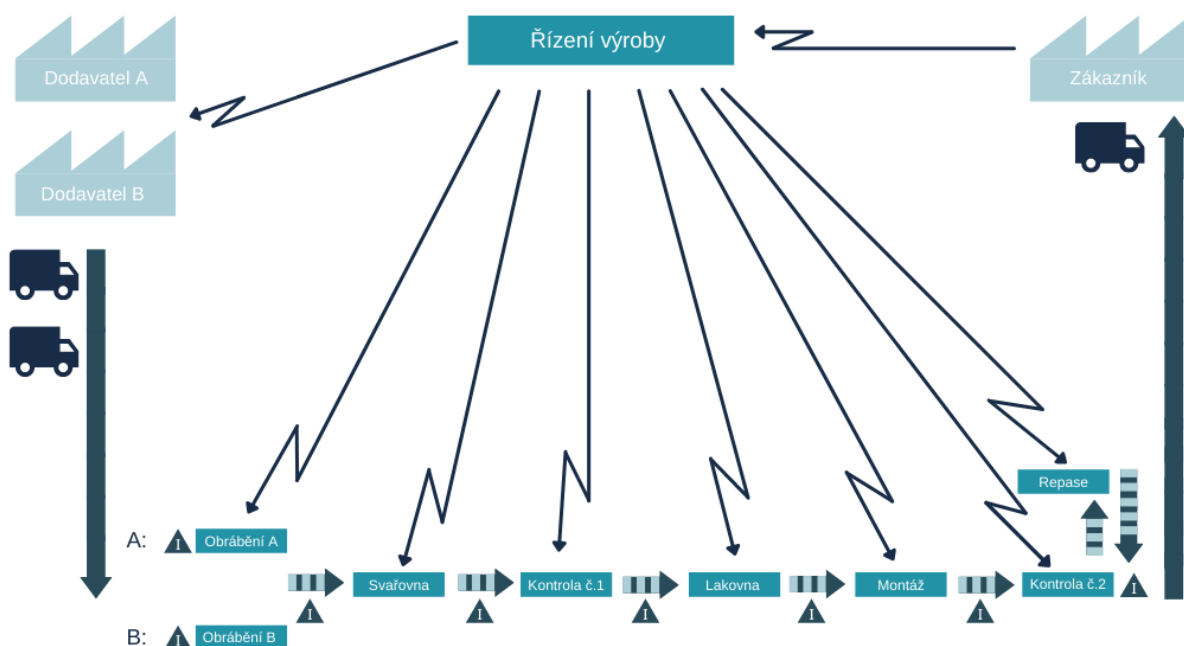
Obr. 6 Základní symbolika mapování toku hodnot, přepracováno dle [20]

5 SIMULAČNÍ MODEL

Předmětem praktické části je tvorba parametrizovatelného simulačního modelu logistického řetězce s uživatelským rozhraním umožňujícím zadávat a měnit parametry. Simulační model také umožňuje statistické vyhodnocení efektivity systému z pohledu využití výrobních zdrojů, skladových kapacit, transportních a manipulačních zdrojů. Návrh matice experimentů, pomocí které bude provedena citlivostní analýza systému. Nakonec rozlišení tvorby přidané hodnoty, to znamená rozlišení činností přispívajících k tvorbě hodnoty produktu a činností bez přidávané hodnoty.

Pro tvorbu simulačního modelu byl navržen pojmový model, který lze vidět na obr. 7. Simulační model byl vytvořen v prostředí programu Tecnomatix Plant Simulation, který umožňuje modelování jak ve 2D, tak ve 3D. V této práci byla zvolena druhá varianta, převážně pro lepší vzhled a představu systému. Funkčnost systému však zůstává stejná pro obě varianty.

Simulační model je vytvořen a naprogramován tak, aby umožňoval přepínání mezi dvěma nejzákladnějšími způsoby výroby, a to tlačným a tažným výrobním systémem. Dále je možné pomocí tlačítek, tabulek, rozbalovacích seznamů měnit parametry systému nebo systém statisticky vyhodnocovat.



Obr. 7 Mapa toku hodnot pro tvorbu simulačního modelu [zdroj: vlastní]

5.1 POPIS MODELOVANÉHO SYSTÉMU

Modelovaný systém představuje poměrně typický strojírenský výrobní systém. Sestává ze dvou dopravců polotovarů A a B, čtyř výrobních linek, dvou linek kontroly a jedné repasní linky. Nakonec zde operuje manipulační vozík, který odvozuje hotové výrobky do expediční

haly, kde už bude sledován počet expedovaných výrobků. Na příloze P1 si lze prohlédnout celý simulační model z půdorysu, pohled byl vytvořen pomocí funkce Planning View.

Hotové výrobky se budou skládat z konstrukce, která je dodávána přímo do stanice svařovny, druhé v pořadí výrobního řetězce. Dodávka konstrukcí je za hranicí modelovaného systému, což znamená že bude uvažována její neustálá dostupnost. Na konstrukci se přivaří dva polotovary A a jeden polotovar B, které putují z předcházející stanice obrobny. Stanice obrobny A a B jsou první stanice výrobního procesu. Dále konstrukce s již přivařenými polotovary pokračuje přes stanici kontroly, kde dojde ke kontrole kvality a dále na stanici lakovny. Přičemž na stanici montáže, která je následující v pořadí se na konstrukci namontuje poslední prvek montáž, který je stejně jako prvek konstrukce za hranicí modelovaného systému a je tedy neustále dostupný.

Vzhledem k tomu, že je potřeba kontrolovat kvalitu výrobků, v systému figurují, jak již bylo zmíněno v předchozím odstavci, dvě stanice kontroly. První stanice se nachází mezi operacemi svařovna a lakovna, kdy správně vyrobené kusy pokračují dále do stanice lakovny a nesprávně vyrobené kusy putují do odpadu, což znamená, že jsou tyto kusy neopravitelné a představují pro náš systém plýtvání tvorbou vadných kusů. Druhá stanice kontroly se poté nachází na konci výrobního řetězce za stanicí montáže. V tomto případě správně vyrobené kusy pokračují dál na expedici a nesprávně vyrobené kusy pokračují na stanici repase. Zde vychází jako repasované a vyhovující pro expedici. Pravděpodobnost správně vyrobených, resp. nesprávně vyrobených kusů, je parametr nastavitelný pomocí rozhraní simulačního modelu. Podíl lze pro obě stanice kontroly samozřejmě nastavit zvlášť.

5.1.1 POPIS NAKLÁDKY

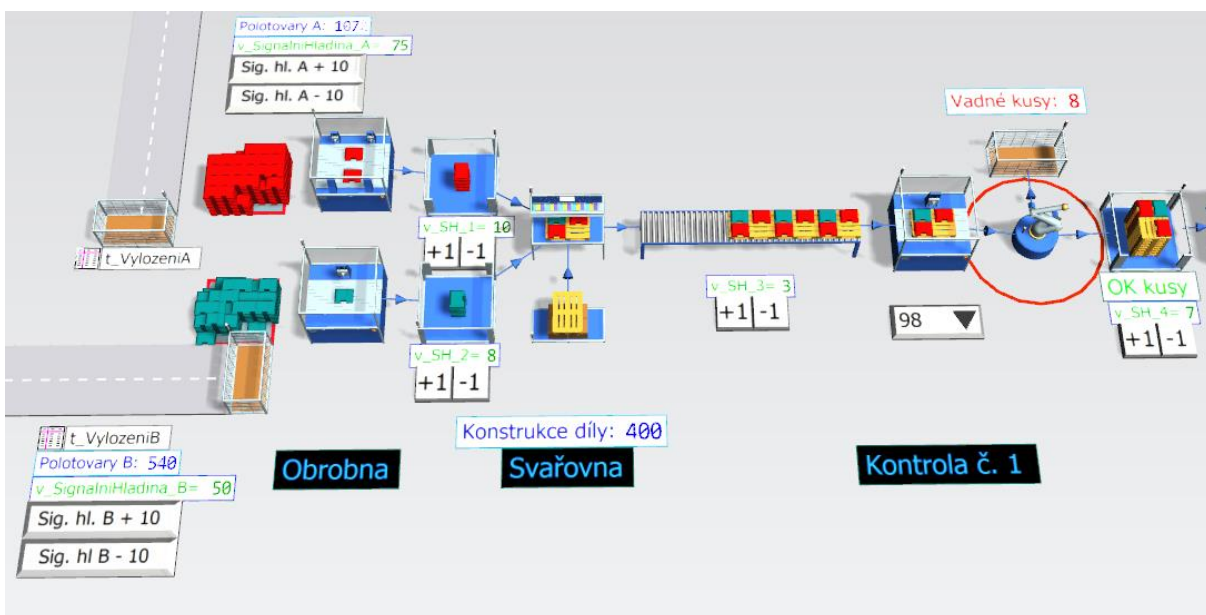
Na obr. 8 lze vidět sklady dodavatelů A a B s kamiony A a B. Nakládka polotovarů probíhá z prvku, pro který lze upravovat kapacitu, na prvek, pro který je možné nastavit kapacitu a rychlost. Na příloze P2 je možné vidět vývojový diagram pro nakládku polotovarů A.



Obr. 8 Nakládka polotovarů [zdroj: vlastní]

5.1.2 POPIS VYKLÁDKY A PRVNÍ ČÁSTI VÝROBNÍHO ŘETĚZCE

Obr. 9 zobrazuje první část výrobního řetězce, na levé straně se nachází vykládka kamionů do skladů. Ze skladů jsou polotovary přesouvány do stanic obrábění A a B, z těchto stanic se obrobene polotovary posouvají do mezi zásobníků. Z těchto zásobníků čerpá další výrobní stupeň, a to stanice svařovny. Jak již bylo zmíněno v podkapitole 5.1, zde dochází ke svaření polotovarů A a B ke konstrukci. Svařený díl pokračuje dál po válečkovém dopravníku, který je akumulárního typu, což znamená, že se na něm mohou kusy hromadit. Válečkový dopravník tedy slouží jako jistý typ mezioperačního zásobníku. Dále díly pokračují do stanice kontroly, kde je svařený díl vyhodnocen jako správně nebo nesprávně vyrobený. Vadné kusy již nejsou opravitelné, a proto opouští výrobní řetězec. Správně vyrobené kusy se ukládají do dalšího mezizásobníku.



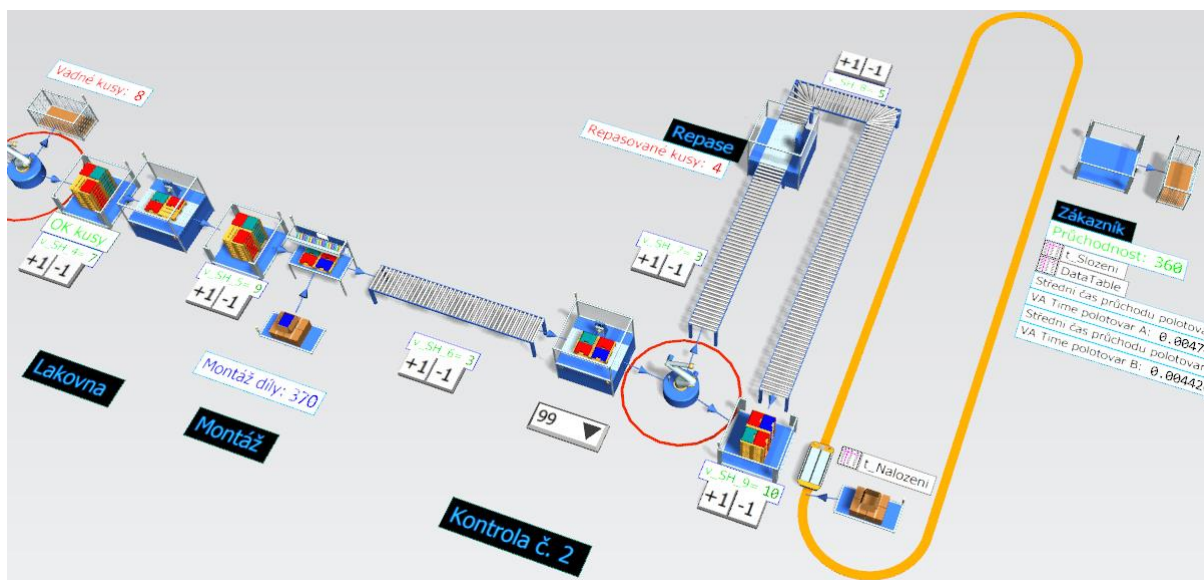
Obr. 9 Vykládka a první část výrobního systému [zdroj: vlastní]

5.1.3 POPIS DRUHÉ ČÁSTI VÝROBNÍHO ŘETĚZCE A EXPEDICE

Obr. 10 navazuje na přechodný obrázek od zásobníku OK kusy. Z tohoto zásobníku kusy putují do stanice lakovny. Dále se zde nachází další mezioperační zásobník montáže, ze kterého čerpá další stupeň výroby stanice montáž. Zde je ke svařené konstrukci namontován poslední díl. Po dalším válečkovém dopravníku díly pokračují do druhé stanice kontroly. Zde jsou výrobky znovu rozdělovány na vadné a správně vyrobené. Vadné výrobky jsou přesouvány do repasní větve, kde dochází k opravení chyb na výrobku, ten pak dál pokračuje do zásobníku hotových kusů, do kterého jsou přesouvány rovněž díly, které byly kontrolou označeny jako správně vyrobené.

Pro přepravu dílů jak před repasí, tak po repasi, je využíváno válečkových dopravníků. I v této části výrobního systému (obr. 10) jsou všechny válečkové dopravníky akumulární, tzn. opět slouží jako jisté mezioperační zásobníky. Ze zásobníku hotových kusů manipulační vozík vždy odváží 10 hotových a správně vyrobených výrobků a vykládá je v expediční hale, kde už se díly dostávají k zákazníkovi. Na tomto místě tedy bude sledována průchodnost

správně vyrobených a expedovaných kusů. Pro přepravu hotových výrobků je využito prvku, který umožňuje nastavení rychlosti a kapacity. Tento prvek si lze představit jako AGV (Automated guided vehicle = automaticky řízené vozidlo) vozík pohybující se po trase definované magnetickou páskou.



Obr. 10 Druhá část výrobního systému a expedice [zdroj: vlastní]

5.2 PARAMETRY SYSTÉMU

Vzhledem k tomu, že úkolem praktické části této bakalářské práce je tvorba parametrizovatelného simulačního modelu, nebyly předem určeny žádné vstupní parametry, navržena tedy byla pouze struktura. Model je vytvořen tak, aby umožňoval téměř úplnou parametrizaci. Parametry jako rychlost kamionů, manipulačního vozíku, rychlost přepravy na dopravnících nejsou v rámci této práce měněny, ale lze je parametrizovat. Nastavené parametry v rámci celé simulace i experimentů jsou pro transportní zdroje uvedeny v tab. 1 a tab. 5.

Co se týče parametrizace dodávek a expedice, lze nastavovat jejich doby nakládky a vykládky. Parametrů pro jednotlivé výrobní operace pak lze nastavovat více. Pro všechny výrobní linky v systému je možné nastavovat jejich takt, poruchovost neboli dostupnost, MTTR (Mean time to repair = střední doba potřebná na opravu stroje), dále přeseřzení po určitém počtu průchodů sledovanou operací a také čas potřebný pro přeseřzení. Přeseřzením je zde myšlena např. výměna nástroje po každých x kusech, která tvoří prostoj stroje na y minut. Měněny budou parametry uvedené dále v tab. 3 nebo příloze P3.

Model také umožňuje parametrizovat signální hladiny jednotlivých zásobníků, ale i skladů A a B před stanicemi obrábění. Signální hladinou je myšlena číselná hodnota zásob, která je metodami kontrolována a pokud hladina zásob v některém ze zásobníků klesne pod určenou signální hladinu, automaticky dochází k odvolávce pro výrobu dalších dílů tak, aby nedocházelo k prostojům z důvodu nedostatku dílů. Tyto signální hladiny jsou však aktivní pouze pro tažný systém řízení výroby, pro tlačný výrobní systém signální hladiny nejsou využívány.

5.3 VERIFIKACE A VALIDACE

Úkolem verifikace je zhodnotit, zda simulační model v dostatečné míře reprezentuje pojmový model, jak z pohledu struktury modelu, tak i z pohledu logického fungování, které je předpokládáno. Pro ověření logického fungování bylo využíváno funkce breakpoint, kterou Plant Simulation nabízí, jedná se o bod vložený do naprogramované metody. Jakmile je metoda během simulace spuštěna a narazí na breakpoint. Simulace se zastaví a je možné krok po kroku napsanou metodu odkrokovat a sledovat její vliv na simulační model. Z pohledu struktury, neboli uspořádání, simulační model odpovídá pojmovému modelu na obr. 7, pro srovnání lze také nahlédnout na přílohu P1. Pomocí funkce breakpoint byly zkontrolovány všechny napsané metody systému, přičemž všechny vykazují očekávané chování, jak ostatně celý simulační model, který tak lze považovat za verifikovaný.

Dalším a nejdůležitějším úkolem při tvorbě simulačního modelu je validace, při které bude sledována shoda předem analyticky vypočtených výstupních hodnot s výstupními hodnotami simulačního modelu. Pro validaci simulačního modelu budou zvoleny vhodné parametry systému.

5.3.1 VALIDACE DODÁVEK POLOTOVARŮ

Jako první byla provedena validace první části modelu, konkrétně dodávka polotovarů od dodavatelů do skladů A a B. Pro validaci byly dodávky materiálu zjednodušeny, k dodávce materiálu tedy docházelo cyklicky, vždy v 24. hodinovém intervalu. Sledován byl, jak počet doručených kusů během 7 dní, tak délky jednotlivých dodávek. Pro validaci tohoto místa byly zvoleny parametry uvedené v tab. 1. U trasy je předpokládáno, že se kamiony pohybují průměrnou rychlostí 0,01 m/s tak, aby bylo napodobeno reálných 20 km trasy (20 m v simulačním modelu), stejně tak u trasy B, kde je napodobováno 34 km (34 m v simulačním modelu). Reálně by se tedy kamiony pohybovaly průměrnou rychlostí 10 m/s a vzdálenosti by byly 20 km pro trasu dodavatele A a 34 km pro trasu dodavatele B. Kapacita kamionů na trase je omezena na maximálně jeden. Následující kamion může tudíž vyjet hned jakmile předchozí dokončil vykládku a opustil systém,. Proto je doba trasy započítávána pouze jednou, a to od dodavatele do skladu.

Tab. 1 Dopravní prostředky [zdroj: vlastní]

| Transportní prostředek | Kapacita [ks] | Rychlost [m/s] | Dráha [m] | Nakládka [hod] | Vykládka [hod] |
|------------------------|---------------|----------------|-----------|----------------|----------------|
| Kamion A | 360 | 0,01 | 20 | 2:30:00 | 1:30:00 |
| Kamion B | 180 | 0,01 | 34 | 2:00:00 | 1:00:00 |

Při znalosti denního intervalu dodávek polotovarů, kapacity a rychlosti kamionů lze pomocí jednoduchých analytických výpočtů zjistit předpokládané výstupní hodnoty systému. Jako první pro dodavatele A:

$$k_A = C_A \cdot d \quad (1)$$

Kde:

k_A [ks] je celkový počet předpokládaných doručených polotovarů A za 7 dní

C_A [ks] je kapacita kamionu A

d [den] počet simulovaných dní

dále rovnice pro celkový čas potřebný pro dodávku polotovarů.

$$t_{DA} = t_{TA} + t_{NA} + t_{VA} \quad (2)$$

Kde:

t_{DA} [min] je celkový čas dodávky polotovarů A

t_{TA} [min] je čas, za který kamion urazí dráhu od dodavatele A ke skladu A

t_{NA} [min] je čas potřebný pro naložení polotovarů A

t_{VA} [min] je čas potřebný pro vyložení polotovarů A do skladu

Analogicky pro dodavatele polotovarů B:

$$k_B = C_B \cdot d \quad (3)$$

Kde:

k_B [ks] je celkový počet předpokládaných doručených polotovarů za 7 dní

C_B [ks] je kapacita kamionu B

d [den] počet simulovaných dní

$$t_{DB} = t_{TB} + t_{NB} + t_{VB} \quad (4)$$

Kde:

t_{DB} [min] je celkový čas dodávky polotovarů

t_{TB} [min] je čas, za který kamion urazí dráhu od dodavatele ke skladu

t_{NB} [min] je čas potřebný pro naložení polotovarů B

t_{VB} [min] je čas potřebný pro vyložení polotovarů B do skladu

Do rovnic (1), (2), (3) a (4) byly dosazeny zvolené parametry.

$$k_A = C_A \cdot d = 360 \cdot 7 = 2520 \text{ ks}$$

$$k_B = C_B \cdot d = 180 \cdot 7 = 1260 \text{ ks}$$

$$t_{DA} = t_{TA} + t_{NA} + t_{VA} = 33,33 + 150 + 90 = 273,33 \text{ min}$$

$$t_{DB} = t_{TB} + t_{NB} + t_{VB} = 56,66 + 120 + 60 = 236,66 \text{ min}$$

Po nasimulování sedmidenního běhu simulačního modelu bylo dosaženo shodných počtů doručených polotovarů do skladů A a B, jak bylo předpokládáno v rámci analytických propočtů. Stejně tak celkové časy dodávky polotovarů A byly identické jako pro analytické propočty, tak pro simulační model. Pouze celkový čas pro přepravu polotovarů B se liší o 2 sekundy oproti simulačnímu modelu. K této skutečnosti pravděpodobně došlo z důvodu oblouku na trase dodavatel B a sklad B, oblouk trasu pravděpodobně mírně prodloužil, přičemž pro statické propočty bylo počítáno s trasou zaokrouhlenou na 34 metrů. Tuto odchylku je však možné zanedbat, a považovat první část simulačního modelu za validovanou. V následující tab. 2 jsou pro porovnání uvedeny hodnoty analytických výpočtů a hodnoty dosažené simulačním modelem.

Tab. 2 Shrnutí validace dodávek polotovarů [zdroj: vlastní]

| Dodavatel | Doručené polotovary [ks] | | Celkový čas dodávky polotovarů [hod] | |
|-------------|-----------------------------|-------|---|---------|
| | Analyticky | Model | Analyticky | Model |
| Dodavatel A | 2520 | 2520 | 4:33:20 | 4:33:20 |
| Dodavatel B | 1260 | 1260 | 3:56:38 | 3:56:40 |

5.3.2 VALIDACE VÝROBNÍCH, KONTROLNÍCH A REPASNÍCH LINEK

Validace proběhne pro všechny výrobní linky, celý výpočet však bude uveden pouze pro první výrobní stanici, a to obrobnu. U dalších výrobních stanic bude postupováno analogicky s využitím identických rovnic, výsledky budou prezentovány v tabulce a grafu. Pro účely validace bude kontrolovaná výrobní operace vždy sledována samostatně, tedy odpojena od jí předcházejících stupňů výroby, případně od jí nadcházejících stupňů výroby pro zjednodušení procesu validace, a především pro zamezení vzájemného ovlivňování výsledků.

Budou zkoumány čtyři scénáře vždy pro 24. hodinový výrobní cyklus, a to non-stop provoz, dvousměnný provoz, dvousměnný provoz včetně vlivu přeseřizení a dvousměnný provoz včetně vlivu přeseřizení a poruchovosti stroje. Tedy budou postupně zahrnovány deterministické vlivy, a nakonec stochastický vliv v podobě poruchovosti stroje.

Parametry užití pro validaci výrobních stanic jsou zobrazeny v tab. 3. Co se týče dvousměnného provozu, probíhá stylem 8. hodinové ranní a odpolední směny, přičemž se počítá s hodinovou přestávkou pro každou ze směn. Tudíž efektivní časový fond pro dvousměnný provoz je 14 hodin. Efektivní časový fond si lze představit jako časové okno, kdy je výrobní operace schopna přidávat hodnotu produktu.

Tab. 3 Parametry výrobních operací [zdroj: vlastní]

| Výrobní operace | Takt [min] | Přeseřizení [ks] | Čas přeseřizení [min] | Dostupnost D [%] | MTTR [min] |
|-----------------|------------|------------------|-----------------------|------------------|------------|
| Obrábění A | 5:00 | 60 | 6:00 | 90 | 1:00 |
| Obrábění B | 5:00 | 30 | 6:00 | 91 | 3:00 |
| Svařovna | 7:00 | 30 | 5:00 | 97 | 4:00 |
| Kontrola | 3:00 | 40 | 6:00 | 99 | 2:00 |
| Lakovna | 10:00 | 10 | 5:00 | 96 | 2:00 |

| | | | | | |
|---------------|-------|----|-------|-----|------|
| Montáž | 8:00 | 20 | 7:00 | 98 | 5:00 |
| Kontrola č. 2 | 6:00 | 60 | 10:00 | 98 | 2:00 |
| Repase | 20:00 | 5 | 10:00 | 100 | 0:00 |

1. Scénář s non-stop provozem tedy efektivním časovým fondem t_{ef1} 24 hodin.

$$k_{OA1} = \left(\frac{60}{T} \cdot t_{ef1} \right) \cdot 2 \quad (5)$$

Kde:

Vztah k_{OA1} je třeba vynásobit číslem 2, jelikož obrábění A obrábí 2 polotovary najednou.

k_{OA1} [ks] Je průchodnost výrobní operace obrábění A za den

T [min] Takt výrobní operace

t_{ef1} [hod] Efektivní časový fond

$$k_{OB1} = \frac{60}{T} \cdot t_{ef1} \quad (6)$$

Kde:

k_{OB1} [ks] Je průchodnost výrobní operace obrábění A za den

T [min] Takt výrobní operace

t_{ef1} [hod] Efektivní časový fond

Do rovnic (5) a (6) byly dosazeny zvolené hodnoty:

$$k_{OA1} = \left(\frac{60}{T} \cdot t_{ef1} \right) \cdot 2 = \left(\frac{60}{5} \cdot 24 \right) \cdot 2 = 576 \text{ ks}$$

$$k_{OB1} = \frac{60}{T} \cdot t_{ef1} = \frac{60}{5} \cdot 24 = 288 \text{ ks}$$

2. Scénář s dvousměnným provozem, a tedy efektivním časovým fondem t_{ef2} 14 hodin

$$k_{OA2} = \left(\frac{60}{T} \cdot t_{ef2} \right) \cdot 2 \quad (7)$$

$$k_{OB2} = \frac{60}{T} \cdot t_{ef2} \quad (8)$$

Do rovnic (7) a (8) bylo opět dosazeno:

$$k_{OA2} = \left(\frac{60}{T} \cdot t_{ef2} \right) \cdot 2 = \left(\frac{60}{5} \cdot 14 \right) \cdot 2 = 336 \text{ ks}$$

$$k_{OB2} = \frac{60}{T} \cdot t_{ef2} = \frac{60}{5} \cdot 14 = 168 \text{ ks}$$

3. Scénář s dvousměnným provozem včetně zahrnutí deterministického vlivu přeřazení s efektivním časovým fondem t_{ef3} 13,5 hodin, tj. 13:30:00.

Efektivní časový fond byl zkrácen o dobu nutnou pro přeřazení stroje tzn. během dvousměnného pracovního cyklu bude potřeba přeřadit stroj pětkrát, proto bylo odečteno z efektivního časového fondu 30 minut.

$$k_{OA3} = \left(\frac{60}{T} \cdot t_{ef3} \right) \cdot 2 \quad (9)$$

$$k_{OB3} = \frac{60}{T} \cdot t_{ef3} \quad (10)$$

Dále bylo dosazeno do rovnic (9) a (10):

$$k_{OA3} = \left(\frac{60}{T} \cdot t_{ef3} \right) \cdot 2 = \left(\frac{60}{5} \cdot 13,5 \right) \cdot 2 = 324 \text{ ks}$$

$$k_{OB3} = \frac{60}{T} \cdot t_{ef3} = \frac{60}{5} \cdot 13,5 = 162 \text{ ks}$$

4. Scénář s dvousměnným provozem včetně zahrnutí deterministického vlivu přeřazení a zároveň stochastického vlivu v podobě dostupnosti (poruchovosti) stroje.

Efektivní časový fond t_{ef4} zůstává 13,5 hodin, avšak výslednou hodnotu je třeba vynásobit dostupností D stroje, aby byly zahrnuty náhodné prostoje například v podobě poruch nebo např. pravidelné údržby.

$$k_{OA4} = \left[\left(\frac{60}{T} \cdot t_{ef4} \right) \cdot 2 \right] \cdot D \quad (11)$$

$$k_{OB4} = \left(\frac{60}{T} \cdot t_{ef4} \right) \cdot D \quad (12)$$

Kde:

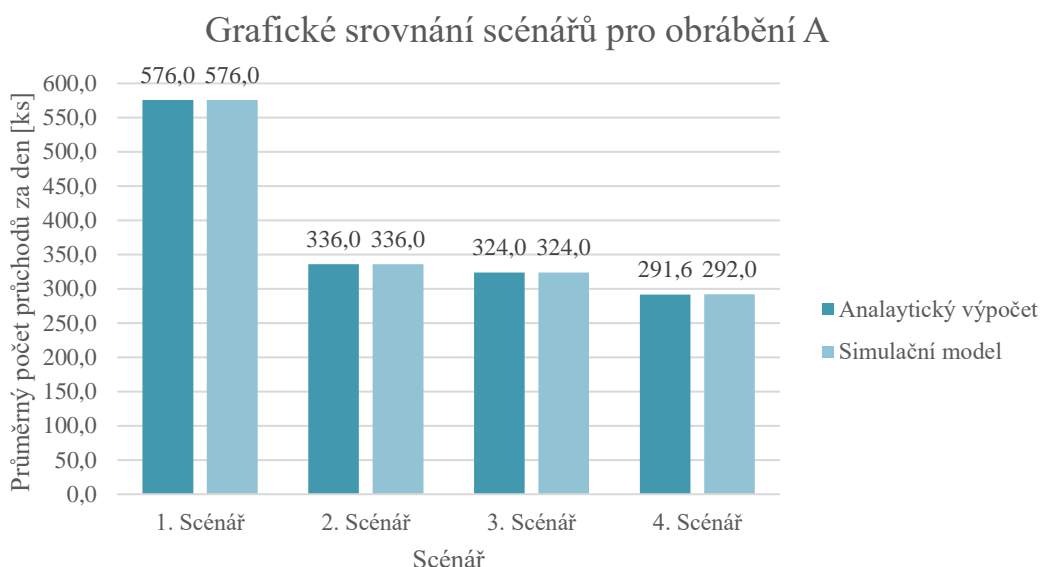
D [%] Dostupnost stroje z pohledu poruchovosti, potřeby údržby

Opět bylo do rovnic (11) a (12) dosazeno:

$$k_{OA4} = \left[\left(\frac{60}{T} \cdot t_{ef4} \right) \cdot 2 \right] \cdot D = \left[\left(\frac{60}{5} \cdot 13,5 \right) \cdot 2 \right] \cdot 0,9 = 291,6 \text{ ks}$$

$$k_{OB4} = \left(\frac{60}{T} \cdot t_{ef4} \right) \cdot D = \left(\frac{60}{5} \cdot 13,5 \right) \cdot 0,91 = 147,4 \text{ ks}$$

V následujícím grafu obr. 11 je vidět grafické znázornění počtu průchodů výrobní linkou obrábění A, získaných pomocí analytických výpočtů a také hodnoty získané simulačním modelem. Dále je možné v grafu pozorovat očekávané snižování počtu průchodu s přibývajícimi vedlejšími vlivy.



Obr. 11 Graf sledující jednotlivé uvažované scénáře [zdroj: vlastní]

V tab. 4 lze vidět data validace všech výrobních linek. Vzhledem k faktu, že v žádném ze scénářů všech výrobních linek nedochází k odchylce větší jako v desetinných jednotkách průměrných průchodů, validace výrobních, kontrolních a repasních linek je považována za úspěšnou a vyhovující.

Tab. 4 Výsledky validace výrobních linek [zdroj: vlastní]

| Výrobní operace | 1. Scénář [ks] | | 2. Scénář [ks] | | 3. Scénář [ks] | | 4. Scénář [ks] | |
|-----------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| | Výpočet | Model | Výpočet | Model | Výpočet | Model | Výpočet | Model |
| Obrábění A | 576 | 576 | 336 | 336 | 324 | 324 | 291,6 | 292 |
| Obrábění B | 288 | 288 | 168 | 168 | 162 | 162 | 147,4 | 148 |
| Svařovna | 205,7 | 206 | 120 | 120 | 117,1 | 117 | 113,6 | 114 |
| Kontrola č.1 | 480 | 480 | 280 | 280 | 266 | 266 | 263,3 | 263 |
| Lakovna | 144 | 144 | 84 | 84 | 80 | 80 | 77,3 | 77 |
| Montáž | 180 | 180 | 105 | 105 | 101 | 101 | 99,6 | 100 |
| Kontrola č. 2 | 240 | 240 | 140 | 140 | 137 | 137 | 133,9 | 134 |
| Repase | 72 | 72 | 42 | 42 | 38 | 38 | 38 | 38 |

5.3.3 VALIDACE EXPEDIČNÍ ČÁSTI MODELU

Jako poslední je třeba provést validaci expedice. Bude sledován vyvázeční okruh vozíku jak z pohledu funkčnosti počtu nakládaných hotových kusů, tak z pohledu funkčnosti nastavitelných časových údajů pro naložení a složení hotových kusů.

Pro validaci bude sloužit dvousměnný výrobní cyklus odpovídající 2. scénáři z předchozí podkapitoly s využitím zvolených parametrů z tab. 5. Pro účely validace bude expediční část taktéž odpojena od zbytku simulačního modelu a vozík bude čerpat ze vždy plného zásobníku, aby byla ověřena funkčnost pouze sledované části modelu.

Tab. 5 Parametry manipulačního vozíku [zdroj: vlastní]

| Dopravní prostředek | Kapacita [ks] | Rychlost [m/s] | Trasa [m] | Nakládka [min] | Vykládka [min] |
|---------------------|---------------|----------------|-----------|----------------|----------------|
| Vozík | 10 | 0,5 | 52,5664 | 30:00 | 30:00 |

$$t_{DE} = t_{TE} + t_{NE} + t_{VE} \quad (13)$$

Kde:

t_{DE} [min] je celkový čas přepravy deseti hotových kusů až po začátek další nakládky

t_{TE} [min] je čas, za který vozík urazí dráhu vyvázečního okruhu

t_{NE} [min] je čas potřebný pro naložení hotových kusů

t_{VE} [min] je čas potřebný pro vyložení hotových kusů pro expedici

Do rovnice (13) bylo dosazeno:

$$t_{DE} = t_{TE} + t_{NE} + t_{VE} = 1,7522 + 30 + 30 = 61,75 \text{ min}$$

Z výsledku rovnice (13) bylo zjištěno, že naložení a vyložení 10 hotových kusů, včetně dráhy okruhu, kterou musí vozík urazit, probíhá v taktu 61 minut a 45 sekund z toho lze odhadnout počet expedovaných kusů během jednoho dvousměnného cyklu. Poměrem celkového efektivního časového fondu v minutách ku celkovému času přepravy 10 hotových kusů až po začátek další nakládky bylo zjištěno, že by mělo být expedováno 130 hotových kusů za jeden pracovní den. Výstupní hodnoty simulačního modelu se i v tomto případě přesně shodují s hodnotami vypočtenými analytickými výpočty. A to jak z pohledu celkového času přepravy hotových kusů až po začátek další nakládky, tak i z pohledu počtu expedovaných kusů, kterých bylo rovněž 130 jak bylo předpokládáno.

Simulační model tedy lze v tuto chvíli považovat za validovaný a správně odladěný, jelikož došlo k úspěšné validaci všech stupňů výroby. Z toho je možno dále předpokládat, že také celý vytvořený systém těmito navzájem propojenými stupni výroby se chová správně a funkčně.

5.4 UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ

Uživatelské rozhraní si lze prohlédnout na příloze P1, jedná se o tlačítka, kterými lze nastavovat signální hladiny zásobníků a skladů viz. Obr. 9 a Obr. 10. Dále je možné pomocí tlačítek zobrazovat grafy vytížení výrobních zdrojů a skladových kapacit. Pomocí rozbalovacích seznamů je možné přepínat mezi variantami matice experimentů nebo nastavovat kvalitu výroby na kontrolních stanicích. Nastavované parametry je možné přehledně měnit v tabulkách v případě parametrů matice experimentů, časů nakládky a vykládky.

6 MATICE EXPERIMENTŮ

Dalším cílem této bakalářské práce je tvorba matice experimentů, která bude sloužit pro citlivostní analýzu simulačního modelu. Vzhledem k tomu, že model byl již vytvořen, verifikován a validován, je možné k tomuto cíli přistoupit.

Vytvořenou matici experimentů a její konkrétní parametry lze vidět na příloze P3. Sestává z 5 variant (A až E), kdy první varianta je výchozí a na následujících bude demonstrováno, jak lze postupně výrobní systém pomocí různých opatření, která budou dále popsány optimalizovat směrem k lepšímu. Zkoumána bude především citlivost jednotlivých variant (opatření) na výrobní systém. Citlivostí je míněno například to, která z variant bude mít největší dopad na celkovou průchodnost výrobního systému.

V rámci experimentů budou sledovány následující ukazatele. Celková průchodnost hotových výrobků výrobním systémem za dobu simulace, vytížení výrobních zdrojů a skladových kapacit, kvalita výroby, průměrný čas průchodu polotovarů celým logistickým řetězcem od dodavatele až po zákazníka a také procento času, po které byla produktu přidávána hodnota (dále VA time). Poslední dva ukazatele, těmi jsou průměrný čas průchodu a čas, po který byla produktu přidávána hodnota, budou sledovány pro prvky systému Polotovar A a B, jelikož tyto prvky vstupují do systému jako první od dodavatele a opouštějí ho jako poslední společně s ostatními prvky jako hotový výrobek. Nakonec budou experimenty vyhodnoceny právě z pohledu sledovaných ukazatelů.

Doba simulace každé z variant bude 90 dní, přičemž bude nastaven potřebný náběh systému, který se nebude započítávat do statistik tak, aby náběh výrobního systému neměl vliv na celkové statistiky. V rámci experimentů bude uvažován třisměnný výrobní provoz, tzn. denní efektivní časový fond bude 21 hodin sedm dní v týdnu, 3 hodiny denně tedy tvoří přestávky.

Parametry, které budou měněny, se týkají především části výrobního procesu, tedy výrobních stanic. Upravovány budou všechny jejich nastavitelné parametry, které již byly představeny v tab. 3 v rámci validace. Také budou upravovány signální hladiny skladů a jednotlivých mezioperačních zásobníků. Ostatní parametry jako doba nakládky a vykládky, rychlost kamionů, vozíků a dopravníků budou určeny fixně, jelikož se jedná o parametry, které nesouvisí s provozem, nýbrž technologii dodavatele, tzn. jsou mimo možnosti přímého ovlivnění managementu provozu.

Pro doby nakládky a vykládky kamionů nebo vozíků a také jejich rychlostí a kapacit budou použity parametry, které již byly použity v rámci validace, tedy ty z tab. 1 a tab. 5. Fixně jsou rovněž nastaveny i kapacity skladů a mezioperačních zásobníků, v rámci variant B až E jsou měněny pouze jejich signální hladiny. Kapacita pro mezioperační zásobníky je 50 kusů, pro dopravníky pak pouze 5 kusů, což je omezeno jejich délkou. Sklad A má kapacitu 396 kusů při předpokládané dodávce 360 kusů polotovarů a sklad B má kapacitu 252 kusů, při nastavené dodávce 180 kusů.

6.1 VARIANTA A

Jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly, první varianta je výchozí, tedy nastavena tak, aby dobře reflektovala následné optimalizační změny k lepšímu. Lze si ji představit jako zanedbaný výrobní systém, který potřebuje určité změny, aby vyhovoval aktuálním standardům. Ve výrobním systému panuje tlačný výrobní systém, díly jsou tedy tlačeny od dodavatele až k zákazníkovi, nehledí na obsazenost následujících stupňů výroby, tento výrobní systém je v přímém rozporu s filozofií štíhlé výroby a logistiky.

V rámci první varianty bylo dosaženo průchodnosti systému za dobu simulace 7210 kusů, resp. průměrné denní průchodnosti 80,11 kusů. Při nastavení 96 % pravděpodobnosti OK kusů na kontrole č. 1 a při nastavení pravděpodobnosti 95 % OK kusů a 5 % kusů mířících na repasi, na kontrole č. 2. V tab. 6 je možné vidět průměrný čas průchodu výrobním systémem a procento času, po který byla výrobku přidávána hodnota vycházejícího právě ze středního času průchodu. V tomto případě to tedy pro polotovar A znamená, že pouze 0,24 % času z doby průměrného času průchodu byla výrobku přidávána hodnota, tzn. trávil čas ve výrobních stanicích. Zbylý čas je NVA time, což znamená čas, kdy naopak produktu hodnota přidávána nebyla, např. čas strávený přepravou, ve skladu atd.

Tab. 6 Data průchodu a VA time (A) [zdroj: vlastní]

| Prvek | Střední čas průchodu [dd:hh:mm:ss] | VA time [%] |
|-------------|---------------------------------------|----------------|
| Polotovar A | 2:07:09:18 | 0,24 |
| Polotovar B | 2:22:02:20 | 0,19 |

V tab. 7 jsou uvedeny hodnoty obsazenosti jednotlivých skladů a mezioperačních zásobníků, na základě těchto dat je možné v další variantě vhodně nastavit signální hladiny. Ve skladech A a B je neustále zbytečně dostupných 160 a 133 kusů, které nejsou nijak využívány. U mezioperačních zásobníků 1, 2, 4 a 5 taktéž dochází k zbytečnému přeplnění, co se týče zbylých zásobníků, u kterých dochází k úplnému vyprázdnění. Toto vyprázdnění lze odůvodnit tak, že následující stupeň výroby disponuje rychlejším taktem, tudíž mu předcházející výrobní stupeň není schopen dodávat další díly, tak aby nedocházelo k vyprázdnění mezioperačního zásobníku. Označení zásobníků je možné vidět na příloze P1.

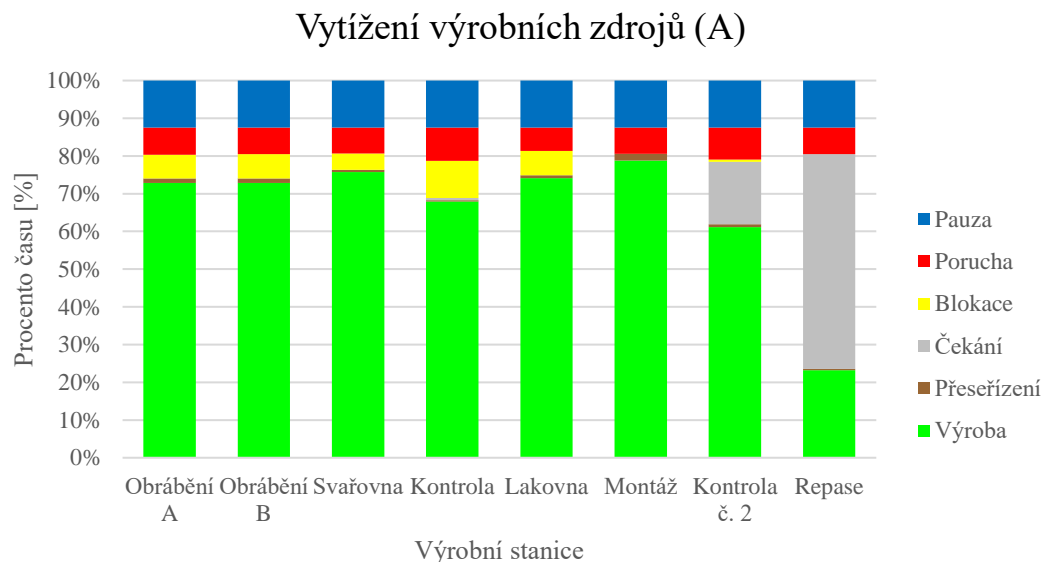
Tab. 7 Data obsazenosti skladů a zásobníků (A) [zdroj: vlastní]

| Zásobník | A | B | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------|-----|-----|----|----|---|----|----|---|---|---|----|
| Minimum [ks] | 160 | 133 | 40 | 45 | 0 | 12 | 44 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Maximum [ks] | 396 | 252 | 50 | 50 | 5 | 50 | 50 | 3 | 1 | 1 | 10 |

Počet vadně vyrobených kusů, opouštějících logistický řetězec do odpadu jako neopravitelné, tvořící plýtvání v podobě tvorby vadných výrobků za kontrolou č. 1, je v první variantě 301. Počet repasovaných kusů, které jsou zbaveny vad a míří na expedici je v rámci první varianty 360.

Na obr. 12 je možné vidět graf vytížení výrobních zdrojů (A). Modrou barvou značená „Pauza“ se bude v grafu nacházet u všech variant, jedná se o přestávky pro zaměstnance, v rámci všech variant bude tento podíl 12,5 %. U některých výrobních stanic se nachází určitý

podíl „Blokace“. Jedná se o nemožnost vyrábět další díly, jelikož mezioperační zásobník následující po výrobní operaci již dosáhl své maximální kapacity. Tedy i když je výrobní stanice prázdná a schopna vyrábět, nemůže, jelikož již byla vyčerpána kapacita následujícího zásobníku a výrobek není kam uložit. Podílu blokace bude systém zbaven zavedením tažného výrobního systému v následující variantě.



Obr. 12 Vytížení výrobních zdrojů (A) [zdroj: vlastní]

6.2 VARIANTA B

Ve druhé variantě byl zaveden tažný výrobní systém společně s nastavením vhodných signálních hladin tak, aby docházelo k odvolávkám pro výrobu dalších dílů, jen pokud hladina aktuálních zásob v mezioperačních zásobnících klesne pod určenou signální hladinu. Díky tomuto opatření bylo sníženo plýtvání v podobě nadbytečných zásob, které v reálném výrobním systému znamená zbytečně uložené finanční prostředky v materiálu, který leží ve skladu.

V rámci této varianty nedošlo ke zlepšení průchodnosti systému, ta zůstává stejná jako v předchozí variantě, tedy 7210 kusů, resp. 80,11 kusů průměrné denní průchodnosti. Došlo ale k výraznému snížení zásob (viz. tab. 9), a tím navýšení procenta času, kdy je výrobku přidávána hodnota, jelikož netráví tolik kusů takové procento času ve skladech. To vedlo ke zkrácení středního času průchodu výrobním systémem, zlepšení lze vidět v tab. 8.

Tab. 8 Data průchodu a VA time (B) [zdroj: vlastní]

| Prvek | Střední čas průchodu [dd:hh:mm:ss] | VA time [%] |
|-------------|---------------------------------------|----------------|
| Polotovar A | 1:23:22:04 | 0,44 |
| Polotovar B | 2:04:41:13 | 0,39 |

V tab. 9 jsou opět uvedeny maximální a minimální hodnoty obsazenosti skladů a mezioperačních zásobníků. Jak lze vidět, signální hladiny byly nastaveny tak, aby vždy v mezioperačních zásobnících bylo dostupných minimálně 5 kusů, v případě skladů pak alespoň 30 kusů. V obou případech jako rezerva pro neočekávané vedlejší vlivy, které mohou v reálném výrobním systému nastat např. zpoždění dodávky polotovarů. V případě mezioperačních zásobníků 3 a 6 nelze udržovat hladinu zásob na 5 kusech, jelikož se jedná o dopravníky a 5 kusů je jejich maximální kapacita, navíc se nacházejí před výrobní stanicí s rychlejším výrobním taktem než výrobní stanice před tímto zásobníkem. V případě zásobníků 7 a 8 se jedná o repasní větev, kde nepohybuje až tolik kusů a není tedy potřeba udržovat určité zásoby. Zásobník 9 je expediční, je tedy vždy vyprázdněn a výrobky míří na expedici

Tab. 9 Data obsazenosti skladů a zásobníků (B) [zdroj: vlastní]

| Zásobník | A | B | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------|-----|-----|----|----|---|----|----|---|---|---|----|
| Minimum [ks] | 32 | 32 | 6 | 6 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Maximum [ks] | 396 | 219 | 18 | 11 | 4 | 10 | 12 | 3 | 1 | 1 | 10 |

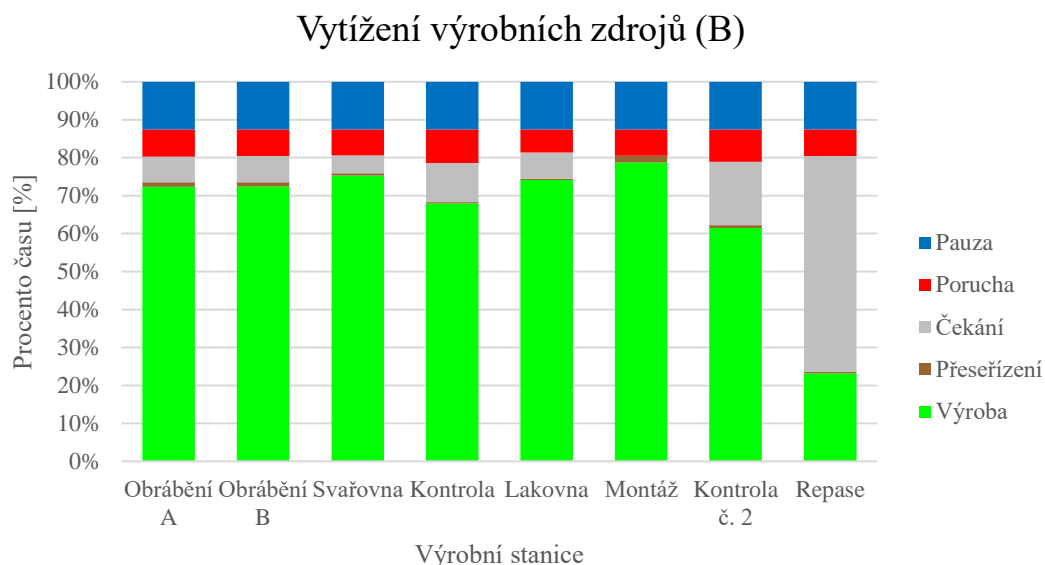
Histogramy průběhu zásob vybraných mezioperačních zásobníků 1, 2, 4 a 5 pro variantu E si lze prohlédnout na příloze P4. Varianta E byla vybrána z důvodu nejvíce optimalizovaného výrobního systému, průběh zásob je však pro varianty B až E velmi podobný.

Na obr. 13 je zobrazen průběh zásob ve skladu A ve formě pilového grafu. Jak lze vidět v tab. 9 hodnota zásob ve skladu A nikdy po dobu simulace neklesne pod 32 kusů, což potvrzuje i tento graf. Počet vadně vyrobených výrobků v této variantě čítá 300 kusů a počet repasovaných kusů čítá 360. V rámci dalších variant dále vytížení skladových kapacit nebude sledováno, jelikož obsazenost skladů a mezioperačních zásobníků se nebude lišit od této varianty v odchylce větší, než 1 až 2 kusy, což je zanedbatelné.



Obr. 13 Pilový graf obsazenosti skladu A (B) [zdroj: vlastní]

Na obr. 14 již není vidět žádný podíl „Blokace“, byl nahrazen podílem „Čekání“. Nyní výrobní systém funguje tak, že v případě klesnutí aktuálních zásob v některém ze zásobníku na hodnotu jemu nastavené signální hladiny, předcházející výrobní stanice začíná znovu vyrábět další díly. Naopak pokud aktuální stav zásob v některém ze zásobníku stoupne nad jemu nastavenou signální hladinu, výrobní operace před tímto zásobníkem přestává vyrábět a čeká, dokud zásoby opět neklesnou na hodnotu signální hladiny.



Obr. 14 Vytížení výrobních zdrojů (B) [zdroj: vlastní]

6.3 VARIANTA C

V další variantě byly zkráceny časy přeseřzení o 25 % a samotné přeseřzení, které je nastaveno v intervalu po určitém počtu průchodů. Tento interval byl prodloužen o 50 % aktuálního intervalu. Tuto úpravu si lze v reálném provozu představit například jako proškolení pracovníků, kteří jsou teď schopni vykonávat přeseřzení rychleji a zároveň nákup kvalitnějších nástrojů, jež umožňují oddálení samotného přeseřzení. Nástroje tedy vydrží o polovinu více než ty, které byly používány doposud.

Počet expedovaných výrobků tímto opatřením vzrostl o téměř 100 kusů za dobu simulace na 7300 kusů, resp. na 81,11 kusů v případě průměrné denní průchodnosti.

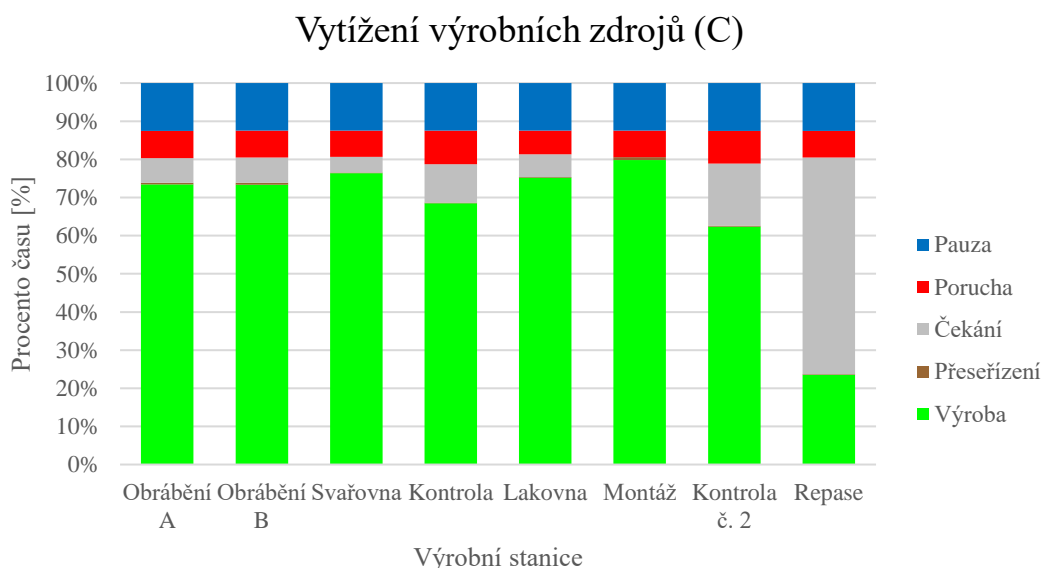
Došlo k menšímu zkrácení střední doby průchodu logistickým řetězcem. Čas, po který je výrobku přidávána hodnota však pro polotovar A zůstává stejný, u polotovaru B dochází k velmi mírnému zlepšení o 0,01 %. Toto zlepšení plyne z důvodu zvýšené průchodnosti výrobního systému a navýšeného podílu času, po který jsou výrobní stanice schopny vyrábět. Konkrétní data jsou vyplněna v tab. 10.

Tab. 10 Data průchodu a VA time (C) [zdroj: vlastní]

| Prvek | Střední čas průchodu [dd:hh:mm:ss] | VA time [%] |
|--------------|---------------------------------------|----------------|
| Polotovary A | 1:23:08:47 | 0,44 |
| Polotovary B | 2:04:12:33 | 0,40 |

Obsazenost skladů a mezioperačních zásobníků zůstává stejná tak, jak byla nastavena v předchozí variantě. Byla navýšena signální hladina zásobníku č. 4 o jeden kus, vlivem zvýšení vytížení strojů bylo třeba tuto signální hladinu zvýšit, aby stále bylo minimum 5 kusů. Počet vadných kusů je pro tuto variantu 305 a počet repasovaných kusů je 365.

Na obr. 15 je zobrazen graf vytížení výrobních zdrojů (C), kde lze sledovat mírné navýšení podílu „Výroba“ v důsledku snížení časů a četnosti přeseřizování, procento času přeseřizování se aktuálně u jednotlivých výrobních stanic pohybuje v rozmezí 0,1 až 0,45 % času, proto v některých sloupcích téměř není vidět.



Obr. 15 Vytížení výrobních zdrojů (C) [zdroj: vlastní]

6.4 VARIANTA D

Varianta D zvyšuje dostupnost výrobních stanic na 97 až 98 %. Ve výrobním řetězci byly zavedeny TPM (Total Productive Maintenance = totálně produktivní údržba) údržby, což je jedna z metod štíhlé výroby, která je často aplikována na celou kulturu společnosti. V našem případě to znamená pravidelné údržby strojů probíhající o směnových přestávkách, snižující jejich poruchovost a jsou tedy dostupné větší procento času.

To má, jak bylo očekáváno, pozitivní vliv na průchodnost simulačním modelem a rovněž na vytížení výrobních stanic. Nárůst těchto hodnot je možné vidět na obr. 16. Počet

expedovaných výrobků vzrostl na 7770 kusů za dobu simulace, tj. téměř o 500 kusů více než v předchozí variantě. Průměrná denní průchodnost je nyní 86,33 kusů.

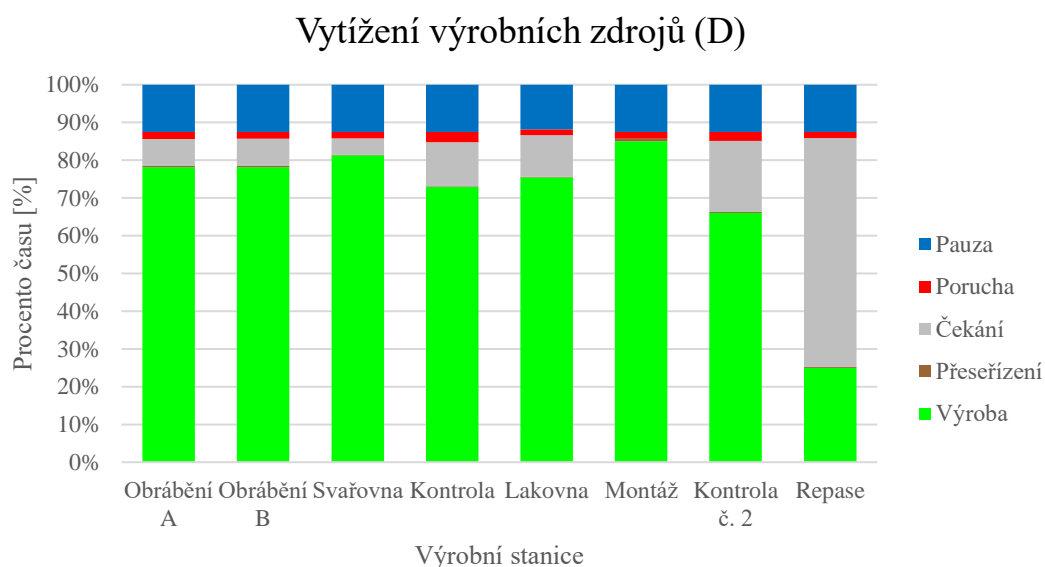
V tab. 11 je možné opět sledovat mírné zkrácení doby středního času průchodu polotovaru systémem a rovněž navýšení podílu času, po který byla výrobku přidávána hodnota.

Tab. 11 Data průchodu a VA time (D) [zdroj: vlastní]

| Prvek | Střední čas průchodu [dd:hh:mm:ss] | VA time [%] |
|-------------|---------------------------------------|----------------|
| Polotovar A | 1:19:22:08 | 0,48 |
| Polotovar B | 1:23:43:49 | 0,43 |

Vzhledem k zvýšené průchodnosti, resp. zvýšenému podílu „Výroba“ u výrobních stanic (viz. obr. 16), je třeba opět lehce poupravit hodnoty signálních hladin, jelikož pro aktuální nastavení systému jsou v některých místech již zbytečně vysoké nebo taky nízké. Úpravy byly provedeny tak, aby minimální hodnoty zásob byly zachovány podobné jako byly nastaveny v rámci varianty B, konkrétní hodnoty lze vidět v příloze P3. Počet vadně vyrobených kusů je 324 a počet repasovaných kusů je 389.

Graf obr. 16 vyobrazuje znatelné snížení podílu „Porucha“ a naopak zvýšení podílu „Výroba“, toto opatření se prozatím jeví jako nejcitlivější na průchodnost výrobního systému.



Obr. 16 Vytížení výrobních zdrojů (D) [zdroj: vlastní]

6.5 VARIANTA E

Poslední varianta zkrátí taktů všech výrobních stanic o 10 %, zvýší dostupnost všech strojů na 99 % a zvýší pravděpodobnost správně vyrobených kusů na 98 % pro kontrolu č. 1 a na 99 % pro kontrolu č. 2. Zkrácení taktů, zvýšení dostupnosti a snížení zmetkovitosti je možné

v reálném provozu docílit například zakoupením nových nebo novějších strojů, jež disponují novějšími technologiemi a jsou tak schopny urychlit celý výrobní proces. Z pohledu průchodnosti výrobního systému došlo k nárůstu průchodů od předchozí varianty o necelých 1000 kusů, na 8720 hotových výrobků za 90denní simulační běh. Průměrná denní průchodnost tak vzrostla o 10 kusů denně na 96,89 kusů.

Tab. 12 zobrazuje snížení středního času průchodu logistickým řetězcem, což bylo očekáváno vzhledem ke zkrácení taktu výrobních linek. Čas, po který je produktu přidávána hodnota zůstává stejný u polotovaru B a u polotovaru A dochází k zhoršení o 0,01 %.

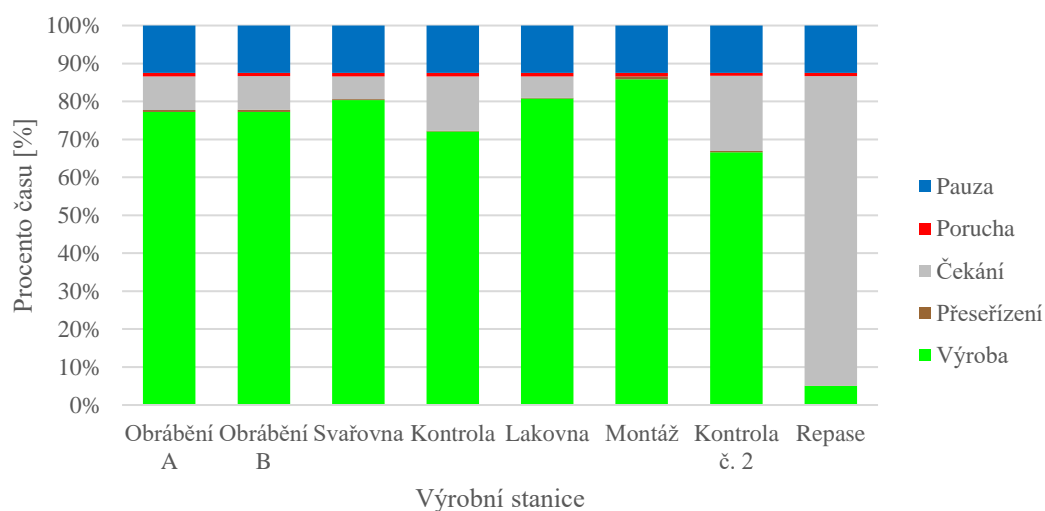
Tab. 12 Data průchodu a VA time (E) [zdroj: vlastní]

| Prvek | Střední čas průchodu [dd:hh:mm:ss] | VA time [%] |
|-------------|---------------------------------------|----------------|
| Polotovar A | 1:15:42:59 | 0,47 |
| Polotovar B | 1:19:41:57 | 0,43 |

Průběh zásob ve skladech a mezioperačních zásobnících zůstává stejný, jako v předchozích variantách. Počet vadně vyrobených kusů pro tuto variantu činí 178 kusů a počet repasovaných kusů činí 88.

Na obr. 17 je zobrazen graf vytížení výrobních zdrojů varianty (E), kde je možné vidět další snížení podílu „Porucha“ a tentokrát i „Výroba“, zároveň zvýšený podíl „Čekání“ a „Přeseřizování“. Snížení podílu „Výroba“ by mohlo působit tak, že aplikované opatření není až tak výhodné, ovšem k tomuto faktu dochází z důvodu zvýšeného časového podílu dostupnosti stroje. Na zvýšení průchodnosti má pak znatelný podíl i zvýšená kvalita výroby (98 % a 99 %), což přispívá k vyššímu podílu „Přeseřizování“, s vyšší kvalitou výroby taky dochází k častějším průchodům výrobními operacemi, a proto je potřeba stroj častěji přeseřizovat.

Vytížení výrobních zdrojů (E)



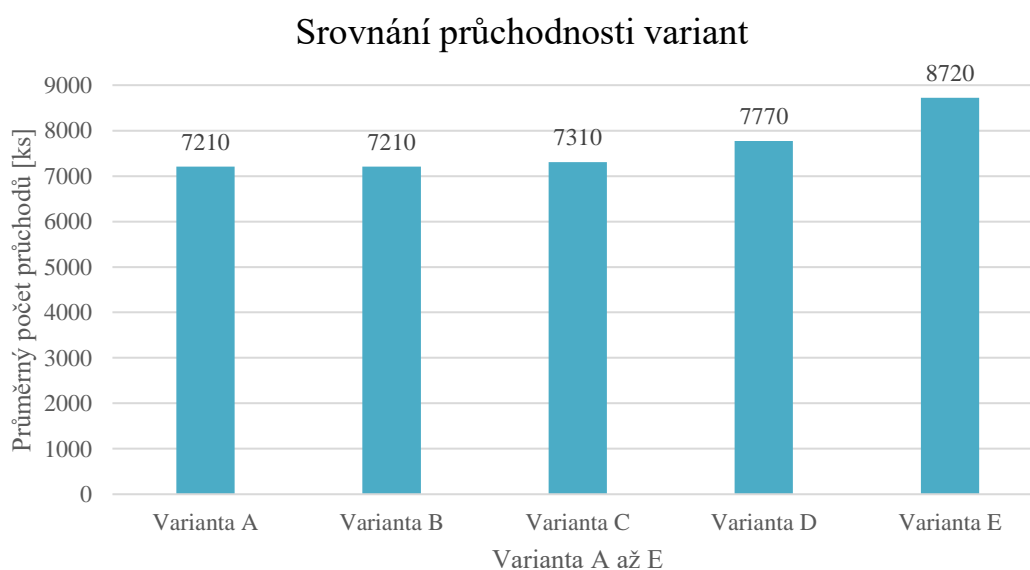
Obr. 17 Vytížení výrobních zdrojů (E) [zdroj: vlastní]

6.6 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ

Vyhodnocení proběhne pro všechny sledované ukazatele jednotlivě v podkapitolách. V poslední podkapitole bude taktéž vyhodnoceno využití transportních zdrojů, které nebylo v rámci jednotlivých variant sledováno, jelikož vytiženost transportních zdrojů nemá vliv na průchodnost výrobního systému. Ovšem rozhodně stojí za rozebrání, v jaké míře se která varianta promítla právě na vytižení transportních zdrojů.

6.6.1 VYHODNOCENÍ PRŮCHODNOSTI

Na obr. 18 jsou v grafu vyobrazeny dosažené hodnoty průchodnosti výrobního systému pro jednotlivé simulované varianty. Jak lze vidět, nejvyšší průchodnosti bylo dosaženo variantou E, rovněž bylo touto variantou dosaženo nejvyššího nárůstu, mezi jednotlivými variantami, téměř 1000 kusů, resp. 10 kusů denně. To je celkové zlepšení mezi variantou A až E o 20,94 %. Vybrat variantu, která je na průchodnost výrobního systému nejcitlivější tedy není nikterak složité a je to jednoznačně varianta E. V reálném provozu by však toto opatření mohlo být příliš ekonomicky náročné, a proto je vhodné brát v úvahu jako poměrně citlivou variantu i variantu D, jejíž zavedení by nebylo tak nákladné a rozhodně by každému výrobnímu systému prospělo.



Obr. 18 Srovnání průchodností variant [zdroj: vlastní]

6.6.2 VYHODNOCENÍ STŘEDNÍHO ČASU PRŮCHODU A VA TIME

V tab. 13 je možné vidět shrnutí dosažených hodnot středního času průchodu a procenta času, po který byla výrobku přidávána hodnota. Variantu A je třeba brát lehce s rezervou, jelikož při ní docházelo k zaplnění všech mezioperačních zásobníků do maximální kapacity a byl zaveden jiný výrobní systém. Soustředím se tedy spíše na varianty B až E. Nejkratšího středního času průchodu dosáhla očekávaně varianta E. Z pohledu času, po který byla výrobku přidávána hodnota, je na tom varianta D a E téměř stejně, avšak varianta D dosahuje

vyšší doby průchodu, to lze odůvodnit tím, že varianta E zkrátila takty jednotlivých operací o 10 % a průchod logistickým řetězcem je tak pro tuto variantu rychlejší. Nejcitlivější variantou je však v tomto případě varianta B, která oproti variantě A způsobila téměř dvojnásobné zvýšení času, po který je produktu přidávána hodnota a taky nejrazantněji zkrátila střední čas průchodu logistickým řetězcem. Co se týče času, po který výrobku hodnota přidávána nebyla, je to vždy zbylý čas, který není VA time. V případě varianty B pro polotovar A se tedy jedná o 99,56 % času.

Tab. 13 Vyhodnocení Středního času průchodu a VA Time [zdroj: vlastní]

| Varianta | Prvek | Střední čas průchodu [dd:hh:mm:ss] | VA time [%] |
|----------|-------------|---------------------------------------|----------------|
| A | Polotovar A | 2:07:09:18 | 0,24 |
| | Polotovar B | 2:22:02:20 | 0,19 |
| B | Polotovar A | 1:23:22:04 | 0,44 |
| | Polotovar B | 2:04:41:13 | 0,39 |
| C | Polotovar A | 1:23:08:47 | 0,44 |
| | Polotovar B | 2:04:12:33 | 0,40 |
| D | Polotovar A | 1:19:22:08 | 0,48 |
| | Polotovar B | 1:23:43:49 | 0,43 |
| E | Polotovar A | 1:15:42:59 | 0,47 |
| | Polotovar B | 1:19:56:58 | 0,43 |

6.6.3 VYHODNOCENÍ VYTÍŽENÍ VÝROBNÍCH ZDROJŮ

Z pohledu vytížení výrobních zdrojů je žádoucí, aby podíl „Výroba“ tvořil, co možná největší procento času. Nejvyšší vytíženosti výrobních zdrojů bylo dosaženo při nastavení varianty D, pokud by bylo sledováno pouze samotné vytížení, pak by bylo možné tuto variantu prohlásit jako nejvýhodnější. Ovšem varianta E vykazuje vyšší průchodnost výrobním systémem, při nižším procentu vytížení výrobních zdrojů, to je opět odůvodnitelné zkrácením taktů o 10 %. Pro srovnání citlivosti jednotlivých variant byla vybrána jedna z výrobních stanic a její hodnoty byly vneseny do tab. 14. Nejcitlivější variantou dosahující největšího zlepšení je varianta D.

Tab. 14 Vytížení stanice svařovny [zdroj: vlastní]

| Svařovna | Varianta A | Varianta B | Varianta C | Varianta D | Varianta E |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Výroba [%] | 75,73 | 75,29 | 76,34 | 81,26 | 80,35 |
| Přeseřízení [%] | 0,58 | 0,58 | 0,22 | 0,24 | 0,26 |
| Čekání [%] | 0 | 4,78 | 4,09 | 4,31 | 5,97 |
| Blokace [%] | 4,34 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Porucha [%] | 6,85 | 6,85 | 6,85 | 1,69 | 0,92 |
| Pauza [%] | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 |

6.6.4 VYHODNOCENÍ SKLADOVÝCH KAPACIT

Pro vyhodnocení vytížení skladových kapacit je dostačující srovnání tabulek z prvních dvou variant, jelikož zásoby pak i pro ostatní varianty zůstaly stejné nebo velmi podobné. V tab. 15 je možné vidět již zmíněné poměrně razantní snížení zásob ve skladech a mezioperačních zásobnících, které nemělo žádný negativní vliv na celkový chod výrobního systému, což potvrzuje stejně vysoká průchodnost varianty A a B.

Tab. 15 Vytížení skladových kapacit [zdroj: vlastní]

| Varianta | Zásobník | A | B | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------|--------------|-----|-----|----|----|---|----|----|---|---|---|----|
| A | Minimum [ks] | 160 | 133 | 40 | 45 | 0 | 12 | 44 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum [ks] | 396 | 252 | 50 | 50 | 5 | 50 | 50 | 3 | 1 | 1 | 10 |
| B až E | Minimum [ks] | 32 | 32 | 6 | 6 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Maximum [ks] | 396 | 219 | 18 | 11 | 4 | 10 | 12 | 3 | 1 | 1 | 10 |

6.6.5 VYHODNOCENÍ KVALITY VÝROBY

V předposledním kroku bude zhodnocena kvalita výroby, tedy počet zmetkových výrobků a počet repasovaných výrobků. V tab. 16 lze vidět, že nejvýhodnější variantou je jednoznačně varianta E, kdy bylo dosaženo téměř polovičního počtu vadných kusů jako u předcházejících variant, a to i při zvýšené průchodnosti výrobního systému o více, než 1000 kusů. U zbylých variant je poměr vadných i repasovaných kusů ku celkovému počtu vyrobených kusů téměř totožný, jelikož pro všechny tyto varianty (A až D) bylo použito stejné nastavení kontrolních stanic. Z pohledu repasovaných dílů je především v rámci varianty E k zamyšlení, zda má smysl provozovat stanici repase, pokud je za 90 dní simulace repasováno pouze 87 kusů, pravděpodobně by to záleželo na poměru ztrát nebo případných příjmů. Nejcitlivější variantou je v tomto ohledu varianta E.

Tab. 16 Vyhodnocení kvality výroby [zdroj: vlastní]

| Kusy | Varianta A | Varianta B | Varianta C | Varianta D | Varianta E |
|----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Vadné kusy [ks] | 301 | 300 | 305 | 324 | 178 |
| Repasované kusy [ks] | 360 | 360 | 365 | 389 | 88 |

6.6.6 VYUŽITÍ TRANSPORTNÍCH ZDROJŮ

Vytížení transportních zdrojů nebylo v rámci jednotlivých variant sledováno, z důvodu jejich neznatelného vlivu na chod výrobního systému a sledovaná kritéria, ovšem v závislosti na jednotlivých variantách se mění počet potřebných kusů, pro tvorbu výrobků, a to v reálném systému může znamenat určité finanční náklady na dodávku materiálu. Z tohoto důvodu je vhodné vyhodnotit i využití transportních zdrojů.

Nicméně v tab. 17 je možné vidět průměrné intervaly mezi dodávkami polotovarů pro jednotlivé varianty. Varianta A, u které byly neustále udržovány vysoké zásoby, byla nejméně výhodná, jelikož k dodávkám docházelo v nejkratším průměrném časovém intervalu, a to i vzhledem k tomu, že bylo dosaženo nejnižší průchodnosti. U varianty B bylo při stejné průchodnosti systému jako u varianty A dosaženo zřetelně delšího průměrného intervalu mezi dodávkami, což lze považovat za úctyhodné zlepšení, jelikož by se v reálném provozu snížily

náklady na dopravu. U dalších variant C až E, je pak opět možné vidět snižování intervalu mezi dodávkami, což znamená častější dodávky, to je však možné odůvodnit zvyšující se průchodností výrobního systému.

Tab. 17 Využití transportních zdrojů kamiony [zdroj: vlastní]

| Kamion | Varianta A [dd:hh:mm:ss] | Varianta B [dd:hh:mm:ss] | Varianta C [dd:hh:mm:ss] | Varianta D [dd:hh:mm:ss] | Varianta E [dd:hh:mm:ss] |
|----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Kamion A | 1:08:36:58 | 2:03:29:16 | 2:02:47:59 | 1:23:55:02 | 1:19:41:24 |
| Kamion B | 1:09:15:22 | 2:03:47:32 | 2:03:04:43 | 1:23:59:46 | 1:19:40:51 |

V tab. 18 jsou zobrazeny hodnoty vytížení manipulačního vozíku, který operuje mezi zásobníkem hotových kusů a expedicí. Dráha uražená za dobu simulace se pohybuje od 37,9 km až po 45,9 km a zvyšuje se s rostoucí průchodností výrobního systému. Procentuální obsazenost znamená procento času z doby simulace, po které byl vozík nakládán, převážel hotové výrobky a taky je vykládal. Z hodnot uvedených v tabulce je opět zřejmé, že obsazenost vozíku rostla s navyšující se průchodností výrobního systému. Při nastavení varianty E byl manipulační vozík vytížen nejvíce.

Tab. 18 Vytížení transportních zdrojů vozík [zdroj: vlastní]

| Vozík | Varianta A | Varianta B | Varianta C | Varianta D | Varianta E |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Dráha [m] | 37900 | 37900 | 38402 | 40873 | 45852 |
| Obsazenost [%] | 33,9 | 33,9 | 34,33 | 36,54 | 41,0 |

Za nejcitlivější variantu, tedy tu která měla na výrobní systém mezi jednotlivými variantami největší vliv, lze na základě výsledků z vyhodnocení experimentů označit variantu E. Je ovšem nutné podotknout, že tato varianta se skládá taktéž v předchozích variant a bez nich by pravděpodobně její vliv tak razantní nebyl.

ZÁVĚR

V teoretické části této práce byly přiblíženy základní pojmy logistiky, jejichž znalost je nezbytná pro následující probíraná témata. Dále byla shrnuta problematika simulací, její přínos, taktéž byla přiblížena tvorba simulačních modelů a nezbytné kroky při jejich tvorbě. Byly představeny dnes využívané simulační softwary, a především byla pozornost věnována softwaru Plant Simulation, pomocí kterého byl v praktické části práce vytvořen simulační model.

Štíhlá výroba úzce souvisí s tvorbou simulací, obojí si dává za cíl šetřit čas i finanční prostředky. Význam a krátké pojednání o historii štíhlé výroby předcházelo představení základních známých nástrojů štíhlé výroby a dále se již byla teoretická část věnována mapování toku hodnotu. Mapování toku hodnot je v dnešní době oblíbený nástroj pro odhalování úzkých míst ve výrobních systémech, svou jednoduchostí často převyšuje jiné nástroje štíhlé výroby. Pro aplikování této metody na výrobní provoz stačí znalost základní symboliky, stopky, tužka a papír, během chvíle je pak možné výrobní systém analyzovat a optimalizovat.

Praktická část se věnovala hlavnímu cíli této bakalářské práce, tedy tvorbě parametrizovatelného simulačního modelu logistického řetězce. Byl navržen výrobní systém, který sloužil pro tvorbu simulačního modelu. Ten byl dále vytvořen a popsán, představena byla jeho možná parametrizace a provedena verifikace a validace. Po provedení těchto nezbytných úkonů byla navržena matice experimentů o pěti variantách, která sloužila pro citlivostní analýzu simulačního modelu. Pro citlivostní analýzu bylo zvoleno šest kritérií (ukazatelů), které byly sledovány a závěrem vyhodnoceny, přičemž cílem simulačních experimentů byla optimalizace simulačního modelu. Optimalizaci výrobního systému je možné považovat za úspěšnou, za vyzdvižení stojí téměř dvojnásobné zlepšení podílu času, po který je výrobku přidávána hodnota, rapidně byly taky sníženy skladové kapacity na nezbytné minimum a celková průchodnost za dobu simulace se zvýšila o 20 %. Nakonec bylo k simulačnímu modelu vytvořeno uživatelské rozhraní, které umožňuje pomocí tlačítek, rozbalovacích seznamů, případně tabulek parametrizovat, ovládat nebo statisticky vyhodnocovat simulační model.

Právě výsledky simulačních experimentů ukazují, jak mohou být simulace výhodné pro tvorbu nových nebo úpravu stávajících výrobních systémů. Bez nutnosti zásahu do aktuálně zaběhlých výrobních systémů je možné pomocí simulací zjistit, jaký by různé optimalizační kroky měly dopad na vybraná sledovaná kritéria. To stejné platí pro tvorbu nových výrobních systémů. Bez nutnosti jejich realizace je možné získat předběžné hodnoty sledovaných ukazatelů, přičemž na základě získaných dat je možno udělat rozhodnutí, zda se realizace výrobního systému nebo optimalizačních úprav vyplatí nebo nikoliv.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] SIXTA, Josef a Václav MAČÁT. *Logistika: teorie a praxe*. Brno: CP Books, 2005. 315 s. Business books (CP Books). ISBN 80-251-0573-3.
- [2] PERNICA, Petr. *Arts logistics*. Praha: Oeconomica, 2008. 425 s. ISBN 978-80-245-1412-3.
- [3] PERNICA, Petr. *Logistika pro 21. století: (Supply chain management)*. Praha: Radix, 2005. 569 s. ISBN 80-86031-59-4.
- [4] ŠTŮSEK, Jaromír. *Řízení provozu v logistických řetězcích*. V Praze: C.H. Beck, 2007. 227 s. C.H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7179-534-6.
- [5] HLOSKA, J. *Optimalizace materiálového toku v hromadné výrobě simulačními metodami*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 144 s. Vedoucí dizertační práce doc. Miroslav Škopán, CSc..
- [6] VARJAN, Matúš. *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..
- [7] JUROVÁ, Marie. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada Publishing, 2016. 254 s. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5717-9.
- [8] RÁBOVÁ, Zdena. *Modelování a simulace*. 3., přepracované vydání. Brno: VUT, 1992. 195 s. ISBN 80-214-0480-9.
- [9] AXIOM TECH s.r.o.. *TECNOMATIX PLANT SIMULATION*. [online]. © AXIOM TECH s.r.o.. [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25357-texnomatix-plant-simulation>
- [10] Lean Enterprise Institute. *What is Lean?* [online]. © 2000-2021 [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://www.lean.org/WhatsLean/>
- [11] NAWRAS, Skhmot. *THE LEAN WAY BLOG What is Lean?* [online]. 2017. [cit. 06.05.2021] Dostupné z: <https://theleanway.net/what-is-lean>
- [12] Lean Enterprise Institute. *TOYOTA PRODUCTION SYSTEM*. [online]. © 2000-2021. [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://www.lean.org/lexicon/toyota-production-system>
- [13] OHNO, Taiichi a Norman BODEK. *Toyota Production System: beyond Large-Scale Production*. Boca Raton: CRC Press, 1988. 176 s. ISBN 9780915299140.
- [14] Toyota. *TOYOTA PRODUCTION SYSTEM*. [online]. © Toyota. [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://www.toyota-europe.com/world-of-toyota/this-is-toyota/toyota-production-system>
- [15] Kanbanize. *Kanban Explained for Beginners | The Complete Guide*. [online]. © 2021. [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://kanbanize.com/kanban-resources/getting-started/what-is-kanban>

- [16] ROSER, Christoph. *When to Do Value Stream Maps (and When Not!)*. [online]. 2015. [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://www.allaboutlean.com/when-vsm/>
- [17] ROSER, Christoph. *Overview of Value Stream Mapping Symbols*. [online]. 2015. [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://www.allaboutlean.com/vsm-symbols/>
- [18] MUKHERJEE, Juni. *Value Stream mapping*. [online]. © 2021. [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://www.atlassian.com/continuous-delivery/principles/value-stream-mapping>
- [19] Kanbanize. *7 Wastes of Lean*. [online]. © 2021. [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://kanbanize.com/lean-management/value-waste/7-wastes-of-lean>
- [20] VAVRUŠKA, Jan. *VSM Value stream mapping*. [online]. [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: http://educom.tul.cz/educom/inovace/PI/VY_03_06-VSM%20value%20stream%20mapping_MZ_6.pdf
- [21] BANKS, Jerry et al. *Discrete Event System Simulation*. [online]. 2005. [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://vulms.vu.edu.pk/Courses/CS620/Downloads/Discrete%20Event%20System%20Simulation%20-%20Jerry%20Banks.pdf>
- [22] DLABAČ, Jaroslav. *Štíhlý materiálový a hodnotový tok*. [online]. 2014. [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/stihly-materialovy-a-hodnotovy-tok>
- [23] MIKUŠ, M. *Ověření logistického konceptu řízení zásob*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Sedláček.

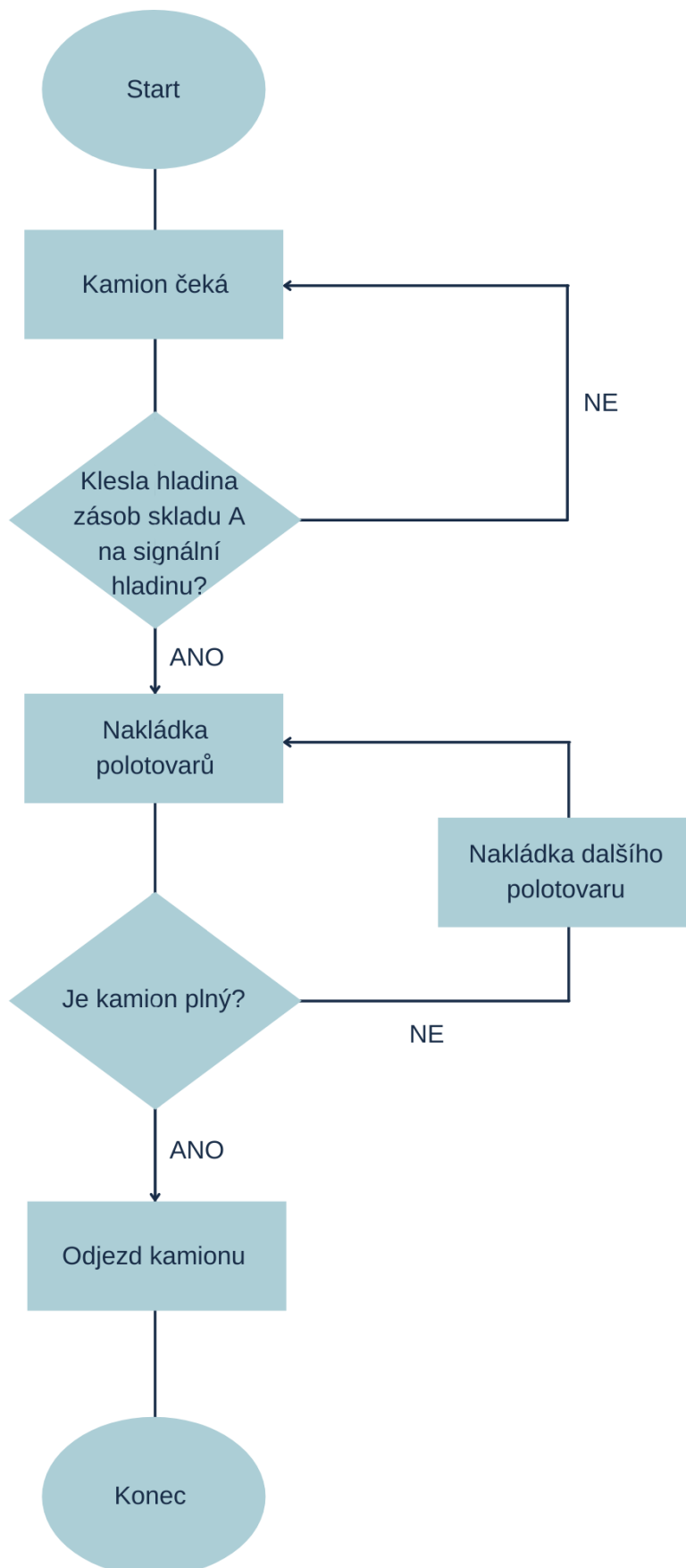
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | | |
|-----------------|-------|--|
| C | [ks] | Kapacita kamionu |
| d | [den] | Počet simulovaných dní |
| D | [%] | Dostupnost stroje |
| JIT | [-] | Just in Time |
| k | [ks] | Celkový počet předpokládaných doručených polotovarů za 7 dní |
| k _{OA} | [ks] | Průchodnost výrobní operace obrábění A za den |
| k _{OB} | [ks] | Průchodnost výrobní operace obrábění B za den |
| MIFA | [-] | Material and Information Flow Analysis |
| MTTR | [-] | Mean Time to Repair, Střední čas potřebný pro opravu stroje |
| NVA | [-] | Non Value Added, Nepřidaná hodnota |
| T | [min] | Takt výrobní operace |
| t _D | [min] | Celkový čas přepravy |
| t _{ef} | [hod] | Efektivní časový fond |
| t _N | [min] | Čas potřebný pro naložení dílů |
| TPS | [-] | Toyota Production System |
| t _T | [min] | Čas trasy |
| t _V | [min] | Čas potřebný pro vyložení dílů |
| VA | [-] | Value Added, Přidaná hodnota |
| VSM | [-] | Value Stream Mapping, Mapování toku hodnot |

SEZNAM PŘÍLOH

- P1 Layout simulačního modelu
- P2 Vývojový diagram nakládky polotovarů A
- P3 Matice experimentů
- P4 Histogramy obsazenosti vybraných mezioperačních zásobníků

Příloha P2: Vývojový diagram nakládky polotovarů A.



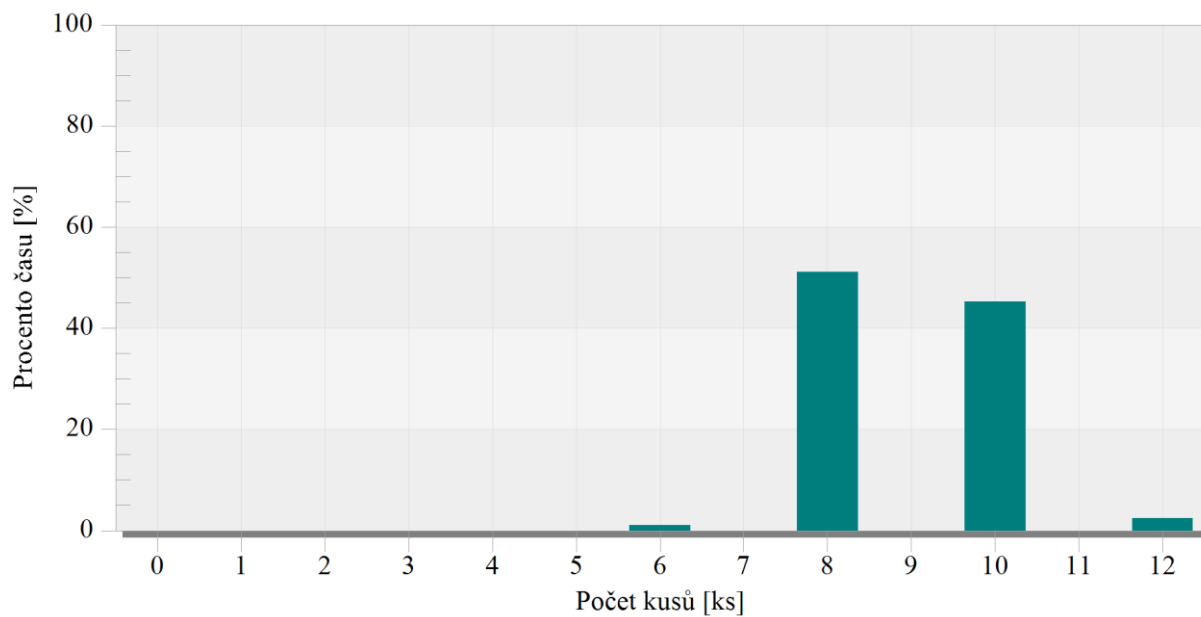
Příloha P3: Matice experimentů, pokračování na další straně.

| Operace | Varianta A | Varianta B | Varianta C | Varianta D | Varianta E |
|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Obrábění A: Takt [s] | 750 | 750 | 750 | 750 | 675 |
| Obrábění A: Dostupnost [%] | 92 | 92 | 92 | 98 | 99 |
| Obrábění A: MTTR [s] | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| Obrábění A: Čas přeřazení [s] | 300 | 300 | 225 | 225 | 225 |
| Obrábění A: Přeseřzení [ks] | 50 | 50 | 100 | 100 | 100 |
| Obrábění B: Takt [ks] | 750 | 750 | 750 | 750 | 675 |
| Obrábění B: Dostupnost [%] | 92 | 92 | 92 | 98 | 99 |
| Obrábění B: MTTR [s] | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| Obrábění B: Čas přeřazení [s] | 300 | 300 | 225 | 225 | 225 |
| Obrábění B: Přeseřzení [ks] | 25 | 25 | 50 | 50 | 50 |
| Svařovna: Takt [s] | 780 | 780 | 780 | 780 | 702 |
| Svařovna: Dostupnost [%] | 92 | 92 | 92 | 98 | 99 |
| Svařovna: MTTR [s] | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Svařovna: Čas přeřazení [s] | 360 | 360 | 270 | 270 | 270 |
| Svařovna: Přeseřzení [ks] | 60 | 60 | 120 | 120 | 120 |
| Kontrola: Takt [s] | 700 | 700 | 700 | 700 | 630 |
| Kontrola: Dostupnost [%] | 90 | 90 | 90 | 97 | 99 |
| Kontrola: MTTR [s] | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| Kontrola: Čas přeřazení [s] | 120 | 120 | 90 | 90 | 90 |
| Kontrola: Přeseřzení [ks] | 35 | 35 | 70 | 70 | 70 |
| Lakovna: Takt [s] | 800 | 800 | 800 | 800 | 720 |
| Lakovna: Dostupnost [%] | 93 | 93 | 93 | 98 | 99 |
| Lakovna: MTTR [s] | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 |
| Lakovna: Čas přeřazení [s] | 250 | 120 | 90 | 90 | 90 |
| Lakovna: Přeseřzení [ks] | 30 | 30 | 45 | 45 | 45 |
| Montáž: Takt [s] | 850 | 850 | 850 | 850 | 765 |
| Montáž: Dostupnost [%] | 92 | 92 | 92 | 98 | 99 |
| Montáž: MTTR [s] | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| Montáž: Čas přeřazení [s] | 480 | 480 | 360 | 360 | 360 |
| Montáž: Přeseřzení [ks] | 25 | 25 | 50 | 50 | 50 |
| Kontrola č. 2: Takt [s] | 660 | 660 | 660 | 660 | 594 |
| Kontrola č. 2: Dostupnost [%] | 90 | 90 | 90 | 97 | 99 |
| Kontrola č. 2 - MTTR [s] | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Kontrola č. 2: Čas přeřazení [s] | 160 | 160 | 120 | 120 | 120 |
| Kontrola č. 2: Přeseřzení [ks] | 20 | 20 | 40 | 40 | 40 |
| Repase: Takt [s] | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 | 4500 |
| Repase: Dostupnost [%] | 92 | 92 | 92 | 98 | 99 |
| Repase: MTTR [s] | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| Repase: Čas přeřazení [s] | 840 | 840 | 630 | 630 | 630 |
| Repase: Přeseřzení [ks] | 10 | 10 | 15 | 15 | 15 |

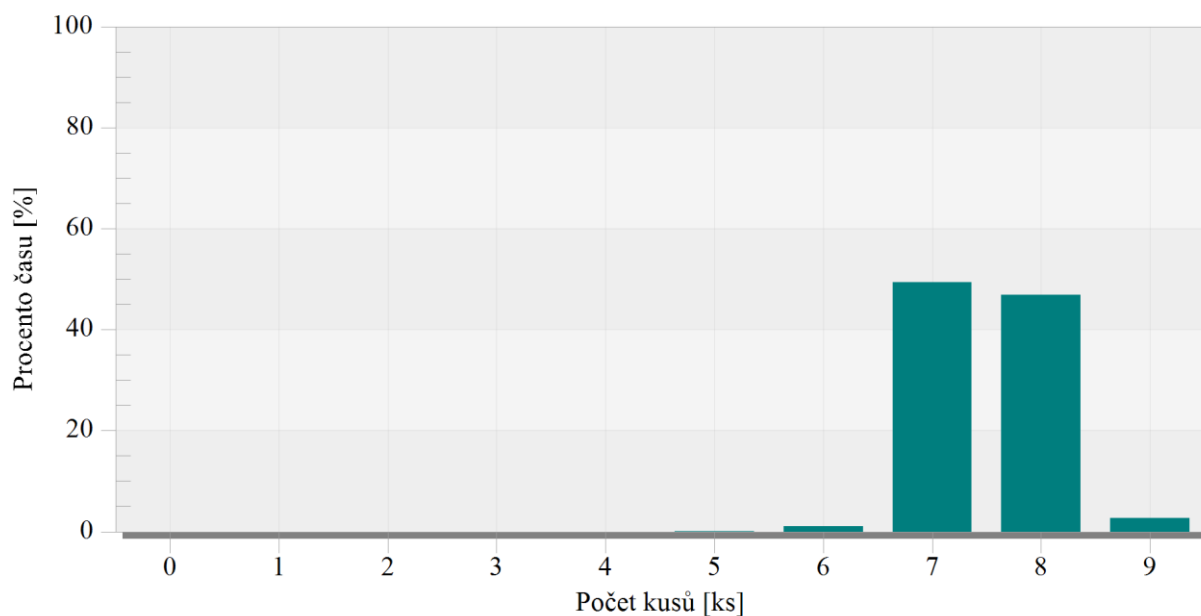
| | | | | | |
|-----------------------------------|-----|----|----|----|----|
| Signální hladina: Sklad A [ks] | 200 | 70 | 70 | 70 | 75 |
| Signální hladina: Sklad B [ks] | 150 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| SH: Mezioperační zásobník 1 [ks] | | 16 | 16 | 12 | 10 |
| SH: Mezioperační zásobník 2 [ks] | | 10 | 10 | 8 | 8 |
| SH: Mezioperační dopravník 3 [ks] | | 3 | 3 | 3 | 3 |
| SH: Mezioperační zásobník 4 [ks] | | 8 | 9 | 8 | 7 |
| SH: Mezioperační zásobník 5 [ks] | | 11 | 11 | 9 | 9 |
| SH: Mezioperační dopravník 6 [ks] | | 3 | 3 | 3 | 3 |
| SH: Mezioperační dopravník 7 [ks] | | 3 | 3 | 3 | 3 |
| SH: Mezioperační dopravník 8 [ks] | | 5 | 5 | 5 | 5 |
| SH: Mezioperační zásobník 9 [ks] | | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Kontrola č.1: poměr OK/NOK [%] | 96 | 96 | 96 | 96 | 98 |
| Kontrola č.2: poměr OK/Repase [%] | 95 | 95 | 95 | 95 | 99 |

Příloha P4: Obsazenosti vybraných mezioperačních zásobníků v podobě histogramů (E)

Obsazenost zásobníku 1

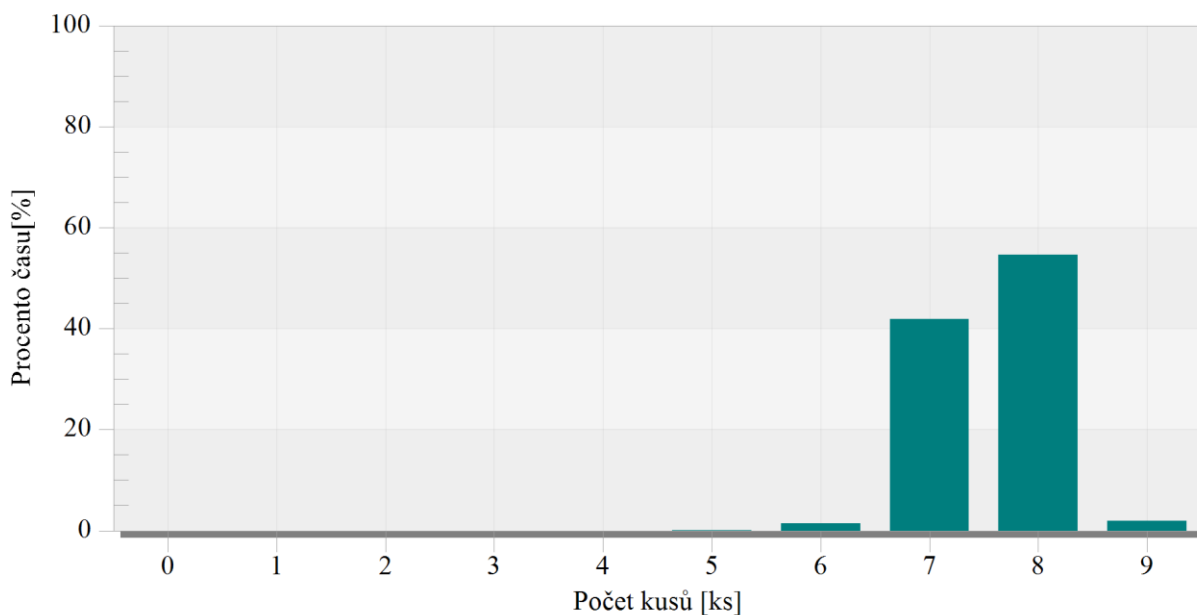


Obsazenost zásobníku 2



Příloha P4: (pokračování)

Obsazenost zásobníku 4



Obsazenost zásobníku 5

