VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ V PRAZE

FAKULTA INFORMATIKY A STATISTIKY



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2016 Bc. Vojtěch Klán

VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ V PRAZE

FAKULTA INFORMATIKY A STATISTIKY



Název diplomové práce:

Simulační model skladu

Autor: **Bc. Vojtěch Klán**

Katedra: **Katedra ekonometrie**

Obor: **Ekonometrie a operační výzkum**

Vedoucí práce: **Doc. Mgr. Ing. Martin Dlouhý, Dr., MSc.**

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Simulační model skladu“ zpracoval samostatně. Veškerou použitou literaturu a další podkladové materiály uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne 12. ledna 2016 .....

Bc. Vojtěch Klán

Poděkování:

Rád bych na tomto místě poděkoval doc. Mgr. Ing. Martinu Dlouhému, Dr., MSc., za vedení mé diplomové práce a za podnětné návrhy, které ji obohatily.

Abstrakt:

Název práce: Simulační model skladu
Autor: Bc. Vojtěch Klán
Katedra: Katedra ekonometrie
Vedoucí práce: Doc. Mgr. Ing. Martin Dlouhý, Dr., MSc.

Problematika práce je využití simulačních metod v podnikové praxi. Nejprve jsou vysvětleny skladové a simulační technologie použité v práci. Následně je převeden reálný podnikový sklad materiálu na počítačový simulační model. Hlavní část práce je věnována provádění experimentů na tomto modelu, které řeší reálné problémy ve skladu. V 1. experimentu se pomocí modelu hledá řešení, jak zkrátit čekání nákladních vozů na vyložení. Je provedena série experimentů, které jsou porovnány, a je určeno nejlepší řešení. Další tři experimenty se zabývají hypotetickou nebo budoucí situací ve skladu a na základě výsledků simulace je navrhován postup, jak se s nadcházející situací vyrovnat nebo jak se na ni připravit.

Klíčová slova: Simulace, Simul8, Skladování, Logistika

Abstract:

Title: Simulation model of warehouse
Author: Bc. Vojtěch Klán
Department: Department of Econometrics
Supervisor: Doc. Mgr. Ing. Martin Dlouhý, Dr., MSc.

The issue of the work is use of simulation methods in real situation. First part of thesis belongs to explanation of warehouse technologies and simulation techniques used in the work. Follows a transformation of real enterprise warehouse to computer simulation model. The main part is focused on experiments on this model which solves real problems in this warehouse. Target of first experiment is to find solutions to shorten the waiting time of trucks. This is accomplished by series of experiments, which are compared and the best solution is selected. Another three experiments contains future or hypothetical situations in the warehouse. On the basis of the simulation results future steps and preparations are proposed.

Keywords: Simulation, Simul8, Warehousing, Logistics

OBSAH

OBSAH **0**

1 ÚVOD **1**

2 SIMULACE **3**

2.1 ZÁKLADNÍ POJMY 3

2.2 PRINCIPY SIMULACE 4

2.1 FÁZE SIMULACE 5

2.2 SIMUL8 8

3 SKLADOVÉ TECHNOLOGIE **9**

3.1 LOGISTICKÉ TECHNOLOGIE 10

3.2 SKLADOVÁNÍ PALETIZOVANÉHO MATERIÁLU 14

3.3 MANIPULAČNÍ PROSTŘEDKY 15

4 PRAKTICKÁ ČÁST **20**

4.1 POPIS REÁLNÉHO SYSTÉMU A KONSTRUKCE SIMULAČNÍHO MODELU 20

4.2 VÝSTUPY ZE SIMULACE ZÁKLADNÍ ČÁSTI 36

4.3 EXPERIMENTY 40

5 ZÁVĚR **62**

PŘÍLOHY **69**

1 ÚVOD

S rostoucími možnostmi informačních technologií roste i praktické využití počítačových simulací a jejich používání se dostává do běžné praxe podniků, zvláště v pokročilých hospodářských odvětvích. Tato práce je zaměřena na využití simulačního modelování v logistice, přesněji na skladové hospodářství v podniku z oboru automotiv. Logistika obecně je obor hojně využívající moderních technologií, mezi které patří i simulace. Obor automotiv je již po mnoho let jedním z tahounů hospodářství, a pochází odtud mnoho inovativních technologií pro výrobu a v poslední době čím dál více i logistiku a je často ukazatel trendu, kterým se budou technologie ubírat. Tato práce je propojení metody počítačové simulace a dynamického prostředí podnikového skladování firmy z oboru automotiv.

Z důvodu utajení obchodních informací a „know-how“ zde není uvedeno, o jakou společnost se jedná, a budou vynechány detailní popisy některých procesů, jejichž zveřejnění by mohlo firmu ohrozit. Na práci toto omezení nebude mít výrazný vliv, jelikož simulace abstrahuje od detailů a všechny důležité aspekty skutečného systému jsou dostatečně vysvětleny. Simulace bude zaměřena na sklad v hlavní výrobní hale, bude vytvořena zjednodušená verze skutečného systému od cesty zboží nákladními vozy, přes příchod materiálu do skladu, vykládku, balení, zaskladnění a vychystávání a částečně i dopravu výrobků.

Cílem práce je vytvořit počítačový simulační model, který by věrně napodobil skutečnost a provést na tomto modelu sérii experimentů. Od experimentů se očekává, že přinesou objasnění budoucích nebo hypotetických situací. Získané výsledky by měli poskytnout dostatek informací k učinění správného rozhodnutí ve zkoumaném problému. V práci bude zhodnocena situace a následně předložena řešení. Všechny návrhy budou zhodnoceny a vzájemně porovnány, bude zvolen nejvhodnější postup a zhodnocen přínos simulace na daný problém. V modelu budou provedeny čtyři experimenty a jejich cíle jsou následující:

1. **Navrhnout změnu, která zajistí kratší čekání nákladních vozů na vyložení**

Pomocí simulačního modelu bude otestováno několik scénářů, které zajistí nákladním vozům kratší čekání na odbavení, následně budou zhodnoceny výsledky a navrženo nejlepší řešení.

2. **Otestovat důsledky přechodu na elektronický kanbanový systém**

Ve skladu je klasický systém kanban použit k řízení interních materiálových toků. Pomocí simulačního experimentu bude zjištěno, jestli přechod na elektronický kanban nezpůsobí zhoršení situace v regálovém skladu.

3. **Určit dopad změny množství baleného materiálu na obsazenost vychystávací plochy**

Zjistit, jaký vliv na obsazenost vychystávací plochy by mělo zvýšení podílu materiálu, který by nebylo nutné balit na vychystávací ploše a zdali by se změnil počet pracovníků nutných k provádění této činnosti.

4. **Určit, jak se změní situace při změně podílu materiálu v režimu JIT**

Úkolem je pomocí simulačního modelu zjistit, zdali změna režimu dopravování materiálu povede ke zvýšení nebo snížení obsazenosti vychystávací plochy.

Nakonec bude nutné zhodnotit simulaci jako celek, jestli její použití na takto složitý systém je vhodné a přínosné, a jestli se v simulačních experimentech podařilo dojít k přínosným závěrům.

2 SIMULACE

2.1 Základní pojmy

Simulace je metoda studia, která využívá napodobování složitého reálného systému počítačovým modelem. Systém lze chápat jako část reálného světa, kterou má být analyzována. Výše zmíněný termín složitý systém je v tomto případě nutno chápat tak, že model je příliš komplexní, než aby ho bylo možno řešit analytickým způsobem, který by dosáhl přesných výsledků.

Cílem simulace je co nejvěrněji napodobit reálný systém. Každý model je do určité míry zjednodušení systému. Cílem analytika je vzít v úvahu ty faktory, které významně ovlivňují systém a naopak zanedbat ty, jejichž analýza je nepřiměřeně složitá, vzhledem k jejich vlivu na sledované ukazatele.

Faktory neboli vstupní parametry, mohou mít kvalitativní i kvantitativní podobu. Mezi kvalitativní patří popis vztahů objektů v systému a upřesnění vlastností objektů, např.: typ fronty (FIFO, LIFO), typ náhodného rozdělení atd. Faktory kvalitativního charakteru se dělí na diskrétní (např.: počet paletových míst) a spojité (např.: doba zaskladnění).

Faktory můžou být také rozděleny podle toho, jestli je přesně známé jejich chování (deterministické) nebo jestli jsou některé vlastnosti náhodného charakteru (stochastické). Simulace jsou vhodné právě pro zpracovávání systémů, kde existují nějaké stochastické parametry. Takové systémy jsou totiž obvykle složitější a řešení jinými způsoby je komplikované, někdy i nemožné.

Faktory lze také rozdělit podle toho, zda je zadavatel může ovlivnit či ne, na řiditelné a vnější.

Výstupní parametry se nazývají odezvy. Pokud mají některé faktory stochastický charakter, potom i odezvy mají vlastnosti náhodné veličiny. Vzhledem k tomu je vhodné každou simulaci spustit vícekrát a získat tak lepší informaci o náhodném rozdělení výstupních parametrů.

2.2 Principy simulace

Pro simulaci podnikových procesů se obvykle využívá některý specializovaný software, který nabízí pro uživatele přátelské prostředí. Simulační softwary jsou obvykle založeny na systému tří druhů objektů, jimiž je entita, aktivita a zdroj.

2.2.1 Entita

Je to dynamický prvek, který se pohybuje v průběhu času systémem. Do systému vstupuje, obsazuje nebo spotřebovává zdroje a odchází ze systému. Entita může v průběhu času měnit podobu, rozdělovat se na více různých entit, slučovat se s dalšími entitami a podobně. Entita také může mít určité vlastnosti (atributy) upřesňující popis entity, případně determinující chování entity. V některých případech je nutné se rozhodnout, zda bude v modelu vhodnější vytvořit více entit, nebo vytvořit jednu entitu s různými vlastnostmi. Například pokud existují v systému dva rozdílné výrobky, je vhodné vytvořit dvě entity, pokud každý z výrobků má k tomu několik různých variant provedení, nebude se již vytvářet entita pro každou variantu zvlášť, ale rozliší se pomocí atributů.

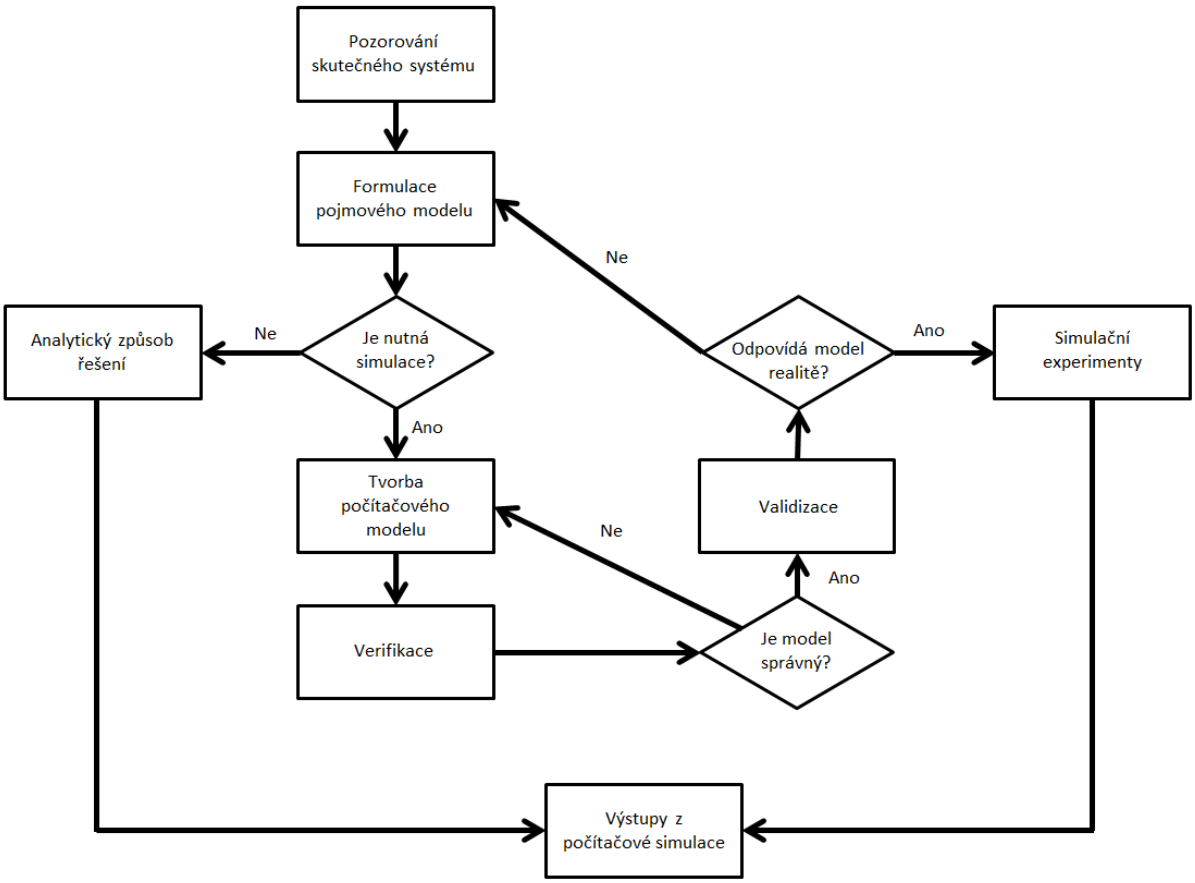
2.2.2 Aktivita

Aktivity jsou činnosti nebo soubory činností, které vytvářejí určitou novou hodnotu v systému. Pracují s entitami, někdy za účasti zdrojů a obvykle s nějakým časovým trváním. Příklad aktivity může být nakládka, kontrola, balení zásilek, konsolidace zásilek apod.

2.2.3 Zdroj

Jde o statické prvky, které jsou využívány (dopravní prostředek, zaměstnanec…) nebo spotřebovávány (pohonná hmota…) entitami. Základním atributem zdroje je kapacita. Obvykle je entitou vyžadován zdroj k realizaci určité aktivity, například kontrola kvality (aktivita) určitého výrobku (entita) vyžaduje kontrolora (zdroj). Pokud zdroj není k dispozici, entita obvykle čeká, dokud zdroj není uvolněn. V některých speciálních případech je možné stanovit další pravidla, například, že entita po určité době čekání opustí systém (nespokojený zákazník v obchodě).

2.1 fáze simulace



Obrázek 1 - Postup vytváření simulačního modelu

Na obrázku 1 je zobrazen přibližný postup vytváření simulačního modelu krok za krokem tak, jak je to v dnešní praxi obvyklé. Zvýšenou pozornost je třeba mít především při stanovování cílů a sběru dat a následné verifikaci. Například v [4] je zmíněn princip 40-20-40, který znamená 40 % času a úsilí věnované přípravě, 20 % samotnému vytváření modelu a 40 % analýze výsledků, verifikaci a validizaci.

V další části práce budou podrobněji rozvedeny nejdůležitější fáze „života“ simulačního modelu.

2.1.1 Pozorování skutečného systému

Do této fáze patří především dostatečně podrobný popis zkoumaného reálného systému, formulace problému a sběr vhodných dat. Tato fáze není obvykle jednorázová, ale prostupuje

celým procesem. Obvykle dochází během vytváření modelu ke zpřesňování a úpravám modelu a k tomu jsou často potřeba další měření a pozorování skutečného systému. Sběr dat je také úzce spjat s použitým modelem. Pro určité modely může být vhodná jiná struktura dat než je k dispozici z dřívějších analýz. Obvykle dochází spíše k přizpůsobení již dříve sebraných dat, případně k transformaci modelu z důvodu finanční i časové náročnosti sběru nových dat.

2.1.2 Formulace pojmového modelu

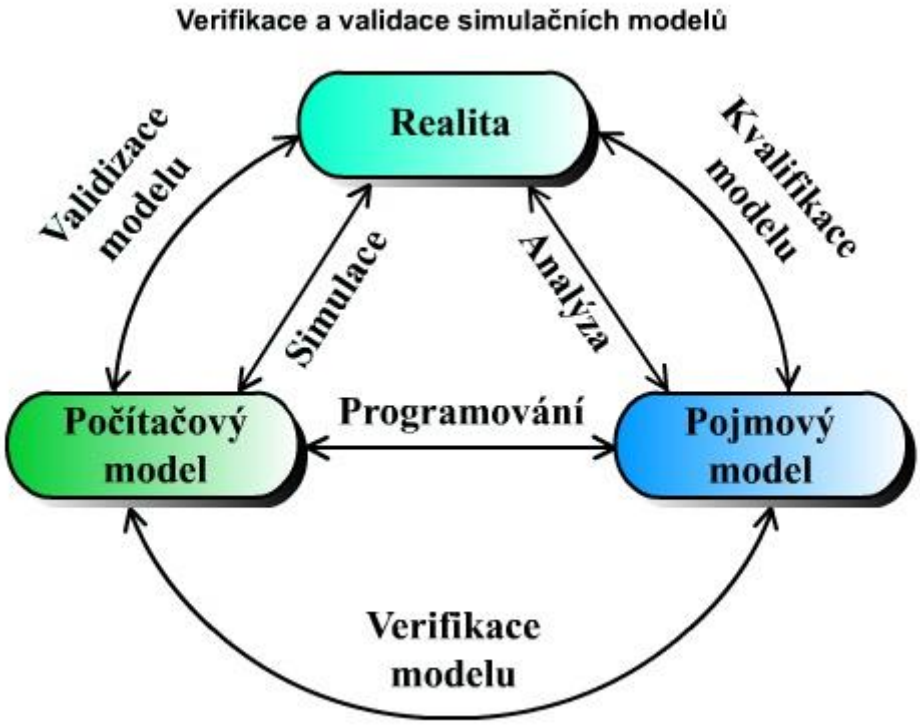
Patří sem především stanovení cílů modelu a návrh metody vedoucí k řešení. Pokud je systém dostatečně jednoduchý, je vhodnější použití analytických metod, které jsou obvykle časově i finančně méně náročné a poskytují obecnější výsledky. V případech, kdy je reálný systém příliš komplexní, než aby bylo možné ho zkoumat pomocí analytických prostředků, je vhodné použít simulačních metod.

2.1.3 Tvorba počítačového modelu

Vytvoření počítačového simulačního modelu, který je zpravidla jednodušší než zkoumaný reálný systém. Jedná se především o převedení logických a matematických vazeb do formy zpracovatelné počítačem.

2.1.4 Verifikace

Ověření, zda vytvořený počítačový model odpovídá pojmovému modelu. Rozdíl mezi pojmovým a počítačovým modelem může nastat z důvodů chyby ve vytváření počítačového modelu, nebo také chyby v simulačním softwaru.



Obrázek 2 - Validizace, verifikace

2.1.5 Validizace

Ověření, je-li počítačový model shodný s realitou. Jde o značně složitější proces než je verifikace. Rozdíl mezi těmito procesy je dobře patrný z obrázku 2. Zjišťuje se, zda byly vzaty v potaz všechny faktory a vlastnosti zkoumaného reálného systému významně ovlivňující výsledky. Obvykle se provádí porovnáním se známými výsledky z reálného modelu, případně je model upraven tak, aby odpovídal nějakému dřívějšímu systému s dobře známým chováním. K validizaci je vhodné přizvat pracovníky, kteří systém znají a je pro ně snazší odhalit nepřesnost v modelu. Pokud se jedná o čistě hypotetický model, je validizace velmi obtížná, částečně lze využít expertních odhadů.

2.1.6 Simulační experimenty

Na hotovém a ověřeném modelu je možno testovat hypotetické situace.

Pokud existuje pouze malé množství variant změny systému, mohou se postupně na simulačním modelu všechny vyzkoušet a následně vybrat nejvhodnější variantu. Vhodné je simulaci u každé varianty spustit několikrát z toho důvodu, že výsledky se mohou lišit

v závislosti na počátečním stavu a kolísání náhodných veličin. V závislosti na tom jsou konečné výsledky také náhodné veličiny a díky opakování pokusů lze sestavovat intervalové odhady výsledných hodnot.

Pokud existuje velké množství variant, je možné použít například metodu Monte Carlo. Ta spočívá v tom, že u náhodně vygenerované varianty změny systému je provedeno několik simulačních běhů, které jsou srovnány s předešlými výsledky a pokud jsou výsledky lepší, zkoumaná varianta je označena za nejvhodnější. Takto se pokračuje do té doby, dokud není nalezeno uspokojivé řešení, nebo není prozkoumán dostatečný počet variant.

2.1.7 Výstup simulace

Zahrnuje především popis průběhu simulace a výsledků získaných díky simulačnímu modelu a případným experimentům. Forma výstupů by měla být srozumitelná pro každého, kdo se bude podílet na případné implementaci nabízených řešení.

2.2 Simul8

Praktická část práce byla vytvářena v programu Simul8, proto v této části bude stručně popsán tento software a jeho hlavní principy. Jde o software využívající dynamické diskrétní simulace, zaměřený především na podnikové simulace, výrobu, poskytování služeb, dopravní a logistické simulace. Silnou stránkou softwaru je grafika simulačního běhu a grafické výstupy výsledků.

Entita je v softwaru Simul8 nazývána Work item a informace o ní mohou být zahrnuty do funkce „label“. Jedná se o číselné nebo slovní označení entity, se kterým může entita do simulace vstoupit, nebo ho získat v průběhu, Label se může v simulaci i měnit. Pomocí této funkcionality lze docílit jasného označení mnoha různých rozdílných variant dynamického prvku pod jednou entitou.

Jedním z hlavních prvků v simulaci je aktivita, v Simul8 nazvaná „work center“. V aktivitě může být entita označena nějakým labelem, může být rozdělena na více entit nebo naopak zde více entit může být spojeno v jednu. Aktivita může mít nějaké časové trvání, což znamená, že entita zde bude po tuto dobu držena. Trvání může být buď pevně dané, nebo může mít charakter náhodného čísla, na výběr je zde téměř z dvaceti přednastavených

náhodných rozdělení. V aktivitě také může být použit zdroj, který je nutný k vykonání dané aktivity, nebo se zde zdroj k entitě přidá, nebo jí může v aktivitě opustit. Software Simul8 nabízí celou řadu dalších přednastavených možností, včetně možnosti Visual Logic, kde lze pomocí speciálního programovacího jazyka zajistit odpovídající chování entit či zdrojů ve složitějších situacích, kdy přednastavené funkce nestačí. Speciální případem aktivity je „Entrance“ kde entity vstupují do systému a „Exit“ kde entity systém opouští.

Spojnice mezi objekty v systému se v Simul8 nazývá „Route“. Tato spojnice určuje návaznost aktivit a trasu, kudy se budou pohybovat entity. Pokud z jedné aktivity vede více spojnic, je možné určit deterministické i stochastické pravidlo, podle kterého bude entita aktivitu opouštět.

Zdroj je v Simul8 nazván „Resource“. Zajímavou možností zde jsou spojnice zdrojů (Resource route), které umožní nastavit, jak dlouho trvá cesta od jedné aktivity zdroje ke druhé, a to buď jednotlivě nebo pomocí matice cest (Matrix of all journey times). Zdroje je také možno sdružovat do skupin, což je užitečné v situacích, kdy jednu aktivitu může stejným způsobem vykonat více různých zdrojů.

Poslední základní objekt v Simul8 je fronta nazvaná „Storage Bin“. Je to objekt, v kterém se hromadí entity, a to v případě, že žádná z cest vedoucích z fronty neumožní entitám pokračovat. To je obvykle dáno tím, že následuje fronta, ve které se již nachází maximální počet entit, nebo aktivita, která zpracovává jiné entity a nemůže zpracovávat další nebo aktivita, která nemá k dispozici potřebný zdroj. Jak již bylo naznačeno, fronta může mít nastaveno omezení pro počet entit, které je schopna pojmout. Fronty, ale i další objekty, mohou být slučovány do skupin, kterým je možno také přiřadit horní hranici množství entit v prvcích skupiny. Fronta tak nemá jednoznačně danou kapacitu, ale kapacitu sdílí s několika dalšími frontami.

3 SKLADOVÉ TECHNOLOGIE

V této kapitole budou popsány skladové technologie používané ve sledovaném skladu, které mají přímí vliv na sledované odezvy a musejí být v nějaké míře zakomponovány do simulačního modelu.

3.1 Logistické technologie

Soubor metod, standardizovaných postupů a technologií v logistice se souhrnně nazývá logistická technologie. V tomto textu budou popsány pouze ty, které souvisí se skladováním a procesy ve sledovaném skladu popsanými ve 4. kapitole. Logistické technologie se dělí na klasické, telematické, virtuální a komplexní.

Mezi klasické technologie se řadí především konsolidace jednotlivých výrobků do větších skupin tak, aby se snížily náklady na dopravu a skladování jednoho výrobku. Proto byly vytvořeny standardizované manipulační jednotky, rozdělené do čtyř řádů. Jednotky 1. řádu zahrnují krabice, přepravky, ukládací bedny, sudy a podobně. Jsou určeny k ruční manipulaci a maximální hmotnost s nákladem mívají do 15 kg. Jednotky 2. řádu jsou nejčastěji palety, ať už klasické, nebo nějak modifikované a roltejnery. Na palety se skládají samotné výrobky, nebo manipulační jednotky 1. řádu. Nosnost palet je obvykle 250 kg až 1000 kg a k jejich manipulaci se používají manipulační prostředky, které jsou popsány v podkapitole 3.3. Skladové technologie používané ke skladování palet jsou popsány v podkapitole 3.2. Mezi jednotky 3. řádu patří všechny druhy kontejnerů a výměnné nástavby.

Telematické technologie zahrnují především automatickou identifikaci, radiofrekvenční technologie a EDI neboli elektronickou komunikaci. Automatická identifikace využívá nejčastěji čárových kódů, které se liší svou složitostí a množstvím informace, které je možno do nich uložit. Jeden z nejpoužívanějších čárových kódů ve skladovém hospodářství je kód EAN-13. S rostoucí spolehlivostí a přesností snímačů se rozšířili také dvourozměrné kódy, nejčastěji používané jsou QR kódy. Další technologií na vzestupu je RFID neboli radiofrekvenční identifikace, které je schopna pomocí elektromagnetického pole předat informaci snímačům na střední vzdálenost a přes překážky.

Mezi virtuální technologii se řadí grafické vizualizace a počítačové simulace, které jsou podrobně popsány v 2. kapitole.

Do komplexních technologií se řadí JIT, JIS, Kanban a Quick response (QR). Quick response je metoda sdílení informací mezi jednotlivými články logistického řetězce. Vede ke zvýšení přesnosti predikcí, zrychlení reakce na změny na trhu a k úspoře nákladů v rámci

celého řetězce. Další komplexní logistické technologie budou popsány v následujících oddílech.

3.1.1 JIT a JIS

JIT neboli „Just in time“, je takzvaná bezzásobová metoda, která slaďuje potřeby odběratelů a zdroje dodavatelů. Dodavatel dodává zboží (resp. materiál, záleží na úhlu pohledu) přesně na čas, tudíž není zapotřebí držet velké množství zásob, ale doporučuje se držet určité množství pojistné zásoby. Podmínkou použití JIT je vysoká kvalita zboží i logistických služeb. Dodavatel musí zboží dodat ve správném čase, kvalitě, množství, obalu, označení na správné místo a včetně veškeré dokumentace. Zboží v režimu JIT obvykle jde přímo do výroby bez hlubší vstupní kontroly, proto je kladen velký důraz na bezchybnost a kvalitu zboží.

Výběr materiálu, který by bylo vhodné dodávat v režimu JIT se obvykle provádí pomocí ABC analýzy a XYZ analýzy. Materiál vhodné pro dodávky v režimu JIT se musí vyznačovat především stálou a relativně vysokou spotřebou a vysokým podílem na obratu.

Cílem metody JIT je především snížit množství skladovaných výrobků v logistickém řetězci a tím snížit i náklady s tím spojené. Dalším důvodem pro zavedení JIT je zrychlení reakce na změny v poptávce, čímž se zamezí plýtvání v podobě nadvýroby.

Nevýhody metody JIT jsou zvýšení nákladů na dopravu zboží. Zboží je dopravováno v malých dávkách a velmi často, tím rostou jednotkové variabilní náklady na dopravu. S tím je také spojena nevýhoda, že dodavatel musí být územně v blízkosti odběratele. Jak již bylo řečeno je kladen velký důraz na kvalitu zboží, dopravy i balení a z toho důvodu je nutné mít s dodavatelem správně nastaveny informační toky a otevřené sdílení informací. To může v krajních případech vézt k úniku citlivých informací a jejich zneužití konkurencí.

Nutno zdůraznit, že v metodě JIT nejde pouze o převedení zásob od odběratele k dodavateli, ale o lepší a přesnější koordinaci dodávek mezi články logistického řetězce. Správná implementace metody JIT vede ke snížení plýtvání a zeštíhlení výroby v celém logistickém řetězci.

Metoda JIS „Just in sequence“ je velmi podobná metodě JIT s tím rozdílem, že zboží je dodáváno nejen na čas, ale i v přesně daném pořadí materiálu v balení. Dodavatel tedy

musí odběratele informovat o svém výrobním plánu. V současnosti se tato metoda používá pouze v pokročilých logistických řetězcích, především v oboru automotiv.

3.1.2 Kanban

Kanban je systém plánování a řízení materiálových toků. Systému kanban je vhodný k předávání informací od odběratele k dodavateli, i jako interní systém. Existují také systémy s více okruhy.

Podstata systému kanban je, že odběratel odešle standardizovanou informaci o poptávce po nějakém zboží a dodavatel až v momentě, kdy obdrží tento signál, začne vyrábět nebo vychystávat dané zboží. Tento signál měl tradičně formu plastové, nebo papírové karty, odtud také název kanban - japonsky karta.

Tento systém není bezzásobový. Ve chvíli odeslání signálu, je nutné mít dostatečnou zásobu materiálu na pokrytí přechodného období. Do tohoto období je nutné zahrnout dobu, po kterou signál putuje k dodavateli, zpracování informace, výrobu nebo vychystání požadovaného materiálu a cestu k odběrateli. Pokud je systém řízen klasickým kartovým systémem, je nutné také zajistit dostatečný počet karet obíhajících v systému.

V dnešní době se často přechází na nějakou formu elektronického kanbanu, karty již fyzicky neputují k dodavateli, ale informace o nich je přenášena elektronicky, přesto je ale nutné zajistit zpětný odběr přepravek, nebo jiných manipulačních jednotek.

Karty samotné jsou slabinou v systému. Běžně v provozu dochází k jejich ztrátám, případně k jejich poškození a můžou také nastat problémy při chybném určení jejich počtu v koloběhu. Proto se v posledních letech přechází na plně automatizovanou elektronickou formu kanbanu. Pokud zásoba materiálu klesne pod určitou hranici, systém sám vyšle signál k dodavateli, ten požadavek zpracuje a při doplnění zásoby materiálu je tato informace opět nahrána do systému. Takový systém je nutné podpořit vysokou přesností informací o stavu zásob. To lze zajistit častými inventurami a odesíláním informací o vychystávání materiálu na úrovni jednotek materiálu. Případný rozdíl mezi skutečnou zásobou a informací o zásobě v systému může vést k chybnému objednání, nebo hůř k chybnému neobjednání další dávky materiálu.

Stejně jako systém JIT, ani systém kanban nemá za cíl pouhé přesunutí zásob o jeden článek v řetězci. Cílem je především omezení nadbytečných zásob, zkrácení reakční doby při změně v poptávce a těsnější propojení materiálových a informačních toků.

3.1.3 Vychystání materiálu

V oboru automotiv je běžně výroba koncipována pomocí výrobních linek. Na tyto výrobní linky je dodáván materiál v přesném počtu a přesně v dobu kdy je požadován. U většiny materiálu je ale výhodné materiál v nějakém množství skladovat, ať již z důvodu dlouhých objednacích nebo dodacích lhůt, nebo velkých výkyvů v poptávce, nebo jednoduše proto, že náklady na uskladnění jsou nižší než náklady na zvýšení frekvence dodávek.

V takovýchto případech je nutné zboží ze skladu dostat na výrobní linku. Na to existuje několik způsobů řešení. Obvykle sklad dostane z výroby informaci o materiálu, který je nutné vychystat a pověřený pracovník tento materiál vybere z regálů určených k vychystávání a naskládá na speciální přepravky, které putují do výroby. V praxi má tato činnost mnoho názvů, například vychystávání, pickování, nebo podle názvu speciální přepravky kitování, bentoboxování a podobně.

V praxi se dnes k vychystávání běžně používají čárové kódy. Každý materiál má svůj čárový kód a obvykle i každé místo v regále má svůj kód. Pracovník dostane papír s výpisem potřebného materiálu, ten si nahraje do čtecího zařízení a pak postupně pomocí tohoto čtecího zařízení zaznamenává všechen materiál, který vychystal a z kterého místa ho vychystal. Tato informace slouží ke kontrole správnosti splnění požadavku a k přesnému a včasnému řízení materiálových toků.

V dnešní době vznikají nové systémy, které usnadňují předávání informace pracovníkům o požadavcích a o místě kde se požadovaný materiál nachází. V této práci budou zmíněni dvě metody a to „Pick by voice“ a „Pick by light“.

Pick by voice je systém, kdy každý pracovník, který vychystává materiál má sluchátka, a dostane informaci o materiálu, jeho počtu a umístění přímo do sluchátek. To je výhodné především v situaci, kdy pracovník sbírá těžké nebo velké předměty a k jejich vychystání potřebuje obě ruce. Pokud by musel čtecí zařízení pokaždé někam odkládat, vedlo by to

k plýtvání jeho času a k vyšší poruchovosti čteček. Sluchátka jsou obvykle vybavena i mikrofonem, pomocí kterého pracovník potvrzuje požadavky.

Pick by light je systém který pracovníkům zjednodušuje orientaci v regálu a hledání správné součástky. Každé místo pro přepravku v regálu je opatřeno diodovým světlem, které se rozsvítí, pokud je na tento materiál požadavek. Světla mohou mít i více barev pro případ, kdy se v jednom pickovacím místě pohybuje více pracovníků. Každý pracovník má pak svojí barvu, podle které se řídí. Této systém se používá v situacích, kdy je v regále velké množství přepravek a materiály jsou si velmi podobné. V takovém případě tento systém snižuje chybovost, zrychluje a usnadňuje práci pracovníků.

3.2 Skladování paletizovaného materiálu

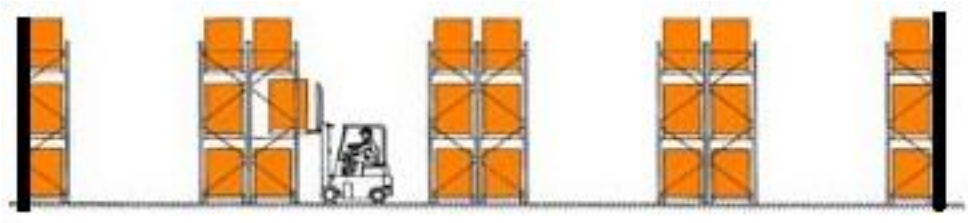
Zboží a materiál lze skladovat různým způsobem, který se především liší typem materiálu. Tato práce se omezí na způsoby skladování paletizovaného zboží.

Nejjednodušším způsobem skladování palet je stohování. Stohování je proces, kdy se více palet staví na sebe, za účelem úspory místa na ploše. To lze udělat pouze u materiálu, který na sobě snese náklad, nebo za použití speciálních konstrukcí, nebo krabic. Nevýhodou stohování je také to, že při vysazování i sesazování palet nemůže být použit nízkozdvižný vozík.

Sofistikovanější způsoby využívají ke skladování palet nejrůznějších regálových systémů. Obecně lze říci, že regálové systémy se hodí spíše do uzavřených skladů. Je možné je vystavět do mnohem větších výšek, než v případě stohování a tím výrazně lépe využít skladovou plochu.

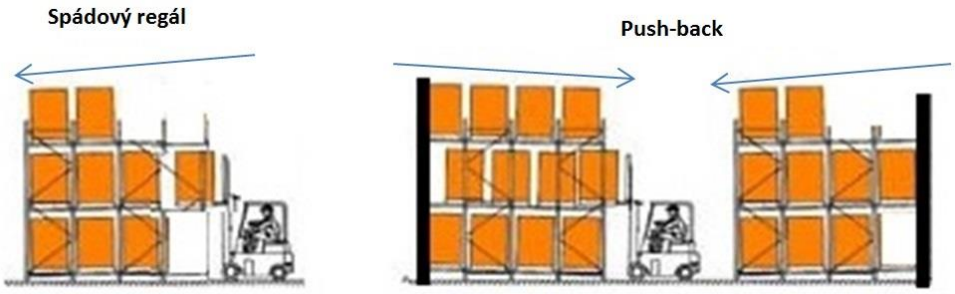
Klasické paletové regály jsou nejpoužívanějším typem regálů. Jedná se obvykle o dva regály vedle sebe, tak, že k jedné paletě je vždy přístup z jedné strany. Tento způsob skladování je výhodný v tom, že každá paleta je snadno přístupná bez přesunů ostatních palet. Další výhodou je, že po vyskladnění palety je možné okamžitě na toto místo založit novou paletu. Další velkou výhodou je snadná přeměna výšky paletových regálů. Pokud se změní sortiment skladu a výška zaskladňovaných palet, snadno se paletové místo změní. Tento způsob skladování je vhodný, pokud má být zboží skladováno podle pravidla FIFO nebo

FEFO, ale jelikož je každá paleta přístupná, nejedná se fakticky o frontu a je možné zvolit jakýkoli způsob odebírání palet.



Obrázek 3 - Klasický paletový regál

Častou modifikací paletových regálu jsou spádové regály. Jedná se o speciální regály, ve kterých se po nakloněné rovině pomocí válečků nebo koleček posouvají palety, nebo jiné manipulační jednotky. Klasické spádové regály se řídí pravidlem fronty FIFO, kdy z jedné strany se palety doplňují a vlastní vahou se na válečcích posouvají na druhou stranu, kde se palety vybírají. Z toho vyplývá, že k takovýmto regálům musí být přístup z obou stran. Speciální případ jsou takzvané „push-back“ regály, které se řídí pravidlem fronty LIFO, kdy se doplňovanou paletou všechny ostatní posunou o jedno místo dále. Při vybrání palety se pak ostatní palety posunou vlastní vahou o jedno místo vpřed. V tomto případě stačí přístup k regálu pouze z jedné strany.



Obrázek 4 - Spádový paletový regál

3.3 Manipulační prostředky

Manipulační prostředky slouží k realizaci veškeré manipulace se zbožím ve skladu. Především jde o činnosti zaskladnění, vyskladnění, nakládku, vykládku, přesun, stohování a podobně. Manipulační prostředky jsou obvykle standardizovány na práci s určitou manipulační jednotkou, nejčastěji jde o paletu. Dělí se na motorové a bezmotorové. Motorové

manipulační prostředky jsou nejčastěji na elektrický pohon, vyrábí se ale i na plynový nebo dieselový pohon. Bezmotorové jsou manipulační prostředky poháněné vlastní lidskou silou, mají obecně nižší náklady na pořízení i údržbu, ale jsou pomalejší a mají oproti motorovým nižší nosnost. Dále je možné je dělit podle toho, zda jsou na venkovní, nebo vnitřní užití, kde jde především o povrch, po kterém se prostředky pohybují. Ve vnitřních skladových prostorách bývá plocha rovná, hladká a pevná, což zaručí plynulý pohyb po ní a nižší opotřebení manipulační techniky.

Vhodná volba správné manipulační techniky je klíčová pro rychlý a ekonomický provoz skladu. Při rozhodování je nutné vzít v potaz šířku uliček, povrch plochy skladu, druh manipulační jednotky a schopnost stohování.

3.3.1 Paletový vozík

Paletový vozík je základní vybavení každého skladu. Jde o bezmotorový, ručně vedený vozík sloužící především k manipulaci s paletami. Častěji jsou paletové vozíky vyráběny na vnitřní použití, tedy na rovný, hladký a pevný povrch. Mají nosnost okolo dvou tun a jejich největší předností je snadná manipulace a nízké náklady na provoz. Mezi hlavní nevýhody paletových vozíků naopak patří jejich nemožnost používání ke stohování, nepřesná manipulace při jejich ovládání a jsou také nevhodné k převozu na delší vzdálenost.



Obrázek 5 - Paletový vozík

3.3.2 Nízkozdvižné vozíky

Nízkozdvižné vozíky (dále též NZV) jsou motorovou variantou paletového vozíku, při jejich používání tedy není potřeba manuální síla. Jsou výrazně rychlejší než paletový vozík a mají také vyšší nosnost, obvykle okolo 3 tun, ale stejně jako paletové vozíky je nelze

používat ke stohování. Vyrábí se i varianty s místem pro stojící či sedící obsluhu, ty jsou náročnější na konstrukci a nosnost, ale mohou dosahovat výrazně vyšších rychlostí.



Obrázek 6 - Nízkozdvižné vozíky

3.3.3 Vysokozdvižné vozíky a retraky

Vysokozdvižné vozíky (dále též VZV) jsou nutností všude, kdy se využívají regálové systémy. Déle se využívají na boční nakládku či vykládku nákladních vozů a stohování. Vyrábí se široká nabídka různých variant lišících se tím, zda jsou určeny na rovnou a pevnou skladovou plochu, nebo do terénu, jestli mají místo pro obsluhu, nosností, výškou zdvihu, nebo možností natáčení vidlice. Speciálním případem vysokozdvižného vozíku je retrak. Retrak je určený do vnitřních prostor a manipulaci v úzkých uličkách, tomu je přizpůsobena i jeho kratší konstrukce, které je docíleno především tím, že má vysunovací a často i otočnou vidlici.

Správné určení typu vysokozdvižného vozíku je klíčové pro dosažení jejich vysoké efektivity a produktivity.



Obrázek 7 - Vysokozdvižné vozíky; retrak (vpravo)

3.3.4 Vychystávací vozíky a zakladače

Dalším typem manipulační techniky jsou vychystávací vozíky a zakladače. Jedná se o specializované vysokozdvižné vozíky, které jsou určeny do úzkých uliček a vysokých regálových systémů. Hlavním důvodem pro zavedení této techniky je maximální využití plochy skladu tím, že se uličky zúží. Vychystávací vozíky se dělí na „man-up“ a „man-down“. Pokud se kabina s obsluhou pohybuje nahoru zároveň s vidlicí, jedná se o vychystávací vozík „man-up“ pokud je kabina s obsluhou nepohyblivá jde o vozík „man down“. Vozíky „man up“ jsou složitější na konstrukci, ale výhodou je, že pokud je obsluha nahoře, lépe vidí na nabírání palety na vidlici. Vozíky „man-down“ jsou z toho důvodu obvykle opatřeny kamerami na vidlicích. Vozík „man-up“ je také velmi výhodný pro případy, kdy se nevychstávjí celé palety, ale jejich části, jako například přepravky z palety. Obsluha si z regálu vysune celou paletu, a na připravené místo přendá několik manipulačních jednotek nebo součástek samotných a paletu vrátí zpět.



Obrázek 8 - Vychystávací vozíky - man-up (vlevo) man-down (vpravo)

Vychystávací vozíky jsou často konstruovány přesně na šířku uličky a jsou tak velmi náročné na přesnost jízdy. To se příliš neslučuje s pozicí obsluhy, především ve vozíkách „man-up“. Proto byly vyvinuty systémy automatické přepravy, které buď provádějí kompletně automatickou přepravu, nebo řidiči pomáhají s bezpečným a přesným vedením vozíku. V praxi se často používají laserové snímače, které vozík drží ve správném směru a vzdálenosti od případných překážek. Další často používaný systém je indukční vedení, kdy se do podlahy uprostřed skladové uličky pod plochu skladu nainstaluje indukční vedení, pomocí kterého je vozík schopen automaticky držet směr a správnou vzdálenost od regálů. V praxi tak obsluha často určí pouze regál a vozík sám dojede na správné místo. To lze spojit i s automatickým zvedáváním kabiny, tím je schopen vozík dojet přesně na dané paletové místo. Namísto indukčního vedení lze použít kolejových systémů. To je výhodné především v systémech, kdy v každé uličce je jeden zakladač. Pokud má zakladač přejíždět mezi uličkami, nebo do uličky vjíždí i jiná manipulační technika je lépe koleje nepoužít.

Rozdíl mezi zakladačem a vychystávacím vozíkem je v tom, že vychystávací vozík primárně vybírá materiál z regálů, zatímco zakladač doplňuje celé palety do regálů. Oba stroje jsou si ale konstrukcí podobné, proto se v praxi obě činnosti spojují pod jeden stroj.

4 PRAKTICKÁ ČÁST

Tato kapitola se zabývá využitím počítačové simulace v praxi. V první podkapitole bude podrobně popsán reálný systém a zároveň bude vysvětleno, jak byla realita přenesena do počítačového simulačního modelu. Druhá podkapitola náleží výsledkům získaným simulací a třetí podkapitola patří experimentům.

4.1 Popis reálného systému a konstrukce simulačního modelu

V této podkapitole budou vysvětleny všechny procesy reálného systému, které významně ovlivňují průběh a výsledky zkoumaných jevů. Budou sledovány skladové procesy od příjmu zboží přes zaskladnění až po vychystání zboží do výroby.

4.1.1 Entity

V modelu se vyskytuje pouze jedna entita, která mění formu pomocí labelů. V simulaci byly použity tři labely:

„Typ“ – Určuje, o jaký typ entity se jedná. Nabývá hodnot 0 pro nákladní vůz, 2 pro paletu a 3 pro výrobek.

„**JIT**“ – Tento label je relevantní pro typ entity paleta a nákladní vůz. Určuje, zda je paleta přivezena v režimu JIT (hodnota labelu=2) nebo v klasickém režimu (hodnota labelu=1).

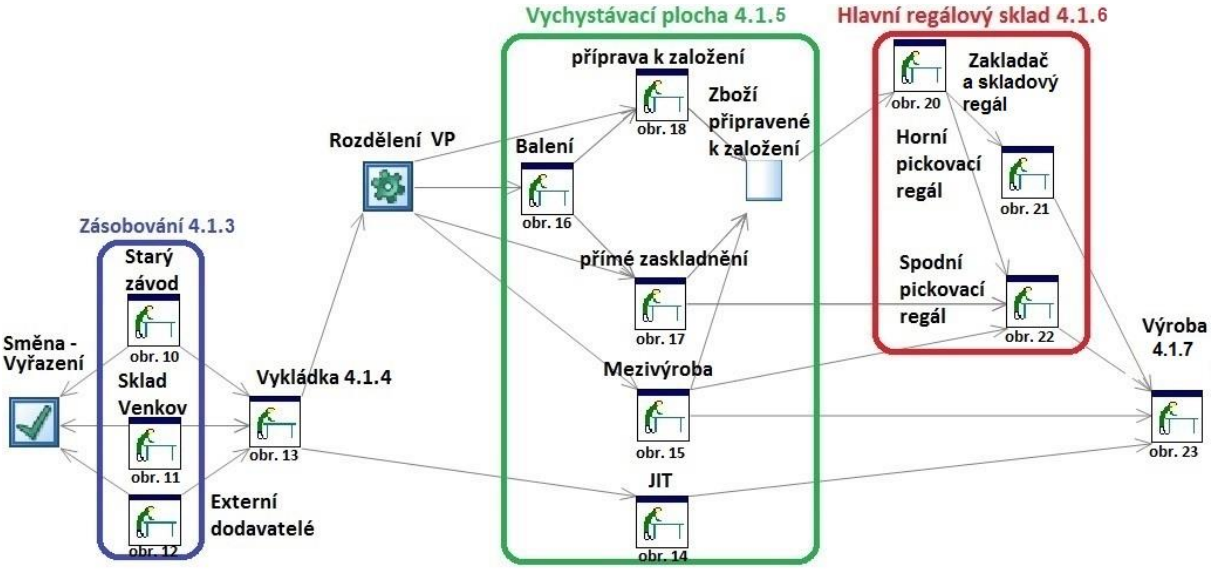
„regal“ – Tento label je relevantní pouze pro typ entity paleta. Označuje, zda je paleta určena k zaskladnění do horního pickovacího regálu (hodnota labelu=2), nebo do dolního pickovacího regálu (hodnota labelu=0).

4.1.2 Stručný popis

Model se bude zabývat skladovými prostory v hlavní výrobní hale. Zásobování probíhá ze dvou interních skladů a pomocí externích dodávek. Následně je zboží vyloženo na vychystávací plochu (dále též VP), kde probíhá balení a odkud jsou palety dále převáženy buď přímo do výroby (JIT), do mezivýroby, přímo do skladu nebo k zakladači. Následuje

zaskladnění do hlavního regálového skladu, který obsahuje dvě patra pickovacích míst a skladový regál. Odtud míří výrobky do výroby.

Všechny návaznosti lze snadno pochopit z obrázku 9, který je získaný ze simulačního modelu. V dalších částech textu budou postupně vysvětleny všechny dílčí subsystémy a na obrázcích 10 až 23 bude postupně ukázáno jejich schéma získané také ze simulačního modelu.



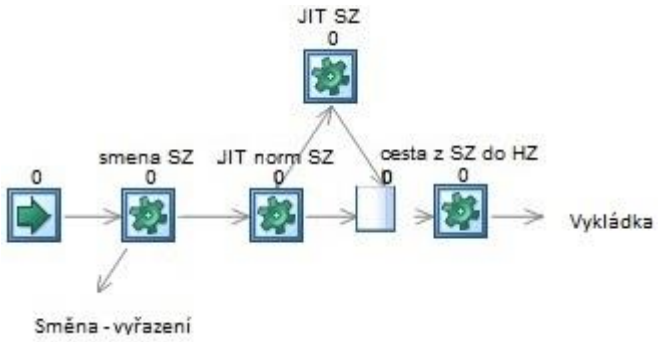
Obrázek 9 - Struktura simulačního modelu

4.1.3 Zásobování

Zásobování skladu resp. výroby probíhá jednak interně ze starého závodu a ze skladu Venkov a samozřejmě i externě. Příjezd nákladních vozů není náhodný, pracovníci skladu se snaží načasovat příjezd tak, aby byl chod plynulý. V modelu byl tedy nastaven pevně daný interval, po jak dlouhé době přijede nový nákladní vůz. Zásobování probíhá od 6:00 do 15:00 hodin. K zabezpečení této skutečnosti byla v modelu vytvořena speciální směna a u každého ze tří zásobování aktivita „směna“, která zajišťuje, že pokud entita přijde do systému mimo časové okno, je ze systému vyřazena. Pokud ale přijde v době příjmu, není nijak ovlivněna a pokračuje k příjmu. Nákladní vozy přiváží zboží, buď v klasickém režimu nebo v režimu JIT (tím se pro tento model myslí souhrnně režim JIT i JIS). Toto je zajištěno pomocí dummy aktivit „JIT norm“ a „JIT“. Aktivita „JIT norm“ nejprve rozdělí nákladní vozy v daném poměru a aktivita „JIT“ poté pomocí Labelu „JIT“ označí entitu číslem 2. Každý nákladní vůz

je tedy označen labelem, a to buď hodnotou 2 v případě zboží v režimu JIT nebo hodnotou 1 v případě klasického režimu.

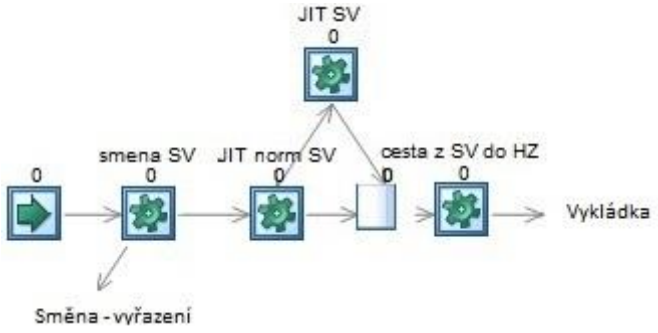
Zásobování ze starého závodu



Obrázek 10 - Zásobování ze starého závodu - simulační model

Starý závod se nachází asi 7 km od hlavní výrobní haly. Je zde umístěna část výroby, především práce s velkými díly. Odjíždí odtud zboží závodovou dopravou do hlavní výrobní haly. Nákladní vůz je vypraven každé dvě hodiny. V režimu JIT a JIS odchází 75 % materiálu a zbylých 25 % jde v klasickém režimu. Do tohoto skladu také přichází nehotové výrobky z výrobní linky, jak bude vysvětleno v oddílu 4.1.7. Cesta nákladního vozu trvá i s naložením přibližně 35 minut.

Zásobování ze skladu venkov

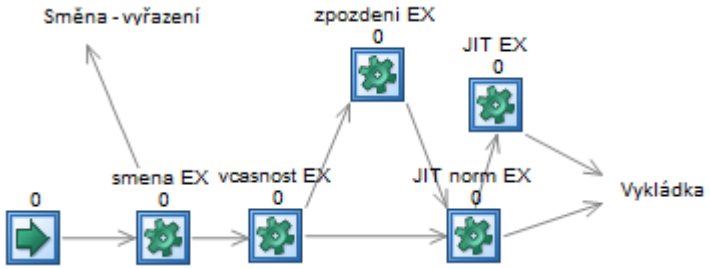


Obrázek 11 - Zásobování ze skladu venkov - simulační model

Sklad venkov je specializovaný na skladování objemných dílů a dílů s vysokou hmotností. Připravují se zde výrobky do režimu JIS, které odchází do hlavní výrobní haly závodovou dopravou. Sklad se nachází asi 20 km od hlavní výrobní haly. Nákladní vůz je

vypraven jednou za 2,5 hodiny a cesta i s naložením trvá přibližně 50 minut. 90 % výrobků odjíždí v režimu JIT, 10 % v klasickém režimu.

Zásobování externími dodavateli

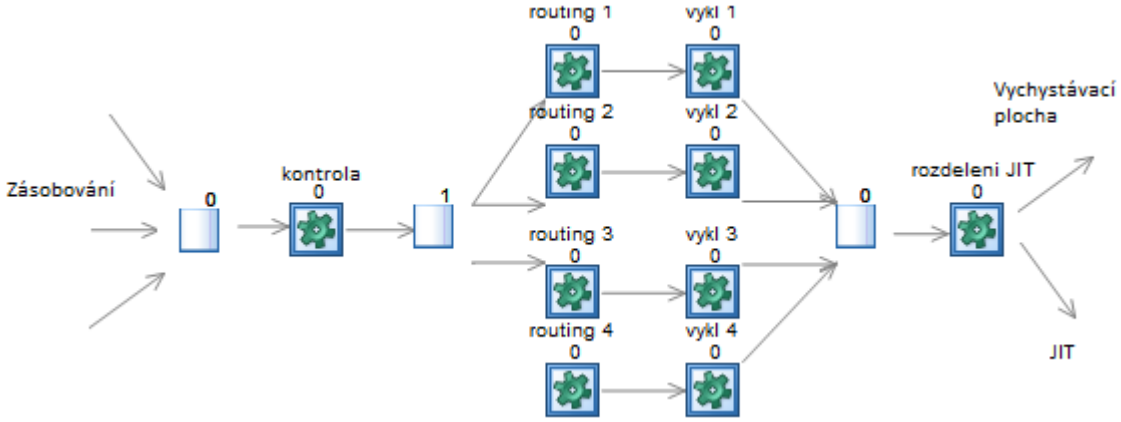


Obrázek 12 - Zásobování externími dodavateli - simulační model

Každou půl hodinu by měl přijet jeden externí dodavatel, a proto je stejně jako v předchozích případech nastaven pevný termín příchodu nové entity do systému. I přesto zde ale může dojít ke zpoždění. To je zajištěno pomocí dvou dummy aktivit „Vcasnost EX“, která zajišťuje skutečnost, že přibližně 10 % nákladních vozů má zpoždění a aktivita „Zpozdeni EX“, která určí, jak velké toto zpoždění bude. Ze zkušeností a z dat sebraných o zpoždění bylo zjištěno, že zpoždění má přibližně normální rozdělení se střední hodnotou 30 a rozptylem 10. V režimu JIT je externími dodavateli dodáváno asi 10 % zboží a 90 % přichází v klasickém režimu.

4.1.4 Vykládka

Ve skladu je jeden příjem materiálu pro všechny nákladní vozy ze starého závodu, skladu Venkov i od externích dodavatelů.



Obrázek 13 - Vykládka - simulační model

Při příjezdu nákladního vozu na příjem je provedena kontrola materiálu a všechny nutné formality. Tato činnost je v modelu zahrnuta do aktivity „kontrola“. Ve skladu jsou celkem čtyři nakládací (resp. vykládací) rampy, ale v současné době se využívají pouze tři. To je v modelu zajištěno jednoduše tak, že k čtvrté rampě nevede spojnice. Všechny nákladní vozy, bez ohledu na to odkud přijely, tvoří jednu frontu a pokud se nějaká rampa uvolní, je na ní zařazen další nákladní vůz podle pravidla FIFO. V aktivitě „routing x“ se jedna entita typu nákladní vůz změní na přibližně 25 entit typu paleta. Tyto entity (v této chvíli již představující paletu) jsou postupně zařazovány do aktivity „vykl x“ a nová entita (nákladní vůz) do aktivity „routing x“ nevstoupí, dokud všechny entity (palety) tuto aktivitu neopustí. Vykládka se provádí pomocí vysokozdvižných vozíků, přičemž na jedné rampě se zúčastní vykládky vždy nejvýše tři VZV. Vykládkou se v tomto případě rozumí série procesů: cesta k nákladnímu vozu, nabrání palety, převezení na vychystávací plochu a složení palety. Vykládka trvá různě dlouho, a to v závislosti na tom, z které rampy probíhá, viz tabulka 1.

Tabulka 1 - Trvání vykládky jedné palety v závislosti na rampě

pořadové číslo rampy	1	2	3	4 (nepoužívá se)
trvání vykládky (min)	3,8	4,3	4,8	5,3

Palety jsou dále v aktivitě „rozdeleni JIT“ imaginárně rozděleny podle toho, zda se jedná o zboží v režimu JIT nebo v klasickém režimu. Fakticky je ale zboží ukládáno na stejné místo, a to na vychystávací plochu.

4.1.5 Vychystávací plocha

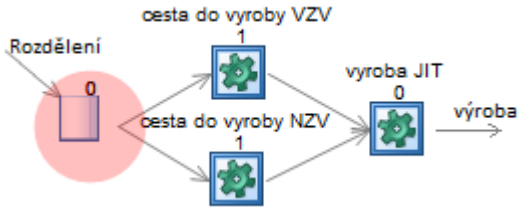
Jak již bylo řečeno, vykládka paletizovaného materiálu probíhá na vychystávací plochu. Ve skutečnosti se materiál při vykládce nijak nerozděluje, ale pro potřeby modelu zde bylo vytvořeno fiktivní rozdělování, které probíhá v aktivitách „rozdeleni JIT“ a „rozdeleni VP“. Po vykládce je tedy materiál rozdělen do pěti fiktivních skupin:

1. Materiál, který jde přímo do výroby (JIT),
2. materiál, který jde do mezivýroby,
3. materiál určený k balení,
4. materiál, které jde přímo do skladu,
5. materiál připravovaný k založení.

V modelu jsou všechny fronty, které patří pod vychystávací plochu spojeny do skupiny „vychyst_ploch“ a na následujících obrázcích jsou označeny červeným kruhem.

JIT

Zboží, které přišlo v režimu JIT je z vychystávací plochy pomocí VZV nebo NZV přepraveno do výroby. Přepravou se v tomto případě rozumí nabrání palety, převoz do výroby, složení palety a cesta zpět na vychystávací plochu. Přeprava trvá VZV 7 minut a NZV 9 minut.

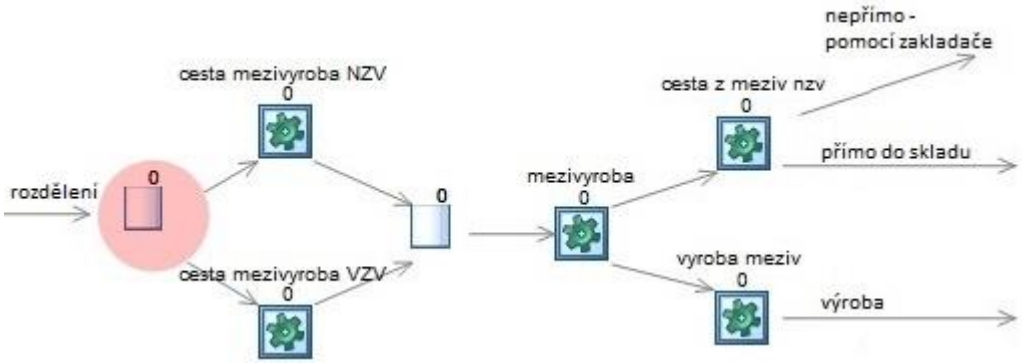


Obrázek 14 - JIT - simulační model

Mezivýroba

Část zboží putuje z vychystávací plochy do mezivýroby, kde je určen vlastní prostor vyhrazený pro skladování, který není pro podstatu tohoto modelu důležitý, proto není do modelu zahrnut. Pokud přeprava z vychystávací plochy probíhá pomocí VZV, trvá 6 minut, pokud pomocí NZV trvá 8 minut. Z mezivýroby některé součástky putují rovnou do výroby,

jiné jsou dovezeny přímo do skladu nebo připraveny na zaskladnění k zakladači. Cesta zpět na vychystávací plochu je prováděna výhradně pomocí NZV a trvá 9 minut.

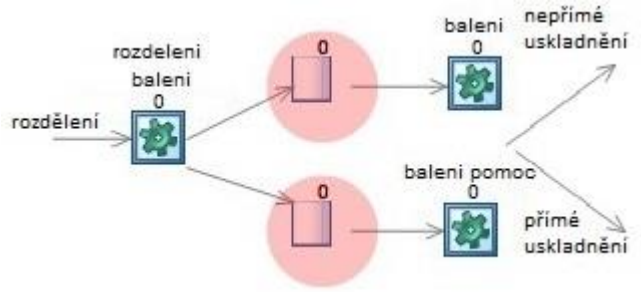


Obrázek 15 - Mezivýroba - simulační model

Balení

S ohledem na systém Kanban, musí být každý materiál v přepravce v určitém přesně daném počtu. Pouze malá část dodavatelů dodává materiál v takové podobě, jaká by byla žádána, a proto se musí většina palet přebalovat. To znamená materiál dodaný dodavatelem je rozbalen a rozmístěn do standardizovaných plastových přepravek v předem přesně daném počtu. Následně jsou přepravky polepeny čárovým kódem a vyskládány na paletu.

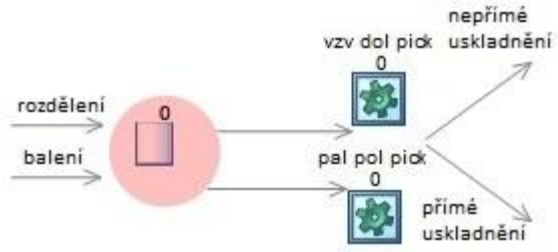
Balení probíhá přímo na vychystávací ploše a přebalení jedné palety trvá přibližně 15 minut. Je zajišťováno čtyřmi pracovníky. Pokud však délka fronty překročí určitou mez, přichází na výpomoc další pracovníci. To je v modelu zajištěno tak, že fronta před aktivitou balení má maximální kapacitu 70, pokud se tato kapacita naplní, začnou být entity zařazovány do aktivity „baleni pomoc“, kde je práce vykonávána dalšími dvěma pracovníky. Ve skutečnosti není pevně daná hranice 70 palet, rozhodnutí o přidání pomocných pracovníků probíhá na operativní úrovni, pro rozsah cílů ale toto zjednodušení stačí a výsledky tohoto zjednodušení odpovídají realitě.



Obrázek 16 - Balení - simulační model

Přímé zaskladnění

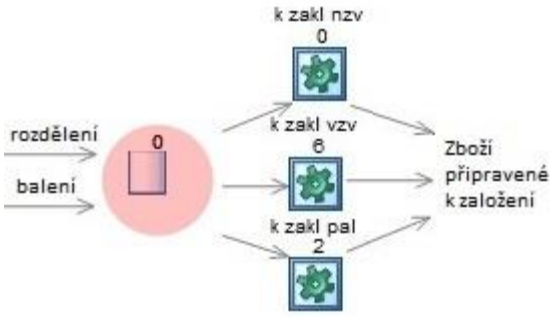
Pokud je vyložené zboží určené do spodního pickovacího patra hlavního regálového skladu je pomocí paletových vozíků nebo VZV zavezeno přímo tam. Pokud je spodní regál plný, je zboží připraveno k automatickému zakladači k zaskladnění (nepřímé uskladnění). Tato skutečnost je naznačena na obrázku 17.



Obrázek 17 - Přímé zaskladnění - simulační model

Příprava k založení

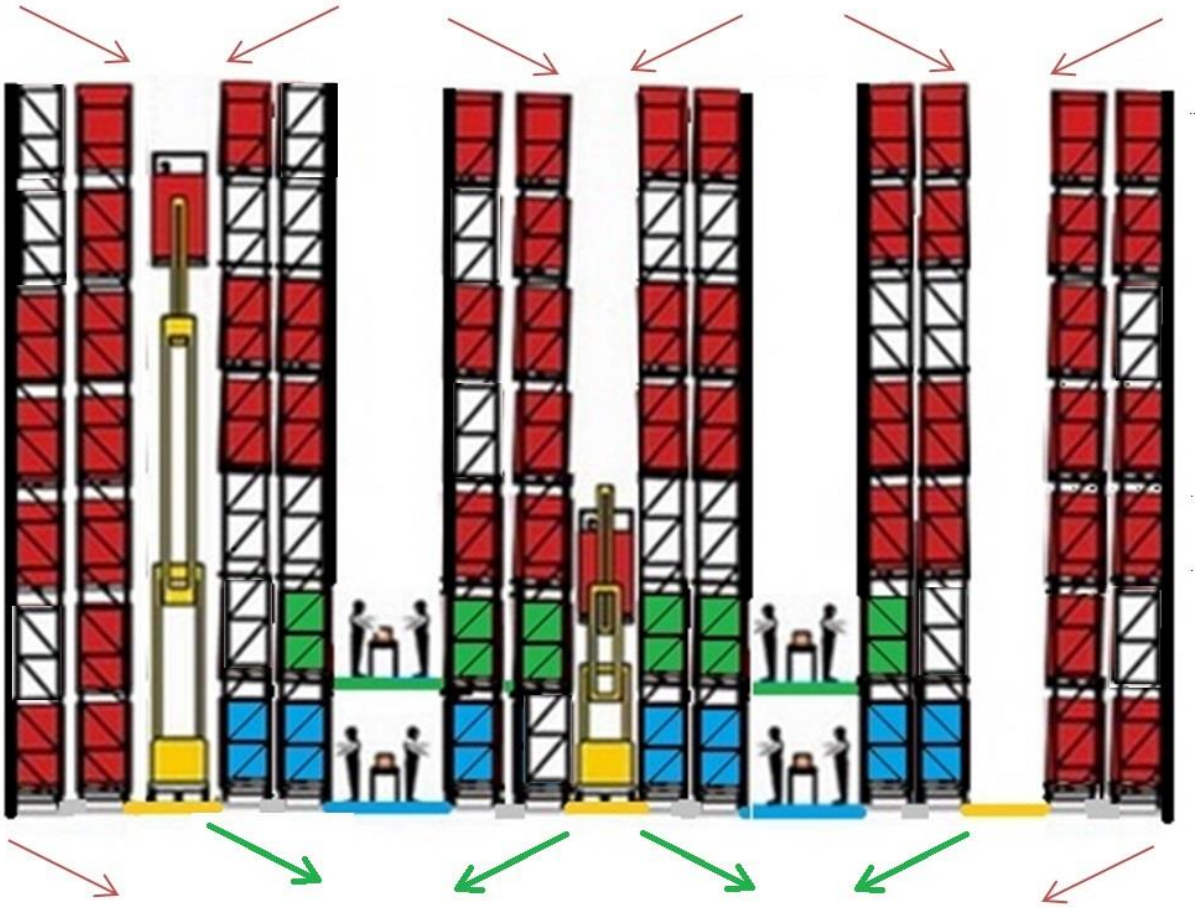
Zboží určené do Hlavního regálového skladu je rozbaleno a pomocí paletového, nízkozdvižného nebo vysokozdvižného vozíku přesunuto a přesně umístěno na místo v rámci vychystávací plochy tam, kde si ho převezme poloautomatický zakladač. Příprava trvá VZV 3 minuty, NZV 5 minut a paletovému vozíku 6 minut.



Obrázek 18 - Příprava k založení - simulační model

4.1.6 Hlavní regálový sklad

Tento oddíl bude věnován hlavnímu regálovému skladu. Ten zabírá největší prostor ve skladu a jsou v něm zahrnuty dvě činnosti. Skladování materiálu a pickování součástek. Hlavní regálový sklad je koncipován tak, že v jedné uličce se pohybuje zakladač a v druhé jsou pickovací místa (viz obrázek 19). Regály samotné jsou rozděleny do tří úrovní. V přízemní části a v patře jsou pickovací regály a probíhá zde pickování součástek. Vyšší patra regálů slouží k dlouhodobějšímu uskladnění. Tyto tři části budou dále nazývány Skladový regál (na obrázku označen červeně), Horní pickovací regál (na obrázku označen zeleně) a Dolní pickovací regál (na obrázku označen modře). V Dalších částech textu budou vysvětleny procesy v těchto sekcích hlavního regálového skladu.



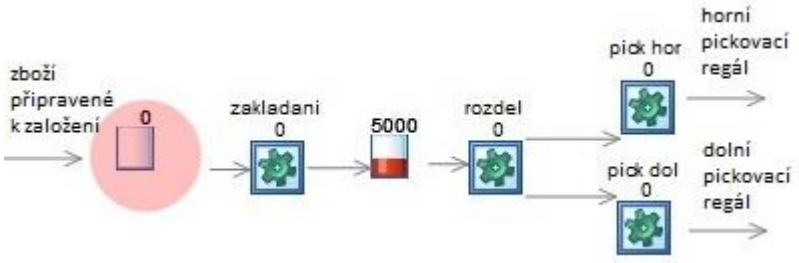
Obrázek 19 - Hlavní regálový sklad

Skladový regál

V této části je uložena většina zásob skladu. Hlavní důvod pro delší skladování zboží je to, že náklady na průběžné dodávání přesného potřebného množství by byly větší, než náklady na dodání většího množství dopředu a jeho uskladnění. Dalším důvodem jsou rezervní zásoby, které jsou využívány při neplánovaných situacích, jako například při výpadku nebo zpoždění dodávek.

Všechen materiál je paletizovaný a ve většině případů je na paletě rozdělen ještě do manipulačních jednotek nižšího řádu. Skladový regál má formu „push-back“ regálu, což je na obrázku 19 znázorněno červenou šipkou. Ve většině případů jsou dva regály vedle sebe, ale v některých místech skladového regálu je to i více. Znamená to, že k paletám na zadním místě regálu není přímý přístup a nelze skladovat podle pravidla FIFO.

Doplňování probíhá pomocí poloautomatického zakladače, který z vychystávací plochy sbírá palety připravené k založení a zaveze je na nejbližší vhodné místo ve skladovém regálu. Místo vybírá řidič na základě svých zkušeností. V modelu probíhá doplňování tak, že je nashromážděno vždy 20 entit a doplňování trvá přibližně 40 minut.



Obrázek 20 - Skladový regál - simulační model

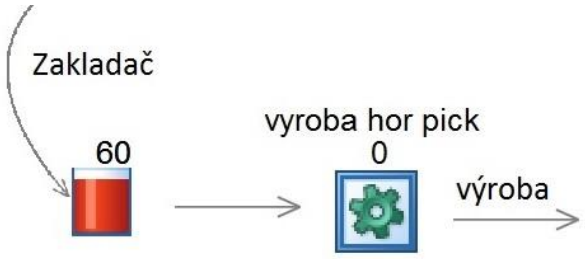
Přeprava do pickovacích regálů probíhá tak, že řidič poloautomatického zakladače vezme všechny karty z koše na kanbanové karty a nahraje si je pomocí čárových kódů do čtecího zařízení. Systém mu ukáže nejbližší místo, kde je dané zboží uskladněno, řidič na toto místo dojede, naloží celou paletu, případně takový počet přepravek, který je pro daný materiál předepsaný a doveze materiál do pickovacího místa, které mu opět ukáže systém (v přízemí nebo v 1. podlaží). Materiál vyloží a přidá kanbanovou kartu na příslušné místo. Pořadí v jakém řidič vyřizuje doplňování je na jeho volbě a on musí dle vlastní zkušenosti vytvořit co nejkratší a nejrychlejší trasu.

V modelu doplňování probíhá vždy po nashromáždění 10 karet a trvá přibližně 18 minut. Rozdělení do horního a dolního pickovacího regálu je provedeno pomocí labelu „regal“.

Horní pickovací regál

Nachází se na 1. poschodí, přímo nad přízemními pickovacími místy a na obrázku xy jsou označeny zeleně. Zde jsou uskladněny malé a lehké součástky ve speciálních přepravkách na spádových regálech což je obrázku 19 naznačeno zelenou šipkou. Jelikož přepravky jsou ze zásady menší, než palety je možné umístit nad sebe několik řad regálů pro přepravky. Taktéž počet míst v řadě se u jednotlivých velikostí přepravek liší, ale v zásadě je větší než počet paletových míst. Přepravky jsou doplňovány systémem kanban ze skladového

regálu. Probíhá zde pickování materiálu do speciálních boxů, které jsou následně posílány dolů, kde se naloží na vozík a putují do výroby.



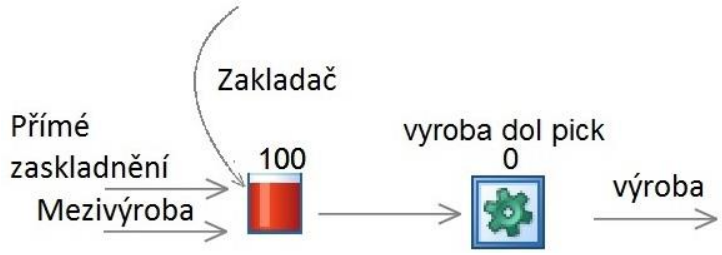
Obrázek 21 - Horní pickovací regál - simulační model

Nový požadavek na zakladač (resp. vhození karty do koše) probíhá v průměru jednou za 2,9 min. V modelu je to zajištěno tak, že je zde vytvořena fronta s maximální délkou 60. Přibližně jednou za 2,9 min je z fronty odebrána jedna entita. Počet entit pod 60 je tedy počet požadavků k založení. Zároveň nemůže probíhat zakládání, pokud je fronta plná, resp. počet požadavků je nulový.

Spodní pickovací regál

Zde jsou skladovány rozměrné a těžké součástky. V některých případech je materiál skladován stejným způsobem jako v horním pickovacím místě, tedy na spádových regálech. Ve většině případů jsou ale palety volně loženy na určených místech přímo na ploše skladu.

Mezi regály se pohybují pracovníci, kteří pickují (nakládají) na vozíky součástky přímo z dolního regálu (respektive z palet zde umístěných) a boxy poslané z 1. poschodí. Tyto vozíky se následně vozí do výroby. Přízemní úroveň je doplňována pomocí vysokozdvižných vozíků nebo paletových vozíků, přímo z vychystávací plochy, potom co je materiál vyložen z nákladních vozů, nebo je doplňován ze skladového regálu pomocí poloautomatického zakladače.



Obrázek 22 - Spodní pickovací regál - simulační model

V simulaci je situace řešena stejně jako u horního pickovacího regálu, pouze s tím rozdílem, že maximální limit míst je nastaven na 100 a nový požadavek vznikne v průměru jednou za 2,5 minuty.

4.1.7 Výroba

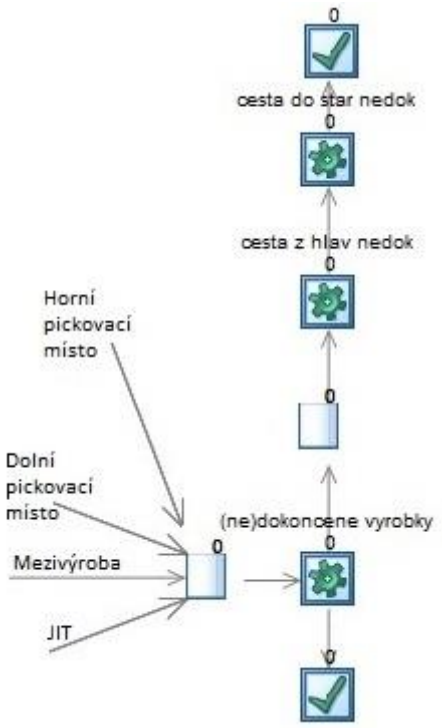
Poslední částí simulace je „Výroba“. Cílem simulace není sledovat detailně výrobu samotnou, a proto je v modelu výroba zjednodušena na úplný základ, a to vstup entity (paleta) do výroby a výstup entity (výrobek) z výroby. Součástí modelu je ještě část dopravy výrobků, jak bude vysvětleno v následujících částech.

Hotové a vadné výrobky

Výrobky, které projdou celým výrobním procesem, jsou poslány na kontrolu a testování. Pokud se jeví jako bezvadné, jsou naloženy na nákladní auta externích dopravců a vyexpedovány. Pokud existuje podezření na nějakou závadu, jsou tyto výrobky označeny jako „Vadné“ převezeny do opravny, kde se podrobí individuální opravě. Kontrola, nakládání a přeprava hotových a vadných výrobků nejsou součástí modelu.

Pro úplnost nutno dodat, že kontrola prováděná u všech výrobků je pouze zběžná a případná chyba se odhalí pouze zřídka. Podrobná kontrola je prováděna pouze u malého vzorku hotových výrobků.

Nehotové výrobky



Obrázek 23 - Výroba - simulační model

Výrobky jsou navrženy tak, aby i po kompletaci zbytku výroby, mohly být některé součástky doplněny. Pokud tedy nějaká součástka chybí, je možné u výrobku dokončit zbylou část montáže a chybějící součástku doplnit až později. Neboli změní se pořadí montovaných součástek s tím, že některá součástka je přesunuta na poslední pořadové místo. Výrobky, které prošly celým výrobním procesem, ale chybí jim určitá součástka, jsou z důvodu jejího nedostatku nazývány „nehotové výrobky“. Takovéto výrobky jsou viditelně označeny a putují závodovou dopravou do starého závodu. Tam jsou uskladněny do doby, kdy je opět dostupná chybějící součástka, která je následně demontována a výrobek je klasifikován jako hotový. Hlavní rozdíl mezi nehotovým a vadným výrobkem je, že nehotový výrobek má známý a v podstatě standardní nedostatek, zatímco vadný výrobek má neznámý nedostatek, který se musí řešit individuálně.

Zahrnutí nehotových výrobků do modelu je důležité proto, že jejich doprava je zabezpečována závodovou dopravou. Nákladní vůz odváží nehotové výrobky do Starého závodu a cesta mu trvá 35 minut.

4.1.8 Směny

Ve výrobní hale je několik druhů směn. V tomto oddíle budou popsány ty, které jsou relevantní pro náš model.

Směna zakladačů trvá od 06:00 do 20:00. V tomto směnném režimu pracují dva zakladače a byla zavedena proto, že za kratší směnu by zakladače nestihly založit všechen dovezený materiál.

Směna vysokozdvižných vozíků trvá od 06:00 do 18:00. Podle této směny se řídí všech sedm VZV a stejnou směnnou by se řídili i další případně přidané VZV.

Největší část procesů ve výrobní hale se řídí směnou od 06:00 do 15:00. Jmenovitě je to výroba na výrobní lince, příjezdy nákladních vozů, provoz nízkozdvižných a paletových vozíků.

4.1.9 Zdroje a manipulační technika

Ve skladu je používáno celkem 5 typů dopravních prostředků a manipulační techniky. Jsou to nákladní vozy, zakladače, VZV, NZV a paletové vozíky. Všechny jsou do modelu zahrnuty v podobě zdrojů. V některých případech může stejnou činnost vykonávat více typů manipulační techniky, zpravidla se lišící dobou výkonu. Například na obrázku 18 je vidět, že zobrazenou činnost může vykonat VZV, NZV i paletový vozík. V simulačním modelu to bylo vyřešeno tak, že každý typ manipulační techniky má vlastní aktivitu, a to především z důvodu rozdílných časů.

Pokud se stane, že je některý typ manipulační techniky potřeba na více místech najednou, je pořadí určeno pomocí priority viz tabulka 2. Je vybrána vždy aktivita s vyšší prioritou a k té je přiřazen volný zdroj.

Tabulka 2 - Priority manipulační techniky

Priority	Vykládka	JIT	Mezivýroba	Přímé zaskladnění	Příprava k založení
VZV	80	35	50	30	20
NZV		80	60		50
Paletový vozík				90	50

Vysokozdvižné vozíky

Ve skladu je používáno celkem 7 VZV. Jedná se o speciální typ VZV podobný retrakům určený do úzkých skladových uliček. Tyto VZV jsou nejuniverzálnější a nejrychlejší manipulační technikou ve skladu a používají se zde na všechny činnosti, kde je zapotřebí některé manipulační techniky, kromě výškového zakládání, které provádí zakladač. Nejdůležitější činností VZV je vykládka, která nemůže být provedena jinou manipulační technikou. Z toho důvodu má vykládka nejvyšší prioritu.

NZV

NZV se věnují převozu palet na vzdálenější místa, především přepravu palet do výroby v režimu JIT a do mezivýroby. Ve sledovaném skladu jsou celkem 4.

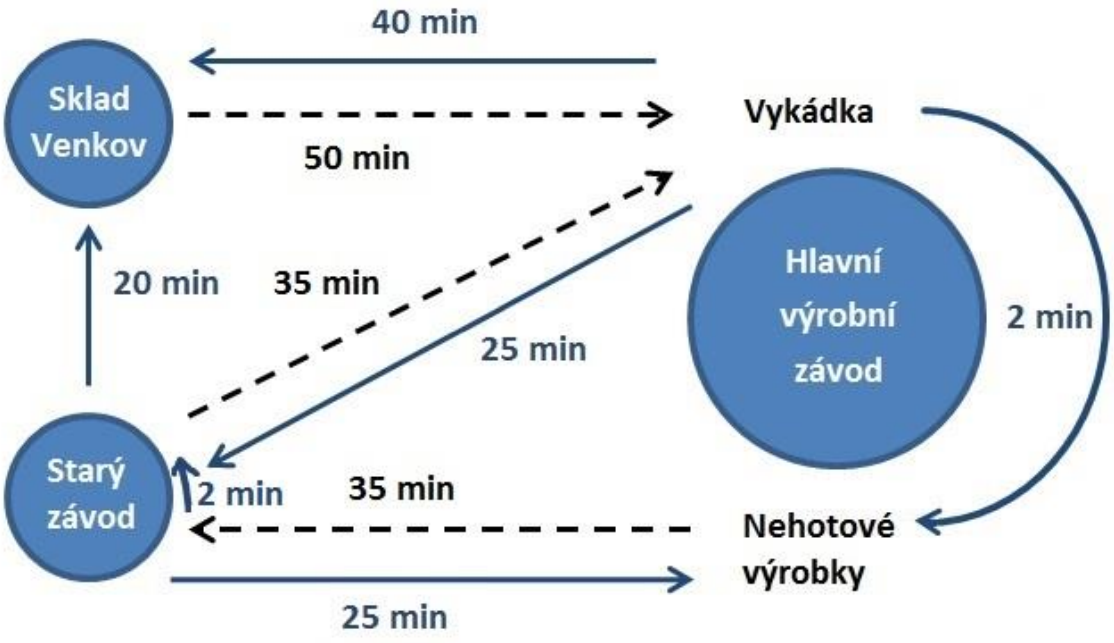
Paletové vozíky

Ve skladu se používá 6 paletových vozíků. Jsou používány na přímé zaskladnění z vychystávací plochy do dolního pickovacího regálu a na připravování palet pro zakladač. Jak vyplývá z tabulky priorit 2 přímé zaskladnění má přednost před přípravou palet pro zakladač.

Závodové nákladní vozy

Sledovaný výrobní závod má vlastní nákladní vozy využívané pro interní dopravu, to znamená dopravu mezi jednotlivými částmi závodu. Nákladní vozy jsou tedy využívány pro dopravu materiálu ze skladu Venkov a ze starého závodu do hlavní výrobní budovy. Dále jsou využívány na dopravu nehotových výrobků z hlavní výrobní budovy do Starého závodu.

Při cestě do hlavní výrobní haly ze starého závodu nebo ze skladu Venkov je v simulaci zdroj „nákladní vůz“ přiřazen k entitě a putuje s ní částí modelu. Čas přepravy je tedy zahrnut do trvání aktivity. Cestu zpět již absolvuje bez entity a v modelu je to vyřešeno pomocí matice cest, kde jsou nastaveny časy. Pro lepší pochopení skutečnosti i simulace je zde uveden obrázek 24. Na něm jsou vyobrazeny všechny přepravy, které vykonávají závodové nákladní vozy. Černá čárkovaná čára ukazuje cesty vykonané zároveň s entitou, kde do času je zahrnuta i nakládka. Modrá plná čára zobrazuje cesty, které jsou zahrnuty do matice přepravních časů.



Obrázek 24 - Schéma cest nákladních vozů

Poloautomatický zakladač

Ve sledovaném skladu jsou dva poloautomatické zakladače s indukčním vedením. Jak již bylo vysvětleno výše, jejich činnost je zakládat palety z vychystávací plochy do skladového regálu a z něj následně do pickovacích regálů.

Jedná se o stroj, který je schopný jak vychystávat tak zakládat, jde o kombinaci zakladače a vychystávacího vozíku. Je to stroj typu „Man-up“ a díky indukčnímu vedení je schopen se automaticky pohybovat mezi regály. Je vybaven i automatickým zvedáním, je tedy schopen sám dopravit obsluhu až ke správné paletové pozici.

4.2 Výstupy ze simulace základní části

4.2.1 Verifikace

Během celé tvorby počítačového simulačního modelu byla prováděna verifikace. Model byl při vytváření rozdělen na několik menších částí, které byly podrobeny pokusům. Každá část byla nejprve otestována bez vlivu náhody, a pokud získané výsledky odpovídaly zadání, byl přidán prvek náhody. Takto byla u všech částí modelu ověřena jejich správnost a následně byly části spojeny.

4.2.2 Výstupy

Bylo provedeno 20 nezávislých pokusů simulačního běhu, z nichž každý trval 10 pracovních dní. Z těchto pokusů byly získány výsledné průměrné hodnoty včetně intervalů spolehlivosti. V následujících částech textu budou postupně popsány výsledky simulace pro vybraná prvky ve skladu.

Manipulační technika

Na manipulační technice nás zajímá především její vytíženost. Z tabulky 3 vyplývá, že nejvyšší vytíženost má NZV s 92,8 % a VZV s 89,4 %. To je poměrně vysoký podíl vytížení a u těchto dvou typů manipulační techniky by se dalo uvažovat o navýšení jejich počtu. Naopak nejnižší vytížení má paletový vozík, s 66,1 %. Zde by se dalo uvažovat o snížení jejich počtu, náklady na jejich pořízení a údržbu jsou však relativně nízké a úspora by patrně neodpovídala zvýšenému riziku jejich nedostatku.

Tabulka 3 - Průměrné vytížení zdrojů v základní části simulace

	Počet	Využití		
Manipulační technika		-95 %	Průměr	+95 %
NZV	7	92,1 %	92,8 %	93,4 %
Paletový vozík	6	65,7 %	66,1 %	66,6 %
VZV	4	89,1 %	89,4 %	89,7 %
Zakladač	2	76,3 %	76,9 %	77,5 %
Nákladní vůz	2	70,0 %	70,8 %	71,5 %

Vychystávací plocha

Jak již bylo řečeno, vychystávací plocha se v simulačním modelu skládá z několika částí. Rozdělení vyplývá z toho, kam putuje zboží z vychystávací plochy. To je nejen nutné pro správné fungování modelu, ale také výhodné pro další analýzu. Lze snadno odhalit, kterým materiálem je vychystávací plocha obsazena.

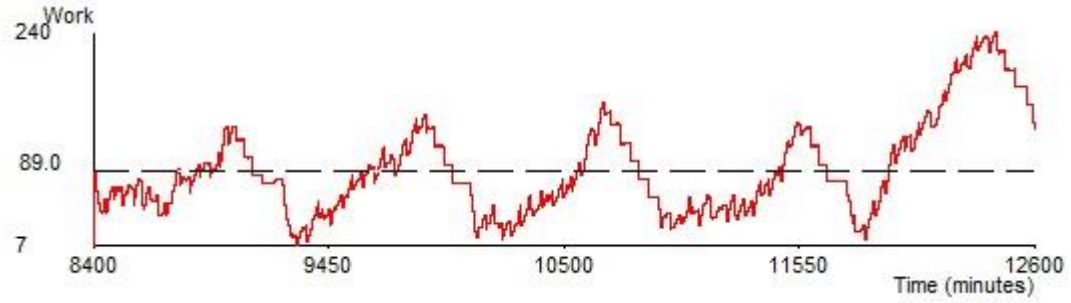
V tabulce 4 jsou uvedeny průměrné hodnoty získané z 20 běhů počítačové simulace. Celá vychystávací plocha je obsazena v průměru 85,86 paletami. V průměru dosahuje maxima 220,50 kusů palet. Největší část vychystávací plochy zabírají palety čekající na balení, v průměru tvoří 42,1 %, dále pak fronta na zakladač a fronta výrobků putujících přímo do výroby v režimu JIT. Tyto tři části dohromady tvoří přes 90 % průměrné obsazenosti

a stejně tak maximální délka fronty nabývá nejvyšších hodnot u těchto tří front. Z tabulky je také vidět, že součet maxim v jednotlivých částech dělá 359,4 a je výrazně vyšší než celkové maximum. To je způsobeno tím, že maxima v jednotlivých frontách nenastávají ve stejný moment a celková maximální délka fronty zůstává výrazně nižší.

Tabulka 4 - Průměrný a maximální počet palet na vychystávací ploše

Fiktivní část VP	Průměrná délka fronty	Podíl průměrné délky	Maximální délka fronty
Balení	36,10	42,1 %	96,55
Fronta na zakladač	25,60	29,8 %	95,45
JIT	16,51	19,2 %	76,30
Příprava pro založení	5,92	6,9 %	57,95
Přímé zaskladnění	1,02	1,2 %	21,20
Mezivýroba	0,71	0,8 %	11,95
Vychystávací plocha	**85,86**	**100,0 %**	**220,50**

Na následujícím obrázku 25 je grafu, kde je vyobrazen průběh obsazenosti vychystávací plochy během 5 pracovních dnů.



Obrázek 25 - Graf - obsazenost vychystávací plochy v čase

Z grafu je patrné, že příbytky a úbytky mají každý den podobnou strukturu. Den začíná s téměř prázdnou vychystávací plochou a s postupným zavážením zboží se plocha zaplňuje. Zavážka končí přibližně v 15:00 hodin, poté se zboží zpracovává a žádné další nepřibývá, obsazenost plochy se tedy snižuje.

Nákladní vozy

V tabulce 5 jsou uvedeny hodnoty front nákladních vozů. První dva sloupce číselných hodnot představují čekání zboží na nákladní vůz ve Starém závodě a ve Skladu Venkov. To je případ, kdy je zboží připraveno k naložení do nákladního vozu, ale nákladní vůz není

k dispozici. Průměrná doba čekání je v obou místech podobná, a to přibližně 11 minut. Maximální čas čekání je ve starém závodě 62,35 minut, ve skladu Venkov 52,33 minuty. Z toho také vyplývá, že maximální délka fronty je 1. Nikdy se tedy nestává, že by bylo připraveno zboží pro dva nákladní vozy zároveň.

Tabulka 5 - Průměrné a maximální délky front; Průměrné a maximální časy čekání v jednotlivých částech podniku

Charakteristika	Starý závod	Sklad Venkov	Vykládka
Průměrná délka fronty	0,06	0,04	0,32
Maximální délka fronty	1,00	1,00	3,35
Průměrný čas čekání	11,48	11,25	9,88
Maximální čas čekání	62,35	52,33	63,25

Třetí sloupec obsahuje hodnoty nákladních vozů čekajících v hlavní výrobní hale na vyložení. Průměrný čas čekání je necelých 10 minut, maximální čas více než hodinu. Maximální počet nákladních vozů ve frontě se pohybuje v průměru okolo 3,35. Podrobněji bude tato fronta zkoumána v experimentu v oddíle 4.3.1.

Regál

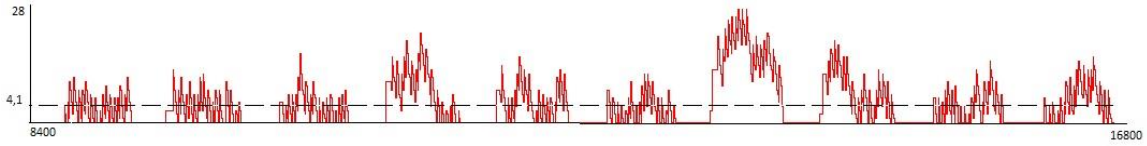
Jak již bylo vysvětleno v oddílu 4.1.6 systém kanban je v modelu řešeny tak, že je shora omezená délka fronty a počet entit zbývajících do tohoto maxima je počet požadavků. Průměrný a maximální počet požadavků lze tedy snadno dopočítat z průměrů a minim výsledků front. V tabulce 6 jsou vypsány tyto výsledky včetně intervalů spolehlivosti. Z tabulky vyplývá, že situace je o poznání lepší v dolním pickovacím regále než v horním, průměrné i maximální hodnoty jsou téměř dvojnásobné. V případech obou regálů je vidět, že maxima dosahují oproti průměru vysokých hodnot a fronta patrně trpí velkými výkyvy.

Tabulka 6 – Průměrný a maximální počet požadavků v pickovacích regálech

	-95 %	Průměr	+95 %
Maximální počet požadavků - horní regál	24,88	27,20	29,52
Průměrný počet požadavků - horní regál	3,61	3,85	4,09
Maximální počet požadavků - dolní regál	15,66	16,45	17,44
Průměrný počet požadavků - dolní regál	1,65	1,73	1,82

Na následujícím obrázku 26 je graf zachycující situaci během deseti pracovních dní na horním pickovacím regále, kde na ose x je čas v minutách a na ose y je počet požadavků.

Zakladače mají delší směnu než výroba a v grafu je vidět okamžik, kdy dojde ke splnění všech požadavků. Další požadavky již nepřibývají, neboť směna výroby skončila. Zakladače si do příštích dnů práci nepřenášejí, na konci pracovní směny zakladače je počet požadavků v zobrazených případech vždy nulový a lze předpokládat, že to je pravidlem.



Obrázek 26 - Graf - počet požadavků v horním pickovacím regále v čase

4.2.3 Validizace

Tyto výstupy získané ze simulačních běhů byly porovnány se skutečnými daty, které byly k dispozici a především diskutovány s odborníky a pracovníky z dané společnosti, kteří nejlépe dokážou odhadnout, jestli model odpovídá skutečnosti.

Model byl na základě rozhovorů s odborníky několikrát upravován tak, aby co nejvíce odpovídal realitě, a aby byly zahrnuty všechny skutečnosti, které významně ovlivňují běh a výsledky simulace.

4.3 Experimenty

V tomto oddílu bude prováděno experimentování se simulačním modelem a budou zhodnoceny výsledky experimentů. U každého experimentu bylo vždy provedeno 20 náhodných pokusů, na základě kterých byly odhadnuty střední hodnoty sledovaných charakteristik a jejich intervaly spolehlivosti.

4.3.1 Čekání nákladních vozů na odbavení

Jedním z hlavních úkolů práce je nalézt řešení, které by vylepšilo situaci nákladních vozů čekajících na odbavení. Cílem je, aby více než 90 % nákladních vozů čekalo na to, než se dostanou k vykládání po dobu kratší než 20 minut. Toho lze dosáhnout třemi způsoby:

1. Přidáním jednoho nebo více VZV,
2. otevřením další vykládací rampy,
3. omezením jiných činností VZV než je vykládka.

Postupně budou simulovány všechny tyto možnosti a některé jejich kombinace.

Přidání VZV

Nejprve bude provedena simulace s přidáním vysokozdvižných vozíků. V tabulce 7 jsou výsledky simulací s přidáním jednoho resp. dvou VZV s intervaly spolehlivosti. Na prvním řádku je procentuální využití VZV, na dalších řádcích charakteristiky popisující stav fronty nákladních vozů čekajících na odbavení.

Tabulka 7 - Hodnoty sledovaných výstupů pro různý počet VZV

Počet VZV	7			8			9		
Charakteristika	-99 %	Průměr	99 %	-99 %	Průměr	99 %	-99 %	Průměr	99 %
Využití VZV v %	89,0	89,4	89,9	81,4	81,8	82,3	75,3	75,8	76,3
Maximální délka fronty	3,04	3,35	3,66	2,34	2,65	2,96	1,92	2,15	2,38
Průměrný čas čekání	9,16	9,88	10,61	3,87	4,29	4,71	2,45	2,63	2,82
Maximální čas čekání	55,84	63,25	70,66	40,15	43,27	46,39	35,07	37,99	40,91
% čekajících méně než 20 min	77,0	78,7	80,4	91,5	92,7	93,8	95,6	96,2	96,7

Podle očekávání se s přibývajícím počtem VZV zlepšují i statistiky. V prvním řádku je využití VZV, které samozřejmě klesá, protože práce je konstantní, ale manipulační techniky přibývá. Následují charakteristiky: maximální počet nákladních vozů čekajících v jeden okamžik na odbavení, průměrná doba čekání, maximální délka čekání a nakonec podíl nákladních vozů čekajících kratší dobu než 20 min. Všechny statistiky vykazují postupné statisticky významné zlepšování situace. Průměrná doba čekání se s přidáním jednoho VZV sníží o více než polovinu a průměrný maximální čas strávený ve frontě se také významně zlepší. Pro tento experiment je nejdůležitější statistka podílu nákladních vozů čekajících na odbavení a z tabulky je vidět, že již s přidáním jednoho VZV se tato statistika dostane ze 78,7 % na 92,7 %. Na 1 % hladině významnosti byla s přidáním jednoho VZV překročena hranice 90 %. Přidání druhého VZV také přináší statisticky významné zlepšení, požadovaná hranice však byla překročena již s přidáním 1. VZV, proto tato situace nebude podrobněji rozebírána.

Požadovaného cíle tedy bylo dosaženo, ale náklady na vysokozdvižné vozíky jsou velmi vysoké. Proto bude v počítačové simulaci otestováno ještě několik dalších variant, které

zvýší podíl nákladních vozů čekajících na vyložení méně než 20 minut nad 90 % a zároveň nebudou tak nákladné jako přidání jednoho VZV.

Otevření další vykládací rampy

Další možností je otevření čtvrté vykládací rampy. Ve skladu jsou celkem čtyři rampy určené pro vykládku zboží, v současnosti se ale používají pouze tři. Důvodem uzavření jedné rampy bylo získání většího prostoru na vychystávací ploše. V tabulce 8 jsou uvedeny stejné charakteristiky jako v předchozím případě. Je vidět, že s otevřením další rampy se situace sice také statisticky významně zlepšuje, ale ne tak razantně jako s přidáním VZV.

Využití VZV v tomto případě vzroste. To je patrně dáno tím, že nově otevřená rampa je nejdál od vychystávací plochy a vykládka trvá u této rampy déle než u ostatních, tím se zvýší i vytíženost VZV.

Průměrná maximální délka fronty stejně jako v předchozím případě klesá, ale na rozdíl od předchozího případu nejde o statisticky významný pokles, pokles tudíž není na 1 % hladině významnosti prokazatelný. Průměrná doba čekání se zkrátí o 2,4 minuty a maximální doba čekání se sníží o 4,3 minuty. Průměrný podíl čekajících po dobu kratší než 20 minut se zvýší o 7 procentních bodů, na stanovených 90 % to ale nestačí.

Tabulka 8 - Hodnoty sledovaných výstupů pro různý počet vykládacích ramp

Počet ramp	3			4		
Charakteristika	-99 %	Průměr	99 %	-99 %	Průměr	99 %
Využití VZV v %	89,0	89,4	89,9	90,7	91,3	91,8
Maximální délka fronty	3,04	3,35	3,66	2,80	3,10	3,40
Průměrný čas čekání	9,16	9,88	10,61	6,87	7,48	8,08
Maximální čas čekání	55,84	63,25	70,66	51,73	58,93	66,12
% čekajících méně než 20 min	77,0	78,7	80,4	84,3	85,7	87,2

Toto opatření nevede k požadovanému zlepšení a samo o sobě by otevření 4. vykládací rampy nestačilo.

Omezení některých činností VZV

Ze skupiny vysokozdvižné, nízkozdvižné a paletové vozíky, jsou VZV sice nejuniverzálnější, ale také výrazně nejdražší. Pro představu náklady na VZV (řidič, nájem, údržba…), jsou přibližně 20x vyšší než náklady na ručně vedený paletový vozík a přibližně

4x vyšší než náklady na elektrický NZV. Proto se nabízí otázka, jestli by nebylo vhodné jejich nedostatek nahradit jinou manipulační technikou.

VZV jsou jediná manipulační technika, která může vykonávat vykládku, ale lze je nahradit v ostatních činnostech. Proto bude nasimulována situace, kdy se VZV zakážou určité činnosti. Připravování palety pro zaskladnění tedy bude činnost vyhrazená paletovému vozíku a NZV a zavážení materiálu do mezivýroby činnost výhradně NZV. V počítačové, simulačním modelu toho bylo docíleno tak, že se spojnice k daným aktivitám jednoduše odstraní.

Očekává se, že tato opatření povedou k tomu, že VZV se budou více věnovat vykládce a tím se sníží doba čekání nákladních vozů na vyložení. Zároveň bude nutné sledovat, jestli nevznikl nedostatek manipulační techniky jinde ve skladu. Následně bude proveden stejný simulační experiment s přidání paletových vozíku resp. NZV. Výsledky tohoto experimentu jsou uvedeny v tabulce 9.

Postupně byly testovány různé scénáře. V prvním sloupci jsou pro srovnání hodnoty současné situace, 2. sloupec vyjadřuje situaci, kdy byly VZV omezeny určité činnosti, ale nebyla přidána žádná manipulační technika. Další sloupce pak vyjadřují scénáře s přidáním manipulační techniky.

Tabulka 9 - Hodnoty sledovaných výstupů při zákazu některých činností VZV a nahrazení jinou manipulační technikou

		Zákaz VZV provádění určitých činností			
Přidaná manipulační technika			+3 pal	+3 NZV	+3 NZV +3 pal
Využití NZV v %	92,8	98,4	97,6	81,4	79,6
Využití pal v %	66,1	79,2	57,8	66,0	50,2
Využití VZV v %	89,4	83,1	82,3	78,2	77,6
Maximální délka fronty	3,35	3,1	3,25	1,2	3,05
Průměrný čas čekání	9,88	8,14	7,95	6,77	6,54
Maximální čas čekání	63,25	57,1	59,17	51,65	52,35
% čekajících méně než 20 min	78,7	82,7	83,3	86,1	86,3

V tabulce je možné sledovat, jak se vyvíjí situace, intervaly spolehlivosti nejsou z důvodu přehlednosti uvedeny v tabulce, je možné je najít v příloze 3. První část tabulky je věnována využití manipulační techniky. Zajímavá situace nastává u NZV, jehož vytížení vzroste až na 98,7 %. V další části tabulky je vidět, že se situace v čekání nákladních vozů při

omezení vybraných činností zlepšila, a pod hranici čekání 20 minut se dostalo 82,7 % nákladních vozů oproti původním 78,7 %. Přidání další manipulační techniky má také statisticky významný pozitivní vliv, ale nad hranici 90 % se nepodaří v žádném scénáři dostat. Stejně tak i ostatní pozorované charakteristiky týkající se fronty na vyložení nákladních vozů doznali zlepšení situace. Z výsledků je také patrné, že větší význam má přidání NZV než paletového vozíku.

Navíc je vedle fronty nákladních vozů nutné také sledovat, jak se změnila situace jinde ve skladu. K tomu slouží tabulka 10, která má podobnou strukturu. Maximální délka fronty palet jdoucích do mezivýroby se při omezení činností VZV více než zdvojnásobila. Stejně tak průměrná délka fronty se výrazně zhoršila, a to z původních 5,92 na 27,64. Tuto situaci se nedaří příliš napravit ani s přidáním další manipulační techniky. Situace u palet připravovaných na zakládání se také významně zhoršila, maximální délka fronty vzrostla z 11,95 na 31,85. S přidáním NZV se ale podaří situaci opět snížit na hodnotu 14,70. Průměrná délka fronty se změnila z původních 0,71 na 7,81, ale po přidání další manipulační techniky se situace opět zlepší.

Tabulka 10 - Hodnoty sledovaných výstupů při zákazu některých činností VZV a nahrazení jinou manipulační technikou ve frontách na mezivýrobu a přípravu k zaskladnění

		Zákaz VZV provádění určitých činností			
Manipulační technika			+3 pal	+3 NZV	+3 NZV +3 pal
Průměrná délka fronty – mezivýroba	5,92	27,64	22,56	23,11	21,44
Maximální délka fronty – mezivýroba	57,95	116,05	116,15	113,55	113,45
Průměrná délka fronty – zakladač	0,71	7,81	7,66	2,90	2,91
Maximální délka fronty – zakladač	11,95	31,85	33,10	14,70	14,65

V posledním scénáři byly přidány 3 NZV a 3 paletové vozíky. Náklady na toto opatření by byly téměř srovnatelné s náklady na jeden dodatečný VZV, ale oproti scénáři s přidáním jednoho VZV je situace značně horší a ani nebylo dosaženo požadovaných 90 % nákladních vozů čekajících po dobu kratší 20 minut. Navíc došlo ke zhoršení v dalších částech vychystávací plochy. Z uvedeného je tedy patrné, že tento postup sám o sobě ke zlepšení nevede.

Další možností je zkombinovat zákaz vykonávání činností s otevřením jedné rampy.

Omezení některých činností VZV a otevření rampy

Nyní bude pomocí počítačové simulace vytvořena situace, kdy je společně s omezením určitých činností otevřena 4. rampa. V tabulce 11 jsou uvedeny výsledky stejných experimentů jako v předchozím případě s tím rozdílem, že byla otevřena další rampa. Pro srovnání je zde základní varianta v prvním sloupci. Vytížení manipulačních vozíků výrazně vzrostlo, u NZV dokonce na 99,5 %, ale hodnoty se opět sníží po přidání nové manipulační techniky. Podíl kamionů čekajících ve frontě po dobu kratší než 20 minut se dostane přes hranici 90 % pouze u jednoho scénáře, a to u scénáře s přidáním 3 NZV a 3 paletových vozíků. Zde bylo dosaženo hodnoty 91,2 % a z přílohy 3 vyplývá, že na 5 % hladině významnosti byla hranice překročena.

Tabulka 11 - Hodnoty sledovaných výstupů při zákazu některých činností VZV, otevření 4. rampy a nahrazení jinou manipulační technikou

		Zákaz VZV provádění určitých činností + otevření 4. rampy			
Manipulační technika			+3 pal	+3 NZV	+3 NZV +3 pal
Využití NZV	92,8 %	99,5 %	99,0 %	82,5 %	80,7 %
Využití pal	66,1 %	81,4 %	58,9 %	66,6 %	50,3 %
Využití VZV	89,4 %	84,9 %	84,1 %	80,7 %	79,9 %
Maximální délka fronty nákl. vozů	3,35	3,00	2,85	2,80	2,75
Průměrný čas čekání nákl. vozů	9,88	6,44	6,18	5,50	4,84
Maximální čas čekání nákl. vozů	63,25	53,90	54,76	51,94	50,47
% čekajících méně než 20 min	78,7 %	88,4 %	88,7 %	89,4 %	91,2 %

Další statistiky v tabulce 12 popisují hodnoty ve frontách, kde byla omezena činnost VZV. V předchozí části bylo potvrzeno, že se zde situace výrazně zhorší a otevření 4. rampy mělo pouze velmi malý, statisticky nevýznamný vliv, takže situace zde se nelepší.

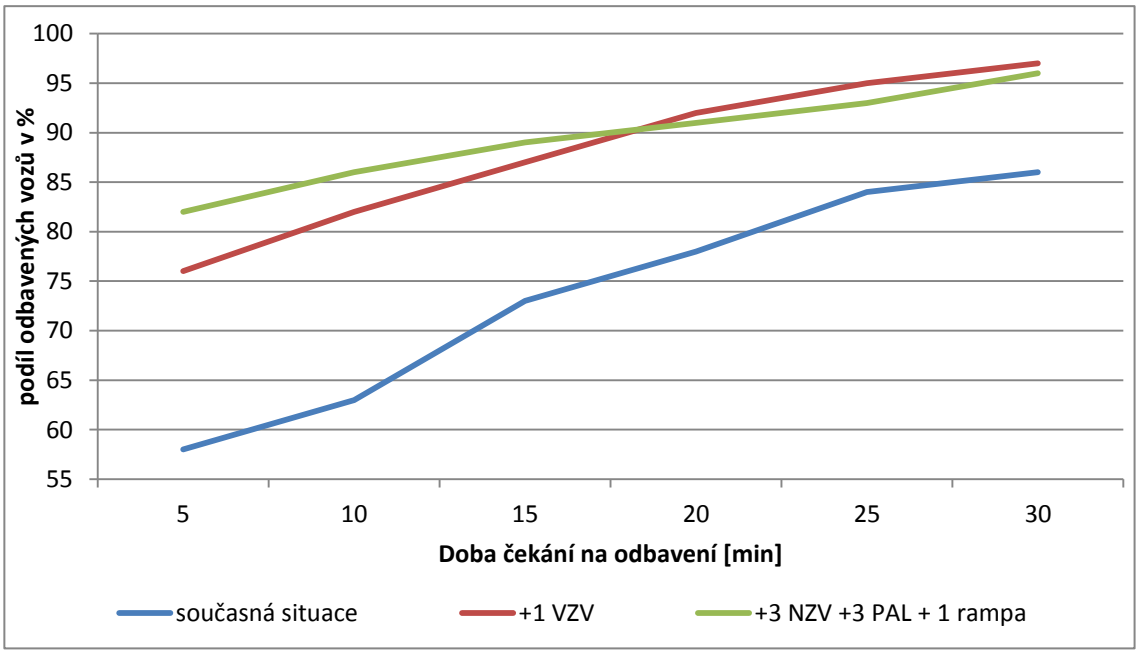
Tabulka 12 - Hodnoty sledovaných výstupů při zákazu některých činností VZV, otevření 4. rampy a nahrazení jinou manipulační technikou ve frontách na mezivýrobu a přípravu k zaskladnění

		Zákaz VZV provádění určitých činností + otevření 4. rampy			
manipulační technika			+3 pal	+3 NZV	+3 NZV +3 pal
Průměrná délka fronty - mezivýroba	5,92	28,65	22,82	23,36	21,33
Maximální délka fronty - mezivýroba	57,95	115,60	113,55	114,30	113,50
Průměrná délka fronty – zakladač	0,71	11,34	10,82	2,93	2,86
Maximální délka fronty - zakladač	11,95	43,50	41,15	14,70	14,60

Zhodnocení

Cílem tohoto simulačního experimentu bylo určit nejlepší způsob jak zvýšit podíl nákladních vozů, které se dostanou k vykládce do 20 minut nad 90 %. Z výsledků simulačních experimentů byly vybrány dva nejúspěšnější. První scénář počítá s přidáním jednoho VZV, druhý scénář s přidáním 3 NZV 3 paletových vozíků a otevření čtvrté vykládací rampy.

Na obrázku 27 je graf, kde na ose x je doba čekání na odbavení v minutách a na ose y podíl nákladních vozů odbavených do této doby v %. K porovnání byla přidána vedle dvou experimentů i současná situace. U obou vybraných scénářů je na první pohled pozorovatelné zlepšení oproti původní situaci. Z grafu je patrné, že k vykládce v čase kratším než 5 minut se v současné situaci dostane téměř 60 % nákladních vozů. U experimentu s přidáním VZV tato hodnota stoupla na 76 %, u druhého experimentu dokonce na 82 %. Podíl odbavených kamionů v případě experimentu s přidáním jednoho VZV roste o něco rychleji. Oba dva návrhy překročí požadovanou hranici 90 %, návrh s přidáním VZV jí překročí výrazněji.



Obrázek 27 - Graf - porovnání variant simulačního experimentu

Ze všech zpracovaných scénářů a analýz vyplývá, že lepší řešení je přidat jeden VZV. S tímto opatřením je dosaženo výraznějšího zlepšení ve sledovaných statistikách. Nevýhodou je, že je s tímto spojeno značné zvýšení nákladů. Druhá varianta je ovšem z hlediska zvýšení

nákladů téměř srovnatelná a navíc nedosáhla tak dobrých výsledků u fronty nákladních vozů. U druhého návrhu také došlo ke zhoršení situace na vychystávací ploše a nárůstu délky sledovaných front, čímž by mohlo dojít k potencionálním problémům v dalších částech skladu a ve výrobě. Přidání VZV se naopak zlepší situaci nejen u vykládky, ale i v ostatních částech skladu.

Experiment tohoto typu by byl na reálném systému jen těžko proveditelný, byl by patrně velmi nákladný a mohl by mít na chod skladu značně negativní důsledky. Díky simulačnímu modelu mohl být experiment proveden pouze v počítačové podobě, a tak se předešlo těmto rizikům. Pomocí počítačového modelu se podařilo najít řešení zadaného úkolu a získané výsledky jsou statisticky významné.

4.3.2 Elektronický kanban

Druhým experimentem bude sledování změn v systému s přechodem na elektronický kanban. Jak bylo popsáno v oddíle 3.1.2 elektronický kanban má mnoho příznivých vlivů na chod skladu, a to především plynulost chodu, lepší přehled o zásobách a zbavení se papírových karet, s nimiž jsou problémy. Otázkou je, zda bude mít změna také nějaký přínos na průměrný a maximální počet požadavků v pickovacích regálech a zdali se nějak zásadně změní vytížení zakladače.

V tabulce 13 je maximální a průměrný počet požadavků v horním i dolním pickovacím regále. V dolním pickovacím regále se maximální i průměrné hodnoty požadavků statisticky výrazně zlepšily. V horním pickovacím regále už není situace tak jednoznačná. Maximální počet požadavků se sice statisticky významně snížil, ale průměrný počet požadavků se statisticky významně zhoršil. Patrně se snížily výkyvy v počtu požadavků, průměrný počet požadavků je sice vyšší, ale extrémy se snížily.

Tabulka 13 - Kartový a elektronický kanban - počet požadavků v pickovacích regálech

	kartový kanban			elektronický kanban		
	-95 %	Průměr	95 %	-95 %	Průměr	95 %
Maximální počet požadavků - horní regál	24,88	27,20	29,52	23,36	24,75	26,14
Průměrný počet požadavků - horní regál	3,61	3,85	4,09	4,50	4,79	5,07
Maximální počet požadavků - dolní regál	15,66	16,45	17,44	8,60	9,55	10,50
Průměrný počet požadavků - dolní regál	1,65	1,73	1,82	0,74	0,79	0,85

Průměrné procentuální vytížení zakladače je popsáno v tabulce 14. Podle těchto hodnot, se vytížení zakladače nepatrně sníží, ale snížení není statisticky významné. Z tohoto hlediska se tedy situace nijak významně nezmění.

Tabulka 14 - Průměrné procentuální vytížení zakladače

	-95 %	Průměr	95 %
Kartový kanban	76,3 %	76,9 %	77,5 %
Elektronický kanban	76,0 %	76,6 %	77,2 %

Zhodnocení

Pomocí počítačového modelu bylo zjištěno, že přechod na elektronický kanban nebude mít na vytížení zakladače žádný vliv. Ale bude mít značný pozitivní dopad na počet požadavků v dolním pickovacím regálu. Na počet požadavků v horním pickovacím regálu bude mít rozporuplný vliv, ale pozorované zhoršení není nijak extrémní a není důvod se toho příliš obávat. Při přechodu na elektronický kanban tedy z tohoto hlediska nenastane nijak výrazné zhoršení situace, naopak lze očekávat v některých ohledech mírné zlepšení.

4.3.3 Balení

Dalším úkolem práce je porovnat, jak by se změnila situace, kdyby se podařilo přesvědčit některé dodavatele, aby dodávali materiál v takové podobě, aby nemuselo docházet k přebalení. V současné situaci je nutné balit přibližně 74 % všech výrobků, které jdou do horního pickovacího regálu a 21 % výrobků jdoucích do spodního pickovacího regálu.

Cílem tohoto opatření je především snížit obsazenost vychystávací plochy, dosáhnout situace, kdy by na balení nebyli potřeba pomocní pracovníci a případně snížit počet stálých pracovníků. V simulačním experimentu bude sledováno, jak se změní sledované charakteristiky ve třech stupních implementace tohoto opatření. V každé fázi bude vyjednána změna balení přibližně u 20 % z materiálu, který se před opatřením musel balit až do výše 60 %.

V tabulce 15 jsou ve sloupcích zobrazeny jednotlivé fáze implementace opatření bez intervalů spolehlivosti, ty jsou opět z důvodů přehlednosti uvedeny pouze v příloze 4 a to pro tabulky 15-21. V řádcích jsou charakteristiky vytížení jednotlivých manipulačních prostředků.

Do analýzy jsou tyto ukazatele zahrnuty proto, aby bylo zjištěno, jestli opatření nezpůsobí významnou změnu u využití některého zdroje.

Při porovnání nulté fáze (současnost) a třetí fáze implementace dojde u paletového a nízkozdvižného vozíku ke statisticky významnému nárůstu vytížení, změna však není nijak veliká a chod skladu by v tomto ohledu neměla ohrozit. Naopak u VZV dojde ke statisticky významnému snížení, ale rozdíl opět není nijak zásadní.

Tabulka 15 - Vytížení manipulační techniky v jednotlivých fázích vyjednávání o balení

Fáze	0	1	2	3
NZV	92,8 %	92,8 %	93,5 %	93,7 %
paletový vozík	66,1 %	66,9 %	67,9 %	67,9 %
VZV	89,4 %	88,9 %	88,4 %	88,3 %

Tabulka 16 opět udává stupně implementace opatření ve sloupcích a sledované charakteristiky v řádcích. Postupně budou popsány všechny.

U průměrné délky fronty (resp. průměrný počet palet materiálu čekající na balení) je vidět, že se snižujícím se počtem materiálu, které je nutno balit, plynule klesá i průměrná délka fronty. Při třetím stupni implementace opatření, (to je pokud by se podařilo vyjednat změnu balení u téměř 60 % dosud baleného materiálu) se délka fronty sníží z původních 34,8 až na 0,4 kusy, což je v podstatě plynulý chod.

Průměrná maximální délka fronty také velmi rychle klesá již od první fáze implementace. Z původních 96,6 klesne ve třetí fázi až na 10,3.

Tabulka 16 – Fronta na balení v jednotlivých fázích vyjednávání o balení

Fáze	0	1	2	3
Průměrná délka fronty	36,10	16,49	3,72	0,43
Maximální délka fronty	96,55	68,65	28,54	10,32
Průměrný čas čekání	130,26	73,35	20,15	3,66
Maximální čas čekání	276,76	243,56	104,08	37,40
% čekajících méně než 10 min	5,9 %	12,6 %	44,8 %	86,2 %

U času stráveného ve frontě, je pozorován také razantní pokles, a to jak v průměrných tak maximálních hodnotách. Průměrný čas plynule klesá z 130,3 až na 3,7. Maximální čas v první fázi zaznamená sice také statisticky významný pokles, ale tento pokles je relativně malý. V dalších fázích už je i v této statistice pozorovatelné razantní zkrácení fronty.

Limit stanovený pro čekání na balení je 10 minut. V současné situaci se to daří dodržet jen velmi zřídka, a to v 4,7 % případů (pozn. palety jsou brány k balení podle pravidla FIFO). Již při 1. fázi se situace o něco vylepší, ale k výraznému posunu dojde až při třetí fázi implementace, kdy je dosaženo 86,2 %. Nicméně na snižování doby balení není vyvíjen přílišný tlak a na stanovenou hranici se příliš nehledí. V modelu balení probíhá v režimu FIFO, ale v reálném systému je možno pořadí změnit podle důležitosti.

První řádek tabulky17 říká, jak se změní situace na vychystávací ploše. Konkrétně se jedná o palety, které jsou připravovány na založení zakladačem a čekají na nějakou manipulační techniku. Mohlo by se zdát, že opatření nebude mít žádný vliv na čas strávený v této frontě, zboží tak jako tak musí přípravu vykonat, bez ohledu na to, zda došlo k balení či ne. Hodnoty však napovídají, že tomu tak ve skutečnosti není, a i zde je pozorovatelné statisticky významné zlepšování v 1. a 2. fázi implementace.

Tabulka 17 – Fronta u zakladače a na VP v jednotlivých fázích vyjednávání o balení

Fáze	0	1	2	3
Zakladač - Průměrný čas čekání	17,72	14,30	12,43	13,12
VP - Průměrná délka fronty	85,86	67,29	60,82	61,34
VP - Maximální délka fronty	220,50	201,45	193,60	191,80

Tabulka 17 dále ukazuje, jak se změna projeví v rámci celé vychystávací plochy. Průměrný počet uskladněných palet podle očekávání také klesá. Pokles není tak výrazný, jako u fronty na balení, přesto je v prvních dvou fázích statisticky významný, ve třetí fázi nastane pouze velmi mírný, statisticky nevýznamný pokles průměru. Podobný vliv má implementace opatření i na maximální obsazenost vychystávací plochy. Opět nastal ve všech fázích pokles, který byl ovšem statisticky významný pouze v 1. fázi.

Další tabulka s číslem 18 je věnována vytížení pracovníků. Hodnoty jsou získány ze statistik vytížení aktivit, neboť ty jsou totožné s vytížením pracovníků.

Tabulka 18 – Vytížení pracovníků v jednotlivých fázích vyjednávání o balení

Fáze	0	1	2	3
Pracovníci	3,86	3,33	2,52	1,70
Pomocní pracovníci	0,29	0,02	0	0

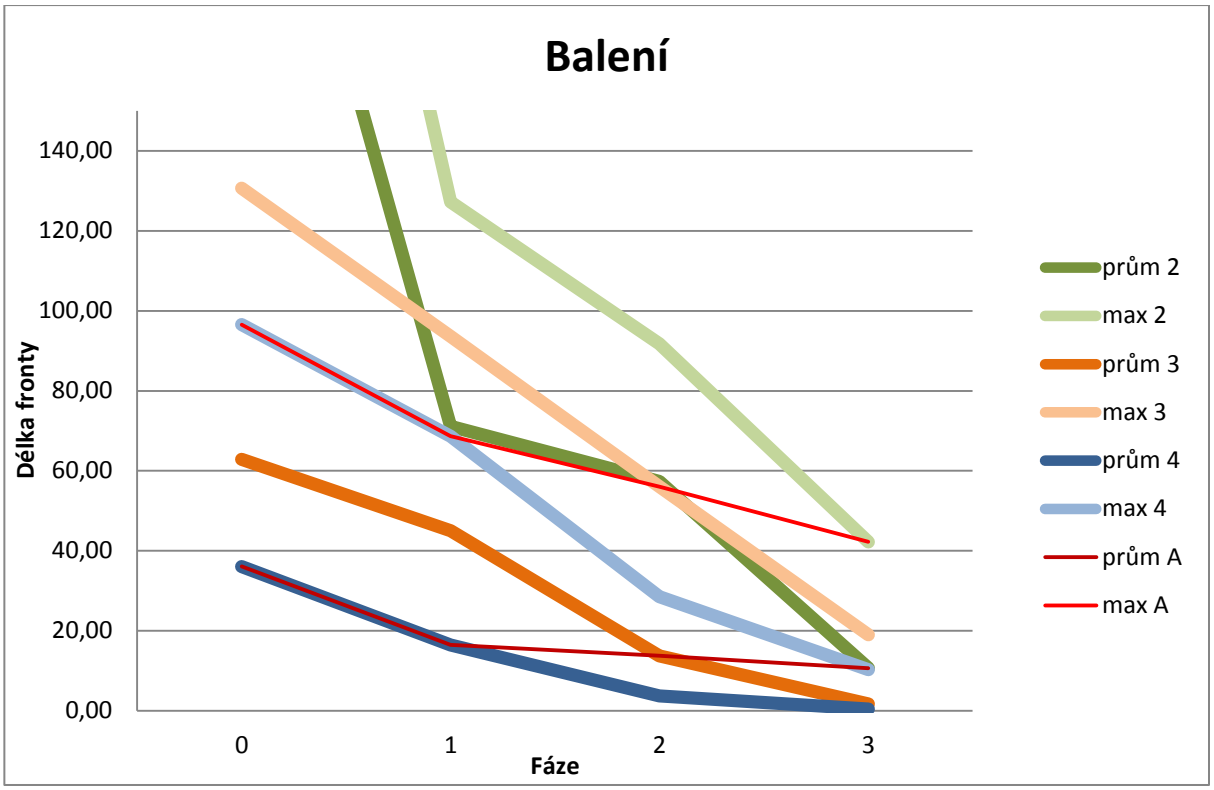
Z tabulky vyplývá, že v současné situaci jsou téměř stále vytíženi všichni čtyři pracovníci, kteří balení dělají na plný úvazek a k tomu v průměru 0,29 dalšího pracovníka, který funguje jako výpomoc. V první fázi implementace klesne potřeba pracovníků na 3,33 a u pomocných pracovníků na pouhých 0,02, což v podstatě znamená, že se využijí pouze ve výjimečné situaci. Ve druhé a třetí fázi již pomocní pracovníci nejsou potřeba vůbec a upotřebení pracovníků na plný úvazek je 2.52 resp. 1,70. Proto byla ještě testována varianta, kdy by se snížil počet pracovníků na tři nebo na dva.

V tomto experimentu jsou nejdůležitějšími ukazateli průměrný a maximální počet palet ve frontě na balení, celková fronta na vychystávací ploše a vytížení pracovníků. Proto tato dodatečná analýza bude omezena pouze na tyto statistiky. Výsledky experimentu jsou v tabulce 19 pro hodnoty o frontě na balení v tabulce 20 pro celkové hodnoty z vychystávací plochy.

Tabulka 19 - Fronta na balení v jednotlivých fázích vyjednávání o balení podle počtu pracovníků

Pracovníci	Balení	0	1	2	3
4	Průměrná délka fronty	36,10	16,49	3,72	0,43
4	Maximální délka fronty	96,55	68,65	28,54	10,32
3	Průměrná délka fronty	62,88	45,00	13,75	1,71
3	Maximální délka fronty	130,70	93,65	56,05	19,00
2	Průměrná délka fronty	257,65	71,11	57,33	10,70
2	Maximální délka fronty	356,10	127,20	91,80	42,25

Trend je z grafu jasně vidět u všech sledovaných veličin, s postupujícími fázemi průměrné i maximální délky fronty klesají. V první fázi dojde při třech stálých pracovnících k významnému zhoršení, a to i proti současné situaci (nulté fázi). V situaci dvou pracovníků je stav ještě horší. Ve druhé fázi při třech pracovnících je již situace lepší. Průměrná délka fronty klesla na 13,75. Pro porovnání se čtyřmi pracovníky to v této fázi bylo pouhých 3,72. Maximální délka 56,05 oproti 28,54 se čtyřmi pracovníky. Situace se dvěma pracovníky zůstává i dále v podstatě nepoužitelná. Ve třetí fázi implementace již dosahují tři pracovníci velmi slušných výsledků. Průměrná délka fronty je pouze 1,71, maximální 19,00. Situace se dvěma pracovníky ve třetí fázi je také relativně dobrá. Průměrná délka fronty na balení je v tomto případě 10,70 a maximální 42,25.



Obrázek 28 – Graf - velikost fronty na balení v jednotlivých fázích vyjednávání o balení

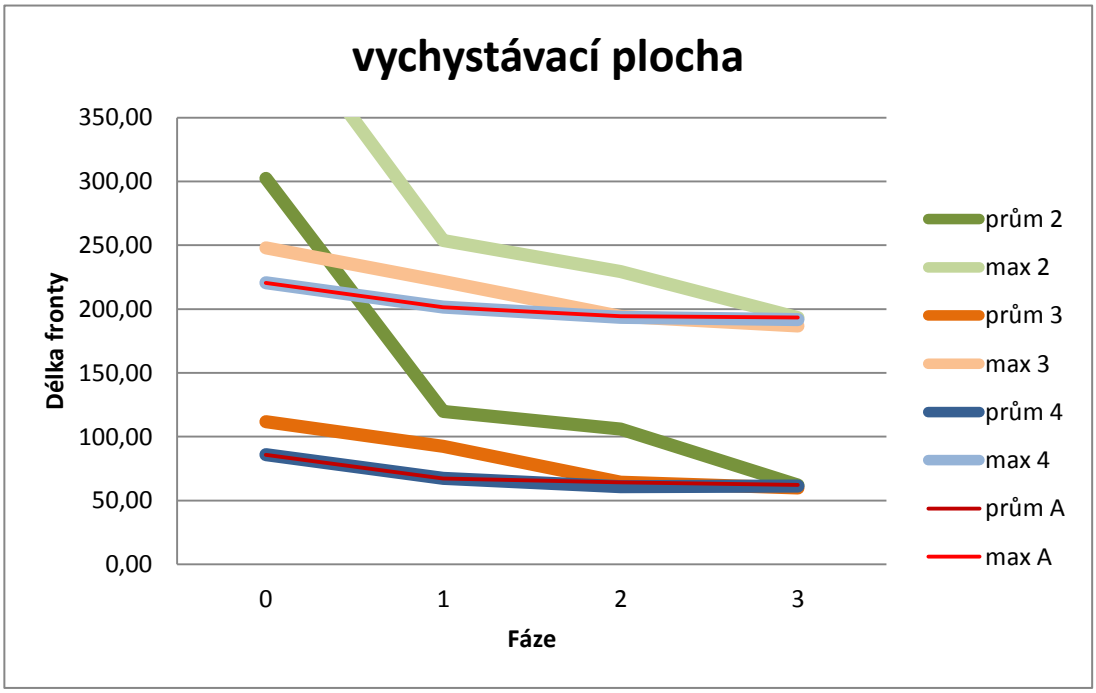
Výsledky jsou také zachyceny na obrázcích 28 pro balení a 29 pro vychystávací plochu, kde na ose x jsou jednotlivé fáze implementace a na ose y počet palet ve frontě. Zelené křivky představují situaci se 2 pracovníky, oranžové situaci se 3 pracovníky a modré situaci se 4 pracovníky. Světlejší barvy jsou hodnoty maximálních front a tmavé jsou hodnoty průměrných front.

Tabulka 20 - Fronta na VP v jednotlivých fázích vyjednávání o balení podle počtu pracovníků

Pracovníci	Vychystávací plocha	0	1	2	3
4	Průměrná délka fronty	85,86	67,29	60,82	61,34
4	Maximální délka fronty	220,50	201,45	193,60	191,80
3	Průměrná délka fronty	111,67	92,49	64,29	59,77
3	Maximální délka fronty	248,00	221,65	194,30	186,85
2	Průměrná délka fronty	302,39	119,80	106,01	62,19
2	Maximální délka fronty	441,70	253,65	229,35	193,35

Situace na celé vychystávací ploše je vývojem podobná. U všech sledovaných charakteristik je pozorovatelný setrvalý pokles. V první fázi jsou rozdíly mezi čtyřmi a třemi pracovníky znatelné, ale ve druhé fázi už jsou si velmi podobné. Stav se dvěma pracovníky se

velmi těsně přiblíží až ve třetí fázi, kde jsou hodnoty srovnatelné a rozdíly mezi nimi statisticky nevýznamné, viz příloha 4.



Obrázek 29 – Graf - velikost fronty na vychystávací ploše v jednotlivých fázích vyjednávání o balení

Nakonec bude provedena analýza průměrného vytížení pracovníků, hodnoty výsledků jsou zachyceny v tabulce 21. V první fázi jsou v situaci se třemi zaměstnanci všichni využíváni téměř nepřetržitě a navíc je potřeba 0,35 dalšího člověka na výpomoc. Při čtyřech pracovnících v této fázi nebyla pomoc téměř zapotřebí. Ve druhé fázi klesne průměrné vytížení na 2,51 zaměstnance a pomocní pracovníci již v této fázi nejsou zapotřebí. Ve třetí fázi je situace stejná bez ohledu na počet trvale zaměstnaných pracovníků. Pomocní pracovníci již nejsou potřeba a ze stálých zaměstnanců je aktivních v průměru 1,70.

Tabulka 21 – Vytížení pracovníků v jednotlivých fázích vyjednávání o balení podle počtu pracovníků

Pracovníci	Fáze	0	1	2	3
4	Stalí pracovníci	3,86	3,33	2,52	1,70
4	Pomocní pracovníci	0,29	0,02	0,00	0,00
3	Stalí pracovníci	3,00	2,98	2,51	1,70
3	Pomocní pracovníci	1,17	0,35	0,00	0,00
2	Stalí pracovníci	2,00	2,00	2,00	1,70
2	Pomocní pracovníci	2,00	1,35	0,52	0,00

Zhodnocení

Lze předpokládat, že dodavatelé budou požadovat při změně obalů vyšší cenu. Otázkou je, jak velkou úsporu je možné očekávat od případné implementace opatření, a zda se to vůbec vyplatí. Z výše uvedeného vyplývá, že pokud se podaří úspěšně předjednat typy dodávaných obalů, projeví se to pozitivně v situaci na vychystávací ploše a přeneseně na chodu celého skladu. Především se sníží průměrná i maximální obsazenost vychystávací plochy, urychlí se tok materiálu a uvolní se vytěžování pomocných pracovníků. Vedle toho jsou ještě úspory technického charakteru jako náklady na obaly samotné nebo snížení nákladu na likvidaci původních obalů.

Co se týče zaměstnanců lze očekávat téměř úplné uvolnění pomocných pracovníků hned od první fáze. Podle výše prezentovaných výsledků snižování počtu zaměstnanců na plný úvazek povede sice podle některých ukazatelů ke zhoršení situace, ale zhoršení není nijak razantní. Pokud se vedení rozhodne snížit počet pracovních míst, bylo by na základě provedené analýzy vhodné provádět snižování postupně. V první fázi implementace zůstat se čtyřmi pracovníky, ve druhé fázi snížit počet pracovníků na tři a v poslední fázi snížit počet pracovníků na konečné dva. Tato varianta je zachycena také na obrázcích 28 a 29 v podobě tenké červené linky. Na grafu zachycujícím situaci ve frontě na balení je vidět, že zlepšování situace bude sice mírnější, než v situaci se čtyřmi pracovníky, ale i tak významné. V případě celé vychystávací plochy je vidět, že výsledky navrhovaného řešení jsou v podstatě totožné s výsledky experimentu se čtyřmi pracovníky.

Díky tomuto experimentu si lze lépe představit, jak se bude vyvíjet situace po změně množství baleného materiálu. Pomocí počítačové simulace byl získán dostatek informací pro správné rozhodnutí, zdali se vyplatí vyjednávat s dodavateli o změně balení a v jakém rozsahu.

4.3.4 JIT

Další experiment provedený pomocí simulace bude zaměřen na JIT. V současné době je dopravováno do skladu od externích dodavatelů přibližně 10 % zboží v režimu JIT. Cílem tohoto experimentu je zjistit, jak by se změnila situace, pokud by se toto procento zvýšilo. Sledována bude především situace na vychystávací ploše a vytížení manipulační techniky.

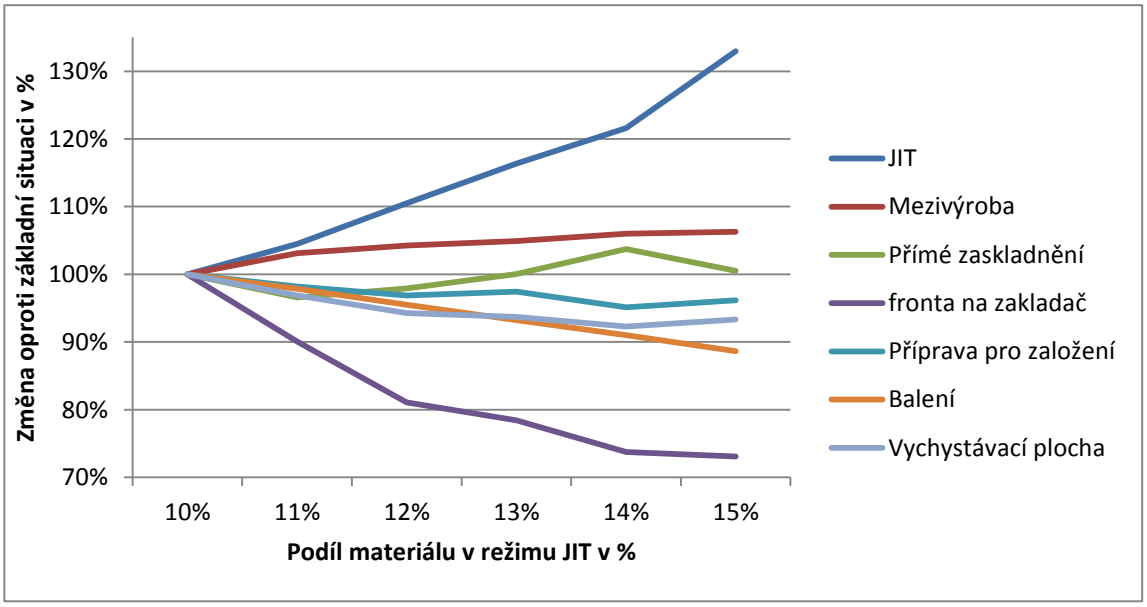
Lze očekávat dvě protichůdné tendence, a to jednak zvyšování počtu palet na vychystávací ploše, které směřují přímo do výroby (JIT) a jednak snižování počtu palet které směřují do skladu a do mezivýroby. Otázkou je, která z těchto tendencí převládne, a zda se bude obsazenost vychystávací plochy zvyšovat, či snižovat.

V tabulce 22 je vypsána průměrná velikost fronty v jednotlivých (fiktivních) částech vychystávací plochy.

Tabulka 22 – Průměrný počet palet v jednotlivých (fiktivních) částech vychystávací plochy

Průměrná délka fronty	10 %	11 %	12 %	13 %	14 %	15 %
JIT	16,51	17,25	18,24	19,22	20,08	21,96
Mezivýroba	0,71	0,73	0,74	0,74	0,75	0,75
Přímé zaskladnění	1,02	0,98	1,00	1,02	1,05	1,02
fronta na zakladač	25,60	23,06	20,75	20,08	18,89	18,72
Příprava pro založení	5,92	5,81	5,73	5,77	5,63	5,69
Balení	36,10	35,33	34,49	33,65	32,85	32,01
Vychystávací plocha	**85,86**	**83,17**	**80,95**	**80,47**	**79,25**	**80,14**

Na obrázku 30 je graf kde na ose x je podíl materiálu v režimu JIT a na ose y procentuální změna průměrné délky fronty oproti základní situaci. V grafu je zachyceno, jak se bude podle experimentu vyvíjet změna průměrné délky fronty v jednotlivých částech vychystávací plochy.



Obrázek 30 - Graf - relativní přírůstek průměrné délky fronty v jednotlivých částech vychystávací plochy

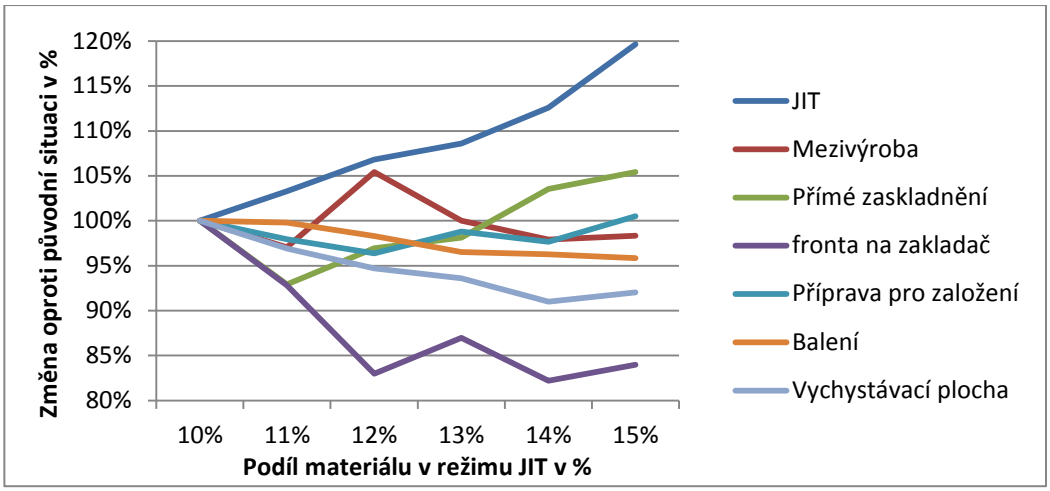
Z tabulky a grafu je patrné, že se potvrdilo očekávání, a že počet palet jdoucích přímo do výroby na vychystávací ploše (JIT) opravdu roste. Dále se potvrdilo, že došlo ke snížení některých ostatních front, a to především v přípravě pro založení a ve frontě na balení. Celkově na vychystávací ploše bylo také dosaženo snížení, patrně způsobené především snížením fronty „příprava k založení“. Toto snižování platí do 14 % materiálu v režimu JIT poté začíná převládat trend růstu celkové průměrné obsazenosti. Oproti očekávání se statisticky významně zvyšuje průměrná velikost fronty výrobků směřujících do mezivýroby. To je patrně způsobeno vyšším vytížením VZV a NZV v oblasti přesunu do výroby a tím i v mezivýrobě.

Tabulka 23 a obrázek 31 popisují maximální obsazenost jednotlivých částí vychystávací plochy. Zde je situace o něco komplikovanější. Podle očekávání i zde maximální fronta do výroby (JIT) vzrostla, ale u ostatních částí vychystávací plochy již není pozorovatelný jednoznačný trend.

Tabulka 23 – Maximální počet palet v jednotlivých (fiktivních) částech vychystávací plochy

Maximální délka fronty	10 %	11 %	12 %	13 %	14 %	15 %
JIT	76,3	78,8	81,5	82,85	85,9	91,3
Mezivýroba	11,95	11,6	12,6	11,95	11,7	11,75
Přímé zaskladnění	21,2	19,7	20,55	20,8	21,95	22,35
Fronta na zakladač	95,45	88,6	79,2	83	78,45	80,15
Příprava pro založení	57,95	56,75	55,85	57,25	56,6	58,25
Balení	96,55	96,35	94,9	93,2	92,95	92,55
Vychystávací plocha	**220,5**	**213,7**	**208,8**	**206,35**	**200,65**	**202,9**

Celkově se na vychystávací ploše maximální délka fronty snižuje až do podílu 14 % materiálu v režimu JIT. Při podílu 15 % tato statistika mírně, ale statisticky významně vzroste.



Obrázek 31 - Graf - relativní přírůstek průměrné délky fronty v jednotlivých částech vychystávací plochy

Nakonec bude analyzováno využívání manipulační techniky. V tabulce 24 je procentuální využití jednotlivých typů manipulační techniky. Rozdíly ve vytížení nejsou nijak překvapivé ani výrazné. Rozdíly mezi vytížením VZV a NZV, které vykonávají převoz do výroby (JIT) se zvýšily, u zakladače a paletového vozíku bylo zaznamenáno mírné snížení.

Tabulka 24 – Vytížení manipulační techniky podle podílu materiálu v režimu JIT

Využití manipulační techniky v %	10 %	11 %	12 %	13 %	14 %	15 %
NZV	92,8	93,0	93,5	93,8	94,3	94,8
Paletový vozík	66,1	65,9	65,7	65,2	64,8	64,5
VZV	89,4	89,5	89,7	90,0	90,3	90,3
Zakladač	76,9	76,3	75,9	75,6	75,4	74,9

Nárůst průměrné i maximální délky fronty JIT je poměrně značný, proto bude ještě simulována situace s přidáním jednoho NZV na celkový počet 5. V tabulce 25 jsou získané hodnoty.

Tabulka 25 - Sledované ukazatele s přidáním jednoho NZV podle podílu materiálu v režimu JIT

	10 %	11 %	12 %	13 %	14 %	15 %
Vytížení NZV v %	86,6	87,0	87,5	88,0	88,4	88,8
Průměrná délka fronty - JIT	0,50	0,47	0,49	0,48	0,51	0,53
Maximální délka fronty - JIT	10,10	9,70	9,95	10,25	9,90	10,90
Průměrná délka fronty - VP	82,81	80,20	77,96	75,48	74,44	73,59
Maximální délka fronty - VP	216,95	211,20	206,35	200,05	199,15	199,55

Zlepšení vytížení NZV se pohybuje okolo 6 procentních bodů oproti situaci se čtyřmi NZV. Průměrná délka fronty se výrazně zlepšila, zatímco v situaci se čtyřmi NZV to bylo 16,5 až 22,0 paletových míst, s pěti NZV se pohybuje okolo 0,5 palety. Vliv na obsazenost celé vychystávací plochy už není tak výrazný, ale stále je statisticky významný.

Zhodnocení

Z provedené analýzy vyplývá, že při postupném zvyšování podílu materiálu v režimu JIT se průměrný počet palet umístěných na vychystávací ploše snižuje až do 14 % podílu. V této části převládl trend snižování délky front v oblasti materiálu jdoucím v klasickém režimu, především balení a příprava k založení. Od 15 % materiálu v režimu JIT je celkově na vychystávací ploše patrný nárůst, a to jak průměrné, tak maximální délky fronty.

Průměrný počet palet čekajících na přímý odvoz do výroby v režimu JIT podle očekávání vzroste. Tento nárůst je ale možné odbourat přidáním jednoho NZV do systému, čímž by se sledovaný ukazatel snížil téměř na nulu a navíc by se mírně zlepšila i celková obsazenost vychystávací plochy.

4.3.5 Kombinace experimentů

Na závěr budou zhodnoceny vybrané scénáře všech experimentů současně. Z prvního experimentu bylo jako nejvhodnější řešení navrhnuto přidání jednoho VZV. Druhý experiment zobrazoval situaci po přechodu na elektronický kanban. Třetí experiment se zabýval postupným snižováním materiálu, u kterého je nutné přebalování a současně i snižování počtu pracovníků. Ve třetím experimentu byl postupně zvyšován podíl zboží přicházejícím v režimu JIT.

V následujících tabulkách jsou hodnoty postupné implementace těchto opatření. V 1. kroku je přidán 1 VZV a kanban přejde na elektronický systém předávání „karet“. Ve druhém kroku nastává situace, kdy je snížen podíl materiálu nutného k balení o 40 % a je ubrán jeden pracovník a v režimu JIT přichází 13 % externího zboží. Ve třetím kroku jsou všechny experimenty v poslední představené fázi.

Předpokládá se, že po přidání jednoho VZV by ostatní experimenty neměly mít významný vliv na dobu, po kterou čekají nákladní vozy na to, než se dostanou k vykládce. Tento předpoklad bude prověřen v tabulce 26.

Tabulka 26 - Podíl nákladních vozů čekajících ve frontě na vykládku méně než 20 minut v jednotlivých krocích v %

Krok	-95 %	Průměr	95 %
1	91,75	92,55	93,34
2	91,46	92,27	93,08
3	91,43	92,11	92,78

Z tabulky vyplývá, že průměrný podíl kamionů čekajících méně než 20 minut je ve všech případech přes 92 % a je zde pozorovatelný v jednotlivých krocích mírný pokles. Tento pokles však není statisticky významný a ve všech krocích je vysoce překročena hranice 90 %.

Nyní je nutné zjistit, jestli se změní situace v regálech, tedy jestli ostatní opatření ovlivní elektronický kanban.

Tabulka 27 - Sledované ukazatele situace v hlavním regálovém skladu v jednotlivých krocích

Krok	1	2	3
Maximální počet požadavků - horní regál	24,65	21,65	22,05
Průměrný počet požadavků - horní regál	4,74	4,20	4,09
Maximální počet požadavků - dolní regál	9,10	9,05	9,25
Průměrný počet požadavků - dolní regál	0,71	0,64	0,70

V tabulce 27 v prvním sloupci jsou hodnoty zavedení e-kanbanu a přidání 1 VZV. Ostatní opatření se v tomto kroku ještě neprojevily. Při porovnání s tabulkou 13 je vidět, že situace se s přidáním 1 VZV zlepšila, tato opatření tedy budou mít vliv i na pickovací regály. V dalším kroku implementace je pozorovatelné zlepšení především u maximálního počtu požadavků v horním pickovacím regále, ostatní charakteristiky vykazují nižší, i když stále statisticky významné změny. Ve třetím kroku dojde ve většině sledovaných statistik ke zhoršení oproti druhému kroku. Tato změna však není ve většině případů statisticky významná.

Dále budou zhodnoceny výsledky využívání manipulační techniky. Z tabulky 28 plyne, že zde nedochází k příliš výrazným změnám. Vytížení zakladače mírně klesá, jedině NZV zaznamená výraznější zvýšení vytížení. V experimentu se zvyšováním podílu materiálu v režimu JIT vzrostlo vytížení NZV až na 94,8 % viz tabulka 24 a oproti této situaci se jedná i u NZV o zlepšení.

Tabulka 28 - Vytížení zdrojů v jednotlivých krocích

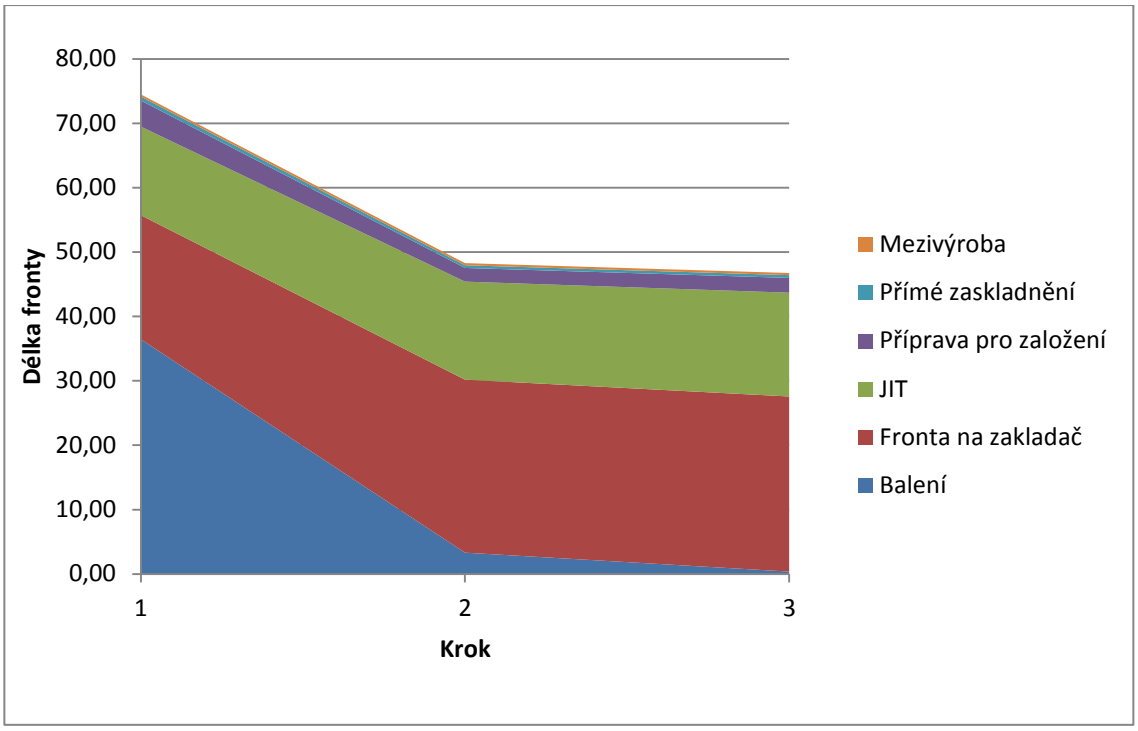
	1	2	3
NZV	88,6	90,6	91,6
Paletový vozík	64,0	65,2	64,6
VZV	81,9	81,5	81,8
Zakladač	76,8	75,7	74,9
Nákladní vůz	68,0	68,5	68,7

Nakonec bude analyzována situace na vychystávací ploše. V tabulce 29 jsou hodnoty průměrného počtu palet v jednotlivých částech vychystávací plochy a na obrázku 32 graf kde je zachycen vývoj, kdy na ose y je kumulovaný součet průměrů v jednotlivých částech skladu a na ose x jednotlivé kroky implementace opatření.

Tabulka 29 - Průměrný počet palet ve všech částech vychystávací plochy v jednotlivých krocích v %

	1	2	3
Balení	36,45	3,32	0,38
Fronta na zakladač	19,27	26,87	27,19
JIT	13,76	15,23	16,12
Příprava pro založení	4,05	2,12	2,29
Přímé zaskladnění	0,61	0,42	0,43
Mezivýroba	0,33	0,33	0,33
Vychystávací plocha	**75,48**	**50,28**	**49,75**

V prvním kroku je nejvíce palet na vychystávací ploše určeno k balení. V druhém a třetím kroku tento podíl ale výrazně klesne a nejvíce prostoru je vyhrazeno paletám čekajícím na zakladač. Další významný podíl mají palety s materiálem v režimu JIT, zde je pozorovatelný mírný nárůst. Dále následují s velkým odstupem palety připravované k založení. Průměrný počet palet ve zbylých dvou částech je téměř nulový. Celkově je na vychystávací ploše pozorováno výrazné snížení obsazenosti především v druhém kroku, které je způsobeno nejvíce zkrácením průměrné délky fronty palet připravených k balení. Ve třetím kroku je pozorovatelný mírný, ale stále statisticky významný pokles.



Obrázek 32 - Graf - průměrná délky fronty v částech vychystávací plochy v jednotlivých krocích

5 ZÁVĚR

Sklad výrobního podniku je velmi živý a proměnlivý systém. Operativní plánování a řešení nečekaných situací je zde na denním pořádku a je zřejmé, že do simulace nelze zakomponovat každodenní rozhodování pracovníků, které na chod systému jednoznačně vliv má. Částečně lze tuto skutečnost zanést do modelu pomocí snížení variability některých vstupních faktorů. Pracovníci skladu jsou svými rozhodnutími schopni řešit extrémní situace, které ve skladu nastávají a tím sníží jejich dopad na další články řetězce v systému. I to je ovšem pouze zjednodušením skutečnosti a každé zjednodušení může přinést zkreslení výsledků.

Nabízí se tedy otázka, je-li počítačová simulace vhodným prostředkem pro zkoumání takového systému. V této práci se podařilo ukázat, že i přes značné zjednodušení je možné vystihnout podstatu všech důležitých procesů v systému a dojít k uspokojivým výsledkům. Je nutné také zdůraznit, že metod, které by byly schopné zachytit podstatu takto složitého systému, není mnoho. Analytickým způsobem by bylo možné zkoumat některé části systému, ale ne celý systém jako celek, včetně stochastických vlivů. Právě z důvodu vysoké provázanosti jednotlivých procesů byla počítačová simulace v tomto nejvhodnější metodou zkoumání a popisu skutečného systému.

Cílem práce bylo vytvořit model odpovídající realitě a provést na něm sérii experimentů. Některé experimenty měli za cíl odhalit dopad změn v budoucích nebo hypotetických situacích a navržení řešení jak na změny reagovat, nebo jak se na ně připravit. V práci byla celkem čtyři témata, kterých se experimenty týkali:

1. **Navržení změny, která zajistí kratší čekání nákladních vozů na vyložení**

V tomto experimentu měla dát počítačová simulace odpověď na to, jak zvýšit podíl nákladních vozů, které čekají na volnou vykládací rampu méně než 20 minut nad 90 %. Byla provedena série experimentů, ve kterých se sledovala tato skutečnost, ale i vliv změn na chod celého skladu. Vzhledem k výsledkům experimentů bylo doporučeno najmout navíc jeden VZV, čímž je dosaženo potřebného zlepšení.

2. **Přechod na elektronický kanbanový systém**

Cílem tohoto experimentu bylo odhalit, jak se změní situace v hlavním regálovém skladu, pokud by se přešlo z klasického kanbanového systému na systém elektronický a jestli nedojde k ohrožení plynulého chodu skladu. Pomocí experimentu bylo zjištěno, že se sledované ukazatele nezhorší, v některých případech došlo dokonce k mírnému zlepšení situace.

3. **Změny v množství baleného materiálu**

Třetí experiment se týkal balení materiálu na vychystávací ploše. Cílem bylo zjistit, jak se bude vyvíjet situace v oddělení balení i na celé vychystávací ploše, když se bude postupně snižovat podíl materiálu, který je nutno balit. Pomocí experimentu bylo zjištěno, jakým způsobem se stav ve sledovaných částech skladu zlepší a tím byla nabídnuta lepší pozice v rozhodování, do jaké míry podíl baleného zboží snížit. V práci byla též analyzována situace stavu pracovníků a bylo zjištěno, jestli a kdy je vhodné počet pracovníků zabývajících se balením snižovat.

4. **Změny v podílu materiálu doručovaného v režimu JIT**

Cílem tohoto experiment bylo zjistit, jestli se při zvýšení podílu materiálu doručovaného v režimu JIT průměrný počet palet na vychystávací ploše sníží nebo zvýší. Dle předpokladu byly v experimentu pozorovány dva protichůdné trendy a bylo zjištěno, že celkově bude mít snížení podílu na obsazenost vychystávací plochy pozitivní dopad a průměrný počet palet umístěných na ní se bude snižovat.

Ze všech čtyř experimentů byly získány statisticky významné výsledky, ze kterých bylo možné vytvořit závěry, které jsou užitečné k učinění správného rozhodnutí ve skutečném systému. Všechny cíle je tedy možno považovat za splněné.

Zdroje:

[1] DLOUHÝ, M. -- FÁBRY, J. -- KUNCOVÁ, M. -- HLADÍK, T. *Simulace podnikových procesů*. 2. vyd. Brno: Computer Press, 2011. 206 s. ISBN 978-80-251-3449-8.

[2] HAUGE, W. *Learning SIMUL8: the complete guide*. 2nd ed. Bellingham: PlainVu, 2004. ISBN 0970938438.

[3] JIRSÁK, P. -- MERVART, M. – VINŠ, M. *Logistika pro ekonomy - vstupní logistika*. Vyd. 1. Praha: Wolters Kluwer Česká republika, 2012, 263 s. ISBN 978-80-7357-958-6.

[4] PEGDEN, C. -- SHANNON R. – SADOWSKI, R. *Introduction to simulation using SIMAN*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1995, xxiii, 600 p. ISBN 0070493200.

[5] PERNICA, P.. *Logistika pro 21. století: (Supply chain management)*. Vyd. 1. Praha: Radix, 2005, 3 sv. ISBN 80-86031-59-4.

Internetové zdroje:

http://www.jungheinrich.cz/produkty

Seznam použitých zkratek:

JIT – just in time

JIS – just in sequence

VP – Vychystávací plocha

VZV – vysokozdvižný vozík

NZV – nízkozdvižný vozík

FIFO – first in first out

FEFO – first expire first out

LIFO – last in first out

Seznam obrázků:

Obrázek 1 - Postup vytváření simulačního modelu 5

Obrázek 2 - Validizace, verifikace 7

Obrázek 3 - Klasický paletový regál 15

Obrázek 4 - Spádový paletový regál 15

Obrázek 5 - Paletový vozík 16

Obrázek 6 - Nízkozdvižné vozíky 17

Obrázek 7 - Vysokozdvižné vozíky; retrak (vpravo) 18

Obrázek 8 - Vychystávací vozíky - man-up (vlevo) man-down (vpravo) 19

Obrázek 9 - Struktura simulačního modelu 21

Obrázek 10 - Zásobování ze starého závodu - simulační model 22

Obrázek 11 - Zásobování ze skladu venkov - simulační model 22

Obrázek 12 - Zásobování externími dodavateli - simulační model 23

Obrázek 13 - Vykládka - simulační model 24

Obrázek 14 - JIT - simulační model 25

Obrázek 15 - Mezivýroba - simulační model 26

Obrázek 16 - Balení - simulační model 27

Obrázek 17 - Přímé zaskladnění - simulační model 27

Obrázek 18 - Příprava k založení - simulační model 28

Obrázek 19 - Hlavní regálový sklad 29

Obrázek 20 - Skladový regál - simulační model 30

Obrázek 21 - Horní pickovací regál - simulační model 31

Obrázek 22 - Spodní pickovací regál - simulační model 31

Obrázek 23 - Výroba - simulační model 33

Obrázek 24 - Schéma cest nákladních vozů 36

Obrázek 25 - Graf - obsazenost vychystávací plochy v čase.....38

Obrázek 26 - Graf - počet požadavků v horním pickovacím regále v čase 40

Obrázek 27 - Graf - porovnání variant simulačního experimentu 46

Obrázek 28 – Graf - Velikost fronty na balení v jednotlivých fázích vyjednávání o balení 52

Obrázek 29 – Graf - velikost fronty na vychystávací ploše v jednotlivých fázích vyjednávání obalení.....53

Obrázek 30 - Graf - relativní přírůstek průměrné délky fronty v jednotlivých částech vychystávací plochy.....55

Obrázek 31 - Graf - relativní přírůstek průměrné délky fronty v jednotlivých částech vychystávací plochy.....57

Obrázek 32 - Graf - průměrná délky fronty v částech vychystávací plochy v jednotlivých krocích 61

Seznam tabulek:

Tabulka 1 - Trvání vykládky jedné palety v závislosti na rampě 24

Tabulka 2 - Priority manipulační techniky 34

Tabulka 3 - Průměrné vytížení zdrojů v základní části simulace 37

Tabulka 4 - Průměrný a maximální počet palet na vychystávací ploše.....38

Tabulka 5 - Průměrné a maximální délky front; Průměrné a maximální časy čekání v jednotlivých částech podniku.....39

Tabulka 6 – Průměrný a maximální počet požadavků v pickovacích regálech.....39

Tabulka 7 - Hodnoty sledovaných výstupů pro různý počet VZV 41

Tabulka 8 - Hodnoty sledovaných výstupů pro různý počet vykládacích ramp.....42

Tabulka 9 - Hodnoty sledovaných výstupů při zákazu některých činností VZV a nahrazení jinou manipulační technikou.....43

Tabulka 10 - Hodnoty sledovaných výstupů při zákazu některých činností VZV a nahrazení jinou manipulační technikou ve frontách na mezivýrobu a přípravu k zaskladnění.....44

Tabulka 11 - Hodnoty sledovaných výstupů při zákazu některých činností VZV, otevření 4. rampy a nahrazení jinou manipulační technikou 45

Tabulka 12 - Hodnoty sledovaných výstupů při zákazu některých činností VZV, otevření 4. rampy a nahrazení jinou manipulační technikou ve frontách na mezivýrobu a přípravu k zaskladnění.....45

Tabulka 13 - Kartový a elektronický kanban - počet požadavků v pickovacích regálech 47

Tabulka 14 - Průměrné procentuální vytížení zakladače.....48

Tabulka 15 - Vytížení manipulační techniky v jednotlivých fázích vyjednávání o balení.....49

Tabulka 16 – Fronta na balení v jednotlivých fázích vyjednávání o balení 49

Tabulka 17 – Fronta u zakladače a na VP v jednotlivých fázích vyjednávání o balení 50

Tabulka 18 – Vytížení pracovníků v jednotlivých fázích vyjednávání o balení 50

Tabulka 19 - Fronta na balení v jednotlivých fázích vyjednávání o balení podle počtu pracovníků 51

Tabulka 20 - Fronta na VP v jednotlivých fázích vyjednávání o balení podle počtu pracovníků 52

Tabulka 21 – Vytížení pracovníků v jednotlivých fázích vyjednávání o balení podle počtu pracovníků 53

Tabulka 22 – Průměrný počet palet v jednotlivých (fiktivních) částech vychystávací plochy 55

Tabulka 23 – Maximální počet palet v jednotlivých (fiktivních) částech vychystávací plochy 56

Tabulka 24 – Vytížení manipulační techniky podle podílu materiálu v režimu JIT 57

Tabulka 25 - Sledované ukazatele s přidáním jednoho NZV podle podílu materiálu v režimu JIT 57

Tabulka 26 - Podíl nákladních vozů čekajících ve frontě na vykládku méně než 20 minut v jednotlivých krocích v % 59

Tabulka 27 - Sledované ukazatele situace v hlavním regálovém skladu v jednotlivých krocích 59

Tabulka 28 - Vytížení zdrojů v jednotlivých krocích 60

Tabulka 29 - Průměrný počet palet ve všech částech vychystávací plochy v jednotlivých krocích v % 60

Seznam příloh:

Příloha 1 - Průměrné vytížení zdrojů v základní části simulace včetně intervalů spolehlivosti (tabulka 4) 69

Příloha 2 - Průměrné a maximální délky front; Průměrné a maximální časy čekání v jednotlivých částech podniku včetně intervalů spolehlivosti (tabulka 5) 69

Příloha 3 - Hodnoty sledovaných výstupů při zákazu některých činností VZV a nahrazení jinou manipulační technikou včetně intervalů spolehlivosti (tabulka 9 až 12).....70

Příloha 4 – Sledované ukazatele v jednotlivých fázích vyjednávání o balení včetně intervalů spolehlivosti (tabulka 15 až 21) 71

Příloha 5 – Délky fronty v jednotlivých (fiktivních) částech vychystávací plochy; vytížení manipulační techniky podle podílu materiálu režimu JIT (tabulka 22 až 24) 72

Příloha 6 - Sledované ukazatele s přidáním jednoho NZV podle podílu materiálu v režimu JIT včetně intervalů spolehlivosti (tabulka 25) 73

Příloha 7 – Kombinace experimentů v jednotlivých krocích včetně intervalů spolehlivosti (tabulka 27 až 29) 73

PŘÍLOHY

	Průměrná délka fronty			Maximální délka fronty		
Průměrná délka fronty	-95 %	Průměr	95 %	-95 %	Průměr	95 %
JIT	15,19	16,51	17,93	69,86	76,30	83,74
Mezivýroba	0,68	0,71	0,74	11,21	11,95	12,69
Přímé zaskladnění	0,94	1,02	1,10	18,97	21,20	23,53
Příprava pro založení	5,62	5,92	6,25	54,26	57,95	61,74
Fronta na zakladač	21,46	25,60	29,79	81,40	95,45	110,30
Balení	34,25	36,10	37,89	90,95	96,55	101,35
Vychystávací plocha	**81,07**	**85,86**	**90,75**	**209,10**	**220,50**	**234,00**

Příloha 1 - Průměrné vytížení zdrojů v základní části simulace včetně intervalů spolehlivosti (tabulka 4)

		-95 %	Průměr	+95 %
Starý závod	Průměrná délka fronty	0,06	0,06	0,07
Starý závod	Maximální délka fronty	1,00	1,00	1,00
Starý závod	Průměrný čas čekání	10,33	11,48	12,66
Starý závod	Maximální čas čekání	54,80	62,35	69,81
Sklad Venkov	Průměrná délka fronty	0,04	0,04	0,05
Sklad Venkov	Maximální délka fronty	1,00	1,00	1,00
Sklad Venkov	Průměrný čas čekání	9,77	11,25	12,49
Sklad Venkov	Maximální čas čekání	46,94	52,33	56,78
Vykládka	Průměrná délka fronty	0,31	0,32	0,34
Vykládka	Maximální délka fronty	3,12	3,35	3,58
Vykládka	Průměrný čas čekání	9,30	9,88	10,38
Vykládka	Maximální čas čekání	57,38	63,25	68,50

Příloha 2 - Průměrné a maximální délky front; Průměrné a maximální časy čekání v jednotlivých částech podniku včetně intervalů spolehlivosti (tabulka 5)

				Zákaz VZV provádění určitých činností											
3 otevřené rampy							+3 pal			+3 NZV			+3 NZV +3 pal		
	-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %	-99 %	Průměr	99 %	-95 %	Průměr	+95 %
Využití NZV v%	91,8	92,8	93,7	98,0	98,4	98,9	96,9	97,6	98,2	80,6	81,4	82,2	78,9	79,6	80,3
Využití pal v%	65,5	66,1	66,7	78,5	79,3	80,0	57,4	57,8	58,3	65,3	66,0	66,8	49,8	50,2	50,6
Využití VZV v %	89,0	89,4	89,9	82,7	83,1	83,5	81,9	82,3	82,7	77,8	78,2	78,6	77,3	77,7	78,0
Maximální délka fronty	3,04	3,35	3,66	2,96	3,10	3,24	3,04	3,25	3,46	2,70	1,20	3,20	2,95	3,05	3,15
Průměrný čas čekání	9,16	9,88	10,61	7,59	8,14	8,68	7,33	7,95	8,56	6,37	6,77	7,17	6,12	6,54	6,96
Maximální čas čekání	55,84	63,25	70,66	53,29	57,10	60,90	55,89	59,17	62,45	47,40	51,65	55,91	49,45	52,35	55,26
% čekajících méně než 20 min	77,05	78,72	80,39	81,41	82,75	84,09	81,47	83,32	85,16	84,96	86,10	87,24	85,19	86,32	87,45
Průměrná délka fronty – mezivýroby	5,48	5,92	6,35	26,60	27,64	28,68	21,95	22,56	23,17	22,31	23,11	23,90	20,87	21,44	22,01
Maximální délka fronty – mezivýroby	52,82	57,95	63,08	112,17	116,05	119,93	112,51	116,15	119,79	108,47	113,55	118,63	109,54	113,45	117,36
Průměrná délka fronty – zakladač	0,66	0,71	0,75	6,91	7,81	8,71	6,56	7,66	8,75	2,66	2,90	3,15	2,71	2,91	3,10
Maximální délka fronty – zakladač	10,94	11,95	12,96	26,34	31,85	37,36	27,02	33,10	39,18	13,12	14,70	16,28	13,20	14,65	16,10
4 otevřené rampy	-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %	-99 %	Průměr	99 %	-95 %	Průměr	+95 %
Využití NZV	93,2	94,4	95,7	99,1	99,5	99,9	98,4	99,0	99,6	81,8	82,5	83,1	80,0	80,7	81,4
Využití pal	66,9	67,6	68,2	80,6	81,4	82,2	58,4	58,9	59,5	66,1	66,6	67,2	49,9	50,3	50,6
Využití VZV	90,7	91,3	91,8	84,5	84,9	85,4	83,7	84,1	84,5	80,3	80,7	81,1	79,5	79,9	80,2
Maximální délka fronty	2,90	3,10	3,30	2,85	3,00	3,15	2,62	2,85	3,08	2,61	2,80	2,99	2,54	2,75	2,96
Průměrný čas čekání	6,87	7,48	8,08	5,95	6,44	6,93	5,65	6,18	6,70	5,16	5,50	5,84	4,48	4,84	5,20
Maximální čas čekání	51,73	58,93	66,12	50,03	53,90	57,76	51,02	54,76	58,50	49,05	51,94	54,84	46,67	50,47	54,27
% čekajících méně než 20 min	84,3	85,7	87,2	87,2	88,4	89,6	87,4	88,7	90,0	88,6	89,4	90,1	90,1	91,2	92,2
Průměrná délka fronty – mezivýroba	5,91	6,46	7,02	27,47	28,65	29,83	22,08	22,82	23,55	22,72	23,36	24,00	20,73	21,33	21,94
Maximální délka fronty – mezivýroby	52,58	60,55	68,52	111,11	115,60	120,09	109,15	113,55	117,95	110,52	114,30	118,08	109,49	113,50	117,51
Průměrná délka fronty – zakladač	0,98	1,07	1,16	9,77	11,34	12,91	9,23	10,82	12,41	2,75	2,93	3,11	2,66	2,86	3,07
Maximální délka fronty – zakladač	13,31	14,35	15,39	37,02	43,50	49,98	34,99	41,15	47,31	13,58	14,70	15,82	13,67	14,60	15,53

Příloha 3 - Hodnoty sledovaných výstupů při zákazu některých činností VZV a nahrazení jinou manipulační technikou včetně intervalů spolehlivosti (tabulka 9 až 12)

	Fáze	0			1			2			3		
Pracovníci	Charakteristika	-99 %	Prům.	99 %	-99 %	Prům.	99 %	-99 %	Prům.	99 %	-99 %	Prům.	99 %
4	NZV v %	91,80	92,80	93,70	91,80	92,80	93,90	92,60	93,50	94,40	92,90	93,70	94,50
4	Paletový vozík v %	65,50	66,10	66,70	66,10	66,90	67,70	67,10	67,90	68,80	67,00	67,90	68,80
4	VZV v %	89,00	89,40	89,90	88,30	88,90	89,60	87,90	88,40	89,00	87,70	88,30	88,90
4	Průměrná délka fronty - balení	33,62	36,10	38,59	14,29	16,49	18,69	2,94	3,72	4,5	0,36	0,43	0,5
4	Maximální délka fronty - balení	89,4	96,55	103,7	62,46	68,65	74,84	23,23	28,54	33,86	8,67	10,32	11,96
4	Průměrný čas čekání - balení	124,48	130,26	136,49	65,62	73,35	81,09	16,6	20,15	23,7	3,23	3,66	4,09
4	Maximální čas čekání - balení	274,37	276,76	279,15	225,45	243,56	261,68	85,16	104,08	123,01	31,67	37,4	43,13
4	% čekajících méně než 10 min	4,50	5,90	7,40	10,50	12,60	14,80	40,30	44,80	49,20	84,20	86,20	88,10
4	Zakladač - Průměrný čas čekání	16,6	17,72	18,87	12,71	14,3	15,89	11,3	12,43	13,57	11,74	13,12	14,5
4	Průměrná délka fronty - VP	79,2	85,86	92,49	60,86	67,29	73,72	55,13	60,82	66,51	54,8	61,34	67,9
4	Maximální délka fronty - VP	203,4	220,5	237,58	185,41	201,45	217,49	181,47	193,6	205,73	177,91	191,8	205,7
4	Průměrné vytížení pracovníků	3,82	3,86	3,89	3,25	3,33	3,41	2,44	2,52	2,59	1,66	1,7	1,74
4	Průměrné vytížení pomoc. pracovníků	0,22	0,29	0,37	0	0,02	0,03	0	0	0	0	0	0
3	Průměrná délka fronty - balení	60,15	62,88	65,62	42,27	45,00	47,74	11,45	13,75	16,05	1,40	1,71	2,02
3	Maximální délka fronty - balení	122,95	130,70	138,45	87,38	93,65	99,92	48,08	56,05	64,38	14,29	19,00	23,71
3	Průměrná délka fronty - VP	106,77	111,67	116,57	86,78	92,49	98,21	59,19	64,29	69,40	55,56	59,77	63,98
3	Maximální délka fronty - VP	237,51	248	258,49	209,32	221,65	233,98	182,94	194,30	205,66	176,02	186,85	197,68
3	Průměrné vytížení pracovníků	3,00	3,00	3,00	2,97	2,98	3,00	2,44	2,51	2,58	1,65	1,70	1,74
3	Průměrné vytížení pomoc. pracovníků	1,10	1,17	1,24	0,27	0,35	0,43	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
2	Průměrná délka fronty - balení	217,93	257,65	297,37	68,26	71,11	73,96	56,13	57,33	58,54	8,99	10,70	12,41
2	Maximální délka fronty - balení	307,22	356,10	404,98	118,11	127,20	136,29	86,44	91,80	97,16	34,80	42,25	49,70
2	Průměrná délka fronty - VP	263,54	302,39	341,24	114,29	119,80	125,31	100,54	106,01	111,49	56,53	62,19	67,86
2	Maximální délka fronty - VP	395,15	441,70	488,25	236,17	253,65	271,13	213,93	229,35	244,77	181,49	193,35	205,21
2	Průměrné vytížení pracovníků	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,65	1,70	1,74
2	Průměrné vytížení pomoc. pracovníků	2,00	2,00	2,00	1,26	1,35	1,44	0,45	0,52	0,59	0,00	0,00	0,00

Příloha 4 – Sledované ukazatele v jednotlivých fázích vyjednávání o balení včetně intervalů spolehlivosti (tabulka 15 až 21)

	10 %			11 %			12 %			13 %			14 %			15 %		
Průměrná délka fronty	-95 %	Prům.	+95 %	-95 %	Prům.	+95 %	-95 %	Prům.	+95 %	-95 %	Prům.	+95 %	-95 %	Prům.	+95 %	-95 %	Prům.	+95 %
JIT	14,62	16,51	18,41	15,93	17,25	18,57	16,78	18,24	19,70	17,67	19,22	20,76	18,06	20,08	22,10	19,72	21,96	24,20
Mezivýroba	0,66	0,71	0,75	0,69	0,73	0,77	0,67	0,74	0,80	0,69	0,74	0,79	0,70	0,75	0,80	0,69	0,75	0,81
Přímé zaskladnění	0,91	1,02	1,13	0,92	0,98	1,04	0,91	1,00	1,08	0,94	1,02	1,09	0,98	1,05	1,13	0,94	1,02	1,10
Fronta na zakladač	19,91	25,60	31,30	19,89	23,06	26,24	18,92	20,75	22,59	18,45	20,08	21,71	17,05	18,89	20,72	17,18	18,72	20,25
Příprava k založení	5,48	5,92	6,35	5,55	5,81	6,07	5,43	5,73	6,04	5,45	5,77	6,08	5,37	5,63	5,88	5,30	5,69	6,08
Balení	33,62	36,10	38,59	33,40	35,33	37,26	32,58	34,49	36,39	31,75	33,65	35,55	30,70	32,85	35,01	30,06	32,01	33,95
Vychystávací plocha	**79,24**	**85,86**	**92,49**	**79,24**	**83,17**	**87,10**	**77,62**	**80,95**	**84,28**	**77,29**	**80,47**	**83,66**	**75,72**	**79,25**	**82,78**	**76,47**	**80,14**	**83,82**
Maximální délka fronty	-95 %	Prům.	+95 %	-95 %	Prům.	+95 %	-95 %	Prům.	+95 %	-95 %	Prům.	+95 %	-95 %	Prům.	+95 %	-95 %	Prům.	+95 %
JIT	66,71	76,30	85,89	71,58	78,80	86,02	74,09	81,50	88,91	74,70	82,85	91,00	75,83	85,90	95,97	79,06	91,30	103,54
Mezivýroba	10,94	11,95	12,96	10,87	11,60	12,33	11,26	12,60	13,94	10,93	11,95	12,97	10,85	11,70	12,55	10,93	11,75	12,57
Přímé zaskladnění	18,06	21,20	24,34	18,17	19,70	21,23	18,67	20,55	22,43	18,87	20,80	22,73	20,12	21,95	23,78	20,18	22,35	24,52
Fronta na zakladač	75,65	95,45	115,25	79,52	88,60	97,68	73,91	79,20	84,49	76,20	83,00	89,80	71,59	78,45	85,31	72,16	80,15	88,14
Příprava k založení	52,82	57,95	63,08	53,04	56,75	60,46	52,29	55,85	59,41	53,26	57,25	61,24	52,97	56,60	60,23	52,35	58,25	64,15
Balení	89,40	96,55	103,70	90,16	96,35	102,54	89,72	94,90	100,08	88,39	93,20	98,01	88,59	92,95	97,31	88,46	92,55	96,64
Vychystávací plocha	**203,42**	**220,50**	**237,58**	**205,30**	**213,70**	**222,10**	**200,76**	**208,80**	**216,84**	**199,36**	**206,35**	**213,34**	**192,18**	**200,65**	**209,12**	**192,76**	**202,90**	**213,04**
Vytížení manipulační techniky	-95 %	Prům.	+95 %	-95 %	Prům.	+95 %	-95 %	Prům.	+95 %	-95 %	Prům.	+95 %	-95 %	Prům.	+95 %	-95 %	Prům.	+95 %
NZV v %	91,8	92,8	93,7	92,2	93,0	93,8	92,9	93,5	94,2	93,1	93,8	94,5	93,7	94,3	95,0	94,1	94,8	95,5
Paletový vozík v %	65,5	66,1	66,7	65,4	65,9	66,5	65,3	65,7	66,1	64,7	65,2	65,7	64,3	64,8	65,4	63,9	64,5	65,1
VZV v %	89,0	89,4	89,9	89,2	89,5	89,9	89,3	89,7	90,1	89,6	90,0	90,3	89,9	90,3	90,6	90,0	90,3	90,7
Zakladač v %	76,1	76,9	77,7	75,8	76,3	76,9	75,4	75,9	76,5	75,1	75,6	76,1	74,8	75,4	76,0	74,5	74,9	75,4

Příloha 5 – Délky fronty v jednotlivých (fiktivních) částech vychystávací plochy; vytížení manipulační techniky podle podílu materiálu režimu JIT (tabulka 22 až 24)

	10 %			11 %			12 %			13 %			14 %			15 %		
	-95 %	Prům	+95 %	-95 %	Prům	+95 %	-95 %	Prům	+95 %	-95 %	Prům	+95 %	-95 %	Prům	+95 %	-95 %	Prům	+95 %
Vytížení NZV v %	85,8	86,6	87,4	86,1	87,0	87,9	86,7	87,5	88,2	87,3	88,0	88,7	87,7	88,4	89,1	88,1	88,8	89,5
Průměrná délka fronty - JIT	0,46	0,50	0,54	0,43	0,47	0,51	0,46	0,49	0,52	0,45	0,48	0,52	0,47	0,51	0,55	0,49	0,53	0,57
Maximální délka fronty - JIT	9,06	10,10	11,14	8,70	9,70	10,70	9,30	9,95	10,60	9,09	10,25	11,41	9,02	9,90	10,78	9,86	10,90	11,94
Průměrná délka fronty - VP	77,65	82,81	87,97	75,79	80,20	84,60	74,11	77,96	81,81	72,47	75,48	78,49	71,53	74,44	77,34	70,90	73,59	76,28
Maximální délka fronty - VP	202,55	216,95	231,35	200,34	211,20	222,06	198,22	206,35	214,48	190,99	200,05	209,11	191,62	199,15	206,68	189,39	199,55	209,71

Příloha 6 - Sledované ukazatele s přidáním jednoho NZV podle podílu materiálu v režimu JIT včetně intervalů spolehlivosti (tabulka 25)

	1			2			3		
	-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %
Maximální počet požadavků - horní regál	23,42	24,65	25,88	20,61	21,65	22,69	21,12	22,05	22,98
Průměrný počet požadavků - horní regál	4,45	4,74	5,04	4,00	4,20	4,40	3,88	4,09	4,31
Maximální počet požadavků - dolní regál	8,09	9,10	10,11	8,04	9,05	10,06	8,15	9,25	10,35
Průměrný počet požadavků - dolní regál	0,68	0,71	0,75	0,60	0,64	0,69	0,65	0,70	0,75
NZV v %	87,8	88,6	89,4	89,9	90,6	91,3	91,0	91,6	92,2
Paletový vozík v %	63,5	64,0	64,5	64,5	65,2	65,8	63,9	64,6	65,2
VZV v %	81,6	81,9	82,3	81,1	81,5	81,9	81,4	81,8	82,2
Zakladač v %	76,2	76,8	77,5	75,0	75,7	76,4	74,2	74,9	75,6
Nákladní vůz v %	67,1	68,0	68,8	67,7	68,5	69,3	67,7	68,7	69,6
Balení	34,83	36,45	38,07	2,84	3,32	3,79	0,34	0,38	0,41
Fronta na zakladač	16,57	19,27	21,98	24,20	26,87	29,53	24,53	27,19	29,86
JIT	12,89	13,76	14,64	14,02	15,23	16,44	14,73	16,12	17,52
Příprava pro založení	3,90	4,05	4,19	1,99	2,12	2,26	2,13	2,29	2,45
Přímé zaskladnění	0,57	0,61	0,66	0,38	0,42	0,46	0,38	0,43	0,47
Mezivýroba	0,31	0,33	0,36	0,31	0,33	0,35	0,31	0,33	0,36
Vychystávací plocha	**69,07**	**74,48**	**79,89**	**43,74**	**48,28**	**52,83**	**42,43**	**46,75**	**51,07**

Příloha 7 – Kombinace experimentů v jednotlivých krocích včetně intervalů spolehlivosti (tabulka 27 až 29)