VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ V PRAZE

FAKULTA INFORMATIKY A STATISTIKY



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2018 Bc. Vojtěch Horský

VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ V PRAZE

FAKULTA INFORMATIKY A STATISTIKY



Název diplomové práce:

Simulační model skladu

Autor:	**Bc. Vojtěch Hoský**
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 3. května 2018 .....

Bc. Vojtěch Horský

Poděkování:

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

Abstrakt:

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

Hlavní náplní této práce je využití počítačového simulačního modelu na praktickém příkladu chodu celého skladu. V první části jsou nejdříve blíže popsány základní pojmy týkající se simulace a technologie skladování využité v rámci práce. Poté je pomocí softwaru SIMUL8 reálný sklad převeden do počítačového simulačního modelu, na kterém je v praktické části práce provedena série simulačních experimentů. V jednotlivých experimentech jsou řešeny budoucí nebo teoretické scénáře, které by mohly ve skladu nastat, a na základě výsledků z nich získaných je navrženo, jak nejlépe na tyto scénáře reagovat.

Klíčová slova: Simulace, Simulační modely, Skladování, Logistika, SIMUL8

Abstract:

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

The main content of this thesis is to use computer simulation model on a practical example of warehouse operation. The basic concepts of simulation and storage technology used in the thesis are described in the first part. Then the real warehouse is converted into the computer simulation model in the software SIMUL8. Series of simulation experiments is performed on the model in the practical part of this thesis. Individual experiments are dealing with future or theoretical scenarios that could occur in the warehouse. The best respond to these scenarios is suggested based on the obtained results.

Keywords: Simulation, Simulation models, Warehousing, Logistics, SIMUL8

Obsah

1. Úvod 8
2. Simulace 10
   2.1. Základní pojmy 10
   2.2. Principy simulace 11
      2.2.1. Fáze simulace 11
      2.2.2. Pozorování skutečného systému 12
      2.2.3. Tvorba pojmového modelu 12
      2.2.4. Tvorba počítačového modelu 13
      2.2.5. Verifikace modelu 13
      2.2.6. Validizace modelu 13
      2.2.7. Simulační experimenty 14
      2.2.8. Výstup – závěrečná zpráva 15
   2.3. SIMUL8 15
      2.3.1. Základní pojmy 15
3. Technologie skladování 16
   3.1. Logistické technologie 16
   3.1.1. Just in Time 18
   3.1.2. Kanban 19
   3.1.3. Vychystávání materiálu ze skladu 20
   3.2. Skladování materiálu na paletách 22
   3.3. Manipulační technika 25
      3.3.1. Paletový vozíky 25
      3.3.2. Nízkozdvižné vozíky 26
      3.3.3. Vysokozdvižné vozíky 27
      3.3.4. Vychystávací vozíky / zakladače 28
4. Praktická část 30
   4.1. Popis reálného systému a tvorba simulačního modelu 30
      4.1.1. Entity v modelu 30
      4.1.2. Stručný popis modelu 31
      4.1.3. Zásobování skladu 31
      4.1.4. Vyložení materiálu 34
      4.1.5. Vychystávací plocha 35
      4.1.6. Hlavní regálový sklad 38

4.1.7. Výroba ... 42
4.1.8. Odvoz ... 42
4.1.9. Směny zdrojů ... 43
4.1.10. Zdroje a manipulační technika ... 43
4.2. Výstupy ze simulačního modelu – základní část ... 45
4.2.1. Verifikace modelu ... 45
4.2.2. Výstupy ... 46
4.2.3. Validizace modelu ... 48
4.3. Experimenty na modelu ... 48
4.3.1. Doba čekání nákladních vozů na odbavení ... 49
4.3.2. Zvýšení podílu materiálu v režimu JIT ... 54
4.3.3. Zavedení elektronického systému Kanban ... 57
4.3.4. Menší množství materiálu k přebalení ... 58
4.3.5. Kombinace simulačních experimentů ... 63
5. Závěr ... 67
Seznam zdrojů ... 69
Seznam použitých zkratek ... 70
Seznam obrázků ... 70
Seznam tabulek ... 71
Seznam příloh ... 72
Přílohy ... 73

1. Úvod

Počítačová simulace se v dnešní době, kdy se informační technologie každý den mění a posouvají dále, stává čím dál tím používanější. Jednou z oblastí, ve kterých je pokročilých technologií běžně využíváno, je logistika. Logistika je řetězcem činností, jejichž cílem je, aby bylo zboží ve správném množství, kvalitě a čase doručeno na určené místo. Aby tohoto cíle bylo dosaženo je často potřeba některé dosavadní činnosti v řetězci upravovat či optimalizovat. V této práci bude počítačová simulace využita pro modelování a případné zlepšení logistiky v dynamickém prostředí skladu.

Tak aby nedošlo k odtajnění know-how společnosti, či ke zveřejnění citlivých informací ohrožujících společnost nebude zde uváděno o sklad, které společnosti se jedná. Na praktickou část této práce by to nemělo mít zásadní vliv, jelikož zde budou popsány všechny důležité faktory pro tvorbu simulačního modelu skladu. Vynechány v rámci práce budou pouze detaily, které by společnost ohrožovali.

Simulační model se v praktické části zaměří na chod skladu. Budeme sledovat sled logistických činností, kterými materiál ve skladu prochází. Všechno začíná samotným dodáním materiálu do skladu nákladními vozy, následně je materiál vyložen a uskladněn do regálů. V další fázi je pak materiál převážen do výroby, kde je zpracován, a výsledné výrobky jsou expedovány ze skladu.

Cílem této diplomové práce by mělo být vytvoření simulačního modelu, který by se co nejvíce přibližoval chodu reálného skladu a následně na tomto modelu realizovat skupinu experimentů. Tyto simulované experimenty by měly pomoci zlepšit současnou situaci a chod skladu. V rámci každého experimentu budou nejdříve navržena různá řešení dané situace. Všechna tato řešení následně simulujeme a jejich výsledky porovnáme, tak abychom se mohli rozhodnout pro nejlepší řešení.

V rámci práce budou na modelu realizovány čtyři simulované experimenty, jejichž cíle budou následující:

1. Zkrátit dobu čekání nákladních vozů na vyložení materiálu

Na simulačním modelu bude vyzkoušeno několik možných řešení, která by měla zajistit zkrácení doby čekání nákladních vozů na vykládku. Výsledky všech těchto řešení budou vyhodnoceny, porovnány a následně bude vybráno to nejlepší z těchto řešení.

2. Jaký vliv bude mít změna podílu materiálu v režimu JIT

Pomocí simulačního modelu bude zjištěno, jaký vliv bude mít zvýšení podílu dopravovaného materiálu v režimu JIT na obsazenost vychystávací plochy a vytížení manipulační techniky.

3. Jaký vliv by mělo zavedení elektronického systému Kanban

Úkolem je pomocí simulačního experimentu zjistit, jak by ovlivnilo situaci v regálovém skladu zavedení elektronického Kanbanu.

4. Jaký vliv by mělo menší množství materiálu, který je nutné přebalovat na obsazenost vychystávací plochy a počet pracovníků

Pokud bychom museli přebalovat méně materiálu na vychystávací ploše, jak by se změnilo její využití a jaký vliv by to mělo na množství pracovníků k této činnosti potřebných.

Na konci pak zhodnotíme simulační model jako celek. Zdali je vhodný pro použití na tento reálný systém a jestli jsou závěry, které nám simulační experimenty přinesou, přínosné.

2. Simulace

2.1. Základní pojmy

Pod pojmem simulace si můžeme představit napodobování nějakého reálného procesu, stavu, věci, či komplikovaného systému za pomoci počítačového modelu. Různé procesy a systémy bývají v reálném světě velmi komplexní a komplikované pro jednoduchou analýzu, která by nám přinesla přesné výsledky, a tak se často přistupuje k využití počítačové simulace. Využíváme ji například k zhodnocení, zda navrhované změny vyhovují požadavkům a stanoveným kritériím, či určení dominantních faktorů ovlivňujících zkoumaný systém nebo pro optimalizaci celého systému.

Cílem simulace je tedy, co nejlépe napodobit a zobrazit reálný systém, který chceme analyzovat. Abychom tohoto dosáhli, je zapotřebí, aby osoba vytvářející simulaci vybrala ukazatele, jež významně ovlivňují daný systém a vyřadila ty, které ho tolik neovlivňují a pouze by ztížily výslednou analýzu. Takto vytvořený simulační model je tedy zjednodušením reálného systému.

Vstupní parametry simulace se nazývají faktory a mohou mít různou podobu. Dělíme je na kvalitativní a kvantitativní. Mezi kvalitativní například řadíme vztahy mezi objekty v systému, či upřesnění vlastností těchto objektů jako například režimy front (FIFO, LIFO) a typy náhodných rozdělení (normální, exponenciální). Kvantitativní parametry pak dělíme na spojité a diskrétní, kde spojité jsou například intervaly mezi příchody a diskrétní počty obslužných zařízení nebo kapacity front.

Parametry jdou ještě dělit na deterministické a stochastické. U deterministických známe, jak se chovají, naopak u stochastických pozorujeme vlastnosti náhodného jevu. Komplikované reálné systémy často obsahují stochastické parametry, a tak je jejich zobrazení a analyzování pomocí simulace nejvhodnějším způsobem řešení. Použití jiných metod je mnohdy složitější, někdy i nemožné.

Posledním způsobem dělení vstupních parametrů je, zdali je můžeme ovlivňovat, či zda jsou vnější a nijak je před vstupem do modelu nedokážeme ovlivnit.

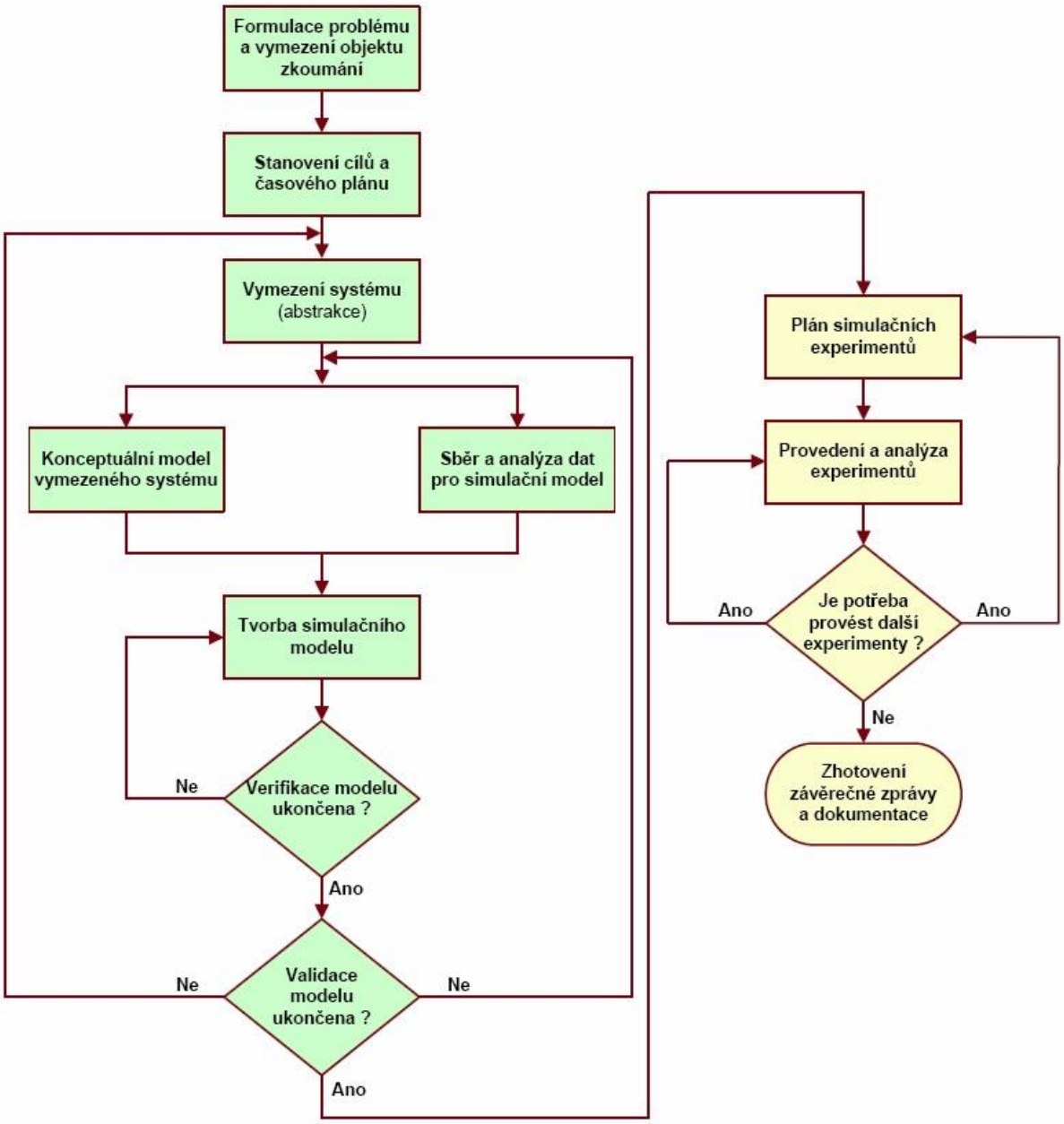
Parametry výstupní pak nazýváme odezvy a jejich hodnoty se snažíme maximalizovat (například co největší počet obsloužených zákazníků) či minimalizovat (co nejmenší náklady nebo doba strávená ve frontě). Pokud model ovlivňují nějaké vstupní parametry se stochastickým charakterem, pak i odezvy mají tyto vlastnosti. Z tohoto důvodu je vhodné danou simulaci pouštět vícekrát, abychom z výsledků získaly lepší informace o náhodném rozdělení odezev.

2.2. Principy simulace

V této části, se blíže podíváme, jakými fázemi procházíme při tvorbě simulace a dále si ještě přiblížíme další pojmy, které se v rámci simulací používají.

2.2.1. Fáze simulace

Na následujícím *Obrázku 1* můžeme vidět diagram, který nám přibližuje fáze simulace.



Obrázek 1 – Fáze simulace (zdroj: http://school.kjn.cz/modelovani-simulace/)

Celý postup si můžeme rozdělit na dvě základní etapy. První etapa se zabývá návrhem a tvorbou simulačního modelu. Na *Obrázku 1* je zobrazena jako zelená část. Druhou etapou je pak fáze experimentování, kterou vidíme výše jako žlutou část.

V rámci první etapy simulace nastávají následující procesy:

- formulace základních problémů,
- stanovení konkrétních cílů,
- vymezení zkoumaného systému,
- koncepce pro tvorbu simulačního modelu,
- sběr a analýza dat
- tvorba simulačního modelu,
- verifikace modelu,
- validace simulačního modelu.

Ve druhé etapě to pak je:

- plán simulačních experimentů,
- samotné simulační experimenty,
- závěrečná zpráva.

Popsat podrobněji všechny výše zmíněné fáze by zabralo mnoho času, a proto si v následující části popíšeme trochu obecnější fáze simulace.

2.2.2. Pozorování skutečného systému

V rámci této fáze dochází primárně k vytvoření dostatečně podrobného popisu zkoumaného systému, následně k formulaci problému a výběru vhodných dat. K těmto procesům pak nedochází jednorázově, ale většinou se k nim během celého životního cyklu simulace vracíme. K tomuto dochází na základě potřebného zpřesňování a úpravám modelu, pokud nám simulační model neposkytuje dostatečné informace pro získání požadovaných výsledků. V některých případech pak změna modelu vyžaduje i nový sběr dat, jelikož struktura těch původních není vhodná pro nový model. V praxi pak často dochází k úpravě původních dat, aby nedocházelo ke zvýšení nákladů pro sběr nových dat, ať už finančních či časových.

2.2.3. Tvorba pojmového modelu

Cílem této fáze je převážně stanovení cílů modelu a rozhodnutí jakou metodu použít k dosažení řešení. V případě, že by zkoumaný systém byl jednoduchý, lze využít pro řešení přímých analytických metod, které by oproti simulaci byly méně finančně i časově náročné. Jak už ale bylo na začátku kapitoly zmíněno, v praxi je častější situace, kdy zkoumaný systém je

velmi komplexní pro využití přímé analýzy nevhodný. V takových případech je pak žádoucí použití simulačních metod.

2.2.4. Tvorba počítačového modelu

Počítačový model je zjednodušení reálného systému za pomoci převedení logických vazeb a vstupních parametrů pojmového modelu do vybraného softwaru. Úkolem takového softwaru je zjistit, jak se daný model bude chovat pro zadaná vstupní data a na základě opakovaných simulačních experimentů získat optimálního řešení problému formulovaného v úvodní fázi simulace.

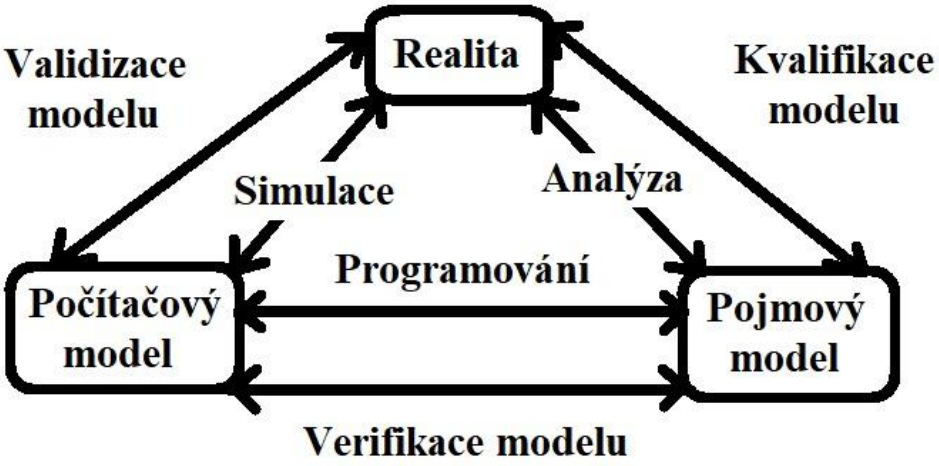
Mezi takové softwary patři například SIMUL8, SIMPROCESS, WITNESS, Powersim, Vensim a další.

2.2.5. Verifikace modelu

V této fáze dochází k porovnávání námi vytvořeného modelu s modelem pojmovým. Ověřujeme, zda se tyto dva modely shodují se stanovenou mírou přesnosti. Rozdíly mezi těmito modely mohou nastat, pokud například špatně vytvoříme počítačový model nebo případně nastane chyba v simulačním softwaru.

2.2.6. Validizace modelu

Při validizaci modelu ověřujeme také shodnost počítačového modelu, ale v tomto případě jej porovnáváme s realitou. Realita je mnohem komplexnější než pojmový model, a proto je i validizace modelu složitější proces než verifikace modelu. Základní rozdíl nám může přiblížit následující vytvořený *Obrázek 2*. Během validizace musíme zjistit, jestli byly do simulace zahrnuty všechny parametry a vlastnosti zkoumaného systému, které ho významně ovlivňují, a tudíž mají velký vliv i na poskytnuté výsledky simulace. Nejčastěji je tohoto dosaženo využitím výsledků ze zkoumaného reálného systému nebo úpravou modelu do tvaru některého z dříve známých stavů systému, u kterého známe jeho chování. V této fázi je také vhodné přizvat na konzultaci pracovníky, kteří zkoumaný reálný systém dobře znají a jsou tak schopni snáze odhalit chyby či nepřesnosti v modelu. Pokud bychom se tedy snažili udělat validizaci pro vymyšlený systém, nelze se opřít o reálné výsledky a tento proces by se tak stal velmi obtížným. V takovém případě lze využít částečně expertních odhadů.



Obrázek 2 – Validizace a verifikace modelu

2.2.7. Simulační experimenty

V případě že máme model vytvořený a je ověřený, pak ho můžeme využít k testování různých hypotetických situací, které nás zajímají. Nejčastěji mohou nastat dvě možné počáteční situace pro simulační experimenty, a to na základě množství možných variant systému, které vytváříme při jeho změně.

Pokud lze změnami vytvořit jenom malé množství variant systému, pak je nejvhodnější provést simulaci pro všechny varianty a porovnáním výsledků pak zvolit nejvhodnější z nich. Pro každou z variant je také vhodné provést simulaci několikrát. Důvodem je, že výsledky se často liší pro každý běh. Toto je způsobeno například změnami náhodných veličin či rozdílným počátečním stavem pro každý běh simulace. Pomocí opakování simulace pro jednotlivé varianty, pak můžeme sestavit pro výsledné hodnoty jejich intervalové odhady.

Pro druhý případ, kdy existuje pro změny velké množství variant systému, je nutné použít nějakou metodu porovnávání variant. Jednou z možných je například metoda Monte Carlo, kdy pro náhodně vybranou variantu provedeme několik simulačních běhů a jejich výsledky jsou porovnány s výsledky nějaké předchozí nejlepší varianty. Pokud jsou výsledky nové varianty lepší, pak je tato varianta označena za nejvhodnější. Následně je tento postup opakován do té doby, něž je nalezeno nějaké dostatečně uspokojivé řešení nebo není prozkoumán stanovený počet variant.

2.2.8. Výstup – závěrečná zpráva

Výstup simulace se nejčastěji vytváří ve formě tzv. závěrečné zprávy, která by měla být srozumitelná pro každého člověka, který se na simulaci podílel nebo bude její výsledky implementovat do reálného systému. Musí v ní být obsažen popis průběhu simulace a její výsledky, případně popis vybrané nejvhodnější varianty.

2.3. SIMUL8

Praktická část této práce byla z vytvořená v simulačním softwaru SIMUL8, využívajícím dynamické diskrétní simulace. Tento software je produktem stejnojmenné společnosti SIMUL8 Corporation a slouží pro simulaci podnikových procesů, jako jsou například doprava, logistika, výroba a další. Jednou z jeho velkých výhod je grafické znázornění simulačních běhů a následné grafické výstupy. V rámci diskrétní simulace nedochází ke změnám v systému průběžně, ale pouze když nastanou události důležité pro systém jako například příchod nového zákazníka, dokončení výrobku a další. Jak už bylo výše zmíněno v SIMUL8 lze vytvořit grafické znázornění modelu a následně sledovat jednotlivé simulační běhy. Toto přináší výhodu pro možnou komunikaci mezi analytikem, který simulaci vytváří, a jejím zadavatelem ohledně struktury daného modelu.

2.3.1. Základní pojmy

Zkoumaný reálný systém můžeme v SIMUL8 vnímat jako stavebnici složenou ze základních stavebních prvků. V této části si je blíže představíme. Volba jednotlivých prvků záleží v určité míře na tom, co budeme simulovat. Rozlišujeme následující prvky:

- **Work Item (Entita)** – využívá se k modelaci dynamických objektů (jak fyzických, tak i logických), které se pochybují systémem. Informace o entitě lze zanést do funkce „label“, ve které evidujeme buď číselné, nebo slovní označení entity. Label může entita získat při vstupu do simulace, v jejím průběhu, případně se může i v průběhu měnit. Entitou můžeme popisovat například výrobek, zákazníka a další.
- **Route (Cesta)** – jsou to spojnice propojující ostatní simulační objekty. Pomocí nich je znázorněna návaznost aktivit, tedy cesta, kterou procházejí entity systémem. Z jedné aktivity může vést více cest. V takovém případě pak určíme stochastické nebo deterministické pravidlo, podle nějž se entita rozhodne pro jednu z cest.
- **Resource (Zdroj)** – jedná se o objekty, které slouží pro modelování omezených kapacit pracovníků, materiálu a dalších, které jsou využívány v aktivitách.

- **Work Center (Aktivita, Pracoviště)** – jsou to objekty modelující aktivity, kterými procházejí entity. V aktivitách mohou entity získat label, případně se zde může spojit více entit do jedné nebo naopak se jedna entita rozdělí na více. Dále pro aktivity platí, že mohou trvat různou dobu. Tato doba může být buď pevně stanovená, nebo může být určena náhodným rozdělením (v nabídce softwaru SIMUL8 je jich více než desítka). Pro vykonání aktivity je obvykle nutné využití určitého zdroje, případně se zde zdroj k entitě přidá nebo odebere. SIMUL8 opět nabízí celou řadu přednastavených zdrojů. Speciálním případem aktivity jsou „Vstup“ a „Výstup“.
- **Work Entry Point (Vstup)** – jedná se o objekty zachycující vstup entit do systému jako například příchod zákazníka či vznik výrobku.
- **Work Exit Point (Výstup)** – je to místo, přes nějž entity opouštějí modelovaný systém tedy například odchod zákazníka či dokončení zakázky.
- **Storage Bin (Zásobník, Fronta)** – objekty, které modelují hromadění entit. Fronty obvykle předcházejí aktivity, na jejichž provedení čekají v zásobníku entity z důvodu nedostupnosti zdrojů, pro kteroukoliv z cest z fronty vedoucí. Dále to může být způsobeno například tím, že po této frontě následuje další fronta, která už obsahuje maximální počet entit. Fronta tedy může mít omezenou kapacitu. Tak jako i jiné prvky fronta může být slučována do skupin, kterým je také možnost přiřadit maximální počet entit pro jednotlivé fronty ve skupině. V takovém případě tedy fronta nemá pro sebe určenou kapacitu, ale sdílí ji s ostatními frontami ve skupině.

3. Technologie skladování

V této kapitole si blíže přiblížíme skladovací technologie, které jsou využívány ve skladu, jež je předmětem této práce. Tyto skladovací technologie ovlivňují běh skladu, a tak mají vliv i na odezvy simulace a budeme je muset do simulačního modelu přidat.

3.1. Logistické technologie

V logistice se nejčastěji snažíme pomocí vhodných metod a procedur uspořádat všechny operace v systému tak aby byly optimalizované. Tím dosáhneme toho, aby zákazník obdržel co možná největší úroveň poskytovaných služeb při stanovených nebo nejnižších nákladech. Soubor takovýchto metod, procesů, úkonů a operací nazýváme logistické technologie.

Logistické technologie dělíme na čtyři základní skupiny a to:

- klasické,
- telematické,
- virtuální,
- komplexní.

V rámci klasických technologií se především využívá slučování výrobků do větších skupin. Tímto dosahuje snížení nákladů na přepravu a skladování výrobků. Aby bylo dosaženo standardizace v rámci manipulace, tak byly vytvořeny tři řády skupin a to:

- 1. řád – do něj se řadí krabice, přepravky, bedny a další. Jednotky v 1. řádu jsou určeny především k ruční manipulaci, a tak je nejčastěji jejich maximální hmotnost s nákladem 15 kg.
- 2. řád – do tohoto řádu patři především palety, a to jak ty klasické, tak modifikované. Dále sem patří třeba roltejnery. K přepravě palet se využívají různé typy vozíků. Nosnost palet může být také různá, ale často je v rozsahu mezi 250 kg a 1000 kg.
- 3. řád. – do něho patří výměnné nástavby a kontejnery.

Telematické technologie se věnují elektronické komunikaci, radiofrekvenčním technologiím a automatické komunikaci. V automatické identifikace se v současnosti nejčastěji využívá čárových kódů. U čárových kódů rozlišujeme složitost a množství informace, které jsme schopni do kódu uložit. Asi nejpoužívanější čárovým kódem na světě je EAN-13, který patří do skupiny EAN (European Article Number). Z kódu EAN-13 lze zjistit například zemi původu výrobce či způsob užití daného zboží. V posledních letech, kdy došlo ke zlepšení spolehlivosti a přesnosti snímačů, se začalo využívat i technologie dvojrozměrných kódů. Zástupcem této technologie jsou například QR kódy (Quick Response). V současnosti je na vzestupu radiofrekvenční technologie identifikace zboží (RFID neboli Radio Frequency Identification). Tato technologie umožnuje snímání a předávání informací přes překážky na střední vzdálenosti.

Do virtuálních technologií patří počítačové simulace, grafické vizualizace a další. V rámci této práce se blíže věnujeme právě simulacím.

Mezi komplexní technologie řadíme logistické technologie jako Just in Time, Just in Sequence, Kanban či Quick responce. Cílem těchto metod je dosáhnout zrychlení reakcí na změny trhu, dále zlepšení predikcí a snižování nákladů v celém řetězci. Některé z těchto komplexních technologií si podrobněji popíšeme níže.

3.1.1. Just in Time

Technologie Just in Time, lze přeložit jako „právě včas“ častěji označovaná jako JIT, je metodou zásobování, která se snaží udržovat co nejmenší zásoby. Snaží se vybalancovat potřebu odběratele a zdroje dodavatele. V praxi to funguje tak, že zboží je dodáváno dodavatelem v přesně stanovený čas, a tak není potřeba udržovat velké množství zásob. Stále je ale vhodné udržovat si nějaké menší množství zásob jako pojistku, kdyby se něco pokazilo. Od dodavatele je často očekáváno, že dodá zboží s veškerou potřebnou dokumentací, a to ve stanovený čas, množství, a kvalitě. Dodané zboží pak dále často pokračuje v řetězci (dalšímu odběratelovi či dále do výroby) s minimální kontrolou, a tak je zásadní podmínkou využití JIT klást důraz na vysokou kvalita zboží, logistických služeb a nízkou chybovost.

Využití metody JIT má pro firmy mnoho výhod, mezi ty nejdůležitější řadíme například:

- výrazné snížení zásob,
- výrazné zkrácení materiálových toků,
- zvýšení obrátkovosti,
- zlepšení produktivity.

Zboží či materiál, které by mohli být dodávány pomocí metody JIT si firmy nejčastěji zjišťují na základě analýzy ABC a XYZ. Prvou zmíněnou je analýza ABC, v níž je zboží a materiál děleno do skupin na základě rychlosti obrátkovosti a jejich finanční významnosti pro firmu. Při dělení na tři základní skupiny je pak zboží děleno následovně:

- A – jedná se o nejdůležitější zboží, které sice bývá nejnákladnější, ale zároveň nejziskovější. Snažíme se o jeho pravidelné a časté dodávaní.
- B – méně nákladné a výnosné než zboží skupiny A. Dodávky většinou probíhají ve větším množství v delších časových intervalech.
- C – nejméně důležité zboží, co se týká ziskovosti. Objednávky jsou ve velkém objemu, ale po dlouhé době. Tato skupina je také druhově nejpestřejší.

Druhou zmíněnou je pak analýza XYZ, kdy se zboží dělí do skupin na základě predikce jeho spotřeby. Tak jako při analýze ABC se při základním dělení vytvářejí tři základní skupiny a to:

- X – do této skupiny řadíme zboží, které má konstantní průběh spotřeby. Jeho spotřeba je často shodná s výrobou, a tak ho můžeme na základě prognóz objednávat.
- Y – spotřeba u tohoto typu zboží se predikuje obtížněji, ale stále je to možné. Spotřeba je v této skupině často ovlivňována výkyvy v sezónách, a tak jeho množství udržujeme na stanovených hodnotách.
- Z – pro poslední skupinu je pak typická nepravidelná spotřeba. Objednávky takového zboží jsou velmi nahodilé.

Zboží či materiál vhodný pro využití metody JIT se typicky vyznačuje vysokým podílem na obratu firmy a vysokou spotřebu s konstantním průběhem.

Snahou metody JIT je neustálé zlepšování, rozpoznávání a likvidace ztrát v logistickém procesu. Snaží se dodat správné zboží či materiál na určené místo v určeném čase. Současně je také kladen velký důraz na spolehlivost dodavatelů a dopravní podmínky. Bohužel je toto překážkou jak u nás, tak i v mnoha jiných zemích. Neustálé uzávěrky, opravy a další činnosti ovlivňující dopravní infrastrukturu neumožnují dodržet kvalitní dopravní podmínky a zároveň ani úroveň dodavatelů není dostatečná.

Metoda JIT není jen spojena s výhodami, ale přináší také nevýhody. Jedna z nevýhod je spojena s častými dodávkami zboží, které přinášejí zvýšení nákladů na dopravu. Za další nevýhodu můžeme považovat, že dodavatelé musejí mít své sklady či výrobní linky v blízkosti odběratelů, tak aby byli schopní pravidelné a časté dodávky dodržovat. Mezi odběratelem a dodavatelem musí také docházet k velkému předávání informací, které jsou pro vzájemnou spolupráci potřebné. Díky takovému informačnímu toku pak hrozí i únik citlivých dat firmy, které by mohly být následně zneužity konkurenčními společnostmi.

Metodě JIT je podobná také metoda Just in sequence zkráceně metoda JIS. V rámci metody JIS se zboží dodává také ve stanovený čas, ale ještě navíc i v určeném pořadí zboží v baleních. Pro aplikaci této metody je potřeba, aby dodavatelé předávali odběratelům informace o výrobním plánu. To její využití ztěžuje, a tak je v současné době využívána pouze pokročilejšími logistickými řetězci.

3.1.2. Kanban

Původním názvem této metody je Toyota Production Systems zkráceně TPS. Mezi lidmi je ale více známá pod názvem Kanban, což v překladu z japonštiny znamená štítek (karta). Využitím této metody dochází k plánování a řízení materiálových toků čímž lze dosáhnout zvýšení efektivity výroby a plynulost provozu. Kanban je hojně využíván ve strojírenství a automobilovém průmyslu. Může sloužit buď pro předávání informací mezi dodavatelem a odběratelem, nebo i jako interní systém v rámci společnosti.

Mezi hlavní důvody zavádění systému Kanban patří:

- snížení velikosti výrobních dávek, díky čemuž lze rychleji reagovat na poptávku zákazníků,
- zmenšení nároků na prostory, které také přichází s menšími výrobními dávkami,
- dochází k poklesu ztrát způsobených nekvalitní výrobou,
- pokud má k výrobě dojít, tak pouze při existenci objednávky,
- spojením všech výhod pak dochází k úspoře peněz.

Základem této metody je, že se odešle karta (nejčastěji papírová nebo plastová), která na sobě nese informaci o poptávce po nějakém zboží. Dodavatel po obdržení této karty začíná

dané zboží vyrábět případně vychystávat pro dodávku k odběrateli. Právě na základě tohoto signálu o poptávce ve formě karty se tato metoda jmenuje Kanban.

Na rozdíl od JIT musíme v rámci Kanbanu držet dostatečné množství zásob. Je totiž nezbytné pokrýt zásobami spotřebu zboží či materiálu, když signál putuje k dodavateli, dále po dobu zpracování dodavatelem, tedy po dobu výroby nebo vychystaní poptávaného zboží a následně i po dobu nutnou pro dopravu zboží k odběrateli. Jak již bylo zmíněno výše, Kanban je nejčastěji řízen pomocí fyzických karet, které se posílají. Pokud využíváme systému fyzických karet, pak je také nutné držet dostatečné množství karet v oběhu.

V současné době pokročilé informační technologie lze signály odesílat i elektronicky. V rámci elektronického Kanbanu, pak už karty fyzicky neputují k dodavatelům, ale je využíváno počítačové technologie. Stále ale platí, ať už pro fyzickou, či elektronickou formu, že je nutné vyřešit zpětný odběr manipulačních jednotek mezi odběratelem a dodavatelem.

Použití fyzických karet bylo vždy slabinou Kanbanu. Často totiž v praxi dochází k jejich poškození, či jejich ztrátě, případně nastanou pochybnosti při určovaní jejich množství v oběhu. Právě toto je důvod, proč se v současnosti dává větší přednost automatizované formě Kanbanu. Stále více a více firem přechází z fyzické formy na elektronickou. Elektronická forma Kanbanu pak v praxi funguje tak, že při poklesu zásob pod stanovenou hranici si systém sám odešle poptávku dodavateli, který jí po jejím přijetí zpracuje a následně dodá. Při dodání nových zásob je pak tato informace vložena do systému.

Pro správnou funkčnost koloběhu systému je nutné zajistit, aby systému vždy byla aktuální a přesná data o stavu současných zásob. Toho lze docílit častým prováděním inventur a zanášením informací o vychystávání zásob. Jakákoliv nesrovnalost o stavu zásob mezi skutečností a daty zadanými v systému může vést k chybným objednávkám, a to ať k dřívějšímu objednání nebo naopak neuskutečnění objednávky vůbec.

Tak jako pro systém JIT, tak ani pro Kanban není cílem jenom přesouvání zásob v řetězci, ale především zamezení vytvářením nadbytečných zásob, zlepšení reakcí na změnu poptávky po zboží a zlepšení propojení mezi informačními a materiálovými toky.

3.1.3. Vychystávání materiálu ze skladu

Poptávka po materiálu ve výrobě se v čase liší. Materiál v požadovaném množství by šlo pokaždé objednávat u dodavatele, ale to by znamenalo prodloužení celého logistického řetězce a zároveň i zvýšení nákladů. V praxi je běžné materiál uskladňovat za účelem vytvoření zásob, které nám umožní pružně reagovat na poptávku ve výrobě. Mezi výhody udržování zásob patří například možnost se vyhnout dlouhým čekacím a dodacím lhůtám od dodavatelům, které by byly spojené s častými objednávkami. Také po finanční stránce jsou náklady spojené s uskladněním zásob nižší, než náklady na dodej velkého množství menších objednávek.

Když ve výrobě vznikne požadavek na materiál, je odeslána informace do skladu o typu a množství materiálu, který má být ze skladu přepraven. Ve skladu pak k této práci určený pracovník materiál v regálech nalezne a předá do přepravek, které jsou poté odeslány do výroby. Můžeme se setkat s více termíny pro tuto činnost, ale nejčastějšími jsou vychystávání a pickování materiálu.

V praxi se pro hledání materiálu při vychystávání používají čárové kódy. Každému materiálu i regálu je přiřazený kód, podle kterého pak pracovník daný materiál ve skladu dokáže nalézt. Pracovník nejdříve dostane seznam materiálu s čárovými kódy, který má být vychystán. Tento seznam si nahraje do čtecího zařízení, které pak zaznamenává, jaký materiál a jaké množství materiálu bylo vychystáno do interního systému. Tato funkce umožnuje lepší kontrolu procesu vychystávání a lepší řízení materiálových toků.

I v rámci vychystávání dochází k neustálé modernizaci, která se snaží o usnadnění předávání informací o požadavcích na materiál z výroby a snazšímu nalezení materiálu pracovníky skladu. V současnosti se nejvíce využívá metod, jako jsou „Pick by light“ či metoda „Pick by voice“.

V rámci metody „Pick by light“ jsou místa v regálech označená diodami, které se rozsvěcují, když je materiál určený k vychystání. Tento systém by měl zaměstnancům usnadňovat orientaci v regálech a nelezení hledaného místa s materiálem. Diody mají často více barev, a tak umožnují pracovat více pracovníkům na jednom vychystávacím místě. Funguje to tak, že každému pracovníkovi je přiřazena barva a diody se rozsvítí právě tou barvou pracovníka, v jehož seznamu se daný materiál nachází. Využití této metody je vhodné, pokud se ve skladovacím regálu nachází vetší množství přepravek s velmi podobným materiálem. V takovém případě, pak metoda „Pick by light“ urychluje práci pracovníkům při vyhledávání materiálu v regálu a snižuje i jejich chybovost volby špatné přepravky. Ukázku diodového označení přepravek v regálech můžeme vidět na následujícím *Obrázku 3*.



Obrázek 3 – Diodové označení přepravek v regálech

V rámci metody „Pick by voice“ je každý pracovník vybaven sluchátky, do kterých dostává informace o typu, množství a umístění materiálu, který má být vychystán. Toto umožňuje pracovníkům mít volné ruce a nemuset čtecí zařízení neustále odkládat. V sluchátkách je také obvykle zabudován mikrofon, pomocí něhož mohou pracovníci potvrzovat obdržení informací a informovat o dokončení vychystávání.

Ukázku, jak může čtecí zařízení se sluchátky a mikrofonem vypadat, lze vidět níže na následujícím *Obrázku 4*.



Obrázek 4 – Čtecí zařízení se sluchátky a mikrofonem

3.2. Skladování materiálu na paletách

Jak již bylo na začátku kapitoly o logistických technologiích, zboží i materiál je skladován pomocí různých způsobů. V této kapitole si přiblížíme skladování využité v rámci této práce, a to skladování pomocí palet.

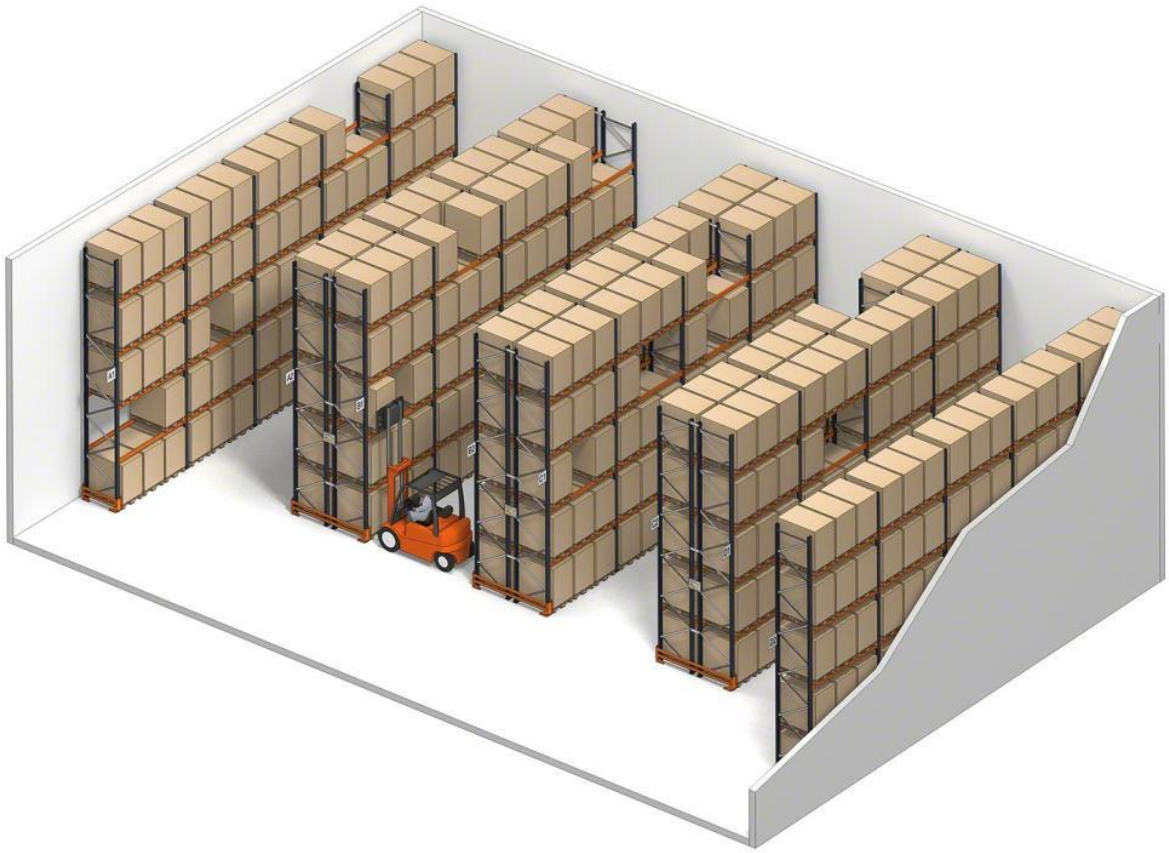
Tím nejzákladnějším způsobem, kterým můžeme palaty skladovat je tzv. stohování. Jedná se proces využívaný z důvodů úspory skladovací plochy. Stohování se provádí tak, že stavíme několik palet stejného zboží na sebe. Toho lze ale pouze využít u zboží, které na sobě snese takovou zátěž, případně si lze pomoci použitím balení do krabic. Aby bylo možné zboží takto skladovat je nutné mít ve skladu vysokozdvižné vozíky, které umožnují usazovat palety do větších výšek a následně je i sundávat. Nevýhodou stohování tedy může být nemožnost využití nízkozdvižných vozíků, které jsou nejrozšířenější.

Dále se posouváme k důmyslnějším způsobům skladování palet. Mezi ně se řadí různé regálové systémy, které se více využívají v rámci uzavřených skladů. Regály oproti stohování

lze stavět do mnohem větších výšek, což má za následek lepší využití prostor skladu. Zde si představíme tři typy regálových systémů a to:

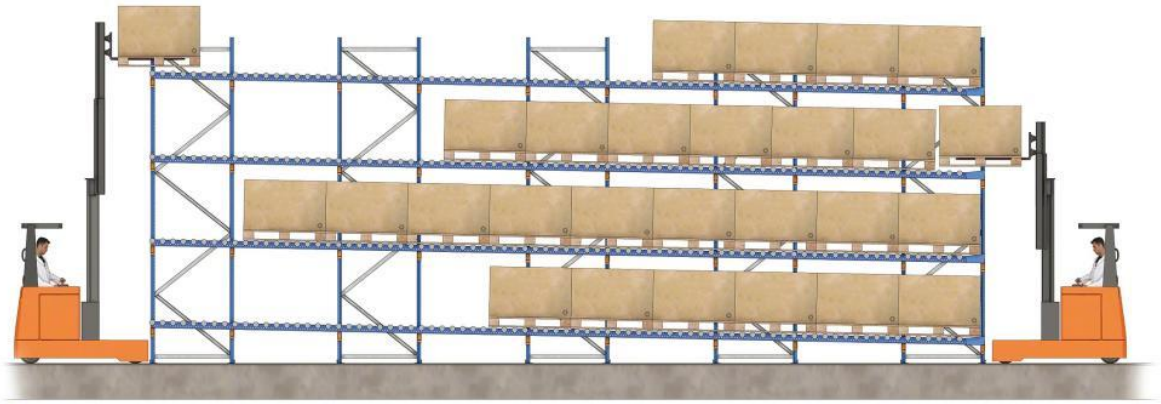
- klasické paletové regály,
- spádové regály,
- push-back regály.

Co se týká rozšíření, tak nejpoužívanějším z těchto typů jsou klasické paletové regály. Ty jsou nejčastěji postaveny dva k sobě takovým způsobem, že pokud se chceme dostat vozíkem k paletě na jednom z regálů, tak je umožněn přístup pouze z jedné strany. Díky tomuto způsobu uskladnění palet, pak můžeme mít přístup ke kterékoliv paletě bez toho, abychom museli jiné palety dále posouvat. To nám také současně umožnuje při vyskladnění palety její místo ihned nahradit jinou paletou. Jednou z dalších výhod tohoto systému je také snadné upravování výšky regálu, při změně velikosti zboží na paletě. Klasické paletové regály jsou vhodnou volbou ve společnostech, kde se materiál či zboží skladuje pomocí frontových metod FIFO (First In First Out) nebo FEFO (First Expired First Out). U první zmíněné, se palety vyskladňují podle pořadí, v jakém byli uskladněné a u druhé zmíněné podle data spotřeby. Jelikož klasické regály umožňují okamžitý přístup ke všem paletám, ve skutečnosti zde nemusí být využito frontových metod a pro pořadí vyskladňování lze zvolit jakýkoliv způsob. Ukázku klasického paletového regálu můžeme vidět na následujícím *Obrázku 5*.



Obrázek 5 – Klasický paletový regál

Druhým typem paletových regálu jsou spádové regály. Tyto regály se od těch klasických odlišují skladováním palet na nakloněné rovině, kdy se palety pomocí válečků případně koleček posouvají při odebrání jedné z palet dále. U těchto regálů dochází k doplňování palet z jedné strany a odběru z druhé. Pro využití tohoto typu regálů je tedy nezbytné umožnit vysokozdvižným vozíkům přístup z obou stran. Pro běžné spádové regály platí, že se řídí podle frontové metody FIFO. Ukázku spádového regálu můžeme vidět na následujícím *Obrázku 6*.



Obrázek 6 - Spádový regál

Posledním typem regálů jsou pak push-back regály. Tyto regály jsou speciálním typem spádových regálů. Odlišují se tím, že push-back regály se plní i vyskladňují ze stejné strany a díky tomu k nim stačí umožnit přístup pouze z jednoho směru. Nová paleta posune všechny dřívější o jedno místo dále. Následně když je pak první paleta odebrána se ostatní svou vahou posouvají zase o jedno místo vpřed. Tyto regály se řídí frontovou metodou LIFO (Last In First Out), tedy poslední naskladněná paleta je odebíraná jako první. Na ukázku push-back regálu se můžeme podívat na následujícím *Obrázku 7*.



Obrázek 7 - Push-back regál

3.3. Manipulační technika

V této kapitole si představíme různé typy manipulačních vozíku, které jsou ve skladech využívány k veškerému přesunu zboží a materiálu, tedy uskladnění, vyskladnění, přesunu, stohování a dalším. Manipulační technika je většinou přizpůsobena pro práci s nějakou určitou manipulační jednotkou, ale v rámci této práce se zaměříme pouze na manipulační techniku sloužící pro práci s paletami.

Správná volba manipulační techniky je zásadní pro efektivní provoz skladu. Je tedy nutné vzít do úvahy všechny důležité faktory jako je povrch skladu, manipulační jednotky, výšku skladu, či šířku uliček.

Manipulační techniku dělíme podle jejího pohonu na bezmotorovou a motorovou. Pro bezmotorovou platí, že je poháněna lidskou silou. Mezi její výhody například patří její nižší pořizovací cena a náklady spojené s její údržbou. Naopak hlavní nevýhodou je její nižší nosnost. Motorová manipulační technika je vyráběná s různými typy pohonu. Nejběžněji se setkáme s elektrickým pohonem, ale dále se vyrábí i technika s pohonem na fosilní paliva jako je diesel či plyn. Jejich hlavní výhodou je rychlost manipulace a vyšší nosnost. Dalším způsobem dělení je pak dělení na základě místa jejího využití, přesněji povrchu, po kterém se technika bude pohybovat. Dělíme jí na venkovní a vnitřní. Pro venkovní platí, že povrch, po kterém se s paletami manipuluje, je často nerovný, nezpevněný s čímž je spojeno větší opotřebení techniky, naopak v uzavřených skladech je povrch rovný, pevný a hladký, a tak umožnuje snadný pohyb s paletami.

3.3.1. Paletový vozíky

Paletový vozík je nejzákladnějším vybavením každého skladu, kde se využívají palety. Jedná se o ručně ovládaný bezmotorový vozík sloužící k manipulaci palet. Primárně se vyrábějí pro vnitřní užití, tedy pro rovný, pevný a hladký povrch. Jejich nosnost dosahuje dvou tun a jejich nízká pořizovací cena je výhodou. Mezi další výhody pak patří nízké náklady na údržbu a snadná manipulace s vozíkem. Paletové vozíky mají také nevýhody. Mezi ně například patří nemožnost zvedání palet do výšky a nevhodnost pro manipulaci na větší vzdálenosti. Běžný paletový vozík vidíme na *Obrázku 8*.



Obrázek 8 - Paletový vozík

3.3.2. Nízkozdvižné vozíky

Další možnou variantou paletového vozíku jsou nízkozdvižné vozíky. Ty se od klasických paletových vozíků liší tím, že mají motor, a tak pro práci s nimi není zapotřebí lidská síla. Dalšími výhodami oproti bezmotorovým vozíkům je jejich větší nosnost, která se obvykle pohybuje kolem tří tun, a jejich větší rychlost. V prodeji jsou i různé varianty nízkozdvižných vozíků, kdy jsou například vyráběny i varianty, na nichž obsluha může stát či případně sedět. Tyto typy pak většinou mají i větší nosnost a rychlost, ale jsou komplikovanější na výrobu, a tak mají také větší pořizovací náklady. Nevýhodou nízkozdvižných vozíků je pak jejich nemožnost využití pro práci do větších výšek, tedy i pro stohování. Ukázky obou typů nízkozdvižných vozíků můžeme vidět na následujících *Obrázcích 9 a 10*.



Obrázek 9 - Nízkozdvižný vozík



Obrázek 10 – Nízkozdvižný vozík

3.3.3. Vysokozdvižné vozíky

Pro využití jakéhokoliv typu regálového systému, je nezbytné mít k dispozici vysokozdvižné vozíky. Dále je lze využít při stohování palet nebo při jejich vykládaní z nákladních vozidel při dodávce. Na trhu se pak můžeme setkat s velkým množstvím různých vysokozdvižných vozíků. Správnou variantu pro sklad pak volíme na základě našich potřeb. Je tedy potřeba zvážit jakou požadujeme od vozíku nosnost, do jaké výšky má dosáhnout, zda má mít místo pro obsluhu, zda jej budeme využívat pouze ve vnitřních prostorách, či zda bude využit pro venkovní skladování. Zvolení té správné varianty je pak velice důležité, pokud chceme dosáhnout efektivního provozu skladu. Na ukázku různých variant vysokozdvižných vozíků se můžeme podívat na *Obrázcích 11 a 12* níže.



Obrázek 11 - Vysokozdvižný vozík



Obrázek 12 – Vysokozdvižný vozík

Tak jako u nízkozdvižných vozíků i pro vysokozdvižné vozíky existují speciální varianty. Jednou z nich je takzvaný retrak, který slouží výhradně pro práci ve vnitřním skladu s úzkými uličkami (mohou být úzké až dva a půl metru). V současnosti je ve skladech úzkých uliček využíváno více a více, a to z důvodu co největšího využití skladovací plochy. Pro lepší manipulaci v úzkých uličkách mají retraky kratší konstrukci a obsluha sedí bokem do směru jízdy, čímž získává lepší výhled a například při couvání se člověk nemusí otáčet celý, ale stačí mu jen pootočit hlavu. Na ukázku retraku se můžeme podívat na *Obrázku 13*.



Obrázek 13 - Retrak

3.3.4. Vychystávací vozíky / zakladače

Dalším speciálním typem vysokozdvižných vozíků jsou vychystávací vozíky a zakladače. Jsou určeny pro práci u vysokých regálů, a tak jako u retraků se využívají pro práci v úzkých uličkách. Rozdíl mezi vychystávacím vozíkem a zakladačem je v tom, že vychystávací vozík primárně určen pro vybírání zboží z regálů, zatímco zakladač k doplňování palet do regálových systémů. V praxi se pak využívá pro obě činnosti jeden stroj, jelikož jsou oba stroje konstrukčně téměř shodné.

Konstrukce vychystávacích vozíku je poměrně často přizpůsobená šířce uličky, což sebou přináší problémy s řízením vozíku. Z těchto důvodů byly vyvinuty systémy automatizované přepravy vozíků, kdy se vozíky pohybují plně automaticky nebo případně obsluha maximálně pomáhá s přesným naváděním vozíku. Nejčastěji se využívají různé laserové snímače, či systémy indukčního vedení, ale existují i jiné způsoby. Při použití laserových snímačů je vozík držen v určité vzdálenosti od regálů na základě délky laserového paprsku, takže nehrozí náraz. Druhým zmíněným způsobem automatické přepravy je indukční vedení, kdy do podlahy v uličce skladu je zabudováno vedení, které poté vozík snímá a pohybuje se díky němu ve správném směru a vzdálenosti od regálů. Díky této technologii pak může obsluha vozíku pouze určit správný regál a vozík sám na místo zajede. Pokud je vychystávací vozík vybaven kabinou s automatizovaným zvedáním, získává obsluha možnost i zajet na určené místo, kde je paleta uložena.

Vychystávací vozíky pak podle typu kabiny dělíme na takzvané man-down a man-up. Pokud kabina zůstává dole a vidlice se nahoru pohybuje sama, jedná se o man-down vozík, pokud se naopak kabina i s obsluhující osobou pohybuje nahoru s vidlicí, jedná se o typ vozíku man-up. Man-up vozíky umožnují lepší kontrolu při manipulaci s paletami ve větších výškách, zároveň jsou ale složitější na výrobu. Další jejich výhodou je, pokud nepotřebujeme vychystat celou paletu, ale jen její část. Pomocí man-up vozíku vyjmeme paletu z jejího místa, následně

přendáme část, kterou potřebujeme vychystat na určené místo, a potom zase paletu navrátíme na její původní místo. U vozíků man-down je pak pro zlepšení kontroly nad manipulací s paletou často využíváno kamerového systému umístěného na vidlici. Na *Obrázku 15* nalevo můžeme vidět ukázku vozíku typu man-up, na *Obrázku 14* napravo pak vozík typu man-down.



Obrázek 15 – Vychystávací vozík typu man-up



Obrázek 14 – Vychystávací vozík typu man-down

V následující praktické části se podíváme na samotnou simulaci skladu pomocí simulačního modelu.

4. Praktická část

V této kapitole se zaměříme na využití počítačové simulace na praktickém příkladu. V první části si nejdříve podrobně představíme reálný systém, v tomto případě sklad, a jak je tento reálný systém převeden pomocí softwaru SIMUL8 do počítačového simulačního modelu. V druhé části se pak budeme věnovat samotné simulaci tohoto modelu a jejím výsledkům. Poslední část se zabývá experimenty, ve kterých dojde k úpravám původního simulačního modelu. Výsledky z takto upraveného modelu se následně vyhodnotí a porovnají s výsledky původní simulace.

4.1. Popis reálného systému a tvorba simulačního modelu

V této kapitole si postupně představíme a podrobněji vysvětlíme jednotlivé procesy reálného systému, které jej ovlivňují a mají tak vliv na jeho průběh a výsledky. Postupně projdeme procesem od příjezdu materiálu do skladu, jeho vyložení, uskladnění, přesun do výroby a následnou přípravu a odvoz výrobků ze skladu.

4.1.1. Entity v modelu

V rámci simulačního modelu je použita pouze jedna entita, která při průchodu modelem mění svou podobu pomocí následujících tří labelů:

Druh – Tento label určuje, o jaký druh entity se jedná. Nabývá následujících hodnot:

- 1 – nákladní vůz
- 2 – paleta
- 3 – výrobek (výrobek je zde brán jako paleta výrobků)

JIT – Pomocí tohoto labelu odlišuje, zda se jedná o materiál dovezený v režimu JIT, či o materiál určený do zásob. Tento label je relevantní pouze pro druh entity nákladní vůz a paleta. Nabývá následujících hodnot:

- 1 – materiál k uskladnění
- 2 – materiál JIT

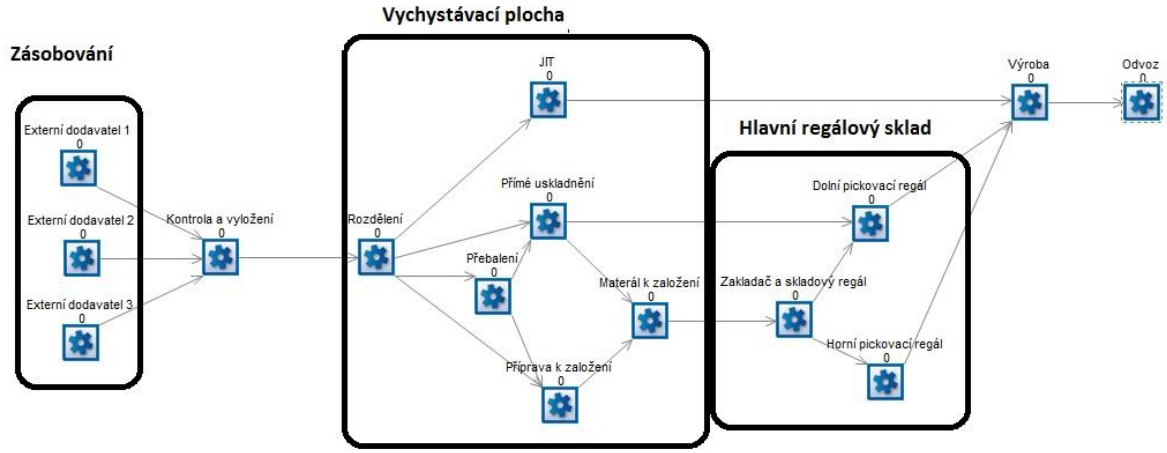
Regal – Tento label rozhoduje, zda je paleta určena k uskladnění do dolního pickovacího nebo do horního pickovacího regálu. Z předchozí věty lze odvodit, že tento label je pouze relevantní pro druh entity paleta. Nabývá následujících hodnot:

- 1 – dolní pickovací regál
- 2 – horní pickovací regál

4.1.2. Stručný popis modelu

Model vytvořený v této práci popisuje skladovací prostory, které se nacházejí v budově výrobní haly společnosti. Sklad i výroba jsou zásobovány pomocí tří externích dodavatelů, kteří materiál dovážejí pomocí nákladních automobilů. Materiál je nejdříve zkontrolován a následně vyložen na vychystávací plochu u skladu, kde pak dochází k jeho třídění a přebalování. Následně jsou palety převáženy přímo do skladu, přímo do výroby (pokud se jedná o materiál JIT) nebo k zakladači, kde čekají na založení. K uskladnění palet slouží hlavní regálový sklad, který se skládá ze skladovacího regálu a dvou pater pickovacích regálů. Na závěr pak materiál putuje do výroby, odkud je po jejím dokončení připraven k odvozu a následně odvezen z haly pomocí nákladních automobilů společnosti.

Na následujícím *Obrázku 16* můžeme vidět zjednodušené zobrazení simulačního modelu, ve kterém jdou vidět spojení mezi jednotlivými procesy systému. V další části si blíže popíšeme všechny části tohoto zjednodušeného modelu včetně jejich schémat vytvořených v SIMUL8.



Obrázek 16 - Schéma simulačního modelu

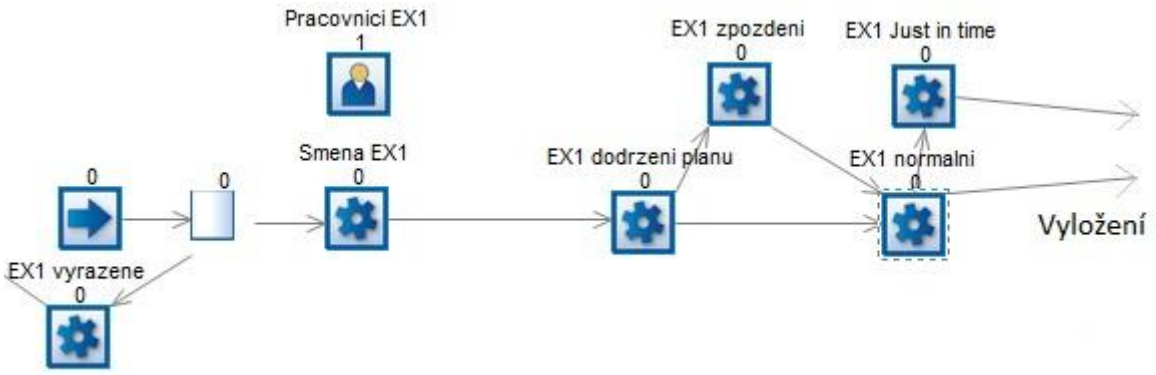
4.1.3. Zásobování skladu

Zásobování skladu a výroby probíhá pomocí tří externích dodavatelů. S jednotlivými dodavateli má společnost dohodnutý plán na příjezd jednotlivých nákladních automobilů, tak aby příjezd nebyl náhodný a vykládání palet bylo plynulé. U každého z dodavatelů je tak v modelu nastaven fixní interval, po kterém by měl být externím dodavatelem připraven další vůz k zavezení. Zásobování skladu probíhá od 6:00 do 15:00. U každého ze tří dodavatelů je pak vytvořena aktivita „Smena“, která zajišťuje, aby dodavatelé po 15:00 neposílali další entity (nákladní automobily) do skladu. Pokud entita dorazí dříve, projde aktivitou bez ovlivnění, pokud ale dorazí až po 15:00, je touto aktivitou vyřazena ze systému.

U některých automobilů dochází z neočekávaných důvodů ke zpoždění. Nejčastější důvod pro zpoždění je špatný provoz, který se nedá ovlivnit. Ke zpoždění dochází přibližně u 10 % vozů. V modelu je to zajištěno pomocí aktivit „EX dodrzeni planu“ a „EX zpozdeni“. První aktivita nejdříve rozdělí v daném poměru vozy, které se zpozdí, a druhá aktivita následně určí, jak velké toto zpoždění bude. Velikost toho zpoždění byla u jednotlivých dodavatelů určena na základě zkušeností a dřívějších dat o příjezdech.

Nákladní vozy převážně přivážejí materiál v klasickém režimu, ale část je také dovážena v režimu JIT. Tento materiál pak po vyložení putuje přímo do výroby. Rozdělení je zajištěno pomocí aktivit „EX normalni“ a „EX Just in time“. První zmíněná aktivita nejdříve rozdělí v poměru nákladní vozy na ty, které vezou materiál v klasickém režimu a režimu JIT. Aktivita „EX Just in time“ pak přiřadí entitě, které jí projdou hodnotu 2 pro label JIT. U materiálu v klasickém režimu je hodnota tohoto labelu 1.

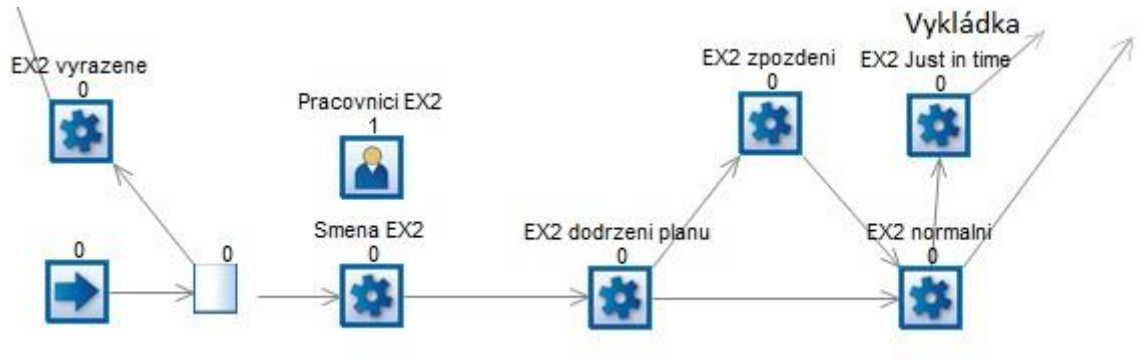
Zásobováni od externího dodavatele 1



Obrázek 17 Zásobování externí dodavatel 1

Od tohoto dodavatele by měl každých 80 minut dorazit jeden nákladní vůz. Jak už bylo zmíněno, přibližně u 10 % vozů dochází k jejich zpoždění. Zpoždění u tohoto dodavatele má přibližně normální rozdělení se střední hodnotou 35 a rozptylem 8. První dodavatel dodává asi 80 % materiálu v klasickém režimu a zbylých 20 % v režimu JIT.

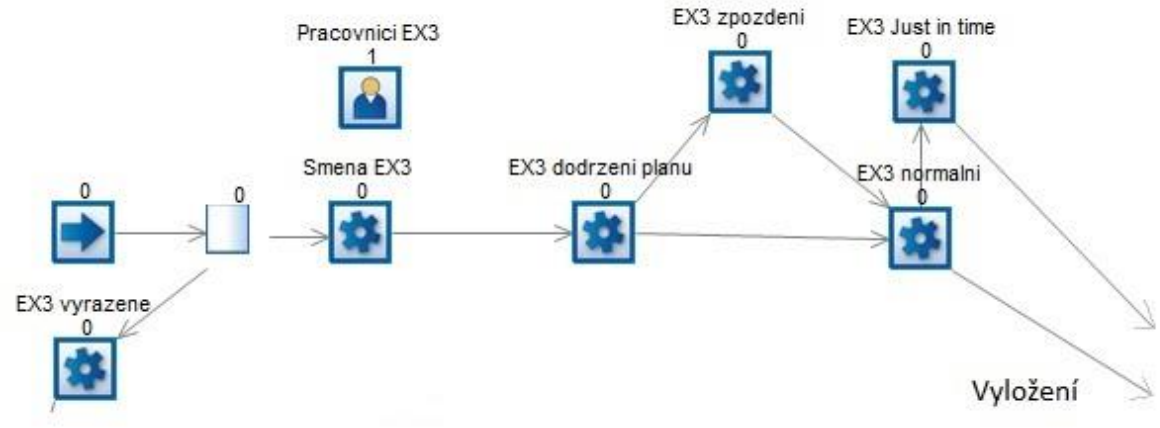
Zásobováni od externího dodavatele 2



Obrázek 18 - Zásobování externí dodavatel 2

Od tohoto dodavatele by měl každých 60 minut dorazit jeden nákladní vůz. Zpoždění u tohoto dodavatele má přibližně normální rozdělení se střední hodnotou 25 a rozptylem 8. První dodavatel dodává asi 85 % materiálu v klasickém režimu a zbylých 15 % v režimu JIT.

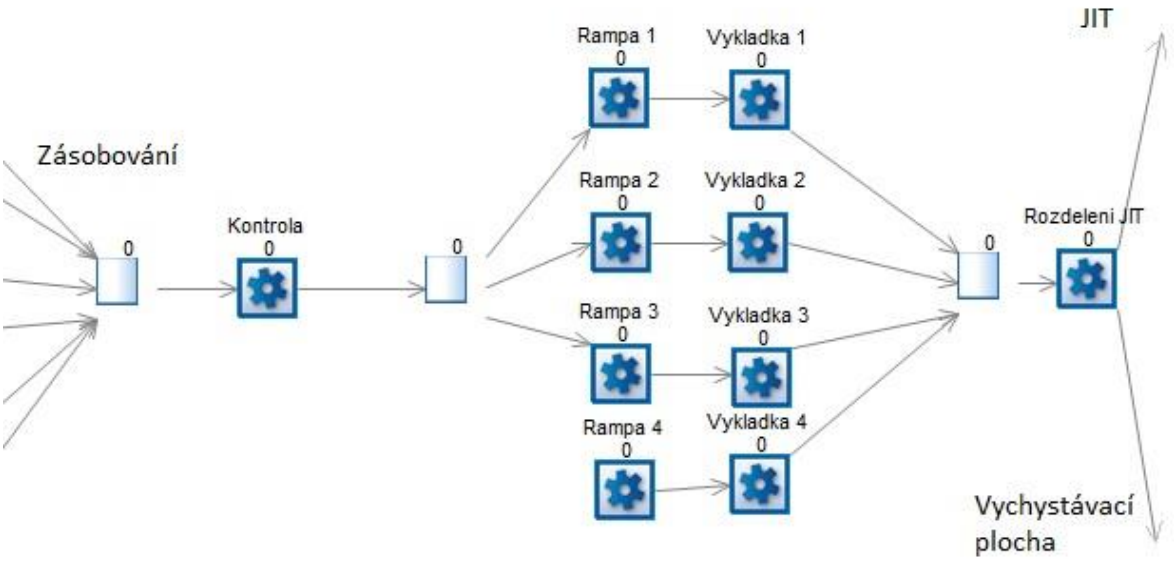
Zásobováni od externího dodavatele 3



Obrázek 19 - Zásobování externí dodavatel 3

Od tohoto dodavatele by měl každých 70 minut dorazit jeden nákladní vůz. Zpoždění u tohoto dodavatele má přibližně normální rozdělení se střední hodnotou 30 a rozptylem 10. První dodavatel dodává asi 90 % materiálu v klasickém režimu a zbylých 10 % v režimu JIT.

4.1.4. Vyložení materiálu



Obrázek 20 - Vykládka

Materiál od všech dodavatelů je při příjezdu do skladu přijímán na jednom místě. Nejdříve je provedena kontrola materiálu a všechny potřebné procedury pro přijetí. Tato fáze je v modelu zajištěna aktivitou „Kontrola“, která trvá přibližně 10 minut. Následně nákladní vozy přejedou k jedné z volných vykládacích ramp, kde čekají na vyložení a poté odjíždí. Pokud ani jedna z ramp není volná, zařadí se vozy do fronty. Jakmile se jedna z ramp uvolní, je do ní zařazen další nákladní vůz podle pravidla FIFO. Pro příjem jsou ve skladu k dispozici čtyři vykládací rampy, ale k vykládání palet se zatím využívají pouze tři. V modelu je tato skutečnost zobrazena pomocí neexistující spojnice mezi frontou na vyložení a aktivitou „Rampa 4“. V aktivitách „Rampa“ se jedna entita druhu nákladní vůz změní pomocí labelu na přibližně 25 entit druhu paleta. Tyto palety jsou pak následně vykládány v aktivitě „Vykladka“. V modelu je zajištěno, aby další nákladní vůz nepřijel do aktivity „Rampa“ dokud nejsou všechny palety z předchozího vozu vyloženy.

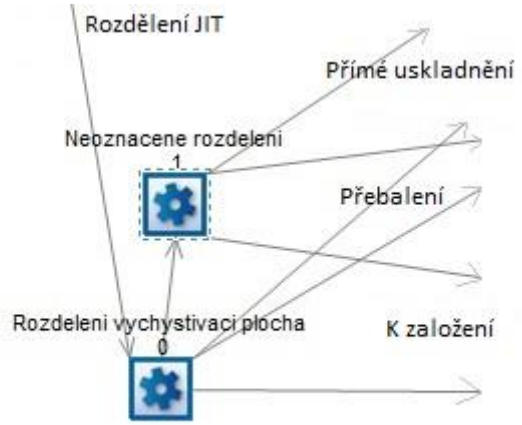
Samotné vykládání palet se provádí za pomoci vysokozdvižných vozíků, kdy na jedné rampě se můžou vykládání v jednu chvíli zúčastnit maximálně dva vysokozdvižné vozíky. Vozíky nejdříve zajedou k nákladnímu vozu, poté naberou paletu, kterou následně odvezou na vychystávací plochu, kde ji složí na volné místo. Doba vykládání je pro každou z ramp různá. Toto je způsobeno vzdáleností vychystávací plochy od jednotlivých ramp. Průměrné doby vykládání podle rampy si můžeme prohlédnout v následující *Tabulce 1*. Tyto doby byly zjištěny na základě minulých zkušeností a dat.

Tabulka 1 - Průměrné doby vykládání

Číslo rampy	1	2	3	4
Trvání vykládání (min)	4	4,5	5,5	6

V modelu jsou následně palety rozděleny pomocí aktivity „Rozdeleni JIT“ na základě labelu JIT na materiál, který půjde rovnou do výroby a na materiál určený k uskladnění. Reálně jsou oba druhy materiálu ukládány na vychystávací plochu a k této aktivitě dochází pouze pro účely rozdělení v simulačním modelu.

4.1.5. Vychystávací plocha



Obrázek 21 - Vychystávací plocha

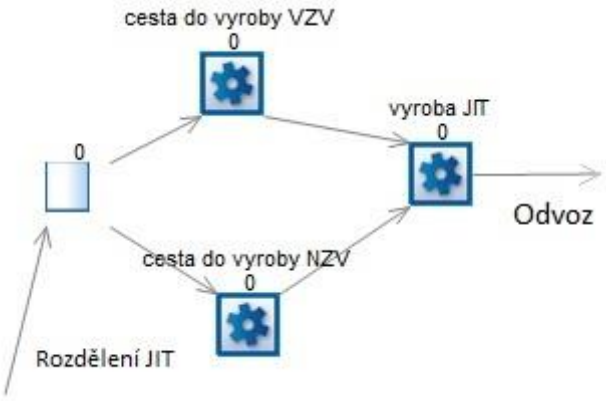
Jak již bylo v předchozí části zmíněno, vysokozdvižné vozíky skládají veškerý materiál na paletách na vychystávací plochu. Zde pro potřeby simulačního modelu dochází k rozdělení materiálu pomocí aktivit „Rozdeleni JIT“ a „Rozdeleni vychystavaci plocha“. Pro aktivitu „Rozdeleni vychystavaci plocha“ platí, že přibližně 30 % materiálu putuje na přebalení, 25 % materiálu pokračuje k přímému zaskladnění a zbylých 43 % je určeno k založení. Občas dodavatel špatně palety označí a není jednoznačně určitelné, kam by měla daná paleta pokračovat. Tato situace nastává přibližně ve 2 % případů a vede pozdržení doby přechodu palety na místo jejího určení. V modelu je tato situace řešena pomocí aktivity „Neoznacene rozdeleni“, kde je zjištěno kam má paleta zamířit. Z předchozích zkušeností toto zdržení při zjišťování, kam má paleta přijít, má normální rozdělení se střední hodnotou 14 a rozptylem 3. Pro aktivitu „Neoznacene rozdeleni“ dále platí, že přibližně 33 % materiálu putuje na přebalení, 33 % materiálu pokračuje k přímému zaskladnění a zbylých 34 % je určeno k založení.

V modelu je tedy materiál po vyložení rozdělen do čtyř skupin:

- Materiál určený k přesunu přímo do výroby (JIT),
- materiál určený k přebalení,
- materiál určený k přímému uskladnění,
- materiál určený k založení.

Níže si jednotlivé skupiny přiblížíme.

JIT

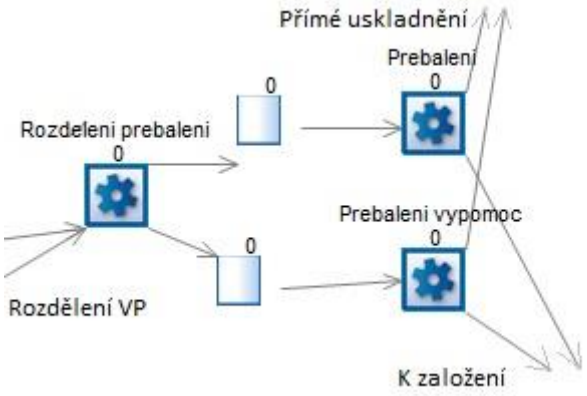


Obrázek 22 – Materiál JIT

Materiál, který přišel v režimu JIT je učený k přepravě přímo z vychystávací plochy do výroby. Pojem přeprava je zde brán jako posloupnost několika činností. Palety jsou nejdříve nabrány na vychystávací ploše, poté jsou složeny ve výrobě a následně je ještě započten návrat vozíků na vychystávací plochu. Manipulace s paletami probíhá za pomoci vysokozdvižných vozíků (dále VZV) a nízkozdvižných vozíků (dále NZV). Pro oba možné způsoby manipulace je vytvořena vlastní aktivita, a to z důvodů různých dob potřebných pro přepravu palet pomocí dané manipulační techniky. Přeprava VZV trvá 6 minut, zatímco při použití NZV je pak tato doba 10 minut.

V poslední aktivitě „Vyroba JIT“ pak dochází samotné výrobě, která je v modelu zjednodušena pouze na přeměnu entity paleta pomocí labelu druh na výrobek. Výrobky jsou po výrobě připravovány k odvozu. Ve výrobě vzniká požadavek na materiál každou 1 minutu.

Přebalování



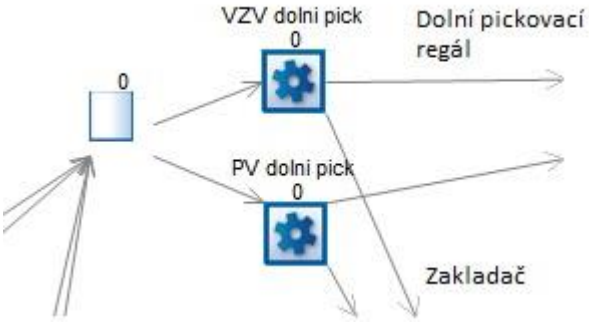
Obrázek 23 - Přebalování materiálu

Část materiálu je potřeba po dodání od dodavatele přebalit. To je způsobeno tím, že materiál je dodáván v podobě nejvíce vyhovující dodavatelům. Bohužel ale při využití systému Kanban je potřeba, aby materiál byl v přepravce v daném množství. Potřebný materiál je tedy na vychystávací ploše nutné rozbalit a následně ho vložit podle potřeb do přepravek. Tyto přepravky jsou poté označeny čárovými kódy, a nakonec opět poskládány na paletu.

K samotnému procesu přebalování dochází na vychystávací ploše a je pro něj speciálně vyhrazeno pět pracovníků. K dispozici jsou pak další dva pracovníci, kteří mohou přijít na pomoc s přebalováním. Toto nastává, pokud se na vychystávací ploše nahromadí velké množství palet k přebalení. V modelu je této situace docíleno tak, že pro frontu před aktivitou „Prebaleni“ je nastavena kapacita na 50 palet. Pokud je pak tato kapacita naplněna, další palety pak směřují do aktivity „Prebaleni vypomoc“. V reálném systému jsou pracovníci na výpomoc voláni na základě rozhodnutí vedoucího směny, ale pro účely simulačního modelu je využito této transformace, jejíž výsledky odpovídají přibližně realitě. Přebalení jedné palety ze zkušenosti trvá průměrně 14 minut.

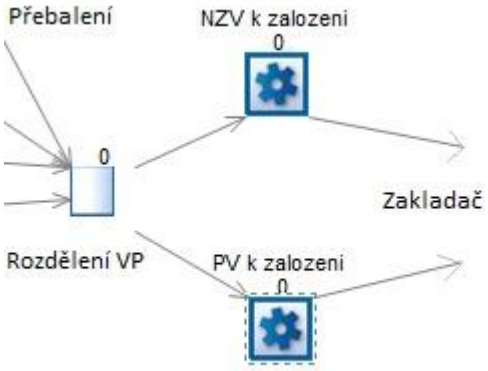
Přímé uskladnění materiálu

Materiál, který dorazil k přímému uskladnění je určen k zavezení do spodního pickovacího regálu. Tyto regály se nacházejí ve spodním patře hlavního regálového skladu. K dopravě palet s tímto materiálem se využívá vysokozdvižných a paletových vozíků. V modelu je pro každý typ vozíku vytvořena vlastní aktivita, a to z důvodu rozdílné doby k převozu a uskladnění palety. VZV trvá tento proces 4 minuty, zatímco PV to zabere 8 minut. Pokud dojde k naplnění kapacity spodního pickovacího regálu je nutné palety s materiálem převézt k zakladači, který je později po uvolnění kapacity do regálu uskladní.



Obrázek 24 - Přímé uskladnění materiálu

Příprava materiálu k založení



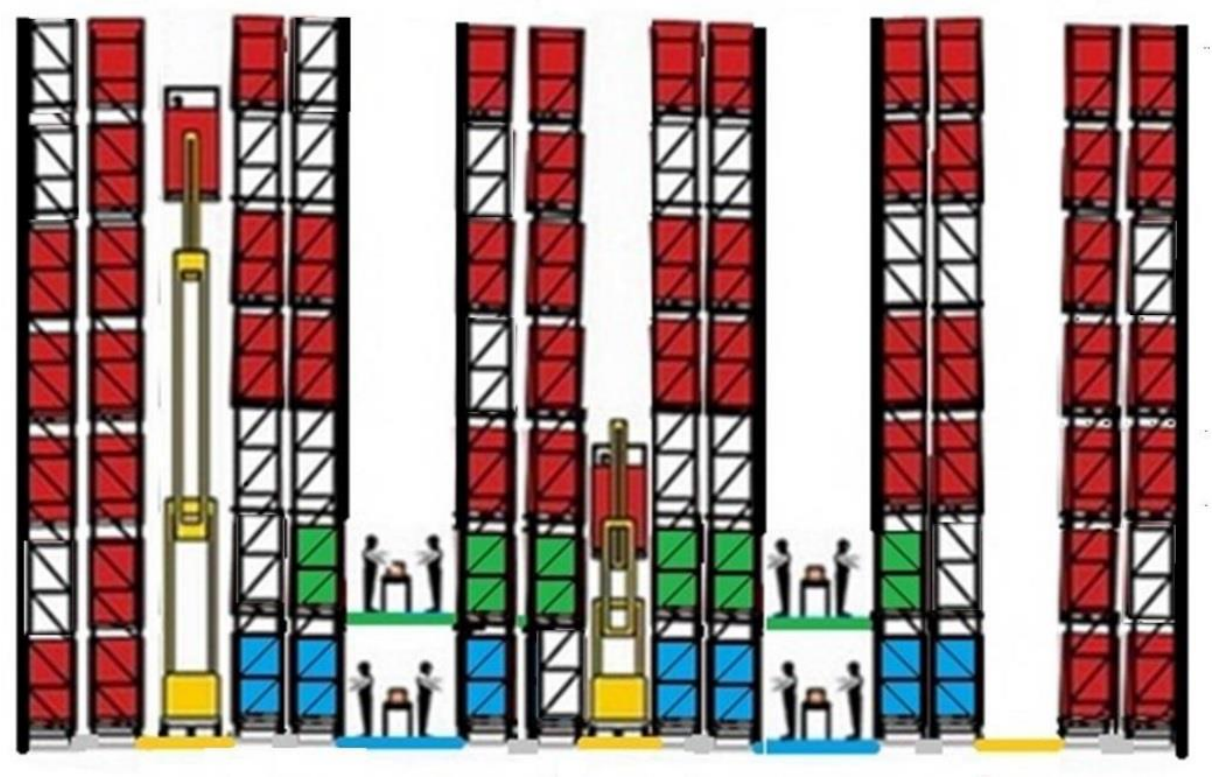
Obrázek 25 - Příprava materiálu k založení

Materiál určený k uskladnění v hlavním regálovém skladu je na vychystávací ploše rozbalen a následně pomocí nízkozdvižného nebo paletového vozíku převezen k zakladači, který si ho později přebere a založí na přesně určené místo. V simulačním modelu je opět pro využití každého z typu vozíků vytvořena vlastní aktivita. V těchto aktivitách je také paletě nastaven label regal na hodnotu 2. Příprava materiálu a jeho převoz zabere NZV 5 minut. U PV je pak tato doba delší a to 8 minut.

4.1.6. Hlavní regálový sklad

V této části si přiblížíme hlavní regálový sklad, který pokrývá většinu prostor skladu. Hlavní regálový sklad se skládá ze tří částí, a to skladového regálu, horního pickovacího regálu a dolního pickovacího regálu. Slouží k zajištění dvou základních činností, kterými jsou uskladnění materiálu a následné pickování materiálu do výroby. Řešení hlavního regálové skladu je provedeno tak, že jedna z uliček je určena pro práci zakladače a další uličce jsou pak místa pro pickování materiálu. Spodní pickovací regál je na *Obrázku 26* označen modrou barvou. Horní pickovací regál je pak označen barvou zelenou a červenou barvou je označen skladový regál. Nejvyšší patra skladového regálu jsou využívána k dlouhodobému skladování

materiálu. Ve všech případech jsou regály spádové. V rámci skladového regálu je spád veden do uličky se zakladačem. U pickovacích regálu je pak spád vždy do uličky k pickovacím místům.



Obrázek 26- Hlavní pickovací regál

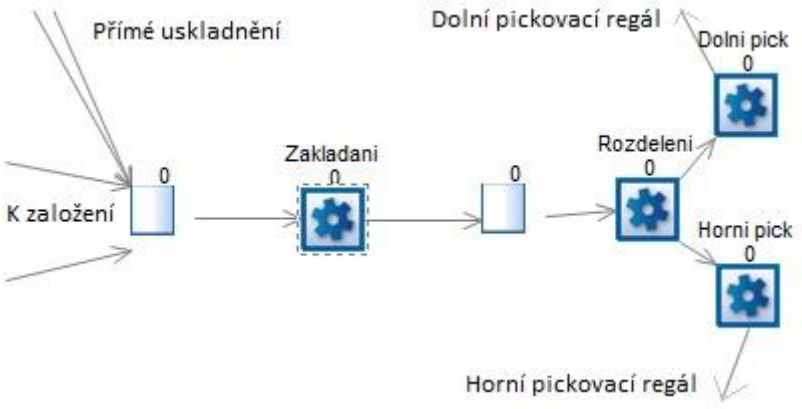
Skladový regál

Skladový regál slouží jako úložný prostor pro největší část zásob materiálu ve skladu. Jak již bylo zmíněno, jeho vyšší patra slouží k dlouhodobému skladování. Tyto dlouhodobé zásoby jsou vytvářeny z dvou hlavních důvodů. Prvním důvodem je, že náklady spojené s průběžným doplňováním potřebných zásob jsou větší než náklady na dodání většího množství materiálu předem a následným uskladněním do doby jeho potřeby ve výrobě. Druhým neméně důležitým důvodem je pak držení rezervních zásob, které mohou být využívány pro výrobu například při výpadku dodávek materiálu externím dodavatelem.

Skladování je prováděno pomocí spádových regálu typu push-back, kdy jsou vedle sebe postaveny vždy dva až tři regály. Skladování pomocí těch regálu neumožnuje přístup k paletám na zadním regálu. Nelze tedy využívat pravidla FIFO, ale materiál je odebírán podle pravidla LIFO.

Uskladnění palet do regálů se provádí pomocí poloautomatického zakladače. Zakladač nabírá postupně palety připravené dříve k založení z vychystávací plochy. Následně je pak založí do regálu na nejbližší vhodné místo.

V simulačním modelu probíhá zakládání palet pomocí aktivity „Zakladani“ tak, že zakladač nejdříve z fronty palet k založení odebere 10 palet a ty přibližně za 20 minut založí na místa určení.



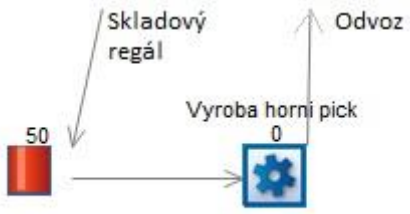
Obrázek 27 - Zakládání palet

Když se v pickovacích regálech uvolní místo pro palety s potřebným materiálem, které byly do té doby skladovány ve skladovém regálu, řidič vezme všechny kanbanové karty z koše a nahraje si čárové kódy potřebného materiálu do čtecího zařízení. Systém pak řidiči ukáže, kde se dané palety nachází. Řidič tyto palety naloží a opět díky systému zjistí, jestli je má zavézt do dolního, či horního pickovacího regálu, a také zjistí na jaké přesné místo je složit. Po vyložení palety přidá řidič kanbanovou kartu na příslušné místo a pokračuje dále. Trasu a pořadí zakládání si určuje každý z řidičů sám, ale vždy se snaží, aby cesta i doba vykládání byla co nejkratší.

V simulačním modeluje je pak tento proces zajištěn pomocí aktivity „Rozdelení“, která rozděluje palety podle labelu regal, tak aby správně směřovaly do spodního nebo horního pickovacího regálu. Aktivita „Rozdeleni“ nejdříve odebere 10 palet ze skladového regálu a následně trvá průměrně 12 minut, než jsou palety převezeny na příslušné místo v pickovacím regálu.

Horní pickovací regál

Horní pickovací regál se nachází v patře skladu hned nad dolním pickovacím regálem. Nejčastěji zde bývá uskladněn menší a lehčí materiál. Tak jako v ostatních případech jsou palety uskladněny na spádových regálech. Horní pickovací regál je doplňován poloautomatickým zakladačem pomocí systému Kanban ze skladovacího regálu. Následně zde pak probíhá pickování materiálu do výroby pracovníky pomocí vozíků z výroby.



Obrázek 28 - Horní pickovací regál

Ve výrobě vzniká požadavek na horní pickovací regál průměrně každých 6 minut, což je v modelu zajištěno pomocí aktivity „Vyroba horni pick“. Kapacita horního pickovacího regálu je přibližně 60 palet. V modelu je tato skutečnost zobrazena jako fronta o kapacitě 60. Počet palet pod tuto kapacitu je pak brán jako počet požadavků k založení. Zakládání do regálů tedy nemůže probíhat, pokud je tato fronta plná.

Spodní pickovací regál

Ve spodním pickovacím regálu je nejčastěji uskladňován materiál, který je těžší a objemnější. Část palet je zde skladována tak jako v horním pickovacím regálu pomocí spádových regálů. Více palet se zde ale skladuje přímo na ploše skladu mimo regály.



Obrázek 29 - Dolní pickovací regál

Mezi regály a po skladovací ploše se pak pohybují pracovníci, kteří pickují materiál následně ho pomocí vozíků převážejí do výroby. Spodní pickovací regál je zásobován jednak ze skladového regálu, a pak pomocí vysokozdvižných a paletových vozíků přímo z vychystávací plochy skladu.

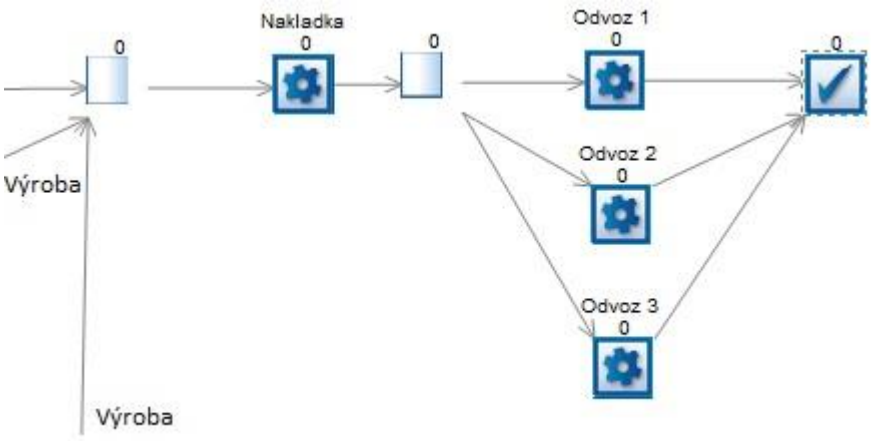
V simulačním modelu je spodní pickovací regál řešen obdobně jako ten horní s tím rozdílem, že kapacita je zde větší a to až 120 palet. Tak jako v předchozím případě nelze zakládat další palety, pokud je tato kapacita zaplněna, a počet palet pod kapacitu je počtem požadavků k založení. Ve výrobě vzniká požadavek na spodní pickovací regál průměrně každé 3 minuty. Toho je v modelu opět dosaženo pomocí aktivity „Vyroba dolni pick“.

4.1.7. Výroba

Cílem této práce ani simulace není podrobné sledování výroby, a tak je v tomto modelu zjednodušena pouze na již dříve popsané aktivity „Vyroba JIT“, „Vyroba horni pick“ a „Vyroba dolni pick“. Kdy vzniká z výroby požadavek na materiál, ten je do ní na paletách dopraven a následně je zde pomocí labelu druh změněn druh entity z palety na výrobek (výrobky jsou pořád skladovány na paletách). Z výroby pak palety s výrobky putují k odvozu.

4.1.8. Odvoz

Palety s výrobky putují na druhou vychystávací plochu, kde jsou následně naloženy do nákladních vozidel, která je odvážejí pryč. K vychystávací ploše je přistavena jedna široká rampa, sloužící pro naložení palet do vozidel. Palety jsou zde nakládány pomocí nízkozdvižných vozíků. Na rampě mohou v jednu chvíli pracovat maximálně tři NZV. K účelům odvozu společnost využívá tři své nákladní automobily.



Obrázek 30 - Odvoz výrobků

V simulačním modelu je nakládání palet s výrobky řešeno pomocí aktivity „Nakladka“, kdy NZV z fronty na vychystávací ploše odebere 20 palet, které pak průměrně 10 minut skládá do nákladního vozu. 20 entit druhu výrobek se v této aktivitě změní na 1 entitu druhu nákladní vozidlo. Nákladní vozidla pak opouštějí simulační model přes aktivitu „Odvoz“, kdy v každé z aktivit trvá odjezd různou dobu. Proces odjezdu osahuje cestu nákladního vozidla k cíli a jeho cestu zpět. Průměrné doby jednotlivých odjezdů můžeme vidět v následující *Tabulce 2*.

Tabulka 2 - Průměrné doby odjezdů

Číslo odjezdu	1	2	3
Trvání aktivity (min)	70	70	60

4.1.9. Směny zdrojů

V rámci výrobní haly a skladu je nastaveno několik směn. Zde si popíšeme ty, které jsou pro simulační model nezbytné.

Největší část procesů v této hale má nastavenou směnu od 6:00 do 15:00. To se práce nízkozdvižných a paletových vozíků, práce výrobní linky a příjezdů i odjezdů nákladních vozidel. Vysokozdvižné vozíky se řídí směnou od 6:00 do 17:00.

Nejdelší směnou se řídí poloautomatické zakladače, které pracují od 6:00 do 20:00. Takto dlouhá směna je pro zakladače nastavena, aby byly schopny zpracovat všechny palety určené k založení.

4.1.10. Zdroje a manipulační technika

V rámci skladu je využíváno celkem 5 různých typů manipulační techniky a dopravních prostředků. Jedná se o nákladní automobily, vysokozdvižné, nízkozdvižné, paletové vozíky a poloautomatické zakladače. Počty jednotlivých dopravních prostředků a manipulační techniky pak zobrazuje následující *Tabulka 3*.

Tabulka 3 - Zdroje a manipulační technika

Typ	Počet
Nákladní vůz	3
VZV	6
NZV	5
PV	5
Poloautomatický zakladač	2

V simulačním modelu je pak vše výše zmíněné zahrnuto do modelu ve formě zdrojů, které jsou potřebné k realizace některých aktivit modelu. V reálném systému je možné některé procesy vykonat pomocí více druhů manipulační techniky. Příkladem takového procesu je například přímé uskladňování, kdy tuto činnost může vykonávat jak VZV, tak PV. Pokud tato

situace v simulačním modelu nastala, byla vyřešena pomocí vytvoření vlastní aktivity pro jednotlivé typy využitelné manipulační techniky.

Další situací, která může nastat, je situace, kdy je jeden typ manipulační techniky potřeba na více místech najednou. V takovou chvíli je potřeba upřednostnit, kde bude zdroj využit. V modelu je toto řešeno pomocí nastavení priority u aktivity, kde je daný zdroj vyžadován. Kdy zdroj bude přiražen k aktivitě s vyšší prioritou. Priority v modelu jsou nastaveny podle následující *Tabulky 4*.

Tabulka 4 - Nastaven priorit v modelu

Priorita	VZV	NZV	PV	Poloautomatický zakladač
Vykládka	80			
JIT	30	60		
Přímé uskladnění	40		90	
Příprava k založení		50	70	
Založení do SR				70
Přeložení z SR				50
Nakládka		80		

Vysokozdvižné vozíky

V současné chvíli je ve skladu využíváno celkově 6 vysokozdvižných vozíků. Tyto vozíky jsou dobře využitelné i pro práci v úzkých uličkách. VZV je nejrychlejší manipulační technikou, která je ve skladu k dispozici. Jedinou nevýhodou je nemožnost zakládání palet do velkých výšek, ale pro tuto činnost jsou ve skladu určené poloautomatické zakladače. VZV jsou využívány při několika činnostech ve skladu. Tou nejdůležitější je vykládka, jelikož tato činnost je prováděna pouze VZV, a tak je pro tuto aktivitu nastavena nejvyšší priorita. Další činnosti, kde se VZV využívá, jsou přímé uskladnění palet do spodního pickovacího regálu a převoz palet s materiálem určeným přímo do výroby.

Nízkozdvižné vozíky

V současné chvíli je ve skladu využíváno celkově 5 nízkozdvižných vozíků. Jedná se o univerzální vozíky, které se svojí rychlostí pohybují mezí vysokozdvižnými a paletovými vozíky. Nejvyšší prioritou těchto vozíků je nakládání palet s vyrobenými výrobky do nákladních automobilu, tak jako VZV pro vykládku, tak NZV mají pro nakládku nejvyšší prioritu. Dále se také často využívají pro přepravu palet s materiálem určeným přímo do výroby a pro přepravu palet připravených k založení.

Paletové vozíky

Ve skladu je k dispozici 5 paletových vozíků, které sice nejsou tak rychlé jako VZV a NZV vozíky, ale manipulace s těmito vozíky je velmi jednoduchá. Využívají se proto výhradně pro pozemní přesun palet. Nejčastěji jsou tak využívány pro přímé uskladňování palet z vychystávací plochy do spodního pickovacího regálu. Dále se pak používají pro převoz připravených palet k poloautomatickému zakladači.

Poloautomatický zakladač

Ve skladu se nacházejí dva poloautomatické zakladače, které, jak už bylo dříve zmíněno, slouží k zakládání připravených palet z vychystávací plochy do skladového regálu a později jejich přenesení do pickovacích regálů. Tyto zakladače jsou v uličkách naváděny za pomoci indukčního vedení, takže se dokážou automaticky pochybovat mezi regály. Jedná se stroj typu man-up s automatickým zvedáním. Díky této funkci je tak zakladač schopen automaticky přemístit obsluhu na požadovanou pozice pro paletu.

Jedná se o multifunkční manipulační techniku, jelikož lze využít jako zakladač a zároveň jako vychystávací vozík.

Nákladní vozy

Společnost pro odvoz palet s výrobky využívá tří vlastních nákladních automobilů. Zbylé nákladní automobily v modelu jsou vozy externích dodavatelů. Tyto vozy jsou určené pro zásobování skladu paletami s materiálem.

4.2. Výstupy ze simulačního modelu – základní část

V této části si přiblížíme výstupy získané ze simulačního modelu vytvořeného na základě současného stavu skladu.

4.2.1. Verifikace modelu

V prostředí softwaru SIMUL8 byl vytvořen počítačový simulační model. V rámci vytváření tohoto modelu byla průběžně prováděna jeho verifikace. Model byl při tvorbě rozdělen na několik menších částí, které byly samostatně testovány.

Nejdříve byla každá z částí simulována bez vlivu náhodných veličin. Výsledky těchto simulací byly porovnány se zadáním a při odpovídajících hodnotách byl do simulace přidán vliv náhodných veličin.

Po tomto ověření všech částí modelu se jejich spojením vytvořil konečný simulační model celého skladu.

4.2.2. Výstupy

Pro získání výstupů bylo na simulační model aplikováno 20 na sobě nezávislých simulačních běhů. Jeden simulační běh se pak skládá ze 7 po sobě jdoucích pracovních dní. Pomocí těchto pokusů byly získány průměrné hodnoty a intervaly spolehlivosti pro sledované ukazatele, které si v následujícím textu blíže popíšeme.

Manipulační technika

U manipulační techniky, jakožto u zdrojů využívaných v simulačním modelu nás nejvíce zajímá její vytíženost. Pod tímto pojmem chápeme, kolik procent času je tato technika využívána. Vytíženost jednotlivé manipulační techniky pak zobrazuje následující *Tabulka 5*.

Tabulka 5 - Vytíženost manipulační techniky

Typ	Počet	Využití		
		-95 %	Průměr	+95 %
VZV	6	90,42 %	91,05 %	91,68 %
NZV	5	73,63 %	75,49 %	77,34 %
PV	5	89,08 %	89,92 %	90,76 %
Zakladač	2	69,10 %	69,55 %	69,99 %
Nákladní auto	3	69,96 %	70,43 %	70,90 %

Nejvyšší vytíženosti ve skladu dosahují vysokozdvižné vozíky se 91,05 %, což odpovídá jejich nezbytnosti pro vykládání palet při vykládce. Na základě této skutečnosti by bylo vhodné uvažovat o pořízení dalších vysokozdvižných vozíků. Pořizovací náklady na VZV nejsou zrovna nízké, a tak rozhodnutí o jejich nákupu záleží na rozhodnutí vedení společnosti. Naopak pořizovací náklady na paletové vozíky jsou nízké a šlo by jimi nahradit část práce VZV. Jejich procentuální využití je také vysoké, přesně je to 89,92 %. Nejnižší využití mají podle modelu nákladní automobily, které jsou průměrně využívány pouze na 70,43 %. Zde by mohl vzniknout problém s odvozem, a to například v případě poruchy jednoho z vozů.

Vychystávací plocha

Na vychystávací ploše jsou skládány všechny palety po příjezdu do skladu. Odtud je s nimi dále manipulováno. Díky rozdělení do různých front je možné v simulačním modelu sledovat, jaký materiál se na vychystávací ploše nachází a kam jaký materiál z vychystávací plochy směřuje. Zároveň je toto rozdělování nutné pro správnou funkčnost modelu jako celku.

Tabulka 6 - Vychystávací plocha

Rozdělení	Průměrná délka fronty	Podíl průměrné délky fronty	Maximální průměrná délka fronty
JIT	11,05	18,02 %	61,60
Přímé uskladnění	7,83	12,76 %	51,50
Přebalení	18,95	30,89 %	48,10
Přebalení výpomoc	0,43	0,70 %	8,10
Příprava k založení	14,35	23,39 %	57,85
Čeká na založení	8,74	14,25 %	48,25
Vychystávací plocha	**61,35**	**100,00 %**	**-**

V *Tabulce 6* můžeme vidět výsledky průměrných délek jednotlivých front na vychystávací ploše. Pro přehlednost jsou zde uvedeny pouze průměrné hodnoty bez intervalů spolehlivosti, ty lze nalézt v *Příloze 1*. Průměrně se na vychystávací ploše nachází 61,35 palet. Největší průměrnou frontu tvoří palety určené k přebalení a to 18,95 palet, což je 30,89 % ze všech palet ve frontě na vychystávací ploše. Další velká část fronty na vychystávací ploše je tvořena paletami určenými na přípravu k založení 23,39 % a paletami čekajícími na zavezení do výroby 18,02 %. Palety čekající na tyto tři zmíněné aktivity dohromady přesahují 70 % všech palet průměrně čekajících na vychystávací ploše. Palety k přebalení mají maximální průměrnou délku fronty 48,1 palet, což není největší hodnota v tomto sloupci. Největší průměrnou délku fronty drží palety určené k zavezení do výroby s 61,6 paletami.

Spodní a horní pickovací regál

Jak již bylo dříve popsáno, počet požadavků na založení do spodního a horního pickovacího regálu se vypočítá jako rozdíl maximální kapacity fronty a současného naplnění fronty. Z průměrných a minimálních výsledků těchto front, pak snadno vypočítáme průměrný a maximální počet požadavků na založení. V následující *Tabulce 7* můžeme vidět výsledky těchto ukazatelů včetně intervalů spolehlivosti.

Tabulka 7 - Spodní a horní pickovací regál

		-95 %	Průměr	+95 %
Horní pickovací regál	Průměrný počet požadavků	2,09	2,48	2,88
	Maximální počet požadavků	26,78	31,25	35,72
Spodní pickovací regál	Průměrný počet požadavků	1,01	1,03	1,06
	Maximální počet požadavků	8,98	10,20	11,42

Z výsledků v tabulce lze říci, že ve spodním pickovacím regálu je počet požadavků založení menší, než je tomu u horního pickovacího regálu. Pro horní pickovací regál jsou pak průměrné počty požadavků dvakrát větší a maximální počty požadavků dokonce třikrát větší, než je tomu u spodního pickovacího regálu. Tato skutečnost je zapříčiněna přímým uskladňováním do spodního pickovacího regálu. U obou regálů pak platí, že maxima počtu požadavků jsou mnohonásobně větší než průměrné hodnoty, což by mohlo poukazovat na to, že pro oba regály dochází k velkým výkyvům obsazenosti.

4.2.3. Validizace modelu

Skutečná data byla porovnána s výsledky ze všech simulačních běhů, tak aby bylo zjištěno, zda simulační model odpovídá realitě. Výsledky simulace byly také diskutovány s pracovníky společnosti, kteří vědí nejvíce o procesech probíhajících ve skladu.

Model byl v průběhu času několikrát upravován, tak aby se co nejvíce přiblížil skutečnosti a byly do něj zahrnuty všechny nezbytné procesy, které ovlivňují chod a výsledky simulace.

4.3. Experimenty na modelu

V této části bude provedena série experimentů aplikovaných na simulační model a výsledky těchto experimentů budou vyhodnoceny. Tak jako pro počáteční model bylo u každého experimentu provedeno 20 simulačních běhů, na jejichž základě byly stanoveny průměrné hodnoty sledovaných ukazatelů a také jejích intervaly spolehlivosti.

4.3.1. Doba čekání nákladních vozů na odbavení

Jedním z primárních úkolů této práce bylo přijít s řešením, které by co nejvíce vylepšilo dobu, kterou nákladní vozidla externích dodavatelů čekají na odbavení nákladu. Jako cíl bylo stanoveno, aby více než 85 % nákladních vozů čekalo méně než 15 minut na uvolnění vykládací rampy. Byly navrženy tři různé způsoby, jak by tohoto cíle mohlo být dosaženo a to:

- Otevřením další vykládací rampy,
- přidáním jednoho či více vysokozdvižných vozíků,
- omezením ostatních činností vysokozdvižných vozíků mimo vykládku.

Všechny tři varianty byly simulovány a zároveň byly simulovány i některé jejich kombinace.

Otevření čtvrté vykládací rampy

Jednou z možností, jak snížit dobu čekání nákladních automobilů, by mohlo být opětovné otevření čtvrté vykládací rampy. V současné chvíli se využívají pouze tři ze čtyř ramp. Jedna rampa byla uzavřena z důvodů rozšíření úložného prostoru na vychystávací ploše. Již dříve, když byla tato rampa využívána, nebyly nákladní vozy odbavovány rychleji. Během doby se změnil počet manipulační techniky, a tak je její znovuotevření jednou z možností zkrácení doby čekání.

V *Tabulce 8* můžeme vidět výsledky simulací i s intervaly spolehlivosti. Kde první řádek zobrazuje procentuální využití VZV ve skladu a další řádky pak ukazatele popisující stav fronty nákladních vozidel čekajících na uvolnění rampy. Z výsledků uvedených v tabulce níže se ukazuje, že opětovné otevření čtvrté rampy by nevedlo ke zlepšení doby strávené ve frontě, naopak by tuto dobu ještě více navýšilo. Zároveň by docházelo k ještě většímu využívání vysokozdvižných vozíků, které jsou již v současné situaci vytížené. Obdobné výsledky ukazuje i průměrný podíl vozů, které stráví čekáním ve frontě méně než 15 minut, kdy tento podíl změnou klesl o 4,64 procentního bodu.

Tabulka 8 – Otevření čtvrté vykládací rampy

Počet ramp	3			4		
Ukazatel	-99 %	Průměr	+99 %	-99 %	Průměr	+99 %
Využití VZV v %	90,19	91,05	91,91	93,89	94,80	95,71
Průměrný čas čekání	5,66	6,78	7,90	6,39	8,08	9,77
Maximální čas čekání	36,31	44,31	52,30	47,81	56,10	64,39
Maximální délka fronty	2,97	3,35	3,73	3,23	3,70	4,17
% méně než 15 minut	78,91	82,07	85,24	72,24	77,43	82,62

Opětovné otevření čtvrté vykládací rampy by tedy samo o sobě nevedlo ke zvýšení podílu nákladních vozů, které ve frontě čekají méně než 15 minut.

Přidání vysokozdvižných vozíků

Další z možností, jak dosáhnout ke zvýšení podílu vozidel čekajících ve frontě, by bylo pořízení nových vysokozdvižných vozíků, které jako jediný typ manipulační techniky starají o vykládání palet z vozů. VZV jsou nejuniverzálnější a nejrychlejší manipulační technikou využívanou ve skladu. To se bohužel podepisuje na nákladech spojených s jejich provozováním a údržbou, které jsou oproti paletovým a nízkozdvižným vozíkům mnohonásobně větší. Pro představu jsou tyto náklady oproti NZV 4x až 5x vyšší a oproti PV pak dokonce 20x vyšší.

Následující *Tabulka 9* zobrazuje výsledky simulace i s intervaly spolehlivosti současného stavu a pro porovnání výsledky po zvýšení počtu VZV na 7 až 9.

Tabulka 9 - Přidání vysokozdvižných vozíků

Počet VZV	6			7			8			9		
Ukazatel	-99 %	Průměr	+99 %	-99 %	Průměr	+99 %	-99 %	Průměr	+99 %	-99 %	Průměr	+99 %
Využití VZV v %	90,19	91,05	91,91	83,65	84,66	85,66	76,57	77,52	78,47	69,43	70,29	71,15
Průměrný čas čekání	5,66	6,78	7,90	5,54	6,53	7,52	5,21	6,20	7,19	5,04	5,97	6,91
Maximální čas čekání	36,31	44,31	52,30	37,60	42,25	46,89	36,66	42,12	47,58	35,55	40,67	45,79
Maximální délka fronty	2,97	3,35	3,73	2,84	3,15	3,46	2,94	3,20	3,46	2,90	3,10	3,30
% méně než 15 minut	78,91	82,07	85,24	78,10	81,88	85,66	80,64	84,04	87,44	81,37	84,66	87,94

Podle očekávání s postupným přidáváním VZV dochází ke zlepšení sledovaných ukazatelů. K největšímu zlepšení dochází ve vytížení VZV. Tato skutečnost je snadno pochopitelná, protože na stejné množství práce připadá větší množství VZV. I pro ostatní ukazatele popisující frontu ve většině případů platí, že dochází k jejich zlepšovaní. Výjimkou je pak podíl vozidel čekajících ve frontě méně než 15 minut u 7 VZV, kdy došlo oproti současnému stavu k poklesu o 0,19 procentního bodu. Při počtu 8 a 9 VZV se už pak tento podíl velmi blíží požadované hranici 85 %, ale stále ji nepřekračuje.

Požadovaného cíle tedy zatím nebylo dosaženo. Velmi bychom se ale k němu přiblížili, pokud bychom do skladu pořídili další dva nebo tři VZV. To by bylo ale spojené s velkými náklady, a tak ani tato varianta není nejvhodnějším řešením. Nadále budeme hledat variantu, která by cílovou hranici překročila nebo se k ní alespoň co nejvíce přiblížila při nákladech nižších než, které by stálo využívání dvou a více dodatečných VZV.

Omezení ostatních činností vysokozdvižných vozíků mimo vykládky

Jak už bylo zmíněno, náklady spojené s vysokozdvižnými vozíky jsou několikanásobně vyšší, něž je tomu u paletových a nízkozdvižných vozíků. Další možnou variantou by tak bylo omezit činnosti, které VZV vykonávají mimo vykládky a tuto nerovnováhu u ostatních činností napravit přidáním dalších PV a NZV.

V praxi by pak jediným úkolem VZV bylo vykládat palety z nákladních vozů na vychystávací plochu a PV a NZV by se staraly o odvoz palet z vychystávací plochy do spodního pickovacího regálu, k zakladači nebo přímo do výroby. V simulačním modelu toho bylo dosaženo pomocí odstranění spojnic vedoucích do aktivit spojených s VZV.

Opět se očekává, že by tato změna měla vést ke zvýšení podílu vozů, které ve frontě na uvolnění vykládací rampy čekají méně než 15 minut. Současně je pak nutné sledovat, jestli touto změnou nedojde k příliš velkému vytížení zbývající manipulační techniky. V případně takové situace by vhodné rozšířit počty PV a NVZ.

Pomocí simulace byly otestovány různé varianty a jejich výsledky zobrazuje níže *Tabulka 10*. První sloupec zobrazuje současný stav. Ve druhém sloupci můžeme vidět variantu s omezením činností VZV bez přidání jiné manipulační techniky a ve zbylých sloupcích pak varianty s navýšením počtu manipulační techniky.

Tabulka 10 – Omezení činnosti VZV

Přidaná manipulační technika / Ukazatel	Původní	Původní s prioritou	8 PV	8 NZV	8PV + 8NVZ
Využití VZV v %	91,05	79,97	79,97	79,97	79,97
Využití NZV v %	75,49	87,06	66,20	55,64	44,12
Využití PV V %	89,92	99,19	83,70	97,45	79,33
Průměrný čas čekání	6,78	5,99	5,99	5,99	5,99
Maximální čas čekání	44,31	40,77	40,77	40,77	40,77
Maximální délka fronty	3,35	3,10	3,10	3,10	3,10
% méně než 15 minut	82,07	84,57	84,57	84,57	84,57

Z důvodů přehlednosti zde nejsou přidány intervaly spolehlivosti, které ale lze pro *Tabulky 10-13* nalézt v *Příloze 2*. Horní část tabulky je věnována vytíženosti manipulační techniky a spodní část pak popisuje frontu čekající na uvolnění další rampy.

Z výsledků můžeme vidět, že při omezení činnosti VZV, dojde k velkému zvýšení vytížení PV a NZV při současném poklesu vytíženosti VZV. Ve variantách s přidanou manipulační technikou pak využití PV a NZV klesne opět na přijatelné hodnoty.

Tak jako všechny předchozí simulované varianty, tak ani omezení činnosti VZV nevedlo k překročení cílové hranice podílu 85 % vozidel, které by čekaly ve frontě méně než

15 minut. Opět se ale výsledný podíl k této hranici velmi přiblížil. Navíc náklady na 3 dodatečné PV a NZV jsou podobné jako náklady na jeden dodatečný NZV, takže tato varianta by se zdála i ekonomicky výhodná.

Kromě fronty na uvolnění rampy je nutné také zjistit, jaký měla tato změna vliv na aktivity (respektive fronty), kde VZV omezily svou činnost. To se týká převozu palet z vychystávací plochy přímo do výroby a přímého uskladňování.

V *Tabulce 11* můžeme vidět výsledky týkající se těchto dvou aktivit. U palet určených na zavezení do výroby dochází při přidání manipulační techniky ke snížení jejich počtu ve frontě skoro o polovinu. U palet čekajících na přímé uskladnění se jejich počet na vychystávací ploše extrémně navýšil. To by mohlo v nejhorším případě vést k přeplnění vychystávací plochy.

Tabulka 11 - JIT a přímé uskladnění při omezení činnosti VZV

Přidaná manipulační technika		Původní	Původní s prioritou	8 PV	8 NZV	8PV + 8NVZ
Ukazatel						
JIT	Průměrný délka fronty	11,05	19,03	10,21	6,62	6,32
	Maximální délka fronty	61,60	73,60	53,65	45,25	44,55
Přímé uskladnění	Průměrný délka fronty	7,83	133,77	130,04	134,64	130,04
	Maximální délka fronty	51,50	229,15	225,60	230,25	225,60

Omezení ostatních činností VZV mimo vykládky a otevření čtvrté rampy

Další variantou, která byla simulována, je kombinace otevření čtvrté rampy a omezení činností VZV. *Tabulka 12* má podobné rozložení jako tabulka v přechozí části textu. V prvním sloupci je pro porovnání uveden současný stav a ve zbylých sloupcích je oproti předchozí části ve všech variantách přidána znovuotevřena čtvrtá rampa.

Z výsledků vidíme, že znovuotevření čtvrté vykládací rampy v kombinaci s omezením činností VZV nevede ke zlepšení poměru nákladních vozů, které čekají ve frontě na uvolnění rampy méně než 15 minut. Naopak došlo opět k jeho snížení a to 3,37 procentního bodu. To se také projevuje na průměrném čase čekání ve frontě. Ten se oproti stávajícímu stavu zvýšil o 0,52 minuty, tedy přibližně o 31 vteřin. U maximálního času čekání i u maximální délky fronty došlo také k růstu hodnot. Lze předpokládat, že tato skutečnost je opět způsobena otevřením čtvrté vykládací rampy.

Pokud jde o využití manipulační techniky, tak omezením činnosti VZV opět dochází k poklesu vytíženosti VZV, ale k nárůstu vytíženosti PV a NZV. Tento problém lze řešit pomocí přidání další manipulační techniky, čím dochází k opětovnému snížení vytíženosti PV a NVZ.

Tabulka 12 - Omezení činnosti VZV a otevření čtvrté rampy

Přidaná manipulační technika / Ukazatel	Původní	4 rampy s prioritou	8 PV	8 NZV	8PV + 8NVZ
Využití VZV v %	91,05	85,92	85,92	85,92	85,92
Využití NZV v %	75,49	87,28	66,59	55,75	44,16
Využití PV V %	89,92	99,22	83,48	97,52	79,53
Průměrný čas čekání	6,78	7,30	7,30	7,30	7,30
Maximální čas čekání	44,31	56,05	56,05	56,05	56,05
Maximální délka fronty	3,35	3,70	3,70	3,70	3,70
% méně než 15 minut	82,07	79,33	79,33	79,33	79,33

Také v rámci této varianty sledujeme její vliv na činnosti, které VZV přestaly vykonávat. Výsledky tohoto sledování pak vidíme v *Tabulce 13*. Opět se ukazuje, že i v případě omezení činnosti VZV se znovuotevřením rampy došlo ke snížení fronty palet čekajících na odvoz do výroby, ale velkému navýšení palet čekajících na přímé uskladnění.

Tabulka 13 - JIT a přímé uskladnění při omezení činnosti VZV a otevření čtvrté rampy

Přidaná manipulační technika / Ukazatel		Původní	4 rampy s prioritou	8 PV	8 NZV	8PV + 8NVZ
JIT	Průměrný délka fronty	11,05	20,58	10,00	7,13	6,75
	Maximální délka fronty	61,60	75,75	55,55	50,05	49,45
Přímé uskladnění	Průměrný délka fronty	7,83	135,93	130,09	133,66	130,09
	Maximální délka fronty	51,50	235,00	229,45	232,80	229,45

Kombinace znovuotevření čtvrté vykládací rampy a omezení činnosti VZV pouze na vykládku nevedla k dosažení stanoveného cíle. Podíl vozidel čekajících méně než 15 minut by byl horší, než je tomu za stávající situace. Navíc by docházelo i k velkému nárůstu palet na vychystávací ploše. Na základě těchto faktů lze říci, že tato varianta není vhodná.

Vyhodnocení

Jako cíl tohoto simulačního experimentu bylo nalézt variantu, ve které by podíl nákladních vozidel, která čekají na uvolnění vykládací rampy kratší dobu než 15 minut, vzrostl na 85 % a více. Bohužel se nám pomocí simulačních experimentů nepovedlo nalézt variantu, která by danou hranici překročila.

Ze simulovaných variant jsem vybral dvě nejúspěšnější. Tyto varianty se nejvíce přiblížili hranici podílu 85 % a mohly by být zvoleny jako kompromisní řešení, pokud by společnost chtěla provést alespoň částečné zlepšení situace oproti současnému podílu 82,07 %.

Vybranými variantami jsou:

- Přidání dvou VZV,
- omezením činnosti VZV a přidáním tří PV a NZV.

Tabulka 14 - Vyhodnocení simulačního experimentu 1

Varianta / Ukazatel	Současná varianta	+ 2 VZV	Omezení činnosti + 3PV + 3 NZV
Využití VZV v %	91,05	77,52	79,97
Využití NZV v %	75,49	61,28	44,12
Využití PV V %	89,92	72,97	79,33
Průměrný čas čekání	6,78	6,20	5,99
Maximální čas čekání	44,31	42,12	40,77
Maximální délka fronty	3,35	3,20	3,10
% méně než 15 minut	82,07	84,04	84,57

Tabulka 14 zobrazuje pro porovnání hodnoty současné varianty ve srovnání s vybranými variantami. Z výsledků pak vidíme, že z těchto dvou vybraných variant by jako kompromisní varianta byla zvolena ta s omezením činnosti VZV a přidáním tří PV a NZV. Tato varianta je ve všech ukazatelích lepší než současná situace a také lepší než situace s dvěma přidanými VZV. Také po finanční stránce by byla tato varianta vhodnější, neboť pořízení tří dodatečných PV a NZV by odpovídalo přibližně pořízení jednoho dodatečného VZV. Jedinou nevýhodou této varianty by bylo navýšení obsazenosti vychystávací plochy.

Zda společnost bude nadále využívat současné situace nebo zda se rozhodne pro aplikaci kompromisní varianty pro zlepšení podílu vozidel, která čekají na uvolnění vychystávací plochy méně než 15 minut, je už na jejím vedení. Využití počítačového simulačního modelu je pro tento experiment velice výhodné, jelikož by obdobný experiment aplikovaný na reálný systém byl jistě těžko proveditelný. Dále by byl spojený s velkými náklady a mohl by mít negativní vliv na samotné fungovaní skladu.

4.3.2. Zvýšení podílu materiálu v režimu JIT

Druhý simulační experiment se zabývá zvýšením podílu materiálu, který putuje do skladu v režimu JIT. Jeho cílem bylo zjistit, jak by se změnila situace na vychystávací ploše a jak by tato změna ovlivnila využití manipulační techniky skladu. V současné chvíli je přibližně 15 % všeho materiálu dodáváno v režimu JIT. V simulačním experimentu byla sledována situace, kdy by se toto procento zvýšilo postupně na 16 %, 17 % a 18 %.

Bylo očekáváno, že v rámci jednotlivých variant bude docházet ke zvýšení počtu palet čekajících na vychystávací ploše k zavezení přímo do výroby a současně ke snižování počtu palet, které směřují k založení do hlavního skladovacího regálu. Jedním z cílů pak bylo zjistit, který z těchto trendů převládne, a zda by změna vedla ke snížení či ke zvýšení obsazenosti vychystávací plochy.

Tabulka 15 - Průměrné délky front při zvýšení podílu materiálu v režimu JIT

Průměrná délka fronty	Současná situace	16 %	17 %	18 %
JIT	11,05	11,75	12,92	14,01
Přímé uskladnění	7,83	7,91	7,72	7,78
Přebalení	18,95	18,21	17,82	16,61
Příprava k založení	14,35	14,41	14,19	14,13
Čeká na založení	8,74	8,55	8,29	8,23
Vychystávací plocha	**60,92**	**60,83**	**60,94**	**60,76**

V *Tabulce 15* vidíme stav průměrné délky fronty v jednotlivých částech vychystávací plochy. Pro přehlednost zde opět nejsou uvedeny intervaly spolehlivosti, ty jsou pro *Tabulky 15–17* uvedeny v *Příloze 3*. Z výsledků je vidět, že při zvyšovaní podílu materiálu v režimu JIT opravdu dochází ke zvyšování průměrného počtu palet, které na vychystávací ploše čekají na přímé zavezení do výroby. Při zvýšení podílu na 18 % je oproti současné situaci ve frontě na převoz do výroby o skoro 3 palety více. Také druhý očekávaný trend se potvrdil a se změnou došlo k poklesu průměrných délek front některých dalších činností. K největšímu poklesu pak dochází ve frontě na přebalování palet, kde zvýšení podílu materiálu v režimu JIT na 18 %, přináší pokles fronty o 2,34 palet. Při pohledu na celkovou obsazenost vychystávací plochy by změna podílu nevedla skoro k žádné změně obsazenosti. Zatím tedy nelze říci, že by zvyšovaní podílu, mělo nějaký velký vliv na chod vychystávací plochy.

Tabulka 16 - Maximální délky front při zvýšení podílu materiálu v režimu JIT

Maximální délka fronty	Současná situace	16 %	17 %	18 %
JIT	61,60	61,70	66,85	68,55
Přímé uskladnění	51,50	50,60	52,60	53,55
Přebalení	48,10	46,90	46,45	45,50
Příprava k založení	57,85	59,20	57,55	56,80
Čeká na založení	48,25	48,75	46,70	43,95

V *Tabulce 16* můžeme vidět vývoj maximální délky front v jednotlivých částech vychystávací plochy. Zde opět můžeme vidět rostoucí trend počtu palet čekajících na odvoz do výroby. Oproti průměrné délce fronty dochází ke zvětšení maximální délky fronty i u přímého uskladnění, což by mohlo napovídat, že u této fronty by se změnou docházelo k větším

výkyvům. U zbylých činností dochází opět k poklesu délek front. Největší snížení nastalo u maximální délky fronty palet čekajících na založení poloautomatických zakladačem. Dalo by se tedy očekávat, že zvýšení podílu materiálu v režimu JIT by mohlo vést ke snížení vytížení obou zakladačů. Tak jako z předchozí tabulky i zde výsledky nenapovídají o tom, že by změna s sebou přinesla nějaký velký vliv na obsazenost vychystávací plochy.

Tabulka 17 - Využití manipulační techniky při zvýšení podílu materiálu v režimu JIT

Využití v %	Současná situace	16 %	17 %	18 %
VZV	91,05	91,33	91,28	91,45
NZV	75,49	76,43	77,39	78,66
PV	89,92	89,57	89,46	88,98
Zakladač	69,55	69,36	69,12	68,85

V poslední části experimentu jsme se podívali na vytížení jednotlivých zdrojů ve skladu. Podle očekávání došlo k mírnému růstu vytížení VZV a NZV, jelikož se tato manipulační technika využívá pro zavážení palet přímo do výroby. Pokud porovnáme současnou situaci s variantou růstu podílu na 18 %, dochází k největšímu zvýšení využití u NZV a to o 3,17 procentního bodu. Tato změna není nijak závratná a neměla by mít žádný vliv na celkový chod skladu. Výsledky také potvrzují výše zmíněné očekávání, že by zvýšení podílu materiálu v režimu JIT vedlo ke snížení vytížení obou poloautomatických zakladačů a to o 0,7 procentního bodu.

Vyhodnocení

Z výsledků tohoto simulačního experimentu vyplývá, že zvýšením podílu materiálu dodávaného v režimu JIT by podle očekávání docházelo ke zvýšení počtu palet, které čekají na přímé zavezení do výroby. Tento růst je ale vyrovnán poklesem počtu palet v klasickém režimu, a to nejvíce u palet určených k přebalení. Zavedení jakékoliv z variant nemělo mít vliv na obsazenost vychystávací plochy.

Dále jsme se podívali, jaký vliv by měla tato změna na vytížení jednotlivých typů manipulační techniky. Zde došlo k mírnému růstu vytížení u VZV a NZV, a to z důvodu jejich využití pro zavážení palet přímo do výroby. Jak bylo výše zmíněno, došlo by ke snížení množství materiálu dodávaného v klasickém režimu. Tato skutečnost by vedla k mírnému poklesu vytížení poloautomatických zakladačů.

Co se týká sledovaných ukazatelů, nemělo by mít zavedení kterékoliv z variant zvýšení podílu materiálu v režimu JIT vliv na plynulost chodu celého skladu. Nelze ale říci, že by změny obsazenosti vychystávací plochy byly zásadní, a tak by bylo vhodné se zamyslet, jestli stávající situace není postačující. Zavedení jedné z variant by bylo spojeno s úpravami dohod

s jednotlivými dodavateli. Dále by pak hrozilo zvýšení rizika při výpadku dodávek, či při větším zpoždění nákladních vozidel při cestě do skladu. Zde se jeví zachování současné situace jako vhodnější varianta.

4.3.3. Zavedení elektronického systému Kanban

Pro třetí experiment v pořadí bylo zvoleno zavedení elektronického systému Kanban. V současnosti je ve skladu využívána varianta s fyzickými kartami, které se čas od času ztrácejí a jsou více náchylné na opotřebení. Jak již bylo v teoretické části této práce popsáno elektronický systém Kanban by mohl přinést mnoho výhod pro chod skladu. Zmíním například lepší přehled zásob, zlepšení plynulosti skladu, či odstranění papírových karet. Důležitou otázkou je pak jaký vliv by mělo zavedení elektronického systému Kanban na počet požadavků na založení v pickovacích regálech a jak by tato změna případně ovlivnila vytíženost poloautomatických zakladačů. V simulačním modelu byla tato změna zavedena pomocí změny doby, za kterou je vyslán na pickovací regál další požadavek.

Tabulka 18 zobrazuje porovnání současné situace při použití kartového systému Kanban a po případném zavedení elektronické verze systému Kanban. V horním pickovacím regálu došlo ke zlepšení obou sledovaných ukazatelů. Jak u průměrného počtu požadavků, tak u maximálního počtu požadavků došlo k poklesu. Lze tedy předpokládat, že došlo ke snížení výkyvů v počtech požadavků. U spodního pickovacího regálu došlo naopak k malému nárůstu počtu požadavků, ale pro jeho více jak dvojnásobnou kapacitu není tato změna významná.

Tabulka 18 – Počet požadavků při přechodu na elektronický systém Kanban

		Současná situace			Elektronický systém Kanban		
		-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %
Horní pickovací regál	Průměrný počet požadavků	2,09	2,48	2,88	1,65	1,96	2,27
	Maximální počet požadavků	26,78	31,25	35,72	23,43	28,50	33,57
Spodní pickovací regál	Průměrný počet požadavků	1,01	1,03	1,06	1,31	1,39	1,48
	Maximální počet požadavků	8,98	10,20	11,42	12,30	14,70	17,10

Dalším ukazatelem, který je potřeba sledovat při přechodu na elektronický systém Kanban, je vytíženost poloautomatických zakladačů. Ty by mohl přechod ovlivnit z důvodu jejich využití pro zakládání požadovaných palet do pickovacích regálů ze skladovacího regálu.

Jak ale vyplývá z výsledků z *Tabulky 19*, po zavedení elektronického systému Kanban by došlo k nepatrnému snížení vytížení poloautomatických zakladačů. Tento pokles je ale tak malý, že lze říci, že by se na současné situaci nic nezměnilo.

Tabulka 19 - Využití zakladače při přechodu na elektronický Kanban

	Využití		
	-95 %	Průměr	+95 %
Současná situace	69,10 %	69,55 %	69,99 %
Elektronický systém Kanban	68,97 %	69,45 %	69,94 %

Vyhodnocení

Pomocí tohoto simulačního experimentu bylo zjištěno, že přechod z karetního systému Kanban na elektronický systém Kanban by vedl ke zlepšení počtu požadavků k založení do horního pickovacího regálu. Ve spodním pickovacím regálu by došlo k mírnému zhoršení situace, ale toto zhoršení je statisticky nevýznamné. Současně by přechod nevedl ani k většímu vytížení poloautomatických zakladačů, a tak zde z hlediska sledovaných ukazatelů není důvod, proč by nešel tento systém zavést.

Je však nutné vzít v potaz, že zavedení elektronického systému Kanban by bylo spojeno s nemalými finančními náklady a že by bylo nutné stávající zaměstnance na tento systém zaškolit. Jelikož vliv na počet požadavků po přechodu není zásadní, bylo by rozumné zůstat u využívání současného karetního systému Kanban.

4.3.4. Menší množství materiálu k přebalení

Čtvrtý simulační experiment popisuje, jaký vliv na současnou situaci by měla dohoda mezi vedením společnosti a externími dodavateli o množství materiálu, který je nutný po dodání přebalovat na vychystávací ploše. V současné chvíli je přibližně 30 % veškerých dovezených palet určených k založení do hlavního skladovacího regálu nutno na vychystávací ploše přebalit.

Vyjednání dohody o stavu, v jakém budou palety s materiálem dorážet, by mělo mít vliv na počet palet čekajících na přebalení na vychystávací ploše a na pracovníky, kteří se této činnosti věnují. Jako hlavní cíle tohoto experimentu bylo tedy zvoleno zmenšení fronty palet určených k přebalení, odstranění potřeby pomocných pracovníků na přebalování a případné omezení stálých pracovníků věnujících se této aktivitě. V simulačním experimentu budou testovány tři varianty dohod s externími dodavateli. Tyto varianty jsou:

- 25 % palet je nutné přebalit,
- 20 % palet je nutné přebalit,
- 15 % palet je nutné přebalit.

Tabulka 20 zobrazuje vytíženost manipulační techniky v jednotlivých variantách simulačního experimentu. Vytíženost manipulační techniky je sledována, proto abychom

ověřili, zda změna v dodávaném materiálu nebude mít zásadní vliv na využití zdrojů. Výsledky jsou zde pro přehlednost zobrazeny bez intervalů spolehlivosti. Ty pak nalezneme v *Příloze 4* a to i pro *Tabulky 20-23*.

Pokud pak porovnáme vytížení manipulační techniky v současné situaci s variantou, kdy by pouze 15 % palet bylo potřeba přebalovat, zjistíme, že by u VZV a NZV došlo k malému poklesu vytíženosti. Naopak u PV by tato změna vedla k mírnému navýšení využití, ale tak jako pro VZV a NZV je tato změna malá a neměla by mít vliv plynulost chodu celého skladu.

Tabulka 20 – Vytíženost manipulační techniky v jednotlivých variantách podílu přebalovaného materiálu

Varianta	Současná situace	25 %	20 %	15 %
VZV	91,05 %	91,19 %	91,17 %	90,96 %
PV	75,49 %	76,24 %	76,49 %	77,33 %
NZV	89,92 %	88,68 %	88,02 %	87,09 %

V *Tabulce 21* najdeme ukazatele týkající se palet čekajících na založení z vychystávací plochy. Jak je vidět z dat v tabulce, se snižujícím počtem palet určených k přebalení se podle očekávání také snižuje průměrná délka fronty palet čekajících na přebalení. Pokud se například podíváme na třetí variantu, průměrná délka fronty je oproti současným 19 paletám pouhých 5 palet. Tento samý trend pak platí i pro maximální délku fronty, která je při porovnání současného stavu se třetí variantou více než poloviční.

Také průměrný a maximální čas čekaní se v rámci všech tří variant postupně zlepšuje. U třetí varianty opět dochází k více než dvojnásobnému zkrácení průměrné doby čekání. Pro maximální dobu čekání není tento pokles tak výrazný a naznačuje, že při menším množství materiálu potřebného k přebalení by docházelo k větším výkyvům v době čekání.

Nepsaný limit pro dobu čekání na přebalení na vychystávací ploše je stanoven na 10 minut. V současnosti se dodržování tohoto limitu moc nedaří, jelikož pouze čtvrtina palet čeká na přebalení kratší dobu, než je tento limit. Na snižování doby přebalování zatím nebyl nikdy kladen větší tlak a z tohoto důvodu se pak na stanovenou dobu pro přebalení moc nehledí. Společnost by zavedením jedné z variant mohla tento limit častěji splňovat, jelikož už při zavedení první varianty by došlo k navýšení tohoto podílu na skoro 62 %. U třetí varianty by pak tento podíl dosáhl skoro 85 %. V reálném skladu je volba pořadí přebalovaní ponechána v rukou pracovníků, kteří si jej určují na základě důležitosti materiálu. V simulačním modelu je fronta na přebalení řešena režimem FIFO.

Tabulka 21 - Přebalování v jednotlivých variantách podílu přebalovaného materiálu

Varianta	Současná situace	25 %	20 %	15 %
Průměrná délka fronty	18,96	9,57	6,61	4,71
Maximální délka fronty	48,10	35,85	26,80	21,40
Průměrný čas čekání	87,87	52,37	44,89	42,00
Maximální čas čekání	382,03	322,91	308,60	304,14
% méně než 10 minut	26,31	61,98	79,34	84,31

Snížení množství materiálu určeného k přebalování by mělo zajisté jistý vliv i na ostatní činnosti konající se na vychystávací ploše. Vliv na průměrnou délku fronty u jednotlivých aktivit nám ukazuje *Tabulka 22*.

Tabulka 22 - Vychystávací plocha v jednotlivých variantách podílu přebalovaného materiálu

Varianta	Současná situace	25 %	20 %	15 %
JIT	11,26	10,44	10,30	10,77
Přímé uskladnění	7,76	8,83	8,51	7,78
Přebalení	18,96	9,57	6,61	4,71
Přebalení výpomoc	8,15	0,35	0,00	0,00
Příprava k založení	14,38	15,36	16,05	16,92
Čeká na založení	8,63	8,64	8,83	8,92

Z dat vyplývá, že vliv jednotlivých variant na ostatní činnosti na vychystávací ploše nebude nijak významný. Pouze u palet připravovaných na založení a palet již čekajících na založení poloautomatickým zakladačem dochází k mírnému nárůstu průměrné délky fronty. U fronty na výpomoc při přebalování z výsledků dokonce vyplývá, že již při zavedení druhé varianty by nebylo potřeba pomocných pracovníků. Z hlediska ovlivnění ostatních aktivit na vychystávací ploše tedy neexistuje důvod, proč by jedna z variant nešla aplikovat.

V následující *Tabulce 23* se podíváme na počet pracovníků potřebných v rámci jednotlivých variant. Jejich potřeba je úzce spojena s jejich vytížením. Z dat v tabulce je vidět, že za současné situace je k přebalovaní potřeba skoro všech pět stálých zaměstnanců, kteří jsou pro přebalování určeni. Jen v nepatrném množství případů je pak nutné je doplnit o jednoho pomocného pracovníka. Co se týká ostatních variant, tak už i při zavedení první varianty by se snížila potřeba jednoho stálého zaměstnance a nadále by nebylo nutné mít v záloze pracovníky na výpomoc, kteří by mohli být relokováni na jinou pracovní pozici ve skladu. Výsledky třetí varianty pak naznačují, že by zde byla možnost odebrat i druhého stálého zaměstnance, a tak snížit počet stálých pracovníků přebalování ze současných pěti na tři.

Tabulka 23 - Počet potřebných pracovníků v jednotlivých variantách podílu přebalovaného materiálu

Varianta	Současná situace	25 %	20 %	15 %
Stálí pracovníci	4,67	3,97	3,20	2,43
Výpomocní pracovníci	0,04	0,00	0,00	0,00

Dále se podíváme, jaký vliv by mělo zavedení jedné z variant při snížení počtu pracovníků, kteří palety přebalují. V rámci této simulace byli ze simulačního modelu odstraněni pomocní pracovníci na přebalování

Tabulka 24 zobrazuje situaci ve frontě palet určených k přebalení pro různý počet stálých pracovníků. Opět zde nejsou pro přehlednost uvedeny intervaly spolehlivosti. Ty nalezneme pro *Tabulky 24-26* v *Příloze 5*. Ukazateli, které sledujeme pro všechny varianty, jsou průměrná a maximální délka fronty a podíl palet, které ve frontě stráví méně než 10 minut. Pokud bychom v současné situaci snížili počet pracovníků, vedlo by to k extrémnímu nárůstu průměrné i maximální délky fronty. Při snížení počtu pracovníků na 4 by bylo ke zvážení zavést druhou či třetí variantu. Zavedením první varianty bychom nedosáhli ani výsledků při současné situaci. Při snížení současného počtu 5 pracovníků na 3 by bylo nutné pro zlepšení ukazatelů oproti současné situaci zavést třetí variantu.

Tabulka 24 - Přebalování pro varianty podílu přebalovaného materiálu podle počtu pracovníků

Pracovníci	Varianta	Současná situace	25 %	20 %	15 %
5	Průměrná délka fronty	22,58	9,56	6,62	4,67
5	Maximální délka fronty	59,20	35,90	26,90	21,10
5	% méně než 10 minut	22,90	62,14	79,28	84,47
4	Průměrná délka fronty	153,30	34,46	8,27	5,09
4	Maximální délka fronty	262,20	68,95	29,15	21,30
4	% méně než 10 minut	0,00	10,20	55,34	78,62
3	Průměrná délka fronty	350,80	202,67	51,68	7,00
3	Maximální délka fronty	593,00	340,50	94,35	23,75
3	% méně než 10 minut	0,00	0,00	2,52	46,89

Tak jako v první fázi experimentu i zde sledujeme průměrnou délku fronty u ostatních činností, které se vykonávají na vychystávací ploše. Z výsledků, které můžeme vidět v *Tabulce 25*, vyplývá, že při snížení počtu stálých pracovníků dochází mírnému poklesu průměrných délek front v ostatních aktivitách. V rámci zavedení jednotlivých variant, pak opět nedochází k zásadním změnám délek front s výjimkou fronty na přebalování. Pokud by se společnost rozhodla snížit počet zaměstnanců přebalování na 4, bylo by vhodné se dohodnout s dodavateli na druhé či třetí variantě. Při snížení počtu zaměstnanců na 3 by pak jedinou rozumnou volbou bylo usmlouvání třetí varianty, s 15 % podílem materiálu určeného k přebalení.

Tabulka 25 – Vychystávací plocha pro varianty podílu přebalovaného materiálu podle počtu pracovníků

Pracovníci	Varianta	Současná situace	25 %	20 %	15 %
5	JIT	11,05	10,48	10,37	10,64
5	Přímé uskladnění	8,15	8,70	8,34	7,86
5	Příprava k založení	14,44	15,33	16,11	16,95
5	Čeká na založení	8,42	8,60	8,91	9,00
5	Přebalení	22,58	9,56	6,62	4,67
4	JIT	10,22	10,88	10,19	10,99
4	Přímé uskladnění	5,78	7,23	7,85	7,91
4	Příprava k založení	14,17	15,07	16,17	16,97
4	Čeká na založení	7,84	8,20	8,56	8,87
4	Přebalení	153,30	34,46	8,27	5,09
3	JIT	9,56	10,19	10,76	10,67
3	Přímé uskladnění	4,07	4,96	6,75	7,76
3	Příprava k založení	13,73	14,73	15,88	16,84
3	Čeká na založení	7,15	7,85	8,30	8,94
3	Přebalení	350,80	202,67	51,68	7,00

Poslední *Tabulka 26* nám opět zobrazuje počet zaměstnanců přebalování potřebných v rámci jednotlivých variant. Z dat můžeme vidět, že snížení počtu zaměstnanců bez využívání pomocných pracovníků by v současné situaci vedlo k jejich úplnému přetížení. I zde se jeví jako nejlepší volba druhé a třetí varianty při snížení počtu zaměstnanců na 4 a volba třetí varianty při snížení zaměstnanců na 3.

Tabulka 26 – Počet potřebných pracovníků pro varianty podílu přebalovaného materiálu

Pracovníci	Současná situace	25 %	20 %	15 %
5	4,70	3,98	3,20	2,43
4	4,01	3,90	3,20	2,44
3	3,01	3,01	2,99	2,44

Vyhodnocení

Zavedení jakékoliv z variant tohoto simulačního experimentu by bylo spojené s vytvořením smluvní dohody mezi společností a dodavateli. Dodavatelé by zajisté za změnu složení dopravovaného materiálu požadovali zvýšení ceny. Část těchto peněz by musela pokrýt jiný způsob balení a část by zvyšovala zisk dodavatelů. Také je nutné vzít v potaz, zda je vůbec pro dodavatel možné materiál balit a vozit v jiné formě. Pro společnost je nutné zjistit, jak velkou úsporu by implementace jedné z variant přinesla v porovnání s navýšením nákladů na dopravu.

Z výsledků simulačního experimentu vyplývá, že sjednání jedné z variant by vedlo ke zlepšení situace na vychystávací ploše, což by se mělo projevit také pozitivně na chodu celého

skladu. Toto zlepšení pak bylo jedním z cílových bodů tohoto experimentu. Zároveň by došlo také ke snížení nákladů na přebalování, které by dohodou přešli na dodavatele.

Dalším cílovým bodem bylo odstranění pomocné pracovní síly potřebné při přebalování. Simulace ukázala, že při zvolení, kterékoliv ze zkoumaných variant by byla potřeba pomocné síly odstraněna. Posledním cílem tohoto experimentu bylo zjistit, zda by šlo snížit i počet stálých pracovníků, kteří se v současnosti přebalování věnují. Výsledky ukázaly, že i to by bylo možné, ale zavedení takové změny by muselo být spojeno s volbou druhé či třetí varianty při snížení počtu pracovníků na 4 nebo třetí variantou při snížení počtu na 3.

Výsledky tohoto simulačního experimentu mohou pomoci vedení společnosti při zvažování, zda se pokusit změnit současnou situaci ohledně materiálu, který je nutný přebalovat. Simulační experiment přinesl mnoho informací, které by mohli pomoci při vyjednávání s dodavateli.

4.3.5. Kombinace simulačních experimentů

Na úplný závěr byl proveden simulační experiment zobrazující kombinaci všech předchozích experimentů. Z jednotlivých experimentů byly vybrány nejvhodnější varianty a ty byly postupně v simulaci implementovány. Zvolené varianty jsou následující:

- Z prvního experimentu byla zvolena kompromisní varianta omezení činnosti VZV a přidáním tří PV a NZV.
- Z druhého experimentu byla vybrána varianta zvýšení podílu materiálu v režimu JIT na 18 %.
- V rámci třetího experimentu došlo ke změně karetního systému Kanban na elektronický.
- Z posledního experimentu je pak vybrána varianta snížení počtu stálých pracovníků přebalování na 4 při snížení podílu materiálu určeného k přebalení na 20 %.

Celý experiment byl rozdělen na tři fáze. Kdy:

- V první fázi dojde k omezení činnosti VZV a přidání tří PV a NZV.
- V druhé fázi dojde ke zvýšení podílu materiálu v režimu JIT a ke snížení podílu materiálu určeného k přebalení při snížení počtu pracovníků.
- V poslední fázi je pak provedena změna elektronický systém Kanban.

V tomto simulačním experimentu budeme sledovat jaký vliv má zavedení jednotlivých fází na podíl nákladních vozidel čekajících na uvolnění vykládací rampy méně než 15 minut.

Dále situaci v pickovacích regálech, která je ovlivněna přechodem na elektronický Kanban. Posledními dvěma ukazateli, které budeme vyhodnocovat, jsou vytížení jednotlivých typů manipulační techniky a stav obsazenosti vychystávací plochy.

Tabulka 27 – Podíl vozidel čekajících na uvolnění fronty kratší dobu než 15 minut v jednotlivých fázích

% méně než 15 minut	-95 %	Průměr	+95 %
Fáze 1	82,12	84,57	87,02
Fáze 2	82,18	84,65	87,12
Fáze 3	82,18	84,65	87,12

Nejdříve se podíváme, jak kombinace simulačních experimentů ovlivnila dobu čekání nákladních vozidel na uvolnění vychystávací rampy. Očekávali jsme, že po první fázi simulace zbylé simulační experimenty nebudou mít negativní vliv na podíl vozidel, která čekají méně než 15 minut. Z výsledků v tabulce vidíme, že naopak došlo k malému navýšení tohoto podílu. Jedná se ale o průměrný nárůst o 0,08 procentního bodu, což je zcela zanedbatelné. Bohužel ani v kombinaci všech experimentů nedojde k překročení stanovené cílové hranice 85 %, pouze se jsme se k ní ještě více přiblížili.

Dále se podíváme, jaké bylo procentuální využití typů manipulační techniky v jednotlivých fázích simulace. Výsledky tohoto ukazatele jsou zobrazeny v *Tabulce 28*. Pro přehlednost zde nejsou uvedeny intervaly spolehlivosti. Ty nalezneme v *Příloze 6*, která také obsahuje intervaly spolehlivosti pro *Tabulky 28-30*. Z výsledků plyne, že v rámci jednotlivých fází nedochází k nějakým zásadním změnám ve vytíženosti manipulační techniky. Pouze u NVZ dochází k růstu vytížení a to o 5,37 procentního bodu při porovnání první a třetí fáze simulace. Díky rozšíření počtu NZV na 8 v první fázi simulace, vytíženost této manipulační techniky ani po nárůstu nepřekročí 50 %. K tomuto růstu vedla pravděpodobně změna podílu materiálu dodávaného v režimu JIT. V první fázi je totiž omezena činnost VZV, a tak se o převoz palet přímo do výroby starají pouze NZV.

Tabulka 28 – Procentuální využití manipulační techniky v jednotlivých fázích

Využití v %	Fáze 1	Fáze 2	Fáze 3
VZV	79,97	79,96	79,96
NZV	44,12	48,96	49,49
PV	79,33	79,03	79,01
Zakladač	66,28	66,01	65,84
Nákladní auto	70,23	70,75	70,94

Dalším ukazatelem, který je v rámci kombinovaného simulačního experimentu nutné sledovat, je obsazenost vychystávací plochy v jednotlivých aktivitách, které se na ní konají, ale

i jako celku. Konkrétně je sledována průměrná délka fronty. Její výsledky můžeme vidět v *Tabulce 29*.

Tabulka 29 – Vychystávací plocha v jednotlivých fázích

Průměrná délka fronty	Fáze 1	Fáze 2	Fáze 3
JIT	6,32	7,71	7,73
Přímé uskladnění	130,04	48,54	48,54
Přebalení	19,24	7,55	7,55
Příprava k založení	12,46	13,22	13,21
Čeká na založení	8,14	8,52	7,86
Vychystávací plocha	**176,20**	**85,54**	**84,90**

V první fázi pozorujeme, že naprostou většinu palet na vychystávací ploše tvoří palety určené k přímému uskladnění. Jedná se o 73,8 % obsazenosti vychystávací plochy. Po zavedení druhé fáze pak tento počet více než dvojnásobně klesá, ale palety k přímému založení stále tvoří 57,2 % všech palet na vychystávací ploše. Také u aktivity přebalování dochází k výrazné změně mezi první a druhou fází. Průměrná délka fronty zde také více než dvojnásobně poklesla, a to na hodnotu 7,55 palet. Podle očekávání také narostla délka fronty po zavedení druhé fáze u palet směřujících přímo do výroby. Po přechodu na elektronický Kanban dochází k mírnému poklesu fronty čekající na založení poloautomatickým zakladačem. Pokud sledujeme obsazenost vychystávací plochy jako celku, tak v rámci jednotlivých fází dochází k jejímu výraznému poklesu.

Jako poslední sledovaný ukazatel byl zvolen stav v pickovacích regálech. Zde bylo očekáváno, že přechod na elektronický Kanban se opět projeví na průměrných a maximálních počet požadavků na zakládání. Výsledky těchto ukazatelů zobrazuje *Tabulka 30*.

Můžeme vidět, že po zavedení druhé fáze simulace dochází k navýšení obou ukazatelů pro horní i spodní pickovací regál. Přechod na elektronický Kanban tak jako v samostatném experimentu opět vede k poklesu požadavků na horní pickovací regál a mírnému nárůstu požadavků na spodní pickovací regál. Nic nenaznačuje, že by zavedení všech fází mělo mít zásadní vliv na pickovací regály.

Tabulka 30 – Počet požadavků na pickovací regály v jednotlivých fázích

		Fáze 1	Fáze 2	Fáze 3
Horní pickovací regál	Průměrný počet požadavků	1,73	2,34	1,71
	Maximální počet požadavků	25,55	30,65	24,90
Spodní pickovací regál	Průměrný počet požadavků	0,86	0,87	1,06
	Maximální počet požadavků	3,40	4,55	5,75

Vyhodnocení

Kombinace všech simulačních experimentů ukázala, že by i po zavedení všech řešení z dílčích experimentů najednou nedošlo k narušení chodu skladu. Pokud by se společnost rozhodla aplikovat daná řešení, mělo by to za výsledek zlepšení hodnot některých ukazatelů proti současné situaci. Tyto změny by ale byly spojené s nemalými finančními náklady a časem na přeškolení zaměstnanců v případě přechodu na elektronický systém Kanban.

Tento kombinovaný simulační experiment je ukázkou výhody využití počítačové simulace, jelikož testování obdobné situace v reálném systému by bylo skoro nemožné.

5. Závěr

Lze s jistotou prohlásit, že skladové prostory s výrobní halou jsou velmi dynamickým systémem, ve kterém dochází ke každodenním operativním změnám či řešením s vlivem na chod skladu. Tyto operativní rozhodnutí bohužel nelze zakomponovat do simulačního modelu. Dalším faktorem, který se obtížně do modelu zanáší, je rozhodování zaměstnanců v extrémních situacích. Ti díky získaným zkušenostem, vědí lépe jak se zachovat, když hrozí například přeplnění vychystávací plochy. Počítačový simulační model je pořad jen zjednodušením komplexního reálného systému a každé takové zjednodušení může vést ke zkreslení výsledků.

Stále tu pak visí otázka. Je počítačová simulace tím správným způsobem, jak zkoumat takový komplexní reálný systém? V praktické části této práce se podařilo prokázat, že i pomocí simulačního modelu lze zobrazit všechny důležité procesy systému a získat požadované výsledky. Pokud bychom se pokusili analyzovat pouze části systému, šlo by využít i různých analytických metod. Pokud se ale chceme podívat na systém jako celek a zároveň zohlednit náhodné vlivy, není již volba analytických metod tou správnou. Z tohoto důvodu je využití počítačové simulace tou nejvhodnější metodou.

Hlavním cílem této práce bylo vytvoření takového simulačního modelu, který by co nejvíce odpovídal realitě a následně na něm provést sérii simulačních experimentů. Za pomoci těchto experimentů byly zkoumané různé hypotetické situace, či změny ve skladu.

Cílem těchto experimentů bylo:

1. Zkrátit dobu čekání nákladních vozů na vyložení materiálu

Cílem tohoto experimentu bylo nalézt takové řešení, které by vedlo ke zvýšení podílu nákladních vozů, které čekají na uvolnění vychystávací rampy méně než 15 minut. Cílová hranice byla stanovena tak, aby výsledný podíl dosáhl alespoň 85 %. Byla provedena série simulací různých variant, ve kterých byl kromě cílového podílu sledován vliv těchto změn na chod celého skladu. Bohužel ani jedna z variant nepřesáhla požadovaných 85 %. Z tohoto důvodu byla vybrána kompromisní varianta omezení činností VZV při najmutí dalších tří PV a NZV. U této varianty jsme se k cílové hranici nejvíce přiblížili.

2. Jaký vliv bude mít změna podílu materiálu v režimu JIT

Cílem tohoto experimentu bylo zjistit, jaký vliv bude mít zvýšení podílu dopravovaného materiálu v režimu JIT na obsazenost vychystávací plochy a vytížení manipulační techniky. Z výsledků simulace bylo zjištěno, že se celkové množství palet na vychystávací ploše příliš nezmění, protože nárůst palet v režimu JIT je vyrovnán poklesem palet určených k založení do hlavního skladového regálu. Zvýšení podílu materiálu dopravovaného v režimu JIT by mělo za následek mírný nárůst vytíženosti VZV a NZV.

3. Jaký vliv by mělo zavedení elektronického systému Kanban

Cílem tohoto experimentu bylo zjistit, jaký vliv by měl přechod ze současného karetního systému na elektronický systém Kanban. Pomocí výsledků simulace bylo zjištěno, že při přechodu by se sledované ukazatele pro horní pickovací regál zlepšily. U spodního pickovacích regálu by došlo k zanedbatelnému zhoršení situace.

4. Jaký vliv by mělo menší množství materiálu, který je nutné přebalovat na obsazenost vychystávací plochy a počet pracovníků

Cílem tohoto experimentu bylo zjistit, jaký vliv by mělo snížení množství materiálu nutného k přebalení na obsazenost vychystávací plochy a na počet pracovníků k této činnosti potřebných. Z výsledků získaných ze simulačního modelu bylo zjištěno, že při postupném snižování podílu materiálu docházelo k snižování obsazenosti vychystávací plochy. Dále se podařilo odstranit potřebu pomocných pracovníků přebalování. Pokud by se podíl materiálu podařilo snížit na 20 % nebo 15 %, bylo by dále možné snížit i počet stálých zaměstnanců určených na přebalování.

Ve všech čtyřech experimentech byly získány statisticky významné výsledky, který by mohly vedení společnosti posloužit k vytvoření správných rozhodnutí v reálném skladu. Všechny důležité cíle práce se tak podařilo splnit.

Seznam zdrojů

Zdroje sklad:

Interní materiály společnosti

Knihy

[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] JIRSÁK, P. -- MERVART, M. – VINŠ, M. *Logistika pro ekonomy - vstupní logistika*. Vyd. 1. Praha: Wolters Kluwer Česká republika, 2012, 263 s. ISBN 978-80-7357958-6.

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

[4] HOUŠKA, Milan. *Simulační modely I.* V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, 2005. ISBN 80-213-1334-X.

[5] HAUGE, W. Learning SIMUL8: The Complete Guide. Bellingham: Plain Vu Publishers, 2002. ISBN 0970938411.

Internetové zdroje

Počítačová simulace – Wikipedie. [online]. Poslední změna 6.3.2018 [vid. 2018-02-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Po%C4%8D%C3%ADta%C4%8Dov%C3%A1_simulace

Diskrétní simulace – Wikipedie. [online]. Poslední změna 28.11.2016 [vid. 2018-02-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Diskr%C3%A9tn%C3%AD_simulace

Modelování a simulace. [online]. [vid. 2018-02-03]. Dostupné z: http://school.kjn.cz/modelovani-simulace/

Logistické technologie - Logistika - Miras.cz/Semináry. Miras.cz - osobní stránky, cestování, semináry, akcie [online]. Copyright © 2000 [vid. 2018-02-05]. Dostupné z: http://www.miras.cz/seminarky/logistika/logisticke-technologie.php

Seznam použitých zkratek

EAN – european article number

QR – quick response

RFID – radio frequency identification

JIT – just in time

JIS – just in sequence

VZV – vysokozdvižný vozík

NZV – nízkozdvižný vozík

PV – paletový vozík

FIFO – first in first out

LIFO – last in first out

FEFO – first expire first out

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Fáze simulace 11
Obrázek 2 – Validizace a verifikace modelu 14
Obrázek 3 – Diodové označení přepravek v regálech 21
Obrázek 4 – Čtecí zařízení se sluchátky a mikrofonem 22
Obrázek 5 – Klasický paletový regál 23
Obrázek 6 - Spádový regál 24
Obrázek 7 - Push-back regál 24
Obrázek 8 - Paletový vozík 26
Obrázek 9 - Nízkozdvižný vozík 26
Obrázek 10 – Nízkozdvižný vozík 26
Obrázek 11 - Vysokozdvižný vozík 27
Obrázek 12 – Vysokozdvižný vozík 27
Obrázek 13 - Retrak 28
Obrázek 14 – Vychystávací vozík typu man-down 29
Obrázek 15 – Vychystávací vozík typu man-up 29
Obrázek 16 - Schéma simulačního modelu 31
Obrázek 17 Zásobování externí dodavatel 1 32
Obrázek 18 - Zásobování externí dodavatel 2 33
Obrázek 19 - Zásobování externí dodavatel 3 33
Obrázek 20 - Vykládka 34
Obrázek 21 - Vychystávací plocha 35
Obrázek 22 – Materiál JIT 36

Obrázek 23 - Přebalování materiálu 37
Obrázek 24 - Přímé uskladnění materiálu 38
Obrázek 25 - Příprava materiálu k založení 38
Obrázek 26- Hlavní pickovací regál 39
Obrázek 27 - Zakládání palet 40
Obrázek 28 - Horní pickovací regál 41
Obrázek 29 - Dolní pickovací regál 41
Obrázek 30 - Odvoz výrobků 42

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Průměrné doby vykládání 35
Tabulka 2 - Průměrné doby odjezdů 43
Tabulka 3 - Zdroje a manipulační technika 43
Tabulka 4 - Nastaven priorit v modelu 44
Tabulka 5 - Vytíženost manipulační techniky 46
Tabulka 6 - Vychystávací plocha 47
Tabulka 7 - Spodní a horní pickovací regál 48
Tabulka 8 – Otevření čtvrté vykládací rampy 49
Tabulka 9 - Přidání vysokozdvižných vozíků 50
Tabulka 10 – Omezení činnosti VZV 51
Tabulka 11 - JIT a přímé uskladnění při omezení činnosti VZV 52
Tabulka 12 - Omezení činnosti VZV a otevření čtvrté rampy 53
Tabulka 13 - JIT a přímé uskladnění při omezení činnosti VZV a otevření čtvrté rampy 53
Tabulka 14 - Vyhodnocení simulačního experimentu 1 54
Tabulka 15 - Průměrné délky front při zvýšení podílu materiálu v režimu JIT 55
Tabulka 16 - Maximální délky front při zvýšení podílu materiálu v režimu JIT 55
Tabulka 17 - Využití manipulační techniky při zvýšení podílu materiálu v režimu JIT 56
Tabulka 18 – Počet požadavků při přechodu na elektronický systém Kanban 57
Tabulka 19 - Využití zakladače při přechodu na elektronický Kanban 58
Tabulka 20 – Vytíženost manipulační techniky v jednotlivých variantách podílu přebalovaného materiálu 59
Tabulka 21 - Přebalování v jednotlivých variantách podílu přebalovaného materiálu 60
Tabulka 22 - Vychystávací plocha v jednotlivých variantách podílu přebalovaného materiálu 60
Tabulka 23 - Počet potřebných pracovníků v jednotlivých variantách podílu přebalovaného materiálu 60
Tabulka 24 - Přebalování pro varianty podílu přebalovaného materiálu podle počtu pracovníků 61
Tabulka 25 – Vychystávací plocha pro varianty podílu přebalovaného materiálu podle počtu pracovníků 62
Tabulka 26 – Počet potřebných pracovníků pro varianty podílu přebalovaného materiálu 62
Tabulka 27 – Podíl vozidel čekajících na uvolnění fronty kratší dobu než 15 minut v jednotlivých fázích 64
Tabulka 28 – Procentuální využití manipulační techniky v jednotlivých fázích 64

Tabulka 29 – Vychystávací plocha v jednotlivých fázích..... 65
Tabulka 30 – Počet požadavků na pickovací regály v jednotlivých fázích..... 65

Seznam příloh

Příloha 1 - Průměrná a maximální délka fronty v základním modelu včetně intervalů spolehlivosti 73
Příloha 2 - Sledované ukazatele při omezení činnosti VZV a při 3 a 4 rampách..... 74
Příloha 3 - Průměrná a maximální délka fronty na vychystávací ploše a procentuální využití zdrojů podle podílu materiálu v režimu JIT 75
Příloha 4 - Sledované ukazatele v jednotlivých variantách podílu přebalovaného materiálu včetně intervalů spolehlivosti..... 76
Příloha 5 - Sledované ukazatele v jednotlivých variantách podílu přebalovaného materiálu při různém počtu zaměstnanců včetně intervalů spolehlivosti 77
Příloha 6 – Sledované ukazatele kombinovaného experimentu ve všech fázích včetně intervalů spolehlivosti 78

Přílohy

	Průměrná délka fronty			Maximální délka fronty		
	-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %
JIT	7,70	11,05	14,41	46,90	61,60	76,30
Přímé uskladnění	6,82	7,83	8,83	44,51	51,50	58,49
Přebalení	16,98	18,95	20,93	46,39	48,10	49,81
Přebalení výpomoc	0,14	0,43	0,72	3,86	8,10	12,34
Příprava k založení	13,49	14,35	15,21	53,32	57,85	62,38
Čeká na založení	8,41	8,74	9,07	40,09	48,25	56,41

Příloha 1 - Průměrná a maximální délka fronty v základním modelu včetně intervalů spolehlivosti

Omezení činnosti VZV mimo vykládky															
	Původní			Původní s prioritou			8 PV			8 NZV			8 PV + 8 NZV		
3 rampy	-99 %	Průměr	+99 %	-99 %	Průměr	+99 %	-99 %	Průměr	+99 %	-99 %	Průměr	+99 %	-99 %	Průměr	+99 %
Využití VZV v %	90,19	91,05	91,91	79,20	79,97	80,74	79,20	79,97	80,74	79,20	79,97	80,74	79,20	79,97	80,74
Využití NZV v %	72,95	75,49	78,02	84,40	87,06	89,73	63,18	66,20	69,21	53,59	55,64	57,69	42,02	44,12	46,22
Využití PV v %	88,77	89,92	91,06	99,00	99,19	99,38	83,23	83,70	84,16	97,20	97,45	97,70	78,94	79,33	79,72
Průměrný čas čekání	5,66	6,78	7,90	5,02	5,99	6,95	5,02	5,99	6,95	5,02	5,99	6,95	5,02	5,99	6,95
Maximální čas čekání	36,31	44,31	52,30	35,75	40,77	45,79	35,75	40,77	45,79	35,75	40,77	45,79	35,75	40,77	45,79
Maximální délka fronty	2,97	3,35	3,73	2,90	3,10	3,30	2,90	3,10	3,30	2,90	3,10	3,30	2,90	3,10	3,30
% méně než 15 minut	78,91	82,07	85,24	81,22	84,57	87,92	81,22	84,57	87,92	81,22	84,57	87,92	81,22	84,57	87,92
Průměrný délka fronty - JIT	6,47	11,05	15,64	11,85	19,03	26,22	6,65	10,21	13,77	4,92	6,62	8,32	4,69	6,32	7,95
Maximální délka fronty - JIT	41,51	61,60	81,69	50,19	73,60	97,01	37,26	53,65	70,04	33,49	45,25	57,01	32,98	44,55	56,12
Průměrný délka fronty - Přímé uskladnění	6,45	7,83	9,20	102,19	133,77	165,36	98,06	130,04	162,03	102,55	134,64	166,72	98,06	130,04	162,03
Maximální délka fronty - Přímé uskladnění	41,95	51,50	61,05	184,19	229,15	274,11	180,23	225,60	270,97	184,80	230,25	275,70	180,23	225,60	270,97
4 rampy															
Využití VZV v %	90,19	91,05	91,91	85,05	85,92	86,78	85,05	85,92	86,78	85,05	85,92	86,78	85,05	85,92	86,78
Využití NZV v %	72,95	75,49	78,02	84,59	87,28	89,98	63,81	66,59	69,37	53,89	55,75	57,60	42,21	44,16	46,11
Využití PV v %	88,77	89,92	91,06	98,96	99,22	99,48	83,02	83,48	83,95	97,14	97,52	97,91	78,98	79,53	80,07
Průměrný čas čekání	5,66	6,78	7,90	5,90	7,30	8,70	5,90	7,30	8,70	5,90	7,30	8,70	5,90	7,30	8,70
Maximální čas čekání	36,31	44,31	52,30	47,65	56,05	64,46	47,65	56,05	64,46	47,65	56,05	64,46	47,65	56,05	64,46
Maximální délka fronty	2,97	3,35	3,73	3,28	3,70	4,12	3,28	3,70	4,12	3,28	3,70	4,12	3,28	3,70	4,12
% méně než 15 minut	78,91	82,07	85,24	74,55	79,33	84,10	74,55	79,33	84,10	74,55	79,33	84,10	74,55	79,33	84,10
Průměrný délka fronty - JIT	6,47	11,05	15,64	13,17	20,58	28,00	7,51	10,00	12,48	5,35	7,13	8,91	5,09	6,75	8,40
Maximální délka fronty - JIT	41,51	61,60	81,69	54,78	75,75	96,72	43,48	55,55	67,62	38,69	50,05	61,41	38,06	49,45	60,84
Průměrný délka fronty - Přímé uskladnění	6,45	7,83	9,20	106,25	135,93	165,61	101,21	130,09	158,97	104,57	133,66	162,75	101,21	130,09	158,97
Maximální délka fronty - Přímé uskladnění	41,95	51,50	61,05	193,02	235,00	276,98	188,41	229,45	270,49	191,64	232,80	273,96	188,41	229,45	270,49

Příloha 2 - Sledované ukazatele při omezení činnosti VZV a při 3 a 4 rampách

		Současná situace			16 %			17 %			18 %		
		-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %
Průměrná délka fronty	JIT	7,70	11,05	14,41	9,09	11,75	14,40	10,22	12,92	15,62	11,51	14,01	16,51
	Přímé uskladnění	6,82	7,83	8,83	6,76	7,91	9,05	6,59	7,72	8,84	6,48	7,78	9,09
	Přebalení	16,98	18,95	20,93	16,13	18,21	20,30	15,75	17,82	19,90	14,87	16,61	18,35
	Příprava k založení	13,49	14,35	15,21	13,57	14,41	15,26	13,42	14,19	14,95	13,26	14,13	15,00
	Čeká na založení	8,41	8,74	9,07	8,22	8,55	8,88	7,94	8,29	8,64	7,91	8,23	8,55
Maximální délka fronty	JIT	46,90	61,60	76,30	49,41	61,70	73,99	54,71	66,85	78,99	56,94	68,55	80,16
	Přímé uskladnění	44,51	51,50	58,49	44,69	50,60	56,51	47,09	52,60	58,11	47,00	53,55	60,10
	Přebalení	46,39	48,10	49,81	44,57	46,90	49,23	44,02	46,45	48,88	43,40	45,50	47,60
	Příprava k založení	53,32	57,85	62,38	54,55	59,20	63,85	53,00	57,55	62,10	51,45	56,80	62,15
	Čeká na založení	40,09	48,25	56,41	40,35	48,75	57,15	40,49	46,70	52,91	36,50	43,95	51,40
Využití v %	VZV	90,42	91,05	91,68	90,68	91,33	91,99	90,72	91,28	91,84	90,81	91,45	92,09
	NZV	73,63	75,49	77,34	74,65	76,43	78,21	75,56	77,39	79,23	76,86	78,66	80,46
	PV	89,08	89,92	90,76	88,67	89,57	90,46	88,47	89,46	90,46	87,88	88,98	90,08
	Zakladač	69,10	69,55	69,99	68,97	69,36	69,74	68,77	69,12	69,47	68,41	68,85	69,30

Příloha 3 - Průměrná a maximální délka fronty na vychystávací ploše a procentuální využití zdrojů podle podílu materiálu v režimu JIT

Varianta	Současná situace			25 %			20 %			15 %		
	-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %
VZV	90,47	91,08	91,69	90,61	91,29	91,97	90,57	91,21	91,84	90,45	91,09	91,74
PV	73,76	75,61	77,47	74,50	76,10	77,69	74,71	76,47	78,23	75,92	77,51	79,10
NZV	88,92	89,76	90,59	87,67	88,52	89,37	87,07	87,96	88,84	86,09	87,02	87,96
Průměrná délka fronty přebalení	16,98	18,96	20,94	8,79	9,57	10,35	6,16	6,61	7,05	4,37	4,71	5,04
Maximální délka fronty přebalení	46,39	48,10	49,81	33,19	35,85	38,51	25,17	26,80	28,43	19,90	21,40	22,90
Průměrný čas čekání přebalení	79,59	87,87	96,15	48,64	52,37	56,10	42,17	44,89	47,62	39,02	42,00	44,98
Maximální čas čekání přebalení	367,30	382,03	396,77	314,66	322,91	331,17	306,74	308,60	310,46	302,54	304,14	305,73
% méně než 10 minut	21,51	26,31	31,12	58,96	61,98	65,00	77,60	79,34	81,09	83,19	84,31	85,43
JIT	7,97	11,26	14,55	7,52	10,44	13,35	7,39	10,30	13,21	8,07	10,77	13,47
Přímé uskladnění	6,85	7,76	8,67	7,67	8,83	9,98	7,44	8,51	9,58	6,74	7,78	8,83
Přebalení	16,98	18,96	20,94	8,79	9,57	10,35	6,16	6,61	7,05	4,37	4,71	5,04
Přebalení výpomoc	0,13	0,42	0,72	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Příprava k založení	13,51	14,38	15,24	14,48	15,36	16,25	15,15	16,05	16,95	16,02	16,92	17,82
Čeká na založení	8,33	8,63	8,93	8,28	8,64	8,99	8,40	8,83	9,25	8,50	8,92	9,35
Stálí pracovníci	4,59	4,67	4,74	3,88	3,97	4,06	3,12	3,20	3,28	2,37	2,43	2,50
Výpomocní pracovníci	0,01	0,04	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Příloha 4 - Sledované ukazatele v jednotlivých variantách podílu přebalovaného materiálu včetně intervalů spolehlivosti

Varianta		Současná situace			25 %			20 %			15 %		
Pracovníci	Ukazatel	-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %
5	Průměrná délka fronty přebaleni	18,57	22,58	26,58	8,76	9,56	10,37	6,15	6,62	7,08	4,33	4,67	5,01
5	Maximální délka fronty přebaleni	52,46	59,20	65,94	32,67	35,90	39,13	25,29	26,90	28,51	19,61	21,10	22,59
5	% méně než 10 minut	17,44	22,90	28,37	58,98	62,14	65,30	77,53	79,28	81,03	83,38	84,47	85,57
5	JIT	8,11	11,05	13,99	7,57	10,48	13,39	7,47	10,37	13,26	7,95	10,64	13,34
5	Přímé uskladnění	7,07	8,15	9,23	7,48	8,70	9,92	7,24	8,34	9,44	6,90	7,86	8,82
5	Příprava k založení	13,72	14,44	15,15	14,42	15,33	16,25	15,17	16,11	17,05	16,07	16,95	17,82
5	Čeká na založení	8,20	8,42	8,64	8,27	8,60	8,94	8,54	8,91	9,28	8,60	9,00	9,40
5	Přebalení	18,57	22,58	26,58	8,76	9,56	10,37	6,15	6,62	7,08	4,33	4,67	5,01
5	Pracovník přebalení	4,62	4,70	4,78	3,89	3,98	4,06	3,12	3,20	3,28	2,37	2,43	2,50
4	Průměrná délka fronty přebaleni	135,49	153,30	171,11	24,68	34,46	44,24	7,71	8,27	8,83	4,75	5,09	5,43
4	Maximální délka fronty přebaleni	237,73	262,20	286,67	58,00	68,95	79,90	27,46	29,15	30,84	19,68	21,30	22,92
4	% méně než 10 minut	0,00	0,00	0,00	6,19	10,20	14,22	51,91	55,34	58,78	76,91	78,62	80,33
4	JIT	7,28	10,22	13,17	7,80	10,88	13,96	7,20	10,19	13,18	7,99	10,99	13,98
4	Přímé uskladnění	4,96	5,78	6,60	6,36	7,23	8,10	6,68	7,85	9,03	7,07	7,91	8,75
4	Příprava k založení	13,44	14,17	14,90	14,25	15,07	15,88	15,25	16,17	17,09	16,00	16,97	17,93
4	Čeká na založení	7,62	7,84	8,05	7,92	8,20	8,47	8,20	8,56	8,93	8,46	8,87	9,29
4	Přebalení	135,49	153,30	171,11	24,68	34,46	44,24	7,71	8,27	8,83	4,75	5,09	5,43
4	Pracovník přebalení	4,01	4,01	4,02	3,84	3,90	3,96	3,12	3,20	3,29	2,38	2,44	2,50
3	Průměrná délka fronty přebaleni	333,08	350,80	368,53	184,54	202,67	220,80	38,17	51,68	65,19	6,35	7,00	7,65
3	Maximální délka fronty přebaleni	567,61	593,00	618,39	312,99	340,50	368,01	77,43	94,35	111,27	21,87	23,75	25,63
3	% méně než 10 minut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	2,52	4,83	43,86	46,89	49,93
3	JIT	7,03	9,56	12,08	7,39	10,19	12,98	7,93	10,76	13,60	7,81	10,67	13,54
3	Přímé uskladnění	3,60	4,07	4,54	4,23	4,96	5,69	6,00	6,75	7,50	6,73	7,76	8,79
3	Příprava k založení	13,04	13,73	14,41	13,98	14,73	15,48	15,00	15,88	16,77	15,86	16,84	17,82
3	Čeká na založení	6,94	7,15	7,36	7,55	7,85	8,14	8,04	8,30	8,56	8,54	8,94	9,33
3	Přebalení	333,08	350,80	368,53	184,54	202,67	220,80	38,17	51,68	65,19	6,35	7,00	7,65
3	Pracovník přebalení	3,01	3,01	3,02	3,01	3,01	3,02	2,96	2,99	3,01	2,38	2,44	2,51

Příloha 5 - Sledované ukazatele v jednotlivých variantách podílu přebalovaného materiálu při různém počtu zaměstnanců včetně intervalů spolehlivosti

	Fáze 1			Fáze 2			Fáze 3		
	-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %	-95 %	Průměr	+95 %
Průměrný počet požadavků	1,54	1,73	1,92	2,03	2,34	2,65	1,50	1,71	1,93
Maximální počet požadavků	22,97	25,55	28,13	27,08	30,65	34,22	21,94	24,90	27,86
Průměrný počet požadavků	0,85	0,86	0,86	0,86	0,87	0,88	1,05	1,06	1,07
Maximální počet požadavků	3,08	3,40	3,72	3,75	4,55	5,35	4,79	5,75	6,71
Využití VZV v %	79,40	79,97	80,53	79,40	79,96	80,53	79,40	79,96	80,53
Využití NZV v %	42,59	44,12	45,66	47,43	48,96	50,50	47,93	49,49	51,04
Využití PV v %	79,05	79,33	79,62	78,19	79,03	79,86	78,15	79,01	79,86
Využití zakladač v %	66,08	66,28	66,48	65,70	66,01	66,31	65,61	65,84	66,07
Využití nákladní auto v %	69,65	70,23	70,81	70,40	70,75	71,11	70,59	70,94	71,29
JIT	5,13	6,32	7,51	6,50	7,71	8,92	6,52	7,73	8,95
Přímé uskladnění	106,64	130,04	153,44	35,39	48,54	61,70	35,39	48,54	61,70
Přebalení	17,26	19,24	21,23	6,88	7,55	8,22	6,88	7,55	8,22
Příprava k založení	11,84	12,46	13,08	12,48	13,22	13,95	12,47	13,21	13,95
Čeká na založení	7,82	8,14	8,45	8,17	8,52	8,86	7,60	7,86	8,13
Vychystávací plocha	**148,69**	**176,20**	**203,72**	**69,42**	**85,54**	**101,65**	**68,85**	**84,90**	**100,95**

Příloha 6 – Sledované ukazatele kombinovaného experimentu ve všech fázích včetně intervalů spolehlivosti