



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**OVĚŘENÍ LOGISTICKÝCH KONCEPTŮ POMOCÍ
POČÍTAČOVÉ SIMULACE**

VERIFICATION OF LOGISTICS CONCEPTS USING COMPUTER SIMULATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Babáček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

| | |
|-------------------|--|
| Ústav: | Ústav automobilního a dopravního inženýrství |
| Student: | Bc. Petr Babáček |
| Studijní program: | Strojní inženýrství |
| Studijní obor: | Automobilní a dopravní inženýrství |
| Vedoucí práce: | doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc. |
| Akademický rok: | 2016/17 |

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

Ověření logistických konceptů pomocí počítačové simulace

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh logistického řetězce pro meziobjektovou přepravu materiálu v oblasti hromadné výroby osobních automobilů a pomocí dynamické simulace ověření využití dopravních a manipulačních prostředků.

Cíle diplomové práce:

Vytvoření simulačního modelu meziobjektové přepravy materiálu s použitím softwaru Plant Simulation na základě provedení systémové analýzy logistického řetězce.

Validace vytvořeného simulačního modelu pomocí základních charakteristik logistického řetězce a analýzy reálného dopravního problému.

Návrh matic experimentů za účelem vyhodnocení cílových hodnot stanovených charakteristik logistického procesu.

Realizace a vyhodnocení série simulačních experimentů.

Seznam literatury:

BANKS Jerry. Discrete-event system simulation. 5th ed., International version. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Education, 2009. ISBN 9780138150372.

LAW, Averill M. Simulation modeling and analysis. 4th ed. London: McGraw-Hill, c2007. McGraw-Hill series in industrial engineering and management science. ISBN 0071255192. Pernica, P.: Logistika pro 21. století: (supply chain management). Vyd. 1. Praha: Radix, 2005, s. 571-1095. ISBN 80-860-3159-4.

BANGSOW, Steffen . Use cases of discrete event simulation: appliance and research. 1st ed. New York: Springer, 2012. ISBN 978-364-2287-763.

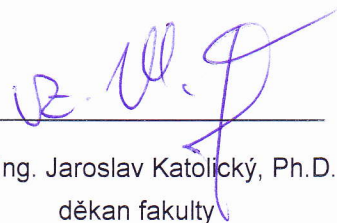
ZEIGLER, Bernard P. Theory of modelling and simulation. New York: Wiley, 1976, ISBN 04-719-8152-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 27. 10. 2016



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu



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

ABSTRAKT

Obsahem diplomové práce je vytvoření simulačního modelu logistického řetězce meziobjektové přepravy materiálu, za účelem ověření stanovených požadavků, které jsou kladeny na řešený logistický řetězec. Simulační model je vytvořen v softwaru Plant Simulation od společnosti Siemens PLM Software. Součástí práce je analýza řešené oblasti, provedení simulačních experimentů na vytvořeném simulačním modelu a návrh na zlepšení současného stavu řešeného logistického řetězce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Simulace, logistický řetězec, materiálový tok, meziobjektová přeprava, Plant Simulation.

ABSTRACT

The aim of the diploma thesis is to create a simulation model of the logistic chain of the inter-object transport of material, in order to verify the set requirements, which are require on the logistic chain. The simulation model is created in Plant Simulation software produced by Siemens PLM Software company. Section of this diploma thesis is the analysis of the solved area, the simulation experiments on the simulation model and suggestion for improvement the current state of the logistic chain.

KEYWORDS

Simulation, logistic chain, material flow, inter-object transport, Plant Simulation.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BABÁČEK, P. *Ověření logistických konceptů pomocí počítačové simulace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 72 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 23. května 2017

.....

Bc. Petr Babáček

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu doc. Ing. Miroslavu Škopánovi, CSc. za cenné rady v průběhu celého studia. Dále bych rád poděkovat Ing. Jiřímu Štočkovi, Ph.D. za možnost absolvovat praktikantský pobyt ve firmě Škoda Auto a.s. Dále mé velké poděkování patří všem kolegům ze Škoda Auto a.s. za jejich ochotu, cenné poznatky a vytvoření příjemného pracovního prostředí. V neposlední řadě patří poděkování rovněž mé rodině za podporu při studiu.

OBSAH

| | |
|---|----|
| Úvod | 10 |
| 1 Cíl a členění práce | 11 |
| 1.1 Cíle práce | 11 |
| 1.2 Členění práce | 11 |
| Teoretická část | 12 |
| 2 Teoretický přehled | 12 |
| 2.1 Logistika | 12 |
| 2.1.1 Podniková logistika | 12 |
| 2.2 Logistický řetězec | 13 |
| 2.3 Materiálový tok | 14 |
| 2.3.1 Činitelé působící na materiálový tok | 15 |
| 2.3.2 Operace s materiálovým tokem | 15 |
| 2.3.3 Optimalizace materiálového toku | 16 |
| 2.4 Simulace | 17 |
| 2.4.1 Definice základních pojmů | 17 |
| 2.4.2 Využití simulace | 19 |
| 2.4.3 Průběh tvorby simulace | 20 |
| 2.4.4 Metodika řešení simulačního projektu | 21 |
| Praktická část | 24 |
| 3 Analýza řešené oblasti | 24 |
| 3.1 Formulace problému | 24 |
| 3.2 Umístění objektů v areálu podniku | 24 |
| 3.3 Definice prostředků pro manipulaci a přepravu materiálu | 25 |
| 3.3.1 Manipulační jednotky | 25 |
| 3.3.2 Přepravní prostředky | 26 |
| 3.3.3 Dopravní prostředky | 27 |
| 3.4 Popis logistického řetězce | 29 |
| 3.4.1 Vymezení řešené oblasti | 30 |
| 3.4.2 Podmínky pro řešenou oblast | 31 |
| 3.5 Automatizovaný centrální sklad | 32 |
| 3.5.1 Skladovací technika | 32 |
| 3.5.2 Popis procesu vyskladňování | 35 |
| 3.6 Přeprava materiálu v areálu podniku | 37 |
| 3.6.1 Popis procesu přepravy | 37 |
| 3.6.2 Trasy dopravních prostředků | 37 |
| 3.6.3 Seskupení dopravních prostředků | 38 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4 | Návrh řešení..... | 39 |
| 4.1 | Pojmový model | 39 |
| 4.1.1 | Způsob zohlednění skladovací techniky..... | 39 |
| 4.1.2 | Způsob zohlednění převozů a přeprav PP regálů | 41 |
| 4.2 | Tvorba simulačního modelu | 43 |
| 4.2.1 | Hlavní prvky využívané pro řízení procesů..... | 43 |
| 4.2.2 | Simulační model automatizovaného centrálního skladu | 44 |
| 4.2.3 | Simulační model meziobjektové přepravy | 46 |
| 4.3 | Verifikace a validace simulačního modelu | 49 |
| 4.4 | Navrhované řešení | 53 |
| 4.4.1 | Analýza způsobu shromažďování odvolávek..... | 53 |
| 4.4.2 | Optimalizace logiky vyskladňování | 57 |
| 4.4.3 | Analýza úzkých míst automatizovaného centrálního skladu..... | 57 |
| 4.4.4 | Další simulační experimenty na automatizovaném centrálním skladu | 59 |
| 4.4.5 | Nalezení optimálního intervalu pro pozdržení dopravních prostředků | 60 |
| 4.4.6 | Návrh optimalizace seskupení dopravních prostředků..... | 61 |
| 5 | Shrnutí výsledků | 63 |
| | Závěr..... | 66 |
| | Použité informační zdroje..... | 67 |
| | Seznam použitých zkratk a symbolů | 69 |
| | Seznam obrázků..... | 70 |
| | Seznam tabulek..... | 71 |
| | Seznam příloh..... | 72 |

ÚVOD

Jednadvacáté století, v němž žijeme, se nám již od svého počátku jeví jako století neustálých a zrychlujících se změn. Současný trend průmyslu je totiž založen na inovacích, modernizaci a digitalizaci. Důkazem tomu je i vzniklá čtvrtá průmyslová revoluce, označována jako Industry 4.0. Tato průmyslová revoluce s sebou přináší myšlenku vzniku tzv. chytrých továren¹. Jak každý z nás již běžně využívá chytré telefony nebo jiná chytrá zařízení ke komunikaci a sdílení zážitků, tak lze podobně chápat i chytré továrny. Jedná se především o vzájemné propojení jednotlivých strojů a zařízení za účelem přímé komunikace mezi nimi.

Podle představitelů ČNOPK², zabývajících se těmito inovacemi v průmyslu, přinese čtvrtá průmyslová revoluce do roku 2025 kompletní digitální propojení hospodářství, od vývoje až po zákaznický management. Dokonce existují takové předpovědi, že rychlost inovací pro řadu firem přinese enormní šance, ale také rizika. To v takovém smyslu, že kdo se danému směru nepřizpůsobí, tomu hrozí zánik. [1] Jsou to velmi odvážná tvrzení, to ale nic nemění na situaci, že rychlost vývoje informačních technologií, která má vliv na konektivitu a digitalizaci, je již dnes velmi vysoká.

Ze zmíněných trendů dnešní a budoucí doby je zřejmé, že je nutno brát směr digitalizace a inovací v úvahu. Proto je v současnosti pro řadu velkých firem nezbytné využívat např. simulačních nástrojů pro ověřování, implementaci a optimalizaci logistických, resp. výrobních procesů v podniku. Je velmi neekonomické v takové rozvíjející se době pro firmu s rozsáhlým logistickým řetězcem nasazovat do výroby nové koncepty bez předchozího ověření. Integrace simulačních nástrojů do provozu podniků je jedním z nástrojů, kterými se zabývá koncept digitální továrny. Digitální továrnu si můžeme představit jako obraz reálných výrobních zařízení v digitálním prostředí. Zde jsou jednotlivé stroje zobrazeny nejen graficky, ale především logicky a funkčně. Zásadní technologií digitální továrny je pak modelování a simulace podnikových procesů. Simulaci lze využít jako účinný a přesný nástroj pro plánování dynamických procesů ve výrobní a logistické strategii podniku. Se simulačním modelem můžeme provádět experimenty, ze kterých lze získat požadované výstupy o chování modelovaného systému. Mimo zmíněné výhody přináší simulace pro praxi zvýšení stupně poznání zkoumaného systému. Toho pak následně lze využít při návrhu jeho úprav, což s sebou může nést ekonomické přínosy. Pořizovací ceny simulačních softwarů jsou jistě vysoké, ale při jejich úspěšné implementaci do procesu podniku s rozsáhlým logistickým řetězcem lze návratnost takové investice získat již po prvních realizovaných projektech.

¹ Přeloženo z anglického Smart Factory

² Česko-německá obchodní a průmyslová komora

1 CÍL A ČLENĚNÍ PRÁCE

Tato kapitola je věnována formulaci cílů práce a popisu členění práce.

1.1 CÍLE PRÁCE

Řešeným úkolem dle zadání diplomové práce je navrhnout logistický řetězec charakterizující meziobjektovou přepravu materiálu, včetně souvisejících operací (vyskladnění a kompletace materiálu). Hodnotícím parametrem je především dodržení stanovené doby pro doručení materiálu na předem určené místo. Zároveň má být ověřeno využití dopravních prostředků používaných pro navrhovaný logistický řetězec.

S ohledem na splnění výše uvedených úkolů diplomové práce byly stanoveny tyto cíle diplomové práce:

1. Provedení systémové analýzy logistického řetězce.
2. Vytvoření simulačního modelu řešeného logistického řetězce.
3. Validace vytvořeného simulačního modelu.
4. Provedení simulačních experimentů za účelem vyhodnocení cílových hodnot stanovených charakteristik logistického procesu.
5. Vyhodnocení jednotlivých simulačních experimentů.

1.2 ČLENĚNÍ PRÁCE

Diplomová práce je rozdělena do dvou částí a to teoretické a praktické části. V teoretické části je vytvořen teoretický základ dle odborné literatury, ve kterém jsou vysvětleny pojmy a informace z oblasti logistiky a simulace.

Začátek praktické části je věnován analýze řešeného logistického řetězce, včetně popisu veškerých využívaných zařízení a prostředků. Dále je rozebrána tvorba, verifikace a validace simulačního modelu spolu s posouzením jednotlivých navrhovaných řešení s původním řešením. Před samotným závěrem jsou v praktické části shrnuty, posouzeny a interpretovány získané výsledky ze simulačních experimentů.

TEORETICKÁ ČÁST

2 TEORETICKÝ PŘEHLED

Tato část práce vysvětluje pojmy a teoretické přístupy, které byly využity k vypracování této práce. Přibližuje základní pojmy jako logistika, logistický řetězec a materiálový tok. Dále jsou uvedeny poznatky v oblasti simulací, které byly využity ke zpracování diplomové práce. Celý tento přehled slouží pro lepší pochopení používaných termínů a vysvětluje používanou terminologii.

2.1 LOGISTIKA

Původně se logistika uplatňovala ve vojenství, kde označovala řešení problémů se zásobováním a pohybem vojenských jednotek. Úspěšné uplatnění logistiky za druhé světové války při přípravě a provádění operací spojeneckých vojsk vedlo po válce k rozšíření logistiky na řešení analogických problémů v civilní sféře. Vznikla tak hospodářská logistika, zahrnující do svých aktivit všechny činnosti jako vývoj, nákup, zásobování, výrobu a distribuci výrobků. V současnosti je logistika poměrně rozšířená vlivem ekonomického rozvoje, který vyvolal silný tlak na koordinaci a sledování pohybu všech hmotných a hodnotových toků. [2], [3]

Oprostíme-li se od jakéhokoliv zaměření logistiky, je možno definovat obecnou logistiku takto [3]: „*Logistika je disciplína, která se zabývá celkovou optimalizací, koordinací a synchronizací všech aktivit v rámci samoorganizujících se systémů, jejichž zřetězení je nezbytné k pružnému a hospodárnému dosažení daného konečného (synergického) efektu*“. Je zřejmé, že logistika má uplatnění v mnoha oblastech, proto se v rámci této práce dále omezíme pouze na podnikovou logistiku zaměřující se na manipulaci s materiálem.

2.1.1 PODNIKOVÁ LOGISTIKA

Nejčastější aplikační sférou zmíněné hospodářské logistiky je podniková logistika. V tomto pojetí, kdy jsou zahrnuty mimo jiné i výrobní činnosti, může logistika představovat „*organizaci, plánování, řízení a realizaci toků zboží vývojem a nákupem počínaje, výrobou a distribucí podle objednávky finálního zákazníka konče tak, aby byly splněny všechny požadavky trhu při minimálních nákladech a minimálních kapitálových výdajích*“. [8]

V rámci podnikové strategie rozeznáváme vnější a vnitřní cíle logistického systému podniku. [4]

- **Vnější cíl** - uspokojení potřeb zákazníků.
- **Vnitřní cíl**
 - výkonový - „*dodat správné zboží na správné místo, ve správném čase, v požadované kvalitě, s příslušnými informacemi...*“,
 - ekonomický - „*... a s odpovídajícím finančním dopadem*“.

Správná strategie logistického systému je velice klíčová. Zaměří-li se na zvýšení vnitřní výkonnosti systému, tak dosáhne např. zrychlení průtoku zboží systémem. Potom se jako

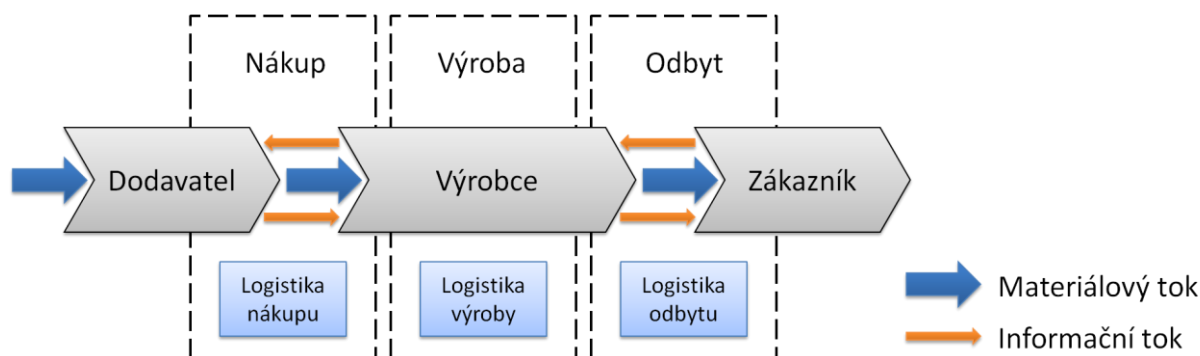
efekt dostaví snížení zásob a uvolnění kapitálu v nich vázaného a poklesnou náklady v systému. Obecně lze tedy říci, že cílem logistiky na jakékoli úrovni je maximalizovat efektivnost logistických procesů. [4]

Do problematiky organizace, plánování, řízení a kontroly veškerých toků, které ovlivňují podnikovou logistiku, je možné zařadit [5]:

- uspořádání a rozmístění výroby i dopravní infrastruktury,
- balení zboží, vážení, třídění,
- technologické a ložné manipulace,
- skladování,
- doprava i dopravní služby.

2.2 LOGISTICKÝ ŘETĚZEC

Snad vůbec nejdůležitějším pojmem v logistice je logistický řetězec. V obecném pohledu uvažujeme o logistickém řetězci jako o provázané posloupnosti všech činností, které je nutné uskutečnit k dosažení daného konečného efektu. Logistický řetězec je literaturou [3] označován jako „*dynamické pojetí trhu spotřeby s trhy surovin, materiálů a dílů v jeho hmotném a nehmotném aspektu, které účelně vychází od poptávky (objednávky) konečného zákazníka (kupujícího, spotřebitele), resp. které se váže na konkrétní zakázku, výrobek, druh či skupinu výrobků*“. Zjednodušený logistický řetězec je znázorněn na Obr. 1. Na uskutečňování logistických řetězců se podílí účelně uspořádané množiny všech technických prostředků, zařízení, budov, cest a pracovníků. Taková množina se pak nazývá logistický systém. [3]



Obr. 1 Zjednodušené schéma logistického řetězce (zpracováno dle [10])

Logistický řetězec chápeme jako soubor hmotných a nehmotných toků. Hmotnou stránkou řetězce je myšleno přemisťování věcí (nebo osob, například servisních pracovníků) nazývanou též termínem „materiálový tok“. Nehmotná stránka pak spočívá v přenosu a uchování informací potřebných k uskutečnění hmotné stránky, známou také jako „informační tok“. [4]

Z ekonomického hlediska by měly mít procesy odehrávající se v logistickém řetězci hodnototvorný charakter, což znamená, že přidávání hodnoty se stupňuje ve směru hmotného toku. Jinými slovy čím blíže ke konečnému zákaznickovy procesy probíhají, tím dochází ke stále většímu zhodnocování výrobku.

Další důležitou požadovanou vlastností logistických řetězců je jejich pružnost. Vysokou pružnost dosáhneme sladěním prvků po odstranění nadbytečných článků a operací z řetězce. Dosažení tohoto cíle je podmíněno dobrým technickým vybavením a dokonalým řízením výrobních a oběhových procesů. Nejdražšími operacemi v logistickém řetězci jsou přeprava, manipulační operace a skladování, proto je snaha o zrychlení a zpružnění především těchto operací, aby se stlačily jejich náklady na minimum a byl celý řetězec co nejvíce efektivní. [3]

V logistickém řetězci rozlišujeme [3]:

- **pasivní prvky** - věci, které probíhají logistickým řetězcem a
- **aktivní prvky** - prostředky, jejichž působením se realizují toky pasivních prvků.

Pohyb pasivních prvků z místa a okamžiku jejich vzniku přes různé výrobní a distribuční články do místa a okamžiku jejich výrobní nebo konečné spotřeby představuje podstatnou část hmotné stránky logistických řetězců. Takovými prvky jsou např. suroviny, základní a pomocný materiál, díly, nedokončené a hotové výrobky. Dále sem patří obaly, které podmiňují pohyb vlastních výrobků a dílů. Jestliže je odvoz (recyklace, likvidace) odpadu součástí logistického řetězce, můžeme mezi pasivní prvky zařadit i odpad. Mimo zmíněné prvky patří do této kategorie také informace, jejichž pohyb předbíhá, provází a následuje pohyb veškerých pasivních prvků. [3]

Poslání aktivních prvků spočívá ve změně místa nebo v uchování hmotných pasivních prvků, popřípadě v jejich úpravě pro navazující manipulační či přepravní operace. V takovém případě se jedná o technické prostředky a zařízení pro manipulaci, přepravu, skladování, balení a fixaci. Řadíme sem i zařízení sloužící pro operace s informacemi (s nosiči informací), jako např. prostředky pro automatické sledování a identifikaci pasivních prvků. Zařízení pracující s informacemi jsou totiž velice důležité, protože bez nich by operace s pasivními prvky nemohly probíhat. Vedle zmíněných technických prostředků a zařízení je nedílnou součástí příslušného aktivního prvku lidská složka v podobě pracovníků obsluhujících, řídicích nebo kontrolujících příslušná zařízení. [3]

2.3 MATERIÁLOVÝ TOK

Abychom mohli vůbec realizovat výrobu nebo určitý oběhový proces materiálu, je nezbytné, aby byla pro tyto účely zajištěna manipulace s materiálem. Manipulace s materiálem je totiž základním prvkem jakékoliv výroby založené na fyzickém přemísťování materiálu neboli materiálovém toku. Materiálový tok je v literatuře [3] označován jako „*pohyb materiálu ve výrobním procesu nebo v oběhu, prováděný pomocí aktivních prvků cílevědomě tak, aby materiál byl k dispozici na daném místě a v potřebném množství, nepoškozený, v požadovaném okamžiku, a to s předem určenou spolehlivostí*“. Materiálový tok tedy představuje pohyb materiálu mezi všemi články logistického řetězce. [3]

Jedním ze základních kritérií dělení materiálové toku je časové hledisko, resp. povaha přemísťovaného materiálu. Podle tohoto hlediska rozlišujeme materiálový tok diskrétní a spojitý. [8]

- **Diskrétní tok** - přemísťovaným materiálem jsou početné entity - např. palety, krabice, výrobní díly apod.
- **Spojité tok** - tok plynného či kapalného média potrubím.

Pokud zkoumáme logistické, resp. výrobní procesy, tak ve většině případů je řeč o diskrétním materiálovém toku. Diskrétní materiálový tok je také zkoumán v diplomové práci, kde materiálovým tokem je rozuměn pohyb objektů, které se v pravidelných či nepravidelných časových rozestupech pohybují na dopravníkových dráhách nebo pomocí příslušné dopravní techniky na dopravních cestách.

2.3.1 ČINITELÉ PŮSOBÍCÍ NA MATERIÁLOVÝ TOK

Na materiálový tok působí řada činitelů a jejich závislostí, proto při navrhování schématu materiálového toku je nutné tyto činitele zohlednit. Činiteli, které ovlivňují materiálový tok, jsou především [7]:

- vnější doprava,
- objem výroby,
- počet součástí nebo druhů materiálu,
- počet operací na součásti nebo na materiálu,
- počet uzlů nebo montážních skupin,
- tvar místa (prostor), které je k dispozici a
- tok mezi pracovišti (mezioperační doprava).

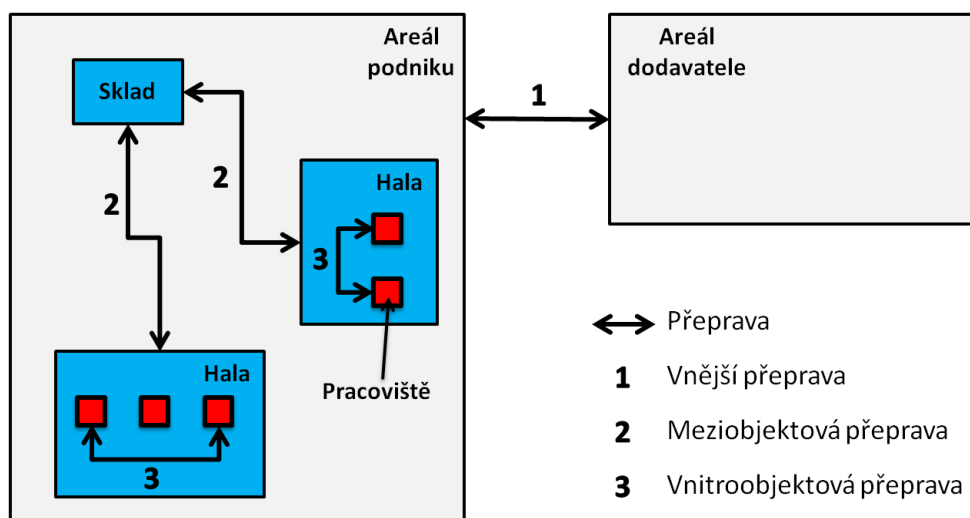
Při vhodném zohlednění výsledků analýzy těchto činitelů lze docílit minimálních nákladů potřebných na materiálový tok, což v konečném důsledku vede i k nižším logistickým nákladům. [7]

2.3.2 OPERACE S MATERIÁLOVÝM TOKEM

V rámci materiálového toku se vyskytuje řada logistických operací, jimiž jsou [3]:

- **Kompletační operace** - operace přerozdělení materiálu v oběhových skladech na dávky požadované odběratelem.
- **Technologické manipulace** - operace prováděné s materiálem na jednom pracovišti ve výrobě či v oběhových skladech.
- **Mezioperační manipulace** - operace přemístění materiálu mezi jednotlivými pracovišti.
- **Skladové operace** - operace uskladnění a vyskladnění materiálu ze skladů.
- **Ložné operace** - operace nakládky, vykládky a překládky materiálu v rámci přepravních jednotek materiálu nebo přepravních prostředků.
- **Přeprava** (Obr. 2)
 - **vnější** - operace přemístění materiálu mezi jednotlivými závody,
 - **meziobjektová** - operace přemístění materiálu mezi jednotlivými objekty zpravidla v rámci výrobního nebo skladového areálu,
 - **vnitroobjektová** - operace přemístění materiálu mezi pracovišti v rámci jednoho objektu,
 - **technologická** - meziobjektová nebo vnější přeprava materiálu, v jejímž průběhu jsou prováděny dílčí technologické operace.
- **Operace balení** - operace spotřebitelského balení výrobků.

- **Pomocné operace** - identifikace a sledování, stanovení velikosti nebo počtu, čištění, přípravné operace apod.
- **Technologické operace** - operace ve výrobě měnící kvalitu, vytvářející hotový nebo nedokončený výrobek.



Obr. 2 Typy přeprav

2.3.3 OPTIMALIZACE MATERIÁLOVÉHO TOKU

Optimalizaci lze obecně vysvětlit jako proces, který vede k nalezení nejvýhodnější situace za daných podmínek. V rámci existujících omezení logistických resp. výrobních cyklů se v praxi mluví spíše o výběru varianty z technicky možných realizovatelných řešení, kdy je brán ohled i na finanční náklady na realizaci jednotlivých řešení. [7]

Optimalizace nachází velké uplatnění především v logistice a sériové až hromadné výrobě, neboť zde dochází k značně opakujícím se procesům s velkým množstvím stejných nebo podobných výrobků. V takovém případě i nepatrné zlepšení podmínek může vést např. ke zvýšení efektivity výrobního cyklu nebo snížení dopravních nákladů. Náklady u materiálového toku lze ovlivnit vhodným [7]:

- rozmístěním výrobních objektů,
- umístěním skladových ploch,
- prostorovým uspořádáním pracovních míst, strojů a zařízení,
- technickým navržením dopravního a skladovacího systému a
- zvolením manipulační jednotky.

Optimalizace materiálového toku by měla splňovat následující požadavky [7]:

- jednotnost směru toku bez zbytečného křížení a zpětných pohybů materiálu,
- eliminace nadbytečné manipulace s materiálem,
- zkrácení transportních vzdáleností a
- zajištění nepřetržitosti a plynulosti materiálu.

2.4 SIMULACE

V oblasti logistiky a výroby je simulace velice důležitým nástrojem, který umožňuje vyhodnotit důsledky určitého navrženého řešení logistického řetězce bez jeho uskutečnění na reálném systému.

Pro odbornější vysvětlení termínu simulace bude nutné si nejprve definovat některé související pojmy, které jsou používány v oblasti počítačové simulace.

2.4.1 DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJMŮ

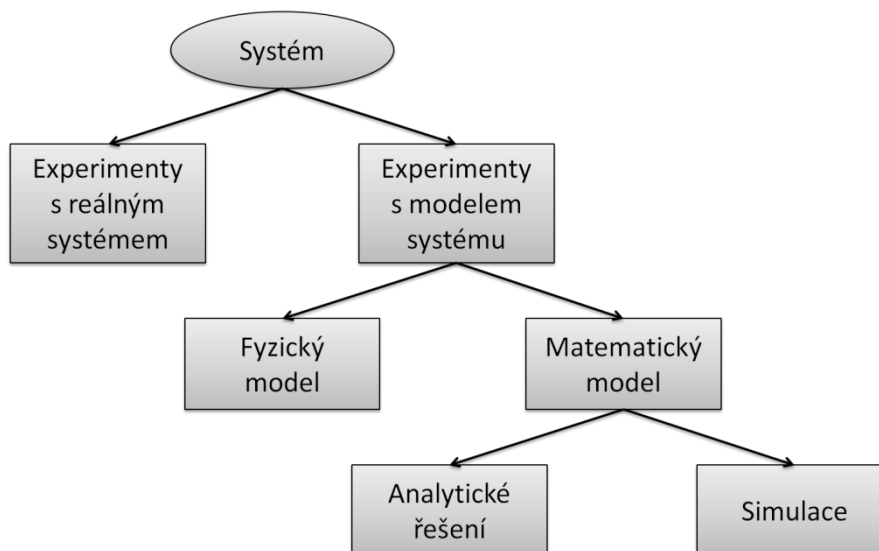
V této podkapitole budou vysvětleny pojmy jako systém, model, simulace a další termíny s nimi související.

SYSTÉM

Slovo systém je používáno v mnoha oborech, tudíž i s různými významy. Pro potřeby této práce budeme dále pracovat s definicí systému souvisejícího se simulacemi a modelováním.

V takovém pojetí systémem rozumíme skupinu objektů, které jsou mezi sebou provázány v určité závislosti za účelem dosažení jistého požadavku. Jinými slovy je to soubor navzájem propojených prvků, mezi kterými existují (funkční i jiné) vazby. Základním úkolem při popisu a analýze systému je jeho rozlišení od vnějšího okolí, od kterého je systém oddělen hranicí. [13]

Kromě simulace, která je předmětem řešení diplomové práce, je možné systém zkoumat i jinými způsoby. Další možné způsoby získání poznatků o skutečném systému ukazuje schéma zobrazené na Obr. 3.



Obr. 3 Přístupy studování systému (zpracováno dle [14])

V simulaci je velice důležitý pojem dynamický systém. Takový systém je v každém okamžiku své existence v jiném stavu. K pochopení a analyzování tohoto systému je třeba znát ještě několik používaných termínů s ním souvisejících z hlediska modelování. Jsou to [13]:

- entita - prvek, který prochází systémem,
- atribut - vlastnost dané entity,
- aktivita - doba trvání činnosti entity,
- událost - okamžité nastoupení jevu, který může změnit stav systému a
- proměnná - veličina působící na systém, která se mění v čase.

MODEL

V simulaci je termín model použit pro zjednodušené zobrazení plánovaného nebo reálného systému s jeho procesy. Často jsou do modelu zahrnuty pouze informace, které mají vliv na řešenou část zkoumaného systému. [13]

Modely lze dělit podle jejich chování v čase následovně [14]:

- **statické** - popisují konkrétní událost v určitém časovém okamžiku,
- **dynamické** - popisují stav systému, který se mění v průběhu času.

Podle charakteru procesu dělíme modely na [14]:

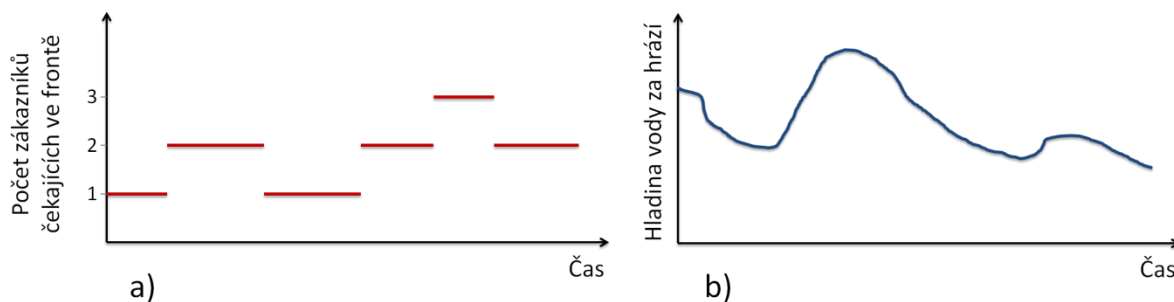
- **deterministické** - v modelu nejsou zahrnuty náhodné veličiny a veškeré procesy se vyznačují jednoznačně určenými příčinami a jejich následky,
- **stochastické** - zkoumaný problém nebo metoda řešení mají náhodný charakter.

Dále podle způsobu zachycení časového faktoru v modelu se modely dělí na [14]:

- **spojité** - hodnoty jeho atributů se v čase mění spojitě,
- **diskrétní** - stavové proměnné se v průběhu času mění skokově.

Z výše popsaného rozdělení je zřejmé, že při zkoumání materiálového toku v průběhu času je řeč o dynamickém modelu, proto bude v kontextu této práce vždy pod pojmem model brán dynamický model. Zároveň zde bude rozebírán pouze diskretní model, protože při pohybu objektů v logistickém řetězci je řeč o diskretním materiálovém toku.

Následující obrázek (Obr. 4) zobrazuje rozdíl mezi diskretním a spojitým modelem.



Obr. 4 Příklady průběhů stavových proměnných (zpracováno dle [13]);
a) diskretní model, b) spojitý model

SIMULACE

Velice výstižnou definicí simulace v rámci jejího využívání v oblasti logistiky definuje směrnice VDI 3633, která o ni pojednává následovně [11]: „*Simulace je zobrazení systému s jeho dynamickými procesy pomocí modelu, na kterém lze provádět experimenty za účelem získání poznatků, které je možné uplatnit ve skutečnosti*“.

Pomocí simulace lze tedy plánovat, implementovat, optimalizovat a testovat různá navrhovaná řešení v rámci zkoumaného systému, aniž by došlo k reálné změně systému.

2.4.2 VYUŽITÍ SIMULACE

Využití simulace je podmíněno složitostí systému. Simulace je vhodná především pro komplexní systém, který je obtížné řešit analyticky nebo daný systém ani nelze takto vyřešit. Simulace umožňuje zohlednit stochastické chování a možnost provádět experimenty na simulačním modelu bez jakéhokoliv zásahu do reálného systému. Simulace nezatěžuje reálný systém a počet možných testovaných variant je omezen prakticky pouze časem, financemi a výkonem výpočetní techniky. V oblasti podnikové logistiky lze za typické problémy řešitelné pomocí simulace označit podporu pro rozhodování při [7]:

- identifikaci úzkých míst ve výrobě,
- zkracování průběžné doby výroby,
- optimalizaci výrobních dávek,
- plánování kapacit,
- implementaci metody Just-in-Time,
- projektování výrobních celků,
- optimalizaci požadavků na pracovní síly,
- podpoře při vývoji a testování řídicího softwaru,
- školení personálu atd.

Mimo to v průběhu vytváření simulačního modelu dochází k lepšímu pochopení chování reálného systému. Zvýšený stupeň poznání zkoumaného systému pak následně lze využít při návrhu jeho úprav, což samozřejmě s sebou nese ekonomické přínosy. Pomocí simulačních modelů je možné navíc vytvářet scénáře a hledat odpovědi na otázky typu „Co se stane, když...“³.

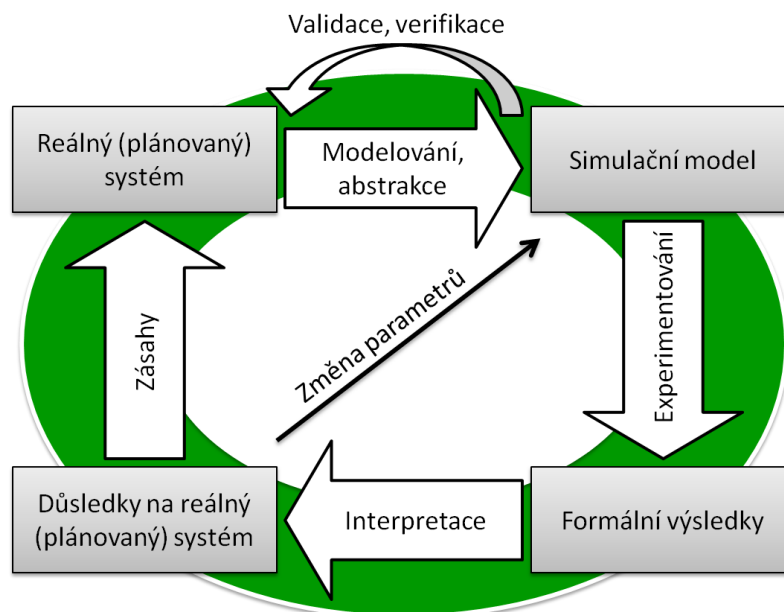
Ačkoli jsou simulace velmi vhodným a efektivním nástrojem pro řešení řady problémů, neznamená to, že je možné je použít ve všech případech. Příklady případů, kdy není vhodné využít simulace, jsou:

- model je z pohledu časové náročnosti jeho vytvoření vhodnější nahradit analytickými metodami,
- nemohou-li být zjištěna potřebná data k vytvoření modelu odpovídajícího reálnému či plánovanému systému,
- je-li experiment na reálném systému rychlejší a levnější,
- nemůže-li být model verifikován či validován atd.

³ V originálu nazýváno jako „What-if analysis“.

2.4.3 PRŮBĚH TVORBY SIMULACE

Po vysvětlení základních pojmů ohledně simulace a jí samotné bylo možné se dozvědět, že simulací se rozumí proces tvorby modelu reálného či plánovaného systému a provádění experimentů s tímto modelem. Experimenty jsou pak prováděny za účelem posouzení různých variant činnosti systému spolu se sekundárním účelem pochopení chování studovaného systému. Obecně lze celý tento proces tvorby simulace rozdělit do čtyř základních fází. Tyto fáze a jejich vazby mezi sebou jsou uvedeny na Obr. 5.



Obr. 5 Základní princip simulace (zpracováno dle [9])

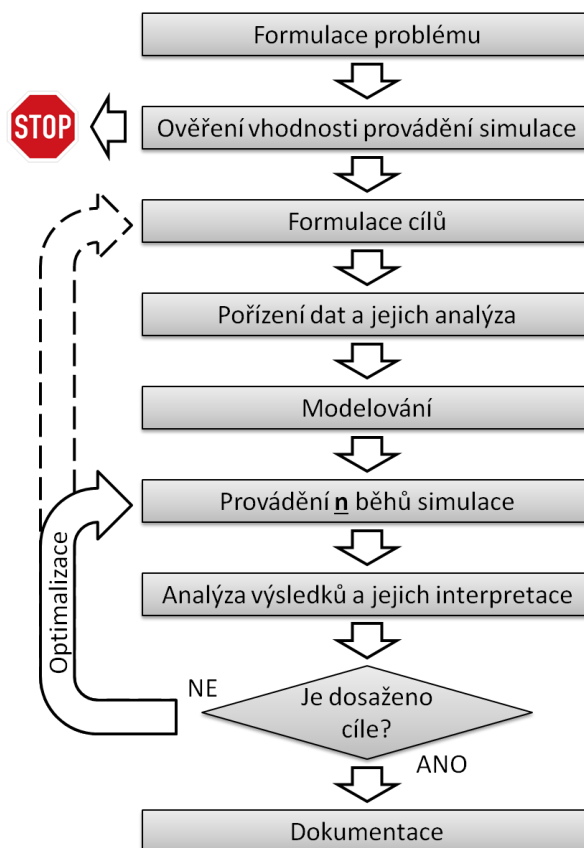
Na začátku průběhu tvorby simulace je snaha o vytvoření simulačního modelu reálného či plánovaného systému s cílem napodobit chování systému tak, aby bylo shodné s originálem. Následně je nutné ověřit, jestli sestavený model lze použít pro požadované účely. Je tedy nutná verifikace a validace modelu.

„Verifikace se zabývá správným vytvářením modelu“. Znamená to ověření, zda počítačový model reprezentuje koncepční (pojmový) model se stanovenou přesností. Porovnááme, zda byl koncepční model správně implementován do simulačního softwaru a jestli vstupní parametry a logická struktura odpovídají pojmovému modelu. „Validace se zabývá vytvářením správného modelu“. Zde to znamená ověření, že počítačový model prokazuje uspokojivou míru shody s reálným systémem. Je jí dosaženo postupným zpřesňováním simulačního modelu do takové detailnosti, až správně zachycuje simulovaný proces. [9], [13]

Po vytvoření, verifikování a validování simulačního modelu lze začít s prováděním simulačních experimentů. Ze simulačních experimentů jsou následně získány výsledky, které je důležité správně interpretovat, protože z této interpretace vyplynou doporučení na optimalizaci systému. Na schématu popisující tento proces (Obr. 5) je naznačena i možnost opakování experimentů při změně parametrů modelu. V případě schválení některých doporučení na změny v systému následně dochází k zásahům do stávajícího reálného systému.

2.4.4 METODIKA ŘEŠENÍ SIMULAČNÍHO PROJEKTU

Při řešení simulačního projektu je potřeba do popsaného cyklu tvorby simulace (kapitola 2.4.3) zahrnout i kroky, které spoluvytváří kompletní simulační studii. Jednotlivé kroky simulačního projektu je možné rozdělit následovně [9]:



Obr. 6 Fázový model simulačního projektu (zpracováno dle [7])

Výše uvedené kroky budou nyní blíže ve stručnosti vysvětleny. Informace jsou čerpány z děl [7] a [9].

FORMULACE PROBLÉMU

Simulační projekt by měl začít tím, že by měl zadavatel nejdříve přesně formulovat své požadavky kladené na simulaci. Důležité je vzájemné porozumění mezi zadavatelem a simulačním specialistou. Taktéž je vhodné zpracovat výstup z této fáze písemnou formou, např. formou seznamu úkolů, které mají být provedeny, nebo otázek, na které se mají pomocí simulace nalézt odpovědi.

OVĚŘENÍ VHODNOSTI PROVÁDĚNÍ SIMULACE

I přes veškeré výhody simulace zmíněné v kapitole 2.4.2, mohou nastat případy, kdy nemusí být jejich nasazení vhodné. Provádí se tedy prověřování vhodnosti simulačních metod

a současně se vyšetřuje, zda není časově či finančně možné problém řešit jinými metodami. Provádět sestavení simulačního modelu je zvláště vhodné, pokud existuje předpoklad jeho budoucího opětovného využití.

FORMULACE CÍLŮ

Ve společnostech většinou existuje jeden hlavní cíl (např. maximalizace zisku firmy, udržení pozice na trhu atd.) a několik dílčích cílů, které napomáhají uskutečnit hlavní cíl. Tyto dílčí cíle mohou být právě cílem modelovaného systému. Mezi časté cíle simulace můžeme zařadit například tyto cíle:

- minimalizace času průběhu určitého procesu,
- maximalizace využitelnosti systému,
- minimalizace zásob a
- snížení doby dodržení stanovených termínů.

Cíle by měly být vždy definovány s konkrétní hodnotou, které má být dosaženo. Přesná formulace měřitelného cíle následně umožňuje získané výsledky simulace posoudit a vyhodnotit (např. formou tabulky, grafem apod.). V rámci formulace cílů je také třeba určit stupeň detailnosti modelu, protože s rostoucí detailností roste sice přesnost výsledků, ale také náročnost na zpracování modelu. Jinými slovy je třeba nalézt postačující detailnost modelu, která bude postačující k posouzení stanovených cílů.

POŘÍZENÍ DAT A JEJICH ANALÝZA

Pro tuto fázi projektu platí pravidlo: „Jak kvalitní jsou vstupní data, tak kvalitní jsou pak výstupní data ze simulačního modelu“. Proto jsou velmi důležité kvalitní a rozsáhlé data popisující řešený systém. Tyto data je možné rozdělit následovně:

- **technická data** - výkresy, výrobní schémata, technické údaje o modelovaných zařízeních, výkonnost a kapacita skladů a výrobních úseků, údaje o spolehlivosti atd.,
- **organizační data** - směnnost provozu, organizace materiálového toku, způsoby provádění oprav atd.,
- **data o vytížení systému** - pracovní plány, kusovníky, objemy a termíny zakázek atd.

MODELOVÁNÍ

Tvorba simulačního modelu probíhá většinou ve dvou krocích:

- **Sestavení pojmového modelu** (konceptního, myšlenkového), který musí specifikovat podstatné rysy chování systému. Může být realizován formou verbálního popisu, schematického popisu, vývojového diagramu atd.
- **Převedení pojmového modelu do simulačního softwaru**, kde součástí toho je i verifikace a validace simulačního modelu. Implementace pojmového modelu do simulačního se skládá z tvorby struktury modelu pomocí základních prvků simulačního softwaru a z programování (vytváření funkčních vazeb mezi těmito prvky a jejich řízení). Pro účely pozdějšího opětovného využití modelu se doporučuje

zpracovávat dokumentaci k modelu, vepisovat komentáře do zdrojových kódů programů apod.

PROVEDENÍ SIMULAČNÍCH BĚHŮ

Po vytvoření a ověření modelu následuje provádění jednotlivých simulačních experimentů, které umožňují vyhodnocovat chování systému na různé změny parametrů daných prvků v systému. Je vytvořen určitý plán experimentů se všemi plánovanými simulačními experimenty se snahou o to, aby se výsledky experimentů lišily pouze v důsledku určených změn. Simulační běh je nejčastěji ukončen uplynutím předem zadané doby (simulačního období). Simulační experimenty mohou být časově velmi náročné, proto je výhodné běh simulačních experimentů v těchto případech naplánovat mimo pracovní dobu.

ANALÝZA VÝSLEDKŮ A JEJICH INTERPRETACE

V této fázi je dosaženo odpovědí na dříve formulované otázky a problémy. Jedná se o velmi důležitou část simulačního projektu, neboť jsou zde navržena doporučení, která v případě přijetí mají dopad již na reálný systém. U rozsáhlých simulačních modelů je nutné věnovat pozornost tzv. době náběhu do ustáleného stavu. Během této doby se mohou procesy v reálném a v simulovaném systému značně lišit. Je proto vhodné zvážit nezařazení výsledků z tohoto časového úseku do interpretovaných výstupů. Získané výsledky se pak mohou interpretovat pomocí animací, diagramů, grafů, tabulek apod.

DOKUMENTACE

V průběhu celého projektu je vypracovávána dokumentace. Její obsah by měl poskytnout přehled o průběhu simulační studie včetně veškerých provedených úkonů. Zaznamenány by měly být především navržené opatření vedoucí k žádoucím výsledkům. V dokumentaci by neměl chybět ani přehled simulovaných variant, které nesplnily požadované cíle, protože díky těmto informacím lze v budoucnu předejít případným obtížím. Součástí celé dokumentace by měl být také popis struktury a funkcionality simulačního modelu, aby pro účely pozdějšího využití mohl model použít další uživatel řešící danou problematiku.

PRAKTICKÁ ČÁST

3 ANALÝZA ŘEŠENÉ OBLASTI

Tato kapitola již představuje praktickou část diplomové práce. Řešená oblast logistického řetězce zahrnuje několik prostředků pro manipulaci a přepravu materiálu, proto budou v této kapitole nejdříve popsány právě tyto prostředky. Následně je na to navázáno popisem a vymezením řešené oblasti logistického řetězce a s tím spojenými předpoklady pro vypracování simulačního modelu. Dále jsou detailněji popsány veškeré specifikace týkající se automatizovaného centrálního skladu a meziobjektové přepravy materiálu.

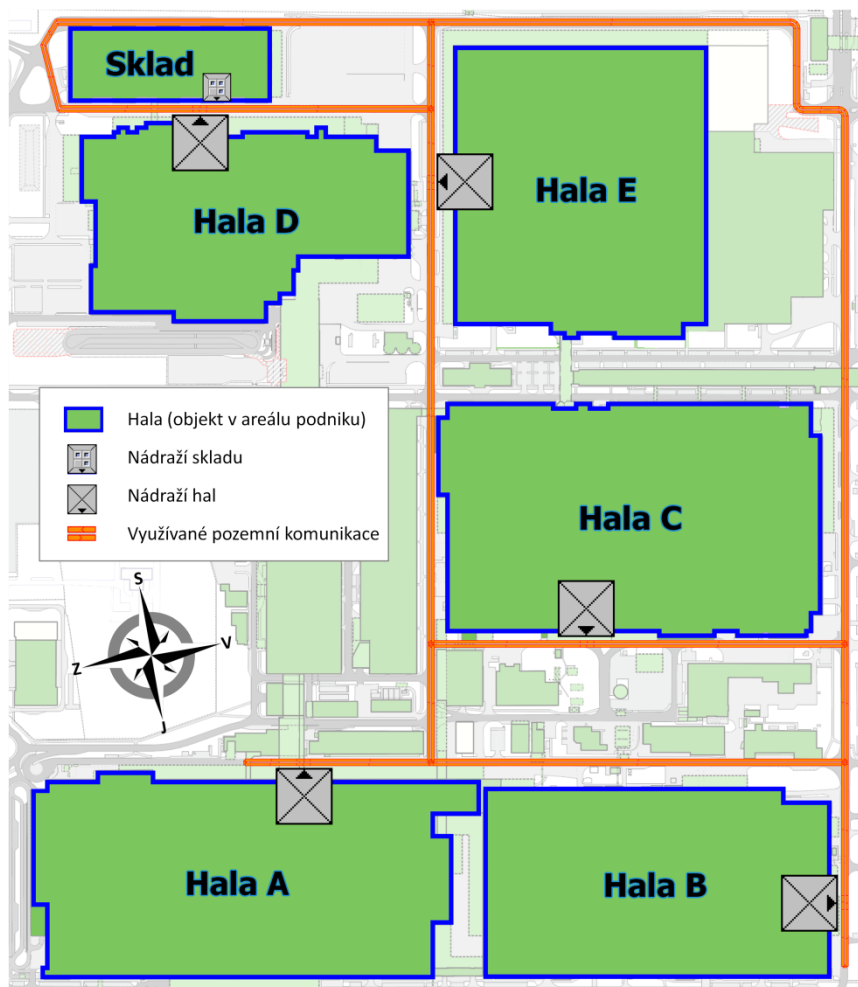
3.1 FORMULACE PROBLÉMU

Předmětem řešení praktické části dle zadání diplomové práce je především navrzení logistického řetězce charakterizujícího meziobjektovou přepravu materiálu. Zároveň má být ověřeno využití dopravních prostředků dle navrhovaných konceptů pro meziobjektovou přepravu materiálu z plně automatizovaného centrálního skladu (dále jen „sklad“) na požadované místo u dané haly. Aby bylo možné správně namodelovat a vyhodnotit tuto přepravu materiálu, bylo nutné do řešeného logistického řetězce začlenit i proces vyskladňování ze skladu. Pokud by se tak nestalo, znamenalo by to příliš mnoho zjednodušujících podmínek pro simulační model a výsledky by tak nemusely vykazovat dostačující přesnost vůči reálnému systému.

3.2 UMÍSTĚNÍ OBJEKTŮ V AREÁLU PODNIKU

Uspořádání a rozmístění výroby, jakožto i dopravní infrastruktura, jsou důležité parametry, které je nutné zohlednit při vyhodnocování navrhovaných řešení meziobjektové přepravy materiálu. Způsob rozmístění řešených hal a skladu v průmyslovém závodě znázorňuje Obr. 7 umístěný na další straně.

Na Obr. 7 lze nalézt sklad v severní části areálu. Z tohoto místa jsou zásobovány pracoviště v halách označených písmeny A až E. Konkrétně jsou zaváženy dvě montážní haly, dvě haly svařoven a jedna hala s výrobou agregátů. Každá hala i samotný sklad mají své nádraží (v Obr. 7 označeno jako šedé čtverce). Nádražím je chápána plocha nakládky a vykládky materiálu. Na Obr. 7 je možné si také všimnout oranžově zvýrazněných cest, které značí využívané pozemní komunikace v rámci meziobjektové přepravy materiálu.



Obr. 7 Část průmyslového závodu

3.3 DEFINICE PROSTŘEDKŮ PRO MANIPULACI A PŘEPRÁVU MATERIÁLU

V řešené oblasti logistického řetězce jsou pro manipulaci a přepravu materiálu využívány manipulační jednotky, přepravní a dopravní prostředky.

3.3.1 MANIPULAČNÍ JEDNOTKY

Do skladu jsou nakupované díly uskladňovány pouze v příslušných manipulačních jednotkách. Manipulační jednotkou lze rozumět materiál (balený i nebalený, svazkový, ložený volně, nebo na přepravním prostředku) tvořící samostatně nebo s přepravním prostředkem celek, který je uzpůsoben pro mechanizovanou manipulaci, přepravu, skladování a zachovává svůj tvar při oběhu. [12]

Pro jednodušší vysvětlování a rozlišení od jiných používaných prostředků, bude manipulační jednotka v řešeném oběhu označována jako „box“. Při odvolávce je požadavek vždy na konkrétní box a manipulováno je také vždy jen s celým boxem. Není tedy pro detailnost simulačního modelu důležité, co je v daných boxech obsaženo. Všechny tyto boxy mají

standardizované rozměry, aby technologie ve skladu umožňovala jejich jednoduchou manipulaci a skladovatelnost. Box, který je v rámci řešené problematiky používán, je zobrazen na Obr. 8.



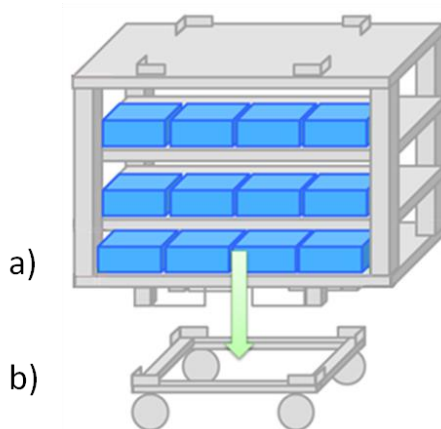
Obr. 8 Manipulační jednotka – box [15]

Jednotlivé boxy jsou při jejich vstupu do skladu automaticky označeny samolepící závěskou s čárovým kódem, který nese veškeré informace jako např. označení boxu, jeho pozici ve skladu atd. Při výstupu boxu ze skladu jsou mu na závěsku elektronicky předány další informace jako místo výdeje (příslušný dopravník ve skladu), místo spotřeby (pracoviště), okruh (zavážecí trasa, do jejíž sekvence náleží dané místo spotřeby) apod.

3.3.2 PŘEPRAVNÍ PROSTŘEDKY

Po vychystání požadovaných boxů ze skladu jsou následně boxy kompletovány do přepravního prostředku. Pod pojmem přepravní prostředek lze chápat prostředek pro tvorbu manipulačních jednotek, na který je přenášeno zařízení při manipulačních a přepravních operacích (kontejner, paleta apod.). Usnadňují tak manipulaci a přepravu včetně ložných operací. [12]

V řešené problematice je jako přepravní prostředek používán přepravní policový regál, též označován jako „PP regál“. PP regál utváří ucelený soubor boxů náležících do stejného okruhu dané haly. PP regály dále slouží jako náklad do přívěsů dopravních prostředků, které je rozváží na příslušná nádraží hal. V halách je potom PP regál umístěn na podvozek, který je zapojen za příslušný elektrický tahač, jehož okružní jízda odpovídá přiřazenému okruhu obsažených boxů v PP regálu. PP regál i s jeho podvozkem zobrazuje Obr. 9.



Obr. 9 Schématické znázornění PP regálu a jeho podvozku [15];
a) přepravní policový regál, b) podvozek

Předmětem meziobjektové přepravy je z Obr. 9 pouze část a) přepravní policový regál, zkráceně PP regál. Ke spárování PP regálu s podvozkem dochází až při vnitroobjektovém rozvozu v hale.

Základní parametry PP regálu jsou následující:

- maximální kapacita PP regálu je 24 boxů,
- 3 patra policového regálu - v každém patře umístěno max. 8 boxů,
- oboustranné vkládání i vykládání a
- stohovatelnost PP regálů.

3.3.3 DOPRAVNÍ PROSTŘEDKY

Přeprava PP regálů na jednotlivé haly se děje pomocí dopravních prostředků. Konkrétně jsou v meziobjektové přepravě řešené oblasti využívány tyto dopravní prostředky:

- tahač přívěsů,
- nákladní automobil a
- vysokozdvizný vozík.

TAHAČ PŘÍVĚSŮ

Jeden z používaných dopravních prostředků je tahač přívěsů, což je automobil konstruovaný a určený k tažení přívěsů. Spolu se dvěma přívěsy tvoří bateriemi poháněný tahač nákladní soupravu určenou pro převoz materiálu. Logistika v rámci řešeného podniku využívá celkem 17 těchto tahačů, z nichž jsou dva využity na přepravu, která je předmětem této práce. Jak takový tahač s přívěsy vypadá, je možné vidět na Obr. 10.



Obr. 10 Tahač s přívěsy [16]

Přeprava patří mezi nejdražší operace v logistickém řetězci, proto je snaha co nejvíce zefektivnit tyto operace a stlačit jejich náklady na minimum.

Důkazem tomu je i fakt, že jedna ze zmiňovaných nákladních souprav je navíc vybavena solárními panely. Fotovoltaické moduly, které jsou namontovány na střeších přívěsů, nabíjejí trakční baterii tahače během jízdy. Tahač se solárními moduly spotřebuje přibližně o 10 % méně elektřiny ze sítě a zároveň tento vůz mění méně často baterii v nabíjecích stanicích. Nejen, že se díky těmto opatřením podaří snížit náklady na přepravu, ale zároveň využívání alternativních pohonů přispívá k ochraně životního prostředí. [16]

NÁKLADNÍ AUTOMOBIL

Dalším používaným dopravním prostředkem v rámci řešené meziobjektové přepravy je nákladní automobil. Zde je nákladní souprava tvořena také dvěma nákladními prostory, kterými jsou tažený návěs spolu s jedním přívěsem. Popsané nákladní automobily jsou znázorněny na Obr. 11.



Obr. 11 Nákladní automobil [17]

Kromě běžného pohonu naftovým motorem, jsou v rámci snižování emisí i logistických nákladů využity čtyři nákladní automobily s pohonem na CNG⁴. Tyto čtyři vozidla, poháněné zemním plynem, se ve zkušebním provozu projevily snížením nákladů o 30 % na pohonné hmoty oproti vozům s konvenčním pohonem. Také došlo k podstatnému snížení emisí oproti naftovým motorům až o 90 %. To vypovídá o dalším ušetření logistických nákladů v oblasti přepravy materiálu spolu s dalším pokrokem v oblasti ekologie. [17]

VYSOKOZDVIŽNÝ VOZÍK

Přeprava materiálu je také řešena pomocí elektrických vysokozdvižných vozíků. Je jich využito především na krátké vzdálenosti, kde se nevyplatí jednotlivé PP regály překládat do nákladního prostoru jiných dopravních prostředků. Vysokozdvižné vozíky jsou tedy nasazeny pro vnitroskladovou přepravu vychystaných PP regálů. Konkrétně to zahrnuje přemísťování PP regálů z plochy výdeje, kde dochází k jejich kompletaci, na nádraží skladu. Vzhledem k tomu, že hala D leží naproti skladu, je tato meziobjektová přeprava realizována právě pomocí vysokozdvižných vozíků.

⁴ Compressed Natural Gas - stlačený zemní plyn.



Obr. 12 Vysokozdvížený vozík [18]

Mimo použití v přepravě jsou dále vysokozdvížné vozíky využity pro manipulaci s PP regály. Jedná se o různé druhy ložných operací PP regálů, konkrétně:

- nakládku PP regálů do nákladních prostorů dopravních prostředků na nádraží skladu,
- vykládku PP regálů z nákladních prostorů dopravních prostředků na nádraží hal,
- nakládku prázdných PP regálů do nákladních prostorů dopravních prostředků na nádraží hal a
- vykládku prázdných PP regálů z nákladních prostorů dopravních prostředků na nádraží skladu.

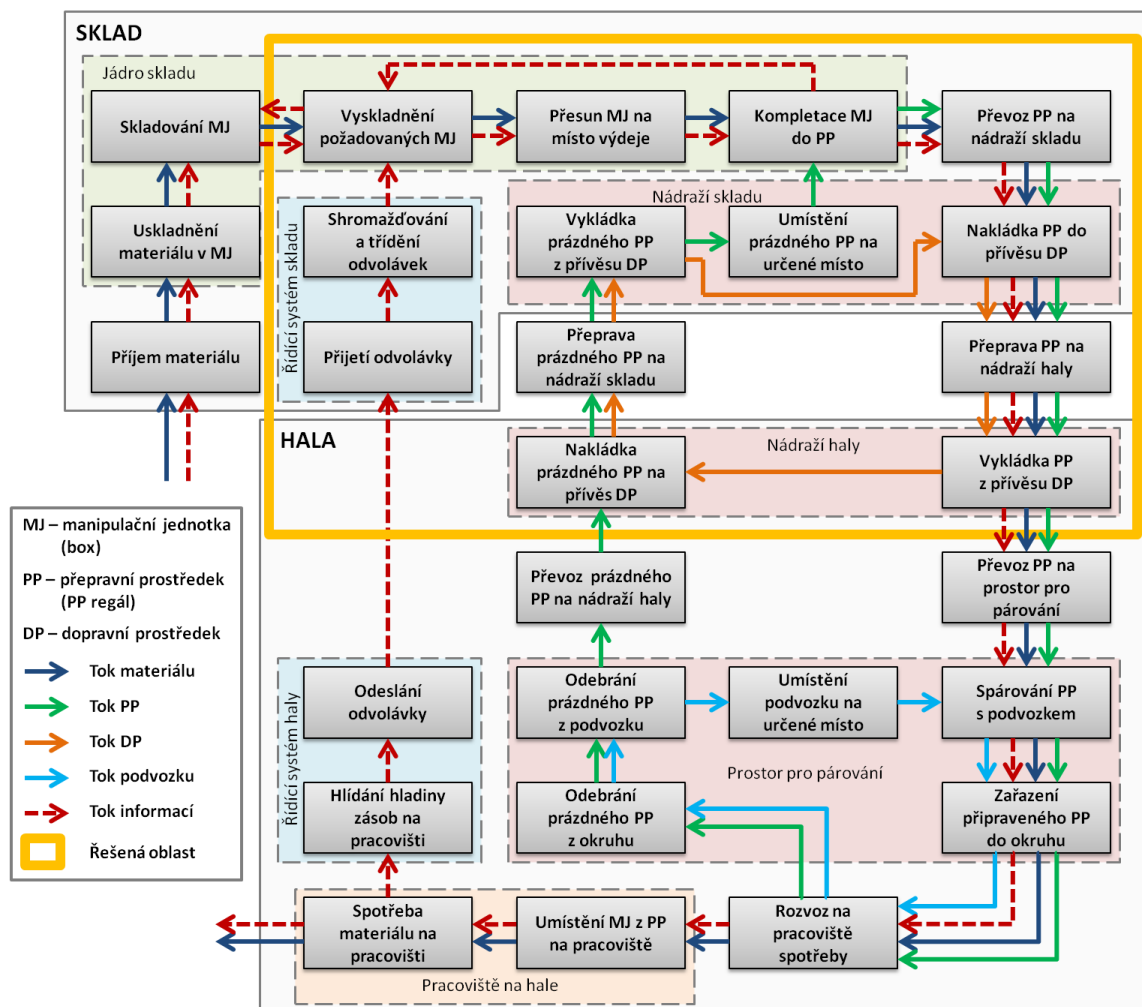
3.4 POPIS LOGISTICKÉHO ŘETĚZCE

Logistický řetězec zde bude popsán včetně procesů, které předchází i následují řešenou oblast logistického řetězce. Zároveň je popisovaný logistický řetězec schematicky znázorněn na Obr. 13, který je umístěn na následující straně. Zobrazený řetězec procesů popisuje pohyb materiálu od příjmu materiálu ve skladu až po jeho dodávku na pracoviště dané haly.

Na venkovní příjmové zóně skladu je materiál složen z nákladního vozidla, rozrovnán a zaevidován do systému. Po zaevidování je materiál uskladněn do skladu (do skladového jádra) v příslušných boxech. Během uskladňování se kontroluje skutečná hmotnost jednotlivých boxů s teoretickou hmotností zapsanou v kusovníku hmotností boxů. Na základě PULL principu⁵ jsou boxy vyskladňovány dle odvolávek odeslaných z jednotlivých pracovišť na halách. Pomocí skladovací techniky jsou boxy přesunuty na předem definovanou plochu výdeje, kde jsou následně kompletovány do připravených PP regálů. Odtud jsou kompletní PP regály převáženy vysokozdvížným vozíkem na místo, kde jsou nakládány do přívěsů dopravních prostředků. Toto místo nakládky, kam patří i vykládka prázdných PP regálů, je označováno jako „nádraží skladu“. Pokud je náklad daného dopravního prostředku kompletní, může být zahájena přeprava naložených PP regálů na místo určení, přesněji na halu, kam mají být dané PP regály doručeny. Na cílovém místě vykládky jmenovaných regálů dochází k jejich vykládce. Zmíněné místo vykládky PP regálů na hale, též nakládky prázdných PP regálů, je označováno jako „nádraží haly“. Z tohoto místa putují PP regály na prostor pro párování, neboli prostor, kde je PP regál spárován s podvozkem. Podvozek je následně

⁵ Procesy se spouštějí v okamžiku, kdy si místo spotřeby objednalo službu či výrobek (avizovalo svou připravenost službu či výrobek zpracovat). [6]

zapojen za elektrický tahač (rozdílný od popsaného tahače v kapitole 3.3.3), pomocí kterého jsou dané PP regály rozvezeny po hale. Elektrický tahač na hale pak u jednotlivých pracovišť zastavuje a obsluha pracovišť umísťuje požadované boxy z PP regálů na pracoviště spotřeby. Po vyložení všech boxů z PP regálů, je následně na prostoru pro párování prázdný PP regál odebrán z podvozku a převezen na nádraží haly. Zde je prázdný PP regál při příjezdu některého dopravního prostředku, který právě dovezl plné PP regály, naložen do jeho přívěsu. Prázdné PP regály jsou tedy převezeny při zpáteční cestě ke skladu na nádraží skladu, kde jsou vyloženy a následně použity pro kompletaci dalších boxů ze skladu. Do popsaného logistického řetězce je tedy zahrnut i zpětný tok prázdných PP regálů.



Obr. 13 Schéma řešeného logistického řetězce

3.4.1 VYMEZENÍ ŘEŠENÉ OBLASTI

V rámci této práce je řešena pouze část výše popsaného logistického řetězce. Vymezená řešená oblast obsahuje, vzhledem k formulovaným cílům diplomové práce, meziobjektovou přepravu a proces vyskladňování. Takto vymezená řešená oblast je na Obr. 13 znázorněna žlutým ohraničením. Řešen je tedy tok materiálu od požadavku na vyskladnění po jeho doručení na nádraží dané haly. Poněvadž je v logistickém řetězci vymezením řešené oblasti přerušeno několik vstupujících toků, přináší takové omezení s sebou i několik podmínek, které jsou popsány v kapitole 3.4.2.

3.4.2 PODMÍNKY PRO ŘEŠENOU OBLAST

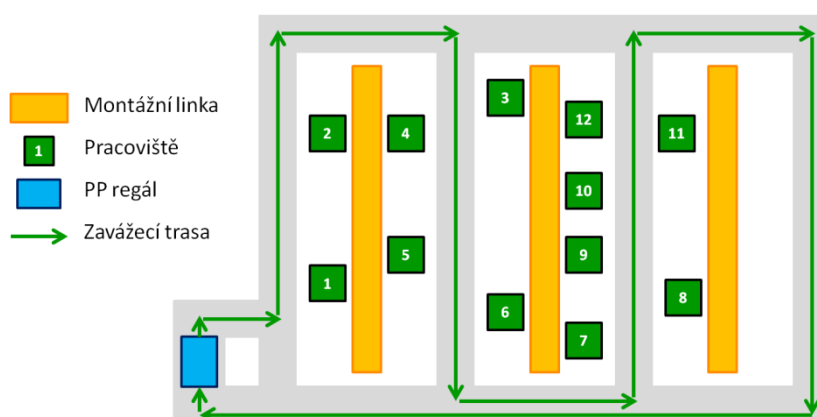
První podmínkou je, že v případě požadavku na vyskladnění materiálu ze skladu je daný materiál vždy ve skladovém jádře přítomen. Ostatně by měly být dodávky do skladu navrženy tak, aby tato podmínka byla splněna i v reálném systému. Proto je taková podmínka pro řešení zcela přijatelná.

Druhý přerušený vstupující tok do vymezené oblasti je tok informační, který charakterizuje odvolávku odeslanou z pracoviště spotřeby materiálu. Tento tok je velice důležitý, protože bez odvolávek by nedocházelo k vyskladňování boxů ze skladu. Proto byl tento tok nahrazen historickými záznamy odvolávek z reálného systému. Z databáze řídicího systému hal byly získány data za září až říjen 2016. Záznamy obsahovaly veškeré potřebné data, díky nimž je možné inicializovat proces vyskladňování boxů ze skladu. Příklad takových dat je zobrazen v Tab. 1.

Tab. 1 Příklad historických záznamů odvolávek

| Datum a čas odvolávky | Označení boxu | Hala | Okruh | Místo spotřeby |
|-----------------------|---------------|------|---------|----------------|
| 2016/09/05 14:34:17 | 5JA959812L | A | A-modrý | A-T155 |
| 2016/09/05 14:34:25 | 5JA959812L | A | A-modrý | A_T155 |
| 2016/09/05 14:34:26 | 6V6803430 | E | E-žlutý | E_T245 |
| 2016/09/05 14:34:27 | 5E1837016A | A | A-modrý | A_T165 |
| 2016/09/05 14:34:31 | 5Q0815005AC | D | D-žlutý | D_T180 |
| 2016/09/05 14:34:32 | 6V6803838 | E | E-žlutý | E_T243 |
| 2016/09/05 14:34:35 | 5Q0815005AC | D | D-žlutý | D_T180 |

Označení boxu v Tab. 1 značí pojmenování konkrétního boxu, kde řídicí systém skladu si podle tohoto označení najde umístění požadovaného boxu ve skladu. Sloupec Hala označuje objekt, kam má být daný box doručen. Termínem okruh je zde myšlena zavázeční trasa, do jejíž sekvence náleží několik obsluhovaných pracovišť. A místo spotřeby je již konkrétní pracoviště, kde má být materiál spotřebován. Pro lepší pochopení jsou okruh (zavázeční trasa) a místo spotřeby (pracoviště) schematicky znázorněny na Obr. 14.



Obr. 14 Schematické znázornění příkladu vnitroobjektového zavážení boxů

Třetí podmínka vychází z dalšího přerušení vstupujícího toku do řešené oblasti. Je jím zpětný tok PP regálů na nádraží hal. Aby byl splněn předpoklad, že celkový počet vyložených plných

PP regálů bude roven celkovému počtu naložených prázdných PP regálů na nádraží haly, bude daný dopravní prostředek v simulačním modelu odvážet vždy stejné množství PP regálů, jako přivezl. Toto zjednodušení je opět přijatelné, protože platí rovnost vstupujících a vystupujících PP regálů.

3.5 AUTOMATIZOVANÝ CENTRÁLNÍ SKLAD

Pod pojmem sklad rozumíme objekt, popř. prostor používaný k udržování zásob, vybavený potřebnou skladovací technikou a zařízením. V případě automatizovaného skladu se rozumí sklad, v němž je převážná část manipulačních prací zajišťována zařízením řízeným počítačem. Hlavní funkcí skladu je přijímat, uchovávat a vydávat zásoby. [3]

3.5.1 SKLADOVACÍ TECHNIKA

Před tím, než bude popsán proces vyskladňování, bude definována veškerá používaná skladovací technika v řešeném skladu.

Za skladovací techniku se považují veškeré zařízení a prostředky sloužící ke skladové manipulaci a uložení zásob ve skladu, včetně řídicího systému. Mezi hlavní využívanou skladovací techniku v řešeném skladu patří:

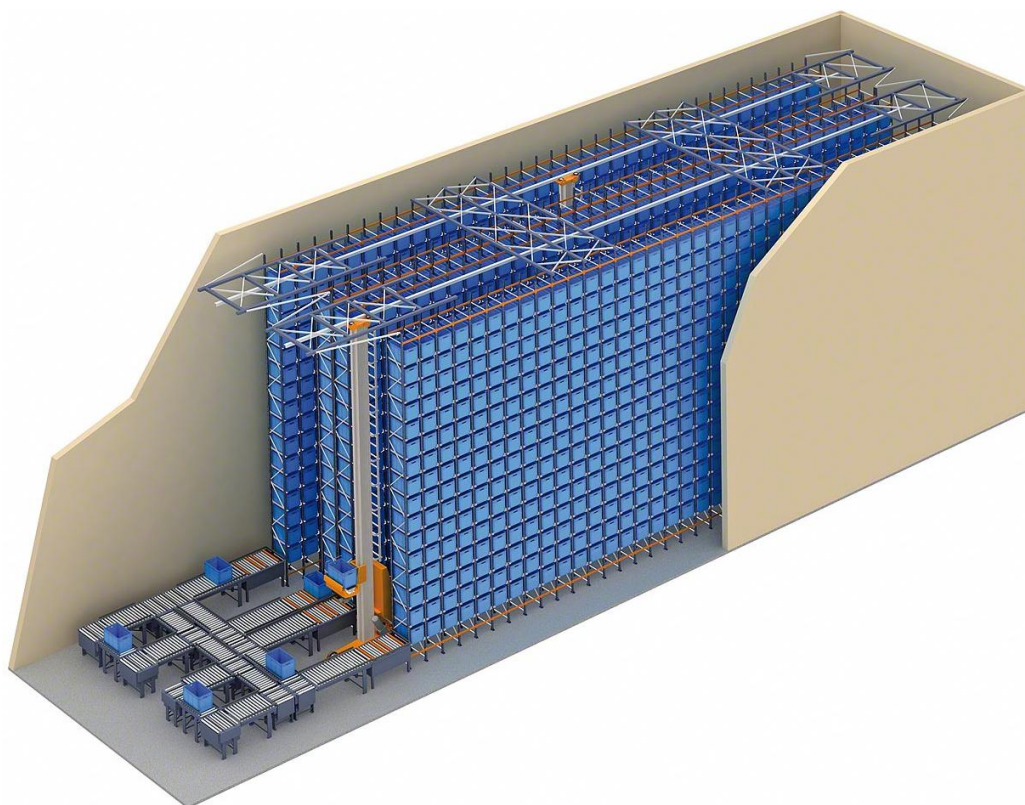
- regály a jejich automatizované zakladače,
- váhy,
- dopravníky,
- průmyslové roboty a
- řídicí systém skladu.

REGÁLY A JEJICH AUTOMATIZOVANÉ ZAKLADAČE

Pod pojmem regál lze rozumět vícepodlažní zařízení sloužící pro uložení zásob, umožňující jejich odebírání z kteréhokoliv podlaží. Regálový zakladač je pak skladovací zařízení určené k obsluze regálů (zakládání a odebírání) pojíždějící v dráze vázané na regál. Zde je regálový zakladač navíc nazýván jako automatizovaný, poněvadž se jedná o zakladač, jehož činnost je zcela řízena řídicím systémem. Mezi výhody automatizovaného zakladače pro ukládání a odebírání boxů patří [19]:

- automatizace uskladnění a vyskladnění boxů,
- průběžná inventura,
- eliminace chyb způsobovaných manuálním řízením skladu,
- optimální využívání dostupného místa a
- snadný přístup k uloženým boxům.

Jak takový automatizovaný sklad s automatizovaným zakladačem a příslušnými regály může vypadat, znázorňuje Obr. 15.



Obr. 15 Regály a jejich automatizované zakladače [19]

I když je obrázek pouze ilustrativní a jedná se o příklad (nezobrazuje přesně konkrétní řešení sklad), je zde zobrazeno mnoho rysů, které korespondují s řešeným skladem. Řešený sklad je vybaven deseti regálovými zakladači, kde každý zakladač obsluhuje vždy dva regály postavené na každé straně jeden. Regály jsou tedy, kromě krajních, umístěny vždy dva vedle sebe. Na každý zakladač pak navazuje vždy jeden dopravník, na který jsou vyskladněné boxy přemístěny.

VÁHY

Ve skladu jsou umístěny dvě sériově řazené váhy, které kontrolují skutečnou hmotnost jednotlivých boxů s hodnotou uloženou v kusovníku hmotností boxů. Kontrola hmotnosti probíhá vždy pouze na jedné z vah. Funguje to takovým způsobem, že pokud jsou obě váhy volné, box je zvážen až na druhé v pořadí, aby byla první váha volná pro případný další příchozí box. Zároveň platí, že pokud je box zvážen na první váze, přes druhou pouze přechází bez vážení. Pokud řídicí systém vyhodnotí, že hmotnost není v rámci nastaveného limitu, je box poslán na zvláštní místo, kde je obsluhou provedena fyzická inventura dílů obsažených v boxu.

Poněvadž není známa pravděpodobnost neúspěšného zvážení a pro účely vyhodnocení meziobjektové přepravy tato situace není relevantní, je v simulačním modelu uvažováno stoprocentní úspěšné navážení správné hmotnosti.

DOPRAVNÍKY

V řešeném skladu je pro překonávání vzdáleností mezi jednotlivými stanovišti (regálový zakladač, váhy, roboty) využit dopravníkový systém, který poskytuje plně automatizovanou manipulaci s boxy. Přesněji jsou v rámci skladu využity válečkové dopravníky. Na válečkových dopravnících je používán systém na detekci přítomnosti boxu, který využívá mechanická nebo optická detekční zařízení. Dopravníky tak umožňují přesouvání boxů do požadovaných umístění za kontrolovaných podmínek.



Obr. 16 Válečkový dopravník [20]

Boxům je již před započítáním vyskladňování přiřazen jeden ze čtyř dopravníků, na jehož konci dochází robotem k přesouvání boxů. Na počátku těchto čtyř dopravníků je umístěno několik snímacích zařízení, kterými jsou čteny čárové kódy umístěné na boxech. Vyhodnocovací jednotka následně identifikuje objekt a nasměruje ho na dopravník, na který byl přiřazen. Takovýto způsob identifikace se přesněji nazývá „automatická identifikace“.

Automatická identifikace je založena na využití pasivních, popřípadě i aktivních prvků procházejících logistickým řetězcem k přenosu s nimi souvisejících informací mezi články logistického řetězce. [3]

V řešeném systému automatické identifikace rozeznáváme [3]:

- označení (potisk čárovým kódem),
- nosič označení (samolepící závěska) a
- objekt (manipulační jednotka - box).

Oblastmi praktického užití automatické identifikace jsou především [3]:

- záznam, identifikace a vyhledávání informací,
- identifikace a vyhledávání předmětů,
- identifikace míst,
- kontrola stavů,
- sledování a řízení procesů a
- transakční procesy.

PRŮMYSLOVÉ ROBOTY

Průmyslový robot použitý ve skladu lze charakterizovat jako automaticky řízený, manipulační stroj, který je naprogramován pro vykonávání různých manipulačních a pohybových úkonů. Jeho hlavním úkonem ve skladu je přemísťování boxů podle daných požadavků. Robot manipuluje vždy jen s jedním boxem, kde box je z dopravníku ukládán na pomocný stůl. Pokud je na pomocném stole umístěno 8 boxů (jedno celé patro) nebo jsou na pomocném stole veškeré boxy náležící do konkrétního PP regálu, dochází pomocí polohovacího zařízení k přesunutí boxů z pomocného stolu do PP regálu. Nejedná se pouze o přesunutí v pravém slova smyslu, ale o několik na sebe navazujících operací - seřazení boxů, pohyb stolu dolů, přesunutí boxů ze stolu na PP regál a návrat stolu do výchozí pozice. Během těchto manipulačních operací robot vždy čeká, než bude pomocný stůl opět ve výchozí pozici.

Platí zde pravidlo, že robot vždy skládá boxy z levého dopravníku na levý pomocný stůl a z pravého dopravníku na pravý pomocný stůl. Zároveň platí, že jsou přesunuty nejdříve všechny boxy určené pro jeden PP regál a až následně robot pracuje na případných čekajících boxech určených pro další PP regál na druhé straně.

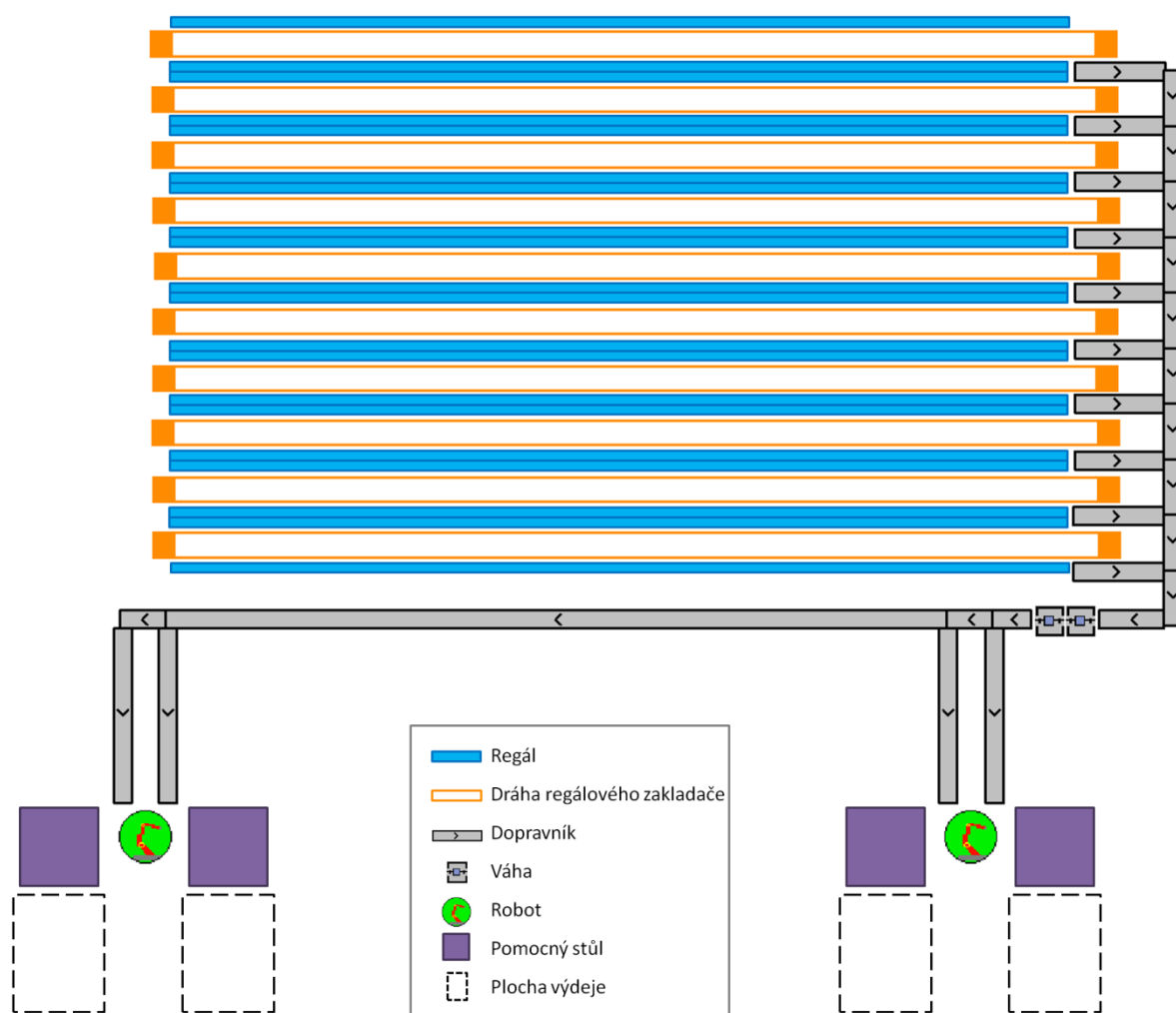
ŘÍDICÍ SYSTÉM SKLADU

Řídicí systém skladu slouží pro řízení veškerých procesů dějících se ve skladu, jimiž jsou:

- generování skladových pozic,
- systémové zaevidování boxů při jejich uskladňování,
- zpracování příchozích odvolávek,
- třídění a rozdělování boxů do PP regálů,
- stanovení výdejových ploch,
- identifikace boxů a jejich řízení v dopravníkovém systému,
- zpracování informací ze závěsek,
- předání informací boxu o místě doručení,
- porovnávání údajů o váze boxů na vstupu i výstupu do/z skladu,
- poskytnutí seznamu výsledků vážení jednotlivých boxů v jakémkoli momentu,
- zaznamenání důvodů odchylek hmotnosti boxů zjištěných fyzickou inventurou,
- aktivování světelné a akustické signalizace v případě vychystání PP regálů,
- zaznamenávání údajů o provozu řídicího systému,
- provedení systémové inventury k určitému dni atd.

3.5.2 POPIS PROCESU VYSKLADŇOVÁNÍ

Nyní bude popsán proces vyskladňování boxů s veškerými souvisejícími skladovacími zařízeními a prostředky, které slouží k manipulaci s uskladněnými boxy. Pro lepší orientaci při popisování procesu je schéma řešeného skladu znázorněno na Obr. 17.



Obr. 17 Schématické znázornění řešeného skladu

V okamžiku vzniku elektronické odvolávky z určitého pracoviště dochází řídicím systémem skladu ke shromažďování odvolávek spadajících pro stejný okruh. Po shromáždění určitého souboru odvolávek stejného okruhu dojde k hromadnému vyskladňování boxů na základě těchto odvolávek, kdy jedna odvolávka charakterizuje jeden box. Boxy jsou vyskladňovány z regálů pomocí regálových zakladačů a box je tímto zakladačem přemístěn na dopravník, který mu přísluší. Po dopravníku box putuje až k váhám, kde je prostřednictvím jedné ze dvou vah zkontrolována jeho skutečná hmotnost. Poté box opět putuje po dopravnících na již předem určený dopravník. Boxům je totiž již před vyskladňováním z regálů řídicím systémem skladu přiřazen jeden ze čtyř dopravníků umístěných před roboty. Na konci dopravníku je pak box robotem přemístěn na pomocný stůl. V případě, že je na pomocném stole umístěn předem určený počet boxů, dochází polohovacím zařízením k hromadnému přesunutí všech boxů z pomocného stolu do jednoho patra PP regálu. Pokud jsou takto přemístěny veškeré požadované boxy do daného PP regálu, řídicí systém skladu dá pomocí světelné a akustické signalizace znamení obsluze, že je tento PP regál kompletní a je připraven na odvoz. Obsluha následně pomocí vysokozdvížného vozíku převezde PP regál na nádraží skladu.

3.6 PŘEPRAVA MATERIÁLU V AREÁLU PODNIKU

Na proces vyskladňování navazuje proces přepravy PP regálů z nádraží skladu na nádraží jednotlivých hal. Tato meziobjektová přeprava je uskutečněna pomocí dopravních prostředků, které byly zmíněny v kapitole 3.3.3. Bude zde popsán tento proces přepravy PP regálů včetně zpětného toku prázdných PP regálů. Dále budou pro každou halu vytyčeny trasy dopravních prostředků. A nakonec bude rozebráno, jakým způsobem jsou dopravní prostředky rozděleny pro jednotlivé haly.

3.6.1 POPIS PROCESU PŘEPRAVY

Proces vyskladňování boxů ze skladu končí tím, že vychystaný PP regál je odvezen vysokozdvížným vozíkem na nádraží skladu. Zde je vyložen na plochu pro uložení vychystaných PP regálů. Odtud je v případě přítomnosti konkrétního dopravního prostředku naložen vysokozdvížným vozíkem do jeho nákladního prostoru. Dopravní prostředek na nádraží skladu čeká po stanovenou dobu pro naložení případných dalších příchozích PP regálů. Čeká z toho důvodu, aby nejel např. jen s jedním PP regálem, ale využil nejlépe celou kapacitu nákladního prostoru dopravního prostředku. Platí zde ovšem pravidlo a to takové, že veškeré naložené PP regály příslušející do jedné jízdy (k jednomu dopravnímu prostředku) musí směřovat ke stejné hale. Z toho vyplývá, že každý dopravní prostředek jede vždy jen na nádraží jedné haly a potom zpět na nádraží skladu. Po uplynutí stanovené doby čekání, dopravní prostředek zahájí jízdu k nádraží konkrétní haly, kde naložené PP regály jsou vyloženy opět pomocí vysokozdvížného vozíku. Do uvolněného nákladního prostoru jsou následně vysokozdvížným vozíkem naloženy prázdné PP regály, které jsou již připravené na daném nádraží haly. Po jejich naložení se dopravní prostředek vydává zpět k nádraží skladu, kde jsou opět vysokozdvížným vozíkem vyloženy dovezené prázdné PP regály na plochu určenou pro uložení prázdných PP regálů. Poté dopravní prostředek popojede k ploše, kam se ukládají vychystané PP regály ze skladu. Zde dochází k nakládce připravených PP regálů a proces se opakuje.

3.6.2 TRASY DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ

Jak již bylo v předchozí kapitole (3.6.1) zmíněno, dopravní prostředky během jedné jízdy jedou vždy jen k jedné hale. To znamená, že trasy k jednotlivým halám jsou předem přesně vytyčeny. Znázornění všech stanovených tras je možné vidět na obrázku na konci práce - viz. Příloha 1. Trasy k halám jsou vedeny nejkratší možnou cestou po příslušných pozemních komunikacích. Výjimku představuje hala B, u níž je trasa vedena jen o pár metrů delší cestou za účelem menšího vytížení komunikace vedoucí k halám A a C (jedná se o svislou komunikaci mezi halami D a E v celé její délce).

Při zpáteční cestě pak dopravní prostředky vždy objíždí sklad ze severu a najíždějí na nádraží skladu z druhé strany (ze západu) oproti situaci, když odjíždí – viz. Příloha 1. Tato úprava je provedena z důvodu lepšího vyhýbání se přijíždějících a odjíždějících dopravních prostředků před skladem.

Vzhledem k tomu, že nádraží haly D leží naproti nádraží skladu, má tato přeprava udělenou výjimku pro objíždění skladu při zpáteční cestě. Takže zde příslušný dopravní prostředek při jeho jízdách víceméně přejíždí pouze přes komunikaci a stejnou cestou se vrací.

3.6.3 SESKUPENÍ DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ

Dopravní prostředek pro určitou jízdu není vybírán náhodně, ale podle určitých pravidel, které byly předem stanoveny. Tyto pravidla jsou shrnuty v Tab. 2.

Tab. 2 Pravidla pro meziobjektovou přepravu materiálu

| Dopravní prostředek (DP) | Počet DP | Kapacita nákladu | Obsluhované haly |
|--------------------------|----------|------------------|------------------|
| Tahač s přívěsy | 2 | 4 PP regály | A + B |
| Nákladní automobil | 1 | 4 PP regály | C + E |
| Vysokozdvížený vozík | - | 1 PP regál | D |

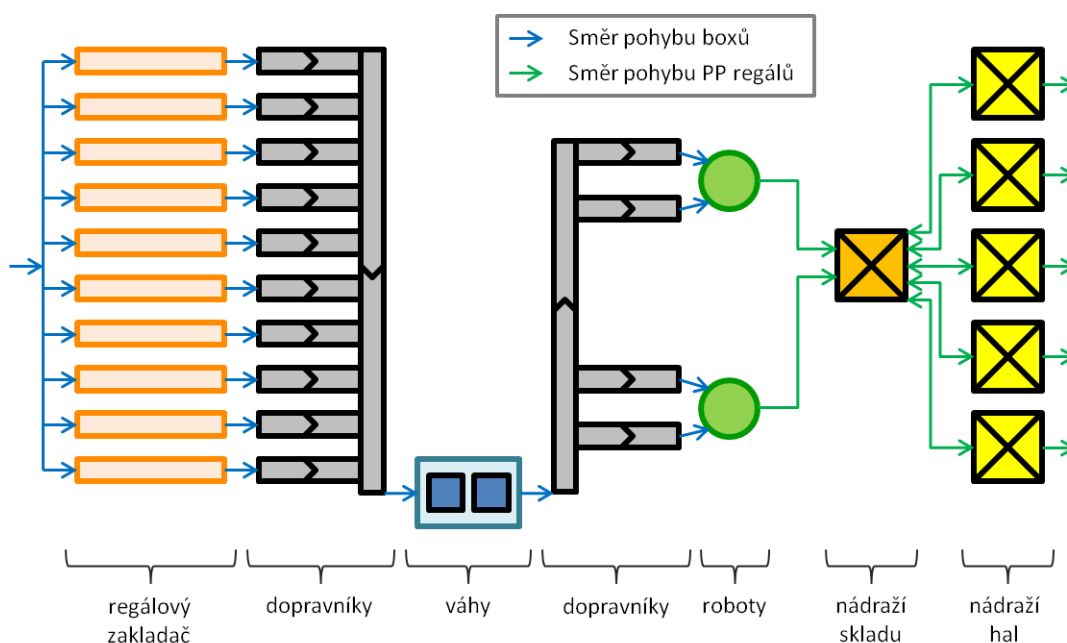
Haly A a B jsou tedy obsluhovány dvěma tahači s přívěsy, kde každý tahač má možnost naložit maximálně čtyři PP regály v jedné jízdě. Pro haly C a E je k dispozici jeden nákladní automobil s kapacitou nákladu také čtyři PP regály. Nakonec mezi dopravními prostředky figuruje i vysokozdvížený vozík. Ten převáží PP regály pouze pro halu D a převáží je vždy po jednom kusu na jízdu. Počet využívaných vysokozdvížených vozíků není v tabulce uveden, protože tato hodnota není omezena a má být zjištěna pomocí dynamické simulace.

4 NÁVRH ŘEŠENÍ

V této kapitole je rozebrána samotná tvorba simulačního modelu, od pochopení základních prvků simulačního softwaru, po vytváření řídicích metod. Na to je navázáno verifikací a validací simulačního modelu, aby byla zajištěna správnost výsledků získaných z tohoto modelu. Poté jsou popsány provedené simulační experimenty, jejichž cílem bylo posoudit jednotlivá navrhovaná řešení. Dále jsou interpretovány veškeré získané výsledky a spolu s tím je posouzena vhodnost či nevhodnost jednotlivých řešení. Nakonec bylo vybráno a interpretováno optimální řešení s ohledem na určené požadavky.

4.1 POJMOVÝ MODEL

Před samotnou tvorbou simulačního modelu byl sestaven pojmový (konceptní) model. Schematický popis pojmového modelu je zobrazen na Obr. 18.



Obr. 18 Pojmový model řešené oblasti

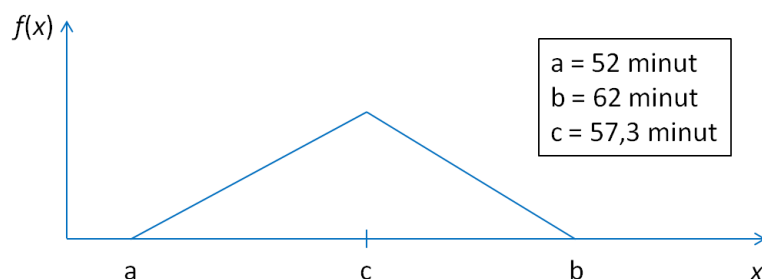
Veškeré operace dějící se v logistickém řetězci byly již blíže vysvětleny v kapitole 3, proto zde budou definovány pouze parametry, které ovlivňují celý proces a musí být zohledněny v simulačním modelu.

4.1.1 ZPŮSOB ZOHLEDNĚNÍ SKLADOVACÍ TECHNIKY

Skladovací technika bude v simulačním modelu zohledněna převážně pomocí časů, které charakterizují doby jednotlivých operací v procesu vyskladňování.

REGÁLOVÝ ZAKLADAČ

Nejdříve dochází k vyskladňování boxů regálovým zakladačem. Jak dlouho bude zakladači trvat vyskladnit box, je určeno triangulárním rozdělením. Hustota pravděpodobnosti takového rozdělení spolu s použitými časovými hodnotami zobrazuje Obr. 19.



Obr. 19 Hustota pravděpodobnosti triangulárního rozdělení

Hustota pravděpodobnosti triangulárního rozdělení má obecný tvar:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2 \cdot (x - a)}{(c - a) \cdot (b - a)} & \text{pro } a \leq x \leq c, \\ \frac{2 \cdot (b - x)}{(b - c) \cdot (b - a)} & \text{pro } c \leq x \leq b. \end{cases} \quad (1)$$

kde: a označuje minimální hodnotu x ,
 b - maximální hodnotu x ,
 c - nejpravděpodobnější hodnotu x .

Doba vyskladnění boxů z regálů není konstantní z důvodu, že k vyskladňování boxů dochází vždy z jiné pozice v regálu. Pokud by byl box vyskladněn regálovým zakladačem z pozice vzdálenější od dopravníku, na který bude přesunut, tak bude vyskladnění trvat značně déle než v situaci vyskladnění boxu z pozice těsně u příslušného dopravníku.

DOPRAVNÍKY

Každý dopravník je definován dvěma hlavními parametry, jimiž jsou délka a rychlost dopravníku. Rychlost je pro všechny používané dopravníky stejná a její hodnota činí 0,9 metrů za sekundu. Z délky a rychlosti dopravníku tedy plyne i doba strávená na každém dopravníku s tím, že je zde zohledněno případné zdržení boxu na dopravnících vlivem jiného boxu. Všechny dopravníky musí být modelovány jako dopravníky s možností akumulace boxů na nich umístěných.

VÁHY

Na tomto stanovišti jsou boxy vždy pozdrženy po dobu 5 sekund, což představuje dobu kontroly hmotnosti na jedné z vah. Musí zde být také zohledněna logika výběru jedné z vah, která může opět zapříčinit zdržení boxu vlivem jiného boxu.

ROBOTY

Pro přesouvání boxů z dopravníku na pomocný stůl a následně z pomocného stolu do PP regálu jsou přesně definovány doby jednotlivých manipulací. Tyto časy jsou dány dle Tab. 3.

Tab. 3 Doby jednotlivých manipulací při výdeji boxů

| Druh manipulace | Doba manipulace |
|--|-----------------|
| Přesunutí boxu na stůl a návrat robota do výchozí pozice | 4 s |
| 1. patro - seřazení boxů | 3 s |
| 1. patro - přesunutí boxů ze stolu na PP regál | 4 s |
| 1. patro - návrat do výchozí pozice | 3 s |
| 1. patro - rezerva | 1 s |
| 2./3. patro - pohyb stolu dolů a seřazení boxů | 7 s |
| 2./3. patro - přesunutí boxů ze stolu na PP regál | 4 s |
| 2./3. patro - návrat do výchozí pozice | 7 s |
| 2./3. patro - rezerva | 1 s |

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že robot manipuluje s jedním boxem vždy 4 sekundy, včetně doby pro jeho návrat do výchozí pozice. Dále celková doba určená na přesun boxů ze stolu na PP regál, včetně souvisejících operací, činí pro první patro 11 sekund a pro druhé a třetí patro 19 sekund. Musí zde být také zohledněno to, že po dobu trvání kompletace daného patra je robot nečinný a případný další box může na pomocný stůl přesunout až po dokončení daného patra.

4.1.2 ZPŮSOB ZOHLEDNĚNÍ PŘEVOZŮ A PŘEPRAV PP REGÁLŮ

Nyní budou přiblíženy také parametry charakterizující veškeré manipulace s PP regály.

PŘEVOZ KOMPLETNÍHO PP REGÁLU NA NÁDRAŽÍ SKLADU

Pokud jsou ve skladu do PP regálu přesunuty veškeré boxy do něj příslušející, dojde k převozu tohoto PP regálu vysokozdvíhacím vozíkem na nádraží skladu. Počet vysokozdvíhacích vozíků není v této situaci nijak omezen, proto se bude předpokládat, že k převozu dochází ihned. Doba převozu PP regálu na nádraží skladu se pohybuje okolo dvou minut. Pro převoz všech PP regálů tedy bude použita konstantní hodnota 2 minuty.

NÁDRAŽÍ SKLADU

Na nádraží skladu je prováděna nakládka zkompletovaných PP regálů a vykládka přivezených prázdných PP regálů. Tyto operace též trvají určitou dobu, proto jsou stanoveny průměrné hodnoty těchto operací - viz. Tab. 4. Tyto časy jsou následně také zohledněny v simulačním modelu.

Tab. 4 Doby ložných operací na nádraží skladu

| Místo doručení PP regálů | Doba nakládky PP regálů na nádraží skladu | Doba vykládky prázdných PP regálů na nádraží skladu |
|--------------------------|---|---|
| Hala A, B, C, E | 135,8 s | 146,7 s |
| Hala D | 15,0 s | 25,9 s |

Časy zobrazené v Tab. 4 označují průměrné časové zdržení dopravního prostředku na nádraží skladu při nakládce, resp. vykládce PP regálů. Pro halu D je čas znatelně menší, protože halu D obsluhuje vysokozdvizný vozík, který PP regály převáží vždy po jednom kusu na jízdu. To znamená, že vysokozdvizný vozík PP regál pouze naloží a hned jede k hale. Doba vykládky je o něco delší, poněvadž je do tohoto času započítána i doba přejezdu dopravního prostředku z plochy určené pro uložení prázdných PP regálů na plochu pro uložení vychystaných PP regálů.

MEZIOBJEKTOVÁ PŘEPRAVA PP REGÁLŮ

Doba přepravy PP regálů z nádraží skladu na nádraží dané haly i doba zpáteční jízdy je dána rychlostí dopravního prostředku a délkou konkrétní trasy. Průměrné rychlosti jednotlivých dopravních prostředků jsou shrnuty v Tab. 5.

Tab. 5 Rychlosti dopravních prostředků

| Dopravní prostředek | Průměrná rychlost |
|---------------------|-------------------|
| Tahač s přívěsy | 12,5 km/h |
| Nákladní automobil | 25 km/h |
| Vysokozdvizný vozík | 7,5 km/h |

Jednotlivé trasy pak zobrazuje Příloha 1. Při této definici přepravy je zohledněn i stav, kdy může být dopravní prostředek při přepravě zdržen jiným pomalejším dopravním prostředkem.

NÁDRAŽÍ HAL

Na nádraží jednotlivých hal dochází k vykládce veškerých dovezených PP regálů a k nakládce prázdných PP regálů. Doby těchto operací jsou stanoveny dle počtu přivezených PP regálů (viz. Tab. 6).

Tab. 6 Doby ložných operací na nádraží hal

| Hala | Doba vykládky a nakládky PP regálů na nádraží haly |
|---------|--|
| A, C, E | 48,6 s / PP regál |
| B | 131,1 s / PP regál |
| D | 35,0 s / PP regál |

Dobou vykládky a nakládky v Tab. 6 je myšlena doba, do které je zahrnuta, jak doba vykládky přivezeného PP regálu, tak doba nakládky prázdného PP regálu. Jinými slovy to znamená, že v případě dovezení například tří PP regálů na nádraží haly, budou (dle stanovené podmínky v kapitole 3.4.2) odvezeny také tři PP regály. V tomto případě se dopravní prostředek zdrží například na hale A po dobu 145,8 sekund (trojnásobek hodnoty 48,6 s).

4.2 TVORBA SIMULAČNÍHO MODELU

V této podkapitole budou zmíněny hlavní prvky využívané pro řízení procesů. Poté bude popsán simulační model skladu a následně hlavní simulační model reprezentující meziobjektovou přepravu PP regálů, který navazuje na výstup ze simulačního modelu skladu.

Simulační model byl vytvářen v softwaru Plant Simulation - verze 12.2 (dále jen „PS“). Při jeho tvorbě byly využity veškeré informace, které byly popsány v kapitole 3, zabývající se analýzou řešené oblasti. Mimo těchto informací bylo potřeba v průběhu vytváření a testování simulačního modelu komunikovat s kolegy z oddělení simulací, kteří mi poskytl bližší informace týkající se skladu. Zároveň komunikace probíhala i s oddělením logistiky, od nichž byly získány potřebné informace pro vytvoření a řízení přepravy materiálu v rámci areálu podniku.

Popis simulačního modelu bude uveden včetně použitých prvků a metod. Hlavní model je vytvořen v síti reprezentující areál průmyslového závodu. Do hlavního modelu mohou být vnořeny submodely charakterizující např. problematický úsek. Někdy je totiž výhodné část modelu vzhledem k jeho složitosti modelovat ve zvláštní síti, kterou pak lze vložit do libovolné nadřazené sítě jako submodel. V tomto případě je tedy do hlavního modelu vložen jako submodel automatizovaný centrální sklad. Síť nemusí být využita pouze pro situace reprezentující určitý systém, ve kterém dochází k materiálovému toku. Dalšími vloženými sítěmi do hlavního modelu či submodelu skladu jsou např. řídicí systém skladu, statistiky ze skladu nebo statistiky z přepravy materiálu.

4.2.1 HLAVNÍ PRVKY VYUŽÍVANÉ PRO ŘÍZENÍ PROCESŮ

Asi nejdůležitějším prvkem pro řízení procesů je prvek **metoda** (*Method*), pomocí něhož je ovládán určitý proces. Mimo základních metod existují i speciální metody - *Init*, *Reset* a *EndSim*. Metoda *Init* je nejčastěji využívána pro počáteční podmínky, protože se automaticky spouští před každým novým simulačním během. Metoda *Reset* se spouští při resetu (vynulování) simulačního běhu a často se využívá například pro vymazání dat z tabulek. Proto je zvykem před dalším novým spuštěním simulačního běhu provést reset modelu, aby byly z modelu vymazány určité informace vycházející z předchozího simulačního běhu. Nakonec byla zmíněna metoda typu *EndSim*, která je volána pokaždé po ukončení simulačního běhu. Do ní mohou být zapsány příkazy pro export sledovaných dat apod. Klasické metody mohou být volány v různých situacích při simulačním běhu, jako např. při vstupu entity na nějaký prvek, při výstupu entity z nějakého prvku, při příjezdu dopravního prostředku na umístěný senzor, jinou metodou na základě splnění určité podmínky apod.

Neméně důležitými prvky při řízení procesů jsou **tabulka** (*TableFile*) a **proměnná** (*Variable*). Tabulky jsou většinou využívány pro práci s daty (zápis, čtení, kopírování atd.). Proměnná slouží pro obdobné situace s tím, že charakterizuje jen jednu proměnnou, která se během simulačního běhu většinou mění. Na základě takové proměnné mohou být vyhodnocovány podmínky v metodách, vypočítávány hodnoty jiných proměnných apod.

Proměnné i hodnoty v tabulkách mohou nabývat různých typů hodnot. Používanými hodnotami v rámci řešené problematiky jsou:

- **boolean** - booleovská hodnota, nabývá hodnot true (pravda) nebo false (nepravda),
- **integer** - celočíselná hodnota,
- **string** - textová hodnota,
- **object** - hodnota představující objekt v simulačním modelu,
- **table** - hodnota představující tabulku hodnot,
- **time** - časová hodnota představující časový úsek (např. 2 minuty) a
- **datetime** - časová hodnota představující časový okamžik v rámci simulačního běhu (např. 16. 4. 2017 19:43:30.0).

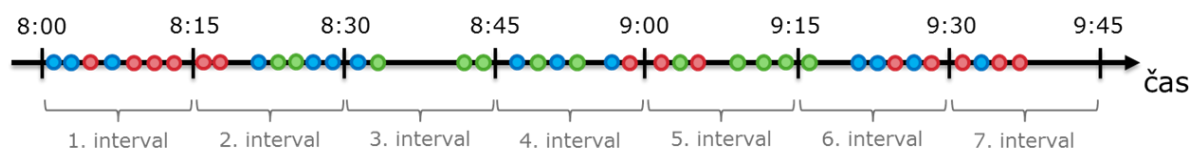
Nejsou samozřejmě využívány pouze tyto tři prvky (metoda, tabulka, proměnná), ale byly zde popsány z důvodu jejich hojného využití v simulačním modelu pro řízení téměř všech procesů. Další využívané prvky budou charakterizovány vždy při seznámení s konkrétní problematikou.

4.2.2 SIMULAČNÍ MODEL AUTOMATIZOVANÉHO CENTRÁLNÍHO SKLADU

Časově nejnáročnějším úkonem při vytváření simulačního modelu skladu byla tvorba jeho řídicího systému. Simulační model skladu bude popsán ve směru materiálového toku, tzn. od zpracování objednávek, přes vyskladnění boxů na základě těchto objednávek, až po kompletaci boxů do PP regálů.

ZPŮSOB GENEROVÁNÍ BOXŮ

K vyskladňování boxů v simulačním modelu dochází na základě historických záznamů objednávek. Historické záznamy objednávek byly nejdříve importovány do tabulky v PS, která byla vložena do sítě reprezentující řídicí systém skladu. Poté pomocí generátoru (prvek *Generator*) je v předem určeném časovém intervalu volána metoda, která si objednávky spadající do konkrétního intervalu zkopíruje do pomocné tabulky (*t_DilyVSystemu*), aby mohly být tyto objednávky dále zpracovány. Pro názornější ukázkou byl vytvořen ilustrativní obrázek (Obr. 20).



Obr. 20 Příklad shromažďování objednávek

V příkladu na Obr. 20 lze vidět časovou osu, kde byl pro příklad zvolen časový interval 15 minut. Vznikne nám tedy několik intervalů, kde například odvolávky (bod na časové ose charakterizuje odvolávku) spadající do prvního intervalu jsou zpracovány v čase 8 hodin a 15 minut. V takovém případě jsou v intervalu obsaženy tři odvolávky pro jeden okruh (modré body) a čtyři odvolávky pro jiný okruh (červené body).

Pokud by byla řeč o reálných záznamech odvolávek, tak zde jsou data po zkopírování do pomocné tabulky (*t_DilyVSystemu*) další metodou roztríděny podle okruhu, díky čemuž je vytvořeno několik skupin boxů. Takto vzniklá skupina boxů příslušející do jednoho okruhu jedné haly tvoří obsah jednoho PP regálu. V případě, že by boxů v daném intervalu pro jeden okruh bylo více, než je kapacita PP regálu, bude tato skupina boxů rozdělena do více PP regálů. Dále jsou takto vzniklé skupiny boxů zapsány do další pomocné tabulky (*t_VelikostDavek*), kam je přenášen název skupiny (okruh) spolu s množstvím boxů pro příslušný PP regál. Tabulka *t_VelikostDavek* následně slouží pro přiřazení jednoho ze čtyř dopravníků před roboty. Pokud je tedy některý z dopravníků volný, dochází k přiřazení příslušného dopravníku celé skupině boxů a zároveň je vystaven požadavek na vyskladnění boxů spadajících do dané skupiny. V takovém případě pak dochází zdrojem (prvek *LogSource*) ke generování boxů. Současně jsou boxům na zdroji přiřazovány veškeré atributy dle příslušných zpracovaných odvolávek z tabulky *t_DilyVSystemu*.

ZPŮSOB MODELOVÁNÍ SKLADOVACÍ TECHNIKY

Pro modelování situace vyskladňování boxů zakladačem z regálů bylo, včetně zmíněného zdroje pro generování boxů, využito 10 prvků *Facility* charakterizující zakladače mezi jednotlivými regály a prvek *FlowControl*, který slouží pro rozdělení generovaných boxů do jednotlivých zakladačů. Vygenerované boxy jsou prvkem *FlowControl* přesunovány ze zdroje rovnoměrně do všech deseti prvků *Facility*. Na prvku *Facility* je daný box pozdržen po stanovenou dobu dle triangulárního rozdělení (viz. kapitola 4.1.1). Stanovená doba zdržení charakterizuje dobu vyskladňování boxu.

Dále jsou boxy přesunuty na dopravník příslušející danému zakladači a pokračují po dalších dopravnících až k váhám. Veškeré použité dopravníky jsou v PS modelovány prvkem *Conveyor*. Jakmile box dorazí na konec posledního dopravníku před váhami, dochází k vyhodnocování, zda je jedna z vah volná ke kontrole hmotnosti. Způsob, jakým dochází k vyhodnocování situace, je zobrazeno formou vývojového diagramu v Příloze 2. Pro váhy je zde použit prvek *SP (Single Place)*, což je bodově orientovaný prvek s kapacitou jedna entita.

Po kontrole hmotnosti box přechází na další dopravníky, kde je směřován na předem určený dopravník před robotem. Na dopravníku před roboty dochází k vyhodnocování situace, zda zrovna robot nepřemisťuje jinou skupinu boxů (z vedlejšího dopravníku). Pokud ano, tak se příchozí boxy akumulují na konci dopravníku do doby, než robot dokončí přesun celé vedlejší skupiny boxů. Až se tak stane, robot začne pracovat na čekající skupině boxů.

Mění se doba manipulace na každou operaci (viz. kapitola 4.1.1) je zohledněna přes prvek *Facility*, který reprezentuje daného robota. Pokud tedy na tento prvek přijde box, metodou je vypočítána hodnota doby manipulace neboli doba, než bude moct na tento prvek přijít další box. Blíže je to popsáno vývojovým diagramem v Příloze 3. Z vývojového diagramu popisujícího logiku výpočtu doby manipulace lze vyčíst, že pokud je přemístěn potřebný počet boxů na dokončení patra, dochází k součtu času manipulace jednoho boxu s konkrétním

časem na dokončení patra, tudíž další box může robot vzít nejdříve až za výslednou vypočítanou dobu. To koresponduje se situací v reálném systému, kdy robot přemístí poslední box pro patro na stůl a následně čeká na přesunutí boxů do daného patra PP regálu, tudíž doba do další manipulace v simulačním modelu je stejná jako v reálném systému.

Při každém průchodu boxu z dopravníku na robota je počet vystupujících boxů počítán a analyzován, zda se nejedná o poslední box z konkrétní skupiny boxů. Pokud je zaznamenán poslední box, dojde k signálu, že je dopravník volný a je zavolána metoda na přiřazení dopravníku. Tato metoda vyhodnotí, zda existují nějaké skupiny boxů čekající na vyskladnění a pokud ano, tak řídicí systém skladu pošle příkaz k hromadnému vyskladnění další skupiny boxů s tím, že daným boxům přiřadí uvolněný dopravník jako místo pro výdej. Současně je při výstupu posledního boxu z dopravníku vyhodnocena situace, zda se nenachází nějaké čekající boxy na vedlejším dopravníku. Pokud ano, dochází po přesunu posledního boxu ke zpracování čekajících boxů.

Po zpracování boxu robotem dále box pokračuje do prvku *Drain*, kde box zanikne. Než se tomu tak stane, jsou veškeré parametry, které box nese spolu s ostatními boxy ve skupině, přeneseny do tabulky. Tato tabulka je po průchodu všech boxů, spadajících do konkrétní skupiny, definována nově vzniklé entitě, která představuje PP regál.

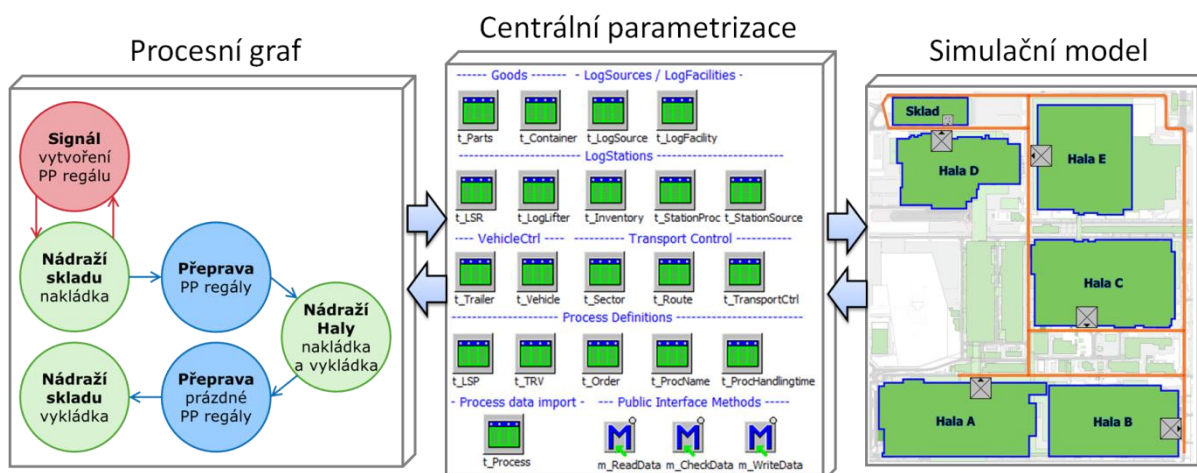
4.2.3 SIMULAČNÍ MODEL MEZIOBJEKTOVÉ PŘEPRAVY

Simulační model meziobjektové přepravy představuje hlavní model, do kterého je model skladu vložen jako submodel. Jsou zde dále modelovány jednotlivé nádraží pro nakládku a vykládku PP regálů, pozemní komunikace určené pro meziobjektovou přepravu PP regálů, řízení křižovatek atd.

ZPŮSOB PARAMETRIZACE PŘEPRAVY

Pro tvorbu simulačního modelu meziobjektové přepravy PP regálů bylo využito knihovny *VDA_Logistics*⁶, která představuje rozšíření základního prostředí PS. Tato knihovna umožňuje jednodušší způsob parametrizace prvků v simulačním modelu. Prvky použité v meziobjektové přepravě jsou mezi sebou provázány přes centrální parametrizaci a existují zde vazby mezi prvky díky předem definovaným podmínkám vztaženým na celý proces přepravy. Jakým způsobem je takového provázání docíleno lehce nastiňuje Obr. 21.

⁶ VDA = Verband der Automobilindustrie - Sdružení inženýrů automobilového průmyslu



Obr. 21 Parametrizace hlavního modelu

K vytvoření vazeb slouží procesní graf, který je vytvořen v rámci hlavního simulačního modelu - viz. Obr. 21. Každý bod v procesním grafu nese příslušné informace o procesu, které jsou čteny z definovaných dat v centrální parametrizaci. Do centrální parametrizace byly zaneseny tyto informace:

- haly a jejich nádraží,
- veškeré okruhy a k jaké hale jednotlivé okruhy náležejí,
- dopravní prostředky a informace s nimi související:
 - jejich průměrné rychlosti,
 - počet jednotlivých dopravních prostředků,
 - jejich seskupení a k jakým halám jsou určeny,
 - maximální počet PP regálů, které jsou schopny převést,
 - domovská stanice (místo, kde mají dopravní prostředky čekat, když nic nepřevážejí),
- trasy k jednotlivým nádražím hal, včetně zpáteční trasy k nádraží skladu,
- doby ložných operací vůči konkrétní hale apod.

Tyto data jsou na základě sestaveného procesního grafu zpracovány a zapsány do dalších tabulek v centrální parametrizaci. Nové data z procesního grafu nesou informace o všech prvcích včetně vazeb mezi nimi. Veškeré data z centrální parametrizace jsou pak zapsány do příslušných prvků v simulačním modelu. Prvky tak nesou informace nejen o procesech, které se dějí přímo na daném prvku, ale i informace s ním související. Díky takové provázanosti např. dopravní prostředek ví podle nákladu, jakou určenou trasou se má vydat. Dále jsou mu známy časy nakládky a vykládky PP regálů (podle toho, na jakém nádraží haly nakládá či skládá PP regály a podle toho, o jaký dopravní prostředek se jedná) nebo také to, že pro jednu jízdu může naložit maximálně čtyři PP regály i kdyby jich bylo na nádraží skladu připraveno více. Díky takové provázanosti lze při simulačních experimentech jednoduše měnit jakýkoliv parametr. Stačí změnit daný parametr v příslušné tabulce a aktualizací modelu jsou veškerá nově zpracovaná data zapsána do modelu. To poskytuje velkou flexibilitu simulačního modelu při testování různých scénářů na simulačním modelu.

ZPŮSOB GENEROVÁNÍ PP REGÁLŮ

PP regály určené pro přepravu v rámci areálu podniku jsou generovány v návaznosti na simulační model skladu, který je vložen do hlavního modelu. Na konci popisu simulačního modelu skladu byla zmíněna skutečnost, že v modelu dochází k zániku boxů a vytváří se nové entity představující PP regály, kterým je předána informace o boxech, které daný PP regál obsahuje. Funguje to takovým způsobem, že před zánikem boxu v prvku *Drain* jsou veškeré parametry, které box nese vždy přeneseny do pomocné tabulky (*t_PPregal_L* nebo *t_PPregal_R* - pro každý robot jedna tabulka) a zároveň je řídicím systémem skladu analyzováno, zda se nejedná o poslední box pro konkrétní PP regál. V případě, že je box vyhodnocen jako poslední pro daný PP regál, je za dvě minuty (doba převozu PP regálu na nádraží skladu) po průchodu posledního boxu zavolána metoda, pomocí které je PP regál vytvořen na nádraží skladu. Do příkazu, kterým je zavolána zmíněná metoda, jsou přeneseny data z konkrétní tabulky (*t_PPregal_L* nebo *t_PPregal_R*) nesoucí informace o boxech, které má vytvořený PP regál nést. Data v konkrétní tabulce (*t_PPregal_L* nebo *t_PPregal_R*) jsou následně vymazány, aby mohla být tato tabulka použita pro zápis další skupiny boxů, které budou zpracovány. Přenesená data v příkazu jsou pak vytvořenému PP regálu vnesena jako atribut (formou tabulky obsahující všechny informace o boxech). Při vytvoření PP regálu je také danému PP regálu, dle boxů v něm obsažených, přiřazen okruh a tím i nádraží haly, aby bylo jasné, kam má být PP regál doručen.

ZPŮSOB MODELOVÁNÍ PŘEPRAVY

V hlavním simulačním modelu lze nalézt mimo vnořený model skladu, také prvky charakterizující nádraží skladu, nádraží hal, pozemní komunikace a další pomocné prvky sloužící pro řízení dopravy. Konkrétně jsou použity tyto prvky:

- *BufferArea* – představuje nádraží skladu,
- *LogStation* – představuje nádraží hal,
- *LogTrack* – představuje pozemní komunikace,
- *LogJunction* – prvek, pomocí něhož je řízena doprava na křižovatkách a
- *Waypoint* – prvek, představující průjezdný bod při definování tras.

Na pozadí hlavního modelu byla promítnuta mapa závodu v určitém měřítku vůči reálnému systému. Na hlavním modelu bylo následně nastaveno stejné měřítko, aby délka vkládaných prvků *LogTrack* korespondovala s délkami pozemních komunikací v realitě. Jsou tak v simulačním modelu vytvořeny pozemní komunikace, kde jejich rozměry korespondují s pozemními komunikacemi v reálném systému.

Dále je využit prvek *LogJunction*, pomocí něhož je řízena doprava na křižovatkách. Na každé křižovatce jsou tak nastaveny přednosti dle reálného systému (přednost zprava nebo přednost dle definované hlavní silnice). Mimo řízení dopravy na křižovatkách je do modelu vneseno i řízení dopravy, které umožňuje předjíždění pomalejších vozidel rychlejšími. Pokud řízení dopravy vyhodnotí, že dané vozidlo předjetí bezpečně stihne a v protisměru žádné jiné vozidlo nejede, tak dá řízení dopravy danému vozidlu pokyn k předjetí pomalejšího vozidla.

Dále jsou do modelu vneseny prvky představující nádraží skladu a nádraží hal. Na komunikaci před nádražím je vždy umístěn senzor, pomocí něhož dopravní prostředek vyhodnotí, kde u komunikace se dané nádraží nachází a za definovaných podmínek započne

přepravu k tomuto místu. Pokud je u komunikace umístěn prvek *Waypoint*, vytvoří na komunikaci senzor stejně jako prvky určené pro nádraží skladu a hal. Díky prvku *Waypoint* lze změnit trasu přiřazením tohoto průjezdného bodu do posloupnosti stanovišť, které danou trasu určují. Jeden *Waypoint* byl tedy použit pro definování trasy k nádraží haly B a druhý k trasám tahačů a nákladního automobilu, kdy tyto dopravní prostředky při zpáteční cestě vždy objíždí sklad ze severu (trasy v Příloze 1).

ZPŮSOB ŘÍZENÍ PŘEPRAVY

Pro přepravu PP regálů v areálu podniku jsou použity dva způsoby řízení. Pro přepravu PP regálů vysokozdvížným vozíkem je totiž navržena jiná logika přepravy, než u ostatních dopravních prostředků (tahač a nákladní automobil) a to z důvodu přepravy rozdílného počtu PP regálů na jednu jízdu. Zatímco vysokozdvížný vozík přepravuje PP regály po jednom, tahač a nákladní automobil mohou přepravit až čtyři PP regály najednou.

Jakým způsobem je řízena přeprava PP regálů vysokozdvížným vozíkem, je popsáno formou vývojových diagramů v Příloze 4.

Tahač a nákladní automobil oproti vysokozdvížnému vozíku pracují s časovým intervalem, díky kterému neodjíždí z nádraží skladu ihned, jakmile je pro ně vytvořen příslušný PP regál. Pokud by totiž odjížděly ihned po vytvoření PP regálu, jezdily by často pouze s jedním PP regálem a nebyla by využita kapacita nákladního prostoru daných dopravních prostředků. Z toho důvodu je v určité pravidelnosti (na základě stanoveného intervalu) volána metoda, která dává pokyn ke zpracování vytvořených PP regálů na nádraží skladu. Je tak pozdržen odjezd dopravních prostředků, aby se na nádraží skladu nashromáždilo více PP regálů a byla lépe využita kapacita nákladního prostoru dopravních prostředků. Tento způsob řízení je detailněji popsán vývojovými diagramy umístěnými v Příloze 5.

4.3 VERIFIKACE A VALIDACE SIMULAČNÍHO MODELU

Vytvořený simulační model bylo třeba verifikovat a validovat pro ověření věrohodnosti modelu a jeho výsledků. V průběhu vytváření simulačního modelu byla kontrolována správná funkcionálnost veškerých simulovaných procesů a chování všech částí simulačního modelu, zda jsou v souladu s informacemi zjištěnými při analýze řešené oblasti. Díky možnostem, které nabízí PS, bylo možné sledovat chování simulačního modelu prostřednictvím animací. Zároveň byl v PS hojně využíván tzv. *breakpoint*, což je bod, který je možné vložit do jakékoliv metody. Jakmile se během simulace narazí na umístěný *breakpoint*, otevře se metoda a je možné procházet metodu řádek po řádku a sledovat, jak se jednotlivé příkazy v metodě projevují na simulovaných procesech. Pomocí těchto možností PS bylo kontrolováno:

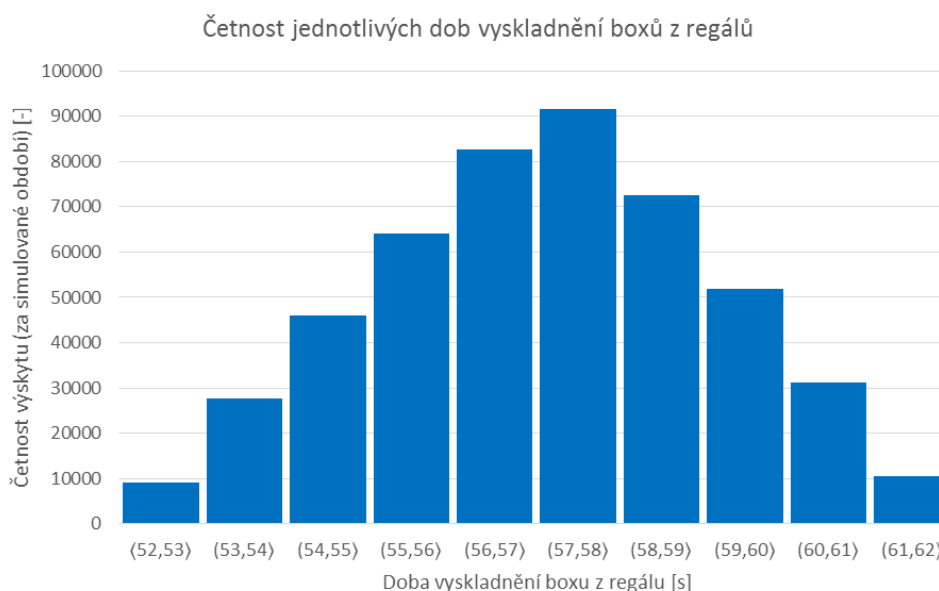
- správnost logiky generování boxů,
- správná volba váhy s tím, že byl box zvažován jen jednou,
- přesun boxu na správný dopravník před roboty,
- dodržení určeného seskupení dopravních prostředků,
- dodržení definovaných tras pro přepravu PP regálů atd.

Po tom, co veškeré výše uvedené skutečnosti vykazovaly správnou funkcionalitu dle provedené analýzy a pojmového modelu, byl simulační model verifikován.

Po úspěšné verifikaci následovala validace simulačního modelu. Nejdříve bylo ověřeno, zda dochází ke správnému generování boxů ze vstupních dat (historických záznamů odvolávek) vzhledem ke směnnosti provozu závodu. Mimo samotnou verifikaci logiky generování boxů byla navíc provedena analýza, při které byl zaznamenáván okamžik, kdy byl každý box vygenerován. Z této analýzy byl vytvořen graf, který je umístěn v Příloze 6. Tento graf zobrazuje kumulativní nárůst průchodů boxů z prvku *Source*. Na svislé ose byly vynášeny součty průchodů jednotlivých boxů a vodorovná osa zobrazuje celé simulační období. Z grafu je možné vyčíst, že boxy nejsou o víkendech a svátcích (28. 9. a 28. 10.) generovány, což koresponduje s tím, že výroba o víkendech a svátcích neběží a tím pádem ani nejsou vytvářeny odvolávky. Je tedy potvrzeno, že generování boxů probíhá tak, jak bylo předpokládáno.

Dále bylo kontrolováno trvání jednotlivých operací ve skladu. Pro získání dob jednotlivých operací bylo do modelu vneseno několik evidenčních bodů. Při průchodu boxu evidenčním bodem byl vždy zaznamenán čas průchodu. Poté byly vždy metodou vypočítány doby mezi jednotlivými zaznamenanými časy.

Jelikož se doba vyskladňování boxů z regálů řídí hustotou triangulárního rozdělení, bylo ověřeno dodržení tohoto rozdělení. Z evidenčních bodů umístěných před a za regálovými zakladači byly získány veškeré doby strávené na prvcích, které představují regálové zakladače. Ze získaných hodnot byl zpracován graf zobrazující četnost výskytů jednotlivých dob vyskladnění boxů z regálů - viz. Obr. 22. Z uvedeného grafu na Obr. 22 je patrné, že simulační model dodržuje nastavené triangulární rozdělení.



Obr. 22 Kontrola dodržení hustoty triangulárního rozdělení

Doba strávená na váhách byla ve všech průchodech 5 sekund, což souhlasí se zadanou dobou kontroly váhy. Hodnota doby, po kterou byl pak box pozdržen na prvcích, které reprezentují roboty, nabývala pouze třech hodnot: 4 sekundy, 15 sekund a 23 sekund. Tyto hodnoty také

souhlasí se zadanými hodnotami, kdy 4 sekundy značí přesun boxu a hodnoty 15 a 23 sekund představují dobu přesunu boxu spolu s dokončením celého patra.

Pro ověření dob strávených na dopravnících bylo nutné ze získaných dat ze simulačního modelu vyfiltrovat data, při kterých nebyl box zdržen jiným boxem. Takto získané doby neovlivněného průjezdu boxu po dopravníku byly porovnány s dobami získanými z rychlosti dopravníku a z dráhy uražené boxem po konkrétním dopravníku, dle základního vztahu:

$$t = \frac{s}{v} \quad (2)$$

kde: t [s] je doba strávená na dopravníku,
 s [m] - dráha uražená boxem po dopravníku a
 v [m/s] - rychlost dopravníku.

Veškeré zadané, vypočítané a získané hodnoty jsou uvedeny v Tab. 7.

Tab. 7 *Validate - doby strávené na dopravnících*

| Dopravníky | Dráha [m] | Rychlost [m/s] | Čas z výpočtu [s] | Čas ze simulace [s] |
|--------------|-----------|----------------|-------------------|---------------------|
| Dopravník 1 | 11,408 | 0,9 | 12,68 | 12,68 |
| Dopravník 2 | 13,737 | 0,9 | 15,26 | 15,26 |
| Dopravník 3 | 16,066 | 0,9 | 17,85 | 17,85 |
| Dopravník 4 | 18,395 | 0,9 | 20,44 | 20,44 |
| Dopravník 5 | 20,724 | 0,9 | 23,03 | 23,03 |
| Dopravník 6 | 23,053 | 0,9 | 25,61 | 25,61 |
| Dopravník 7 | 25,382 | 0,9 | 28,20 | 28,20 |
| Dopravník 8 | 27,711 | 0,9 | 30,79 | 30,79 |
| Dopravník 9 | 30,040 | 0,9 | 33,38 | 33,38 |
| Dopravník 10 | 32,369 | 0,9 | 35,97 | 35,97 |
| Dopravník A | 25,550 | 0,9 | 28,39 | 28,39 |
| Dopravník B | 27,510 | 0,9 | 30,57 | 30,57 |
| Dopravník C | 60,416 | 0,9 | 67,13 | 67,13 |
| Dopravník D | 62,376 | 0,9 | 69,31 | 69,31 |

Při porovnání vypočítaných hodnot s hodnotami ze simulačního modelu byla konstatována opět shoda všech časů.

Dále byla prováděna validace meziobjektové přepravy PP regálů. Zde byla sledována doba od okamžiku, kdy se započne nakládání PP regálů na nádraží skladu, až po dokončení vykládky prázdných PP regálů zpět na nádraží skladu (doba celé jedné jízdy). Kromě samotného času bylo nutné vždy ke každému času zaznamenat dopravní prostředek, kolik PP regálů je naloženo a k jaké hale jsou PP regály dováženy. Podle těchto informací pak byla stanovena teoretická doba jízdy (ze statických výpočtů) a porovnána s hodnotou získanou ze simulace. Ze získaných dat ze simulačního modelu bylo opět potřeba vyfiltrovat data, při kterých nebyly PP regály při jejich přepravě ovlivněny jinými dopravními prostředky, aby bylo možné vůbec výsledky porovnávat.

Pro ukázkou je zobrazen statický výpočet pro přepravu třech PP regálů na nádraží haly C pomocí nákladního automobilu:

$$t_C = t_N + t_{P1} + t_H + t_{P2} + t_V \quad (3)$$

kde: t_C [s] je doba trvání jedné celé jízdy,
 t_N [s] - doba nakládky PP regálů na nádraží skladu,
 t_{P1} [s] - doba přepravy PP regálů z nádraží skladu na nádraží haly,
 t_H [s] - doba vykládky a nakládky PP regálů na nádraží haly,
 t_{P2} [s] - doba přepravy PP regálů z nádraží haly na nádraží skladu a
 t_V [s] - doba vykládky PP regálů na nádraží skladu.

$$t_{P1} = \frac{S_{P1}}{v_P} \quad (4)$$

kde: S_{P1} [m] je délka trasy z nádraží skladu na nádraží haly a
 v_P [m/s] - rychlost dopravního prostředku.

$$t_{P2} = \frac{S_{P2}}{v_P} \quad (5)$$

kde: S_{P2} [m] je délka trasy z nádraží haly na nádraží skladu.

$$t_H = n \cdot t_{H1} \quad (6)$$

kde: n [ks] je počet přepravovaných PP regálů a
 t_{H1} [s] - doba vykládky a nakládky jednoho PP regálu na nádraží haly.

Dosazením rovnic (4), (5) a (6) do rovnice (3) bylo získáno:

$$t = t_N + \frac{S_{P1}}{v_P} + n \cdot t_{H1} + \frac{S_{P2}}{v_P} + t_V \quad (7)$$

$$t = 135,8 + \frac{985,5}{\frac{25}{3,6}} + 3 \cdot 48,6 + \frac{1533}{\frac{25}{3,6}} + 146,7$$

$$t = 790,964 \text{ s} \doteq 13,18 \text{ min}$$

Při porovnání hodnoty získané z rovnice (7) s hodnotou ze simulačního modelu, při které jsou také nákladním automobilem přepravovány tři PP regály na nádraží haly C, lze konstatovat shodnost získaných hodnot. Takto byly porovnávány všechny možné kombinace.

Při vyhodnocení ostatních hodnot trvání jednotlivých jízd (všech kombinací), byly získány vždy totožné výsledky (simulační model vůči statickým výpočtům).

V rámci validace simulačního modelu meziobjektové přepravy byly také provedeny tyto kontroly:

- kontrola vyložení PP regálů na správných místech,
- kontrola, zda byly do PP regálu vloženy pouze boxy určené pro jeden okruh a
- kontrola, zda jsou při jedné jízdě převáženy pouze PP regály určené pro jednu halu.

Na základě úspěšného ověření simulačního modelu vůči zadaným a vypočítaným hodnotám, lze považovat simulační model za verifikovaný a validovaný.

4.4 NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ

Po vytvoření, verifikaci a validaci modelu bylo potřeba provést několik simulačních experimentů s cílem vyhodnotit chování systému a stanovit jeho optimální řešení s ohledem na splnění stanovených dob doručení materiálu. Při upřesnění stanovených dob doručení materiálu byl definován jeden hlavní požadavek a jeden vedlejší požadavek. Primárně je požadováno, aby celková doba doručení PP regálu s boxy byla maximálně dvě hodiny. Celkovou dobou doručení je zde myšlena doba od vzniku odvolávky po doručení PP regálu s boxy na nádraží dané haly. Sekundárním požadavkem je pak, aby doba vychystání PP regálů ze skladu nepřesáhla jednu hodinu. V tomto případě je myšlena doba od vzniku odvolávky po připravení PP regálu na nádraží skladu.

4.4.1 ANALÝZA ZPŮSOBU SHROMAŽDOVÁNÍ ODVOLÁVEK

Při analýze současného způsobu shromažďování odvolávek bylo mimo stanovený požadavek (vychystat PP regály do jedné hodiny) také sledováno:

- využití kapacity PP regálů a
- počet vychystaných PP regálů za den.

Využití kapacity PP regálů pro jednotlivé intervaly shromažďování odvolávek jsou zobrazeny pomocí grafu v Příloze 7. Počet vychystaných PP regálů v závislosti na intervalu shromažďování odvolávek je pak možné zpozorovat z grafu v Příloze 8, kde je zmiňovaná závislost zobrazena zelenou křivkou.

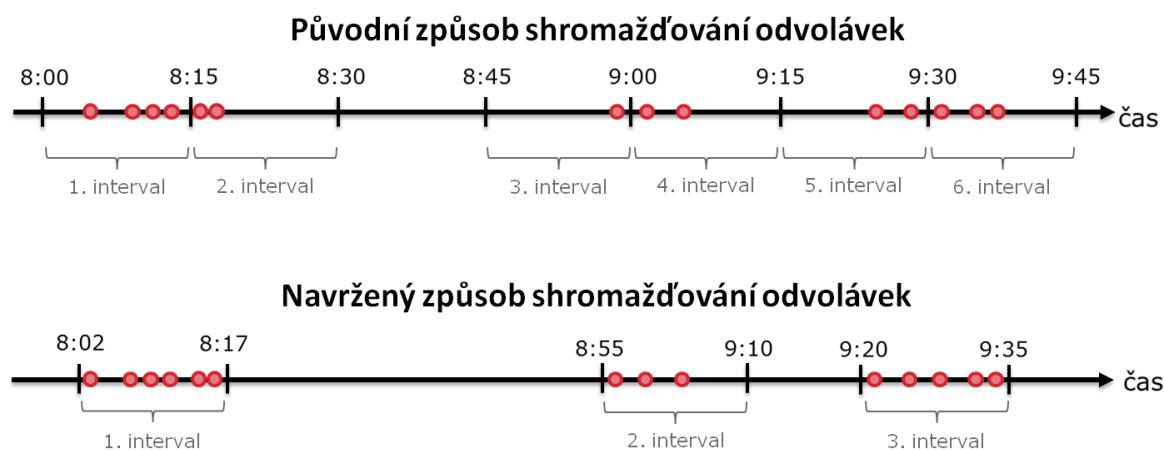
Z četnosti zaplnění PP regálů lze vyvodit to, že čím větší interval pro shromažďování odvolávek je zvolen, tím dochází k lepšímu využití kapacity PP regálů. Z druhého zmiňovaného grafu vyplývá, že zvolením většího intervalu pro shromažďování odvolávek je využito méně PP regálů, což má za následek i méně jízd při přepravě PP regálů. To znamená i menší náklady vynaložené na meziobjektovou přepravu PP regálů.

I když z těchto dvou statistik vyplývá, že by bylo nejefektivnější zvolit co největší interval, tak je nutné zohlednit především dobu vychystání PP regálů. Graf v Příloze 9 zobrazuje procentuální zastoupení PP regálů, které byly vychystány po více jak jedné hodině, v závislosti na intervalu pro shromažďování odvolávek. Z tohoto grafu lze vyčíst, že při

zvoleném způsobu shromažďování odvolávek (viz. kapitola 4.2.2 - podkapitola Způsob generování boxů) nebyl při žádném z intervalů splněn stanovený požadavek a to vychystat všechny PP regály do jedné hodiny.

OPTIMALIZACE ZPŮSOBU SHROMAŽĎOVÁNÍ ODVOLÁVEK

Na základě toho, že nebyl splněn požadavek (vychystat PP regály do jedné hodiny), byl navržen nový způsob shromažďování odvolávek. Pro lepší vysvětlení bude nově navržený způsob shromažďování odvolávek vysvětlen a porovnán vůči původnímu řešení na příkladu – viz. Obr. 23.



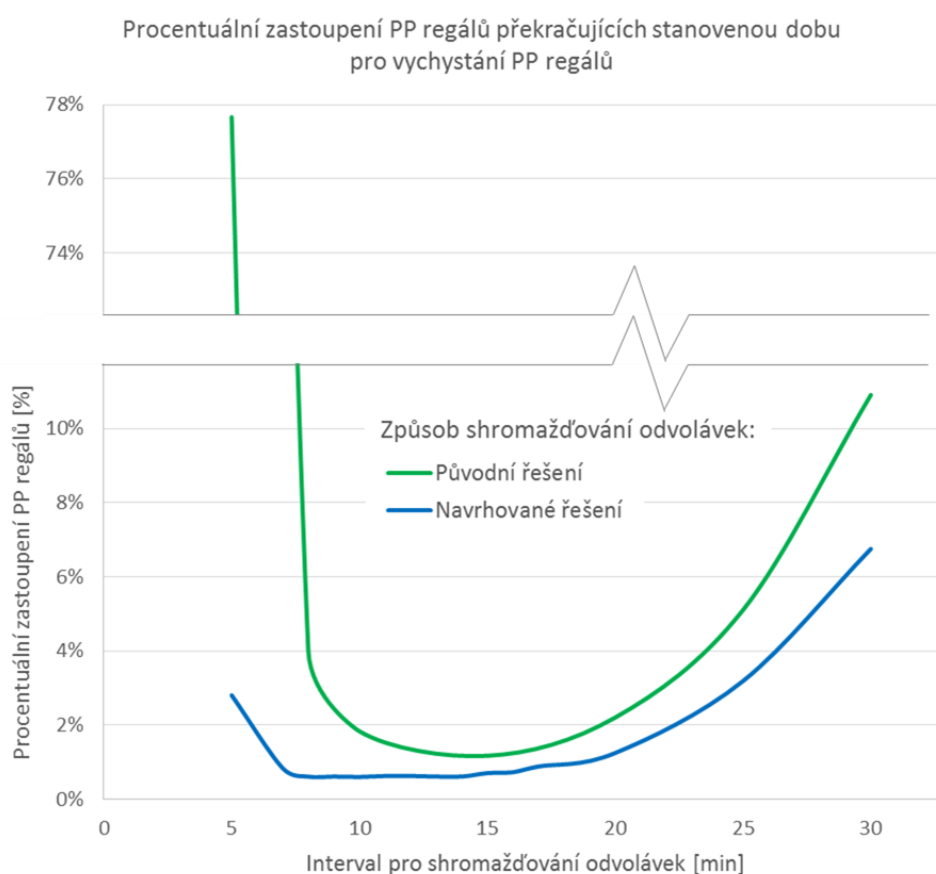
Obr. 23 Porovnání původního a navrženého způsobu shromažďování odvolávek

Na Obr. 23 lze vidět, že v původním řešení byly odvolávky (bod na časové ose představuje odvolávku) shromažďovány přes pevný interval – v okamžiku, kdy končil interval, tak současně začínal další. V navrženém způsobu interval započne, jakmile vznikne nějaká odvolávka a trvá po dobu určeného intervalu. Po uplynutí této doby jsou odvolávky spadající do daného intervalu zpracovány. Další interval pak začíná až v okamžiku, kdy bude zaznamenána další odvolávka. Tento způsob shromažďování navíc funguje tak, že odvolávky jsou již před spuštěním simulačního běhu rozříděny podle okruhu, takže pro každý okruh jsou intervaly na časové ose rozmístěny jiným způsobem. Do modelu je totiž zakomponována nová metoda, která během simulačního běhu vypočítává ze záznamu odvolávek okamžik, kdy mají být odvolávky, spadající do konkrétního intervalu, zpracovány a kdy začíná další interval – vše pro každý okruh zvlášť.

Rozdíl způsobů shromažďování z Obr. 23 již sám o sobě naznačuje, že by mělo být docíleno u navrženého řešení lepšího využití kapacity PP regálů – do jednoho intervalu spadá více odvolávek (1 odvolávka charakterizuje 1 box), což má za následek i více boxů v PP regálu. Současně by měl být s lepším využitím kapacity snížen počet vychystaných PP regálů. Tento fakt podtrhuje i graf zpracovaný z výstupů simulace umístěný v Příloze 8. Graf zobrazuje porovnání původního a navrženého řešení shromažďování odvolávek pomocí počtu vychystaných PP regálů za den v závislosti na intervalu shromažďování odvolávek. V Příloze 8 jsou také data zpracovány formou tabulky, kde je uvedeno, o kolik se snížil počet vychystaných PP regálů oproti původnímu řešení.

Další graf (Obr. 24) zobrazující procentuální zastoupení PP regálů, které byly vychystány po více jak hodině, porovnává navrhané řešení shromažďování odvolávek vůči původnímu. Je možné vidět, že změnou způsobu shromažďování bylo dosaženo příznivějších výsledků. Výrazně byl snížen počet PP regálů u intervalu 5 minut, při kterém v původním řešení bylo po více jak hodině vychystáno až 77,7%. Nyní je to pouhých 2,8 % PP regálů, které jsou vychystány po více jak hodině.

I když bylo dosaženo zlepšení v celém rozsahu intervalů, který byl sledován, pořad nebyl splněn stanovený požadavek na dobu vychystání PP regálů. Proto byly provedeny další experimenty, které jsou popsány dále. V nově navrženém způsobu shromažďování odvolávek vyšel nejlépe interval 10 minut, při kterém stanovenou dobu pro vychystání PP regálů překračuje 0,61 % vychystaných PP regálů, proto byl tento interval vybrán pro porovnávání s výsledky dalších simulačních experimentů.



Obr. 24 Procentuální zastoupení PP regálů překračujících stanovenou dobu vychystání

STANOVENÍ JEDINEČNÉHO INTERVALU PRO KAŽDÝ OKRUH

Pro nově navržený způsob shromažďování odvolávek byl dále nalezen jedinečný interval pro shromažďování odvolávek pro každý okruh. Poněvadž jsou boxy pro každý okruh vyskládňovány v různých frekvencích a v různém množství, nebyl jeden stejný interval pro všechny okruhy tak výhodný. Proto byla provedena řada simulačních experimentů s cílem nalézt pro každý okruh optimální interval. Stanovené optimální intervaly shromažďování odvolávek pro každý okruh jsou vypsány v Tab. 8.

Tab. 8 Intervaly pro shromažďování odvolávek

| Hala A | | Hala C | | Hala D | |
|------------|----------------|------------|----------------|-----------|----------------|
| Okruh | Interval [min] | Okruh | Interval [min] | Okruh | Interval [min] |
| A-bílý | 10 | C-černý | 14 | D-červený | 12 |
| A-černý | 14 | C-červený | 14 | D-modrý | 11 |
| A-červený | 14 | C-modrý | 13 | D-zelený | 13 |
| A-modrý | 13 | C-zelený | 14 | D-žlutý | 12 |
| A-růžový | 13 | C-žlutý | 14 | | |
| A-zelený | 14 | | | | |
| A-žlutý | 14 | | | | |
| Hala B | | Hala E | | | |
| Okruh | Interval [min] | Okruh | Interval [min] | | |
| B-oranžový | 9 | E-oranžový | 18 | | |

Po začlenění jedinečných intervalů pro shromažďování odvolávek do simulačního modelu, byly opět vyhodnoceny výsledky ze simulačního běhu. Tyto výsledky byly porovnány s výsledky dosažených při intervalu 10 minut pro všechny okruhy (při novém způsobu shromažďování odvolávek). V Tab. 9 jsou porovnány tyto dvě varianty řešení.

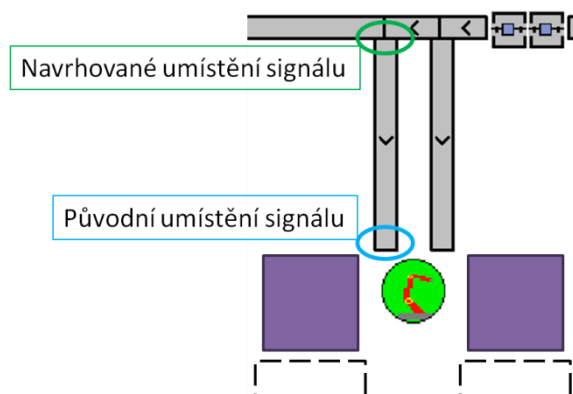
Tab. 9 Porovnání výsledků při stanovení jedinečných intervalů pro každý okruh

| Vyhodnocované data | Interval 10 minut pro všechny okruhy | Jedinečný interval pro každý okruh |
|--|--------------------------------------|------------------------------------|
| Celkový počet vychystaných PP regálů | 46276 ks / 60 dní | 41271 ks / 60 dní |
| Počet vychystaných PP regálů překračujících 1 hodinu | 280 ks / 60 dní | 183 ks / 60 dní |
| Procentuální zastoupení vychystaných PP regálů překračujících 1 hodinu | 0,61 % | 0,44 % |

Z Tab. 9 lze vyčíst, že stanovením jedinečného intervalu shromažďování odvolávek pro každý okruh byly získány znatelně lepší výsledky. I když z procentuálního zastoupení vychystaných PP regálů, které překračují stanovenou dobu pro vychystání, působí, že zlepšení je zanedbatelně malé, tak ve skutečnosti tomu tak není. Naopak došlo k docela razantnímu zlepšení, protože při jedinečných intervalech pro každý okruh byl snížen počet vychystaných PP regálů o 5005 kusů za simulované období 60 dní. To znamená snížení o 10,82 %. Ještě lepších výsledků bylo docíleno u počtu PP regálů, které překračují stanovenou dobu vychystání PP regálu. Konkrétně se podařilo počet PP regálů překračujících stanovenou dobu pro vychystání PP regálů snížit až o 34,64 % vůči výsledkům s intervalem 10 minut pro všechny okruhy. I když došlo ke snížení jak celkového počtu vychystaných PP regálů, tak počtu PP regálů, co překračují stanovenou dobu pro jejich vychystání, pořád nebyl splněn požadavek. Proto bylo dále pozorováno chování systému a byly prováděny další simulační experimenty.

4.4.2 OPTIMALIZACE LOGIKY VYSKLADŇOVÁNÍ

Ze simulačního modelu skladu bylo dále zpozorováno, že dopravníkový systém ve skladu není výrazně vytížen a bylo by možné díky této skutečnosti upravit logiku vyskladňování. Přesněji je zde myšlena úprava okamžiku, kdy je vyslán signál o volném dopravníku před robotem. V původním řešení je metoda, která přiděluje volný dopravník další skupině boxů, volána při přesunu posledního boxu (z konkrétní skupiny boxů) z dopravníku na prvek reprezentující robota. Změna logiky vyskladňování tedy spočívá v přesunutí tohoto signálu o volné dráze na začátek zmiňovaného dopravníku - viz. Obr. 25.



Obr. 25 Změna umístění signálu o volném dopravníku

Opět byl vyhodnocen důsledek této změny a porovnán s výsledky vycházející z předcházející úpravy (jedinečný interval pro každý okruh) - viz. Tab. 10.

Tab. 10 Porovnání výsledků při změně logiky vyskladňování

| Vyhodnocované data | Jedinečný interval pro každý okruh | Úprava logiky vyskladňování |
|--|------------------------------------|-----------------------------|
| Celkový počet vychystaných PP regálů | 41271 ks / 60 dní | 41271 ks / 60 dní |
| Počet vychystaných PP regálů překračujících 1 hodinu | 183 ks / 60 dní | 110 ks / 60 dní |
| Procentuální zastoupení vychystaných PP regálů překračujících 1 hodinu | 0,44 % | 0,27 % |

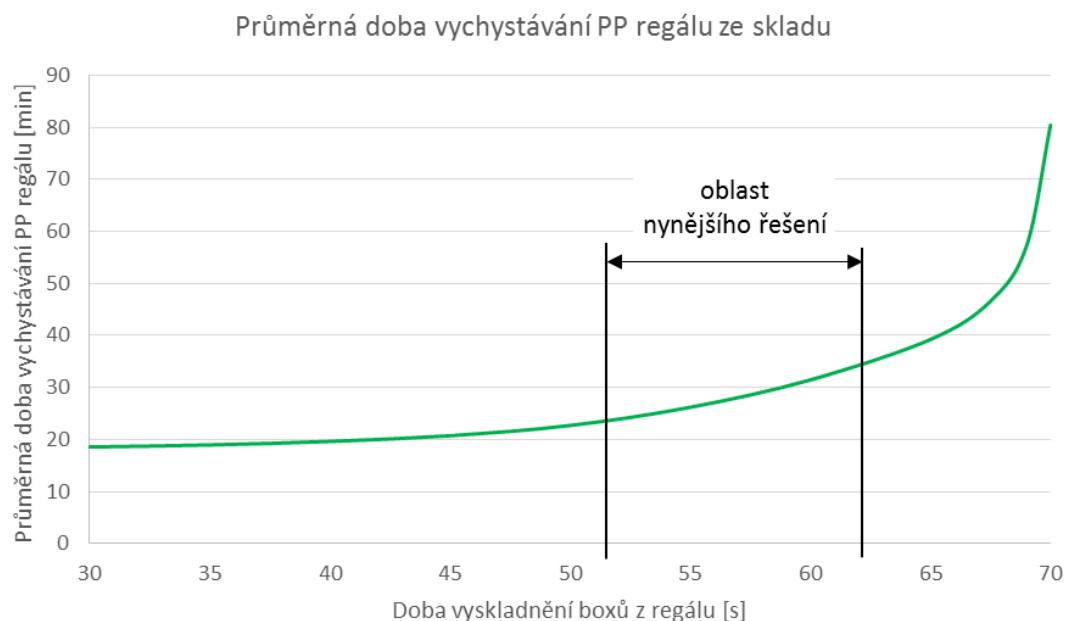
Z výsledků lze vyhodnotit, že celkový počet vychystaných PP regálů je neměnný. Naopak počet PP regálů, které jsou vychystány po stanovené době, se snížil o dalších 73 PP regálů, což značí snížení o 39,89 %. To zapříčinilo další snížení procentuálního zastoupení PP regálů překračujících stanovenou dobu pro vyskladnění a to přesně z 0,44 % na 0,27 %.

Bylo již dosaženo toho, že 99,73 % PP regálů je vychystáno včas (ve stanovené době pro vychystání), ale stále to není sto procent, proto byla provedena analýza úzkých míst skladu.

4.4.3 ANALÝZA ÚZKÝCH MÍST AUTOMATIZOVANÉHO CENTRÁLNÍHO SKLADU

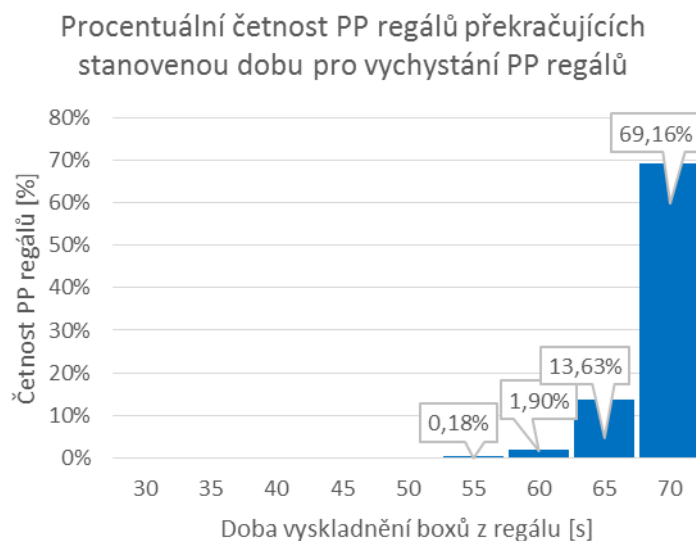
Na základě pozorování chování všech částí simulačního modelu skladu a provedení několika experimentů, bylo zjištěno úzké místo celého procesu vyskladňování. Úzkým místem při

procesu vyskladňování jsou jednoznačně regálové zakladače. V simulačních experimentech byla sledována průměrná doba vychystávání PP regálu ze skladu a procentuální četnost dob, při kterých jsou PP regály vychystány po více jak hodině. Průměrná doba vychystávání PP regálu ze skladu je zpracována formou grafu – viz. Obr. 26.



Obr. 26 Průměrná doba vychystávání PP regálu ze skladu

Z přiloženého grafu je patrné, že při stoupající době vyskladňování boxů z regálů (v řádech sekund) exponenciálně stoupá také celková průměrná doba vychystávání PP regálů ze skladu. Z grafu je možné vyčíst, že už při hodnotě doby vyskladnění boxů z regálu 70 sekund je průměrná hodnota doby vychystávání PP regálů 80 minut, což je o 20 minut více než požadovaná doba vychystání PP regálů. Další sledovanou hodnotou při simulačních experimentech byla procentuální četnost PP regálů, které byly vychystány po více jak jedné hodině, v závislosti na době vyskladnění boxů z regálů. Tato závislost je zobrazen na Obr. 27.



Obr. 27 Procentuální četnost PP regálů překračujících stanovenou dobu pro vychystání

Na základě toho, že jsou regálové zakladače konstruovány jako plně automatizované, tak by jakýkoliv zásah do konstrukčního řešení znamenal pravděpodobně vysoké náklady. Ty by navíc nebyly relevantní vůči tomu, že by daný zásah do konstrukce byl kvůli pouhým 0,27 % PP regálů, které nebyly vyskladněny včas.

4.4.4 DALŠÍ SIMULAČNÍ EXPERIMENTY NA AUTOMATIZOVANÉM CENTRÁLNÍM SKLADU

Jelikož byl požadavek (vychystání PP regálů ze skladu do jedné hodiny) splněn z 99,73 %, byly provedeny ještě další experimenty. Testováno bylo jiné řazení vah a přidání dalšího dopravníku pro výdej. I když by tyto úpravy znamenaly konstrukční změny skladu, tak by nebyly tak složité a finančně nákladné jako zásah do konstrukčního řešení regálových zakladačů.

ŘAZENÍ VAH

Jednou z testovaných úprav skladu byla změna řazení vah. Váhy jsou v současném řešení řazeny sériově (za sebou), proto byla testována varianta, kdy jsou váhy řazeny paralelně (vedle sebe). Porovnání těchto variant je uvedeno v Tab. 11.

Tab. 11 Porovnání výsledků při změně řazení vah

| Vyhodnocované data | Váhy řazeny sériově | Váhy řazeny paralelně |
|--|---------------------|-----------------------|
| Celkový počet vychystaných PP regálů | 41271 ks / 60 dní | 41271 ks / 60 dní |
| Počet vychystaných PP regálů překračujících 1 hodinu | 110 ks / 60 dní | 110 ks / 60 dní |
| Procentuální zastoupení vychystaných PP regálů překračujících 1 hodinu | 0,27 % | 0,27 % |

Z výsledků simulačních experimentů bylo možné konstatovat, že tato změna nemá žádný vliv na dobu vychystání PP regálů. Váhy jsou totiž stejně jako dopravníkový systém vlivem úzkého místa skladu málo vytížené.

DALŠÍ DOPRAVNÍK PRO VÝDEJ BOXŮ

Další testovanou úpravou skladu bylo přidání dalšího dopravníku pro výdej boxů. Přidáním dalšího dopravníku je zde myšleno to, že ke stávajícím čtyřem dopravníkům před roboty by se přidal pátý dopravník. Na konci tohoto dopravníku by bylo vytvořeno zvláštní výdejové místo pro manuální přesun boxů z dopravníku do PP regálu. Toto výdejové místo by bylo využíváno pouze v případech, pokud by byl sklad zahlcen hromadou odvolávek. V takovém případě by řídicí systém skladu dal pomocí světelné a akustické signalizace znamení obsluze, že je potřeba zahájit manuální kompletaci PP regálů na zvláštním výdejovém místě.

Po provedení simulačních experimentů bylo možné porovnat výsledky oproti původnímu řešení se čtyřmi dopravníky. V tabulce v Příloze 10 jsou porovnána získaná data s daty

původního řešení. Z výsledků lze vyčíst, že opět došlo k malému snížení počtu PP regálů, které překračují stanovenou dobu pro vyskladnění. Zlepšení ale není tak výrazné. Graf umístěný v Příloze 10, který znázorňuje četnost dob překračujících stanovenou dobu pro vychystání PP regálů, porovnává původní řešení s úpravou na pět dopravníků pro výdej boxů. Při bližším prozkoumání tohoto grafu lze konstatovat, že ke snížení doby vychystání PP regálů došlo jen u PP regálů, které překročily stanovenou dobu přibližně pouze o dvě minuty. U PP regálů překračujících stanovenou dobu pro vychystání o více jak dvě minuty nedošlo prakticky k žádné změně. Z těchto důvodů bylo vyhodnoceno, že úprava reálného skladu by vůči tak malému zlepšení doby vychystání PP regálů nebyla vhodná, proto se bude dále uvažovat původní řešení se čtyřmi dopravníky.

Z těchto výsledků i dalšího pozorování chování simulačního modelu lze konstatovat, že překročení stanovené doby pro vychystání převážné většiny PP regálů byla způsobena úzkým místem skladu (regálovým zakladačem) a tudíž jakékoliv jiné změny v rámci skladu nepovedou k razantnímu zlepšení výsledků. Z toho důvodu bylo dále pracováno s variantou, při které jsou provedeny změny pouze v rámci řídicího systému skladu, kde byl požadavek pro vychystání PP regálů splněn z 99,73 %.

4.4.5 NALEZENÍ OPTIMÁLNÍHO INTERVALU PRO POZDRŽENÍ DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ

Po optimalizaci skladu byla dalším krokem optimalizace meziobjektové přepravy PP regálů. Zde bylo potřeba nejdříve nalézt optimální interval, při kterém dochází ke zpracování vytvořených PP regálů na nádraží skladu. Interval, pozdržující dopravní prostředky, byl do modelu vnesen z důvodu, aby byla co nejlépe využita kapacita nákladního prostoru. Proto byla provedena řada simulačních experimentů s cílem nalézt optimální dobu intervalu. Pokud by byl zvolen příliš malý interval nebo by byly PP regály odváženy ihned, jakmile jsou vytvořeny na nádraží skladu, tak by to mohlo zapříčinit nevyužití kapacity nákladních prostorů dopravních prostředků. Z toho plyne i daleko více jízd, které vedou k větším finančním nákladům. Pokud by naopak dopravní prostředky čekaly na nádraží skladu příliš dlouho, mohlo by to zapříčinit pozdější hromadění vychystaných PP regálů na nádraží skladu. Spolu s hromaděním vychystaných PP regálů je spojeno i to, že by dopravní prostředky následně nestíhaly odvážet PP regály a nabraly by tímto zpoždění a nebyl by zároveň splněn požadavek na doručení některých PP regálů do dvou hodin. Proto je účelné pomocí simulačních experimentů stanovit optimální dobu, po kterou budou dopravní prostředky pozdrženy na nádraží skladu.

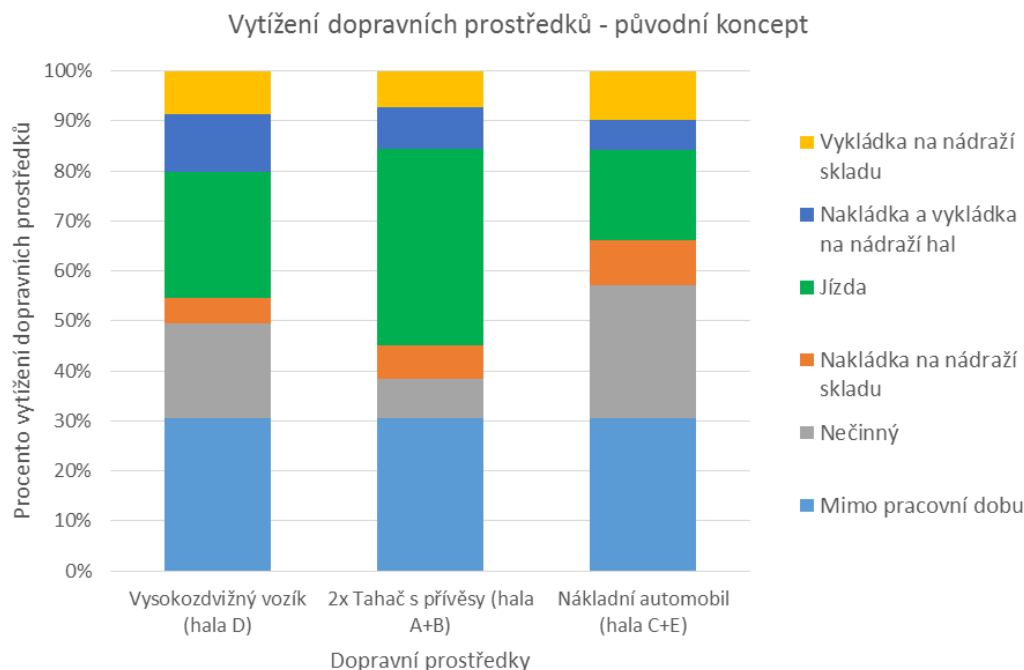
Při provádění simulačních experimentů byly sledovány tyto hodnoty:

- doba doručení PP regálů (doba od vzniku odvolávky po doručení PP regálu na nádraží haly),
- počet připravených PP regálů na nádraží skladu a
- vytížení dopravních prostředků.

Vyhodnocením simulačních experimentů byla optimální doba pozdržení dopravních prostředků na nádraží skladu, při které je splněn požadavek na doručení PP regálů do dvou hodin, stanovena na hodnotu 10 minut. Při této době se počet připravených PP regálů na nádraží skladu pohybuje nejčastěji mezi 20 až 25 PP regály – viz. Příloha 11. Pomocí tohoto grafu lze také například stanovit, jak velká by měla být plocha pro uložení vychystaných PP regálů.

4.4.6 NÁVRH OPTIMALIZACE SESKUPENÍ DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ

Dále bylo ze simulačního modelu ověřováno vytížení dopravních prostředků. Dle jejich navrženého seskupení (viz. kapitola 3.6.3) lze interpretovat vytížení používaných dopravních prostředků pomocí grafu na Obr. 28.



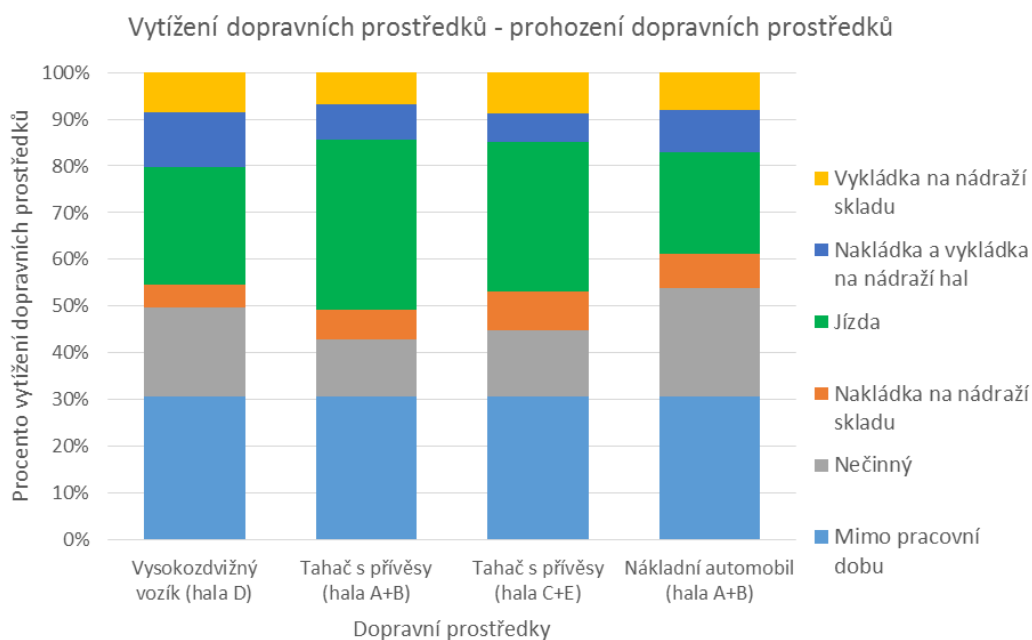
Obr. 28 Vytížení dopravních prostředků - původní koncept

Z grafu (Obr. 28) je možné dopravní prostředky charakterizovat šesti stavy v průběhu simulačního období. Stavy nazvané „Nakládka na nádraží skladu“, „Jízda“, „Nakládka a vykládka na nádraží hal“ a „Vykládka na nádraží skladu“ představují dohromady stav, kdy dopravní prostředek vykonával určitou činnost. Stav „Nečinný“ představuje naopak stav, kdy dopravní prostředek čekal na vytvoření PP regálů na nádraží skladu. V grafu je ještě rozlišen stav „Mimo pracovní dobu“, který představuje víkendy, svátky a pauzy. Při stavu „Mimo pracovní dobu“ jsou dopravní prostředky sice také nečinné, ale z pohledu jejich správného vyhodnocení vůči pracovní době, byl tento stav od stavu „Nečinný“ rozlišen.

Při vyhodnocení grafu vytížení dopravních prostředků (Obr. 28) lze prohlásit, že pro přepravu PP regálů na nádraží haly D postačuje jeden vysokozdvíhací vozík, jehož vytížení je uvedeno ve zmiňovaném grafu vytížení dopravních prostředků. Při zkoumání ostatních dopravních prostředků je možné konstatovat, že navržené seskupení dopravních prostředků je vyhovující, ale značně nerovnoměrné. Zatímco oba tahače jsou vytíženy v průběhu simulačního období z 61,6 %, tak nákladní automobil pouze ze 42,9 %.

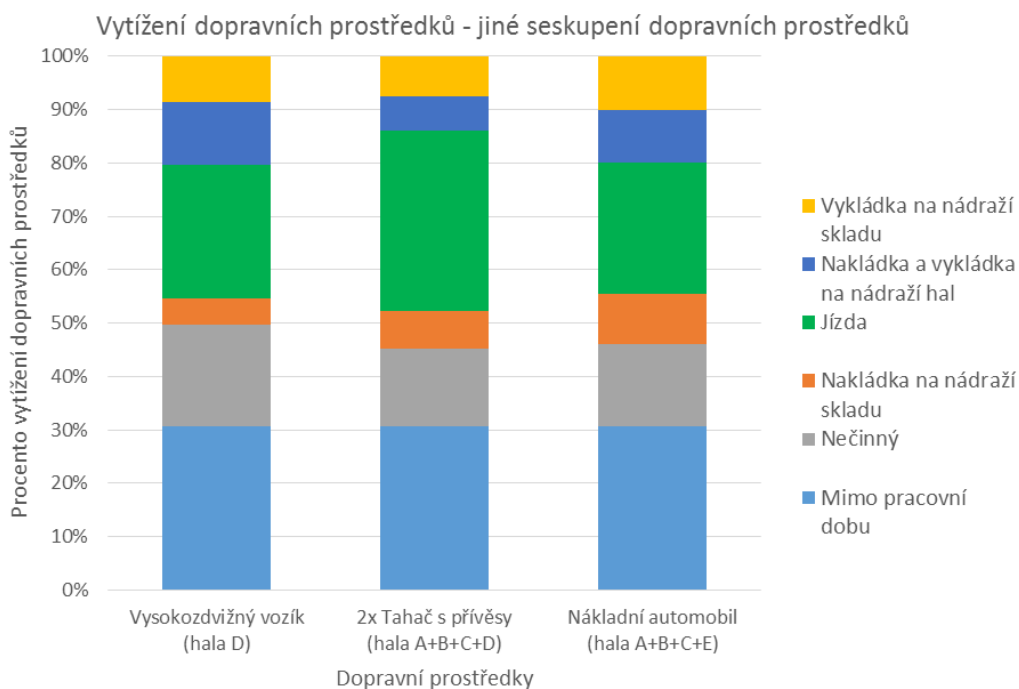
Při zachování seskupení dopravních prostředků lze navrhnout, aby nákladní automobil obsluhoval haly A a B a jeden z tahačů obsluhoval haly C a E. Je to mnohem výhodnější, protože nákladní automobil dosahuje dvojnásobné průměrné rychlosti při přepravě PP regálů oproti tahači s přívěsy. Zároveň haly A a B jsou nejbližšími halami od skladu a rychlejší dopravní prostředek by byl pro tyto haly určitě ku prospěchu. Tento fakt potvrzuje i zpracovaný graf na Obr. 29, který reprezentuje uvedený návrh prohození dopravních

prostředků. Z grafu je patrné, že nyní jsou dopravní prostředky vytíženy mnohem rovnoměrněji.



Obr. 29 Vytížení dopravních prostředků - prohození dopravních prostředků

Pokud by nebylo bráno v úvahu navržené seskupení dopravních prostředků, tak po seskupení obou tahačů i nákladního automobilu do jedné společné skupiny, by byly haly A, B, C a E obsluhovány kterýmkoliv dopravním prostředkem kromě vysokozdvížného vozíku. Při provedení této změny je využití tahačů a nákladního automobilu téměř totožné - viz. Obr. 30. Z vyhodnocených výsledků je možné dostat hodnotu vytížení tahačů, která činí 54,7 % a vytížení nákladního automobilu, které je 53,9 %.



Obr. 30 Vytížení dopravních prostředků - jiné seskupení dopravních prostředků

5 SHRnutí VÝSLEDKŮ

Na základě analýzy řešeného logistického řetězce byl vytvořen simulační model, z něhož bylo postupně vyhodnocováno, zda dochází ke splnění stanovených požadavků.

Nejdříve byl vyhodnocován simulační model skladu, na kterém byl hodnocen požadavek dodržení stanovené doby pro vychystání PP regálů. Stanovenou dobou pro vychystání PP regálů je myšlena doba od vzniku odvolávky po připravení PP regálu na nádraží skladu. Hodnota této doby činí jedna hodina. Vedlejším hlediskem pro hodnocení skladu bylo využití kapacity PP regálů a počet vychystaných PP regálů za simulované období 60 dní.

Původní řešení skladu bylo vyhodnocováno pro několik hodnot intervalů, na základě kterých dochází ke shromažďování odvolávek. Z vyhodnocených dat bylo zjištěno, že původní řešení nesplňovalo požadavek vychystat PP regály do jedné hodiny. Při optimálním intervalu shromažďování odvolávek (15 minut) bylo zjištěno, že 1,18 % PP regálů překročilo dobu pro vychystání PP regálů. Na základě toho, že nebyl splněn požadavek vychystat všechny PP regály do jedné hodiny, bylo navrženo několik úprav, jimiž jsou:

- změna způsobu shromažďování odvolávek,
- stanovení jedinečného intervalu pro každý okruh v rámci shromažďování odvolávek a
- změna umístění signálu o volném dopravníku před roboty.

Porovnání navrženého řešení vůči původnímu řešení (uvažován interval 15 minut) je uvedeno v Tab. 12.

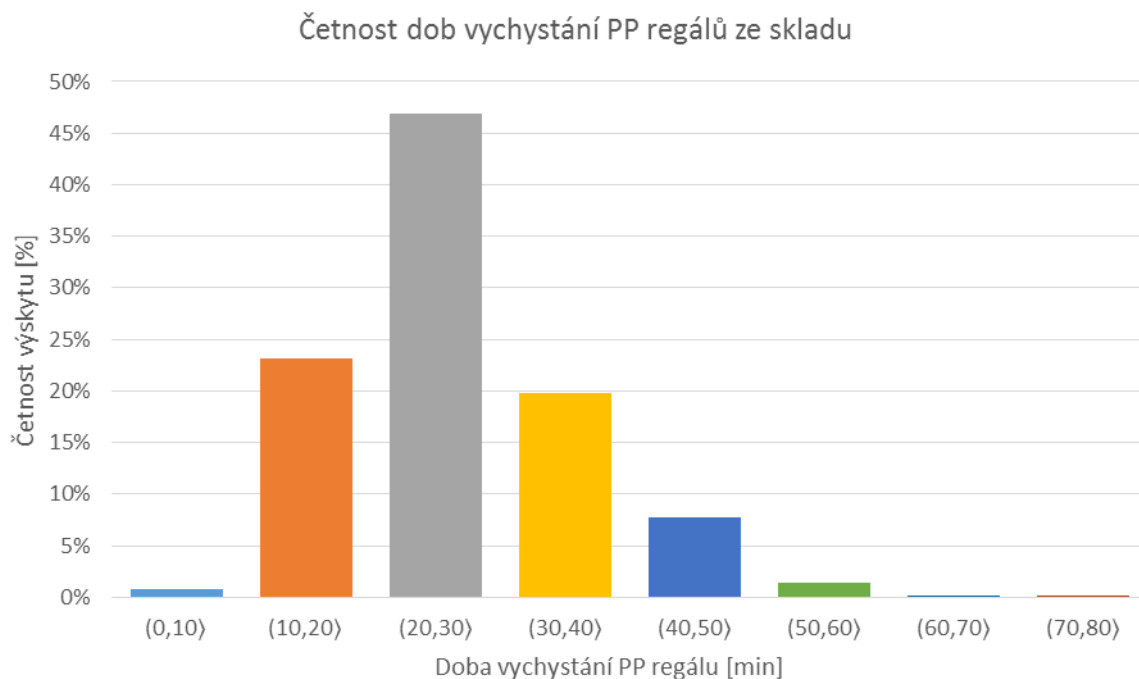
Tab. 12 Porovnání výsledků navrženého a původního řešení

| Vyhodnocované data | Původní řešení | Navržené řešení |
|--|-------------------|-------------------|
| Celkový počet vychystaných PP regálů | 46029 ks / 60 dní | 41271 ks / 60 dní |
| Počet vychystaných PP regálů překračujících 1 hodinu | 541 ks / 60 dní | 110 ks / 60 dní |
| Procentuální zastoupení vychystaných PP regálů překračujících 1 hodinu | 1,18 % | 0,27 % |

Navrhované řešení se vyznačuje, oproti původnímu řešení, snížením počtu vychystaných PP regálů, které překročily stanovenou dobu pro vychystání, z 541 ks za 60 dní na 110 ks za 60 dní, což znamená snížení o 79,7 % PP regálů vůči původnímu řešení. Došlo také k lepšímu využití kapacity PP regálů spolu se snížením celkového počtu vychystaných PP regálů o 4758 ks za 60 dní, tzn. snížení o 10,3 %. I když při navrženém řešení skladu bylo 99,73 % PP regálů vychystaných včas, stále nebyl splněn daný požadavek (vychystat PP regály do jedné hodiny). Byla proto provedena analýza úzkých míst skladu, pomocí které bylo zjištěno, že problematickým místem skladu je jednoznačně regálový zakladač, přesněji doba vyskladnění boxu z regálu spolu s tím, že regálový zakladač neumožňuje vyskladnit více boxů najednou. Z toho důvodu nebylo dosaženo příznivějších výsledků.

I když nebyl splněn požadavek vychystat PP regály do jedné hodiny, tak doby vychystání PP regálů vycházely průměrně 27 minut a četnost těchto dob je zobrazena na Obr. 31 umístěném na další straně. Lze tedy konstatovat, že průměrné doby vychystání PP regálů

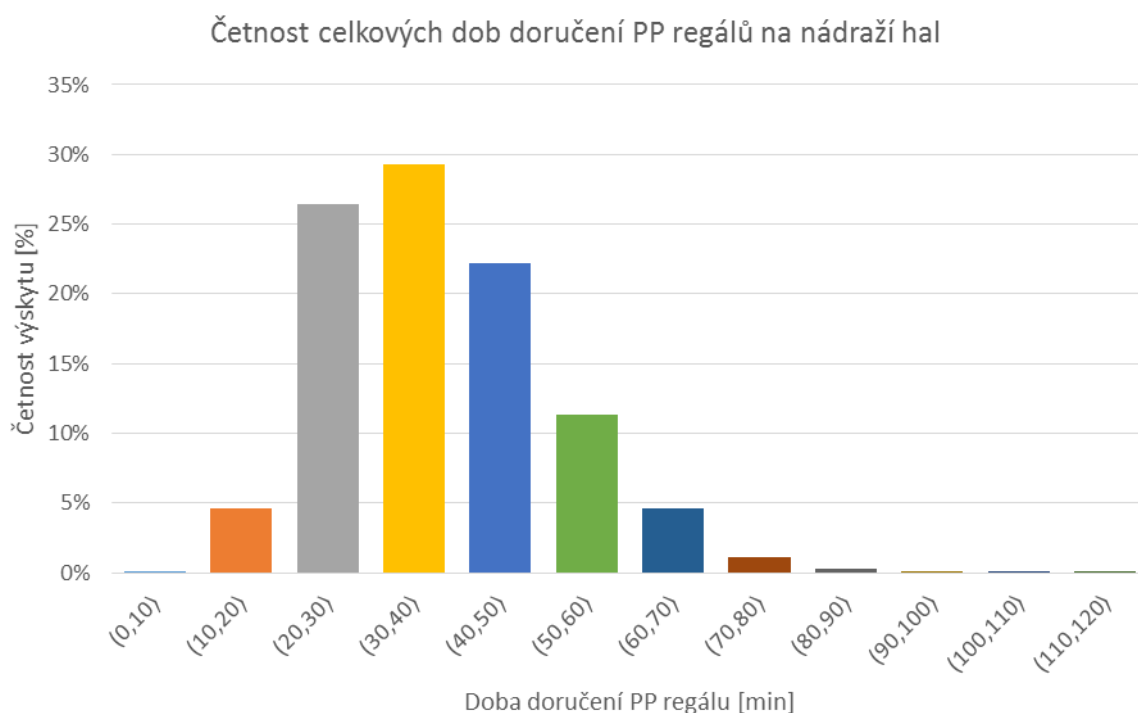
vychází příznivě, proto byl dále analyzován hlavní simulační model (model meziobjektové přepravy) se submodelem skladu, který splňoval požadavek pro vychystání PP regálů z 99,73 %.



Obr. 31 Četnost dob vychystání PP regálů ze skladu

Do modelu meziobjektové přepravy byl vnesen interval, který sloužil pro pozdržení dopravních prostředků, aby byly příchozí PP regály na nádraží skladu zpracovány až po uplynutí daného intervalu. Tím bylo docíleno to, že byla lépe využita kapacita nákladních prostorů dopravních prostředků. Řadou experimentů byla hodnota intervalu, pozdržujícího dopravní prostředky, stanovena na 10 minut.

Při optimalizaci simulačního modelu bylo mimo jiné sledováno hlavně to, zda je splněn primární požadavek a to doručit PP regály s boxy do dvou hodin od vzniku odvolávky. Z grafu na Obr. 32, který zobrazuje četnost dob doručení PP regálů na nádraží hal, je možné vidět, že nejvyšší dosažená doba spadá do intervalu (110, 120) min. Konkrétně hodnota maximální získané doby doručení PP regálu na nádraží skladu činí 1 hodina 52 minut a 14 sekund. Lze tedy konstatovat, že primární požadavek byl splněn a logistický řetězec je navržen s vyhovujícími výsledky.



Obr. 32 Četnost celkových dob doručení PP regálů na nádraží hal

Součástí diplomové práce bylo také ověřit využití dopravních prostředků dle navrženého seskupení. Prvním úkolem bylo stanovit počet vysokozdvížných vozíků, které by stíhaly převážet PP regály na nádraží haly D. Bylo zjištěno, že pro tuto přepravu postačuje jeden vysokozdvížný vozík. Druhým úkolem bylo ověřit, zda dva tahače s přívěsy a jeden nákladní automobil budou stíhat rozvážení PP regálů po areálu podniku dle navrženého seskupení. Navržené seskupení dopravních prostředků bylo vyhodnoceno jako vyhovující, ale vytížení tahačů a nákladního automobilu bylo značně nevyrovnané. Proto byly navrženy změny, kterými jsou:

- prohození dopravních prostředků a
- jiné seskupení dopravních prostředků.

Při prohození nákladního automobilu s jedním tahačem tak, aby nákladní automobil s vyšší průměrnou rychlostí obsluhoval haly vzdálenější od skladu, bylo dosaženo daleko vyrovnanějšího vytížení jednotlivých využívaných dopravních prostředků. Pokud by bylo odstoupeno od daného seskupení, je možné dosáhnout téměř totožných vytížení tahačů a nákladního automobilu.

ZÁVĚR

V teoretické části této práce byl vysvětlen pojem logistický řetězec spolu se základními informacemi o materiálovém toku, který je součástí logistického řetězce. Další část teoretické části byla věnována simulaci, kde je rozebráno využití simulací a je popsán doporučený postup při řešení simulačního projektu. Všechny tyto poznatky byly následně využity při řešení praktické části práce.

V praktické části práce byla nejdříve provedena analýza řešené oblasti. Z ní byly formou této práce interpretovány veškeré získané informace popisující řešený logistický řetězec, včetně popisu využívaných zařízení a prostředků. Dále byla v praktické části popisována tvorba simulačního modelu, kde byly přiblíženy způsoby modelování jednotlivých operací při vyskladňování a přepravě materiálu. Poté se zde nachází popis provedené verifikace a validace simulačního modelu.

Po úspěšné verifikaci a validaci simulačního modelu následovala řada simulačních experimentů, pomocí nichž bylo sledováno chování řešeného logistického řetězce. Na základě vyhodnocení daných experimentů bylo provedeno několik návrhů vedoucích k optimalizaci jednotlivých procesů, aby byly splněny stanovené požadavky. Mezi hlavní provedené návrhy na optimalizaci patří nové řešení shromažďování odvolávek ve skladu, změna logiky vyskladňování boxů a návrh na jiné seskupení dopravních prostředků.

Provedením veškerých výše uvedených kroků při řešení simulačního projektu byly splněny veškeré definované cíle dle zadání diplomové práce.

Hlavním požadavkem pro návrh logistického řetězce bylo dodržet stanovenou dobu pro doručení materiálu na předem určené místo. S ohledem na daný požadavek a další určené omezení, byl vytvořen simulační model logistického řetězce charakterizující meziobjektovou přepravu materiálu, včetně procesu vyskladňování, který splňuje hlavní definovaný požadavek. Součástí návrhu vytvořeného logistického řetězce bylo také ověření využití dopravních prostředků dle navrženého konceptu. Daný koncept byl vyhodnocen za vyhovující, ale současně byly navrženy změny daného konceptu z důvodu nerovnoměrného vytížení využívaných dopravních prostředků.

Využití této práce v budoucnu by mohlo spočívat především v dalším využití vytvořeného simulačního modelu. Do simulačního modelu meziobjektové přepravy by mohly být vneseny jednotlivé pracoviště na halách spolu se závazecími okruhy. Simulační model by tak umožňoval zkoumat materiálový tok až ke konkrétnímu pracovišti na hale. Analyzováním výsledků takového simulačního modelu spolu s porovnáním s reálnou výrobou, by bylo možné ze získaných dat nasimulovat spotřebu materiálu na jednotlivých halách. Odvolávky by tak byly odesílány již ze simulovaných pracovišť dle výrobní sekvence a simulační model by tak nebyl závislý na historických záznamech odvolávek. Díky takovému napodobení výrobních hal vůči reálnému systému, by mohly být vytvářeny a testovány různé navrhované scénáře s ohledem na aktuální výrobní sekvenci.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] AHK Tschechien. *Téma roku ČNOPK 2015. Průmysl 4.0 - rEvoluce probíhá* [online]. 2017 [cit. 2017-02-13]. Dostupné z: <http://tschechien.ahk.de/cz/tema-roku-2015/>
- [2] SCHUTLE, Christof. *Logistika*. 1. vyd. Překlad Adolf Baudyš, Gustav Tomek. Praha: Victoria Publishing, 1994. ISBN 80-85605-87-2.
- [3] PERNICA, Petr. *Logistika pro 21. století: (Supply chain management)*. 1. vyd. Praha: Radix, 2005. ISBN 80-86031-59-4.
- [4] PERNICA, Petr. *Logistický management: teorie a podniková praxe*. 1. vyd. Praha: Radix, 1998. ISBN 80-86031-13-6.
- [5] DRAHOTSKÝ, Ivo a Bohumil ŘEZNÍČEK. *Logistika - procesy a jejich řízení*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2003. ISBN 80-7226-521-0.
- [6] JIRSÁK, Petr, Michal MERVART a Marek VINŠ. *Logistika pro ekonomy - vstupní logistika*. Praha: Wolters Kluwer Česká republika, 2012. ISBN 978-80-7357-958-6.
- [7] ŠTOČEK, Jiří. *Optimalizace materiálového toku ve vybraném průmyslovém závodě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Břetislav Mynář, CSc.
- [8] HLOSKA, Jiří. *Optimalizace materiálového toku v hromadné výrobě simulačními metodami*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 114 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.
- [9] HLOSKA, Jiří. *Transformace simulačního modelu ze SW SimPro do SW Plant Simulation*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 117. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.
- [10] VDA: Management jakosti v automobilovém průmyslu. *Logistika - analýza procesu: Návod k hodnocení a zlepšování logistiky*: verze 2, 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2002. 74s. ISBN 80-02-01478-2.
- [11] VDI 3633. *Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen*. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 2010.
- [12] ČSN 26 9004. *Manipulační jednotky. Názvosloví*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1984. 2 s.
- [13] BANKS, Jerry. *Discrete-event system simulation*. 5th ed., International version. Upper Saddle River, N.J: Pearson Education, 2009. ISBN 978-013-815037-2.
- [14] LAW, Averill M. *Simulation modeling and analysis*. 4th ed. Boston: McGraw-Hill, 2007. ISBN 007-125519-2.
- [15] Škoda Auto a.s. *Interní materiály*. Mladá Boleslav: Škoda Auto, 2017.

- [16] Škoda Auto a.s. *Elektrický tahač se solárními panely* [online]. 2017 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/news/2016-09-09-elektricky-tahac-v-zavode>
- [17] Škoda Auto a.s. *ŠKODA sází v dopravě a logistice na ekologii* [online]. 2017 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/news/2017-02-10-cng-trucks-logistik/>
- [18] STILL Česká republika. *Elektrické vysokozdvížené vozíky* [online]. 2017 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.still.cz/elektricke-vysokozdvine-rx-60-35.0.0.html>
- [19] Mecalux. *Automatizované zakladače krabic - Zakládací jeřáby na krabice* [online]. 2017 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <https://www.mecalux.cz/automaticky-sklad-krabice/zakladac>
- [20] Mecalux. *Automatizované zakladače krabic - Dopravníkové systémy na krabice* [online]. 2017 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <https://www.mecalux.cz/automaticky-sklad-krabice/dopravnik>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | | |
|----------|-------|--|
| CNG | | Stlačený zemní plyn (z anglického „Compressed Natural Gas“) |
| ČNOPK | | Česko-německá obchodní a průmyslová komora |
| DP | | Dopravní prostředek |
| ks | | Kus |
| min | | Minuta |
| MJ | | Manipulační jednotka |
| PP | | Přepravní prostředek |
| PP regál | | Přepravní policový regál |
| PS | | Plant Simulation |
| VDA | | Sdružení inženýrů automobilového průmyslu (z německého „Verband der Automobilindustrie“) |
| a | [-] | Minimální hodnota x |
| b | [-] | Maximální hodnota x |
| c | [-] | Nejpravděpodobnější hodnota x |
| $f(x)$ | [-] | Funkce x |
| n | [ks] | Počet přepravovaných PP regálů |
| s | [m] | Dráha uražená boxem po dopravníku |
| s_{P1} | [m] | Délka trasy z nádraží skladu na nádraží haly |
| s_{P2} | [m] | Délka trasy z nádraží haly na nádraží skladu |
| t | [s] | Doba strávená na dopravníku |
| t_C | [s] | Doba trvání jedné jízdy |
| t_H | [s] | Doba vykládky a nakládky PP regálů na nádraží haly |
| t_{H1} | [s] | Doba vykládky a nakládky jednoho PP regálu na nádraží haly |
| t_N | [s] | Doba nakládky PP regálů na nádraží skladu |
| t_{P1} | [s] | Doba přepravy PP regálů z nádraží skladu na nádraží haly |
| t_{P2} | [s] | Doba přepravy PP regálů z nádraží haly na nádraží skladu |
| t_V | [s] | Doba vykládky PP regálů na nádraží skladu |
| v | [m/s] | Rychlost dopravníku |
| v_P | [m/s] | Rychlost dopravního prostředku |
| x | [-] | Proměnná hodnota |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obr. 1 Zjednodušené schéma logistického řetězce (zpracováno dle [9]) | 13 |
| Obr. 2 Typy přeprav | 16 |
| Obr. 3 Přístupy studování systému (zpracováno dle [14]) | 17 |
| Obr. 4 Příklady průběhů stavových proměnných (zpracováno dle [13]) | 18 |
| Obr. 5 Základní princip simulace (zpracováno dle [8])..... | 20 |
| Obr. 6 Fázový model simulačního projektu (zpracováno dle [6])..... | 21 |
| Obr. 7 Část průmyslového závodu | 25 |
| Obr. 8 Manipulační jednotka – box [15] | 26 |
| Obr. 9 Schématické znázornění PP regálu a jeho podvozku [15] | 26 |
| Obr. 10 Tahač s přívěsy [16] | 27 |
| Obr. 11 Nákladní automobil [17] | 28 |
| Obr. 12 Vysokozdvihný vozík [18] | 29 |
| Obr. 13 Schéma řešeného logistického řetězce | 30 |
| Obr. 14 Schématické znázornění příkladu vnitroobjektového zavážení boxů | 31 |
| Obr. 15 Regály a jejich automatizované zakladače [19] | 33 |
| Obr. 16 Válečkový dopravník [20]..... | 34 |
| Obr. 17 Schématické znázornění řešeného skladu | 36 |
| Obr. 18 Pojmový model řešené oblasti..... | 39 |
| Obr. 19 Hustota pravděpodobnosti triangulárního rozdělení | 40 |
| Obr. 20 Příklad shromažďování odvolávek..... | 44 |
| Obr. 21 Parametrizace hlavního modelu | 47 |
| Obr. 22 Kontrola dodržení hustoty triangulárního rozdělení | 50 |
| Obr. 23 Porovnání původního a navrženého způsobu shromažďování odvolávek | 54 |
| Obr. 24 Procentuální zastoupení PP regálů překračujících stanovenou dobu vychystání | 55 |
| Obr. 25 Změna umístění signálu o volném dopravníku | 57 |
| Obr. 26 Průměrná doba vychystávání PP regálu ze skladu | 58 |
| Obr. 27 Procentuální četnost PP regálů překračujících stanovenou dobu pro vychystání | 58 |
| Obr. 28 Vytížení dopravních prostředků - původní koncept..... | 61 |
| Obr. 29 Vytížení dopravních prostředků - prohození dopravních prostředků..... | 62 |
| Obr. 30 Vytížení dopravních prostředků - jiné seskupení dopravních prostředků..... | 62 |
| Obr. 31 Četnost dob vychystání PP regálů ze skladu..... | 64 |
| Obr. 32 Četnost celkových dob doručení PP regálů na nádraží hal | 65 |

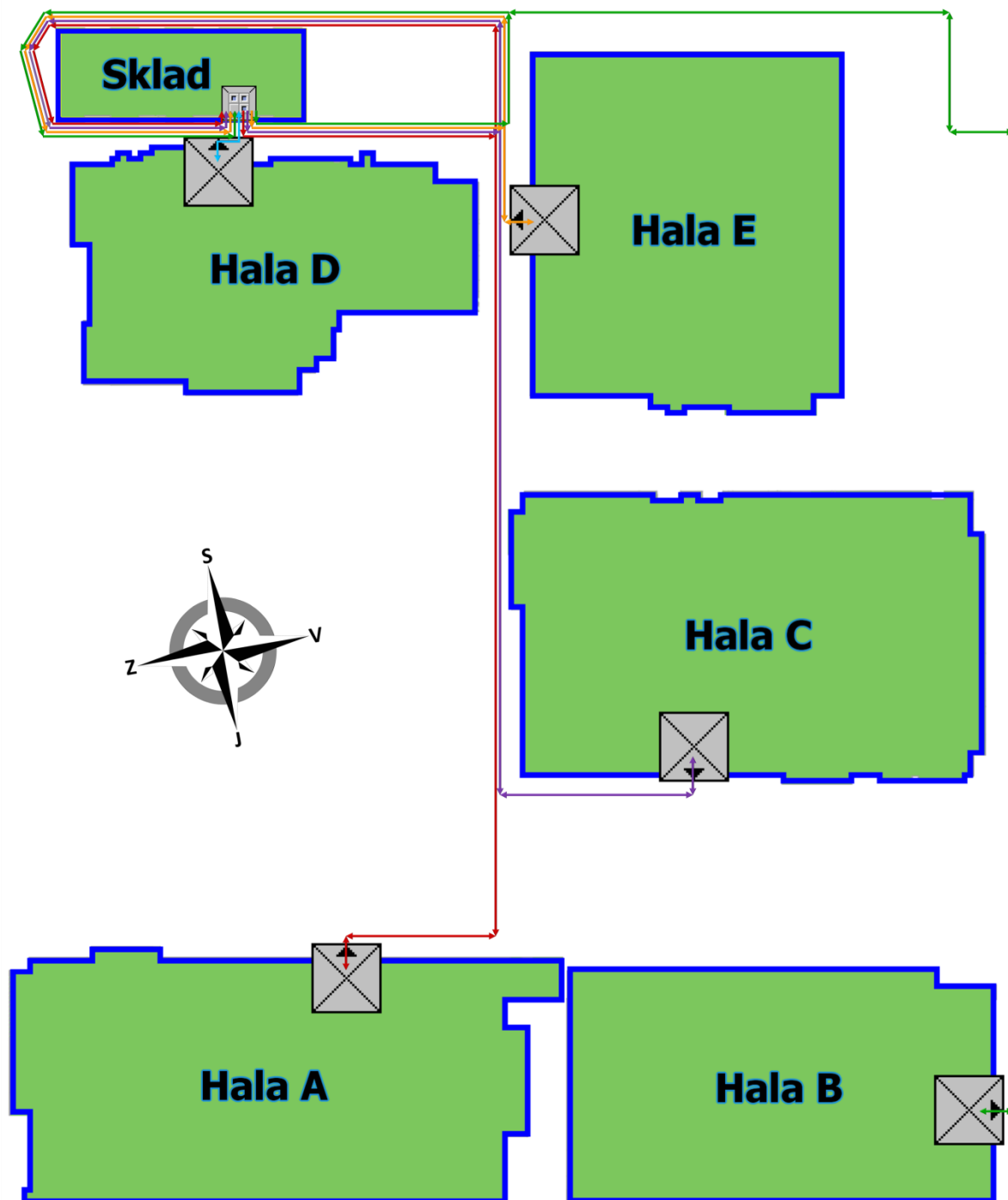
SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tab. 1 Příklad historických záznamů odvolávek..... | 31 |
| Tab. 2 Pravidla pro meziobjektovou přepravu materiálu | 38 |
| Tab. 3 Doby jednotlivých manipulací při výdeji boxů..... | 41 |
| Tab. 4 Doby ložných operací na nádraží skladu..... | 42 |
| Tab. 5 Rychlosti dopravních prostředků | 42 |
| Tab. 6 Doby ložných operací na nádraží hal | 42 |
| Tab. 7 Validace - doby strávené na dopravnících | 51 |
| Tab. 8 Intervaly pro shormažďování odvolávek | 56 |
| Tab. 9 Porovnání výsledků při stanovení jedinečných intervalů pro každý okruh..... | 56 |
| Tab. 10 Porovnání výsledků při změně logiky vyskladňování..... | 57 |
| Tab. 11 Porovnání výsledků při změně řazení vah..... | 59 |
| Tab. 12 Porovnání výsledků navrženého a původního řešení | 63 |

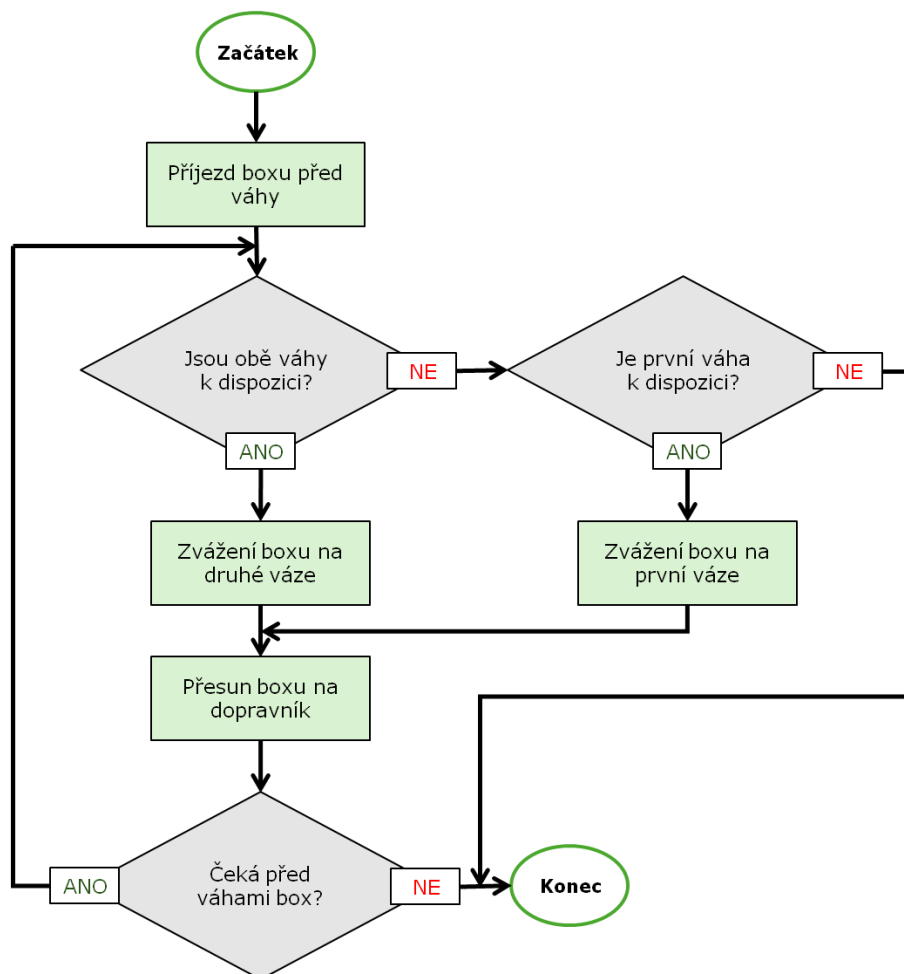
SEZNAM PŘÍLOH

| | |
|---|------|
| Příloha 1 Trasy dopravních prostředků | I |
| Příloha 2 Logika rozhodování při volbě váhy ve skladu | II |
| Příloha 3 Logika výpočtu doby manipulace na robotu..... | III |
| Příloha 4 Logika řízení vysokozdvížného vozíku při přepravě PP regálů | IV |
| Příloha 5 Logika řízení tahače s přívěsy a nákladního automobilu při přepravě PP regálů | VI |
| Příloha 6 Kumulativní nárůst vygenerovaných boxů | VIII |
| Příloha 7 Využití kapacity PP regálů..... | IX |
| Příloha 8 Počet PP regálů vzhledem k velikosti intervalu pro shromažďování odvolávek..... | X |
| Příloha 9 Procentuální zastoupení PP regálů překračujících stanovenou dobu vychystání | XI |
| Příloha 10 Porovnání výsledků při přidání dalšího dopravníku pro výdej | XII |
| Příloha 11 Počet připravených PP regálů na nádraží skladu | XIII |

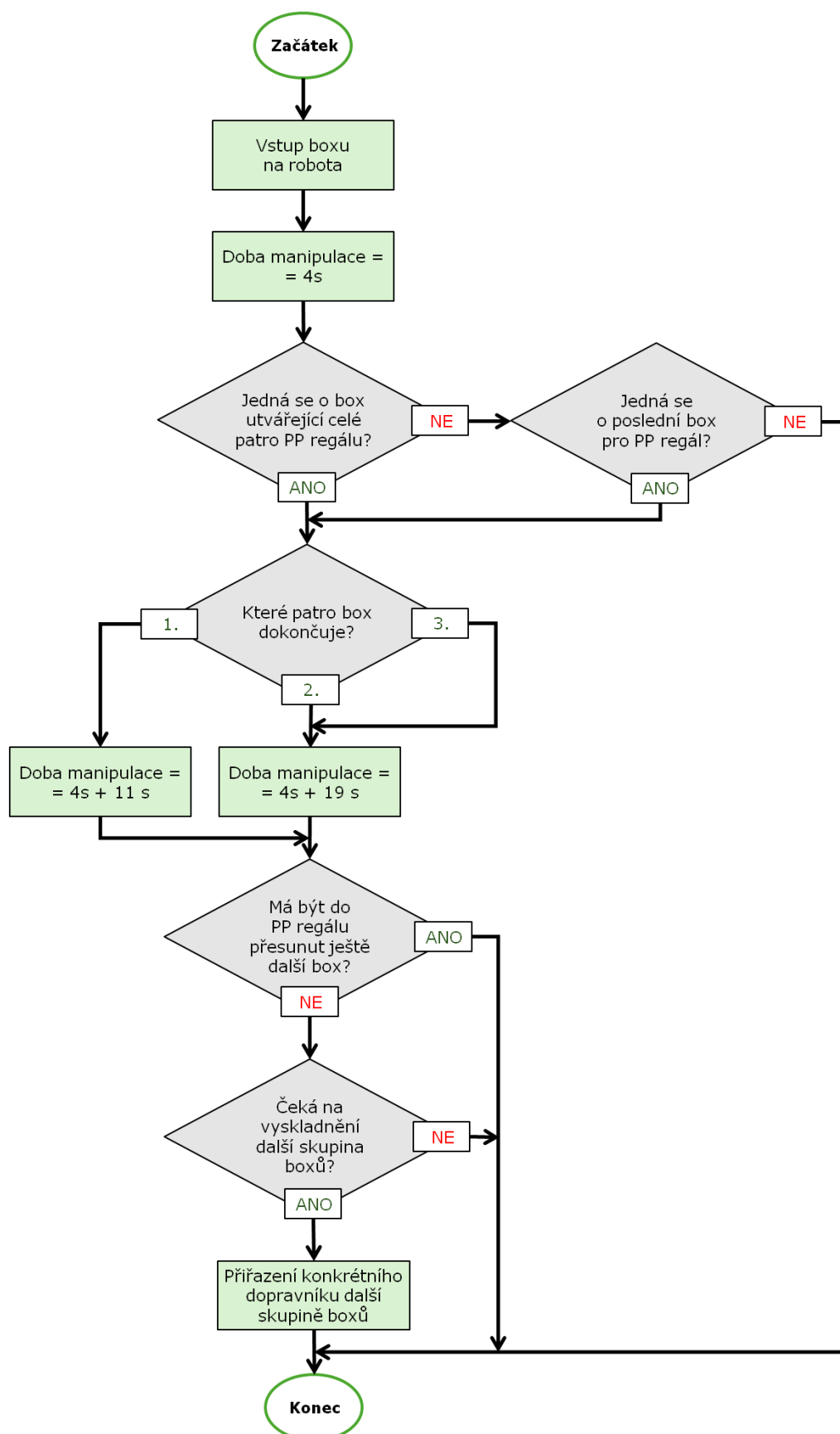
PŘÍLOHA 1 TRASY DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ



PŘÍLOHA 2 LOGIKA ROZHODOVÁNÍ PŘI VOLBĚ VÁHY VE SKLADU

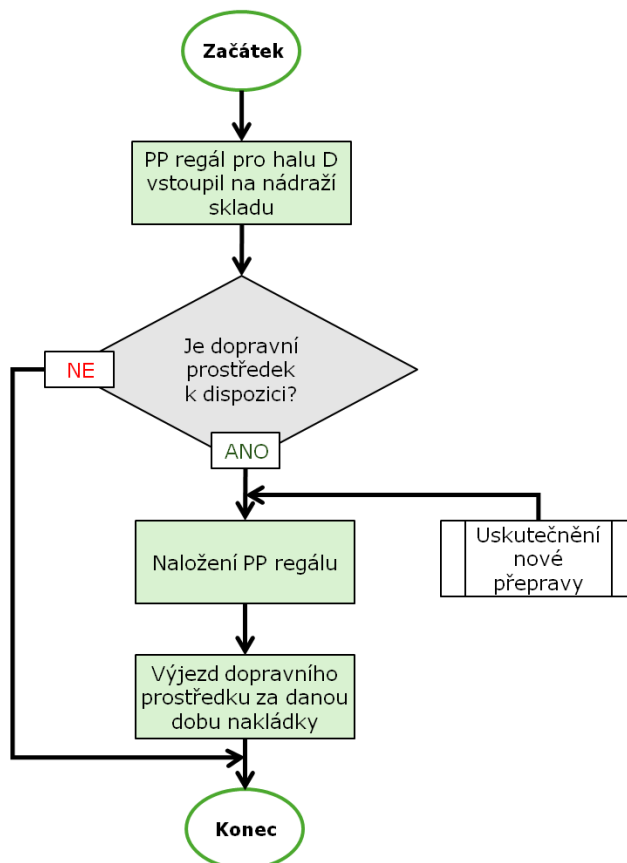


PŘÍLOHA 3 LOGIKA VÝPOČTU DOBY MANIPULACE NA ROBOTU

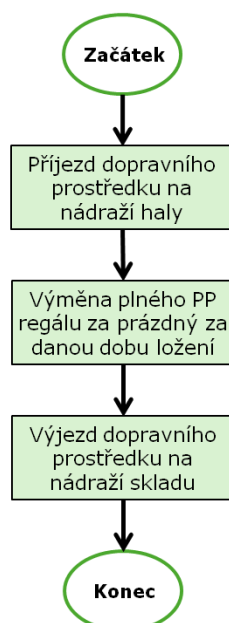


PŘÍLOHA 4 LOGIKA ŘÍZENÍ VYSOKOZDVIŽNÉHO VOZÍKU PŘI PŘEPRAVĚ PP REGÁLŮ

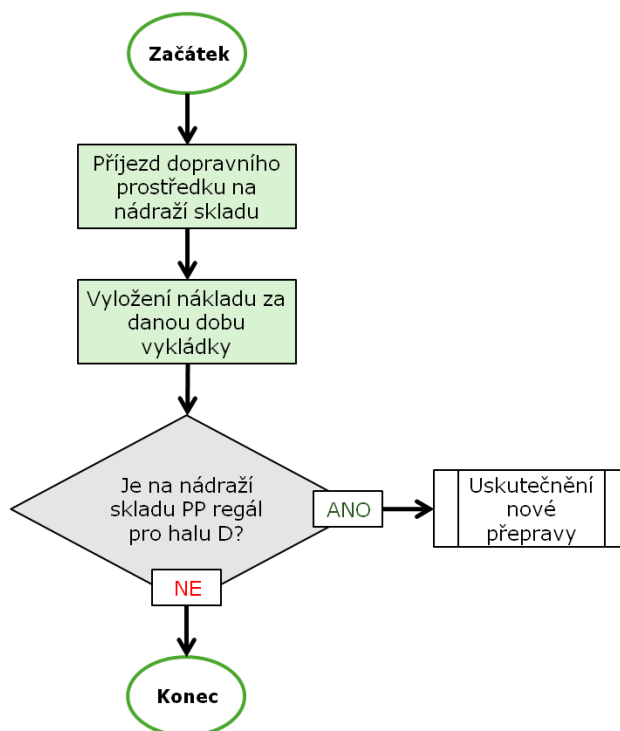
Nakládka PP regálu na nádraží skladu:



Nakládka a vykládka PP regálu na nádraží haly:

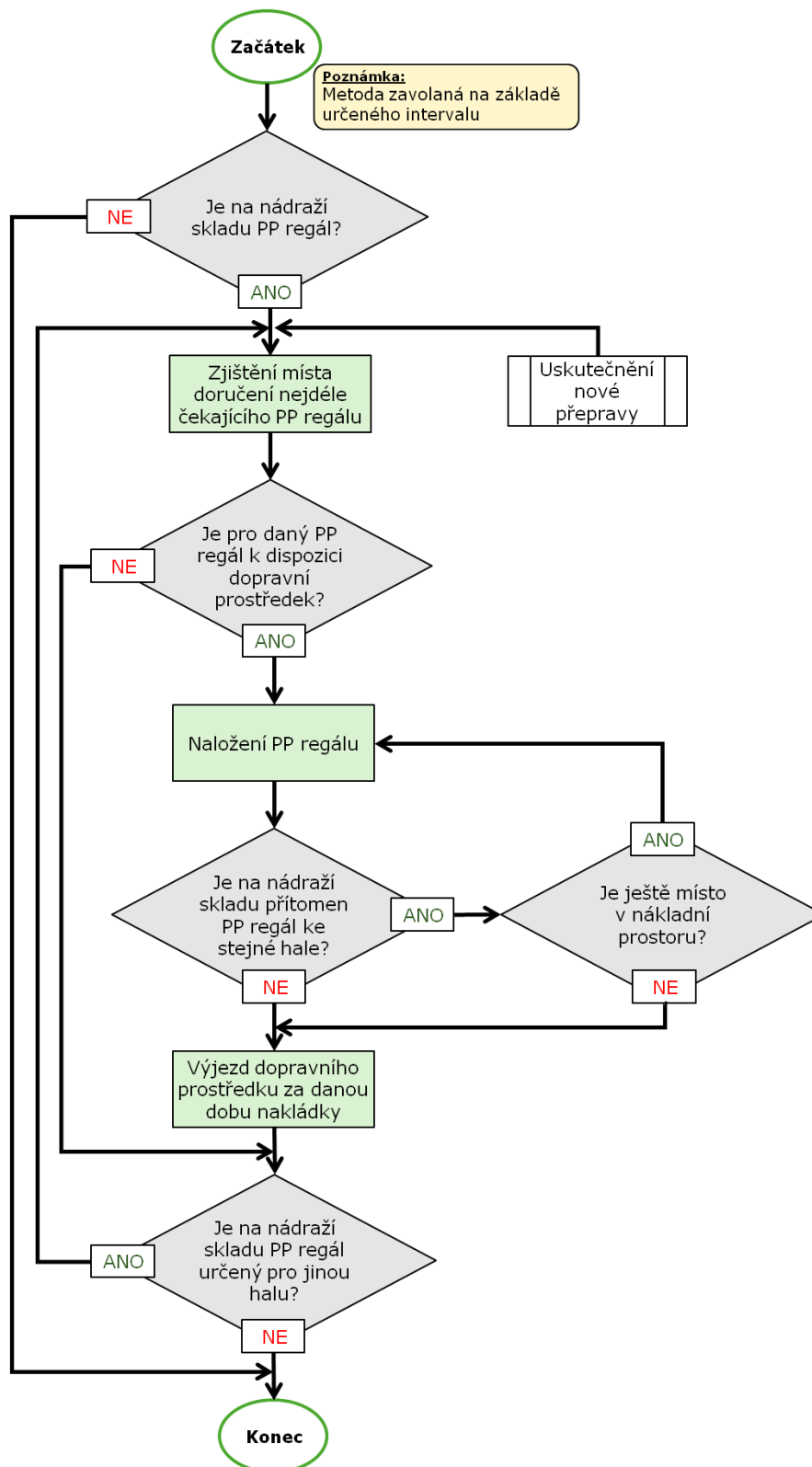


Vykládka PP regálu na nádraží skladu:

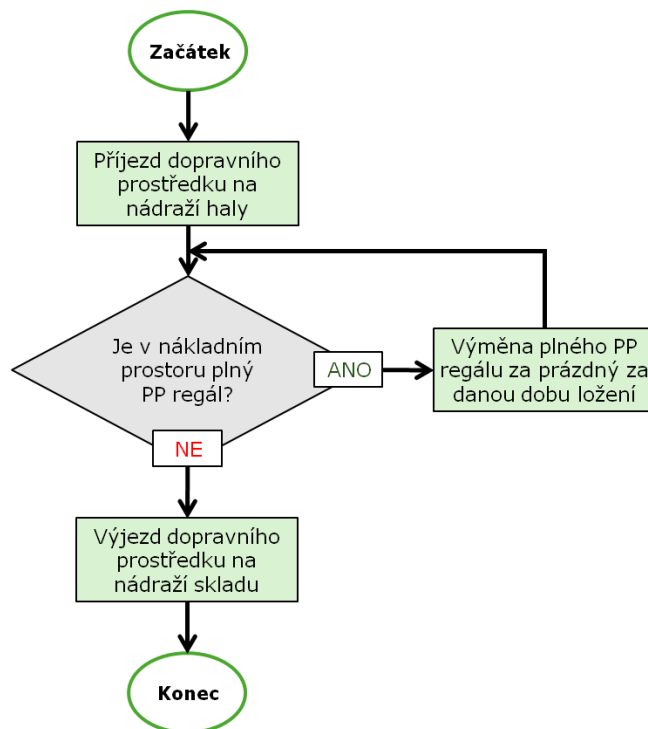


PŘÍLOHA 5 LOGIKA ŘÍZENÍ TAHAČE S PŘÍVĚSY A NÁKLADNÍHO AUTOMOBILU PŘI PŘEPRAVĚ PP REGÁLŮ

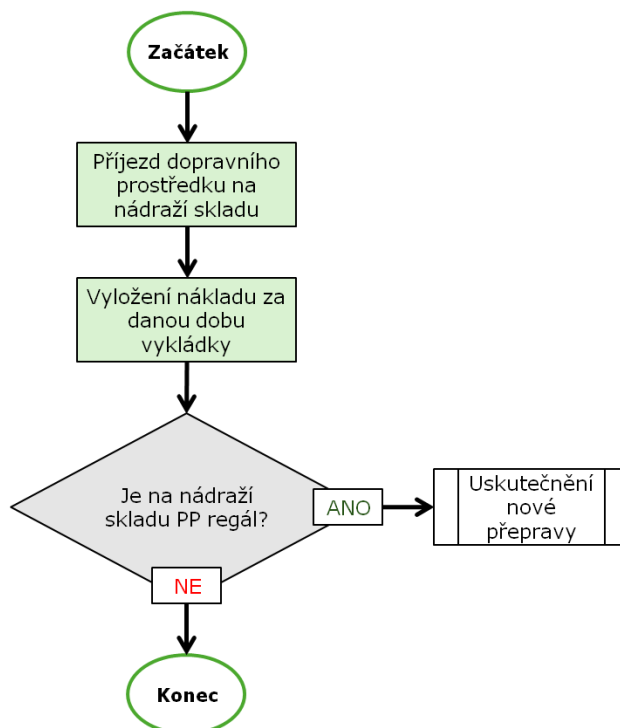
Nakládka PP regálů na nádraží skladu:



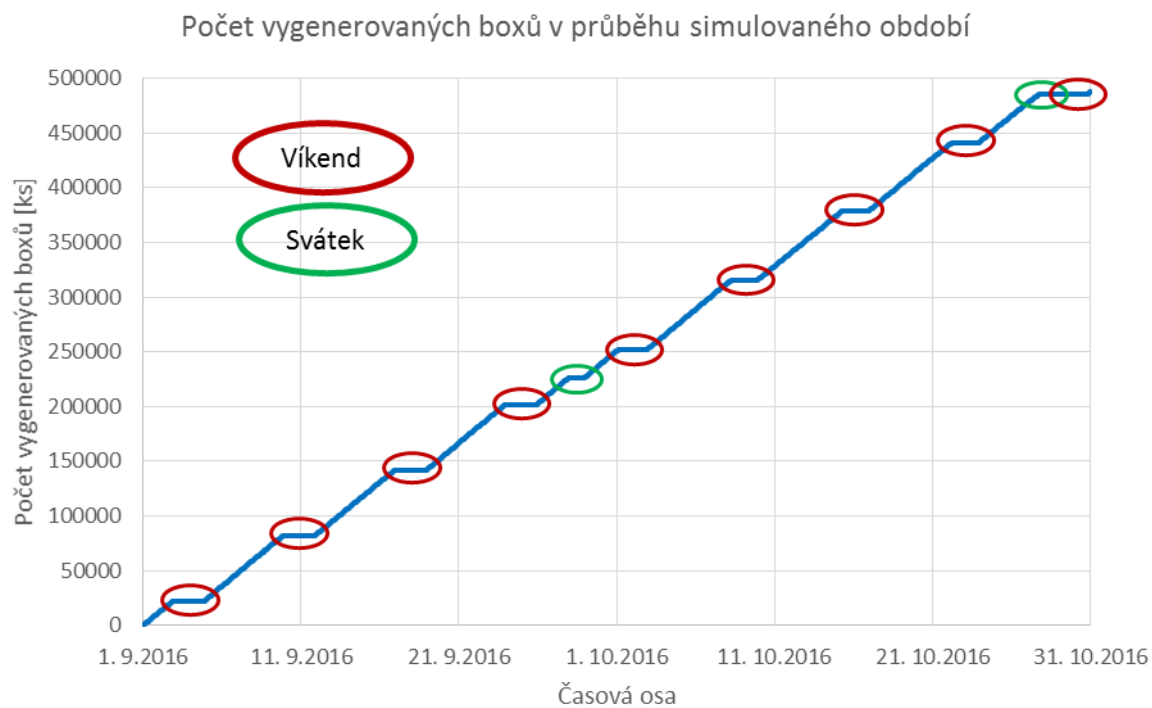
Nakládka a vykládka PP regálů na nádraží haly:



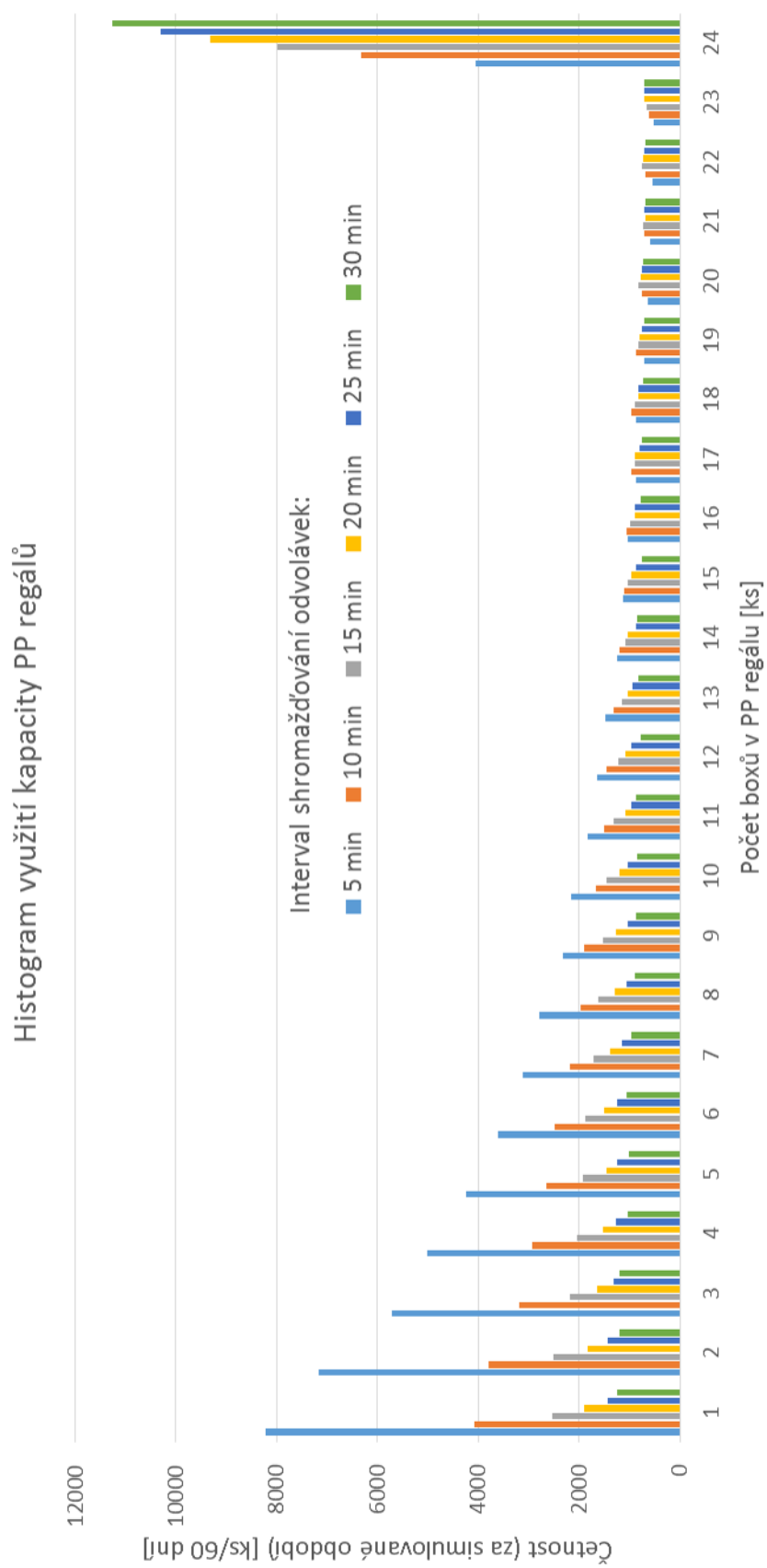
Vykládka PP regálů na nádraží skladu:



PŘÍLOHA 6 KUMULATIVNÍ NÁRUST VYGENEROVANÝCH BOXŮ

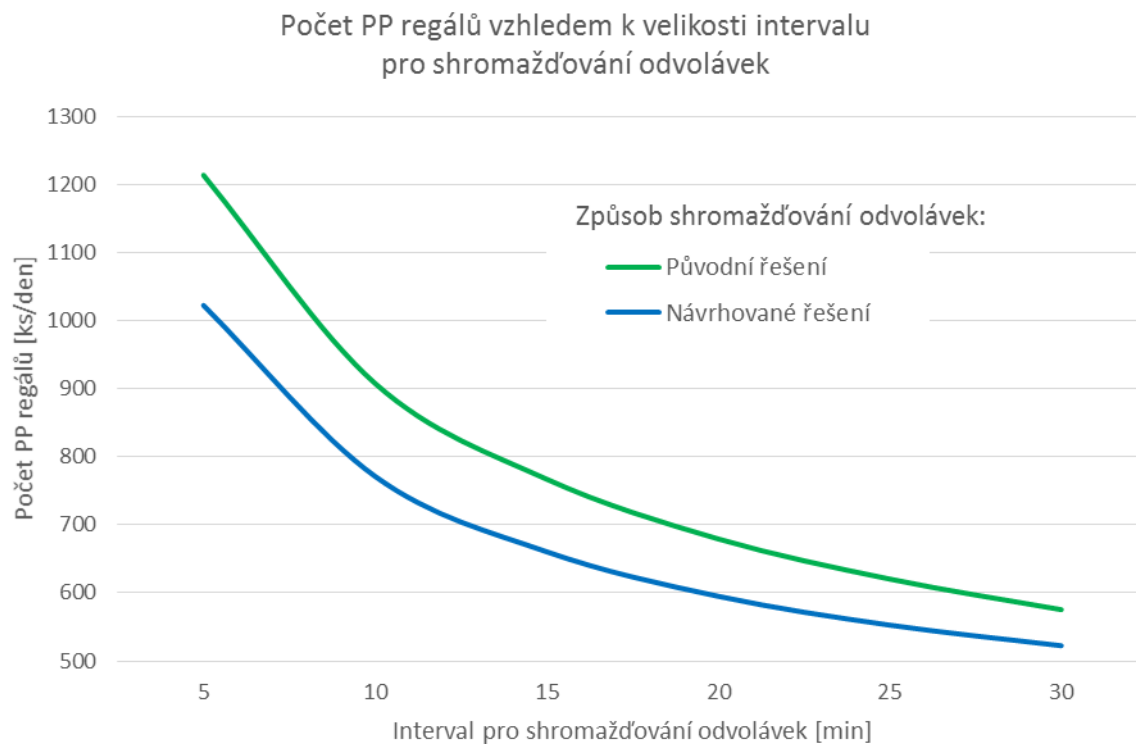


PŘÍLOHA 7 VYUŽITÍ KAPACITY PP REGÁLŮ



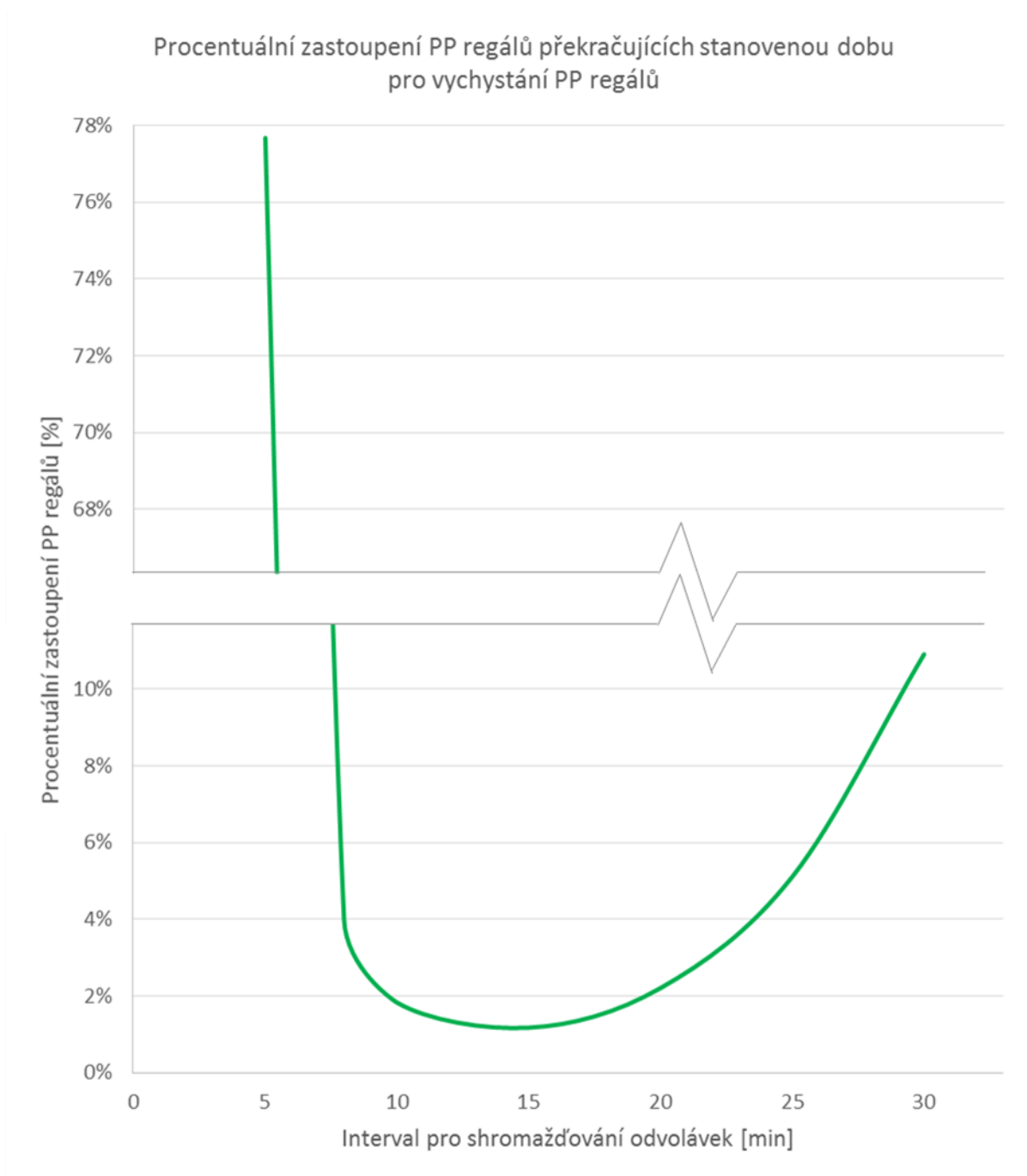
PŘÍLOHA 8 POČET PP REGÁLŮ VZHLEDEM K VELIKOSTI INTERVALU PRO SHROMAŽĎOVÁNÍ ODVOLÁVEK

Grafická závislost:



Tabulka hodnot:

| Způsob shromažďování odvolávek | Interval pro shromažďování odvolávek [min] | | | | | |
|--------------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| Původní řešení | 1214 | 908 | 767 | 679 | 620 | 575 |
| Návrhované řešení | 1022 | 771 | 660 | 595 | 553 | 522 |
| Rozdíl | 192 | 137 | 107 | 84 | 67 | 53 |

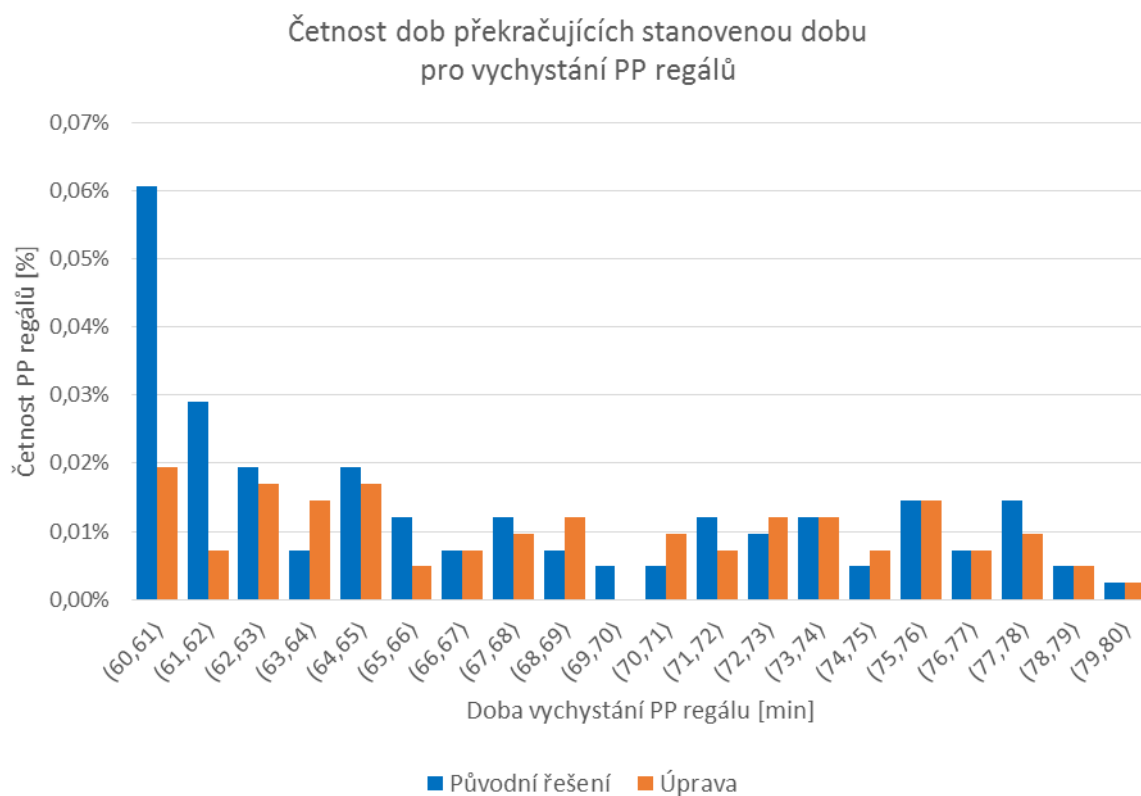
PŘÍLOHA 9 PROCENTUÁLNÍ ZASTOUPENÍ PP REGÁLŮ PŘEKRAČUJÍCÍCH STANOVENOU DOBU VYCHYSTÁNÍ

PŘÍLOHA 10 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ PŘI PŘIDÁNÍ DALŠÍHO DOPRAVNÍKU PRO VÝDEJ

Porovnání výsledků:

| Vyhodnocované data | Původní řešení | Další dopravník pro výdej |
|--|-------------------|---------------------------|
| Celkový počet vychystaných PP regálů | 41271 ks / 60 dní | 41271 ks / 60 dní |
| Počet vychystaných PP regálů překračujících 1 hodinu | 110 ks / 60 dní | 81 ks / 60 dní |
| Procentuální zastoupení vychystaných PP regálů překračujících 1 hodinu | 0,27 % | 0,20 % |

Porovnání četností dob překračujících stanovenou dobu pro vychystání PP regálů:



PŘÍLOHA 11 POČET PŘIPRAVENÝCH PP REGÁLŮ NA NÁDRAŽÍ SKLADU

