

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Katedra materiálů a technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Inovativní technologie pro zlepšení interních logistických
procesů

Autor práce: **Bc. Dominik Panoš**
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Řeřicha Ph.D.**

2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Dominik PANOŠ**
Osobní číslo: **E22N0012P**
Studijní program: **N0713A060011 Materiály a technologie pro elektrotechniku**
Téma práce: **Inovativní technologie pro zlepšení interních logistických procesů**
Zadávací katedra: **Katedra materiálů a technologií**

Zásady pro vypracování

1. Popište metody a nástroje pro optimalizaci logistických procesů výrobní firmy.
2. Zmapujte inovativní technologie, pro možné využití ke zlepšení interních logistických procesů.
3. Zpracujte případovou studii implementace těchto inovativních technologií do výrobní firmy.
4. Stanovte kritické body a popište opatření pro jejich řešení.
5. Zhodnoťte očekávaný přínos navržených řešení.

Rozsah diplomové práce: **40-60**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**

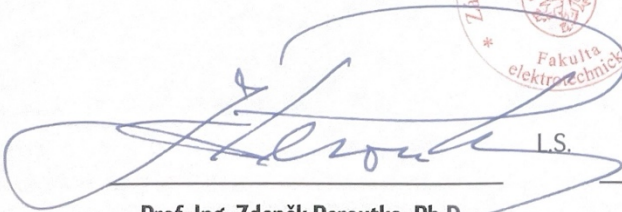
Seznam doporučené literatury:


1. PAKSOY, T., KOCHAN, C., ALI, S.: Logistics 4.0 – Digital Transformation of Supply Chain Management. Taylor & Francis Group. 2020. ISBN: 9780429327636.
2. SIXTA, J., ŽIŽKA, M.: Logistika – Metody používané pro řešení logistických projektů. Computer Press. Praha. 2020. ISBN: 9788025125632.
3. GROS, I., BARANČÍK, I., ČUJAN, Z.: Velká kniha logistiky. VŠCHT Praha. 2016. ISBN: 978-80-7080-952-5.
4. RUSHTON, A., CROUCHER, P., BAKER, P.: The Handbook of Logistics and Distribution Management: Understanding the Supply Chain. Kogan Page. 2022. ISBN: 978-1398602069.
5. JUROVÁ, M.: Výrobní a logistické procesy v podnikání. Expert. Praha. 2016. ISBN: 978-80-247-5717-9.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Řeřicha, Ph.D.**
Katedra materiálů a technologií

Datum zadání diplomové práce: **7. října 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2024**




Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan


Prof. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 6. října 2023

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá základními a inovativními metodami interní logistiky ve spojitosti s následnou implementací do reálného provozu. Konkrétně je práce rozdělena do 3 hlavních částí, které popisují samotnou teorii interní logistiky, následnou možnou implementaci do reálného provozu a vyhodnocení efektivity použitých metod. Pro tuto práci bylo využito projektu výrobní linky se skladovým systémem s následnou optimalizací. Jsou zde popsány veškeré náležitosti tvorby projektu jako výběrový proces společnosti, prototypování systému, implementace systému, komunikace mezi společnostmi, optimalizace systému a vyhodnocení výstupních dat. Informace o tomto projektu byly průběžně diskutovány s projektovým manažerem společnosti A, která dodávala implementovaný systém a zároveň se specialistou procesu společnosti B odpovědného za průběh implementace. Záměrem této diplomové práce bylo celkové pochopení implementace interních logistických metod a technologií v reálném provozu a zároveň vyhodnocení zprostředkovaných dat pro společnost B s důrazem na návratnost a výkonnost celého projektu.

Klíčová slova

Interní logistické procesy, optimalizace, digitalizace, WMS, automatizace, kardex, dodavatelský řetězec

Abstract

The diploma thesis focuses on the fundamental and innovative methods of internal logistics in connection with the subsequent implementation into real production. The thesis is structured into 3 main parts, which describe the theory of internal logistics, the subsequent possible implementation in real operation and the evaluation of the efficiency of the used methods. For this thesis, a project of production line with a warehouse system with following optimization was used. All essentials of the project development are described, such as company selection process, system prototyping, system implementation, inter-company communication, system optimization and output data evaluation. Informations about this project were discussed continuously with the project manager of company A, which provided the implemented system, and also with the process specialist of company B responsible for the implementation process. The overall intent of this thesis was to understand the implementation of internal logistics methods and technologies in real operations with also evaluating the mediated data for Company B with an focus on the profitability and performance of the entire project.

Key Words

Internal logistics processes, optimization, digitalization, WMS, automatization, kardex, supply chain

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ZČU č. SGS-2024-008 „Materiály a technologie pro elektrotechniku“. Chtěl bych vyjádřit velké díky vedoucímu mé diplomové práce Ing. Tomáši Řeřichovi Ph.D. za ochotu, věnovaný čas a pozitivní přístup při celém procesu vedení práce. Zároveň bych chtěl poděkovat společnosti za umožnění spolupráce a poskytnutí užitečných informací do budoucího profesního života.

Obsah

Úvod	- 1 -
1 Logistika a její význam pro optimalizaci výrobních procesů.....	- 2 -
2 Metody a nástroje pro optimalizaci logistických procesů výrobní firmy	- 4 -
2.1 Metody optimalizace skladování a výdeje.....	- 4 -
2.1.1 Milk run	- 4 -
2.1.2 Kanban.....	- 5 -
2.1.3 Pick-by-light	- 6 -
2.1.4 Pick-by-voice.....	- 7 -
2.1.5 Pick-by-scan	- 8 -
2.2 Metody řízení toku materiálu	- 8 -
2.2.1 Just in time (JIT).....	- 8 -
2.2.2 Just in sequence (JIS)	- 9 -
2.3 Metody procesního zlepšování a plánování.....	- 10 -
2.3.1 Value stream mapping (VSM).....	- 10 -
2.3.2 Material flow planning (MFP).....	- 11 -
3 Možnosti inovativních technologií ke zlepšení interních logistických procesů.....	- 13 -
3.1 Automatizované transportní systémy	- 13 -
3.1.1 AGV (automatizovaná řízená vozidla).....	- 13 -
3.1.2 AMR (autonomní mobilní roboti)	- 14 -
3.1.3 Dopravníky	- 15 -
3.2 Skladovací a manipulační systémy.....	- 16 -
3.2.1 Kardex	- 16 -
3.2.2 Autostore	- 18 -
3.3 Softwarové nástroje	- 18 -
3.3.1 Digitální dvojče	- 19 -
3.3.2 Visual recognition (VISR).....	- 19 -
4 Případová studie – Projekt společnosti A.....	- 21 -
4.1 Představení společnosti.....	- 22 -
4.2 Perspektiva implementace společnosti B	- 23 -
4.2.1 Proces výběru vhodného kandidáta pro implementaci.....	- 23 -
4.2.2 Komunikace a prototyp projektu	- 23 -
4.2.3 Mezifáze Implementace.....	- 23 -
4.2.4 Cíle projektu	- 24 -
4.2.5 Benefity implementace	- 24 -
4.3 Časový plán projektu	- 24 -

4.4	Popis funkce automatizovaného systému	- 27 -
4.5	Fáze optimalizace	- 29 -
5	Vyhodnocení dat.....	- 31 -
5.1	Rychlost pohybu materiálu.....	- 31 -
5.1.1	Ruční systém.....	- 31 -
5.1.2	Neoptimalizovaný systém.....	- 34 -
5.1.3	Optimalizovaný systém	- 38 -
5.2	Porovnání propustností systémů.....	- 42 -
5.3	Finanční stránka projektu	- 42 -
5.3.1	Práh zisku projektu	- 43 -
5.3.2	ROI (Return on investment)	- 44 -
5.4	Kritické body případové studie.....	- 45 -
	Zhodnocení a závěr.....	- 47 -
	Literatura	- 49 -
	Přílohy	I

Seznam symbolů a zkratk

Značka	Popisek
<i>JIT</i>	Just in time
<i>JIS</i>	Just in sequence
<i>VSM</i>	Value stream mapping
<i>MFP</i>	Material flow planning
<i>TPS</i>	Toyota production systems
<i>SW</i>	Software
<i>HW</i>	Hardware
<i>QVSM</i>	Quality value stream mapping
<i>AGV</i>	Automated guided vehicles
<i>AMR</i>	Autonomous mobile robots
<i>VISR</i>	Visual recognition
<i>MES</i>	Manufacturing execution systems
<i>SOP</i>	Start of production
<i>FIFO</i>	First in first out
<i>ERP</i>	Enterprise resource planning
<i>WMS</i>	Warehouse management system
<i>ROI</i>	Return on investment
<i>GTP</i>	Goods to person

Úvod

V dnešní éře neustálého technologického pokroku je třeba vývoje i v sektoru efektivní správy logistických procesů. Tento vývoj lze urychlit porozuměním teorie principu efektivních metod v oblasti logistiky, která je v této práci rozebrána. Zároveň je práce zaměřena také na optimalizační metody interní logistiky, která je nedílnou součástí logistiky jako takové. Interní logistika je jedna z klíčových součástí celé logistiky, jelikož zaručuje včasný, efektivní a spolehlivý tok zboží ke konečnému zákazníkovi.

Diplomová práce je rozdělena na rešeršní a praktickou část. Rešeršní část práce se zaměřuje na význam a členění logistiky jako takové a její důležitost při optimalizaci logistických procesů. Následně jsou v rešeršní části práce rozebrány metody a nástroje, které jsou běžně využívány pro optimalizaci a efektivní běh společnosti. Jsou zde popsány jednotlivé metody, které se využívají k optimalizaci skladování a výdeje materiálu, řízení toku materiálu a metody procesní optimalizace. Vybrané metody jsou pouze určitý výběr z širokého spektra, které jsou běžně využívány ve společnostech po celém světě.

Poslední část rešerše je věnována inovativním technologiím ke zlepšení interních logistických procesů. Tato část je rozdělena na automatizované transportní systémy, skladovací systémy a softwarové nástroje. Znovu je zde uveden pouze určitý výběr technologií z mnoha dalších, které slouží jako základní přehled o možnostech optimalizace procesů.

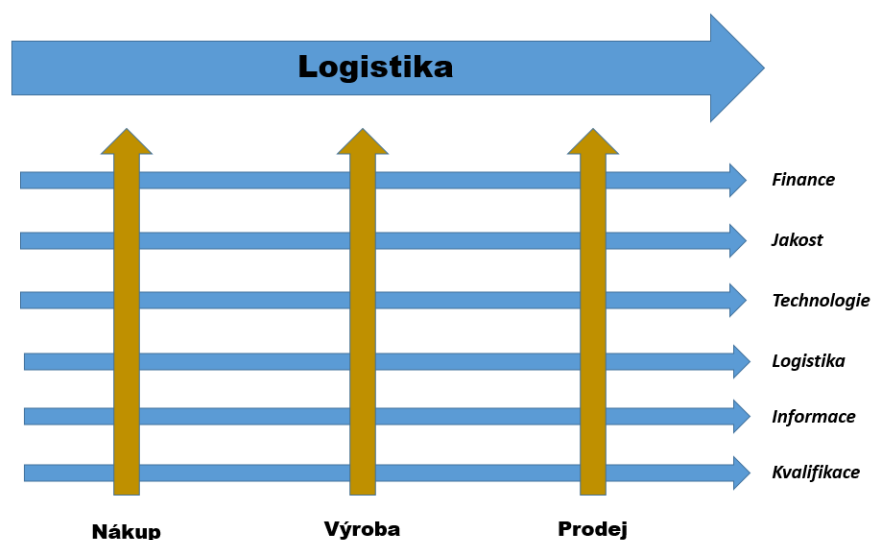
Praktická část práce se týká rozboru projektu dvou společností, které jsou z důvodu citlivé povahy dat anonymizovány. Tato část práce je rozdělena na část procesní a část s vyhodnocením poskytnutých dat.

V procesní části jsou rozebrány veškeré náležitosti tvorby projektu zahrnující výběrové řízení, časový plán, komunikaci mezi společnostmi, řešení vzniklých problémů, optimalizační procesy a vytyčení cílů implementace. Dále je zde popsán celý proces funkce implementovaného Warehouse management systému.

V části s vyhodnocením poskytnutých dat je věnována pozornost analýze vyexportovaných dat z implementovaného SW od společnosti A. Význam analýzy dat ukazuje potřebu správného posouzení relevantnosti dat a potřebu optimalizace vytvořeného systému. Zároveň je zde dopočtena předpokládaná návratnost projektu, což je klíčový ukazatel úspěchu nebo neúspěchu celého projektu.

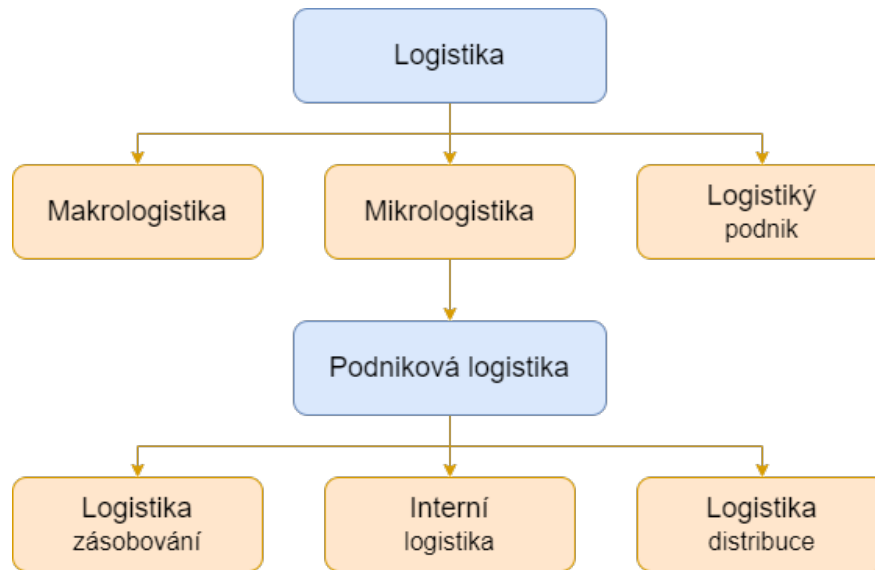
1 Logistika a její význam pro optimalizaci výrobních procesů

Logistika je oblast řízení toků zboží, informací a služeb od jejich zdroje přes výrobu, distribuci až po konečného zákazníka. Logistika se zabývá optimalizací těchto toků, aby byly co nejefektivnější a nejúčinnější, s cílem snížit náklady a zlepšit kvalitu služeb pro zákazníka. V oblasti logistiky se řeší otázky skladování, přepravy, plánování a řízení toků zboží a informací, výběr dodavatelů, řízení rizik a mnoho dalších faktorů znázorněných na Obr. 1. Logistika je pak důležitou součástí jak výrobních a obchodních procesů, tak i distribučních řetězců a má vliv na celkovou konkurenceschopnost a ziskovost podniku. [1]



Obr. 1 Základní schéma toků logistického systému (Převzato z [2])

Logistika se dá rozdělit na základní části viz Obr. 2. Makrologistika se věnuje strategickému plánování a rozhodování ohledně využití zdrojů a řízení toků zboží a informací v rámci velkých ekonomických oblastí, jako jsou například národní ekonomiky nebo mezinárodní obchod. Mikrologistika se věnuje řízení procesů v rámci podniku, jako jsou například nákup, skladování, přeprava, distribuce a plánování, aby byly co nejefektivnější a nejúčinnější. V této oblasti se zkoumají a implementují inovativní technologie a procesy, které mohou pomoci zlepšit tok zboží a informací a snížit náklady. Mikrologistika se také zabývá vztahy s dodavateli a zákazníky, s cílem zajistit co nejlepší kvalitu a efektivitu služeb. Logistický podnik se specializuje na poskytování logistických služeb pro jiné podniky nebo zákazníky. Logistický podnik může mít různé formy, jako jsou například dopravní společnosti, přepravní firmy, skladovací a distribuční centra, nebo i kombinace více logistických služeb v jednom podniku. [1]



Obr. 2 Základní dělení logistiky (Překresleno z [1])

Interní logistika se týká řízení a optimalizace interních materiálových toků a logistických procesů ve společnosti. Zahrnuje pohyb, skladování a manipulaci se zbožím a materiály v rámci výrobního, skladového nebo distribučního zařízení. [1]

Interní logistika hraje klíčovou roli v moderním řízení dodavatelského řetězce a stala se klíčovým konkurenčním faktorem v mnoha průmyslových odvětvích. Jedním z hlavních úkolů interní logistiky je zajistit efektivní a včasný tok materiálu, který může zvýšit produktivitu, snížit náklady a zvýšit spokojenost zákazníků. Aby toho společnosti dosáhly, musí navrhnout a zavést dobře organizovaný a automatizovaný systém, který integruje různé technologie, jako je automatická identifikace a sběr dat, robotika, systémy řízení skladu a systémy řízení dopravy. Automatizované systémy pro manipulaci s materiálem mohou snížit potřebu manuální práce a zvýšit přesnost a rychlost operací. Využití dat v reálném čase navíc může společností pomoci identifikovat úzká místa a neefektivitu a přijímat rozhodnutí založená na datech, která zlepšují výkonnost. Vzhledem k tomu, že zákazníci očekávají rychlejší a spolehlivější dodací lhůty, musí být společnosti schopny zvládnout zvýšený objem objednávek a zásilek. Tato skutečnost vyžaduje flexibilní a agilní intralogistický systém, který se dokáže přizpůsobit měnícím se potřebám zákazníků a trendům na trhu. Dalším důležitým aspektem interní logistiky je důraz na udržitelnost a odpovědnost k životnímu prostředí. Společnosti mohou snížit svou uhlíkovou stopu optimalizací materiálových toků, snížením množství odpadu a zavedením energeticky účinných technologií, což pomáhá chránit životní prostředí. Zřetel na udržitelnost může vést k úspoře nákladů a zlepšení pověsti značky. [3]

2 Metody a nástroje pro optimalizaci logistických procesů výrobní firmy

Metody a nástroje pro optimalizace logistických procesů jsou pomocné metody, které zvyšují efektivitu společnosti v konkurenčním prostředí. Do metod pro optimalizaci logistických procesů lze zařadit určité standardizované postupy, které zjednodušují a zefektivňují výstup celého procesu. Mezi tyto metody lze zařadit např. milk run, kanban, JIT (Just in time), JIS (Just in sequence), VSM (Value stream mapping), MFP (material flow planning) a další. Zmíněné metody a nástroje nemusí být implementovány jednotlivě, naopak lze docílit pomocí spojení těchto metod k synergickému efektu.

2.1 Metody optimalizace skladování a výdeje

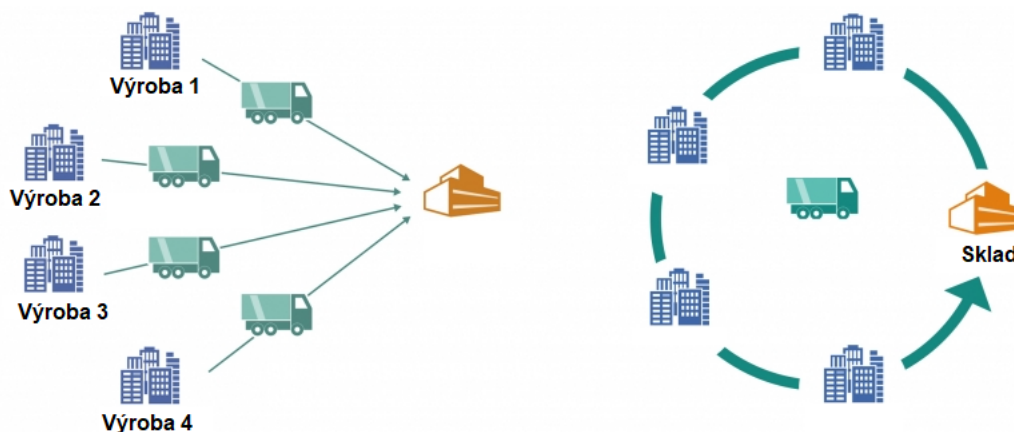
Metody optimalizace skladování a výdeje je skupina metod zaručující efektivní správu zásob a distribuce zboží. Jednotlivé metody byly postupně vyvinuty v globálních společnostech k zefektivnění a optimalizaci spolehlivosti dodavatelského řetězce.

2.1.1 Milk run

Milk run je jedna z metod optimalizace výrobního logistického procesu, která staví na zvýšení efektivity distribuce zboží nebo materiálů na požadovaná místa v konkrétním čase. Celý proces metody Milk run začíná především na plánování potřebného množství materiálu na daných stanovištích a následném doplňování zásob podle plánovaných kritérií. Zásoby se distribuují pomocí nákladních vozidel pravidelně ve stanovených časových intervalech po předem definované trase, aby se zamezilo jakémukoli zpoždění nebo nemožnosti dodávky materiálu. [4]

Metoda milk run má dle [4] několik hlavních důvodů implementace:

- 1) Snížení nákladů na dopravu pomocí konsolidace dopravy veškerého materiálu do požadované destinace znázorněno na obr. 3
- 2) Zlepšení přesnosti dodávky zboží na bázi JIT
- 3) Zkrácení celkové ujeté vzdálenosti vozidla s materiálem a tím i zmenšení nákladů na výrobu zboží
- 4) Snížení rizika zhoršení kvality materiálů od dodavatelů.
- 5) Snížení ekologického dopadu díky efektivnějšímu plánování tras.



Obr. 3 Individuální přeprava materiálu (nalevo) a metoda přepravy materiálu Milk run (napravo)

Studie společnosti DecisionBrain ukazuje, že metoda Milk run má pozitivní dopad na logistické systémy v průmyslu. Studie se zaměřila na optimalizaci dopravních tras, seskupování objednávek a 3D vizualizaci přepravy dílů pro různé velikosti dopravních prostředků v rámci logistického systému společnosti Toyota. Implementace nového systému vedla ke snížení nákladů na přepravu o 10 %. Navíc byl zaveden plánovací algoritmus, díky kterému se čas nutný na plánování dopravy snížil z 2,5 dne na pouhou 1 hodinu. To ukazuje, že Milk run metoda může být úspěšně využita v průmyslových logistických systémech a přinést výrazné ekonomické výhody. [5]

V roce 2016 vědci z Beijing Wuzi univerzity vyvinuli algoritmus, který využívá metodu Milk run k optimalizaci dopravních tras a zatížení nákladních vozidel pro dopravu automobilových součástí od 8 různých dodavatelů do centrálního skladu. Původní systém vyžadoval 8 různých tras a celková vzdálenost mezi dodavateli a skladem byla 106 km. Nový algoritmus však umožnil snížit počet tras na pouhé 3 a zkrátit celkovou vzdálenost na 97 km. [6]

2.1.2 Kanban

Kanban metoda se nevyužívá pouze v řízení výroby, ale i ke správě projektů, které se zaměřují na vývoje softwaru, hardwaru a dalších. Princip je založen na tzv. “pull principu”, tedy dodávání materiálu až na základě aktuální poptávky, tedy Kanban karty. Tyto karty představují práci, která má být provedena, a tabule, na které se umísťují, slouží k vizualizaci stavu práce a toku úkolů. Na každé kartě je informace o činnosti, jako je název úkolu, popis, časový rámeček a zodpovědná osoba, což je zobrazeno na obr. 4. Tyto karty jsou umístěny na Kanbanových tabulích, kde vizuálně ukazují aktuální stav procesu a signalizují potřebu dalšího materiálu nebo práce. [1]

Kanban také umožňuje nastavení limitů pro množství práce, které se může v jednotlivých fázích procesu nacházet, aby se minimalizovalo plýtvání a maximalizovalo využití zdrojů. Nevýhodou je návaznost systému, kdy při výpadku jedné části vzniká časová prodleva celého procesu. [7]

Popis produktu				Produkt ID	
Kanban karta				1/3	
Množství	250	Doba dodání	6 dní	Datum objednání	
Dodavatel	Název dodavatele			Datum dodání	
Vyžádáno	Jméno zaměstnance	Karta 2 ze 3			
		Lokace	Regál R8		

Obr. 4 Kanban karta (Překresleno z [1])

Případová studie zkoumala dopady implementace metody Kanban, přičemž identifikovala faktory, které brání malým a středním Malajským podnikům zavést tuto metodu. Byli dotazováni tři manažeři pracující v odvětví výrobního automobilového průmyslu v Malajsi. Všichni se shodli, že implementace Kanban metody snížila výrobní náklady, chybovost i množství odpadu. Navíc dokázala zpřehlednit tok materiálu a optimalizovat rozložení výrobních závodů. Faktory, které bránily implementaci Kanban metody, byly především nedostatečná účast dodavatelů, absence zlepšovacích systémů a nedostatečná angažovanost vrcholového managementu. [8]

2.1.3 Pick-by-light

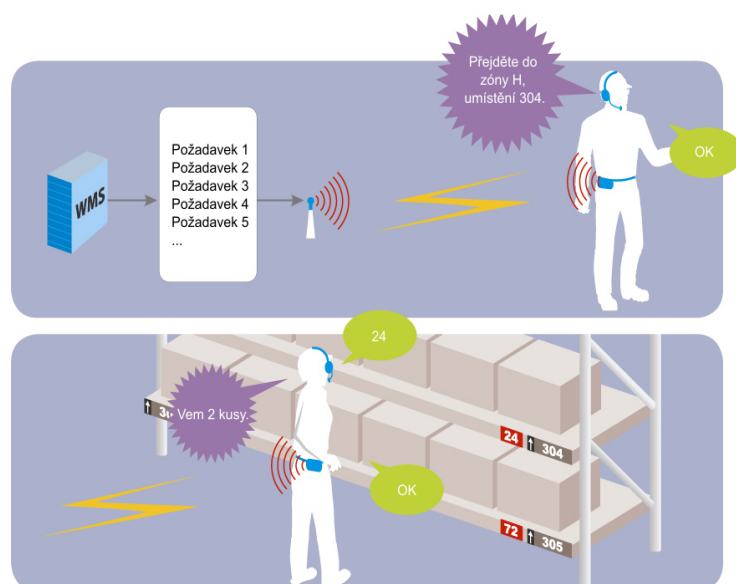
Pick by light je technologie používaná při sběru zboží ve skladech a distribučních centrech ke zlepšení efektivity a přesnosti plnění objednávek. Systém se skládá z řady světelných displejů, které jsou instalovány nad úložnými místy, a systému řízení skladu, který řídí světla. Když je objednávka přijata, počítačový systém odešle signál na příslušný displej, který se rozsvítí a ukáže položku, kterou je třeba vybrat. Pracovník jde následně na místo, potvrdí výběr stisknutím tlačítka nebo naskenováním čárového kódu a světlo zhasne. Pokud dojde k nedostatku výrobků v zásobníku, pracovník může upravit vybrané množství pomocí tlačítek. Systémy Pick by light umožňují rychlý a efektivní výběr zboží, zlepšují přesnost plnění objednávek a snižují počet chyb. Tyto systémy jsou často používány v logistických centrech, distribučních centrech, e-commerce a dalších zařízeních. [9]

□ Put-to-light

K výše zmíněné vychystávací metodě Pick-by-light lze využívat také zaskladňovací metodu Put-to-light, která pracuje na podobné světelné indikaci pozic materiálu. Předměty jsou sekvenčně seřazeny, přičemž se pracovníkovi následně rozsvítí pouze světla, která mu ukazují, kam má předměty uskladnit. Alternativně se může pracovníkovi rozsvítit světlo indikující polohu uskladnění po tom, kdy dojde k naskenování kódu na předmětu.[10]

2.1.4 Pick-by-voice

Pick by voice je jedna z dalších technologií používaných při sběru zboží v logistických a distribučních centrech, která umožňuje pracovníkům řídit sběr zboží pomocí hlasových příkazů namísto používání papírových seznamů nebo přenosných terminálů. Takzvaní sběrači produktů nosí sluchátka s mikrofonom a příslušným přenosným elektronickým zařízením, pomocí kterého komunikuje s WMS systémem. Po obdržení instrukcí o umístění položky dojde pracovník k určenému místu, sdělí do mikrofону číslo místa, aby potvrdil správnost pozice. Systém mu následně zobrazí, jaké množství materiálu má převzít. Po tomto procesu jde znovu na indikované místo systémem. Pick by voice zvyšuje produktivitu a přesnost sběru, jelikož umožňuje pracovníkům efektivněji najít a vybrat správné zboží. Tato technologie také umožňuje sběračům pracovat bez potřeby fyzicky držet papírové seznamy nebo terminály, což zvyšuje jejich pohodlí a snižuje míru chybovosti. [11]



Obr. 5 Metoda pick by voice (Překresleno z [11])

System Pick by voice byl úspěšně implementován do společnosti Musgrave, která patří mezi jednu z největších irských velkoobchodů s potravinami. Dosavadní způsob plnění zakázek zakládal na papírovém seznamu, podle kterého pracovník skladu kompletoval zakázku. System byl zdlouhavý s velkou chybovostí, a proto se společnost rozhodla investovat do Pick by voice systému. Nový systém dokázal optimalizovat cestu pracovníkovi, správnost složení zakázky se zvýšila na 99,8 % a produktivita stoupla o 9 %.

[12]

2.1.5 Pick-by-scan

Pick-by-scan je efektivní metoda pro proces nachystávání výrobků a produktů nahrazující papírové dokumentování o zásobách ve skladu. Hlavní výhoda této metody je absence neoptimální papírové dokumentace, což souvisí s digitalizací sledování veškerých zásob. Celá metoda pracuje na kompaktním terminálu s implementovanou čtečkou čárových kódů, který pracovníka navádí krok pokroku k jeho pracovní činnosti. Pracovníkovi s terminálem při jeho obchůzce skladu přichází povely o umístěných předmětech ve skladu skrze displej, přičemž jeho úloha je následně naskenovat kód a přenést zásilku na požadované místo. Tento terminál může zpracovávat data do vlastní paměti nebo může být propojený se systémem ERP, což je software, který společnosti využívají na propojení veškerých dennodenních aktivit jako účetnictví, risk management, správa dodavatelského řetězce a další. [13]

2.2 Metody řízení toku materiálu

Metody řízení toku materiálu jsou intralogistické metody zaměřující se na efektivní přesun materiálu od dodavatelům k zákazníkovi za určitých požadavků. JIT a JIS jsou obdobné metody, které zaručují efektivní přesun materiálu v určených časových intervalech a správném pořadí.

2.2.1 Just in time (JIT)

Just in Time (JIT) je metoda řízení výroby a zásobování, která se zaměřuje na minimalizaci zásob a nákladů spojených s jejich udržováním tím, že jsou materiály, součástky nebo hotové výrobky dodávány na správné místo, ve správném množství a čase. Při zavedení této metody v logistice dojde k navýšení nákladů na přepravu, jelikož je potřeba vypravit více transportních zařízení s materiálem s menším množstvím materiálu, ale zároveň dojde ke snížení nákladů z důvodu potřeby menších skladovacích prostor. Z tohoto důvodu

může být tato metoda kontraproduktivní, pokud dojde k chybnému výpočtu před samotnou implementací. [1]

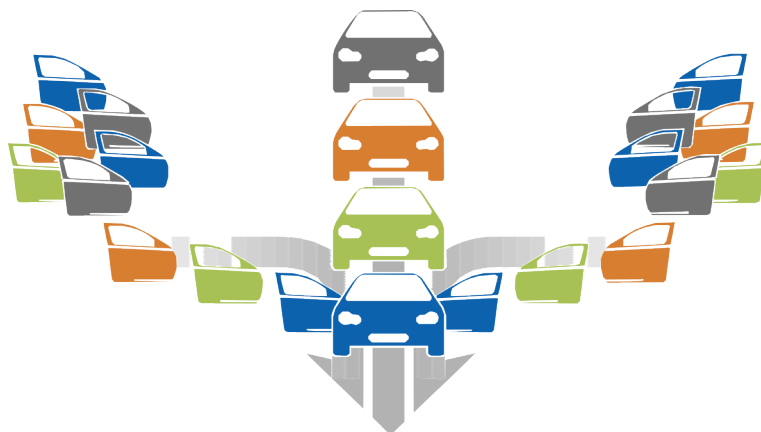
Článek z univerzity WIT Solapur, Indie, ukazuje, že metoda JIT není úspěšná pouze v průmyslu. Článek popisuje inovativní přístup ke zkrácení čekací doby poutníků v Pandharpuru, významném poutním centru v Indii, pomocí metody JIT. Poutníci byli dříve nuceni čekat až 8 hodin ve frontě během poutního období. Pro zkrácení této doby byl implementován rezervační systém, který byl přístupný na webových stránkách správce objektu. Tento systém umožňoval poutníkům zkontrolovat vytíženost památky v daném dni a hodině a vybrat si méně frekventovaný čas. Díky tomuto systému se čekací doba snížila o téměř 7 hodin. To ukazuje, že metoda JIT může být úspěšně použita v různých odvětvích, včetně cestovního ruchu. [14]

2.2.2 Just in sequence (JIS)

Just in Sequence (JIS) je strategie řízení výroby a zásobování, která je podobná JIT, ale věnuje se dodávkám materiálů v určitém pořadí, které odpovídá požadavkům na další fázi výroby. Tato metoda se obvykle používá v průmyslové výrobě automobilů, kde se jednotlivé součástky dodávají přesně v pořadí, jak je potřebuje výrobní linka.

Například, když si koncový zákazník objedná vozidlo, které má specifické vlastnosti, jako například určitou barvu karoserie, interiéru a další příslušenství, výrobce automobilů koordinuje dodávky materiálů tak, aby se dostaly na výrobní linku v pořadí, které odpovídá pořadí, ve kterém jsou potřebné k výrobě vozidla, což lze schématicky vidět na Obr. 6. Každý materiál je identifikován pomocí speciálního kódu, aby bylo jasné, na jakou pozici ho zařadit. Zároveň kód slouží pro zpětnou dohledatelnost, což je nezbytnou součástí monitoringu sekvence. Následně je materiál doručen na výrobní linku, kde je použit k montáži vozidla v pořadí, které odpovídá pořadí jejich použití v procesu výroby. Vzhledem k tomu, že dodavatelé doručují díly ve větších množstvích, musí být definován proces nakládání a vykládání dílů, aby nedošlo k změně pořadí dílů. Tímto způsobem je výrobní linka schopna vyrábět každé auto s jinými specifikacemi. [15]

Pokud jsou součástky dodávány v přesném pořadí, minimalizuje se potřeba skladovat a manipulovat s velkým množstvím součástek, což vede ke snížení nákladů a zvýšení efektivity výrobního procesu. JIS ovšem vyžaduje pečlivou koordinaci a spolupráci mezi výrobními linkami, kontrolou kvality a dodavateli součástek.



Obr. 6 Just in sequence metoda (Převzato z [15])

Případové studie společnosti Inpixon popisuje implementaci JIS systému výrobní společnosti INTRANAV, která je výrobcem zemědělských strojů. Do výrobní společnosti dodali software, který umožnil kontrolovat materiálový tok a vytvořit v reálném čase digitální dvojče. Mezi kroky nutnými k implementaci systému patřilo označení veškerých dílů a strojů ve výrobě a dále zaměření polohy parkovacích míst vozíků, aby systém dokázal rozpoznat pohyb vozíku. Došlo-li ke špatnému seřazení dílů, systém tuto událost rozpoznal a zaznamenal ji v databázi. Výsledkem bylo zlepšení kvality, nižší počet chyb ve výrobě a časová redukce výrobního procesu. [16]

2.3 Metody procesního zlepšování a plánování

Tyto metody jsou zaměřeny na zlepšování a optimalizaci procesních činností v organizaci za účelem zvýšení výdělečnosti, snížení nákladů a celkové zvýšení efektivity. Jednotlivé metody jsou využity jako nástroje pro identifikaci nedostatků a úzkých míst, které lze zdokonalit.

2.3.1 Value stream mapping (VSM)

VSM je jednoduchý a efektivní nástroj, který se využívá pro praxi štíhlé výroby např. v automotive průmyslu. Využívá k vizualizaci a renovaci nastávajících materiálových toků, což vede ke zvýšení efektivity v organizačním směru. Implementace VSM je relativně flexibilní. Běžný postup implementace probíhá dle [17] ve 3 krocích:

- 1) Sestavení produkčního schématu, který kontinuálně indikuje aktuální stav materiálu a operacích, ke kterým je materiál využíván.
- 2) Sestavení plánu budoucího stavu k identifikaci hlavních příčin plýtvání nebo pozdržení materiálu.
- 3) Vyhodnocení na základě sesbíraných informací.

□ Quality value stream mapping (QVSM)

QVSM je pokročilejší metoda navazující na VSM přidáním dalších specifických faktorů souvisejících s kvalitou, čím umožňuje systematicky vizualizovat, analyzovat a řešit problémy s kvalitou v rámci procesního řetězce. Obecně je kladen největší důraz na kontrolu kvality, potažmo na stav odpovídající kvality v poměru s náklady. [18]

Jak už bylo řečeno, tato metoda je vysoce flexibilní na implementaci, ale v zásadě je dle [18] tvořena 4 základními kroky:

- 1) Přípravná fáze sestávající ze selekce výrobků k analýze kvůli snížení složitosti a vytyčením cílů dané analýzy, což vede k redukci defektů a nákladů
- 2) Analytická fáze zahrnující vizualizaci materiálového toku, kalkulace indikátorů efektivity a defektů
- 3) Zhodnocení výskytu defektů, vyhodnocení všech kvalitativních metrik a vizualizace celého QVSM schéma
- 4) Implementace QVSM a vyhodnocení efektivity nástroje.

2.3.2 Material flow planning (MFP)

MFP je metoda plánování materiálového toku zaměřující se na možnost kontinuálních vylepšení v průběhu existence firmy, a právě proto je tato metoda je dlouhodobě efektivní, jelikož se historicky vytvořené procesy a měnící se požadavky trhu stále vyvíjí. Dlouhodobě efektivní je také zejména z důvodu, že se metoda nezaměřuje pouze na samotný materiálový tok, ale také na zdroje, které při něm využívají, jako je energie, voda a další. Při plánování zahrnuje veškeré logistické procesy od příjmu zboží po jeho výdej, respektuje infrastrukturu, prostory, logistické vybavení a budoucí požadavky zákazníků. Za předpokladu dodržení všech aspektů MFP lze na výstupu dlouhodobě, a především udržitelně, očekávat minimalizaci nákladů na transport, redukci chyb na pracovišti a strukturovanost procesu. [19][20]

Pro samotný návrh se využívá softwaru, do kterého se načtou všechna kvantitativní data ohledně materiálového toku, při kterém jsou zohledněny i vedlejší a podpůrné procesy. Následně lze celý intralogistický systém v 3D softwaru vizualizovat a vyhodnotit nejlepší variantu sloužící jako základ pro vybrání nejvhodnějšího řešení. [20]

□ Výzkum využívající MFP model

Ve studii na Loughbourské univerzitě metodu MFP popsali do 4 fází, které slouží jako algoritmus při implementaci této metody. MFP model je dle [21] rozdělen do 4 fází:

1) Popsání rozsahu výrobního procesu

Tato fáze zahrnuje definování funkce systému, jeho limitů a samotných vyrobených produktů

2) Inventarizace materiálového toku

Vyhrazení a charakterizace potřebných materiálů k výrobě produktu, definování vstupních a výstupních dat pro jednotlivé procesy materiálového toku a sběr dat kvalitativních i kvantitativních výstupů celého materiálového toku

3) Hodnocení materiálového toku

Vyhodnocení nasbíraných dat z výstupu a určení efektivity

4) Možnosti na zlepšení

Nalezení úzkých míst v procesu a vytvoření alternativního zlepšení. Průběžné modelování alternativních možností pro zlepšení.

Výsledkem aplikace metody MFP byly nalezeny prokazatelné nedostatky ve výrobním systému. Následně SW ukázal, na které klíčové kvalitativní a kvantitativní aspekty materiálového toku se mají zaměřit. Na základě těchto zjištění byl vyvinut optimalizační nástroj, který poskytuje podporu při rozhodování o změnách v intralogistickém systému.
[21]

3 Možnosti inovativních technologií ke zlepšení interních logistických procesů

Zlepšení dosavadních intralogistických technologií lze dosáhnout několika možnými způsoby, a to i pomocí implementace ve formě hardwaru nebo softwaru. [22]

Pod implementací hardwaru lze uvést například AMR (Automatizované mobilní roboty), AGV (Automatizovaná řízená vozidla), válečkové dráhy, kardex nebo Autostore. Tato intralogistická řešení jsou implementována hlavně ke zlepšení řízení a správy skladů společnosti.

Pod implementací softwaru ke zlepšení interních logistických procesů lze zařadit především neuronové sítě, které mohou sloužit k predikci materiálových toků. Další možností je implementace digitálního dvojčete, která spolupracuje právě se zmíněnými neuronovými sítěmi pro načtení potřebných dat.

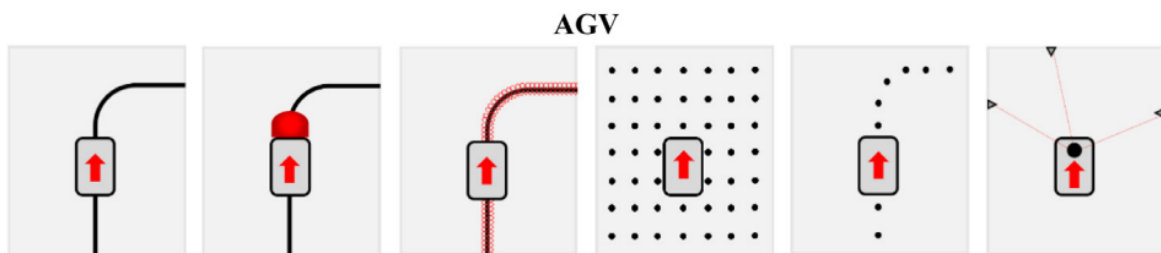
3.1 Automatizované transportní systémy

Automatizované transportní systémy jsou technologie zaručující autonomní pohyb materiálu nebo zboží ve skladech. Tyto systémy zvyšují efektivitu logistických procesů, minimalizují potřebu zásahu lidského operátora. Důležitý je také aspekt zkrácení času přepravy a tím i zvýšení výkonu celého podniku.

3.1.1 AGV (automatizovaná řízená vozidla)

AGV je starší typ automatizovaných robotů, který se primárně využívá jako nástroj ke zlepšení efektivitu a redukce potřeby lidských operátorů ve výrobním, skladovacím a logistickém řetězci.

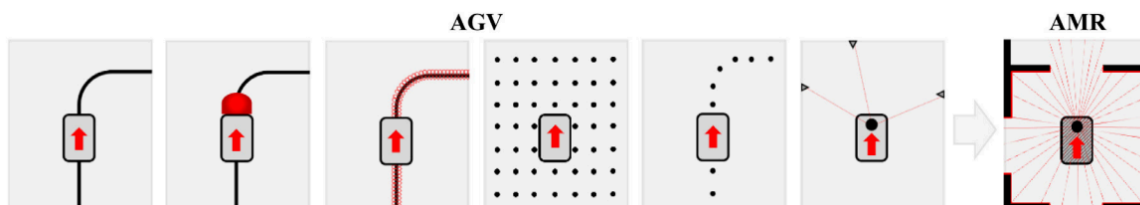
AGV pracuje na základě předem nakonfigurovaného SW, což znamená, že se robot nemůže autonomně rozhodovat při nahodilých jevech, které se mohou vyskytnout v průběhu přemístování nákladu. Pohyb pomocí předem nakonfigurovaného SW lze AGV nastavit pomocí mechanického, optického, indukčního, kartézského, inerciálního nebo laserového navádění (znázorněno na Obr. 7). Možnosti navádění se v průběhu let vyvíjely, což vyústilo k vytvoření více flexibilního robota AMR, který pracuje na prostorovém navádění pomocí umělé inteligence. [23]



Obr. 7 Možnosti vedení AGV (Převzato z [23])

3.1.2 AMR (autonomní mobilní roboti)

AMR je druh robota, který nemá předem nakonfigurované ovládání řízení. AMR využívá naprogramovaných algoritmů a strojového učení s dopomocí senzorů k dynamickému pohybu bez infrastruktury (viz mechanické čáry, které využívají AGV roboti). Samotné pohyby a následné rozhodování o pohybu robota dopomáhají laserové systémy a čidla pomocí kterých indikuje svoji polohu v místnosti (zobrazené na obr. 8). Již zmíněné strojové učení dopomáhá robotovi reagovat adekvátně na nenadálé situace při provozu a zároveň tím dochází k učení a zefektivnění samotného robota na další možné překážky, které se mohou vyskytnout. Právě díky flexibilitě v ohledu adaptivního chování lze robota využít v mnoha odvětvích, které se nemusí týkat pouze přepravy materiálu ve skladu. Předností AMR je možnost práce v malých stísněných prostorech, a proto se mohou se využívat například v nemocničních zařízeních, letištích, hotelech a dalších. [23][24]



Obr. 8 Rozdíl mezi pohybem AGV a AMR (Převzato z [23])

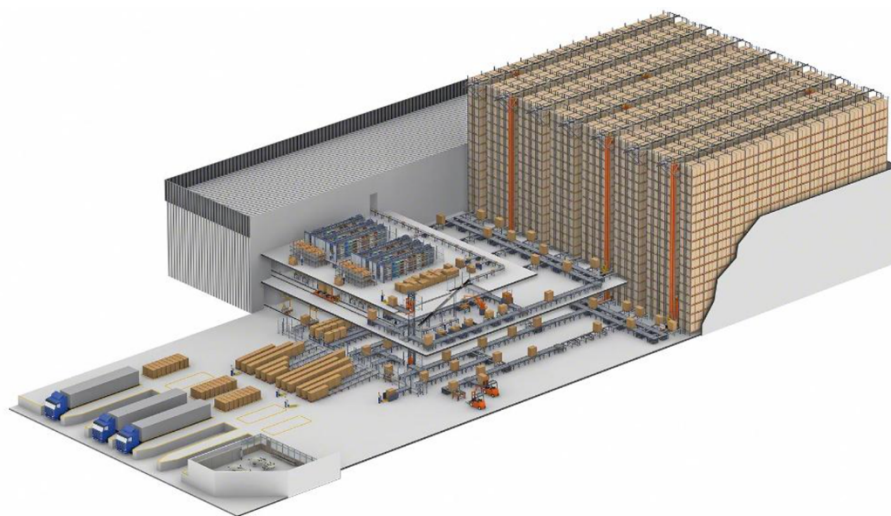
Klíčové výhody, které autonomní mobilní roboti poskytují pro zefektivnění materiálového toku ve směru interní logistiky můžeme dle [23] považovat:

- 1) Kooperativní provoz: Schopnost AMR spolupracovat s lidskými operátory nebo s dalšími roboty simultánně.
- 2) Jednoduchou integrace: AMR lze využít bez potřeby úpravy skladů nebo místností ve kterých bude pracovat.
- 3) Spolehlivost: Po poruše nebo selhání robota lze robota vyměnit za jiného se stejnou konfigurací bez potřeb náhrady lidských operátorů.

- 4) Zvýšení produktivity: Robot dokáže pracovat nepřetržitě s vysokou efektivitou a malým rizikem na selhání.
- 5) Škálovatelnost: Možnost zvyšování počtu AMR bez potřeby strukturálních změn.

3.1.3 Dopravníky

Dopravníky jsou jedny z hlavních prvků interní logistiky a spolu s optimalizací skladu řeší efektivní třídění a výdej materiálu (Znázorněno na Obr. 9). Dopravníkový systém slouží k plně automatizované manipulaci materiálů za nízké pořizovací náklady a díky své flexibilitě umožňuje dostupnost pro téměř jakýkoliv druh skladu. Zároveň lze pomocí dopravníků propojit různá pracoviště k rychlejšímu předávání výrobků mezi jednotlivými stanovišti. Autonomní dopravníkové systémy jsou jedny z nejvíce využívaných intralogistických metod pro sklad, a to především z důvodu flexibility implementace do téměř jakéhokoliv požadovaného prostředí. Důležité je zmínit jejich autonomní řízení, jelikož dopravní moduly jsou schopny samy řídit rychlost a třídění materiálu na aktuální přepravní a třídící kapacitě. Jednotlivé přepravní jednotky spolu komunikují a předávají si procentuální zatížení a výkonnost, které zohledňují ve všech probíhajících procesech při pohybu materiálu ze skladu až po koncové stanoviště. [25][26]



Obr. 9 Dopravníkový systém ve skladu s následným roztřídění a distribucí (Převzato z [25])

Závěsné dopravníky

Závěsné dopravníky jsou alternativa k běžnému dopravníkovému systému. Využívají se zejména pro přesun materiálu, u kterého je požadována vertikální přeprava, což u běžných dopravníkových systémů není možné. Jsou také využívány v případech, kdy je při přepravě zásadní kritérium ochrana samotného produktu nebo materiálu, jelikož jsou přepravované bez kontaktu se zemí (Obr. 10). Výrobci také uvádí, že bezkontaktnost přepravovaného

materiálu se zemí zaručuje snížení nákladů na úklid a kontaminaci. Dalším možným důvodem implementace závěsných dopravníků ve firmách s velkými sklady jsou nízké náklady na provoz, jelikož jsou tyto dopravníky obvykle poháněny méně motory než běžné dopravníkové systémy. Obvykle se technologie závěsných a běžných dopravníků kombinuje podle potřeby přepravy. [27][28]



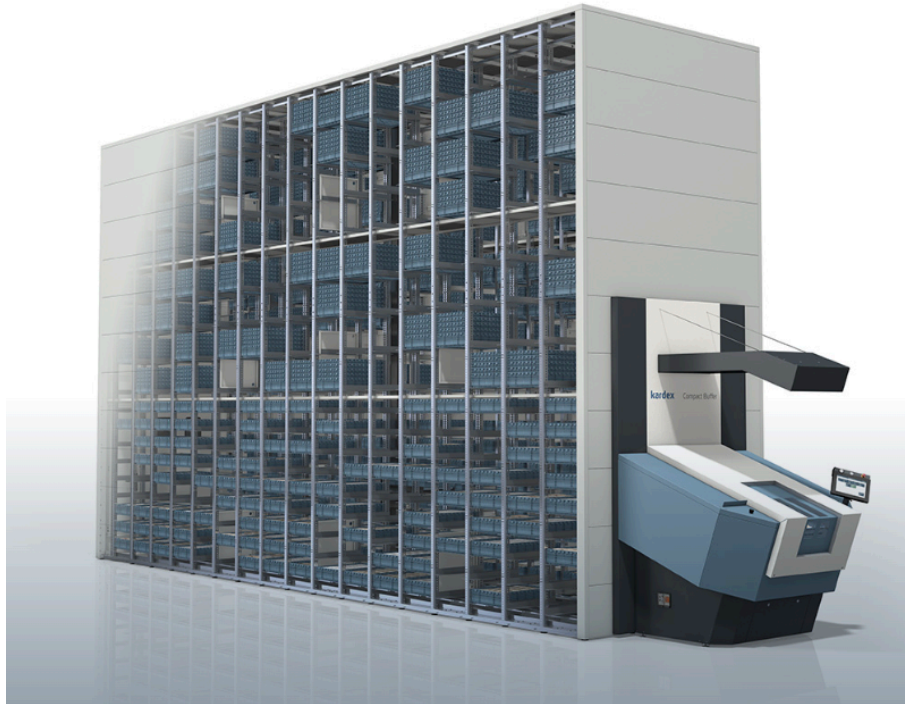
Obr. 10 Závěsné dopravníky (Převzato z [28])

3.2 Skladovací a manipulační systémy

Skladovací a manipulační systémy představují možnosti automatizovaných systémů, které slouží k zaskladnění a následnou manipulaci se zbožím nebo materiálem. Pomocí těchto technologií se maximalizuje využití prostoru ve skladech, minimalizuje se lidská práce a šetří čas potřebný k manipulaci s materiálem.

3.2.1 Kardex

Kardex je uzavřený automatizovaný skladový systém určený pro efektivní správu materiálu. Základ konstrukce tvoří skladovací jednotka se skladovacími regály do kterých je přivážen materiál výtahovým systémem, který pohybuje s daným materiálem uskladněným v regálech. Další součástí kardexu je automatizovaný manipulační systém ve formě robota nebo dopravníkového systému, který manipuluje s materiálem mezi skladovacími jednotkami. Mimo automatizovaného systému lze využít i lidských operátorů, kteří pomocí metody pick-to-light mohou sami vyskladňovat materiál. Celý systém řídí SW kardexu pomocí kterého se monitorují a zadávají veškeré operace ve skladu. [29][30]



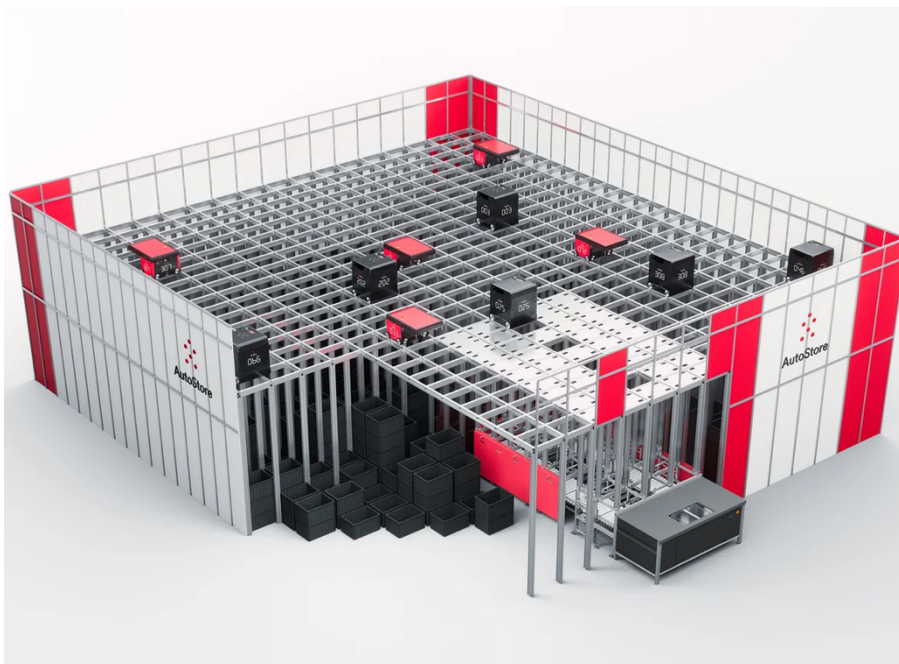
Obr. 11 Skladovací kardex systém (Převzato z [29])

Regály jsou konfigurovány pro optimální využití prostoru a jsou schopny uchovávat různé typy materiálů, jako jsou palety, bedny, krabice a další. Výtahy jsou navrženy tak, aby se snadno přizpůsobily různým velikostem a hmotnostem položek a umožňují rychlé a přesné doručení materiálů na požadované stanice. Kardex využívá principu Goods-to-Person (GTP), což znamená, že roboti přivádějí materiály k pracovníkům na stanovištích, kde se materiály zpracovávají. Kardex moduly mohou být vybaveny LED navigátory, které zlepšují přehlednost uskladnění materiálu pro pracovníka. Jednou z klíčových výhod kardexu je jeho vysokokapacitní skladování. Systém lze také snadno škálovat podle potřeb podniku, což z něj činí cenově dostupné řešení pro rostoucí podniky. Další výhodou kardex skladovacího systému je jeho software, který umožňuje sledování a monitorování zásob v reálném čase. Systém může generovat zprávy o úrovni zásob, pohybu položek a splnění objednávek, poskytující cenné informace pro optimalizaci provozů podniků. [29][30]

Kardex, stejně jako ostatní metody a technologie intralogistiky, lze využít jako nadstavba nebo doplněk k další implementované metodě. Ve společnosti Rohde & Schwarz využili metody Pick by voice se systémem kardex pro skladové řízení s SMD součástkami, ke snížení časových prostojů obsluhy a efektivnějšího využití místa ve skladu. Synergický efekt těchto dvou intralogistických metod docílil zaplnění kardex systému na 90 až 95 %, zvýšení průchodu materiálu o 50 % a snížení chybovosti provozu na minimum. [31]

3.2.2 Autostore

Autostore je flexibilní automatizovaný systém pro skladování a výdej zboží zaručující efektivní využití skladového prostoru. Samotný systém se skládá z několika na míru skladu vyrobených komponent, a to z mřížky, robotů, zásobníků, řídicí jednotky a portů (znázorněno na Obr. 12). Výroba na míru je v tomto případě velmi výhodná, jelikož lze využít každý centimetr skladového prostoru. [32]



Obr. 12 Schématické zobrazení skladovacího systému autostore (Převzato z [33])

Autostore je velmi efektivní nejen díky optimalizovanou mechanickou částí, ale také díky možnosti sledování pohybu materiálu. Tento automatizovaný sklad se během pohybu materiálu nebo výrobků průběžně optimalizuje a to způsobem, že se často poptávané položky automaticky umísťují do horních zásobníků mřížky, čímž se zkracuje i přístupová doba. Co se týče porovnání autostore s ostatními automatizovanými skladovacími systémy, lze ho uvést jako nejrychlejší systém doplňování s ohledem na jeho malé rozměry v porovnání s konkurencí. [32]

3.3 Softwarové nástroje

Softwarové nástroje představují možnost optimalizace interní logistiky pomocí počítačového výkonu. Konkrétně lze představit rozšířenou realitu a neuronové sítě, které jsou využity díky AR brýlím, kamerového systému a výpočetních zařízení. Po implementaci těchto technologií do firemních systémů může zlepšit jednotlivé procesy a zvýšit konkurenceschopnost s firmami ve stejném oboru.

3.3.1 Digitální dvojče

Digitální dvojče lze popsat jako virtuální repliku reálného systému, který pracuje na základě načtených dat. Tyto data mohou být využita k simulaci a optimalizaci potřebného celku. Spojením technologie virtuální nebo rozšířené reality a digitálního dvojčete lze vytvářet realistické interaktivní simulace daných systémů ve virtuálním prostředí. Digitální dvojče nemusí být využíváno pouze pro simulaci systému, ale může být využito i pro školení zaměstnanců v samotném systému. Takto lze digitální dvojče využít pro simulaci prostředí výrobní linky, skladů nebo samotného zaučování zaměstnanců v tomto prostředí. [34]

Na Rouenské univerzitě proběhl výzkum, který zahrnoval učení robotické ruky pomocí získaných dat z digitálního dvojčete. Celý výzkum Rouenské univerzity přebral reálný model výrobní stanice, který byl ovládaný zaměstnanci. Cílem výzkumu bylo naučit robotickou ruku ovládanou zaměstnanci plně autonomnímu chodu. Pro shromáždění dat bylo vybráno 12 zaměstnanců výrobní stanice, kteří prováděli ve VR stejné úkony jak na pracovišti. Metoda s virtuálním dvojčetem byla vybrána především z důvodu velkého množství precizních dat o možnosti pohybů robotické ruky, což je klíčový faktor pro strojové učení. Při samotném výkonu zaměstnanců se veškerá data ohledně jejich pohybu a sledu činností zaznamenávala a následně ukládala. Výsledek výzkumu byl velmi pozitivní, jelikož výsledné hodnoty zaznamenané v digitálním dvojčeti byly téměř totožné s daty, které byly naměřeny při činnostech výroby ve fyzickém modelu. Relativní přesnost práce robotické ruky z virtuálního dvojčete vyšly o necelé 2 % horší, což bylo s největší pravděpodobností zapříčiněno manipulací malými předměty, se kterými se ve VR špatně manipuluje. Zajímavostí je, že nejlepší výsledek mělo spojení dat z 25 % z digitálního dvojčete a 75 % z dat úkonů na pracovišti, které vyšly o 5 % lépe než z hodnot samotného fyzického modelu. [34]

3.3.2 Visual recognition (VISR)

Visual recognition je technologie propojující kamerové systémy s neuronovými sítěmi. Tato technologie se dá jednoduše představit na stejném principu, jak člověk sbírá informace. Zrakové ústrojí člověka představuje kamerové systémy a neuronové sítě zase mozek. Skrze kamerové systémy se zachytí informace a následně se předá do neuronové sítě, která hledá řešení, stejně jako u člověka, který vidí problém a následně se ho snaží vyřešit. Výhoda nahrazení člověka strojem je nepřetržitý automatizovaný provoz a konzistentní efektivita. [35]

Jako praktický příklad této technologie v intralogistice lze představit systémy třídění a sběru ve skladu. Pomocí VISR lze proces třídění snadno automatizovat skenováním jednotlivých položek ve skladu s následným vyhodnocením, kam položku naskladnit. Tento proces lze uskutečnit pomocí již zmíněných kamerových systémů nebo například pomocí dronů. Drony mají výhodu volného pohybu po skladu s možností naklonění do jakéhokoliv úhlu, což dělá VISR ještě efektivnější. [35]

VISR lze využít zároveň jako inspekční zařízení v ohledu kontroly kvality. Namísto kontrolování produktů manuálně lze pomocí umělé inteligence rozpoznat defekty. Hlavní výhoda inspekce je především automatické rozhodování, jak s poškozeným produktem bude systém dál nakládat a zároveň zjednoduší práci zaměstnancům, kteří se mohou plně koncentrovat na svoji práci. [36]

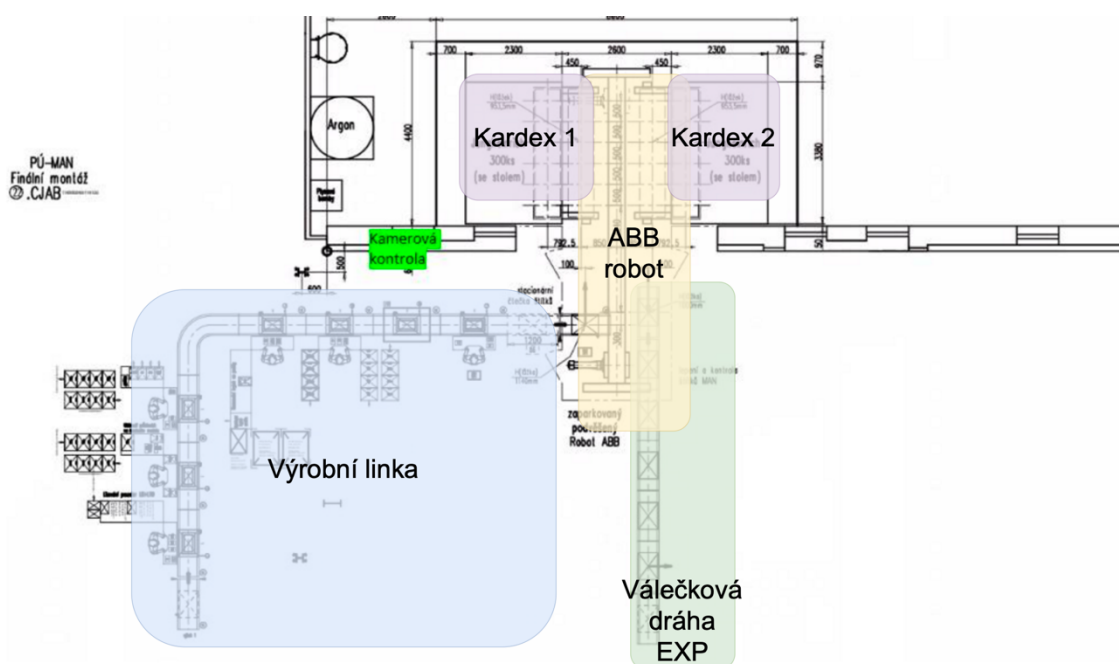
Mimo skenování materiálového toku lze technologii VISR použít i ke sledování pohybu pracovníků a následným vyhodnocením jejich efektivity pohybu (Znázorněné na Obr. 13). Díky tomuto sledování může umělá inteligence najít úzká místa v procesu. Se zavedením sledování pohybu pracovníků připadá i možnost implementace rozpoznávání gest při pohybu rukami. Tato nadstavba dokáže ušetřit velké množství času a tím i zvýšit produktivitu celého procesu. [36]



Obr. 13 Názorné představení sledování pohybu pomocí VISR (Převzato z [36])

4 Případová studie – Projekt společnosti A

V následující části této práce bude rozebrán projekt společnosti A, který se zabývá implementací SW a HW k zvýšení efektivity výroby, skladování a výdeje materiálů. Cílem projektu je vytvoření Warehouse management system (WMS) systému s vysokou propustností, jelikož společnost B dostala zakázku na výrobu velkého množství produktů. Pro účely splnění požadavků společnosti B, která se rozhodla využít služeb společnosti A, bylo využito zmíněných základních a inovativních intralogistických metod z teoretické části práce. Konkrétně byly využito kardex systému, válečkové dráhy, automatizovaných robotů, just-in-sequence, value stream mapping a material flow planning. Na obr. 14 je znázorněno schéma reálného systému sestávající se z výrobní linky, přepravního robota, kardexu, kamerové kontroly a válečkové dráhy.

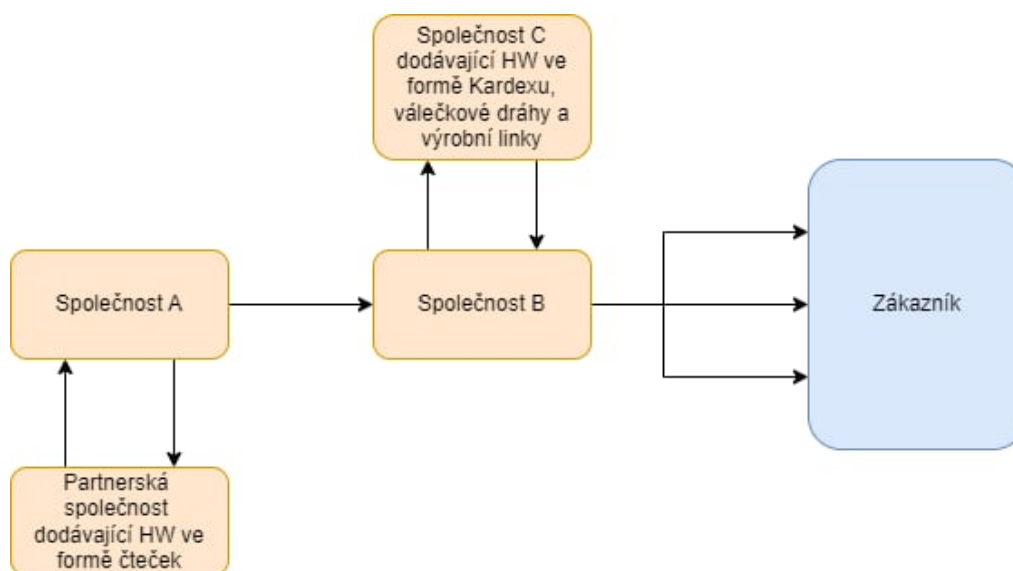


Obr. 14 Schématické zobrazení propojení využitých intralogistických metod v projektu

Samotná implementace jednotlivých metod a technologií byla iniciována z důvodu zvýšení efektivity přípravy materiálu. Důvodem neustálého zlepšování metod pro přípravu materiálů je zvýšení konkurenceschopnosti s ostatními společnostmi, což souvisí s rychlejším vychystáváním materiálů a tím spojeným šetřením času a nákladů.

4.1 Představení společností

Popsané společnosti v tomto projektu spolupracují na pokrytí skladových a příjmových operací. Řešení obsahuje výrobu a integraci s výrobní linkou pro pedálové sestavy a následné zaskladnění robotem do automatických zakladačů kardex. Integrace robota bude pokrývat jak zaskladnění, tak vyskladnění na základě JIS odvolávek a následného importu do SW společnosti A.



Obr. 15 Schéma spolupráce společností

□ Společnost A

Společnost A dodává SW řešení pro firmy, které zavádějí nové řešení v oblasti dodavatelsko-odběratelského řetězce. Pod pojmem dodavatelsko-odběratelského řešení si lze představit plánování výroby, automatizace, MES, JIT/JIS, digitalizace, kanban a další. Unikátnost této společnosti spočívá ve vlastním vyvinutém softwaru, který funguje jako mezivrstva mezi ERP a procesy uskutečňující se ve výrobě. Díky integraci tohoto SW může společnost velmi přesně a efektivně získat přehled o chodu společnosti.

Dalším benefitem společnosti A je prémiová spolupráce s firmou dodávající HW. Tato spolupráce zjednodušuje proces implementace vlastního SW s dodávaným HW pro třetí stranu.

□ Společnost B

Společnost B je firma vyrábějící autodíly jako tlumiče, elektropříslušenství, ruční brzdy, kapoty a další. Jedná se o nadnárodní korporaci dodávající jejich produkty po celém světě do firem jako jsou BMW, Jaguar, Volvo a další významné automotive firmy.

□ Společnost C

Společnost C je další společnost podílející se na tomto projektu dodáním HW ve formě kardexu, válečkové dráhy, výrobní linky a dalších komponent. Tato společnost pouze poskytla HW a více se na projektu nepodílela, proto dále nebude zmiňována.

4.2 Perspektiva implementace společnosti B

V další fázi práce bude představena perspektiva implementace systému ze strany společnosti B.

Prvotním impulsem inovace linky bylo dosažení zvýšení efektivity z důvodu vysoké poptávky od zákazníků. V tomto případě došlo k určité inspiraci od ostatních firem, u kterých již došlo k zavedení implementace inovativních možností logistiky. Zároveň došlo i k digitalizaci, což je nedílnou součástí dalšího vývoje.

Samotná myšlenka vývoje projektu začala již dříve, kdy v jiné divizi Společnosti B došlo k obdobné inovaci jako u tohoto projektu. Proto se u tohoto projektu nezačínalo přímo od úplného začátku, jelikož měla společnost B předchozí zkušenosti s podobnou inovací.

4.2.1 Proces výběru vhodného kandidáta pro implementaci

Samotný výběr kandidáta pro implementaci měl několik kritérií, které musel splňovat, jelikož byl projekt technologicky velmi náročný. Zároveň má společnost B tradici spolupracovat s co nejméně dodavateli. Společnost B již měla předchozí zkušenosti se společností A, zároveň jediná splňovala předložené požadavky pro splnění kritérií projektu. Tato minulá zkušenost souvisela s digitalizací skladu, a proto došlo k určitému rozšíření již existujícího konceptu WMS systému.

4.2.2 Komunikace a prototyp projektu

Komunikace na začátku projektu probíhala standardním způsobem, kdy Společnost B předložila konkrétní požadavky a cíle projektu. Při startovní fázi došlo k několikerým schůzkám, na kterých se předložila možná řešení. Zároveň se v této fázi projektu komunikovalo s další firmou dodávající HW pro tuto linku. Dále docházelo k pravidelnému připomínkování a řešení detailů spolupráce na projektu.

4.2.3 Mezifáze Implementace

Mezifáze implementace v tomto projektu probíhala v časovém horizontu, kdy byla připravená výrobní linka i kardexový systém, zatímco robot ještě nebyl dostupný. V tomto období probíhala činnost implementovaného systému bez robota, zatímco byl nahrazen

lidským personálem. V této fázi projektu byl systém funkční, ale oproti funkčnosti s robotem byla efektivita silně nedostačující. Pozitivní stránkou mezistavu bez robota bylo ujištění o možnosti výroby i při nečekaném výpadku.

4.2.4 Cíle projektu

Pro splnění požadavků bylo potřeba splnit 2 základní cíle. První cíl byla funkčnost projektu a druhá rychlost předání materiálu z výroby až po vyskladnění. (Rozpočet, propustnost)

S cílem funkčnosti projektu nebyly v podstatě žádné problémy, jelikož připravený projekt byl plně funkční a připravený na výrobu a výdej.

Naopak rychlost celého systému nebyla v koncovém termínu ideální. Po finalizaci projektu došlo k úpravám a optimalizaci ze strany společnosti A. Tato další optimalizace zrychlila propustnost celého systému podstatným způsobem.

4.2.5 Benefity implementace

Jakožto hlavní benefit implementace nového systému je integrace WMS systému. Dříve byl využívám pouze ERP systém, který slouží také jako SW pro řízení a správu podnikových procesů, ale nedokáže přímo sledovat pohyb daného produktu. V tom je integrace WMS systému výborné řešení v ohledu perfektní dohledatelnosti o přesunech materiálu.

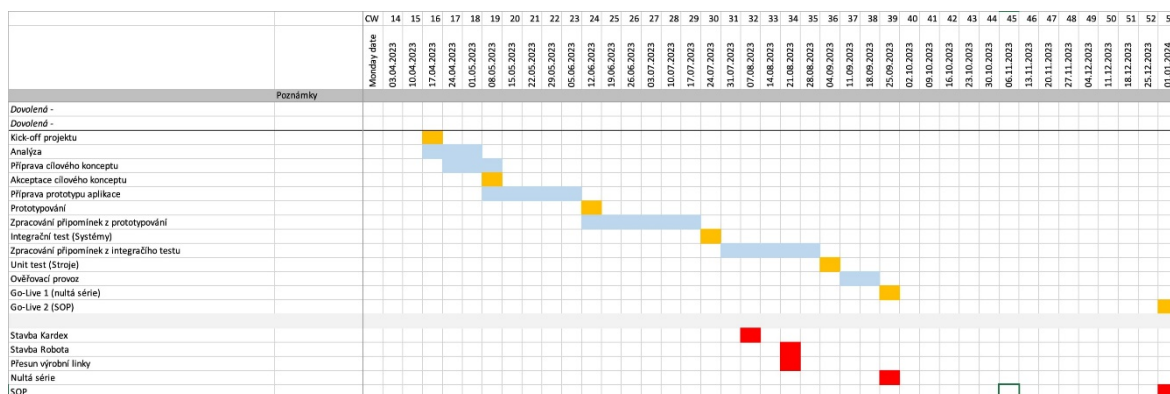
Další výhodou implementace je zlepšení ergonomie systému. Díky kompletnímu projektovému řízení společnosti A došlo i k naprojektování linky způsobem, aby vyhovoval i operátorům linky. V moment vyskladnění je potřeba operátora, který naskenuje kód produktu a následně ho zaskladní na určené místo palety. V tomto bodě systém pro operátory disponuje velikou výhodou jednoduchého ergonomického přenosu produktu na další potřebné místo.

4.3 Časový plán projektu

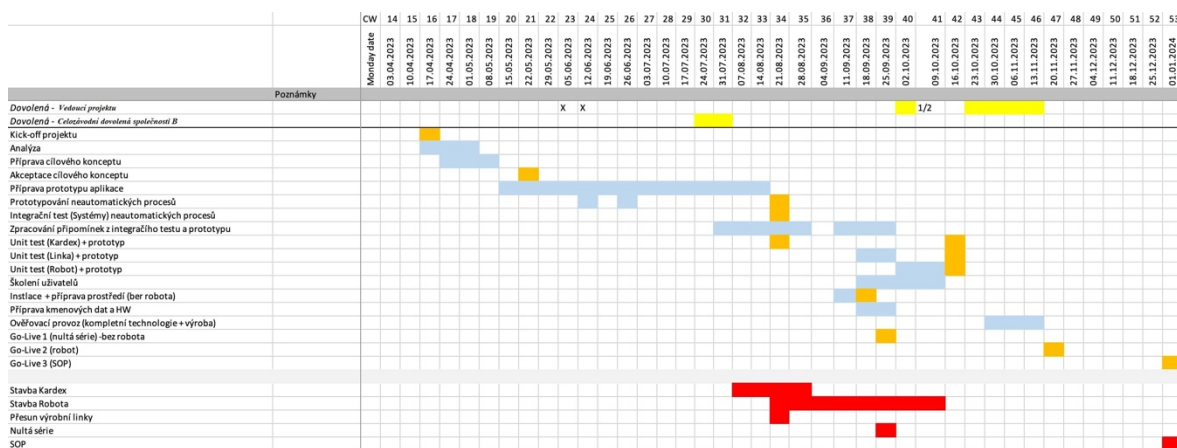
Časový plán projektu je klíčová část před implementací nového systému. Dodržení předem připraveného plánu a jeho milníků redukuje vznik dalších problémů týkající se přípravy další části projektu, jako příprava HW, možná absence pracovníků pracující na implementaci nebo následné nedodržení datumu počátku produkce linky.

Na obr. 16 můžeme vidět připravený časový plán od společnosti A před začátkem celého projektu. Tento model časového plánu byl na úvodní kick-off schůzce akceptovaný společností B. Na obr. 17 můžeme následně vidět reálný výsledek časového plánu, který byl

pozdržen o 13 týdnů z původního plánu. Důvody této prodlevy jsou rozebrány u jednotlivých bodů časového plánu popsány níže.



Obr. 16 Původní časový plán projektu



Obr. 17 Reálný časový plán projektu

□ Kick-off projektu [1 týden]

Samotný začátek tohoto projektu začal kick-off fází, ve které se zástupci, kteří se podílí na tomto projektu, seznámili s vizí a obsahem celého implementovaného systému. V tomto případě došlo na fyzické střetnutí užšího projektového týmu. Projektový tým se skládá z majitele projektu, projektového vedoucího a datového analytika. Důvodem seznámení projektu pouze s užším výběrem zástupců společností je benefit přímé komunikace, což je ve větším počtu lidí neefektivní strategie komunikace.

Cílem kick-off fáze je představení společnosti, předložení připraveného projektu a podepsání zakládací listiny, která ohraničuje celý rozsah samotného projektu.

□ Analýza projektu [3 týdny]

Analýza projektu spočívá v dekompozici jednotlivých zahrnutých procesů. K těmto procesům se následně přidávají reálné milníky a body, které k danému procesu náleží k ještě konkrétnějšímu popisu, aby nedošlo k nedorozumění mezi společnostmi.

□ **Příprava cílového konceptu [3 týdny]**

V tomto bodě finalizuje koncepcí projektu, která je následně konzultována se společností B. V momentě nesrovnalosti v určitých bodech projektu dochází k revizi a následné úpravě. V procesu úprav může nastat vícero nesrovnalostí, což se řeší opakovaným zasláním připomínek, než dojde ke společnému souhlasu. Tato fáze může probíhat, při schválení cílového konceptu, paralelně s analýzou projektu. Paralelní činnost dvou fází probíhá především u projektů, ve kterých je potřeba časové úspory.

□ **Příprava prototypu aplikace [14 týdnů]**

V této fázi dochází k přípravě a prototypu aplikace SW i HW pro celé řešení výrobního a skladovacího systému zobrazeného na obr. 14. Tato část probíhá především ve společnosti A, kdy dochází ke spolupráci celého týmu na prvním prototypu.

Fáze přípravy prototypu aplikace byla časově nejhůře zvládnutá. Důvodem velké časové prodlevy byla pozdní příprava a nákup HW, celozávodní dovolená společnosti B a absence projektového vedoucího z důvodu potřeby práce na dalším projektu. Hlavním důvodem prodlevy bylo podcenění situace interního týmu společnosti B, jelikož nedošlo s dostatečným předstihem k objednání robota. Kvůli absenci robota došlo k prodlevě o zhruba 11 týdnů.

□ **Prototypování neautomatických procesů [3 týdny]**

Tato fáze se týká neautomatických procesů celého systému. V této fázi došlo k sepsání neautomatických procesů, které byly následně představeny klíčovými uživateli linky. Pod neautomatickým procesem si lze představit veškeré činnosti, které neprovádí automatizovaný systém, jako např. příjem objednávky, vydání do výroby, zaskladnění, skladová evidence. Tyto neautomatické procesy probíhají před a po činnosti systému lidskými operátory. Zde společnost A představuje, jak systém pracuje. Na základě tohoto představení mohou klíčoví uživatelé sepsat příručky nebo funkční model funkčnosti systému.

□ **Unit test strojů [8 týdnů]**

Testování strojů se v tomto případě jednalo o výrobní linku, kardex, robot a válečkovou dráhu, se uskutečnilo po skončení přípravy prototypu. Konkrétně v tomto případě došlo k prodlevě o 11 týdnů z původního plánu. Hlavním důvodem problémů byla chybějící technika ve formě kardexu, která nebyla v plánovaný moment dostupná. Další důvod prodlevy vznikl nečekaným výpadkem projektového vedoucího, který nemohl být nahrazen.

Ačkoliv byla tato fáze prodloužená z původního 1 týdne na 12 týdnů, došlo v tomto časovém okně k dalšímu dojednání možných vylepšení a zároveň testování na straně společnosti B.

□ **Instalace Hardwaru [2 týdny]**

Instalace HW spočívala v dopravě HW ve formě počítačů, robotů a WMS na požadované místo a následné zapojení. Součástí této fáze bylo i nahrání SW společnosti A. Tato fáze se obešla bez komplikací.

□ **Go-Live 1,2 [3 týdny]**

Ve fázi Go-live 1 a 2 dochází k prvnímu spuštění linky, na které se testuje funkčnost systému. V tomto případě probíhá nejdříve zkouška linky bez robota, který nebyl v rané fázi dostupný a následně i zkouška linky s robotem. Při zkoušce Go-live 1 a 2 je propustnost systému v hodnotách desítek kusů materiálu, přičemž ostré spuštění optimálního provozu je schopno zvýšit propustnost až na stovky kusů za hodinu.

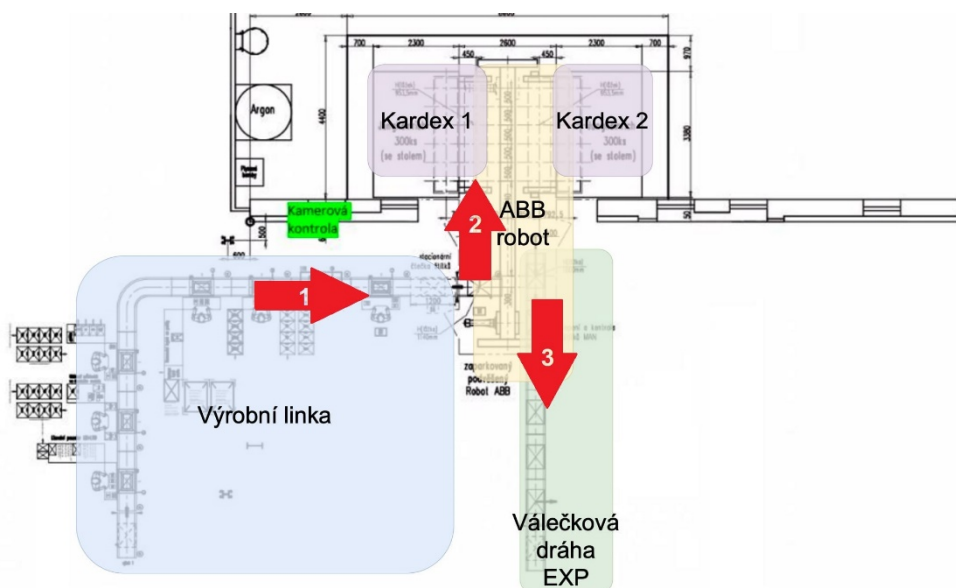
□ **Go-live 3 (SOP) [1 týden]**

Go-live 3 (SOP) je fáze začátku ostré produkce se všemi částmi systému (viz Výrobní linka, kardex, robot a válečková dráha), kdy je od linky požadována předem navržená kvalita a propustnost.

4.4 Popis funkce automatizovaného systému

Ve této části bude popsán průběh vzniklého automatizovaného řešení, které vzniklo po implementaci HW a SW. Před zautomatizovanou linkou dochází k procesu příjmu materiálu do primárního paletového skladu lokalizovaného přímo u výrobní linky. Následně operátoři doplňují kanbanové vozíky doručující materiál k výrobní lince.

Pro jednoduché představení je na obr. 18 pomocí šipek znázorněno, v jaké části je daný krok popisován.



Obr. 18 Schéma systému s vyznačenými šipkami

1) Výrobní linka

Výrobní linka je plně automatizovaný systém pro výrobu jednoho daného produktu. Tato výrobní linka je zásobována pomocí kanbanových vozíků, přičemž je následně plně automatická. Výrobní linka je konstantně skenována pomocí kamerového systému, který ověřuje kvalitu produktu.

Pokud kamerový systém zjistí odchylku oproti standardu produktu, chybu následně robot ohlásí a tento produkt odveze na jiné stanoviště. Na stanovišti pro chybné kusy pracuje kontrolor kvality, který zkontroluje identifikovaný vadný kus a následně ho označí za chybný a vyřadí ho.

2) Zaskladnění do kardexu

Po výrobní části dochází zaskladnění produktů do kardex systému. Pro tento projekt byl systém kardex rozdělen do dvou oddělených částí kardexu. Vyrobené produkty jsou proto následně skladovány vždy rovnoměrně mezi oba kardexy. Důvodem koncepce dvou kardexů je zabezpečení provozu při výpadku nebo poruchovém provozu jednoho kardexu. Tímto je zabezpečena expedice produktů pro zákazníky i při chybovém provozu jednoho z nich.

3) Výdej produktů z kardexu

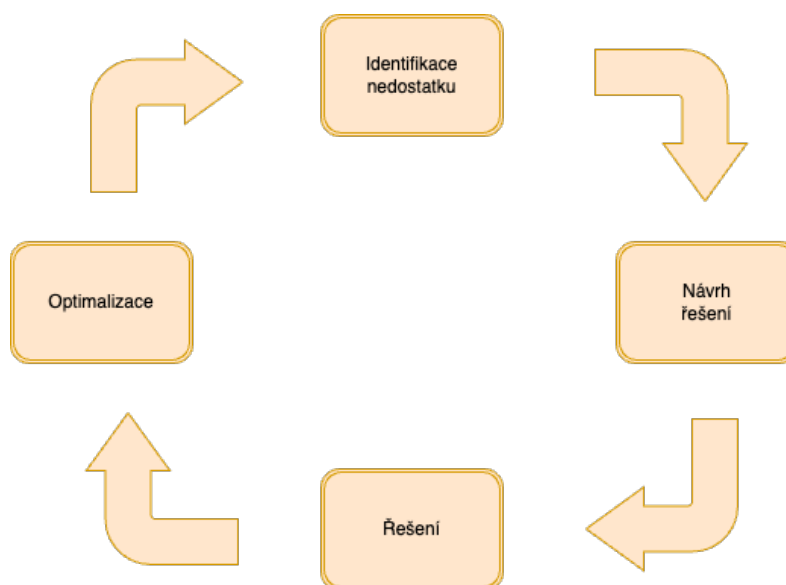
Výdej z kardexu probíhá ve formě JIS odvolávek. Tento systém je popsán v teoretické části práce, v podkapitole just-in-sequence. Systém společnosti B pracuje na základě JIS impulsů, které obsahují informaci o položce WIN kódu auta u zákazníka. Toto vyskladnění

probíhá systémem First in first out (FIFO), který zaručuje střídavé vydání produktu z kardexu 1 a 2 způsobem, že první zaskladněné produkty jsou i první vycházející z kardex systému. Tyto produkty jsou následně přesunuty pomocí robota na válečkovou dráhu, na které dojde k etiketování pedálů zákaznickým štítkem. Na konci válečkové dráhy je operátor výroby, který odebírá produkt, naskenuje ho a následně ho naskladní do palet. Poslední fází je přesun naskladněného produktu do kamionu, který expeduje požadované zboží zákazníkovi.

4.5 Fáze optimalizace

Optimalizace je běžná fáze každého implementovaného systému z důvodu redukce nedokonalostí v jakékoliv fázi celého procesu od výroby až po výdej.

Pro tento projekt začala tvrdá fáze optimalizace až několik měsíců po ukončení tohoto projektu, jelikož se z výrobního procesu zjistily nedokonalosti ve fázi zaskladňování pomocí robota. Nedokonalost ve fázi zaskladňování je především nedostatečná rychlost pohybu a nekonzistentnost robota, který nemůže být v momentální struktuře nahrazen. Proto obě společnosti navázaly další spolupráci na vývoji a další optimalizaci.



Obr. 19 Proces optimalizace systému

Optimalizace již hotového systému probíhá ve 4 fázích představených na obr. 19. Jak již bylo zmíněno, fáze optimalizace je nedílnou součástí každého projektu z důvodů redukce nedokonalostí a zvýšení efektivity.

Cílem optimalizace pro tento projekt spočívá v redukování úzkých míst, což jsou fáze procesu, které omezují výkonnost celého produkčního řetězce. Konkrétně se jednalo o

postupnou synchronizaci veškerých technologií a optimalizaci paralelní činnosti výrobní linky, kardexu, robota a válečkové dráhy.

Fáze optimalizace tohoto projektu je již dokončena, přičemž výsledky optimalizace budou rozebrány v kapitole 5, ve které bude vyhodnocena propustnost systému.

5 Vyhodnocení dat

V této části práce budou statisticky rozebrána data, která jsem obdržel od společnosti A a B. Pro vyhodnocení využiji základních statistických nástrojů, díky kterým vyhodnotím přínosy implementovaného systému.

5.1 Rychlost pohybu materiálu

Pro vyhodnocení rychlosti pohybu materiálu mi byly poskytnuty 3 sady dat a to:

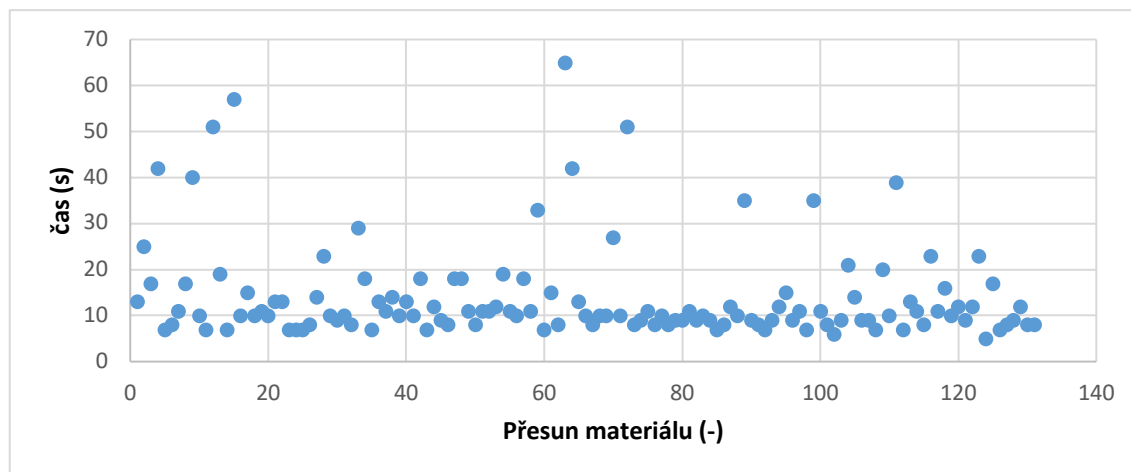
- 1) Data z ručního vykládání materiálu.
- 2) Data z hotového projektu bez optimalizace.
- 3) Data sebrána z modelu, který je plně optimalizovaný

5.1.1 Ruční systém

Pro vyhodnocení sesbíraných dat z linky bylo nejdříve samotná data správně interpretovat, aby nedošlo ke zkreslení výstupních hodnot. Právě při datech z ručního měření jsem došel k závěru, že sesbíraná data nejsou možné analyzovat z důvodu příliš nekonzistentních výstupních hodnot.

V případě pro ruční systém lze s jistotou konstatovat, že ze sesbíraných hodnot zaskladnění materiálu do kardexu nelze určit efektivita, rychlost nebo propustnost toku materiálu. Nasbíraných hodnot je nedostatečné množství, tudíž máme příliš malý vzorek, abychom mohli interpretovat data a udělat základní statistiku z těchto hodnot. Zároveň po rozhovoru s projektovým manažerem celého projektu jsme došli k závěru, že byl tento ruční proces nahrazen jiným procesem, což je příčina malého množství data.

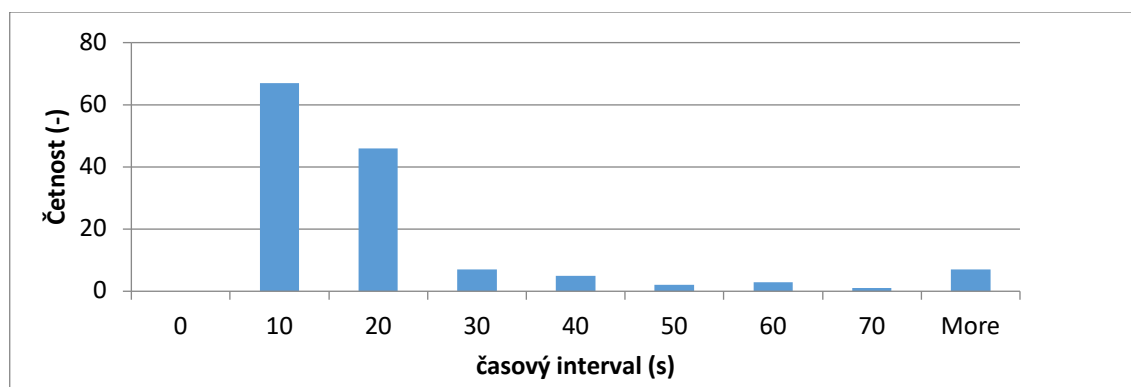
Další série dat vznikla z ručního přesunu materiálu z kardexu do palet. Díky většímu množství dat šlo v tomto případě udělat základní statistiku, kterou lze následně porovnat se systémem neoptimalizovaným a optimalizovaným.



Obr. 20 Přesun materiálu z Kardexu do palet

Na obr. 20 lze vidět za jaký čas bylo možné jeden kus materiálu přepravit z kardexu do palet. Na první pohled je zde vidět velká nekonzistentnost, která se podepisuje i na průměrném času přesunu, což je základní údaj, díky kterému můžeme dále vypočítat propustnost a efektivitu celého systému.

Vzhledem k nekonzistentní povaze dat jsem dále využil vytvoření histogramu, který jednoduše představuje rozložení představených dat na obr. 21.



Obr. 21 Histogram četnosti přesunu materiálu v intervalech po 10 sekundách

Díky vytvoření histogramu je interpretace dat ještě lépe představitelná, jelikož zde vidíme četnost akcí v určitém časovém intervalu. Na základě dat bychom mohli vyvodit závěr, že rychlost ručního přesunu materiálu z kardexu do palet bylo přibližně mezi 10 a 20 sekundami, ale vzhledem k následujícím datům již s funkčním robotem jsou tyto hodnoty lepší než u zmíněných rychlostí u neoptimalizovaného a optimalizovaného systému s robotem. Proto došlo k další konzultaci s projektovým manažerem, který potvrdil, že jsou tyto hodnoty nereálné. Závěr těchto dat je takový, že sesbírané hodnoty nejsou finálními hodnotami přesunu materiálu, ale pouze hodnoty, které uživatel ručně zadal, přičemž nečekal na automatické zapsání systémem.

- Propustnost materiálu pro ruční systém z kardexu

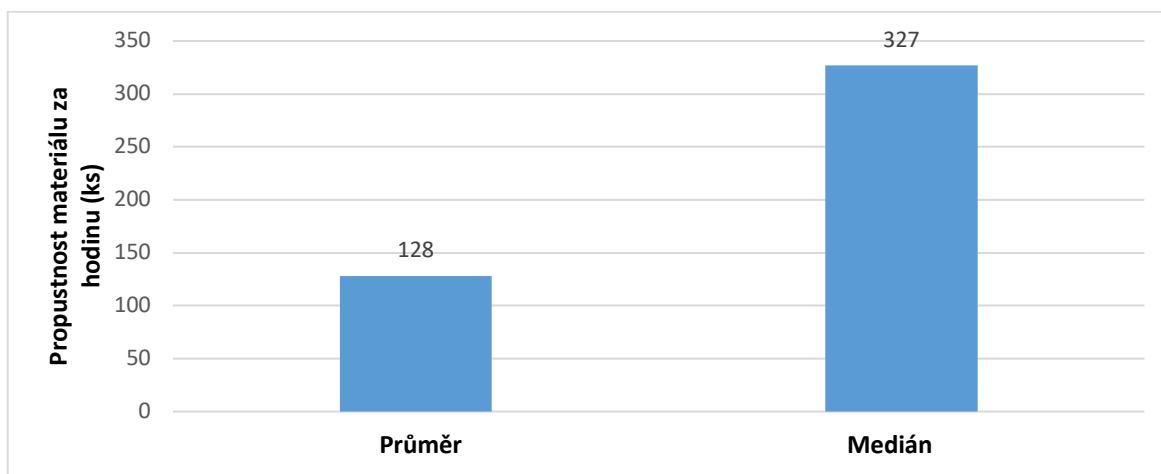
Pro porovnání efektivity toku materiálu s neoptimalizovaným a optimalizovaným systémem s robotem lze dopočítat propustnost. Ačkoliv bude propustnost nerelevantní pro případ ručního měření z důvodu nekompletních dat, bude zde vypočítána, abychom mohli porovnat tento parametr s dalšími systémy. Propustnost ručního systému bude zde znázorněna pouze pro přesun materiálu z kardexu do palet, jelikož pro proces zaskladnění do kardexu nemáme dostatečné množství dat. Vztah (5.1) je základní vztah podle kterého se budou dopočítávat veškeré propustnosti v této práci.

$$\text{Propustnost za hodinu} = \frac{T}{T2 (\text{hod})} \quad (5.1)$$

Kde T je zvolený časový úsek, pro který počítáme propustnost (1 hodina) a hodnota T2 (hod) je rychlost přesunu jednoho kusu materiálu z výchozího do koncového bodu přepočten na hodiny. Hodnoty T2 (hod) jsou uvedeny v sekundách v příloze 1.

$$\text{Propustnost za hodinu (medián)} = \frac{1}{0,003} = 333 \text{ ks/hod} \quad (5.2)$$

$$\text{Propustnost za hodinu (průměr)} = \frac{1}{0,0078} = 128 \text{ ks/hod} \quad (5.3)$$



Obr. 22 Propustnost systému vypočtený z průměrné hodnoty a mediánu

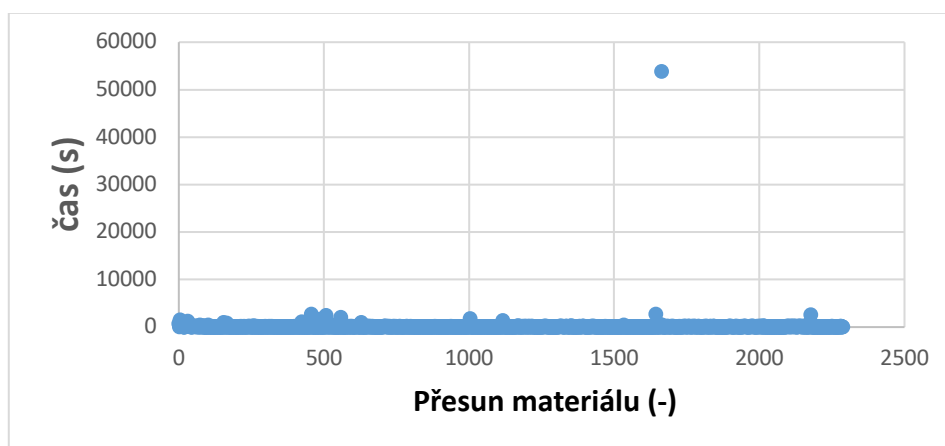
Propustnosti na obr. 22 jsou vypočtené pro průměrnou hodnotu a medián za hodinu provozu. Tyto hodnoty jsou velmi odlišné z důvodu nekonzistentních dat. Zároveň

v porovnání s neoptimalizovaným systémem na obr. 29 i optimalizovaným systémem na obr. 34 se nám znovu potvrdilo, že jsou tyto hodnoty propustnosti nereálné, a tudíž i pro další vyhodnocení nepodstatné.

5.1.2 Neoptimalizovaný systém

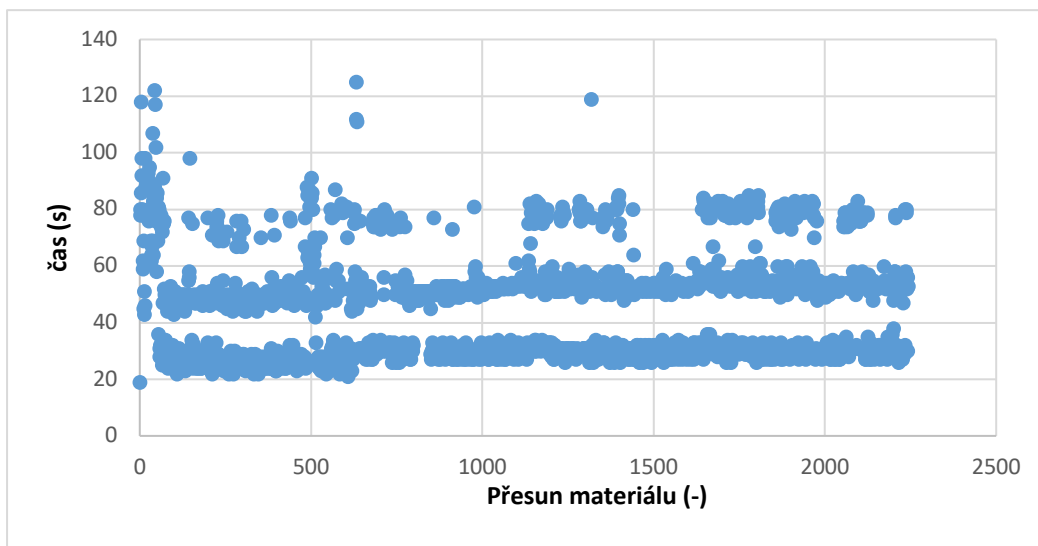
Pro vyhodnocení dat neoptimalizovaného systému jsem postupoval stejným postupem jako u ručního systému. Hodnoty pro neoptimalizovaný systém jsou dvojího charakteru. První sada dat je pro zaskladnění materiálu do kardexu a druhá sada dat představuje výdej materiálu z kardexu do palet.

5.1.2.1 Zaskladnění materiálu do kardexu



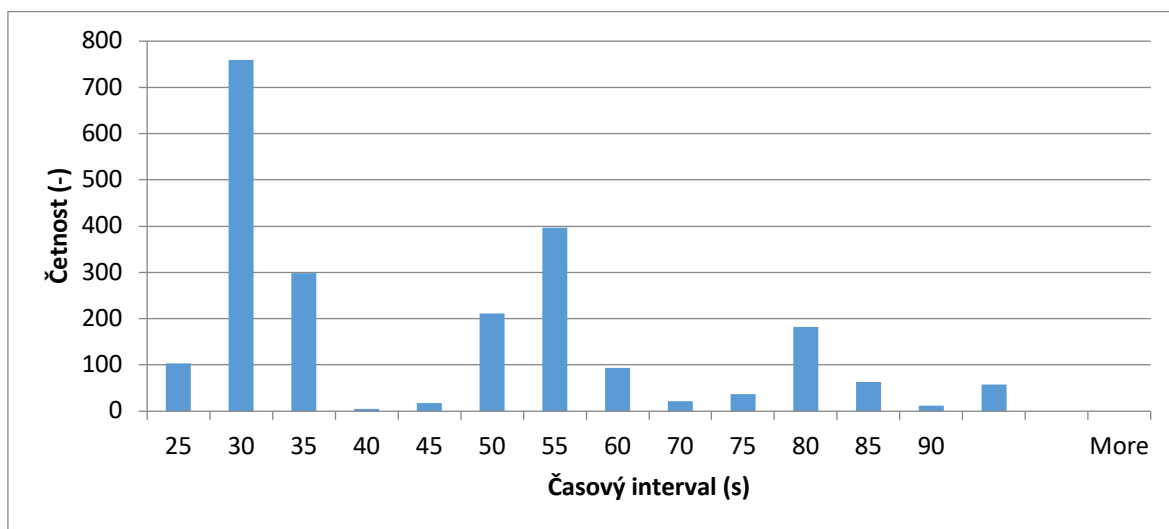
Obr. 23 Rychlost zaskladnění materiálu do kardexu

Z grafu na obr. 23 je zcela jasné, že ke správné interpretaci dat je třeba graf upravit, abychom měli základní přehled o rychlosti přesunu materiálu do kardexu. Vzhledem k povaze dat využiji čistě vizuální vyhodnocení pro úpravu dat a to způsobem, že vyřadím extrémně vysoké hodnoty, které jsme s projektovým manažerem vyhodnotili jako hodnoty, které nebudeme zařazovat do dalších výpočtů. Extrémní hodnoty jsou povahy poruchy robota, a proto je nevyhodnocujeme jako relevantní hodnoty pro další práci s daty o přesunu materiálu do kardexu. I tato nekonzistence dat byla impulsem k tomu, aby došlo k další optimalizaci systému.



Obr. 24 Rychlost přesunutí materiálu do kardexu

Po odstranění extrémně vysokých hodnot lze z obr. 24 lze vizuálně vysledovat 3 časové intervaly, které aproximují mezi 20 a 40 sekundami, následně mezi 40 a 60 sekundami a poslední časový interval aproximuje přibližně u hodnot 80 sekund. Tezi o trendu hodnot přibližující se k těmto 3 časovým intervalům jsem otestoval vynesemím do histogramu na Obr. 25, na kterém se jednodušeji interpretují naměřené hodnoty.



Obr. 25 Histogram četnosti přesunu materiálu v intervalech po 5 sekundách

Z histogramu je velmi dobře vidět, že teze o soustředění hodnot k určitým časovým intervalům je potvrzená na 30 sekundách, 55 sekundách a 80 sekundách. Toto rozdělení hodnot do určitých časových intervalů má skutečný statistický význam, jelikož při přesunu materiálu do kardexu dochází k 3 různým akcím.

Akci, která měla nejčastější rychlost přibližně 35 sekund jsme identifikovali jako pohyb zaskladnění materiálu do police kardexu, kdy není třeba čekat na její přivolání.

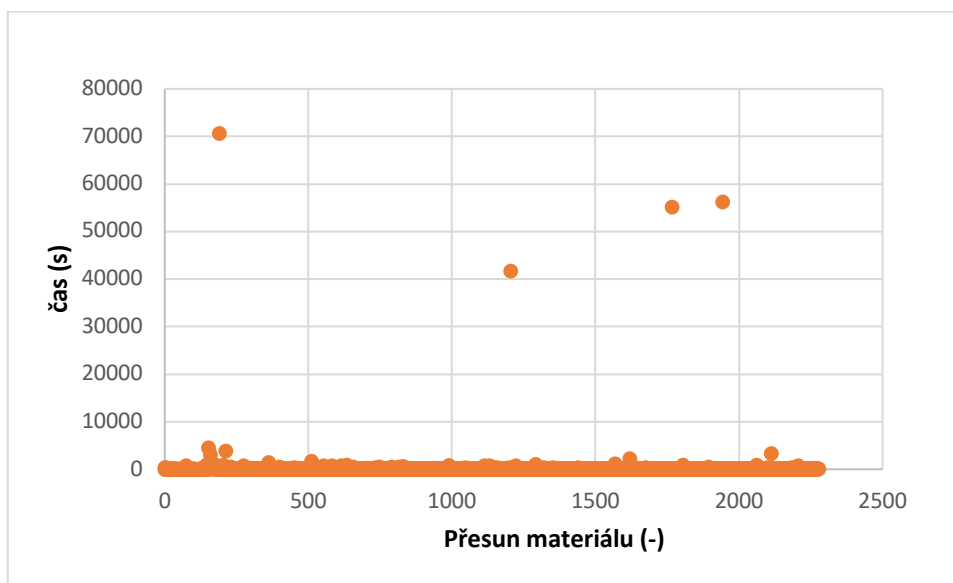
Rychlost naskladnění kardexu u hodnot 55 sekund ukazuje na polici kardexu, při které dochází běžně podle požadavku naskladnění materiálu.

Jako poslední a nejdelší doba při kterém se naskladňuje materiál do kardexu je u hodnot 80 sekund, kdy má kardex připravenou polici na běžné naskladnění, ale materiál je potřeba zaskladnit do jiné police v kardexu.

Tyto 3 varianty rychlostí naskladnění materiálu do kardexu jsou také důvodem, proč došlo k následné optimalizaci celého systému. Z důvodu efektivity a rychlosti zaskladnění bylo třeba systém upravit, aby byly časy zaskladnění konzistentnější než v tomto případě bez optimalizace.

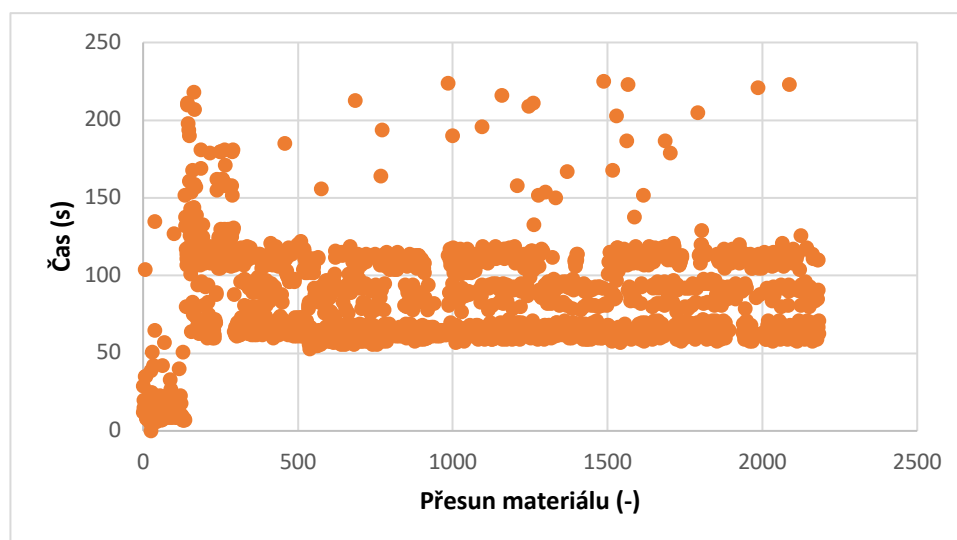
5.1.2.2 Přesun materiálu z kardexu do palet

Při vyhodnocení dat přesunu materiálu z kardexu jsem postupoval totožným způsobem, jako u předchozí sady dat, při přesunu materiálu do kardexu. Stejně jako u přesunu materiálu do kardexu jsou rychlosti silně nekonzistentní (Obr. 26), což je jeden z hlavních důvodů další optimalizace.



Obr. 26 Rychlost přesunutí materiálu z kardexu do palet

Extrémní hodnoty, které vznikly poruchami robota, jsem odstranil, abych mohl následně vyhodnocovat reálnou efektivitu přesunu materiálu do kardexu. Po odstranění extrémních hodnot jsem dostal podstatně lépe interpretovatelné rozložení dat, což lze vidět na obr. 27.



Obr. 27 Rychlost přesunutí materiálu z kardexu do palet po odstranění extrémních hodnot

Z tohoto grafu jsem vyzoroval signifikantní zastoupení hodnot v rozmezí 0 až 50 sekund, které jsou zobrazeny v levém dolní rohu na obr. 27. Tato skupina hodnot se markantně liší od předpokládané rychlosti přesunu materiálu. Po diskusi s procesním specialistou společnosti B jsme došli k závěru, že do určitého data byl systém funkční ještě bez robota, a proto se rychlosti v tomto časovém období liší. Proto tyto hodnoty nebudou započítány do propustnosti systému.

5.1.2.3 Propustnost materiálu

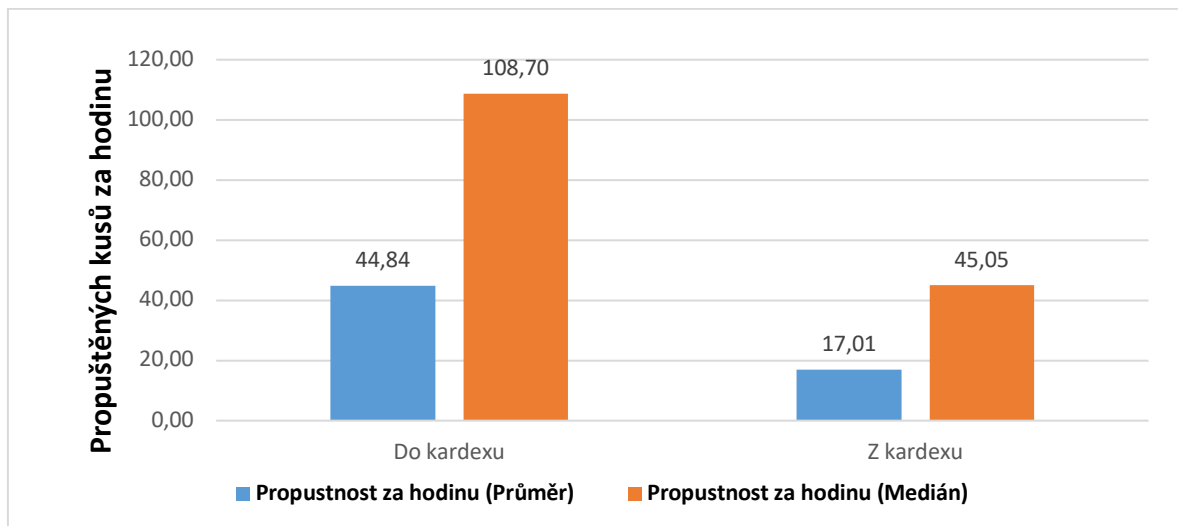
Pro porovnání jednotlivých systémů jsem dopočítal i propustnost neoptimalizovaného systému za hodinu. Propustnosti materiálu z kardexu a do kardexu jsem dopočítal z průměrné hodnoty a mediánu rychlosti přesunu materiálu. Pro neoptimalizovaný model se hodnoty průměrné rychlosti a rychlosti mediánu velmi liší z důvodu velké nekonzistence dat, což je nežádoucí stav, který bylo potřeba následně upravit. Průměr a medián propustnosti materiálu do kardexu se liší téměř 2,7krát a pro propustnost z kardexu téměř 2,4krát, což lze vidět na obr. 28. Propustnosti jsou dopočítané z rovnice (5.1) pro průměr i medián ve vztazích (5.4), (5.5), (5.6) a (5.7). Hodnoty T2 jsou v sekundách uvedeny v příloze 2 a 3.

$$\text{Propustnost za hodinu do kardexu (průměr)} = \frac{1}{0,0223} = 44,84 \text{ ks/hod} \quad (5.4)$$

$$\text{Propustnost za hodinu do kardexu (medián)} = \frac{1}{0,0092} = 108,7 \text{ ks/hod} \quad (5.5)$$

$$\text{Propustnost za hodinu z kardexu (průměr)} = \frac{1}{0,0588} = 17,01 \text{ ks/hod} \quad (5.6)$$

$$\text{Propustnost za hodinu z kardexu (medián)} = \frac{1}{0,0222} = 45,05 \text{ ks/hod} \quad (5.7)$$



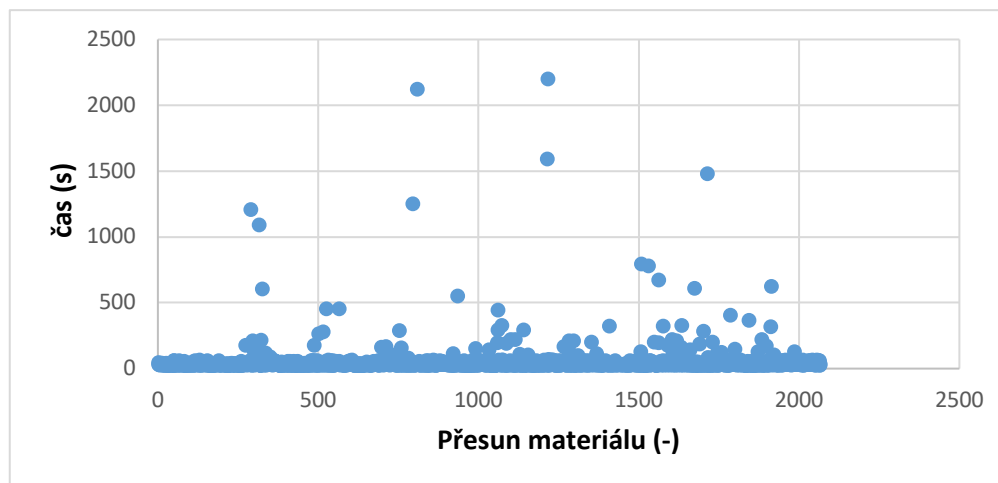
Obr. 28 Propustnost neoptimalizovaného systému pro rychlost průměru a mediánu

5.1.3 Optimalizovaný systém

Po spuštění první verze celého projektu došlo i k další optimalizaci na základě neoptimálního a nekonzistentního přesunu materiálu. Tvzení o neoptimální rychlosti propustnosti bylo potvrzeno rozborem dat v minulé kapitole. Na základě dat z neoptimalizovaného systému je evidentní, že časy přesunu materiálu se velmi často lišily a zároveň docházelo i k extrémním prodlevám kvůli výpadkům robota.

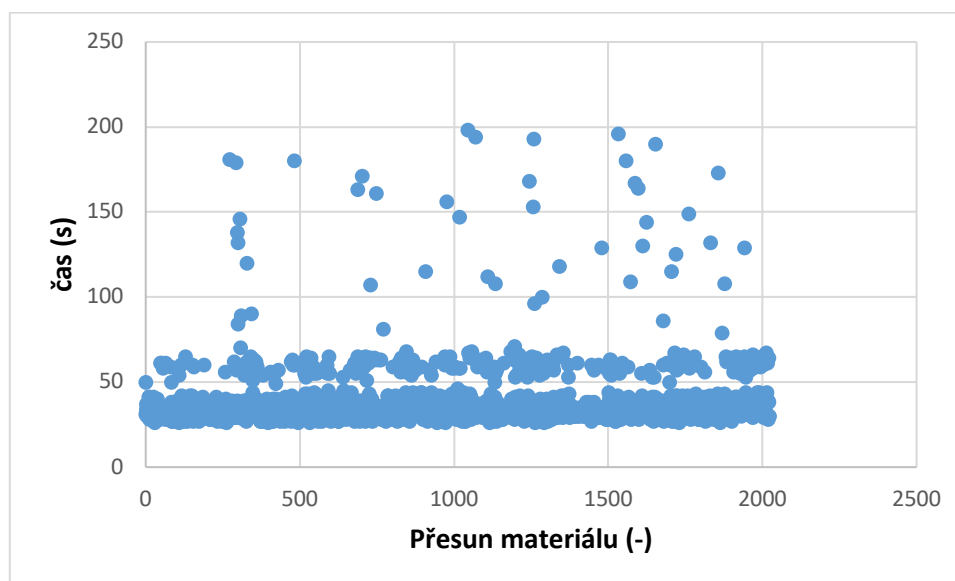
5.1.3.1 Zaskladnění materiálu do kardexu

Po optimalizaci lze již z prvního grafu na Obr. 29 konstatovat, že došlo k markantnímu zlepšení, co se týče extrémních hodnot. V porovnání s neoptimalizovaným systémem na obr. 24 jsou extrémní hodnoty podstatně nižší.



Obr. 29 Rychlosti přesunu materiálu do kardexu

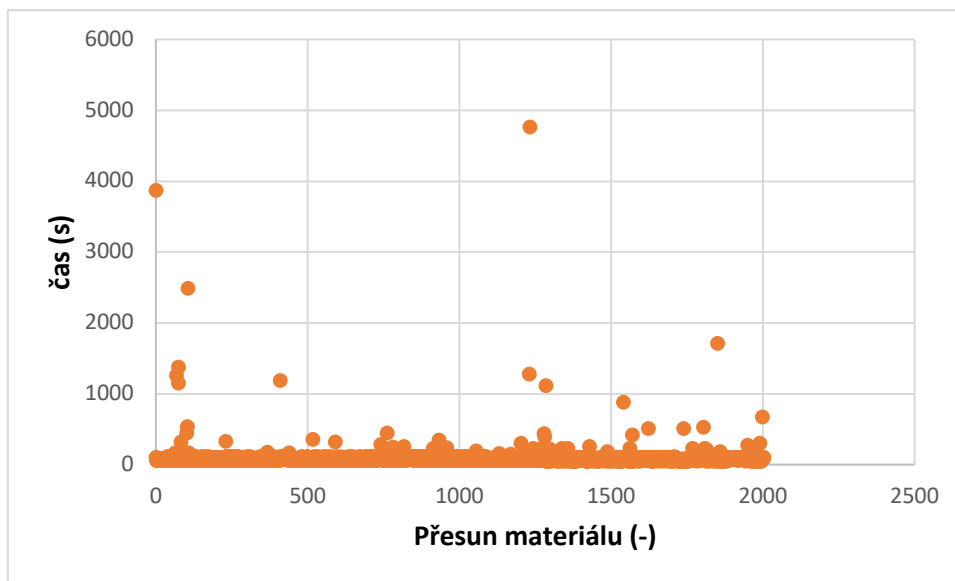
Po odstranění extrémních hodnot, které nejsou součástí vyhodnocení rychlosti přesunu materiálu, jsou vidět již podstatně konzistentní intervaly přesunu materiálů do kardexu (obr. 30).



Obr. 30 Rychlosti přesunu materiálu do kardexu bez extrémních hodnot

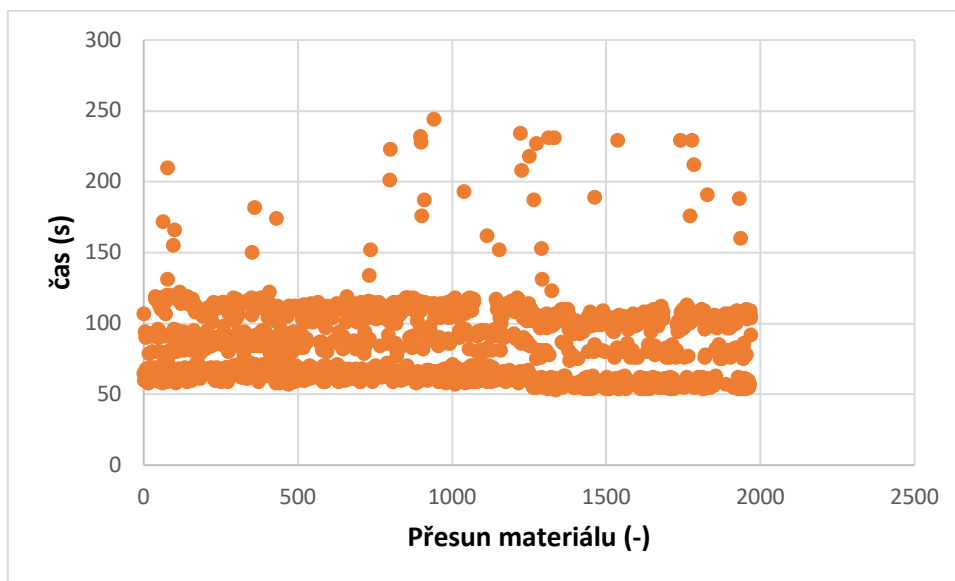
5.1.3.2 Přesun materiálu z kardexu do palet

I pro případ přesunu materiálu z kardexu do palet došlo k podstatnému zlepšení i co se týče extrémních hodnot v porovnání s neoptimálním systémem. Na obr. 31 je vidět zlepšení co se týče extrémních hodnot oproti hodnotám z neoptimálního systému na obr. 25.



Obr. 31 Rychlost přesunu materiálu z kardexu do palet

Po odstranění extrémních hodnot, které nejsou součástí vyhodnocení přesunu materiálu na obr. 32 je zcela evidentní, že došlo k výraznému zlepšení v ohledu konzistentnosti přesunu materiálu z kardexu do palet.



Obr. 32 Rychlost přesunu materiálu z kardexu do palet bez extrémních hodnot

5.1.3.3 Propustnost materiálu

Pro ověření úspěšnosti optimalizace jsem dopočítal i propustnost optimalizovaného systému z průměru a mediánu rychlosti přesunu materiálu. Z grafu na obr. 33 lze vidět, že průměr rychlostí vyšel podobně jako u neoptimalizované verze na obr. 29. Zajímavější je hodnota mediánu, jehož hodnota vyšla podstatně lépe. Zároveň lze vypořadovat u

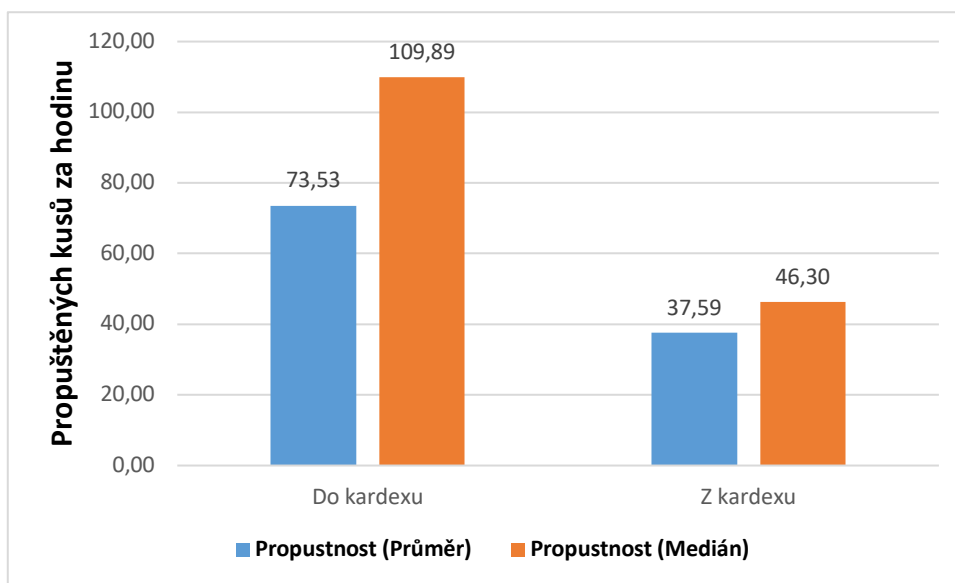
optimalizované verze podobnost hodnot propustnosti z průměru i mediánu rychlosti přesunu materiálu, což je klíčové kritérium, které představuje již podstatně lépe vybalancovaný systém bez extrémních prodlev toku materiálu. Propustnosti jsou dopočítané z rovnice (5.1) pro průměr i medián ve vztazích (5.8), (5.9), (5.10) a (5.11). Hodnoty T2 jsou v sekundách uvedeny v příloze 4 a 5.

$$\text{Propustnost za hodinu do kardexu (průměr)} = \frac{1}{0,0136} = 73,53 \text{ ks/hod} \quad (5.8)$$

$$\text{Propustnost za hodinu do kardexu (medián)} = \frac{1}{0,0092} = 109,89 \text{ ks/hod} \quad (5.9)$$

$$\text{Propustnost za hodinu z kardexu (průměr)} = \frac{1}{0,0266} = 37,59 \text{ ks/hod} \quad (5.10)$$

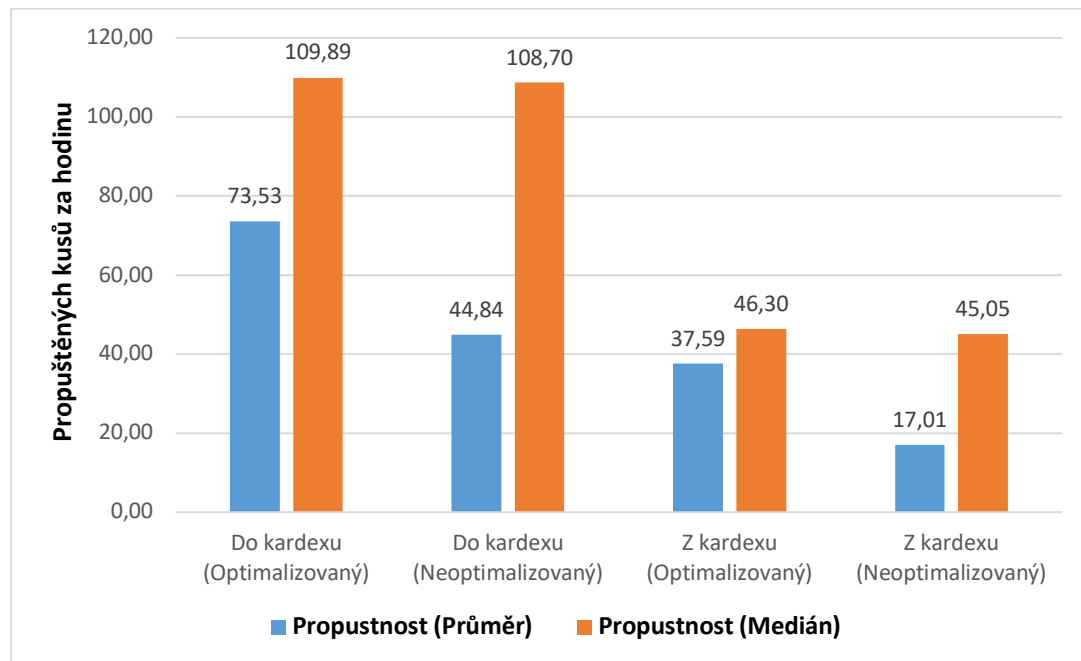
$$\text{Propustnost za hodinu z kardexu (medián)} = \frac{1}{0,0216} = 46,3 \text{ ks/hod} \quad (5.11)$$



Obr. 33 Propustnost optimalizovaného systému pro rychlost průměru a mediánu

5.2 Porovnání propustností systémů

Pro porovnání propustností jsem využil data pouze z neoptimalizovaného a optimalizovaného systému z důvodů uvedených výše. Na obr. 34 lze vidět rozdíly mezi optimalizovaným a neoptimalizovaným systémem.

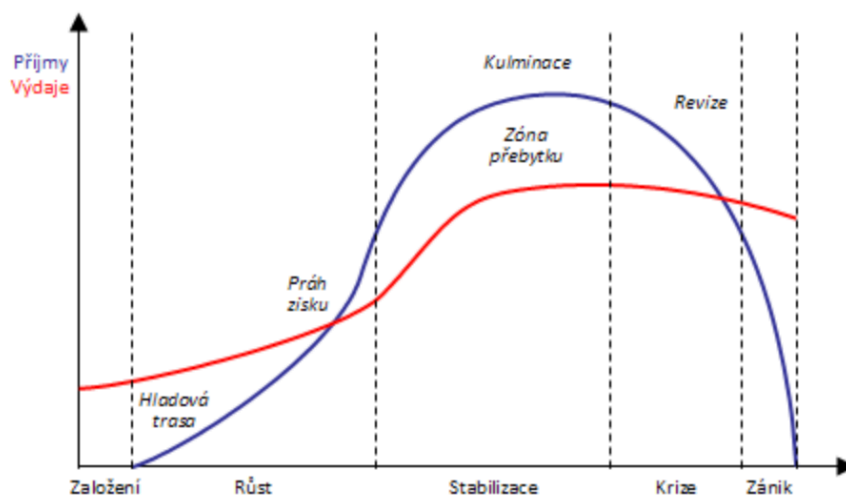


Obr. 34 Porovnání propustností systémů

Z obr. 34 lze vidět, že došlo ke zlepšení propustnosti u optimalizovaného systému v případech pohybu materiálu do kardexu i z kardexu. Ještě významnější rozdíl lze vidět na mediánech, který se velmi blíží k průměru propustnosti, což značí větší konzistentnost propustnosti systému.

5.3 Finanční stránka projektu

Hlavní a primární cíl společnosti je maximalizace zisku z její činnosti. Pokud společnost konzistentně negeneruje zisk, dochází ke krizi a jejímu následnému zániku. Proto je třeba dlouhodobě monitorovat příjmy a výdaje, které představují jednoduchý model udržitelnosti společnosti na trhu. [37]



Obr. 35 Model životního cyklu organizace (Převzato z [37])

Na obr. 35 je jednoduchý graf, na kterém jsou představeny dvě křivky, které reprezentují výdajovou a příjmovou stranu společnosti. Nejdůležitějším bodem v tomto cyklu je práh zisku, který představuje navrácení počáteční investice a tím i profitabilitu. Práh zisku je moment, kdy má společnost návratnost v kladných číslech, což je signalizace úspěšné společnosti. [37]

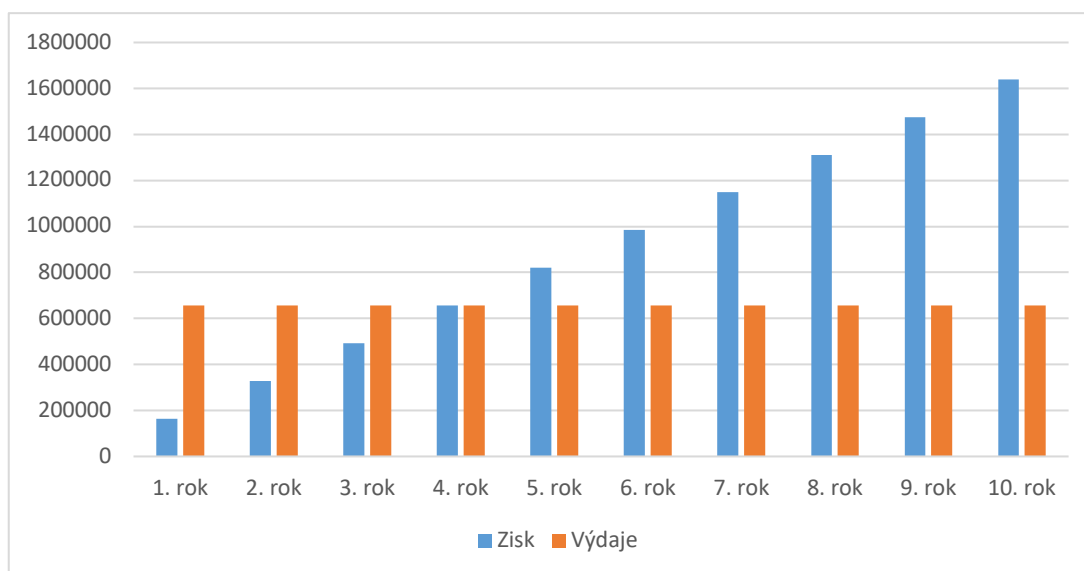
5.3.1 Práh zisku projektu

Práh zisku projektu je i pro tento případ klíčovým ukazatelem. Po skončení projektu došlo k sečtení veškerých výdajů a možných tržeb. Hodnoty výdajů a tržeb jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Výdaje a předpokládané tržby projektu

	Částka:	Měna:
Výdaj HW pro výrobu:	389 000	EUR
Výdaj HW pro logistiku:	178 300	EUR
Výdaj SW pro logistiku:	90260	EUR
Očekávaný zisk ročně po zdanění:	164000	EUR

Po sečtení jednotlivých složek počáteční investice vyšla 657 560 EUR. Čistý zisk před zdaněním je již zmíněných 164 000 EUR. Z těchto předpokládaných hodnot lze stanovit čas, za který dojde k zmiňovanému prahu zisku, což jsou přibližně 4 roky (obr. 36).



Obr. 36 Poměr zisků a výdajů v průběhu 10 let

Z důvodu citlivosti dat nebyla dodána další data, která popisují jednotlivé položky na straně výdajů a zisků. Na základě informovaného předpokladu, že vytvořený systém bude pracovat minimálně dalších 5 let, lze konstatovat, že je projekt po finanční stránce úspěšný.

Zároveň je očekávaný náběh nových technologických platform k tomuto projektu zaručující prodloužení životnosti celého systému. Následně je předpoklad recyklace jednotlivých prvků systému, což bude mít také další pozitivní vliv na návratnost implementovaného systému.

5.3.2 ROI (Return on investment)

ROI je kvantitativní ukazatel profitability projektu, který ukazuje poměr mezi náklady a výnosy. Jedná se o často používaný ukazatel, jelikož je jednoduše interpretovatelný, pomáhá při rozhodování mezi možnými řešeními nebo ukazuje přesnost odhadu profitability. [38]

ROI je údaj běžně udávaný v procentech, přičemž hodnota pod 0 % představuje ztrátovost projektu a hodnota nad 0 % představuje kladný přínos projektu. ROI lze posoudit jako subjektivní údaj, jelikož se hodnota tohoto ukazatele liší podle odvětví. Proto nelze udávat konkrétní hodnotu ROI, kterou každá společnost vyhodnotí kladně nebo záporně. [39]

Pro představu lze uvést ROI společností Apple u které ROI fluktovala za posledních 10 let od 27,8 % do 142,29 %, u společnosti Tesla fluktovala ROI od -63,5 % do 32,4 %, u společnosti Walmart 16,01 do 23 % a u společnosti Google od 16 % do 31,5 %. [40]

U společnosti B jsou celkové náklady na projekt 657 560 EUR a roční čistý zisk je odhadován na 164 000 EUR. Za předpokladu životnosti projektu, která je odhadována na 5 let, vychází celkový zisk na 820 000 EUR. Následně lze z těchto hodnot dopočítat procentuální ROI projektu ze vztahu (5.12).

$$ROI = \frac{(zisk - investice)}{investice} \cdot 100 \quad (5.12)$$

$$ROI = \frac{(820000 - 657\,560)}{657\,560} \cdot 100 = 24,7\% \quad (5.13)$$

Výsledné ROI pro tento projekt vyšlo ze vztahu (5.13) 24,7 %. Jak už bylo zmíněno, pro každý projekt a pro každou společnost je výsledné ROI subjektivní veličinou. Pro tento případ ho lze z důvodu velkých komplikací považovat za úspěšný.

5.4 Kritické body případové studie

Mezi kritické body případové studie lze zařadit takové body, které mají hlavní podíl na celkovém úspěchu nebo neúspěchu projektu. Pro objektivní zhodnocení je lepší volit kvantitativní ukazatele prokazující splnění požadavku, jelikož se kvalitativní ukazatele těžko interpretují, co se týče zhodnocení výstupu. Proto jsem zvolil jako kritické body časový plán, propustnost a návratnost.

Časový plán projektu

Od časového plánu projektu a jeho dodržení se odvíjí téměř každý aspekt související s efektivitou. Tento projekt měl předem připravený ganttův diagram popisující časové rozvržení jednotlivých fází. Ačkoliv se obě společnosti na tomto časovém plánu shodli, došlo k narušení tohoto plánu ve více bodech. Fáze projektu, při které došlo k největší prodlevě, bylo nákup HW. Tento problém vznikl z důvodu pozdního objednání robota a následného zjištění, že daný robot nebude v následujících měsících dostupný.

Tento kritický bod lze řešit včasnějším průzkumem trhu a zjištěním dostupnosti robota. Pokud by došlo k průzkumu dostupnosti a objednání robota paralelně s odsouhlasením požadavků na HW, k prodlevě ohledně nákupu robota by nemuselo dojít, čím by se ušetřilo přibližně 11 týdnů, což se podepíše i na vyšším finančním zatížení.

□ Propustnost

Propustnost projektu je další kritický faktor, který je pro společnost B klíčovým ukazatelem. V první fázi projektu, kdy byl systém ještě neoptimalizovaný, rychlost propouštění materiálu nebyla ideální, co se týče konzistence. Řešením by pro tento problém bylo najít úzká místa v procesu a následně je zoptimalizovat. Toto řešení bylo i částečně aplikováno. Optimalizace zahrnovala zrychlení celého systému pomocí synchronizací jednotlivých technologií. Díky synchronizaci implementovaných technologií linky mohou probíhat jednotlivé procesy paralelně namísto původní funkčnosti v sérii za sebou. Proto došlo k redukci časových prostojů, což zvýšilo i efektivitu systému.

□ Návratnost

Návratnost je další z kritických ukazatelů, který je hlavní metrikou pro ověření efektivního využití zdrojů. ROI tohoto projektu vyšlo pozitivně, nicméně pokud by nedošlo k časovým prodlévám, které již byly vysvětleny, pak by návratnost projektu vyšla podstatně lépe. Proto lze i u tohoto ukazatele zlepšit efektivitu stejným způsobem jako u bodu časového plánu projektu.

Zhodnocení a závěr

Cílem této diplomové práce bylo představit základní a inovativní metody interní logistiky, popsat a pochopit cíle projektu, vyhodnotit poskytnutá data a poskytnout sumarizaci celého projektu pro společnost B.

V první a druhé části práce jsem vysvětlil samotnou podstatu logistiky a jejího podsystému interní logistiky zabývající efektivním řízením dodavatelského řetězce. Jsou zde představeny metody interní logistiky, které zvyšují efektivitu optimalizace skladování a výdeje materiálu, metody řízení toku materiálu a metody procesního zlepšování a plánování. Všechny tyto metody jsou nezbytnou součástí interní logistiky z důvodu konkurenceschopnosti společnosti na trhu.

Ve třetí části práce jsou představeny inovativní technologie ke zlepšení interních logistických procesů. Tyto technologie lze rozdělit na SW řešení, která využívají výpočetního výkonu k optimalizaci interního logistického procesu a na HW řešení, což jsou zmiňované skladovací a manipulační systémy nebo automatizované transportní systémy. Tyto inovativní technologie jsou velmi specifické, ale zároveň velmi výkonné nástroje pro zlepšení efektivity. Zároveň je lze vnímat jako pomocníky při specifických automatizovaných systémech, při kterých je lidský operátor nedostatečně efektivním pracovním nástrojem.

Ve čtvrté části práce jsem zpracoval projekt společnosti A. Veškeré poskytnuté informace byly čerpané od projektového manažera společnosti A a procesního specialisty společnosti B. Informace ohledně projektu byly zprostředkovány formou průběžných konzultací a strukturovaných rozhovorů. Informace ze společnosti B byly vzhledem k její lokalizaci zprostředkovány pouze přes videohovory formou strukturovaného rozhovoru a průběžným připomínkovaním přes online komunikační kanály. V této části práce byl popsán především proces implementace celého systému. Je zde popsán proces výběrového řízení pro splnění projektu, časový plán, proces funkce systému, komunikace mezi společnostmi a cíle projektu.

V páté a poslední části práce jsem zanalyzoval obdržená data ke kvantitativnímu vyhodnocení implementovaného systému. První sada dat rychlosti pohybu materiálu byla vyexportována ze SW společnosti A, díky kterému lze sledovat jednotlivé časy přesunu materiálu. Při porovnání jsem vyřadil data z ručního přesunu materiálu, jelikož statisticky ani logicky nedávala v kontextu optimalizovaného a neoptimalizovaného systému význam.

Dále jsem porovnal a zhodnotil význam dat z neoptimalizovaného a optimalizovaného systému.

Závěrem porovnání je významný rozdíl konzistence propustnosti způsobem, že data z optimalizovaného systému vyšla významně lépe. Průměr i medián propustnosti systému byl významně konzistentnější u optimalizovaného systému, přičemž u optimalizovaného systému nedocházelo k výskytu extrémně vysokých hodnot, které by podstatně snížily efektivitu celého systému.

Druhá sada poskytnutých dat se týkala rozpočtu a návratnosti projektu. I v tomto případě lze projekt považovat za úspěšný. Úspěšný je z důvodu předpokládané návratnosti již za 4 roky, přičemž minimální životnost tohoto systému je odhadována na 5 let.

Poslední vypočtený ukazatel se týká ROI, což je kvantitativní ukazatel profitability projektu. ROI vyšlo 24,7 % a pro tento projekt ho lze považovat finančně za úspěšný i z důvodu velkých časových prodlev a dalších problémů, které při projektu vznikly.

Literatura

- [1] Václav Mačát and Josef Sixta, *Logistika - teorie a praxe*, vol. 316 s. 2005.
- [2] “Současné pojetí logistiky.” Accessed: Nov. 24, 2023. [Online]. Available: <https://www.vovcr.cz/odz/ekon/409/page02.html>
- [3] Vratislav Preclík, *Průmyslová logistika*, 2.přepřac., vol. 164. Praha, 2002.
- [4] S. I. Ao and International Association of Engineers., *World Congress on Engineering : WCE 2011 : 6-8 July 2011, Imperial College London, London, U.K.* Newswood Ltd., 2011.
- [5] “Case study: Decision Brains.” Accessed: Nov. 24, 2023. [Online]. Available: <https://decisionbrain.com/toyota/>
- [6] X. Zhang, L. Zou, and Z. Hu, “The Study in Supply Chain of Auto Parts Based on Milk-Run,” *Open Journal of Business and Management*, vol. 04, no. 04, pp. 778–783, 2016, doi: 10.4236/ojbm.2016.44075.
- [7] “Mecalux: kanban.” Accessed: Nov. 29, 2023. [Online]. Available: <https://www.mecalux.com/blog/kanban-system>
- [8] N. A. A. Rahman, S. M. Sharif, and M. M. Esa, “Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation,” *Procedia Economics and Finance*, vol. 7, pp. 174–180, 2013, doi: 10.1016/s2212-5671(13)00232-3.
- [9] “Pick-by-light.” Accessed: Dec. 04, 2023. [Online]. Available: <https://www.lucasware.com/what-is-a-pick-to-light-system-and-how-does-voice-compare/>
- [10] “Put-to-light.” Accessed: Dec. 04, 2023. [Online]. Available: <https://www.picktolightsystems.com/en/picking-products/put-to-light>
- [11] “Pick-by-voice.” Accessed: Dec. 04, 2023. [Online]. Available: <https://systemyglosowe.pl/en/voice-technology-how-it-works/>
- [12] “Voice picking case study”, Accessed: Dec. 12, 2023. [Online]. Available: <https://wwchainstores.com/wp-content/uploads/2018/12/Musgrave-Voice-Picking-Case-Study.pdf>
- [13] “Pick-by-scan.” Accessed: Dec. 12, 2023. [Online]. Available: <https://logistikknowhow.com/en/scanner-systems/mobile-data-acquisition-devices-mdt/>
- [14] A. S. Aradhye and S. P. Kallurkar, “A case study of just-in-time system in service industry,” in *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2014, pp. 2232–2237. doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.467.
- [15] “Just in sequence.” Accessed: Dec. 14, 2023. [Online]. Available: <https://logiscend.panasonic.com/blog/just-in-sequence-manufacturing-meeting-customer-expectations/>
- [16] “case study JIS: Inpixon”, Accessed: Dec. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.inpixon.com/blog/optimizing-just-in-time-just-in-sequence-processes-positioning-technology>
- [17] A. R. Rahani and M. Al-Ashraf, “Production flow analysis through Value Stream Mapping: A lean manufacturing process case study,” in *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2012, pp. 1727–1734. doi: 10.1016/j.proeng.2012.07.375.
- [18] B. Haefner, A. Kraemer, T. Stauss, and G. Lanza, “Quality value stream mapping,” in *Procedia CIRP*, Elsevier B.V., 2014, pp. 254–259. doi: 10.1016/j.procir.2014.01.093.
- [19] “MFP: logistics.” Accessed: Dec. 29, 2023. [Online]. Available: <https://www.interlog-management.com/logistics-consulting/material-flow-planning/?lang=en>

- [20] “MFP: Logistics optimizing.” Accessed: Dec. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.vistable.com/blog/materialflow-intralogistics/material-flow-planning-to-optimize-logistics-production-and-storage/>
- [21] O. Gould, A. Simeone, J. Colwill, R. Willey, and S. Rahimifard, “A Material Flow Modelling Tool for Resource Efficient Production Planning in Multi-product Manufacturing Systems,” in *Procedia CIRP*, Elsevier B.V., 2016, pp. 21–26. doi: 10.1016/j.procir.2015.12.139.
- [22] “Efficiency improvement.” Accessed: Apr. 23, 2024. [Online]. Available: <https://spotos.eu/blog/10-practical-ways-to-improve-logistics-efficiency>
- [23] G. Fragapane, R. de Koster, F. Sgarbossa, and J. O. Strandhagen, “Planning and control of autonomous mobile robots for intralogistics: Literature review and research agenda,” *European Journal of Operational Research*, vol. 294, no. 2. Elsevier B.V., pp. 405–426, Oct. 16, 2021. doi: 10.1016/j.ejor.2021.01.019.
- [24] “AMR.” Accessed: Jan. 13, 2024. [Online]. Available: https://www.kuka.com/en-de/industries/solutions-database/2020/01/agv-solution_biw-trucks
- [25] “Dopravníky.” Accessed: Jan. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.mecalux.cz/automaticky-sklad-palety/dopravniky>
- [26] H. Winkler and L. Zinsmeister, “TRENDS IN DIGITALIZATION OF INTRALOGISTICS AND THE CRITICAL SUCCESS FACTORS OF ITS IMPLEMENTATION,” *Brazilian Journal of Operations and Production Management*, vol. 16, no. 3, pp. 537–549, Sep. 2019, doi: 10.14488/BJOPM.2019.v16.n3.a15.
- [27] “Závěsné dopravníky.” Accessed: Jan. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.pacline.com/products/enclosed-track-overhead-conveyors/>
- [28] “Overhead conveyors.” Accessed: Jan. 06, 2024. [Online]. Available: <https://www.pacline.com/overhead-conveyors-101/>
- [29] “Kardex description.” Accessed: Jan. 17, 2024. [Online]. Available: <https://intralogistika.cz/#skladovaci-systemy>
- [30] “Kardex: Vertical carousel.” Accessed: Jan. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.kardex.com/en/products/megamat-vertical-carousels>
- [31] “Kardex: Case study RS.” Accessed: Jan. 17, 2024. [Online]. Available: <https://blog.kardex-remstar.com/case-studies/rohde-schwarz>
- [32] “Autostore.” Accessed: Jan. 30, 2024. [Online]. Available: <https://www.elementlogic.cz/reseni-a-sluzby/autostore/>
- [33] “Autostore: cep research.” Accessed: Jan. 30, 2024. [Online]. Available: <https://www.cep-research.com/news/fives-teams-up-with-autostore>
- [34] M. Dallel, V. Havard, Y. Dupuis, and D. Baudry, “Digital twin of an industrial workstation: A novel method of an auto-labeled data generator using virtual reality for human action recognition in the context of human–robot collaboration,” *Eng Appl Artif Intell*, vol. 118, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.engappai.2022.105655.
- [35] “Visual recognition.” Accessed: Feb. 01, 2024. [Online]. Available: <https://nexocode.com/blog/posts/computer-vision-in-logistics-and-supply-chain-management/>
- [36] M. Di Capua, A. Ciaramella, and A. De Prisco, “Machine Learning and Computer Vision for the automation of processes in advanced logistics: the Integrated Logistic Platform (ILP) 4.0,” in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2022, pp. 326–338. doi: 10.1016/j.procs.2022.12.228.
- [37] “Životní cyklus organizace.” Accessed: Apr. 01, 2024. [Online]. Available: <https://managementmania.com/cs/zivotni-cyklus-organizace>

- [38] “ROI.” Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/r/returnoninvestment.asp>
- [39] “ROI meaning.” Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://cashbot.cz/blog/co-je-roi-a-jak-se-pocita/>
- [40] “ROI comparison”, Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.macrotrends.net/stocks/stock-comparison?s=roi&axis=single&comp=TSLA:AAPL:GOOGL:WMT>

Přílohy

Příloha 1 – Dopočtené hodnoty (využité pouze průměr a medián)

<i>Dopočtené hodnoty - ruční</i>	
Průměr	35,49295775
Standard Error	8,33657162
Medián	11
Mode	10
Standard Deviation	99,34171604
Sample Variance	9868,776546
Kurtosis	29,72704584
Skewness	5,293538634
Range	735
Minimum	0
Maximum	735
Sum	5040
Count	142

Příloha 2 – Dopočtené hodnoty (využité pouze průměr a medián)

<i>Dopočtené hodnoty - do kardexu</i>	
Průměr	82,03672934
Standard Error	23,69088372
Medián	33
Mode	29
Standard Deviation	1132,95939
Sample Variance	1283596,98
Kurtosis	2212,476462
Skewness	46,67598067
Range	53793
Minimum	0
Maximum	53793
Sum	187618
Count	2287

Příloha 3 – Dopočtené hodnoty (využité pouze průměr a medián)

<i>Dopočtené hodnoty - Z kardexu</i>	
Průměr	214,3883721
Standard Error	52,93736751
Medián	80
Mode	65
Standard Deviation	2454,604752
Sample Variance	6025084,49
Kurtosis	595,7693437
Skewness	24,03358572
Range	70651
Minimum	51
Maximum	70702
Sum	460935
Count	2150

Příloha 4 – Dopočtené hodnoty (využité pouze průměr a medián)

<i>Dopočtené hodnoty - do Kardexu</i>	
Průměr	49,34769976
Standard Error	2,306617044
Medián	33
Mode	31
Standard Deviation	104,8179169
Sample Variance	10986,79571
Kurtosis	223,5626625
Skewness	13,58619634
Range	2176
Minimum	26
Maximum	2202
Sum	101903
Count	2065

Příloha 5 – Dopočtené hodnoty (využité pouze průměr a medián)

<i>Dopočtené hodnoty – z Kardexu</i>	
Průměr	96,66616766
Standard Error	3,759977592
Medián	78
Mode	65
Standard Deviation	168,3193771
Sample Variance	28331,41271
Kurtosis	453,9790853
Skewness	19,32039875
Range	4718
Minimum	53
Maximum	4771
Sum	193719
Count	2004