

Optimalizace interních logistických procesů v kontextu Průmyslu 4.0

Bc. Michael Kamler

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta logistiky a krizového řízení

Ústav logistiky

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Michael Kamler
Osobní číslo:	L23083
Studijní program:	N1032A020002 Bezpečnost společnosti
Specializace:	Bezpečnost logistických systémů
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Optimalizace interních logistických procesů v kontextu Průmyslu 4.0

Zásady pro vypracování

- Zpracujte literární rešerši k danému tématu diplomové práce.
- Analyzujte současný stav interní přepravy materiálu ve vybrané organizaci.
- Navrhněte optimalizaci interní přepravy materiálu pomocí automatizovaného systému.
- Vyhodnoťte přínosy nasazení automatizované přepravy.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. BARTODZIEJ, Christoph Jan. *Concept Industry 4.0*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2017. ISBN 9783658165024
2. JUROVÁ, Marie. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Grada Publishing, 2016. ISBN 9788024757179
3. PAKSOY, Turan; KOÇHAN, Çiğdem a ALI, Sadia Samar. *Logistics 4.0*. CRC Press, 2021. ISBN 9780367340032
4. RICHARDS, Gwynne. *Warehouse management*. Kogan Page, 2022. ISBN 9781789668407
5. WILSON, Mike. *Implementation of robot systems*. FisicalBook, 2015. ISBN 9780124047334

Další odborná literatura dle doporučení vedoucí diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Slavomíra Vargová, PhD.**
Ústav krizového řízení

Datum zadání diplomové práce: **2. prosince 2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **25. dubna 2025**

L.S.

prof. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.
děkanka

prof. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.
ředitel ústavu

V Uherském Hradišti dne 2. prosince 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

V Uherském Hradišti, dne 25.4.2025

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá optimalizací interní logistiky v prostředí výrobního podniku s využitím principů Průmyslu 4.0. Konkrétně se zaměřuje na srovnání dvou způsobů přepravy materiálu – tradičního systému milkrun a moderního řešení založeného na autonomních mobilních robotech (AMR).

Teoretická část práce popisuje význam interní logistiky, možnosti její automatizace, vliv Průmyslu 4.0 a vývoj technologií AMR. V praktické části je provedena detailní analýza stávajícího stavu přepravy, návrh alternativního řešení s využitím AMR, následná simulace provozu a porovnání obou systémů z hlediska časové náročnosti, efektivity a ekonomické návratnosti.

Výsledky ukazují, že zavedení AMR může zlepšit plynulost materiálového toku snížením času po kterou čeká paleta na odvoz a přinést firmě úspory v oblasti personálních i provozních nákladů.

Klíčová slova: interní logistika, milkrun, AGV, AMR, Průmysl 4.0, automatizace, optimalizace, simulace, návratnost investice

ABSTRACT

This thesis focuses on the optimization of internal logistics in a manufacturing environment using the principles of Industry 4.0. Specifically, it is aimed at comparing two methods of material transport – the traditional milkrun system and a modern solution based on Autonomous Mobile Robots (AMR).

The theoretical part of the thesis describes the importance of internal logistics, the possibilities of its automation, the impact of Industry 4.0, and the development of AMR technologies. The practical part includes a detailed analysis of the current transport system, the design of an alternative solution using AMR, a subsequent simulation of the operation, and a comparison of both systems in terms of time requirements, efficiency, and economic return.

The results show that the implementation of AMR can improve the continuity of material flow by reducing the time a pallet waits for pickup and can bring savings in both personnel and operational costs for the company.

Keywords: internal logistics, milkrun, AGV, AMR, Industry 4.0, automation, optimization, simulation, return on investment

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí mé diplomové práce Ing. Slavomíře Vargové, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a vstřícný přístup, kterými mě provázela po celou dobu zpracování práce. Velké poděkování patří také pracovníkům ze společnosti, kteří mi umožnili nahlédnout do praxe a poskytl informace potřebné pro zpracování praktické části mé diplomové práce.

OBSAH

ÚVOD.....	15
I TEORETICKÁ ČÁST	17
1 CÍL A POUŽITÉ METODY	18
2 VÝZNAM INTERNÍ LOGISTIKY	20
2.1 AUTOMATIZACE V INTERNÍ LOGISTICE	23
2.1.1 Využití automatizace v interní logistice.....	23
2.1.2 Výhody automatizace	23
2.1.3 Úskalí zavádění automatizace	24
2.2 INFORMAČNÍ SYSTÉMY V INTERNÍ LOGISTICE	24
2.3 ZTRÁTOVÉ ČASY V INTERNÍ LOGISTICE A JEJICH ELIMINACE	25
2.3.1 Formy ztrátových časů	25
2.3.2 Způsoby rozpoznání neefektivních činností.....	26
2.3.3 Přístupy k odstranění ztrát.....	26
3 OPTIMALIZACE LOGISTICKÝCH PROCESŮ	27
3.1 CÍLE OPTIMALIZACE	27
3.2 KLÍČOVÉ UKAZATELE VÝKONNOSTI (KPI)	27
3.3 NÁSTROJE A METODY OPTIMALIZACE	27
3.4 OPTIMALIZACE PODPOŘENÁ DIGITALIZACÍ	28
4 PRŮMYSL 4.0	29
4.1 TECHNOLOGIE PRŮMYSLU 4.0	29
4.1.1 Digitalizace	29
4.2 TRENDY V LOGISTICE V KONTEXTU PRŮMYSLU 4.0	30
4.3 VLIV PRŮMYSLU 4.0 NA INTERNÍ LOGISTIKU	31
5 INTERNÍ LOGISTIKA A MANIPULACE S MATERIÁLEM.....	33
5.1 MANIPULAČNÍ JEDNOTKY	33
5.1.1 Charakteristika a význam	33
5.1.2 Typy manipulačních jednotek	34
5.2 PŘEHLED METOD INTERNÍ PŘEPRAVY	34
6 AUTOMATICKY NAVÁDĚNÉ VOZÍKY.....	37
6.1 HISTORIE VÝVOJE AGV	37
6.1.1 Počátky automatizace.....	37
6.1.2 Využití automatizace.....	38
6.1.3 Standardizace a rozšíření.....	38
6.1.4 Digitalizace a průmysl 4.0.....	38
6.2 ROZDĚLENÍ AGV PODLE KONSTRUKCE	39
6.3 DRUHY NAVIGACE AGV	40

7	SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....	42
II	PRAKTICKÁ ČÁST	43
8	ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU	44
8.1	POPIS JEDNOTLIVÝCH TRAS	44
8.1.1	Trasa červená.....	44
8.1.2	Trasa modrá.....	45
8.1.3	Trasa oranžova	46
8.2	PROCES VYCHYSTÁNÍ PALET PRO ODVOZ MILKRUNEM	46
8.3	POPIS ZPŮSOBU PŘEPRAVY	48
8.3.1	Hmotnost přepravovaného materiálu	49
8.3.2	Používané obalové jednotky.....	49
8.4	MAPOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU PŘEPRAVY	51
8.5	SBĚR DAT	51
8.5.1	Metodika měření.....	51
8.5.2	Cíl měření	52
8.5.3	Měření časů nakládky milkrunů	52
8.5.4	Měření časů čekání palety na převoz	54
8.5.5	Celková doba přeprava palety na dané předávací místo	58
8.6	SHRNUTÍ ČASOVÝCH DAT	60
9	NÁVRH OPTIMALIZOVANÉHO STAVU S VYUŽITÍM AMR	62
9.1.1	Základní princip fungování	62
9.1.2	Popis vývojového diagramu přepravy palet pomocí AMR	63
9.1.3	Řízení a optimalizace	64
9.1.4	Klíčové oblasti a proces zásobování	64
9.1.5	Proces přepravy a vykládky	65
9.1.6	Řízení a integrace	65
9.1.7	Specifikace vozíků	65
9.1.8	Navigační a pohybové schopnosti	66
9.1.9	Technologické vlastnosti	67
9.2	ANALÝZA ČASOVÝCH ÚDAJŮ ZE SIMULACE	68
9.3	KOMPARACE PŘEPRAVY MILKRUN VS. AMR	71
9.4	ROI	72
9.5	COST-BENEFIT ANALÝZA (CBA)	73
9.5.1	Závěr CBA analýzy	74
9.6	PRE-POST ANALÝZA: SROVNÁNÍ VARIANT MILKRUN A AMR	74
10	ANALÝZA RIZIK APLIKACE AMR	76
	DISKUZE.....	79
	ZÁVĚR.....	80
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	81
	SEZNAM OBRÁZKŮ	84

SEZNAM TABULEK.....	85
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	86
SEZNAM PŘÍLOH.....	87

ÚVOD

Interní logistika představuje klíčovou součást výrobního procesu, neboť zajišťuje fyzický tok materiálů, polotovarů a výrobků mezi jednotlivými výrobními, montážními a skladovacími pracovišti. Jejím hlavním cílem je zabezpečit správné množství materiálu ve správný čas a na správném místě, a to s co nejnižšími náklady. V době zvyšujících se požadavků na rychlost, přesnost a flexibilitu výroby se interní logistika dostává do popředí zájmu jako oblast s významným potenciálem pro optimalizaci a zefektivnění podnikových procesů.

Jedním z aktuálních trendů v oblasti výrobních podniků je automatizace logistických činností, která se stává nezbytnou odpovědí na rostoucí tlak na produktivitu, nedostatek pracovních sil a požadavek na vyšší bezpečnost a predikovatelnost procesů. Tradiční systémy přepravy, jako jsou mlčunové soupravy nebo ruční manipulace, často narážejí na své limity v podobě neefektivních čekacích dob, vysoké závislosti na lidské práci či nevyužití kapacity.

S těmito požadavky úzce souvisí také nástup tzv. Průmyslu 4.0, označovaného jako čtvrtá průmyslová revoluce. Tento koncept spočívá v digitalizaci, automatizaci a propojení výrobních a logistických systémů s cílem vytvořit chytré, flexibilní a samostatně se rozhodující procesy. Mezi klíčové technologie Průmyslu 4.0 patří internet věcí (IoT), umělá inteligence, digitální dvojčata, pokročilé analytické nástroje a zejména autonomní systémy přepravy, které umožňují pohyb materiálu bez nutnosti zásahu člověka. Jedním z konkrétních nástrojů automatizace jsou autonomní mobilní roboti (AMR) – zařízení schopná samostatně se orientovat v prostoru, detekovat překážky a realizovat přepravu zboží na základě aktuálních požadavků provozu.

Dalším důležitým aspektem při zavádění automatizovaných systémů je bezpečnost. Moderní logistická zařízení musejí být nejen efektivní, ale také bezpečná pro provoz v prostředí, kde dochází ke sdílení prostoru mezi stroji a lidmi. AMR systémy dnes využívají pokročilé senzory a kamery, které umožňují včasnou detekci pohybu a autonomní reakci na nečekané situace, čímž významně přispívají ke zvýšení provozní bezpečnosti.

Tato diplomová práce se věnuje problematice zefektivnění interní logistiky ve výrobním podniku v návaznosti na výše uvedené trendy. Pozornost je zaměřena zejména na automatizaci interní přepravy a její porovnání s tradičním způsobem přepravy. Práce

zkoumá nejen technické a provozní aspekty, ale také ekonomické dopady. Jejím cílem je poskytnout ucelený pohled na danou problematiku.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CÍL A POUŽITÉ METODY

Hlavním cílem této diplomové práce je navrhnout a vyhodnotit možnosti optimalizace interní přepravy materiálu ve výrobním podniku prostřednictvím zavedení autonomních mobilních robotů (AMR), a to v souladu s moderními principy Průmyslu 4.0. Práce se zabývá porovnáním stávajícího systému přepravy, založeného na milkrunových soupravách, s nově navrženým automatizovaným řešením. Důraz je kladen zejména na časové úspory, plynulost materiálového toku a ekonomické zhodnocení návrhu.

V rámci praktické části bylo nejprve analyzováno stávající řešení přepravy. Pomocí sběru provozních dat byly zaznamenány časy nakládky a vykládky palet, doba přepravy a zejména čekací doba palet na odvoz. Data byla následně statisticky zpracována, aby bylo možné stanovit referenční hodnoty pro další porovnání. Tento krok vycházel z pozorování reálného provozu, kdy byly jednotlivé přepravní činnosti systematicky sledovány a zaznamenávány s cílem odhalit opakující ztrátové časy a slabá místa v procesu.

Na základě získaných poznatků byla provedena analýza současného přepravního systému. Analýza sloužila k rozkladu sledovaných činností na jednotlivé prvky a k identifikaci hlavních příčin neefektivity. Tento postup umožnil lépe pochopit strukturu a návaznosti přepravních procesů a vytvořit tak pevný základ pro návrh zlepšení.

Následně byl vytvořen simulační model navrženého systému s využitím AMR, který umožnil ověřit funkčnost, kapacitní vyváženost a časovou náročnost automatizované přepravy. Výsledky ze simulace byly porovnány s výchozím stavem pomocí Pre-post analýzy, která vyhodnocuje rozdíly mezi původní a navrženou variantou přepravy. Hlavními sledovanými ukazateli byly doba přepravy palety a délka jejího čekání na odvoz.

Součástí postupu byla rovněž komparace – tedy srovnání dvou variant přepravy: tradičního systému milkrun a navrženého systému s AMR. Komparace byla využita jak v technické rovině (časová náročnost, průběh přepravy, četnost zásobování), tak v rovině ekonomické. Tento postup umožnil objektivní vyhodnocení přínosů automatizovaného řešení na základě měřitelných ukazatelů.

Zásadní součástí práce bylo ekonomické vyhodnocení návrhu. V první fázi byl vypočítán ukazatel návratnosti investice (ROI), který poskytl přehled o finanční efektivitě implementace AMR. Na tento výpočet navázala Cost-benefit analýza (CBA), jež detailně porovnála náklady na pořízení a provoz systému s očekávanými přínosy v podobě úspor na pracovní síle, zkrácení časů, snížení provozních nákladů a zvýšení produktivity.

Pro zhodnocení možných rizik byla rovněž provedena analýza FMEA (Failure Modes and Effects Analysis). Tato metoda umožnila identifikovat potenciální slabá místa navrženého systému, posoudit jejich závažnost a pravděpodobnost výskytu a navrhnout vhodná opatření ke snížení nebo eliminaci rizik spojených s provozem AMR v daném prostředí. Mezi použité metody patřila také Paretova analýza, která sloužila k určení nejvýznamnějších faktorů ovlivňujících výkon logistického systému. Výsledkem této metody byl Paretův diagram, jenž přehledně znázornil rozložení jednotlivých příčin problémů.

Teoretická východiska byla zajištěna prostřednictvím literární rešerše, která zahrnovala odborné zdroje z oblastí interní logistiky, automatizace, digitálních technologií a implementace pokročilých autonomních systémů v souladu s koncepcí Průmyslu 4.0. Tyto poznatky vytvořily základ pro návrh konkrétního řešení a jeho zasazení do širšího kontextu moderní logistiky.

2 VÝZNAM INTERNÍ LOGISTIKY

Interní logistika představuje komplexní oblast zaměřenou na řízení materiálových a informačních toků uvnitř organizace. (Zoubek a Šimon, 2020) Jurová (2016) ve své knize zmiňuje, že vnitřní logistika zahrnuje veškeré procesy spojené s příjmem, skladováním a distribucí materiálů a surovin nezbytných pro výrobu finálního produktu nebo poskytování služby.

Vývoj podnikové logistiky lze charakterizovat jako postupný proces, který prošel několika významnými etapami. Každá z těchto etap přinesla nové přístupy a metody, které reflektovaly měnící se potřeby trhu a rostoucí konkurenci.

V počátcích se logistika soustředila primárně na distribuci finálních produktů, přičemž hlavním cílem bylo zajistit přepravu zboží od výrobce k zákazníkovi. Tento přístup byl úzce spjat s obchodními a marketingovými strategiemi.

Následující etapa přinesla zvýšený důraz na efektivní řízení zásob. Podniky se zaměřily na minimalizaci nákladů spojených s držením nadměrných zásob, což vedlo k rozvoji a implementaci pokročilých matematických a statistických metod pro predikci poptávky a optimalizaci skladových procesů.

S rostoucí komplexitou trhů se logistika posunula k integrovanému pojetí. Tato fáze se vyznačovala vytvářením komplexních logistických systémů a řetězců, které propojovaly všechny články od dodavatelů až po koncové zákazníky. Klíčovým aspektem se stala synchronizace a koordinace jednotlivých procesů v rámci celého řetězce.

Současná etapa logistiky je charakterizována implementací vysoce optimalizovaných logistických systémů. Tyto systémy využívají pokročilé technologie pro elektronickou výměnu dat a jsou úzce propojeny s moderními metodami řízení podnikových procesů. Důraz je kladen na celostní přístup k optimalizaci logistických operací napříč celou organizací. (Jurová, 2016)

Interní logistika zahrnuje veškeré procesy probíhající v rámci výrobního podniku, které souvisejí s pohybem materiálu a jeho skladováním. Klíčovými aspekty jsou plánování, organizace a řízení těchto činností s cílem maximalizovat efektivitu výroby. Mezi hlavní prvky interní logistiky patří lidské zdroje, interní doprava, dopravní trasy, manipulační a dopravní technika, sklady a související logistické služby, které podniku přinášejí přidanou hodnotu. Zásadní roli hraje vhodná volba dopravních prostředků a technologií pro interní

přepravu, kde je důležité zajistit optimální organizaci transportních, skladovacích a manipulačních operací, jako je nakládání, vykládání, přesun materiálu, či balení a vybalování. Hlavním cílem interní logistiky je efektivní využití dostupného prostoru, minimalizace přepravních vzdáleností a zkrácení času potřebného k toku materiálu v rámci podniku. (Franko Uhernik, 2021)

Vzhledem k její rozsáhlosti je ji možné podle rozdělit do několika operací:

- Manipulace s materiálem
- Skladování
- Zásobování
- Balení
- Identifikace materiálu

Těchto 5 činností je možné podrobněji popsat následujícím způsobem:

Samotná manipulace s materiálem zahrnuje procesy související s jeho přesunem a přepravou v rámci podniku. Během těchto operací dochází nejen k fyzickému přemístění materiálu, ale zároveň i k aktualizaci jeho umístění v informačním systému.

Hlavní oblasti manipulace:

- **Manipulační technika** – veškerá zařízení a technologie využívané k manipulaci s materiálem, jako jsou vysokozdvižné vozíky, dopravníky nebo automatizované manipulační systémy.
- **Informační zajištění při manipulaci** – systémy a technologie sloužící ke sledování a řízení toku materiálu, například čárové kódy, RFID nebo skladové informační systémy.
- **Manipulační jednotky** – způsob seskupení materiálu pro efektivnější manipulaci, kam patří například palety, kontejnery nebo přepravky (Zoubek a Šimon, 2020)

Proces skladování materiálu zahrnuje klíčové činnosti, mezi které patří naložení materiálu a jeho umístění na určené místo, zaznamenání této operace do informačního systému, správa požadavků na vyskladnění, fyzické vyjmutí materiálu, jeho příprava k přepravě a následná aktualizace záznamů v systému.

Hlavní oblasti tohoto procesu zahrnují:

- **Skladovací technologie** – Zahrnuje veškeré prostředky a metody používané k efektivnímu ukládání materiálu ve skladu. Patří sem regálové systémy, automatizované skladovací systémy, manipulační technika
- **Informační systém pro správu skladových operací** – Slouží k evidenci pohybu materiálu ve skladu a zajišťuje přehled o jeho umístění, množství a stavu. Moderní systémy, jako jsou WMS (Warehouse Management System), umožňují automatizaci procesů, sledování zásob v reálném čase a integraci s dalšími podnikovými systémy.
- **Příjem materiálu a jeho expedici** – Tento proces zahrnuje všechny kroky spojené s příchodem materiálu do skladu a jeho následným odesláním k dalšímu zpracování nebo k zákazníkovi. Při příjmu se kontroluje množství a kvalita materiálu, provádí se jeho zaevidování do informačního systému a umístění na skladové pozice.

(Zoubek a Šimon, 2020)

Balení materiálů představuje zásadní prvek logistických procesů, jelikož má přímý vliv na efektivitu přepravy, skladování i ochranu zboží. Správně zvolený obal minimalizuje riziko poškození, usnadňuje manipulaci a zároveň přispívá k optimalizaci nákladů v rámci celého dodavatelského řetězce.

Jak uvádí Ivan Gros a kolektiv v publikaci „*Velká kniha logistiky*“, balení je neodmyslitelnou součástí logistického systému, která ovlivňuje nejen ochranu produktů, ale i efektivitu jejich skladování a přepravy. Autoři zdůrazňují důležitost správného výběru obalových materiálů a technologií, které umožňují optimalizovat materiálové a informační toky v dodavatelském řetězci.

Hlavní oblasti tohoto procesu zahrnují:

- Umístění hotových výrobků do koncových obalů určených pro koncového zákazníka.
- Sdružování jednotlivých produktů do větších skupinových balení pro efektivnější manipulaci a distribuci.
- Balení kompletních objednávek do logistických a přepravních obalů usnadňujících manipulaci a transport. (Gros, 2016)

Identifikace materiálu v logistice je klíčová pro efektivní správu pohybu zboží a informací v dodavatelském řetězci. Je nezbytná pro zajištění přesnosti a rychlosti při manipulaci se zbožím, jeho ukládání do skladu a následnou distribuci.

Současné technologie automatické identifikace, jako jsou čárové kódy a RFID (identifikace pomocí rádiových vln), umožňují efektivní a přesné záznamy o materiálu. Čárové kódy jsou oblíbené díky své jednoduchosti a nízkým nákladům, zatímco RFID nabízí výhodu bezkontaktního čtení dat na větší vzdálenost, bez potřeby přímé viditelnosti. (Gros, 2016)

2.1 Automatizace v interní logistice

V rámci současných logistických trendů nabývá automatizace v interní logistice stále většího významu. Jde o proces zavádění technologií a systémů, které omezují potřebu manuální práce při manipulaci s materiálem, jeho skladování či přepravě uvnitř podniku. Automatizace je často úzce spojena s implementací konceptů Průmyslu 4.0, kde hraje klíčovou roli při zvyšování efektivity, snižování nákladů a zajištění plynulosti procesů. (Gros, 2016)

2.1.1 Využití automatizace v interní logistice

Automatizované systémy nacházejí uplatnění v mnoha oblastech interní logistiky. Patří sem například skladové technologie, jako jsou automatizované regálové systémy, zakladače nebo karuselové sklady. Jak uvádí (Pfohl, 2023) v oblasti vnitropodnikové dopravy jsou hojně využívána automatická vozidla (AGV) nebo mobilní roboti (AMR), které zabezpečují plynulý tok materiálu mezi jednotlivými pracovišti. Významné pokroky se rovněž objevují v automatizaci vychystávání pomocí robotických ramen nebo světelných a hlasových systémů. Celý proces je řízen prostřednictvím softwarových systémů jako jsou WMS či MES. (Pfohl, 2023)

2.1.2 Výhody automatizace

Zavádění automatizovaných řešení v logistice přináší řadu pozitivních dopadů. Výrazně se zvyšuje celková produktivita, protože technologie mohou pracovat bez přestávek a s konstantním výkonem. Zároveň dochází ke snížení chybovosti a zlepšení přesnosti při přepravě a manipulaci. Díky automatizaci je možné lépe využít dostupné prostory, minimalizovat provozní náklady a zároveň zlepšit pracovní podmínky, protože stroje mohou převzít neergonomické nebo rizikové činnosti. (Ullrich, 2016)

2.1.3 Úskalí zavádění automatizace

Přestože automatizace přináší celou řadu výhod, její implementace s sebou nese i určité komplikace. Jedním z hlavních omezení je vysoká vstupní investice do technologií. Úspěšné zavedení vyžaduje často reorganizaci stávajících procesů a infrastruktury. Dále vzniká závislost na spolehlivosti techniky a odborném personálu, který je schopný zajistit správu, údržbu a případné opravy zařízení. Významným faktorem je také potřeba sladění nových systémů s ostatními částmi výroby a logistiky. (Pfohl, 2023)

2.2 Informační systémy v interní logistice

Využití moderních informačních systémů a technologií je klíčovým faktorem pro úspěch logistických podniků a jejich konkurenceschopnost. Rostoucí nároky na rychlost a přesnost dodávek, spolu s rozvojem distribučních center, kladou důraz na efektivní řízení dodavatelských řetězců. Logistické firmy musí nejen optimalizovat náklady, ale také zajistit vysokou kvalitu služeb a rychlou reakci na změny trhu.

Systémy podporující řízení a kontrolu logistických procesů zahrnují širokou škálu softwarových řešení, která usnadňují správu a koordinaci různých operací ve všech částech logistického řetězce.

Mezi nejpoužívanější nástroje patří:

- **ERP** (Enterprise Resource Planning) systémy,
- **WMS** (Warehouse Management System) pro správu skladů
- **IMS** (Inventory Management System) pro řízení zásob,
- **EDI** (Electronic Data Interchange) pro elektronickou výměnu dat,
- **TMS** (Transportation Management System) pro řízení dopravy,
- **ITS** (Intelligent Transport System) jako inteligentní dopravní systémy

a další specializované platformy, například telematické systémy nebo PMS (Package Management System) pro správu zásilek. (Kaup et al., 2024)

ERP systémy poskytují integrované řešení pro řízení podnikových procesů a efektivní plánování podnikových zdrojů. Jejich klíčovou vlastností je propojení dat ze všech oddělení firmy v rámci jednotné databáze a modulární struktura, která umožňuje přizpůsobení konkrétním potřebám podniku.

Jedním z klíčových modulů ERP je WMS, který se zaměřuje na řízení skladových operací a optimalizaci toků zboží a informací ve skladu. Tento systém nejen eviduje a ukládá data o zásobách a skladových procesech, ale zároveň je integruje s dalšími moduly ERP. WMS zahrnuje několik základních funkcí, mezi něž patří správa skladových prostor, řízení pohybu zboží, kontrola zásob, vychystávání objednávek, expedice a řízení pracovních úkolů.

Modul pro řízení zásob (IMS) je klíčový pro efektivní správu skladových zásob. Specializované softwarové nástroje v této oblasti umožňují sledovat aktuální stav zásob, optimalizovat objednávky, zaznamenávat pohyby zboží a na základě historických dat predikovat budoucí poptávku.

EDI systémy hrají důležitou roli v oblasti digitalizace obchodní komunikace mezi dodavateli, distributory a odběrateli. Díky elektronické výměně dat lze zrychlit a zefektivnit procesy související s dodávkami a objednávkami, čímž dochází ke snížení chybovosti a optimalizaci skladových zásob.

TMS systémy umožňují efektivní plánování, realizaci a optimalizaci přepravních procesů. Integrují různé softwarové nástroje a komunikační technologie, které pomáhají s plánováním tras, sledováním zásilek a řízením logistických operací. (Krstić et al., 2021)

2.3 Ztrátové časy v interní logistice a jejich eliminace

Jedním z významných kroků při optimalizaci interní logistiky je odhalení a snížení činností, které zdržují procesy, aniž by přinášely přidanou hodnotu. Tyto neproduktivní časy, známé jako ztrátové, zatěžují jak pracovníky, tak dostupné zdroje a mohou mít vliv na celkovou plynulost a efektivitu materiálového toku. (Richards, 2022)

2.3.1 Formy ztrátových časů

Ve firemní praxi se lze setkat s různými typy neefektivit, které zpomalují logistické procesy. Mezi časté příklady patří:

- **Čekání** – vzniká, když materiál není okamžitě připraven k dalšímu kroku, např. kvůli zdržení dopravního prostředku nebo výrobní linky.
- **Zbytečný pohyb materiálu** – materiál je přepravován vícekrát, než je nutné, a často zbytečně dlouhou trasou.
- **Nadměrná manipulace** – například opakované překládání nebo převážení z jednoho místa na druhé.

- **Nerovnoměrné vytížení zařízení a pracovníků** – některé zdroje jsou přetížené, zatímco jiné nevyužité.
- **Přerušování toku způsobené chybami** – např. kvůli neaktuálním informacím, špatnému označení zásilek nebo závadám techniky. (Heizer et al., 2024)

2.3.2 Způsoby rozpoznání neefektivních činností

K efektivnímu odstranění ztrát je nejprve potřeba je správně rozpoznat. Používají se k tomu různé nástroje a metody:

- **Mapování toku hodnot (VSM)** – slouží k vizualizaci procesu a identifikaci činností, které nepřidávají hodnotu.
- **Časové analýzy** – zaznamenávání průběžných dob a čekání v procesech.
- **Simulace materiálových toků** – umožňuje porovnat různé scénáře bez zásahu do skutečného provozu.
- **Využití zkušeností pracovníků** – sběr informací z provozu prostřednictvím rozhovorů nebo workshopů. (Heizer et al., 2024)

2.3.3 Přístupy k odstranění ztrát

Jakmile jsou slabá místa identifikována, lze navrhnout cílená opatření, která povedou ke zlepšení. Mezi běžné způsoby odstranění ztrát v interní logistice patří:

- **Změna uspořádání provozu** – například zkrácení tras mezi skladem a výrobou.
- **Automatizace přepravních procesů** – zavedení AGV nebo jiných bezobslužných systémů pomáhá snížit čekání a zrychlit přepravu.
- **Zavedení systémů pro sledování materiálu v reálném čase** – např. pomocí čteček nebo senzorů.
- **Standardizace pracovních postupů** – snižuje chyby a zajišťuje hladký průběh činností.
- **Lepší koordinace mezi odděleními** – např. přes vizualizaci toku nebo elektronické řízení priorit. (Richards, 2022)

3 OPTIMALIZACE LOGISTICKÝCH PROCESŮ

Optimalizace logistických činností představuje cílené zlepšování materiálových a informačních toků s důrazem na zvýšení efektivity, snížení nákladů a zajištění plynulého zásobování výroby. V prostředí interní logistiky se to týká zejména plánování přeprav, řízení manipulace, využití techniky, skladových kapacit a pracovní síly. (Gros, 2016)

3.1 Cíle optimalizace

Hlavním cílem optimalizace je zefektivnit logistické procesy tak, aby byl materiál ve správném množství, kvalitě a čase dostupný tam, kde je potřeba. Optimalizace usiluje o minimalizaci provozních nákladů, zkrácení doby přepravy, snížení chybovosti a maximální využití dostupných kapacit. Zároveň umožňuje zvyšovat flexibilitu systému, což je zásadní pro schopnost reagovat na měnící se potřeby výroby i zákazníka. (Rathouský et al., 2016)

3.2 Klíčové ukazatele výkonnosti (KPI)

Úspěšnost optimalizačních opatření je třeba průběžně vyhodnocovat. K tomu slouží tzv. klíčové ukazatele výkonnosti (Key Performance Indicators, KPI), které poskytují měřitelná data o výkonnosti procesů. Mezi nejpoužívanější ukazatele patří např. průměrný čas přepravy, počet uskutečněných přeprav za směnu, míra využití dopravních prostředků, úroveň dostupnosti zásob na výrobních pracovištích a četnost chyb při manipulaci. Pravidelné sledování těchto ukazatelů umožňuje identifikovat nedostatky a provádět cílené zásahy ke zlepšení. (Pfohl, 2023)

3.3 Nástroje a metody optimalizace

Pro systematické zlepšování logistických procesů se v praxi využívá řada ověřených nástrojů a metodik. Lean logistika se zaměřuje na odstranění zbytečných činností a zkracování toku materiálu. Metoda Six Sigma cílí na snižování variability a zajištění stabilních výstupů s nízkou chybovostí. K vizualizaci a analýze materiálového toku se využívá tzv. mapování hodnotového toku (Value Stream Mapping), které pomáhá identifikovat úzká místa. V pokročilejších případech se využívají simulační nástroje, které umožňují modelovat různé varianty uspořádání logistických operací bez nutnosti zásahů do reálného provozu. (Madhani, 2016)

3.4 Optimalizace podpořená digitalizací

Moderní technologie přinášejí do oblasti optimalizace nový rozměr. Využití senzorů, softwarových systémů, internetu věcí (IoT) a sběru dat v reálném čase umožňuje efektivně řídit a vyhodnocovat logistické toky. Tyto informace pak slouží jako základ pro rozhodování o zlepšování procesů. Optimalizace již není vnímána jako jednorázová činnost, ale jako neustále probíhající proces, který se díky digitalizaci stává přesnějším a dynamičtější. (Rathouský et al., 2016)

4 PRŮMYSL 4.0

Průmysl 4.0 představuje moderní přístup k výrobním procesům, jehož hlavním cílem je zvýšení produktivity a efektivity prostřednictvím inovativních technologií. Mezi klíčové faktory, které tento koncept pohánějí, patří internet věcí (IoT), umělá inteligence (AI) a blockchain. Tyto technologie nejenže přinášejí nové možnosti automatizace, ale také propojují jednotlivé průmyslové inovace do inteligentního a flexibilního výrobního systému.

Důležitou součástí Průmyslu 4.0 jsou kyber-fyzikální systémy, které umožňují autonomní fungování výrobních závodů a jejich schopnost pružně reagovat na změny v poptávce. Komponenty v těchto systémech jsou vzájemně propojené a dokážou mezi sebou komunikovat bez nutnosti lidského zásahu. (Bartodziej, 2017)

Klíčovým aspektem Průmyslu 4.0 jsou informační a komunikační technologie (ICT), které podporují dlouhodobý rozvoj průmyslových odvětví a přispívají k udržitelnosti nejen z ekonomického, ale i sociálního a environmentálního hlediska. Digitalizace a pokročilé technologie se proto stále více uplatňují v oblastech, jako je logistika, zdravotnictví, chytré zemědělství či energetika. (Hayat et al., 2023)

4.1 Technologie průmyslu 4.0

V kontextu Průmyslu 4.0 se interní logistika stává stále více automatizovanou a digitalizovanou. Čím dál více se uplatňuje digitální dvojče, což je virtuální model logistického systému, který umožňuje simulaci a optimalizaci procesů v reálném čase. Další inovací je využívání pokročilých analytických nástrojů pro predikci potřeb materiálu, což vede k přesnějšímu plánování výroby a eliminaci nadbytečných zásob. Internet věcí (IoT) umožňuje propojení jednotlivých logistických prvků do jednoho integrovaného systému, což zvyšuje efektivitu a transparentnost interních procesů. (Hayat et al., 2023)

4.1.1 Digitalizace

Digitalizace představuje stěžejní element v rámci koncepce Průmyslu 4.0, která přináší zásadní transformace nejen v oblasti průmyslové produkce, ale i v širším společenském kontextu. Průmysl 4.0 lze charakterizovat jako nový přístup, který zahrnuje digitalizaci, automatizaci výroby a s tím související změny na pracovním trhu. Tento koncept má dalekosáhlé dopady, které se dotýkají mnoha oblastí od průmyslu přes technickou standardizaci, bezpečnost, vzdělávací systém, právní rámec a vědu až po trh práce.

Hlavní aspekty digitalizace v logistice

Technologická integrace: Digitalizace v logistice zahrnuje implementaci pokročilých technologií, jako jsou:

- Internet věcí (IoT) pro sledování zásilek v reálném čase
- Umělá inteligence pro optimalizaci tras a prediktivní analýzy
- Blockchain pro zvýšení transparentnosti a bezpečnosti transakcí
- Big data analytics pro lepší rozhodování a plánování

Automatizace procesů: Digitální řešení umožňují automatizovat rutinní úkoly, což vede k:

- Snížení chybovosti
- Zvýšení rychlosti zpracování objednávek
- Efektivnějšímu využití skladových prostor

Datově řízené rozhodování: Digitalizace poskytuje přístup k velkému množství dat, což umožňuje:

- Přesnější předpovědi poptávky
- Optimalizaci zásob
- Efektivnější plánování kapacit

(Digitalization in supply chain management and logistics, 2017)

4.2 Trendy v logistice v kontextu Průmyslu 4.0

Trendy v logistice v kontextu Průmyslu 4.0 představují významnou transformaci celého odvětví. Podle knihy "Logistics 4.0: Digital Transformation of Supply Chain Management" (Paksoy et al., 2019) lze identifikovat několik klíčových trendů:

Automatizace skladování a manipulace

Koncept Warehousing 4.0 představuje inteligentní, automatizované a propojené systémy, které transformují tradiční skladování:

- Autonomní systémy vyžadující méně prostoru a operující 24/7
- Zvýšení produktivity, efektivity a flexibility skladových operací

- Implementace robotických zakladačů a bezpilotních vozíků pro manipulaci se zbožím

Transformace dopravy

Transport 4.0 se zaměřuje na autonomní dopravu a snižování negativního dopadu na životní prostředí:

- Vývoj autonomních vozidel pro přepravu zboží
- Optimalizace dopravních tras pomocí umělé inteligence
- Využití alternativních pohonů pro snížení emisí

Integrace dodavatelského řetězce

Digitalizace umožňuje těsnější propojení všech článků dodavatelského řetězce:

- Sdílení dat v reálném čase mezi výrobcí, dopravci a zákazníky
- Vytváření digitálních dvojčat pro simulaci a optimalizaci logistických procesů
- Implementace cloudových řešení pro lepší koordinaci a spolupráci. (Richnák, 2022)

Nové obchodní modely

Průmysl 4.0 otevírá prostor pro inovativní logistické služby a platformy:

- Vznik digitálních platforem pro optimalizaci přepravy a skladování
- Rozvoj sdílené ekonomiky v logistice
- Personalizace logistických služeb na základě analýzy dat

Tyto trendy naznačují, že logistika v kontextu Průmyslu 4.0 směřuje k vysoce automatizovaným, datově řízeným a flexibilním systémům, které budou schopny efektivně reagovat na měnící se požadavky trhu a zákazníků. (Paksoy et al., 2021)

4.3 Vliv Průmyslu 4.0 na interní logistiku

Průmysl 4.0 přináší významné technologické změny, které zásadně ovlivňují nejen průmyslové procesy, ale i každodenní fungování firem a společností. Během posledních let došlo k výrazné transformaci logistických operací, přičemž interní logistika a manipulace s materiálem hrají klíčovou roli v aplikaci moderních metod, algoritmů a technologií. Současný vývoj ukazuje, že stále větší důraz je kladen na inteligentní automatizaci, která postupně nahrazuje rutinní a fyzicky náročné úkony. Tento trend je primárně způsoben

požadavky na vyšší efektivitu, rychlost a přesnost logistických operací, ale také nedostatkem manuální pracovní síly, zejména ve vyspělých ekonomikách.

Významným pokrokem v oblasti skladové logistiky je rozvoj autonomních mobilních robotů (AGV) a vychystávacích systémů, které se díky pokročilé sensorice a umělé inteligenci stávají stále schopnějšími. Automatizované systémy dokáží nejen optimalizovat pohyb materiálu ve skladech, ale i efektivněji využívat dostupný prostor. Významnou roli v tomto procesu sdílení hardwarových i softwarových prostředků pomocí internetové sítě, který umožňuje propojení jednotlivých zařízení a sdílení dat v reálném čase. Díky tomu mohou AGV a robotické systémy čerpat z centralizovaných výpočetních zdrojů a koordinovat své aktivity efektivněji, aniž by bylo nutné, aby jednotlivá zařízení disponovala vysokým výpočetním výkonem. (Nitsche, 2021)

Budoucnost interní logistiky směřuje k decentralizovaným a inteligentním systémům, ve kterých skupiny autonomních zařízení vykonávají operace s minimálním lidským zásahem. Plná automatizace skladových procesů by mohla vést k výraznému snížení provozních nákladů a eliminaci neefektivit spojených s manuální manipulací se zbožím. Přesto je k dosažení tohoto cíle nutné překonat řadu výzev, mezi které patří nejen technologická omezení a potřeba dalšího testování prototypů, ale také otázky spojené s odolností a spolehlivostí těchto systémů v reálném provozu. (Jabbar et al., 2018)

Nedávné studie ukazují, že integrace IoT a cloudových řešení v logistice přináší významné výhody, jako je zvýšená viditelnost, efektivita a kontrola nad pohybem zboží. Například práce Ivankova et al., (2020) zdůrazňuje, že propojená zařízení a analytika dat revolučně mění správu zásob, dopravu a skladování (Ivankova et al., 2020)

Vzhledem k těmto skutečnostem je pro další rozvoj automatizace v interní logistice nezbytné nejen testovat nové technologie v reálných provozních podmínkách, ale také pracovat na změně firemní kultury a investičních strategií, které by usnadnily přechod k plně digitalizovaným logistickým procesům. (Dixit a Chhabra, 2015)

5 INTERNÍ LOGISTIKA A MANIPULACE S MATERIÁLEM

Manipulace s materiálem představuje klíčovou součást každé výrobní činnosti a probíhá nepřetržitě ve všech provozech. Tento pojem označuje proces zajištění dodávky materiálu ve správném množství, na správné místo, ve správné kvalitě, ve správný čas a za co nejnížší náklady, a to pomocí vhodné metody.

V požadované kvalitě znamená, že během přepravy a skladování nedochází k poškození, znehodnocení ani znečištění materiálů a produktů. Klíčovým faktorem je vliv manipulace na zachování kvality dosažené ve výrobním procesu, což je určeno již při samotném návrhu logistických systémů. (Nenadál, 2018) Zahrnuje činnosti, jako je zvedání, přesun a ukládání materiálů během výroby. Manipulace s materiálem hraje zásadní roli při transportu surovin, rozpracovaných komponent, hotových výrobků, obalových materiálů i při likvidaci odpadu. Náklady na manipulaci tvoří významnou část celkových výrobních nákladů. (Kumar, 2021)

Přesun materiálu může probíhat manuálně, kdy jej pracovníci zvedají a přenášejí, nebo za použití pomůcek, jako jsou ruční vozíky či popruhy. Alternativně lze využít stroje, například jeřáby, vysokozdvížné vozíky nebo jiné zvedací zařízení. Kromě toho je možné materiály přesouvat pomocí automatizovaných systémů navržených pro mechanickou manipulaci, jako jsou roboty či dopravníky. (McGuire, 2023)

5.1 Manipulační jednotky

V rámci interní logistiky hrají manipulační jednotky klíčovou roli, neboť slouží k efektivnímu spojení jednotlivých balení nebo výrobků do většího celku, se kterým lze snáze manipulovat, skladovat jej a přepravovat. Cílem vytváření těchto jednotek je dosažení plynulosti, bezpečnosti a úspornosti při vnitropodnikové manipulaci a přepravě.

5.1.1 Charakteristika a význam

Manipulační jednotka představuje sdružené balení, které je vytvořeno z několika menších prvků (například kartonů, přepravek nebo zboží samotného), aby se s nimi mohlo snadněji pracovat jako s jedním celkem. Typicky bývá taková jednotka vytvořena na standardizované paletě nebo v přepravním boxu. (Richards, 2022)

- Jejich využití přináší hned několik výhod:

- zrychlení manipulace a přepravy,
- zjednodušení skladovacích operací,
- snížení poškození zboží při manipulaci,
- úspora lidské práce a zvýšení produktivity.

5.1.2 Typy manipulačních jednotek

Podle rozsahu a způsobu použití lze manipulační jednotky rozdělit do několika úrovní:

- **Manipulační jednotky prvního řádu:** představují nejzákladnější formu balení, které je navrženo tak, aby umožňovalo ruční manipulaci nebo obsluhu pomocí jednoduchých nástrojů, jako jsou ruční vozíky. Do této skupiny spadají například kartonové krabice, plastové nebo kovové přepravky a bedny. Jednotky této kategorie se obvykle vyznačují nízkou hmotností, která zpravidla nepřekračuje 15 kg.
- **Manipulační jednotky druhého řádu:** jsou tvořeny sdružením více prvků první kategorie a jsou navrženy pro manipulaci pomocí mechanizačních prostředků, například vysokozdviznými vozíky nebo automatizovanými dopravníky. Typickým příkladem jsou zboží uložené na paletách, svazky nebo balíky. Jejich hmotnost se pohybuje zpravidla mezi 250 kg až 1000 kg, přičemž maximální hranice činí přibližně 5000 kg.
- **Manipulační jednotky třetího řádu:** vznikají kombinací několika jednotek druhého řádu. Jsou určeny pro efektivní manipulaci prostřednictvím technických prostředků a využívají se zejména při dálkové a kombinované dopravě. Typickými zástupci jsou například standardizované přepravní kontejnery nebo výměnné nástavby, jejichž hmotnost se může pohybovat v rozmezí 10 až 30 tun.
- **Manipulační jednotky čtvrtého řádu:** představují největší typ manipulačních celků a jsou využívány především v rámci kombinované vnitrozemské a námořní přepravy. Do této skupiny patří například speciální člunové kontejnery, jejichž hmotnost se pohybuje mezi 400 až 2000 tunami. (Gros, 2016)

5.2 Přehled metod interní přepravy

- **Ruční manipulace**

Je nejjednodušší, ale zároveň nejméně efektivní metoda interní přepravy. Typicky zahrnuje manuální přenášení, posouvání, tahání nebo zvedání materiálu pracovníky, často s pomocí jednoduchých mechanických pomůcek, jako jsou ruční vozíky, paletové vozíky nebo zvedací stoly. (Yang et al., 2020)

- **Milkrun**

Milkrun představuje způsob interní přepravy materiálu uvnitř výrobního závodu nebo mezi výrobními a skladovými prostory s cílem zajistit pravidelný přísun materiálu na výrobní linky.

Tento systém funguje na základě předem stanovené trasy s přesně určeným pořadím zastávek, přičemž materiál je přepravován mezi výrobními a logistickými uzly v pravidelných intervalech nebo podle stanoveného rozvrhu. Součástí trasy mohou být také překládací stanice nebo předávací místa propojující různé části závodu.

V rámci interní logistiky může milkrun fungovat jako okružní trasa vracející se zpět na výchozí bod, což umožňuje efektivní manipulaci s vratnými obaly a prázdnými přepravními jednotkami. Nicméně, v závislosti na konkrétních požadavcích závodu nemusí být tento model vždy uplatněn. (Meyer, 2017)

- **Automatizované dopravníky**

Dopravníkové systémy hrají zásadní roli v moderní logistice a výrobních procesech. Tato zařízení zajišťují efektivní přesun materiálů mezi různými body v rámci výrobního nebo skladovacího prostoru. Fungují na dvou principech: buď jsou ovládány manuálně, nebo jsou poháněny externím zdrojem energie.

Dopravníky jsou obzvláště cenné při manipulaci s těžkými nebo objemnými předměty. Díky své schopnosti rychle a účinně transportovat širokou škálu materiálů se staly nepostradatelnými v oblasti manipulace s materiálem a balení.

Pro různé průmyslové potřeby existuje několik typů dopravníkových systémů. Nejčastěji používané typy zahrnují:

- Válečkové dopravníky
- Kolečkové dopravníky
- Skluzové dopravníky
- Pásové dopravníky

- Řetězové dopravníky
- Magnetické pásové dopravníky
- Korečkové dopravníky

Strategické rozmístění těchto dopravníků podél výrobních linek významně přispívá k plynulému propojení pohybu materiálu s výrobními procesy. Toto uspořádání optimalizuje tok materiálu, zvyšuje efektivitu výroby a umožňuje lepší integraci jednotlivých výrobních kroků. (Gupta et al., 2016)

- **Automaticky naváděné vozíky (AGV)**

Automaticky naváděné vozíky představují flexibilní technologii pro automatizovanou přepravu, kterou lze snadno integrovat do různých průmyslových prostředí. Při plánování systému je nezbytné důkladně analyzovat stacionární podmínky, aby bylo možné AGV přizpůsobit specifickým požadavkům daného provozu a zajistit kompatibilitu s okolními systémy prostřednictvím vhodných rozhraní. (Wilson, 2015)

6 AUTOMATICKY NAVÁDĚNÉ VOZÍKY

Automaticky naváděné vozíky představují klíčovou součást interní logistiky. Díky technologickému pokroku a bohatým zkušenostem s touto automatizační technologií se AGV postupně rozšířily do většiny průmyslových odvětví a výrobních oblastí. Historie těchto systémů sahá až do poloviny 50. let 20. století, kdy byly poprvé vyvinuty v USA.

Po druhé světové válce, kdy došlo k obnovení výroby a nastal globální ekonomický rozmach, se automaticky pohybující transportní vozidla stala symbolem snahy lidstva o přenesení fyzické práce na stroje. Rychlý rozvoj senzorové a řídicí technologie, stejně jako mikroelektroniky, vytvořil základ pro vznik automaticky naváděných vozíků.

Zatímco počátky AGV jsou spojeny s americkým trhem, evropský trh se stal klíčovým pro jejich další rozvoj. Americké firmy měly jen omezený úspěch při pokusech o vstup na evropský trh, zatímco evropské společnosti dokázaly realizovat projekty v USA. Historicky byl asijský trh téměř zcela oddělen od evropského trhu, bez významné spolupráce mezi těmito regiony.

V posledních letech však Čína zažívá výrazný rozmach v oblasti automaticky naváděných vozíků jak z pohledu uživatelů, tak zejména výrobců. Počet čínských výrobců těchto systémů vzrostl během pár let na několik desítek. Tyto společnosti využívají jak vlastní technologii, tak licencovaná řešení od evropských nebo amerických dodavatelů. Čínská AGV si postupně razí cestu i do evropských zemí.

Historii automaticky naváděných vozíků lze rozčlenit do čtyř období, která reflektují úroveň dostupných technologií a přístup společnosti k těmto systémům. (Ullrich, 2016)

6.1 Historie vývoje AGV

Automaticky řízené vozíky se od svého vzniku vyvíjela v několika etapách (Obrázek 1), které odrážejí pokrok v technologiích, rostoucí nároky průmyslových podniků a celkový trend směřující k digitalizaci a automatizaci. Těchto fází můžeme rozlišit čtyři hlavní období.

6.1.1 Počátky automatizace

V raných fázích byla AGV velmi jednoduchá vozidla, která se pohybovala po pevně určených trasách za pomoci vodičů v podlaze. Tato vozidla měla omezenou flexibilitu a využití bylo většinou omezeno na opakované a jednoduché přepravní úkony v uzavřených prostorech.

6.1.2 Využití automatizace

Toto období bylo provázeno zavedením elektroniky do AGV systémů. Objevily se palubní počítače a velké řídicí jednotky, standardem se stalo indukční navádění pomocí vodičů. Datový přenos byl možný pomocí kabelů, infračervených paprsků či rádia. V 70. letech vznikly první moderní AGV systémy a rostla poptávka po automatizaci jako nástroji pro snižování nákladů a zvyšování efektivity.

6.1.3 Standardizace a rozšíření

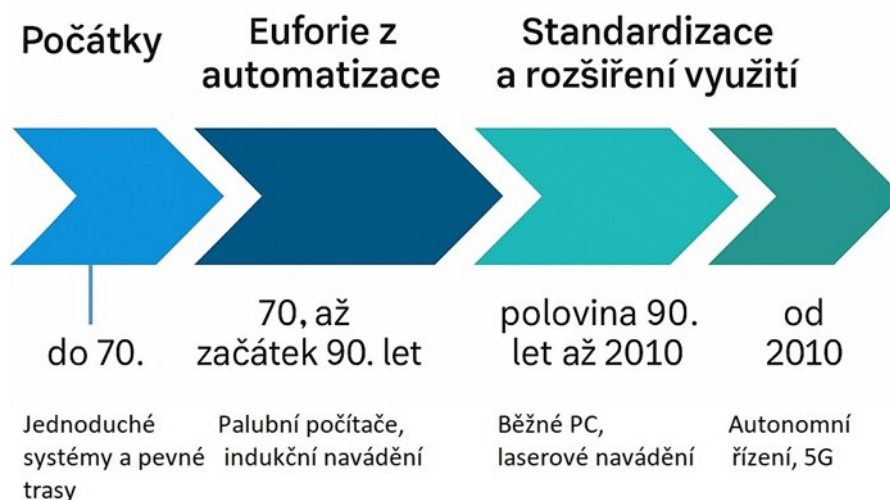
V této fázi se AGV začala využívat i mimo automobilový průmysl. Řídicími jednotkami se staly běžné počítače napojené na PLC nebo mikropočítače. Navigace se posunula od vodičů k volným metodám jako je laser nebo magnet. Wi-Fi se stala standardem pro bezdrátový přenos dat.

AGV se ukázala jako spolehlivý prostředek vnitropodnikové logistiky. Začala se uplatňovat i ve skladech, výrobě nebo zdravotnictví. Mezi hlavní trendy patřila vyšší rychlost, lepší senzorika, indukční nabíjení a nové navigační metody (RFID, triangulace apod.).

6.1.4 Digitalizace a průmysl 4.0

Současná etapa je spjata s digitalizací a chytrými systémy. AGV jsou dnes plně integrována do řídicích systémů (ERP, MES), dokáží komunikovat v reálném čase a autonomně reagovat na změny v provozu. Využívá se umělá inteligence, cloudový monitoring, Wi-Fi 6 a 5G.

AGV se stávají flexibilními, snadno škálovatelnými jednotkami schopnými operovat bez fyzických tras. (Ullrich a Albrecht, 2022)



Obrázek 1 Vývoj historie AGV

Zdroj: (leanindustry.cz)

6.2 Rozdělení AGV podle konstrukce

Automaticky řízená vozidla lze členit podle jejich konstrukce a konkrétního způsobu použití v rámci logistického provozu. Jedním z nejčastějších typů jsou tažné AGV, které jsou navrženy tak, aby za sebou táhly jeden nebo více vozíků s materiálem – nejčastěji se s nimi setkáme při zásobování výrobních linek. Další skupinou jsou vozidla vybavená přepravní plochou nebo integrovanými vidlicemi, určená pro manipulaci s paletami, kontejnery nebo jinými objemnějšími břemeny.

S rozvojem Průmyslu 4.0 se do popředí dostávají tzv. autonomní mobilní roboti (AMR) (Obrázek 2), kteří se od klasických AGV liší schopností samostatného rozhodování a aktivní reakce na dynamické prostředí, například při detekci překážek. Poslední kategorií jsou specializované AGV systémy, které plní specifické úlohy, jako je vertikální přeprava v několika patrech, obsluha úzkých skladových uliček nebo automatizovaná výměna materiálových jednotek. (Ullrich, 2016)



Obrázek 2 Skladový AMR

Zdroj: (ylm.com)

6.3 Druhy navigace AGV

Správně zvolený navigační systém je klíčovým prvkem pro efektivní a bezpečný provoz AGV. V současné praxi existuje několik ověřených metod, které se liší svou přesností, náklady, nároky na infrastrukturu i vhodností pro specifické provozy. (De Ryck, 2020)

Indukční vedení

Jedna z nejstarších metod spočívá v instalaci vodiče do podlahy, který generuje elektromagnetické pole. Vozidlo pomocí senzorů sleduje signál a drží se určené trasy. I když je tato metoda velmi stabilní a spolehlivá, omezuje flexibilitu provozu a změna layoutu vyžaduje stavební úpravy. (De Ryck, 2020)

Optické a magnetické vedení

Modernější alternativou k vodičům je sledování optické čáry (např. páska) nebo magnetického pásu uloženého v podlaze. AGV vybavená senzory takto dokážou rozpoznat trasu, přičemž magnetické vedení bývá odolnější vůči opotřebení než optické. (Brenner et al., 2023)

Laserová navigace

Jedna z nejpřesnějších metod, využívající laserový skener (LiDAR), který detekuje odrazy od reflektorů rozmístěných v prostoru. Pomocí triangulace určuje vozidlo svou

polohu. Tento způsob umožňuje vysokou přesnost a flexibilní změny tras bez potřeby fyzických vodičů. (De Ryck, 2020)

RFID navigace

Technologie RFID umožňuje AGV číst data z transpondérů umístěných v podlaze. Slouží spíše pro určení klíčových bodů v trase nebo aktivaci konkrétních operací než jako hlavní navigační systém. (Ellithy et al., 2024)

Navigace podle přirozených prvků

Pokročilá technologie, která využívá kamerové nebo laserové senzory k analýze okolí. AGV porovnává aktuální obraz prostředí s mapou a orientuje se podle přirozených objektů, jako jsou stěny, regály nebo sloupy. Tato metoda je velmi flexibilní a nevyžaduje fyzické úpravy prostředí. (Brenner et al., 2023)

Inerciální navigace

Založená na gyroskopech a akcelerometrech, které sledují pohyb vozidla. Jelikož se mohou časem kumulovat chyby, bývá tato metoda často kombinována s dalšími technologiemi pro korekci odchylek. (Dundar, 2021)

7 SHRNUÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část diplomové práce se zaměřila na hlavní oblasti související s interní logistikou, její automatizací a možnostmi optimalizace v kontextu Průmyslu 4.0. Postupně byly rozebrány klíčové procesy interní logistiky (manipulace, skladování, přeprava, balení), příčiny ztrátových časů a nástroje pro jejich identifikaci a eliminaci.

Zvláštní pozornost byla věnována automatizaci vnitropodnikové dopravy, zejména pomocí automaticky naváděných vozíků (AGV). Popsán byl jejich vývoj, typy konstrukcí a navigační metody. Dále byl rozlišen pojem AGV (Automated Guided Vehicle) a AMR (Autonomous Mobile Robot). Zatímco AGV se pohybují po předem definovaných trasách a potřebují upravenou infrastrukturu (např. vodící pásy, magnety, RFID), AMR jsou flexibilnější a dokáží se v prostoru autonomně rozhodovat na základě senzorických vstupů, což zvyšuje jejich využitelnost v dynamickém výrobním prostředí.

Teoretická část také ukazuje, že právě AMR jsou považovány za technologii budoucnosti díky své schopnosti reagovat na změny v reálném čase, vyhýbat se překážkám a efektivně plánovat vlastní trasu bez nutnosti zásahu do layoutu provozu. Tato vlastnost z nich činí ideální nástroj pro implementaci v prostředí moderní výroby, kde se klade důraz na flexibilitu a adaptabilitu.

V praktické části práce je proto pozornost zaměřena právě na možnost zavedení AMR do konkrétního provozu jako náhradu za stávající mlkrunové soupravy. Teoretická východiska tvoří základ pro analýzu, návrh a vyhodnocení simulace, která ukazuje, jak by implementace těchto autonomních robotů mohla přispět k efektivnějšímu toku materiálu a celkové optimalizaci interní logistiky.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

Zásobování jednotlivých pracovišť probíhá ve třísměnném provozu. Denně se přepraví přibližně 1000 palet materiálu rozdělených mezi tři různé trasy. K přepravě jsou využívány mlkrunové soupravy s řidiči. Během denní směny se nasazuje 4 až 5 těchto souprav, zatímco v noční směně jsou aktivní 2 až 3 soupravy. Každá z nich je vybavena pěti E-rámy.

8.1 Popis jednotlivých tras

V závodě se mlkrunové soupravy využívají na třech hlavních trasách. Nejvyšší vytížení nastává během ranní a odpolední směny, kdy bývá v provozu až 4–5 souprav. Na noční směně se provoz snižuje na 2–3 soupravy.

8.1.1 Trasa červená

Na této trase (Obrázek 3) v současnosti zajišťuje přepravu jeden mlkrunový tahač s pěti E-rámy, který je v provozu během ranní a odpolední směny. Na noční směně je přeprava pokryta mlkrunem z jiného okruhu. Pokud kapacita mlkrunu na této trase nestačí, dochází k výpomoci mlkrunem z jiného okruhu.

TRASA MLKRUNU "B" – ČERVENÁ

* poznámka: odvoz CU–tyčt – Po, St, P6

POŘADÍ ZAVOZU HALA 1:
1. VK4, VP4
2. VK2, VP2
3. VK2, VP2
4. HALA 2 – VŠECHNY OZV

ZASTÁVKY:
1. HALA 22 – SKLAD SVAZKŮ
2. HALA 22 – SKLAD KOSTEL, ŠTÍT
3. HALA 1 – OBROBNÁ ŠTÍT
4. HALA 1 – VAC – ZKUŠEBNA
5. HALA 1 – VAC – PŘÍPRAVA, NO
6. HALA 1 – VP6, VP4 (AH80–90)
7. HALA 1 – VK4 (AH80–90)
8. HALA 1 – VP7 (AH132)
9. HALA 1 – VK7 (AH132)

ZASTÁVKY:
10. HALA 1 – VP2 (AH100–112)
11. HALA 1 – VK2 (AH100–112)
12. HALA 1 – VP9 (AH63–70, NO)
13. HALA 1 – VK9 (AH63–70)
14. SKLAD 3A
15. HALA 2 – ZM1, ZM3
16. HALA 2 – ZM1/2, ZM2/1, ZM2/2
17. HALA 2 – ZM2/3, ZP2
18. SKLAD 3B – PŘÍJEM



Obrázek 3 Trasa mlkrunu červená

Zdroj:(interní)

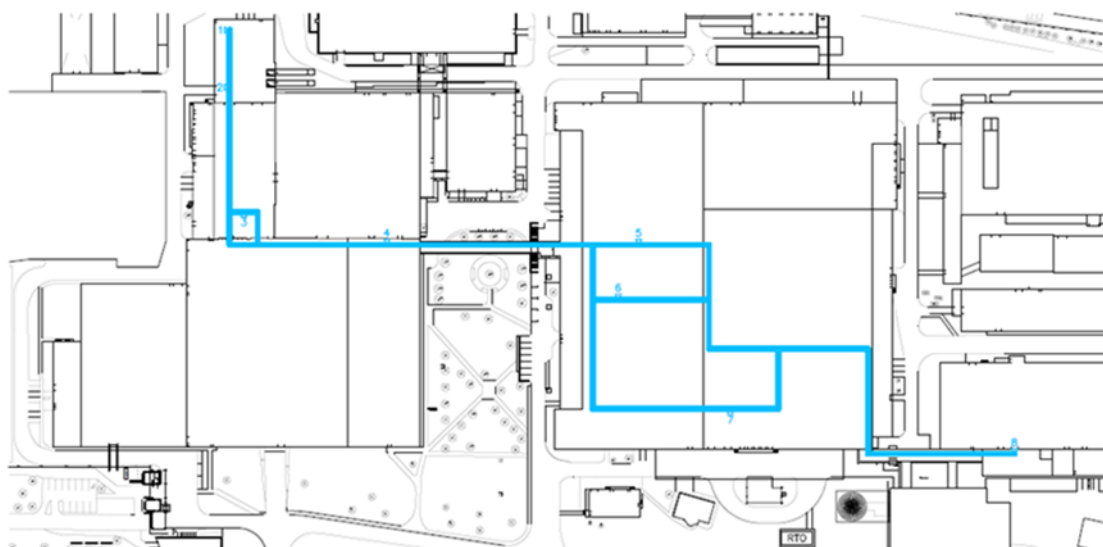
8.1.2 Trasa modrá

Materiál na této trase (Obrázek 4) převáží 1 milkrunový tahač s 5 E – rámy ve všech 3 směnech.

TRASA MILKRUNU "A" – MODRÁ

* poznámka: odvoz CU–tyčtí – Po, St, Pá

- ZASTÁVKY:
1. PRŮJEM 3B – SEVER
 2. PRŮJEM 3B – JIH
 3. SKLAD 3A
 4. OBROBNÁ – ODMAŠŤOVACÍ LINKA
 5. ÚSOVNÁ – LKZ
 6. HALA 22 – SKLAD SVAZKŮ A ŠTÍTŮ
 7. HALA 22B – IMPREGNACE PRŮJEZD
 8. HALA 57 – PRŮJEM



Obrázek 4 Trasa milkrunu modrá

Zdroj:(interní)

8.1.3 Trasa oranžová

Materiál na této trase (Obrázek 5) převáží na ranní a odpolední směně 2-3 milkrunové tahače s 5 E – rámy. Na noční směně to jsou 1-2 tahače.

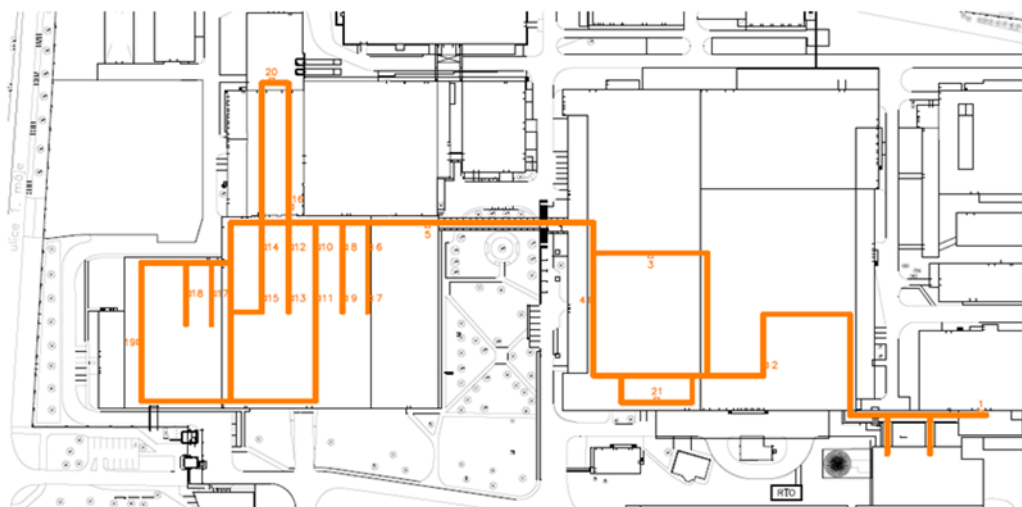
TRASA MILKRUNU "GEIS" – ORANŽOVÁ

* poznámka: odvoz CU–tyč – Po, St, Pá

POŘAZÍ ZÁVOZD HALA 1:
1. VK4, VP4
2. VK7, VP7
3. VK2, VP2
4. HALA 2 – VŠECHNY OZV

ZASTÁVKY:
1. HALA 22 – PŘÍJEM
2. HALA 22 – IMPREGNACE – DRÁTY
3. HALA 22 – SKLAD SVAZKŮ
4. HALA 22 – SKLAD KOSTEK, ŠTÍPŮ
5. HALA 1 – OBROBNA ŠTÍPŮ
6. HALA 1 – VWC – ZKUSOBNA
7. HALA 1 – VWC – PŘÍPRAVA, ND
8. HALA 1 – VWC, VP4 (AH80–90)
9. HALA 1 – VK4 (AH80–90)
10. HALA 1 – VP7 (AH132)

ZASTÁVKY:
11. HALA 1 – VK7 (AH132)
12. HALA 1 – VP2 (AH100–112)
13. HALA 1 – VK2 (AH100–112)
14. HALA 1 – VP9 (AH83–70, ND)
15. HALA 1 – VK9 (AH83–70)
16. SKLAD SA
17. HALA 2 – ZM1, ZM3
18. HALA 2 – ZM1/2, ZM2/1, ZM2/2
19. HALA 2 – ZM2/3, ZP2
20. HALA 3B – PŘÍJEM
21. HALA 22 – CHRÁNĚNÁ DÍLNA



Obrázek 5 Trasa milkrunu oranžová

Zdroj: (interní)

8.2 Proces vychystání palet pro odvoz milkrunem

Proces vychystávání palet pro interní přepravu prostřednictvím milkrunů probíhá ve více krocích. Zaměstnanci využívají čtečky, které jim zobrazují seznam položek určených k vychystání. Podle těchto instrukcí odebírají materiál z regálů za pomoci vysokozdvizných vozíků a přemísťují jej na vychystávací plochu.

Na této ploše dochází k třídění a sestavování jednotlivých palet podle předepsaných kritérií. Jakmile je paleta kompletně připravena, pracovník ji označí a začne připravovat další. Tento cyklus se opakuje až do okamžiku, kdy je vychystána celá sada palet určená pro konkrétní pracoviště.

Po dokončení všech potřebných palet pracovníci celý proces uzavrou a potvrdí v systému, čímž se palety oficiálně zaevidují jako připravené k přepravě. Následně jsou palety naloženy na milkrun a převezeny na příslušné místo. K převozu palet slouží E-rámy

viz (Obrázek 6). Jeho nakládání a vykládání je možné pouze z jedné strany, a to za použití ručně vedených nebo elektrických vysokozdvížných vozíků.



Obrázek 6 E-rám

Zdroj: (interní)

Součástí přepravního procesu je naložení manipulačního podvozku viz (Obrázek 7) s kolečky na E-rámy. Tento podvozek je speciálně navržen pro snadnou manipulaci s E-rámem. Kolečka umožňují plynulý pohyb a přesun E-rámu v rámci pracovního prostoru.

Na manipulační podvozek se následně umístí paleta viz (Obrázek 8), například typu Gitterbox. Tento typ palety je vhodný pro přepravu a skladování materiálu díky své konstrukci, která zajišťuje stabilitu a ochranu obsahu během manipulace.



Obrázek 7 Podvozek

Zdroj: (interní)



Obrázek 8 E-rám+podvozek

Zdroj: (interní)

Celá sestava viz (Obrázek 9), zahrnující manipulační podvozek s naloženou paletou, například typu Gitterbox, se následně zapojí za tahač, který slouží jako prostředek pro přepravu.



Obrázek 9 Tažná souprava

Zdroj: (interní)

8.3 Popis způsobu přepravy

V aktuálním systému se materiál v rámci podniku přepravuje pomocí milkrunů, které najednou zvládnou přepravit až pět palet. Každá paleta je umístěna na samostatném manipulačním podvozku, přičemž na něm mohou být také až dvě prázdné palety – celková výška přitom nesmí překročit 1 350 mm. Gitterbox palety se ale musí přepravovat jednotlivě.

Řidič milkrunu neprojíždí vždy celý okruh – pokud má úkol jen na některých zastávkách, navštíví pouze ty konkrétní. Ve většině případů probíhá vykládka tak, že řidič odstaví paletu spolu s podvozkem na určeném místě a zpět na E-rám naloží prázdný nebo prázdný obalový podvozek. Na některých pracovištích se ale o vykládku starají sami pracovníci výroby.

Ti použijí ručně vedený elektrický vozík, odeberou si pouze paletu s materiálem a podvozek zůstane na vozíku milkrunu. Při nakládce materiálu se postupuje podle principu FIFO (First in First out), případně je v případě naléhavé potřeby určena priorita obsluhou skladu nebo daného pracoviště.

8.3.1 Hmotnost přepravovaného materiálu

Váha přepravovaných palet se pohybuje mezi 100 a 1000 kg.

8.3.2 Používané obalové jednotky

Gitterbox velký (Obrázek 10) je vybaven sklopnou boční stěnou pro snadný přístup k obsahu. Slouží pro přepravu těžkých kovových komponentů.



Obrázek 10 Gitterbox velký

Zdroj: (interní)

Paleta mars (Obrázek 11) slouží jako přepravka na konkrétní typy dílů.



Obrázek 11 Paleta mars

Zdroj: (interní)

Ostatními používanými manipulačními jednotkami jsou dřevěné, plastové a obalové prostředky:

- Paleta euro – využívána na převoz měděných drátů



Obrázek 12 Paleta euro

Zdroj: (paletarna.cz)

- KLT boxy a plastové přepravky-slouží na převoz malých dílů



Obrázek 13 KLT box

Zdroj: (dilenske-vybaveni.cz)

8.4 Mapování a vyhodnocení současného stavu přepravy

Cílem této kapitoly bude zjištění, jak dlouho potrvá převoz palet pomocí mlkrunu a jak je tento proces efektivní. Výsledkem bude celková doba přepravy pro jednu směnu a průměrná doba přepravy na jednu paletu.

K výpočtu se využila matice vzdáleností jednotlivých předávacích míst viz (PŘÍLOHA P I)

Pro analýzu současného stavu interní přepravy mlkrunem bylo provedeno měření časů.

- **Individuální měření jedné palety** – zaznamenán čas potřebný pro naložení a vyložení jedné palety s cílem stanovit základní jednotkový čas manipulace.
- **Měření celého nakládacího procesu** – sledován kompletní časový úsek od začátku nakládky první palety až po dokončení nakládky všech pěti palet, které tvoří jednu standardní přepravní dávku mlkrun.
- **Čas, po který paleta čekala na odvoz po vychystání** – Tato hodnota udává dobu, po kterou paleta zůstala na místě po dokončení vychystání, než byla převzata k přepravě.
- **Doba přepravy palety na určené místo** – Udává čas potřebný k samotnému přesunu palety z místa vychystání na cílové místo

8.5 Sběr dat

8.5.1 Metodika měření

Měření bylo provedeno pomocí ručních stopek. Pro zajištění reprezentativních výsledků bylo u každého časového úseku provedeno 20 měření.

Doba naložení jedné palety na soupravu

- Měření probíhalo manuálně pomocí stopek během nakládání jednotlivých palet.
- Celkem bylo provedeno 20 měření.

Doba nakládání celé soupravy

- Zahrnuje postupné nakládání všech palet na soupravu.
- Rovněž bylo provedeno 20 měření.
- Doba čekání palety na odvoz

- Měřeno na čtyřech vybraných místech, aby se zjistila variabilita čekacích dob.
- Na každém místě bylo provedeno 20 měření, což umožnilo získat průměrné hodnoty i rozptyl časů.

Doba trvání jízdy na určené předávací místo

Vypočítáno teoreticky za použití matice vzdáleností a průměrné rychlosti přepravní soupravy 4 km/h. Jako doba potřebná k přesunu soupravy mezi jednotlivými zastávkami v layoutu skladu.

8.5.2 Cíl měření

Cílem tohoto měření bylo zjistit celkovou dobu, kterou paleta potřebuje k přepravě od vychystání až po doručení na své určené místo. Tyto naměřené hodnoty slouží jako podklad pro srovnání se simulovaným procesem s využitím AMR.

8.5.3 Měření časů nakládky milkrunů

V rámci analýzy stávajícího systému přepravy milkrunem byla provedena měření časů manipulace s paletami. Cílem měření bylo získat přesné údaje o době potřebné k nakládce a vykládce jedné palety (Tabulka 1).

Tabulka 1 Čas nakládky a vykládky palety

Zdroj: (vlastní zpracování)

Měření	Počet měření	Min. čas	Max. čas	Průměrný čas
Nakládka jedné palety	20	0:00:11	0:02:15	0:01:02
Vykládka jedné palety	20	0:00:21	0:01:55	0:00:57

Byla provedena série měření nakládky a vykládky palet, přičemž bylo zjištěno, že průměrný čas naložení jedné palety je po zaokrouhlení 60 sekund a průměrný čas vyložení je po zaokrouhlení totožný a to 60 sekund. Tyto hodnoty budou využity pro výpočet celkového času přepravy a následné srovnání s AMR.

V rámci analýzy současného způsobu přepravy pomocí milkrunových souprav bylo provedeno měření celkového času naložení celé soupravy (Tabulka 2), která činní pět palet.

Měření zahrnovalo celkový čas nakládky, který kromě samotného umístění palet na soupravu zahrnuje i ztrátové časy, například:

- Administrativní úkony, jako vyplňování a kontrola průvodek
- Čekání na potvrzení
- Další provozní prodlevy, které mohou ovlivnit celkovou efektivitu přepravy

Tabulka 2 Časy nakládky soupravy (5palet)

Zdroj: (vlastní zpracování)

Měření	Počet měření	Min. čas	Max. čas	Průměrný čas
Nakládka celé soupravy (5palet)	1 směna	0:04:00	0:13:00	0:08:00

Celková doba potřebná pro naložení pěti palet na soupravu byla v průměru 8 minut. Tato hodnota zahrnuje nejen samotnou manipulaci s paletami, ale i související činnosti, jako jsou administrativní procesy a čekání na potřebné dokumenty.

Při měření bylo zjištěno, že celý proces naložení soupravy mlčrunku trvá v průměru 8 minut, přičemž každá jednotlivá paleta je naložena za přibližně 1,6 minuty.

Protože se palety nakládají postupně, čekací doba první naložené palety je nejdelší, zatímco poslední paleta odjíždí téměř okamžitě. Maximální čekací doba pro první paletu je tedy 8 minut, zatímco poslední naložená paleta čeká 0 minut.

Dosazením naměřených hodnot do rovnice (1) byla zjištěna průměrná čekací doba palety na soupravě, která byla spočítána jako aritmetický průměr všech možných čekacích dob.

Kde:

- x je aritmetický průměr
- x_i jsou jednotlivé hodnoty
- n je počet hodnot

(1)

$$\frac{8 + 6.4 + 4.8 + 3.2 + 1.6}{5} = 4,8 \text{ minuty}$$

Z tohoto výpočtu vyplývá, že paleta průměrně čeká na soupravě 4,8 minuty, než je zahájena její přeprava na předávací místo.

8.5.4 Měření časů čekání palety na převoz

Pro analýzu současného stavu bylo provedeno měření doby, po kterou palety čekají na odvoz milkrunem. Měření probíhalo na čtyřech vybraných zásobovacích místech viz (PŘÍLOHA P II).

- Geis
- Ekollmpregnace
- Sklad štítů
- Sklad 3A

Aby byla zajištěna přesnost výsledků. Celkem bylo sledováno na každém místě 20 palet, u kterých byla zaznamenána doba od jejich kompletace po samotný odvoz. Pro měření času byla zvolena vždy ranní směna, jelikož tato směna je nejvíce vytížená. Výběr této směny umožnil sledovat proces přepravy palet v podmínkách maximálního provozního zatížení. Data z jednotlivých měření jsou zobrazena v tabulkách.

První měření probíhalo ve skladu Geis dne 4. 11. 2024.

Z provedeného měření doby čekání palet na odvoz vyplývá, že průměrná doba čekání činí 37 minut. Tento údaj byl získán na základě sledování 20 palet. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v (Tabulka 3).

Tabulka 3 Čekací doba palet na odvoz ze skladu Geis

Zdroj: (vlastní zpracování)

Číslo palety	OZV	Čas vychystání palety	Čas odvozu	Celková doba čekání (min)
1	Geis	06:36:09	07:03:09	27
2	Geis	06:36:13	07:11:13	35
3	Geis	06:36:23	06:55:23	19
4	Geis	06:45:45	07:37:45	52
5	Geis	07:15:07	07:46:07	31
6	Geis	07:22:08	08:07:08	45
7	Geis	07:45:14	08:23:14	38
8	Geis	07:46:26	08:09:26	23
9	Geis	07:47:11	08:52:11	65
10	Geis	08:29:45	08:46:45	17
11	Geis	08:33:51	09:22:51	49

Číslo palety	OZV	Čas vychystání palety	Čas odvozu	Celková doba čekání (min)
12	Geis	08:43:32	09:16:32	33
13	Geis	08:47:45	09:28:45	41
14	Geis	08:59:27	09:28:27	29
15	Geis	09:37:20	10:33:20	56
16	Geis	09:40:34	10:02:34	22
17	Geis	10:09:21	10:46:21	37
18	Geis	10:41:09	11:25:09	44
19	Geis	11:01:07	11:52:07	51
20	Geis	11:13:08	11:38:08	25
			Průměr	37

Další měření probíhalo dne 5.11. 2024 na zásobovacím místě EkolImpregnace na tomto místě byl sledován stejný proces jako v předchozím případě, přičemž bylo zaznamenáno 20 palet a jejich doba čekání na odvoz. Z měření vyplývá, že průměrná doba čekání činí 42 minut. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v (Tabulka 4).

Tabulka 4 Čekací doba palet na odvoz ze zásobovacího místa EkolImpregnace

Zdroj: (vlastní zpracování)

Číslo palety	OZV	Čas vychystání palety	Čas odvozu	Celková doba čekání (min)
1	EkolImpregnace	6:39:43	7:16:43	37
2	EkolImpregnace	6:40:45	7:32:45	52
3	EkolImpregnace	6:41:27	7:10:27	29
4	EkolImpregnace	6:42:21	7:43:21	61
5	EkolImpregnace	6:43:05	7:01:05	18
6	EkolImpregnace	6:43:26	7:26:26	43
7	EkolImpregnace	7:30:13	8:03:13	33
8	EkolImpregnace	7:31:39	8:43:39	72
9	EkolImpregnace	7:32:18	7:58:18	26
10	EkolImpregnace	7:33:04	8:12:04	39
11	EkolImpregnace	7:33:43	8:20:43	47
12	EkolImpregnace	8:38:30	9:33:30	55
13	EkolImpregnace	8:39:07	9:10:07	31
14	EkolImpregnace	8:40:00	9:44:00	64

Číslo palety	OZV	Čas vychystání palety	Čas odvozu	Celková doba čekání (min)
15	EkolImpregnace	8:52:30	9:14:30	22
16	EkolImpregnace	8:54:35	9:35:35	41
17	EkolImpregnace	8:55:09	9:30:09	35
18	EkolImpregnace	10:32:45	11:30:45	58
19	EkolImpregnace	10:33:23	10:57:23	24
20	EkolImpregnace	10:34:29	11:27:29	53
			Průměr	42

Další měření probíhalo dne 6.11. 2024 na zásobovacím místě Sklad štítů na tomto místě byl sledován stejný proces jako v předchozím případě, přičemž bylo zaznamenáno 20 palet a jejich doba čekání na odvoz. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v (Tabulka 5).

Tabulka 5 Čekací doba palet na odvoz ze zásobovacího místa Sklad štítů

Zdroj: (vlastní zpracování)

Číslo palety	OZV	Čas vychystání palety	Čas odvozu	Celková doba čekání (min)
1	Sklad štítů	6:17:43	6:55:43	38
2	Sklad štítů	6:21:17	6:38:17	17
3	Sklad štítů	6:28:09	7:13:09	45
4	Sklad štítů	6:31:23	7:49:23	78
5	Sklad štítů	6:34:51	6:49:51	15
6	Sklad štítů	6:38:52	7:04:52	26
7	Sklad štítů	6:43:09	7:28:09	45
8	Sklad štítů	6:46:47	8:46:47	120
9	Sklad štítů	6:50:35	7:05:35	15
10	Sklad štítů	6:53:26	7:18:26	25
11	Sklad štítů	7:00:01	7:32:01	32
12	Sklad štítů	7:05:12	7:50:12	45
13	Sklad štítů	7:09:22	7:39:22	30
14	Sklad štítů	7:12:01	8:07:01	55
15	Sklad štítů	7:15:13	7:35:13	20
16	Sklad štítů	7:17:11	7:47:11	30
17	Sklad štítů	7:18:49	8:03:49	45
18	Sklad štítů	7:22:37	8:02:37	40
19	Sklad štítů	7:28:26	7:48:26	20

Číslo palety	OZV	Čas vychystání palety	Čas odvozu	Celková doba čekání (min)
20	Sklad štítů	7:40:38	8:40:38	60
			Průměr	40,05

Z provedeného měření doby čekání palet na odvoz vyplývá, že průměrná doba čekání činí 40,05 minut.

Závěrečné měření probíhalo dne 7.11. 2024 na zásobovacím místě sklad 3A na tomto místě byl sledován stejný proces jako v předchozím případě, přičemž bylo zaznamenáno 20 palet a jejich doba čekání na odvoz. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v (Tabulka 6).

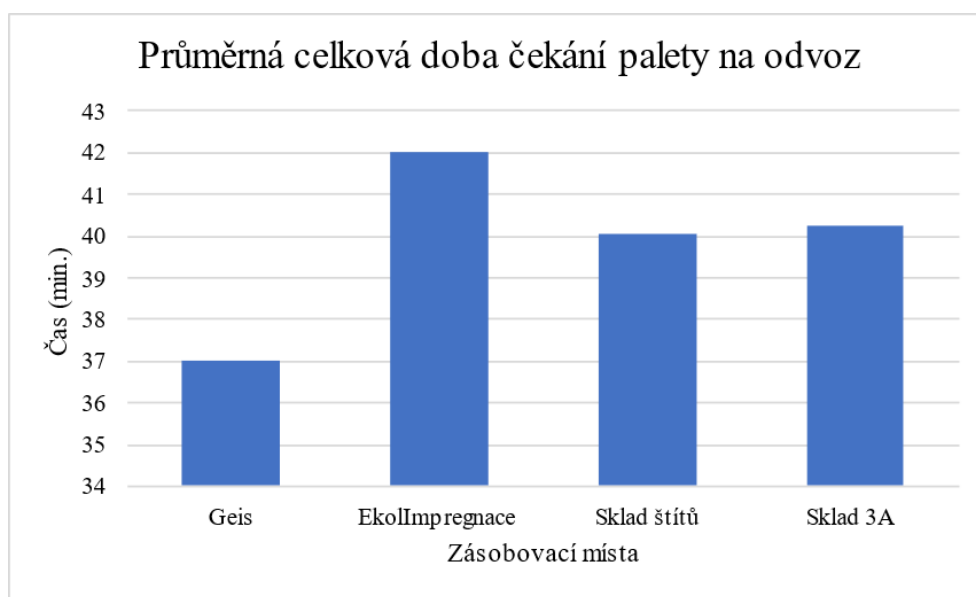
Tabulka 6 Čekací doba palet na odvoz ze Skladu 3A

Zdroj: (vlastní zpracování)

Číslo palety	OZV	Čas vychystání palety	Čas odvozu	Celková doba čekání (min)
1	Sklad 3A	6:26:09	7:06:09	40
2	Sklad 3A	7:17:39	7:32:39	15
3	Sklad 3A	7:18:23	7:58:23	40
4	Sklad 3A	7:19:31	8:14:31	55
5	Sklad 3A	8:25:02	8:40:02	15
6	Sklad 3A	8:25:40	9:05:40	40
7	Sklad 3A	9:23:56	10:03:56	40
8	Sklad 3A	9:29:42	10:24:42	55
9	Sklad 3A	9:30:13	10:00:13	30
10	Sklad 3A	9:53:47	10:28:47	35
11	Sklad 3A	10:13:16	10:53:16	40
12	Sklad 3A	10:15:03	11:10:03	55
13	Sklad 3A	11:50:35	12:10:35	20
14	Sklad 3A	12:01:23	12:41:23	40
15	Sklad 3A	12:03:06	12:48:06	45
16	Sklad 3A	12:26:45	13:31:45	65
17	Sklad 3A	13:43:33	14:13:33	30
18	Sklad 3A	13:48:12	14:48:12	60
19	Sklad 3A	14:26:19	15:11:19	45
20	Sklad 3A	14:30:29	15:10:29	40
			Průměr	40,25

Z provedeného měření doby čekání palet na odvoz vyplývá, že průměrná doba čekání činí 40,20 minut.

Na základě provedených měření doby čekání palet na odvoz ve čtyřech vybraných lokacích (Obrázek 14) bylo zjištěno, že čekací doby se pohybují mezi 37 a 42 minutami. Nejkratší průměrnou dobu čekání měla paleta ve skladu Geis (37 minut), zatímco nejdelší doba čekání byla zaznamenána v Ekollmpregnace (42 minut). Ve skladu štítů činila průměrná čekací doba 40,05 minut a ve skladu 3A pak 40,25 minut. Na základě naměřených časů vyplývá, že paleta na svůj odvoz čeká po zaokrouhlení průměrně 40 minut.



Obrázek 14 Graf průměrné doby čekání palety

Zdroj: (vlastní zpracování)

Tyto výsledky ukazují, že současný systém přepravy způsobuje významné čekací doby, což může vést k nepravidelnému toku materiálu a potenciálním ztrátám v efektivitě procesu. Zavedení AMR by mohlo tyto časy snížit tím, že by umožnilo plynulejší a častější přepravu palet, čímž by se minimalizovala doba, po kterou materiál čeká na přesun.

8.5.5 Celková doba přeprava palety na dané předávací místo

Pro co nejpřesnější určení doby přepravy palety od vyzvednutí po doručení na předávací místo byla zvolena metoda výpočtu na základě matice vzdáleností a průměrné rychlosti soupravy milkrunu.

Původně bylo plánováno měření doby přepravy na základě 20 vzorků z každého výchozího bodu. Tato metoda by však nezajistila zachycení extrémních hodnot, tedy nejkratší a nejdelší možné doby přepravy. Navíc by výsledek mohl být ovlivněn proměnnými faktory, jako jsou aktuální podmínky provozu, čekání na křižovatkách nebo nepravidelná frekvence nakládky a vykládky.

Proto byl zvolen výpočetní přístup, kdy se přepravní doba stanoví na základě:

- Matice vzdáleností mezi jednotlivými zastávkami
- Rychlostních parametrů soupravy mlkrunu

Maximální rychlost soupravy je 6 km/h, avšak z důvodu manévrování, nutnosti zastavování a běžného provozu je reálná průměrná rychlost odhadována na 4 km/h.

Pro stanovení doby přepravy palety mezi jednotlivými zastávkami byla využita matice vzdáleností (Příloha P I), která obsahuje vzdálenosti mezi všemi relevantními místy interní logistiky.. Matice vzdáleností slouží jako základ pro výpočet přepravní doby, která se stanoví vzorcem:

(2)

$$t = \frac{d}{v}$$

Kde:

- t je doba přepravy (min),
- d je vzdálenost mezi místy (m),
- v je průměrná rychlost soupravy (m/min).

Níže je uveden výřez matice vzdáleností (Tabulka 7), který ukazuje vzdálenosti mezi vybranými klíčovými body:

Tabulka 7 Výřez matice vzdáleností

Zdroj:(interní)

	Sklad štítů	Sklad 3A	Geis	Ekollmpregnace
Ekollmpregnace	152	336	78	2
Geis	224	410	2	78
Sklad3A	192	2	410	336
SkladStitu	2	192	224	150

Na základě matice vzdáleností byly analyzovány časy přepravy palet mezi jednotlivými stanovišti. Nejkratší naměřená vzdálenost činí 2 metry, zatímco nejdelší vzdálenost dosahuje 502 metrů. Při průměrné rychlosti soupravy 4 km/h bylo spočítáno, že průměrná doba přepravy palety po jejím naložení činí 3,8 minuty. Tento čas zohledňuje různé přepravní vzdálenosti a odpovídá reálným podmínkám provozu.

8.6 Shrnutí časových dat

Aby bylo možné analyzovat celkovou dobu, kterou paleta potřebuje k přesunu od vychystání až na své určené místo, bylo provedeno měření jednotlivých dílčích časů procesu. Měření bylo zaměřeno na následující časové úseky:

- Doba naložení jedné palety na soupravu
- Doba nakládání celé soupravy
- Doba čekání palety na odvoz
- Doba trvání jízdy na určené předávací místo

Na základě provedených měření byly vypočteny průměrné hodnoty jednotlivých časových úseků, které ovlivňují celkovou dobu přepravy palety od vychystání po doručení na určené místo. Výsledky jsou uvedeny v (Tabulka 8):

Tabulka 8 Průměrné časy jednotlivých časových úseků

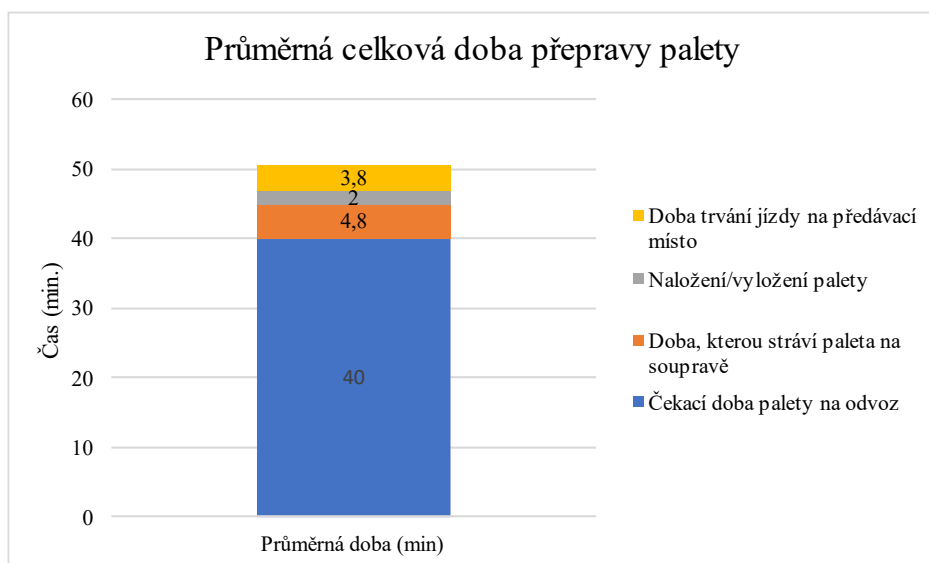
Zdroj: (vlastní zpracování)

Časový úsek	Průměrná doba (min)
Naložení jedné palety na soupravu	1,0
Doba, kterou stráví paleta na soupravě	4,8
Čekací doba palety na odvoz	40,0
Doba trvání jízdy na předávací místo	3,8
Vyložení palety	1,0
Celková doba přepravy palety	50,6

Průměrná čekací doba palety na odvoz činí 40 minut, což je nejdelší část celého procesu. Jakmile je paleta zařazena do přepravního procesu, trvá její naložení na soupravu v průměru 1 minutu. Po naložení stráví paleta na soupravě v průměru 4,8 minuty, což odpovídá postupnému plnění soupravy – první naložená paleta na ní stráví nejdelší dobu, zatímco poslední paleta je naložena těsně před odjezdem. Samotná doba přepravy na určené

předávací místo činí v průměru 3,8 minuty. Po příjezdu soupravy je nutné paletu vyložit, což trvá přibližně 1 minutu.

Celková doba přepravy palety od okamžiku jejího vychystání až po doručení na určené místo tedy činí v průměru 50,6 minuty. Největší podíl na této době má čekání na odvoz, zatímco samotná přeprava a manipulace jsou časově méně náročné. Pro lepší přehlednost je grafické znázornění doby jednotlivých úseků uvedeno na (Obrázek 15).



Obrázek 15 Graf celková doba přepravy palety

Zdroj: (vlastní zpracování)

9 NÁVRH OPTIMALIZOVANÉHO STAVU S VYUŽITÍM AMR

Navržený systém zajišťuje automatický rozvoz materiálu mezi skladovými a vykládkovými místy bez potřeby lidského zásahu během přepravy. Na předem definovaných předávacích místech operátor manuálně naloží materiál uložený na podvozcích. Na dotykovém panelu umístěném přímo na vozíku operátor zvolí jednu z předdefinovaných tras, určí příslušné předávací stanice a zadá příkaz k provedení zvoleného úkonu.

Řešení je navrženo tak, aby bylo možné tento proces v další fázi projektu dále automatizovat. Automatizace spočívá v tom, že výběr nejvhodnější trasy a jednotlivých zastávek bude řízen automaticky řídicím systémem. Tento systém bude pracovat na základě informací o naloženém nákladu, který operátor naskenuje po naložení a potvrzením zahájí proces přepravy.

Během přepravy souprava zastavuje na předem definovaných stanovištích, kde operátoři daného pracoviště vyloží příslušný náklad a potvrdí pohyb stroje k další destinaci. Tento postup se opakuje, dokud není tažná souprava zcela vyložena. Po dokončení vykládky se souprava přesune na určenou koncovou zastávku, kde vyčká na další úkol.

Na základě informací o počtu přepraveného materiálu byl vytvořen předběžný odhad pomocí simulace, podle kterého bude k zajištění provozu potřeba 18 autonomních vozíků. Tento odhad zohledňuje provozní podmínky, při nichž mají AMR vždy prioritu před ostatní manipulační technikou a chodci.

AMR systém představuje komplexní řešení pro automatizovanou přepravu materiálu v průmyslovém prostředí, fungující na principu TAXI služby. Tento systém je plně integrován s nadřazeným systémem společnosti a komunikuje prostřednictvím standardizovaného rozhraní Robot Control System.

9.1.1 Základní princip fungování

Systém je navržen pro bezobslužný transport materiálu mezi různými lokacemi v rámci výrobního závodu. Proces začíná na předem určených místech, kde operátor manuálně naloží materiál na transportní platformu. Cílová destinace je určena pomocí WMS (Warehouse Management System), který následně vydá příkaz k provedení úkolu. Operátor potvrzuje zadání úkolu prostřednictvím uživatelského rozhraní. Stejný postup se uplatňuje i pro zpětný transport prázdných přepravních stolů.

9.1.2 Popis vývojového diagramu přepravy palet pomocí AMR

V (PŘÍLOHA P III) je znázorněn vývojový diagram, který popisuje postup přepravy materiálu od okamžiku dokončení komise skladníkem až po návrat AMR zpět do skladu. Tento proces zahrnuje více rozhodovacích bodů a scénářů v závislosti na konkrétní situaci na pracovišti.

Krokový popis procesu:

Zahájení procesu

Proces začíná dokončením komise a uzavřením palety skladníkem.

Rozhodnutí o přesunu palety

Následuje rozhodnutí, zda bude paleta ihned převezena na předávací místo. Pokud ne, je dočasně uložena na skladišti, kde čeká na další zpracování.

Umístění palety na předávací místo

Pokud je potřeba paletu předat, skladník ji umístí na předávací místo. V tomto okamžiku může být paleta převzata AMR.

Převoz AMR

AMR převezme paletu z předávacího místa (ze stolu) a doručí ji na cílové pracoviště.

Manipulace s paletou na cílovém místě

V místě určení se vyhodnocuje, zda pracovník převezme paletu i se stolem. Pokud ano, pracovník celý stůl odveze a zároveň potvrdí uvolnění předávacího místa.

Alternativní převzetí palety

Pokud pracovník nepřebírá stůl, pouze odebere paletu a potvrzuje její převzetí. Následně se AMR dotazuje, zda má odvézt prázdný stůl.

Rozhodnutí o odvozu prázdného stolu

V případě, že si pracovník přeje odvoz, AMR jej odváží podle definované strategie. V opačném případě zůstává stůl na místě.

Zpětné využití stolu

Pokud stůl zůstává na místě, může pracovník položit zpětnou (např. prázdnou nebo připravenou) paletu na stůl. AMR tento požadavek následně zpracuje.

Další požadavky na převoz

Pokud vznikne požadavek na příjezd AMR k jinému předávacímu místu, vozík se dle strategie přesune a celý cyklus se může opakovat.

Zakončení cyklu

Proces je zakončen návratem AMR do skladu, kde je připraveno k dalšímu cyklu.

9.1.3 Řízení a optimalizace

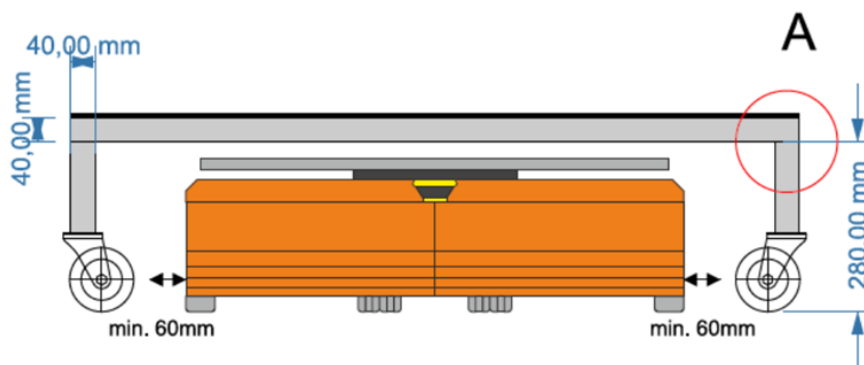
Celý systém je řízen pokročilým softwarem, který autonomně optimalizuje a koordinuje jednotlivé činnosti. Tento software určuje pořadí a způsob provedení úkolů s cílem maximalizovat efektivitu a plynulost provozu.

9.1.4 Klíčové oblasti a proces zásobování

Zásobování probíhá primárně z následujících oblastí viz (PŘÍLOHA II).

- Sklad GEIS
- Ekollpregnace
- Sklad štítů
- Sklad 3A

Přeprava je realizována pomocí autonomních mobilních robotů (AMR), které převážejí palety umístěné na transportních stolech (Obrázek 16).



Obrázek 16 Transportní stůl

Zdroj: (interní)

9.1.5 Proces přepravy a vykládky

Po naložení v zdrojové oblasti AMR vozíky přepraví transportní stoly do určených cílových destinací. Zde operátoři manuálně vyloží náklad. Prázdný transportní stůl je následně naskenován pro určení další pozice a AMR vozíkem odvezen na místo specifikované operátorem dle aktuálních logistických potřeb.

9.1.6 Řízení a integrace

Veškeré operace AMR vozíků jsou řízeny WMS společností. Tento systém zajišťuje přenos všech potřebných vstupů a optimalizuje celý proces přepravy. Robotický systém na základě pokynů z WMS autonomně vykonává všechny potřebné úkony, čímž se dosahuje efektivního toku materiálu mezi sklady, výrobními linkami a dalšími klíčovými oblastmi.

Tento integrovaný přístup významně přispívá k maximalizaci efektivity a plynulosti zásobování v rámci celého výrobního závodu.

9.1.7 Specifikace vozíků

Navrhované řešení zahrnuje implementaci osmnácti automaticky řízených vozíků (AMR) typu Q 1000 viz (Obrázek 17), které vykazují následující klíčové vlastnosti a výhody:

- **Adekvátní nosnost:** Vozíky disponují nosností 1,0 tuny, což plně postačuje pro manipulaci s paletami o maximální hmotnosti jedné tuny.
- **Dostatečná stoupavost:** Konstrukční řešení vozíků umožňuje překonávat stoupání až 3°, což zajišťuje jejich efektivní využití v různorodém prostředí závodu.
- **Bateriová technologie:** Vozíky jsou vybaveny Li-Ion bateriemi, které podporují nepřetržitý provoz s minimálními prostoji pro dobíjení. Systém je navržen tak, že neaktivní vozík automaticky vyhledá nabíjecí stanici a zahájí proces dobíjení.
- **Kompaktní rozměry:** Vozíky se vyznačují minimální potřebnou plochou pro otáčení (AST), což umožňuje jejich flexibilní nasazení v rámci celého závodu.
- **Univerzální kompatibilita:** Vozíky jsou navrženy pro práci s podjezdovými stoly, což umožňuje transport široké škály paletových typů, včetně GB zelený velký, Wanzl vysoký a nízký, GB velká, MARS Paleta, Paleta P01 a 1/2 Gitterbox.
- **Pokročilý navigační systém:** Autolokalizační navigace využívá kombinaci inerciálních senzorů, 2D čárových kódů, laserových a vizuálních navigačních metod

SLAM k dosažení přesné lokalizace. Vozíky podporují plynulé pohyby vpřed, vzad a otáčení prostřednictvím diferenciálu se dvěma koly.

- **Komplexní bezpečnostní opatření:** Vícenásobná bezpečnostní ochrana zahrnuje přední laserové a boční ultrazvukové vyhýbání se překážkám, detekci pruhu nárazníku a tlačítko nouzového zastavení, zajišťující bezpečný provoz v prostředí sdíleném s lidmi.
- **Intuitivní interakce:** Vozíky jsou vybaveny systémem interakce člověk-stroj, který indikuje stav zařízení pomocí dotykové obrazovky, zvukových signálů a vizuálních indikátorů.



Obrázek 16 AMR vozík Q7-1000E

Zdroj: (directindustry.es)

9.1.8 Navigační a pohybové schopnosti

Autonomní mobilní robot disponuje sofistikovaným navigačním systémem, který kombinuje:

- Inerciální navigaci
- Navigaci pomocí QR kódů
- Laser-SLAM technologii

Pohybový mechanismus využívá dvoukola s diferenciálním pohonem, což zajišťuje plynulé a přesné přesuny.

9.1.9 Technologické vlastnosti

Napájení a energetický management:

- Víceúrovňový elektrický práh
- Automatické nabíjení
- Autonomní návrat k pracovnímu procesu podle stavu baterie

Bezpečnostní prvky:

- Laserový systém vyhýbání se překážkám
- Nárazníková bezpečnostní lišta
- Centrální tlačítko nouzového zastavení

Uživatelské rozhraní:

- LCD displej
- Zvuková signalizace
- Dvoubarevný indikátor stavu
- Nosnost až 1000 kg
- Bezdrátová komunikace
- Schopnost pohybu v pokryté síťové oblasti

V (Tabulka 9) jsou uvedeny technické parametry autonomního mobilního robota (AMR) typu Q1000.

Tabulka 9 Parametry AMR

Zdroj: (directindustry.es)

Rozměry (d × š × v)	1150 mm × 820 mm × 254 mm
Průměr otáčení	1200 mm
Výška podvozku	25 mm
Rozměr nosné plochy	1030 mm × 770 mm
Výška zdvihu	60 mm
Typ zdvihu	Elektrický zdvih
Hmotnost	178 kg
Maximální zatížení	1000 kg
Navigační režim	Laser SLAM/2D čárový kód/Vizuální SLAM
Interakce člověk-stroj	Dotyková obrazovka
Ochranné systémy	
Čelní laserová ochrana před překážkami	
Výška instalace	182 mm
Úhel snímání	260°
Maximální detekční vzdálenost	20 m
Boční ultrazvuková ochrana před překážkami	
Počet senzorů	Jeden na každé straně
Výška instalace	188 mm
Úhel otevření	Horizontálně 80°, vertikálně 34°
Rozsah detekce	0,2 m až 1 m
Přední/Zadní detekce nárazového pásu	Přední/Zadní
Nouzové tlačítko	Přední/Zadní
Dynamické vlastnosti	
Rychlost pohybu (prázdné)	2 m/s
Rychlost pohybu (zatížení)	1,8 m/s
Zrychlení (prázdné)	1 m/s ²
Zrychlení (zatížení)	0,6 m/s ²
Rychlost otáčení (prázdné)	200°/s
Rychlost otáčení (zatížení)	60°/s
Stoupavost	4°
Přesnost lokalizace	± 1°
Vlastnosti baterie	
Přesnost umístění	± 10 mm
Typ baterie	LiFePO
Jmenovité napětí	48 V
Životnost baterie (počet cyklů)	1500 cyklů
Doba provozu	8 hodin
Doba nabíjení	≤ 1,5 hodiny

9.2 Analýza časových údajů ze simulace

Pro vyhodnocení efektivity nasazení AMR byla vytvořena simulace přepravního procesu v softwaru Tecnomatix Plant Simulation. Simulace byla provedena za podmínek odpovídajících reálnému provozu a zahrnovala následující parametry:

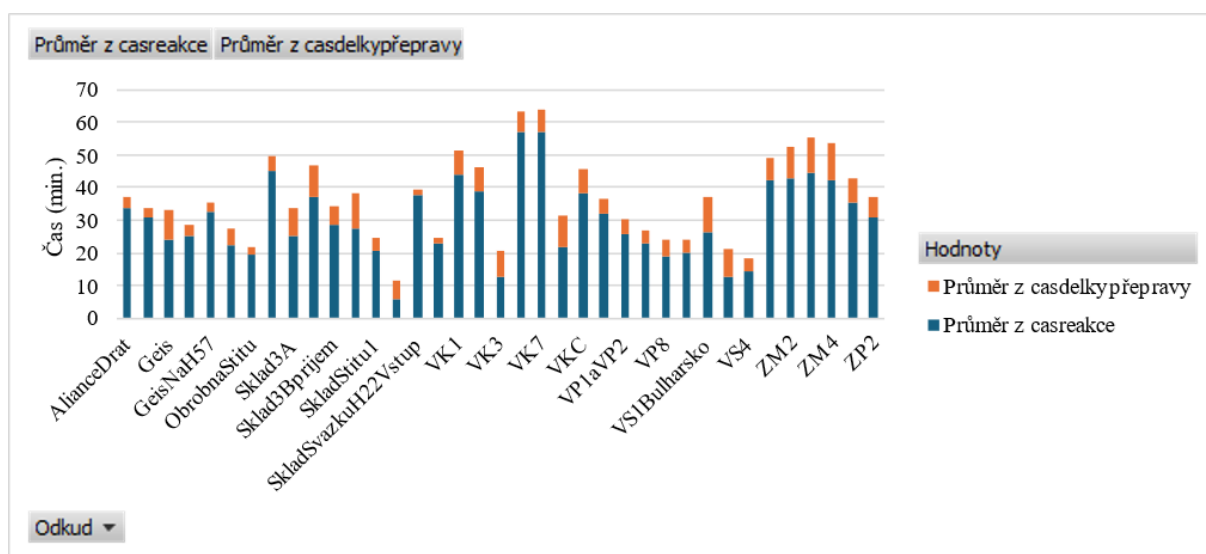
- Počet AMR: 18
- Modelované trasy a zastávky: odpovídající současnému uspořádání výroby
- Simulované časové úseky: čekací doby palet, přepravní doby mezi stanovišti

Cílem simulace bylo zjistit, jak se změní celková doba přepravy palet oproti současnému stavu s milkruny. Simulace sledovala každou přepravenou paletu, zaznamenávala její čekací dobu před odvozem a čas potřebný k přepravě na určené místo. Časy nakládky a vykládky nejsou v rámci simulace evidovány jako samostatné hodnoty.

Jsou součástí celkového přepravního času mezi zastávkami, který zahrnuje celý cyklus od převzetí materiálu až po jeho doručení. Z tohoto důvodu nejsou tyto dílčí časy dále rozlišovány.

V případě navrhovaného řešení s využitím AMR rovněž dochází k eliminaci administrativních činností, které jsou v současném procesu prováděny manuálně. Jedná se například o komunikaci mezi pracovníky nebo vyplňování dokumentace, což přispívá k celkovému zjednodušení a zrychlení procesu.

Naměřená data budou následně porovnána s hodnotami ze současného procesu.



Obrázek 17 Graf časy reakce a přepravy

Zdroj: (vlastní zpracování)

Z (Obrázek 19) lze vyčíst, že průměrná doba reakce na paletu činí 30,9 minuty. To představuje čas od vzniku požadavku na přepravu palety do okamžiku, kdy je přeprava zahájena.

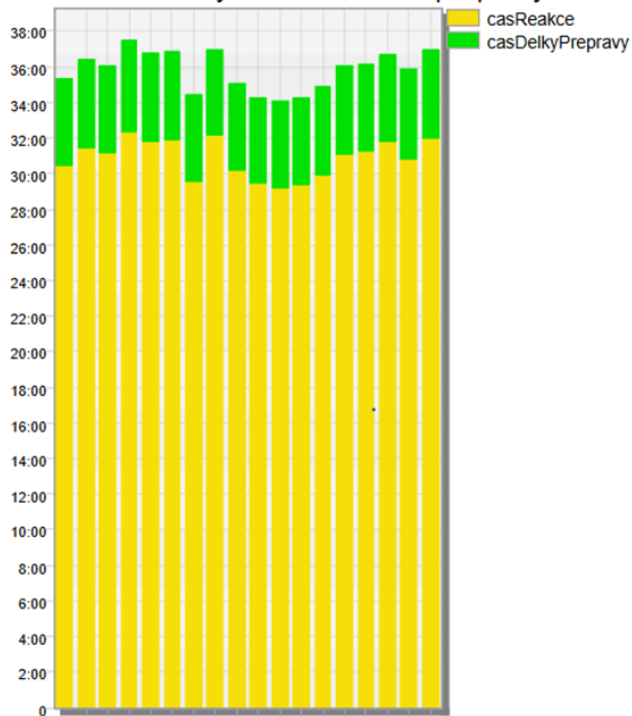
Dále graf ukazuje, že průměrný čas samotné přepravy je 4,9 minuty, což odpovídá době, po kterou je paleta fyzicky přepravována na cílové místo. Celkově tedy od vzniku požadavku až po doručení palety na místo uplyne v průměru 35,8 minuty. Jednotlivé časy přepravy AMR vozíků jsou znázorněny v (Tabulka 10) a (Tabulka 11) získané ze simulace. Tato tabulka obsahuje detailní údaje o časech reakce a přepravy.

Tabulka 10 Čas reakce a délka přepravy

Zdroj: (interní)

voziky	casReakce	casDelkyPrepravy
.Models.AMR:1	30:26.7337	4:53.9089
.Models.AMR:2	31:28.9182	4:58.9294
.Models.AMR:3	31:11.5112	4:53.8419
.Models.AMR:4	32:23.6705	5:04.6349
.Models.AMR:5	31:47.8150	4:59.1824
.Models.AMR:6	31:56.4655	4:54.2401
.Models.AMR:7	29:33.6714	4:52.7763
.Models.AMR:8	32:10.1495	4:46.8392
.Models.AMR:9	30:13.1556	4:50.6139
.Models.AMR:10	29:31.4548	4:45.6189
.Models.AMR:11	29:14.8891	4:49.3968
.Models.AMR:12	29:26.3797	4:48.7560
.Models.AMR:13	29:57.8940	4:56.1072
.Models.AMR:14	31:08.0285	4:56.4712
.Models.AMR:15	31:14.7449	4:54.3504
.Models.AMR:16	31:50.4889	4:50.3660
.Models.AMR:17	30:52.8870	4:58.5838
.Models.AMR:18	32:01.3540	4:55.9880

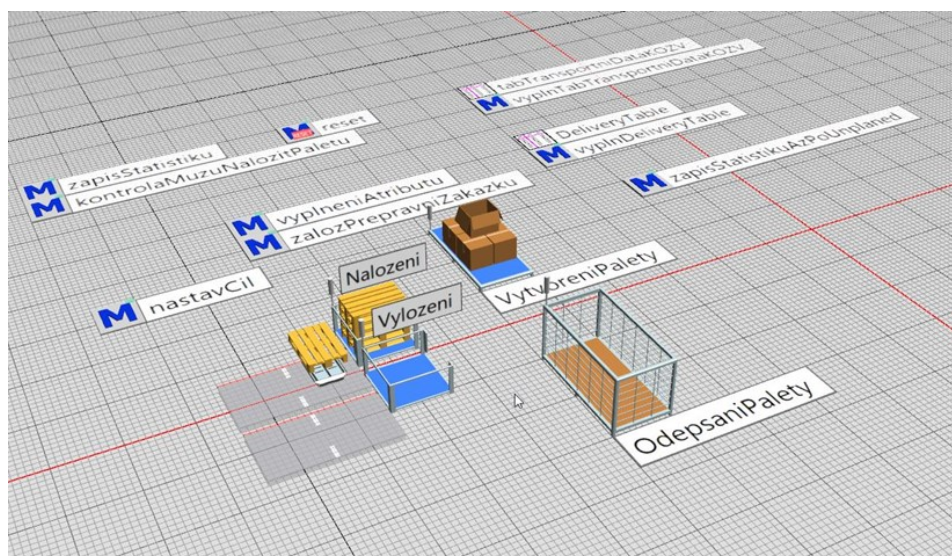
Prumerne casy - reakce, delka prepravy



Obrázek 18 Průměrné časy přepravy

Zdroj: (interní)

Na (Obrázek 22) je znázorněno jedno z předávacích míst použitých v simulačním modelu. Tato místa slouží k předání materiálu mezi AMR a skladovým pracovištěm.



Obrázek 19 Vizualizace předávacího místa v simulačním modelu

Zdroj: (interní)

9.3 Komparace přepravy Milkrun vs. AMR

Porovnání ukazuje (Tabulka 11), že průměrná doba dopravení palety pomocí milkrunu je 50,6 minuty, zatímco AMR dopraví jednu paletu na místo v průměru za 35,8 minuty. Hlavním rozdílem je, že milkrun převáží více palet najednou (5 palet), ale palety musí čekat na svoz, zatímco AMR přepravuje jednotlivé palety průběžně, čímž zkracuje dobu čekání palety na odvoz.

Tento rozdíl znamená, že materiálový tok je díky AMR plynulejší, protože palety nejsou zadržovány do doby, než se naplní kapacita vozidla, ale jsou přepravovány průběžně podle aktuální potřeby.

Tabulka 11 Srovnání časů přepravy Milkrun vs AMR

Zdroj: (vlastní)

Fáze přepravy	Milkrun (min.)	AMR (min.)
Čekací doba palety na odvoz	40	30,9
Doba trvání jízdy na předávací místo	3,8	4,9
Celková doba přepravy palety	50,6	35,8

9.4 ROI

Před samotnou analýzou nákladů a přínosů (CBA) byl proveden výpočet návratnosti investice pomocí (ROI – Return on Investment), který slouží jako základní ukazatel výhodnosti implementace (AMR). Tento výpočet pomocí vzorce (3) umožňuje předběžně posoudit, zda plánovaná investice generuje odpovídající přínosy, které si organizace stanovila na horizont 3 let. Z důvodu ochrany citlivých dat byly vstupní hodnoty upraveny pomocí anonymizačního koeficientu. Výsledky odpovídají skutečným poměrům.

Vzorec pro výpočet ROI: (3)

$$ROI = \frac{(B - C)}{(C)} \times 100$$

Kde:

- B - přínosy za sledované období
- C – celkové náklady na projekt

Tabulka 12 Náklady implementace

Zdroj: (interní)

Kategorie	Hodnota (Kč)
AMR implementace	15,3 mil./rok
Stoly	4,25 mil./rok
Celkové náklady	19,55 mil.

Tabulka 13 Přínosy implementace

Zdroj: (interní)

Kategorie	Hodnota (Kč)
Úspora mzdových nákladů za rok	5,61 mil./rok
Úspora z nerealizované obnovy za rok	1,42 mil./rok
Celkové roční úspory	7,03 mil./rok

Kategorie	Hodnota (Kč)
Celkové přínosy za 3 roky	21,09 mil.

Výpočet: (4)

$$ROI = \frac{(21,09 - 19,55)}{(19,55)} \times 100 = \frac{(1,54)}{(19,55)} \times 100 = 7,88 \%$$

ROI za tříleté období dosahuje hodnoty 7,88 %, což znamená, že projekt nejen pokrývá své náklady, ale generuje i čistý ekonomický přínos ve výši 1,54 mil. Kč. Tento výsledek potvrzuje ekonomickou výhodnost navrhovaného řešení a slouží jako vstupní argument pro následnou Cost-Benefit analýzu (CBA), která detailněji zohledňuje jednotlivé náklady, přínosy a dobu návratnosti projektu.

9.5 Cost-benefit analýza (CBA)

V této části práce bylo provedeno ekonomické zhodnocení návrhu autonomních mobilních robotů pomocí vzorce (5). Pro vyhodnocení ekonomické efektivity projektu byla použita metoda Cost-Benefit Analysis (CBA), která porovnává celkové očekávané přínosy a náklady v daném časovém horizontu. Výsledkem je zjištění, zda se návrh z ekonomického hlediska vyplatí realizovat. Proč výpočet byli využity data z (Tabulka 12) a (Tabulka 13).

- Pro analýzu byl použit vzorec pro výpočet B/C poměru

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^n B_t}{\sum_{t=1}^n C_t} \quad (5)$$

Kde:

- B_t : přínos v období t
- C_t : náklad v období t
- n : časový horizont projektu (3 roky)

Náklady (C_t):

- AMR implementace: 15,3 mil. Kč
- Stoly (310 ks): 4,25 mil. Kč

Celkové náklady: 19,55 mil. Kč

Přínosy (B_t):

- Úspora mzdových nákladů za rok: 5,61 mil. Kč/rok
- Úspora z nerealizované obnovy za rok: 1,42 mil. Kč/rok

Celkové roční úspory: 7,03 mil. Kč/rok

Celkové přínosy za 3 roky: 21,09 mil. Kč

Výpočet B/C poměru (6)

$$B/C = \frac{21,09}{19,55} = 1,079$$

Výpočet čistého přínosu (7)

$$\text{Čistý přínos} = \sum B_t - \sum C_t$$

$$\text{Čistý přínos} = 21,09 - 19,55 = 1,54 \text{ mil. Kč}$$

Výpočet doby návratnosti (8)

$$\text{Doba návratnosti} = \text{Celkové náklady} / \text{Roční přínosy}$$

$$\text{Doba návratnosti} = \frac{19,55}{7,03} = 2,78 \text{ roku}$$

9.5.1 Závěr CBA analýzy

Na základě výše uvedených výpočtů je zřejmé, že hodnota B/C poměru je vyšší než 1, což znamená, že přínosy převyšují náklady. Čistý přínos projektu dosahuje 1,54 milionu Kč a návratnost investice je dosažena již za 2,78 roku, tedy ještě před koncem sledovaného tříletého období. Z tohoto důvodu lze implementaci automaticky naváděných vozíků hodnotit jako ekonomicky výhodnou.

9.6 Pre-Post Analýza: srovnání variant Milkrun a AMR

Nejvýraznějším rozdílem mezi oběma variantami je celková doba, po kterou paleta čeká na zahájení přepravy.

V případě milkrunu se jedná nejen o čekání na samotný odvoz (40 minut), ale také o čas, kdy paleta zůstává naložená na soupravě a čeká, až budou naloženy i ostatní

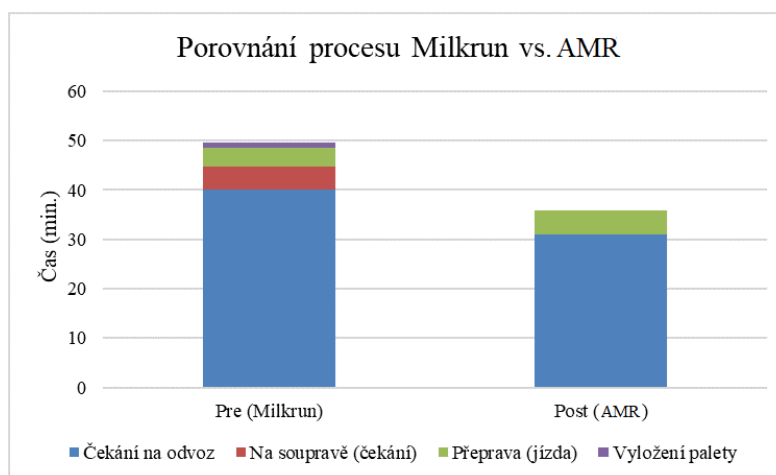
(dalších 4,8 minut). Naopak při využití AMR je přeprava zahájena ihned po naložení palety, a tedy čas strávený v systému bez pohybu se snižuje na přibližně 30,9 minut. Navíc díky individuálním přepravám AMR odpadá nutnost čekat na zaplnění celé soupravy, což přispívá ke zvýšení plynulosti toku.

Z celkové Pre-post analýzy viz (Tabulka 14) a (Obrázek 23) vyplývá, že přechod na AMR může přinést řadu přínosů. Zkrátit dobu přepravy jedné palety z 50,6 minut na 35,8 minut, což představuje zkrácení o více než 29 %. Kromě časových úspor má tato změna potenciál snížit nároky na lidskou obsluhu, zvýšit flexibilitu, a v konečném důsledku zefektivnit celou vnitropodnikovou logistiku.

Tabulka 14 Pre-post analýza

Zdroj:(interní, vlastní)

Kritérium / Fáze	Pre (Milkrun)	Post (AMR)
Režim přepravy	Manuální (milkrun)	Autonomní (AMR)
Čekání na odvoz	40,0 min	30,9 min
Na soupravě (čekání)	4,8 min	Započítáno v celkovém čase
Přeprava (jízda)	3,8 min	4,9 min
Vyložení palety	1,0 min	Započítáno v celkovém čase
Celkový čas na jednu paletu	50,6 min	35,8 min
Počet pracovníků	12 pracovníků	0 pracovníků
Flexibilita přepravy	Nízká	Vysoká
Variabilita časů	Vyšší	Nízká
Investiční náklady	Nízké	Vyšší
Provozní náklady	Vyšší	Nižší
Plynulost toku materiálu	Menší plynulost	Plynulejší zásobování



Obrázek 20 Graf porovnání procesu Milkrun vs. AMR

Zdroj: (vlastní zpracování)

10 ANALÝZA RIZIK APLIKACE AMR

V rámci praktické části diplomové práce byla metoda FMEA využita pro analýzu rizik spojených s návrhem nového řešení vnitropodnikové přepravy pomocí AMR. Postup zahrnoval následující kroky:

Identifikace jednotlivých kroků procesu – byly definovány klíčové činnosti a fáze interní logistiky, které budou ovlivněny zavedením AMR. Tyto činnosti byly identifikovány autorem diplomové práce ve spolupráci s pracovníky oddělení logistiky daného podniku.

Stanovení potenciálních poruch (failure modes) – pro každý krok procesu byly určeny možné chyby nebo selhání (např. výpadek AMR, zablokování trasy, chybný přenos materiálu).

Analýza identifikovala několik klíčových rizik, která by mohla ovlivnit efektivitu a bezpečnost provozu AMR. Mezi nejvýznamnější patřily například:

- Selhání serveru nebo databázového systému-monitoring systému, záložní servery
- Selhání AMR z důvodu výpadku baterie-navrženo zavedení automatického monitoringu stavu baterií a plánovaného dobíjení.
- Kolize AMR s překážkou nebo člověkem-doporučeno nasazení senzorických systémů a vizuální signalizace.
- Zpoždění v dodávkách materiálu kvůli přeplnění předávacích míst-navrženo optimalizovat počet a kapacitu předávacích zón.

Rizika byla dále analyzována a byly k nim stanoveny konkrétní kroky pro jejich zmírnění. Z důvodu přehlednosti je detailní tabulka FMEA analýzy uvedena v příloze této práce (PŘÍLOHA IV).

Zpracování analýzy FMEA přineslo cenný pohled na možná úskalí implementace AMR do interní logistiky. Díky identifikaci klíčových rizik a návrhům opatření lze snížit možnost vzniku problémů při ostrém nasazení nové technologie.

Pro identifikaci nejkritičtějších vad v interních logistických procesech byla provedena analýza pomocí Paretova diagramu (Obrázek 24). Data vycházejí z FMEA analýzy, přičemž byla zpracována frekvence výskytu jednotlivých typů vad. Na základě těchto údajů byly vypočteny relativní podíly (%) a kumulativní procenta, které ukazují, jaký podíl tvoří jednotlivé vady na celkovém počtu výskytů. Následující (Tabulka 15) uvádí pro každou

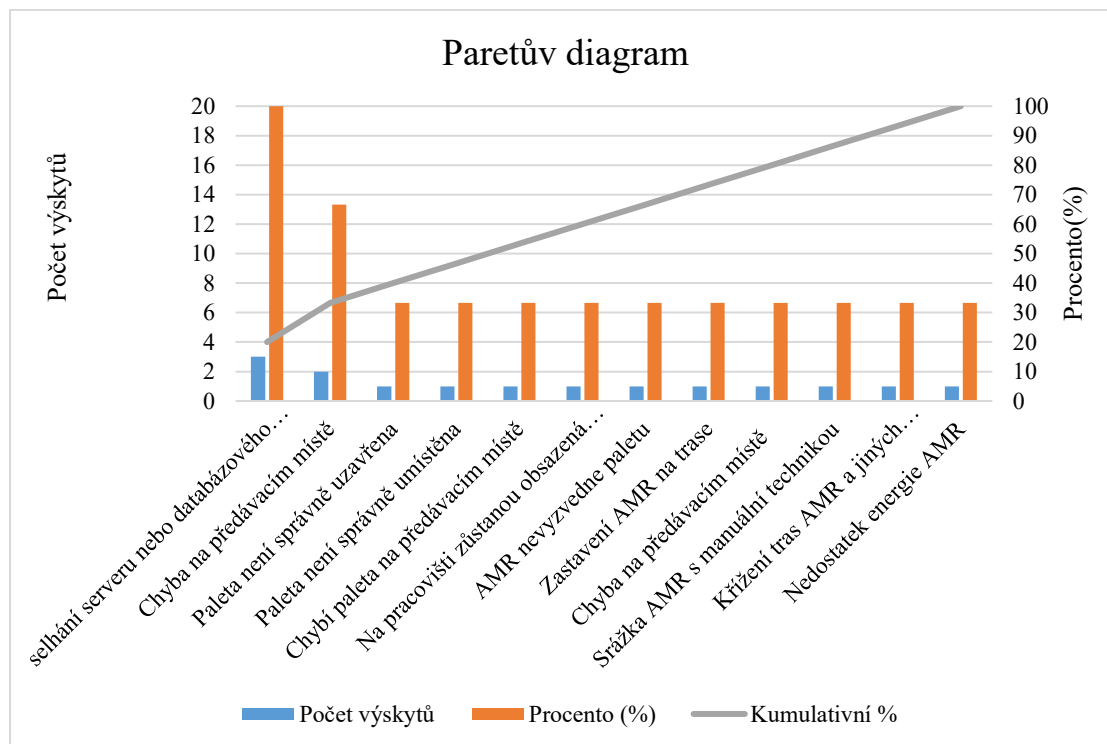
identifikovanou vadu tři klíčové metriky: absolutní počet výskytů, relativní podíl na celkovém počtu a kumulativní procento.

Tabulka 15 Paretova analýza

Zdroj: (interní, vlastní zpracování)

Vada	Počet výskytů	Kumulativní počet výskytů	Podíl (%)	Kumulativní podíl(%)
Selhání serveru nebo databázového systému	3	3	20.00	20.00
Chyba na předávacím místě	2	5	13.33	33.33
Paleta není správně uzavřena	1	6	6.67	40.00
Paleta není správně umístěna	1	7	6.67	46.67
Chybí paleta na předávacím místě	1	8	6.67	53.33
Na pracovišti zůstanou obsazená všechna vstupní místa	1	9	6.67	60.00
AMR nevyzvedne paletu	1	10	6.67	66.67
Zastavení AMR na trase	1	11	6.67	73.33
Chyba na předávacím místě	1	12	6.67	80.00
Srážka AMR s manuální technikou	1	13	6.67	86.67
Křížení tras AMR a jiných dopravních prostředků	1	14	6.67	93.33
Nedostatek energie AMR	1	15	6.67	100.00
Suma	15		100	

Z analýzy vyplývá viz (Obrázek 24), že dvě nejčastější vady představují téměř polovinu všech zaznamenaných případů. Ostatní vady se vyskytují pouze jednotlivě a jejich dopad je relativně malý. Tento výsledek potvrzuje princip 80/20, podle kterého malý počet příčin způsobuje většinu problémů. Doporučujeme proto zaměřit zlepšovací opatření primárně na tyto nejvýznamnější položky.



Obrázek 21 Paretův diagram

Zdroj: (interní, vlastní zpracování)

DISKUZE

Diskuse výsledků potvrzuje, že autonomní mobilní roboti představují efektivní nástroj pro optimalizaci interních logistických procesů. Přestože stávající mlkrunový systém spolehlivě pokrývá objem přepravy, jeho hlavní slabinou jsou ztrátové časy – zejména průměrná čekací doba palet na odvoz (cca 40 minut) a zdržení před samotnou přepravou (4,8 minuty). Tyto faktory negativně ovlivňují plynulost toku materiálu a vytvářejí přechodné zásoby.

Implementace AMR systémů přináší zřetelné zlepšení: jednotlivé přepravy mohou začít okamžitě po naložení palety, což snižuje celkový čas přepravy z 50,6 na 35,8 minut – tedy o více než 29 %. Výsledkem je plynulejší tok materiálu, omezení skladových zásob „na cestě“ a efektivnější využití prostoru.

Z ekonomického hlediska se investice do AMR ukazuje jako výhodná, s návratností necelé tři roky a roční úsporou přesahující 7 milionů Kč. Klíčové přínosy jsou ve snížení mzdových nákladů a odstranění potřeby investic do obnovy zastaralé techniky.

Z hlediska bezpečnosti, ačkoliv nebyla přímo kvantifikována, představuje AMR významné zlepšení: eliminuje ruční manipulaci, snižuje riziko úrazů, kolizí a přetížení pracovníků. Navíc umožňuje provoz bez přímé lidské obsluhy, což snižuje lidský faktor v chybovosti. V kombinaci s prediktivním řízením a schopností reagovat v reálném čase posilují AMR koncept štíhlé a adaptivní logistiky.

Přesto je důležité zohlednit i některé výzvy – například potřebu důsledné správy infrastruktury, zajištění konektivity a přizpůsobení layoutu výrobních prostor. Tyto aspekty jsou však řešitelné a nepředstavují zásadní bariéry pro implementaci.

S ohledem na rostoucí tlak na udržitelnost může AMR sehrát i ekologickou roli – snížením spotřeby energie, optimalizací tras a minimalizací zbytečných přejezdů. V dlouhodobém horizontu lze předpokládat, že se autonomní logistické systémy stanou standardní součástí moderních továren, zejména v kombinaci s digitalizovaným plánováním a umělou inteligencí.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo analyzovat současný systém interní přepravy v podniku využívající milkrunové soupravy a navrhnout optimalizované řešení s využitím autonomních mobilních robotů (AMR). Na základě provedené analýzy, simulace a ekonomického zhodnocení lze konstatovat, že přechod na automatizovanou interní logistiku prostřednictvím AMR představuje nejen technicky realizovatelný, ale i ekonomicky a provozně smysluplný krok směrem k modernizaci podniku v souladu s principy Průmyslu 4.0.

Stávající způsob přepravy pomocí milkrunu sice plní požadavky na přepravní kapacitu, avšak je zatížen výraznými ztrátovými časy, zejména průměrnou čekací dobou palet na odvoz (cca 40 minut) a dalším zdržením před samotným zahájením přepravy. Tyto faktory negativně ovlivňují plynulost toku materiálu. Navržený systém s využitím AMR přináší v tomto směru zásadní přínos-okamžité zahájení přepravy po naložení palety, čímž dochází k výraznému zrychlení logistického procesu.

Výsledky simulace ukázaly, že doba přepravy palety od zadání požadavku až po doručení se zkrátila z původních 50,6 minut (milkrun) na 35,8 minut (AMR), což představuje zlepšení o více než 29 %. Tím dochází k efektivnějšímu využití výrobních zdrojů, omezení prostojů a zajištění plynulejšího zásobování výrobních linek.

Z ekonomického hlediska se ukazuje zavedení AMR jako návratná investice – s odhadovanou dobou návratnosti 2,78 roku. Roční úspora nákladů činí přibližně 7,03 milionu Kč, přičemž v tříletém horizontu přínosy přesahují 21 milionů Kč. Nejvýznamnější úspory byly zaznamenány v oblasti mzdových nákladů, snížení potřeby obnovy stávající manipulační techniky a optimalizaci provozu.

Závěrem lze konstatovat, že přechod na automatizovanou interní přepravu prostřednictvím AMR přináší v daném podniku významné přínosy v oblasti efektivity a plynulosti materiálového toku.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BARTODZIEJ, Christoph Jan, 2017. *Concept industry 4.0*. Wiesbaden: Springer Gabler. ISBN 9783658165024.

BRENNER, Carolin Carmen; ENSSLE, Alexander; SCHULZ, Robert a PARSPOUR, Nejila, 2023. *Navigation method utilizing floor-integrated inductive power supply modules for omnidirectional AGVs*. Online. *Forschung im Ingenieurwesen*. Roč. 87, č. 2, s. 617-626. ISSN 0015-7899. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10010-022-00605-y>. [cit. 2025-03-29].

Digitalization in supply chain management and logistics, 2017. Online. *Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics*. Roč. 2017, č. 23. Dostupné z: <https://doi.org/10.15480/882.1442>. [cit. 2025-02-07].

DIXIT, V.S. a CHHABRA, Shruti, 2015. *Logistics Business under the Cloud Computing Framework*. Online. In: *2015 15th International Conference on Computational Science and Its Applications*. IEEE, s. 96-99. ISBN 978-1-4673-7367-8. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/ICCSA.2015.24>. [cit. 2025-03-18].

ELLITHY, Kareim; SALAH, Mariam; FAHIM, Irene S. a SHALABY, Raafat, 2024. *AGV and Industry 4.0 in warehouses: a comprehensive analysis of existing literature and an innovative framework for flexible automation*. Online. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Roč. 134, č. 1-2, s. 15-38. ISSN 0268-3768. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00170-024-14127-0>. [cit. 2025-03-29].

FRANKO UHERNIK, Ingrid, 2021. *The Impact of Internal Logistics on the Performance of Manufacturing Companies*. Online. *Izzivi prihodnost*. 2021-03-01, roč. 6, č. 1. ISSN 24639281. Dostupné z: <https://doi.org/10.37886/ip.2021.017>. [cit. 2025-02-04].

GROS, Ivan, 2016. *Velká kniha logistiky*. Vydání: první. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7080-952-5.

GUPTA, A.K.; ARORA, S.K. a WESTCOTT, Jean Riescher, 2016. *Industrial Automation and Robotics: An Introduction*. Mercury Learning and Information. ISBN 978-1938549304.

HAYAT, Ahatsham; SHAHARE, Vivek; SHARMA, Ashish K. a ARORA, Nitin, 2023. *Introduction to Industry 4.0*. Online. In: NAMASUDRA, Suyel a AKKAYA, Kemal (ed.). *Blockchain and its Applications in Industry 4.0*. Studies in Big Data. Singapore: Springer

Nature Singapore, s. 29-59. ISBN 978-981-19-8729-8. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-981-19-8730-4_2. [cit. 2025-02-05].

HEIZER, Jay H.; RENDER, Barry a MUNSON, Chuck, 2024. *Operations management: sustainability and supply chain management*. Fourteenth edition. Harlow: Pearson. ISBN 978-1-292-44483-3.

IVANKOVA, Galina V.; MOCHALINA, Ekaterina P. a GONCHAROVA, Natalia L., 2020. Internet of Things (IoT) in logistics. Online. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020-09-01, roč. 940, č. 1. ISSN 1757-8981. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/940/1/012033>. [cit. 2025-04-18].

JABBAR, Sohail; KHAN, Murad; SILVA, Bhagya Nathali a HAN, Kijun, 2018. A REST-based industrial web of things' framework for smart warehousing. Online. *The Journal of Supercomputing*. Roč. 74, č. 9, s. 4419-4433. ISSN 0920-8542. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11227-016-1937-y>. [cit. 2025-03-18].

JUROVÁ, Marie, 2016. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Expert (Grada). Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-5717-9.

KAUP, Magdalena; WIKTOROWSKA-JASIK, Anna; SMACKI, Andrzej a BASZAK, Karolina, 2024. *Information systems and technologies supporting decision-making processes in logistics companies*. Online. *Procedia Computer Science*. Roč. 246, s. 5506-5515. ISSN 18770509. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.09.699>. [cit. 2025-03-19].

KRSTIĆ, Mladen; TADIĆ, Snežana a ZEČEVIĆ, Slobodan, 2021. *Technological solutions in Logistics 4.0*. Online. *Ekonomika preduzeća*. Roč. 69, č. 6-7, s. 385-401. ISSN 0353-443X. Dostupné z: <https://doi.org/10.5937/EKOPRE2106385K>. [cit. 2025-03-19].

KUMAR, Vivek, 2021. *The basics of supply chain management*. Bluerose Publishers Pvt. ISBN 9354276482.

MADHANI, Pankaj M., 2016. *The ICFAI journal of supply chain management*. The IUP journal of supply chain management : IJSCM. Roč. 2016, č. 13, s. 34-53. ISSN 0972-9267.

MEYER, Anne, 2017. *Milk Run Design: Definitions, Concepts and Solution Approaches*. KIT Scientific Publishing. ISBN 978-3731505662.

NENADÁL, Jaroslav, 2018. *Management kvality pro 21. století*. Praha: Management Press. ISBN 978-80-7261-561-2.

NITSCHKE, Benjamin, 2021. *Exploring the Potentials of Automation in Logistics and Supply Chain Management: Paving the Way for Autonomous Supply Chains*. Online. Logistics. Roč. 2021, č. 3, s. 9. Dostupné z: <https://doi.org/DOI:10.3390/logistics5030051>. [cit. 2025-03-18].

PAKSOY, Turan; KOÇHAN, Çiğdem a ALI, Sadia Samar, 2021. *Logistics 4.0*. ISBN 978-0-367-34003-2.

PFOHL, Hans-Christian, 2023. *Logistics Management: Conception and Functions*. 3rd edition. Springer. ISBN 978-3-662-66564-0.

RATHOUSKÝ, Bedřich; JIRSÁK, Petr a STANĚK, Martin, 2016. *Strategie a zdroje SCM*. V Praze: C.H. Beck. ISBN 978-80-7400-639-5.

RICHARDS, Gwynne, 2022. *Warehouse management*. 4th edition. Kogan Page. ISBN 978-1-7896-6840-7.

RICHNÁK, Patrik, 2022. *Current Trend of Industry 4.0 in Logistics and Transformation of Logistics Processes Using Digital Technologies: An Empirical Study in the Slovak Republic*. Online. Logistics. Roč. 6, č. 4. ISSN 2305-6290. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/logistics6040079>. [cit. 2025-02-07].

ULLRICH, Günter a ALBRECHT, Thomas, 2022. *Automated Guided Vehicle Systems A Guide - With Practical Applications - About The Technology - For Planning*. 2nd edition. Springer. ISBN 978-3-658-35386-5.

WILSON, Mike, 2015. *Implementation of robot systems*. FisicalBook. ISBN 9780124047334.

YANG, Seung Tae; PARK, Myoung Hwan a JEONG, Byung Yong, 2020. *Types of manual materials handling (MMH) and occupational incidents and musculoskeletal disorders (MSDs) in motor vehicle parts manufacturing (MVPM) industry*, International Journal of Industrial Ergonomics. Online. Roč. 2020, č. 77. ISSN 0169-8141. [cit. 2025-03-21].

ZOUBEK, Michal a ŠIMON, Michal, 2020. *Návrh modelu připravenosti pro hodnocení interních logistických procesů v kontextu Průmyslu 4.0*. Online. In: *Průmyslové inženýrství 2020: Mezinárodní studentská vědecká konference: sborník příspěvků*. Západočeská univerzita, s. 213-229. ISBN 9788026109693. Dostupné z: <https://doi.org/10.24132/PI.2020.09693.213-229>. [cit. 2025-02-04].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Vývoj historie AGV	39
Obrázek 2 Skladový AMR.....	40
Obrázek 3 Trasa milkrunu červená	44
Obrázek 4 Trasa milkrunu modrá	45
Obrázek 5 Trasa milkrunu oranžová	46
Obrázek 6 E-rám	47
Obrázek 7 Podvozek	47
Obrázek 8 E-rám+podvozek	48
Obrázek 9 Tažná souprava.....	48
Obrázek 10 Gitterbox velký	49
Obrázek 11 Paleta mars.....	50
Obrázek 12 Paleta euro	50
Obrázek 13 KLT box	50
Obrázek 14 Graf průměrné doby čekání palety	58
Obrázek 15 Graf celková doba přepravy palety.....	61
Obrázek 16 AMR vozík Q7-1000E	66
Obrázek 17 Graf časy reakce a přepravy	69
Obrázek 18 Průměrné časy přepravy	70
Obrázek 19 Vizualizace předávacího místa v simulačním modelu	71
Obrázek 20 Graf porovnání procesu Milkrun vs. AMR	75
Obrázek 21 Paretův diagram.....	78

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Čas nakládky a vykládky palety	52
Tabulka 2 Časy nakládky soupravy (5palet).....	53
Tabulka 3 Čekací doba palet na odvoz ze skladu Geis	54
Tabulka 4 Čekací doba palet na odvoz ze zásobovacího místa EkolImpregnace.....	55
Tabulka 5 Čekací doba palet na odvoz ze zásobovacího místa Sklad štítů	56
Tabulka 6 Čekací doba palet na odvoz ze Skladu 3A.....	57
Tabulka 7 Výřez matice vzdáleností.....	59
Tabulka 8 Průměrné časy jednotlivých časových úseků	60
Tabulka 9 Parametry AMR.....	68
Tabulka 10 Čas reakce a délka přepravy	70
Tabulka 11 Srovnání časů přepravy Milkrun vs AMR.....	71
Tabulka 12 Náklady implementace	72
Tabulka 13 Přínosy implementace.....	72
Tabulka 14 Pre-post analýza.....	75
Tabulka 15 Paretova analýza	77

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

5G Pátá generace bezdrátových systémů

AGV Automated Guided Vehicle

AMR Autonomous Mobile Robot

FIFO First In, First Out

OZV Oblast zásobovacího vozíku

PCL Programovatelný logický automat

Wi-Fi Wireless Fidelity

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: MATICE VZDÁLENOSTÍ V METRECH

PŘÍLOHA P II: LAYOUT ZÁSOBOVACÍCH MÍST

PŘÍLOHA III: DIAGRAM PROCESU PŘEPRAVY

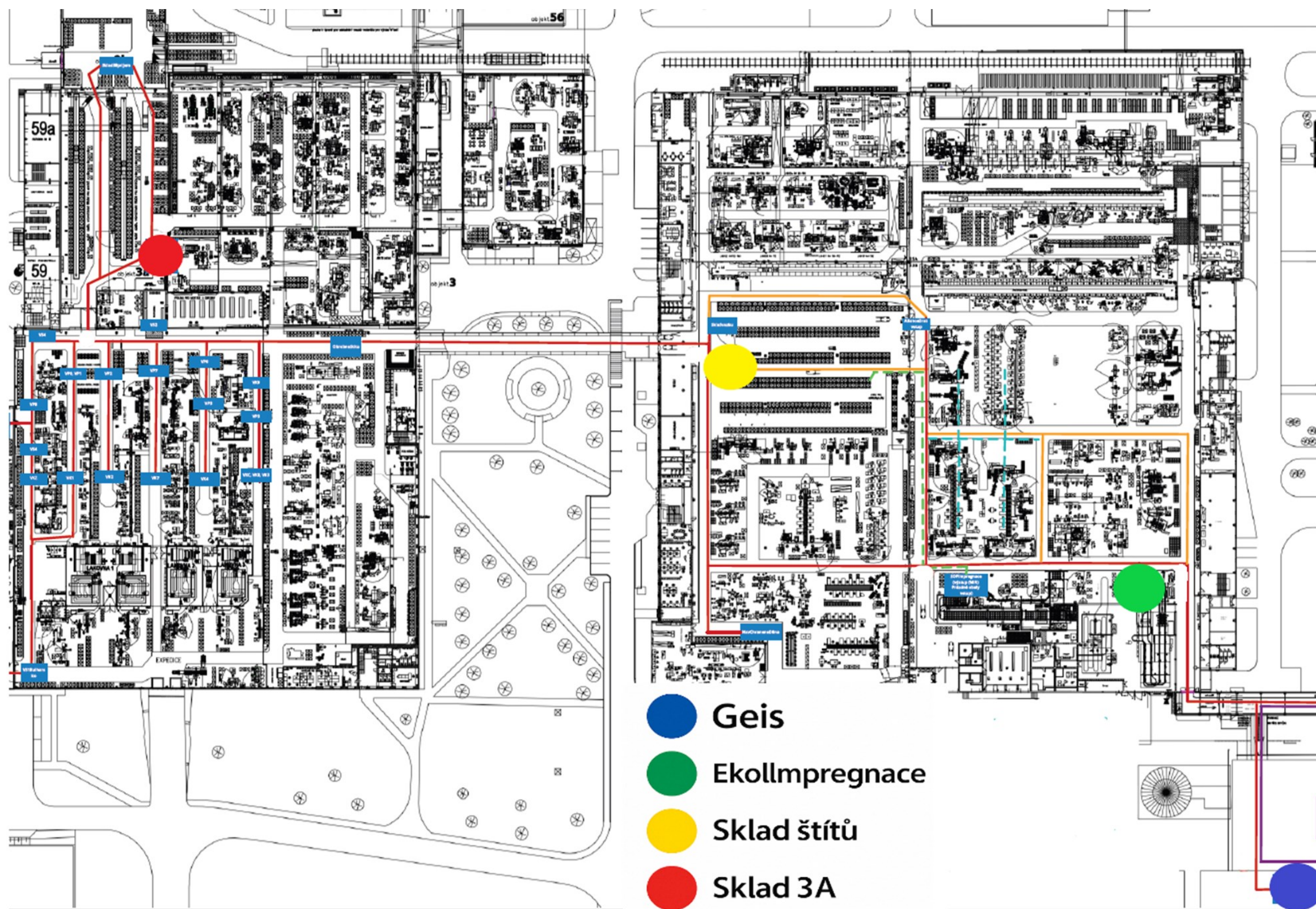
PŘÍLOHA IV: ANALÝZA RIZIK (FMEA) APLIKACE AMR

PŘÍLOHA V: FMEA VÝZNAM (S), VÝSKYT (O), DETEKCE (D)

PŘÍLOHA P I: MATICE VZDÁLENOSTÍ V METRECH

	PrijemH57	Sklad3A	Sklad3AG	Sklad3Bpr	Sklad3Bpr	SkladStitu1	SkladSvaz	SkladSvaz	SOPImpre	VK1	VK2	VK3	VK4	VK7	VK9	VKC	VP0aVP3	VP1aVP2	VP7	VP8	VP9	VS1Bulhar	VS2	VS4	ZL1	ZM2	ZM3	ZM4	ZP1aZM1	ZP2
AlianceDrat	158	318	322	372	370	140	62	132	52	328	314	258	264	304	318	272	292	292	272	312	300	364	274	320	336	394	390	408	328	370
Ekollmpregnace	106	338	342	392	390	150	110	156	38	348	334	278	284	324	338	292	312	312	292	332	320	384	294	340	356	414	410	428	348	390
Geis	58	412	416	466	464	224	184	230	112	422	408	352	358	398	412	366	386	386	366	406	394	458	368	414	430	488	484	502	422	464
GeisDrat	56	410	414	464	462	222	182	228	110	420	406	350	356	396	410	364	384	384	364	404	392	456	366	412	428	486	482	500	420	462
GeisNaH57	62	416	420	470	468	228	188	234	116	426	412	356	362	402	416	370	390	390	370	410	398	462	372	418	434	492	488	502	426	468
NavChranenaDilna	228	260	264	314	312	72	134	78	92	270	256	200	206	246	260	214	234	234	214	254	242	306	216	262	278	336	332	350	270	312
ObrobnaStitu	346	98	102	152	150	100	194	96	210	108	94	38	44	84	98	52	72	72	52	92	80	144	54	100	116	174	170	188	108	150
PrijemH57	2	440	444	494	492	252	212	258	140	450	436	380	386	426	440	394	414	414	394	434	422	486	396	442	458	501	500	502	450	492
Sklad3A	440	2	10	60	58	194	288	190	304	84	78	94	76	92	74	108	104	56	60	68	56	120	48	76	92	150	146	164	84	126
Sklad3AGeis	444	10	2	56	54	198	292	194	308	88	82	98	80	96	78	112	108	60	64	72	60	124	52	80	96	154	150	168	88	130
Sklad3Bprijem	494	60	56	2	8	248	342	244	358	138	132	148	130	146	128	162	158	110	114	122	110	174	102	130	146	204	200	218	138	180
Sklad3BprijemGeis	492	58	54	8	2	246	340	242	356	136	130	146	128	144	126	160	156	108	112	120	108	172	100	128	144	202	198	216	136	178
SkladStitu1	252	194	198	248	246	2	110	12	116	204	190	134	140	180	194	148	168	168	148	188	176	240	150	196	212	270	266	284	204	246
SkladSvazkuH22V	212	288	292	342	340	110	2	102	76	298	284	228	234	274	288	242	262	262	242	282	270	334	244	290	306	364	360	378	298	340
SkladSvazkuH22V	258	190	194	244	242	12	102	2	122	200	186	130	136	176	190	144	164	164	144	184	172	236	146	192	208	266	262	280	200	242
SOPImpregnace	140	304	308	358	356	116	76	122	2	314	300	244	250	290	304	258	278	278	258	298	286	350	260	306	322	380	376	394	314	356
VK1	450	84	88	138	136	204	298	200	314	2	88	104	86	102	16	118	114	66	70	46	34	42	58	40	62	114	68	98	54	96
VK2	436	78	82	132	130	190	284	186	300	88	2	90	72	88	78	104	100	28	56	72	60	124	44	80	96	154	150	168	88	130
VK3	380	94	98	148	146	134	228	130	244	104	90	2	40	80	94	20	68	68	48	88	76	140	50	96	112	170	166	184	104	146
VK4	386	76	80	130	128	140	234	136	250	86	72	40	2	62	76	54	32	50	30	70	58	122	32	78	94	152	148	166	86	128
VK7	426	92	96	146	144	180	274	176	290	102	88	80	62	2	92	94	90	66	38	86	74	88	48	94	110	146	100	130	102	144
VK9	440	74	78	128	126	194	288	190	304	16	78	94	76	92	2	108	104	56	60	56	24	52	48	50	72	124	78	108	64	106
VKC	394	108	112	162	160	148	242	144	258	118	104	20	54	94	108	2	82	82	62	102	90	154	64	110	126	184	180	198	118	160
VP0aVP3	414	104	108	158	156	168	262	164	278	114	100	68	32	90	104	82	2	78	58	98	86	150	60	106	122	180	176	194	114	156
VP1aVP2	414	56	60	110	108	168	262	164	278	66	28	68	50	66	56	82	78	2	34	50	38	102	22	58	74	132	128	146	66	108
VP7	394	60	64	114	112	148	242	144	258	70	56	48	30	38	60	62	58	34	2	54	42	106	16	62	78	136	132	150	70	112
VP8	434	68	72	122	120	188	282	184	298	46	72	88	70	86	56	102	98	50	54	2	42	62	42	12	28	86	88	100	20	62
VP9	422	56	60	110	108	176	270	172	286	34	60	76	58	74	24	90	86	38	42	42	2	70	30	50	66	124	96	126	58	100
VS1Bulharsko	486	120	124	174	172	240	334	236	350	42	124	140	122	88	52	154	150	102	106	62	70	2	94	56	78	78	32	62	70	102
VS2	396	48	52	102	100	150	244	146	260	58	44	50	32	48	48	64	60	22	16	42	30	94	2	50	66	124	120	138	58	100
VS4	442	76	80	130	128	196	290	192	306	40	80	96	78	94	50	110	106	58	62	12	50	56	50	2	28	86	82	100	20	62
ZL1	458	92	96	146	144	212	306	208	322	62	96	112	94	110	72	126	122	74	78	28	66	78	66	28	2	64	104	78	14	40
ZM2	501	150	154	204	202	270	364	266	380	114	154	170	152	146	124	184	180	132	136	86	124	78	124	86	64	2	52	20	72	30
ZM3	500	146	150	200	198	266	360	262	376	68	150	166	148	100	78	180	176	128	132	88	96	32	120	82	104	52	2	36	96	76
ZM4	502	164	168	218	216	284	378	280	394	98	168	184	166	130	108	198	194	146	150	100	126	62	138	100	78	20	36	2	86	44
ZP1aZM1	450	84	88	138	136	204	298	200	314	54	88	104	86	102	64	118	114	66	70	20	58	70	58	20	14	72	96	86	2	48
ZP2	492	126	130	180	178	246	340	242	356	96	130	146	128	144	106	160	156	108	112	62	100	102	100	62	40	30	76	44	48	2

PŘÍLOHA II: LAYOUT ZÁSOBOVACÍCH MÍST



PŘÍLOHA III: DIAGRAM PROCESU PŘEPRAVY



PŘÍLOHA IV: ANALÝZA RIZIK (FMEA) APLIKACE AMR

téma č.	1. Položka procesu systém, subsystém, díl, komponent nebo název procesu	2. Krok procesu číslo stanice a název prvku "Vybraný prvek"	3. Prvek provádění činnosti 4M	1. Funkce položky procesu Funkce systému, subsystému, dílu/komponentu nebo procesu	2. Funkce kroku procesu a charakteristika produktu (kvalitativní hodnota je volitelná)	3. Funkce prvku provádění činnosti a charakteristiky procesu	1. Následek (FE)	Význam (S)	2. Vada (FM) v kroku procesu	3. Příčina (FC) v prvku provádění činnosti	Stávající preventivní opatření k příčině	Výskyt (O)	Stávající opatření k odhalení vady, nebo příčiny	Detekce (D)	FMEA-P-AP	Preventivní opatření	Opatření k odhalení	Význam (S)	Výskyt (O)	Detekce (D)	FMEA-P-AP	Zvláštní charakteristiky	Poznámky
	Vyskladnění materiálu/Převzetí materiálu	Skladník dokončí komis a uzavře paletu	Skladník	Zabezpečení materiálu pro přepravu	Uzavření palety a její příprava pro převoz	Správné načtení palety	Paleta se nezařadí do systému	7	Paleta není správně uzavřena	Neopatrnost, nedostatečné školení	Systém kontroluje data při uzavření komise	5	Automatická kontrola označení palet kamerovým systémem	1	M	Implementace redundantního ověřování pozice palety	Alarm při nesouladu mezi skenem a plánem	1	3	2	L		
		Skladník převezme paletu na předávací místo	Skladník	Převoz palety na určené místo	Umístění palety na předávací místo	Přesné a správné umístění palety na předávací místo	AMR nepřeveze paletu,zpoždění přepravy	7	Paleta není správně umístěna	Nedbalost, nepřehledné značení	Označení předávacích míst čárovými kódy a kontrolní skenování	5	Automatická validace přes WMS	1	M	Změna logiky řízení předávací zóny	Vizualizace stavu předání	1	3	1	L		
		Skladník převezme paletu na skládku	Skladník	Převoz palety na určené místo	Umístění palety na skládku	Přesné a správné umístění palety na skládku	Umístění nesprávné palety na skládku	7	Chybí paleta na předávacím místě	Nedbalost	Vizualizace obsazenosti skladových pozic v systému	5	Automatická kontrola pomocí RFID	1	M	Barevné značení a QR kódy na paletách	Audit pohybů pomocí digitální stopy	1	3	1	L		
		Přijímání materiálu	Operátor	Převzetí materiálu	Odebrání palety z předávacího místa	Potvrzení odběru v systému	AMR nemůže přivést nový materiál	7	Na pracovišti zůstanou obsazená všechna vstupní místa	Pracovník odebere palety, ale nepotvrdí odběr v systému	Pracovník si může ve čtečce zkontrolovat obsazenost a opravit chybu	5	Vizualizace obsazenosti, školení pracovníků	1	M	Kontrola přítomnosti palety pomocí optického senzoru	Ověření pozice palety před naložením	1	3	1	L		
	AMR doprava	AMR převezme paletu	AMR	Automatizovaný převoz palety	Nakládka a přeprava palety na cílové místo	Správná nakládka a převoz palety	AMR nepřeveze paletu,zpoždění přepravy	7	Chyba na předávacím místě	Stůl na předávacím místě není vycentrovaný a není jej možné naložit.	AMR upozorní obsluhu u předávacího místa výstražným znamením, pokud ho do 1 minuty neodstraní, tak upozorní operátora ve skladu. Operátor skladu poté paletu opraví.	2	AMR validuje naložení palety pomocí senzorů	1	L	Zvýšení frekvence systémových aktualizací	Logování zpoždění a jejich příčin	1	1	1	L		
		AMR převezme paletu	AMR	Automatizovaný převoz palety	Nakládka a přeprava palety na cílové místo	Správná nakládka a převoz palety	AMR nepřeveze paletu,zpoždění přepravy	7	AMR nevyzvedne paletu	Výpadek systému AMR	Přepravu mezi 3A,3B a H57 zajistíme kamionem. Rozvoz materiálu ze skladu H22 se zajistí pomocí VZV. softwarové náhradní řešení, aby se mohli zpracovat všechny transportní příkazy	2	Monitoring systému, alerty na chyby v reálném čase	1	L	Instalace RFID snímačů na výstupu	Ověření správnosti RFID tagu v cílovém bodě	1	1	1	L		
		AMR doručí paletu na určené místo	AMR	Doručení materiálu na pracoviště	Vykládka palety z AMR na pracovišti	Paleta je správně doručena a vyložena	Poškození nebo nesprávné doručení	6	Chyba na předávacím místě	Nedostatečná kontrola, chyba senzoru	AMR ověří cílové místo před vyložením	1	automatické alerty při nesrovnalostech	1	L	Logická kontrola časových odchylek v dopravě	Sledování záznamů z kamer v reálném čase	1	1	1	L		
		Pohyb AMR po trase	AMR	Zajištění autonomního pohybu	Navigace AMR po určené trase	Přesný a bezpečný pohyb AMR	AMR se zastaví a naruší tok materiálu.	6	Zastavení AMR na trase	Překážka na komunikaci / nefunkční komunikace s vraty	Obsluha odstraní překážku nebo restartuje AMR	1	Senzory překážek, pravidelná kontrola trasy	1	L	Simulační testování při změně layoutu	Digitální simulace toků pro validaci	1	1	1	L		
		Vykládka materiálu	AMR	Správné předání materiálu	Detekce volného předávacího místa	AMR doručí materiál na správné místo	Materiál nelze vyložit	6	Chyba na předávacím místě	Předávací místo je obsazené, přestože je dle systému prázdné	Odvoz naloženého zboží na chybové místo nebo složení stolu před předávacím místem	1	Senzory obsazenosti, vizuální kontrola	1	L	Zavedení digitálního potvrzení naložení	Zpětné sledování historie přeprav	1	1	1	L		
		Pohyb v provozu	AMR/Operátor	Zajištění bezpečného pohybu vozidel	Detekce překážek a pohyb v souladu s pravidly provozu	Vyhýbání se kolizím mezi AMR a manuální technikou	Poškození AMR nebo VZV, narušení provozu	6	Srážka AMR s manuální technikou	Operátor VZV nabourá do AMR nebo AMR nabourá do VZV	AMR se převezme na servisní místo, máme rezervu 3 AMR	1	Bezpečnostní senzory, školení operátorů	1	L	Zajištění redundantního přenosu signálů	Automatické zastavení při rozporu signálů	1	1	1	L		
		Pohyb AMR po trase	AMR	Zajištění autonomního pohybu	Navigace AMR po určené trase	Přesný a bezpečný pohyb AMR	AMR se zastaví nebo dojde k zácpě na trase.	6	Křížení tras AMR a jiných dopravních prostředků	úzká místa na trase, křižovatka	zavedení pravidel přednosti	1	Systém řízení dopravy AMR,	1	L	Optimalizace polohy předávacích míst	Ověření přítomnosti pomocí ultrazvuku	1	1	1	L		
		Nabíjení AMR	AMR/nabíjecí stanice	Zajištění dostupnosti nabitých AMR	Automatické dobíjení baterií	Zajištění dostatečné kapacity nabíjecích stanic	AMR se vybitje a zastaví.	6	Nedostatek energie AMR	Špatně naplánované nabíjení nebo porucha stanice	Plánované dobíjení, záložní AMR	1	Monitoring baterií	1	L	Zavedení standardu pro balení materiálu	Párování objednávky s naloženým materiálem	1	1	1	L		
	Systém SAP	Zpracování logistických dat	SAP systém	Zajištění řízení logistických procesů	Přijem, zpracování a odesílání dat	Plánování přeprav je pozastaveno	Výpadek systému SAP	9	selhání serveru nebo databázového systému	Restart serveru, záložní systém	Monitoring systému, záložní servery	3	Monitoring systému, záložní servery	5	M	Rozšíření kontroly přes váhový senzor	Alarm při nedoručení v čase	1	2	1	L		
	ITS terminály ve skladu	Přijem a zpracování dat	ITS terminál	Zajištění sběru a přenosu dat	Skenování čárových kódů, aktualizace skladových stavů	Přenos správných informací do systému	Zastavení skladových operací	9	selhání serveru nebo databázového systému	Chyba softwaru, výpadek Wi-Fi	Restart systému	3	Sledování připojení	5	M	Automatické hlášení chyb do systému MES	Záznam aktivity AMR do centrálního logu	1	2	1	L		
	ILC (řízení přeprav)	Správa přepravních požadavků	ILC systém	Koordinace a plánování přeprav	Generování přepravních úkolů	Přidělování úkolů AMR	Přerušení přepravního procesu	9	selhání serveru nebo databázového systému	Chyba v softwaru nebo přetížení serveru	Záložní server, ruční zadání úkolů	3	Monitoring systému, pravidelné testování	5	M	Validace cesty AMR přes checkpointy	Porovnání reálné a plánované trasy	1	2	1	L		

PŘÍLOHA V: FMEA VÝZNAM (S), VÝSKYT (O), DETEKCE (D)

Všeobecná kritéria hodnocení parametru Význam pro proces (S)					Prázdné pro vyplnění uživatelem
Potenciální následky vad se hodnotí podle dále uvedených kritérií.					
S	Dopad	Dopad na vlastní výrobu	Dopad na závod příjemce (je-li znám)	Dopad na koncového uživatele (je-li znám)	Příklady specifické pro organizaci, nebo skupinu produktů
10	Vysoký	vada může mít za následek akutní zdravotní a / nebo bezpečnostní rizika pro výrobní nebo montážní pracovníky	vada může mít za následek akutní zdravotní a/ nebo bezpečnostní riziko pro výrobní nebo montážní pracovníky	ovlivnění bezpečného provozu vozidla a / nebo ostatních vozidel, zdraví řidiče nebo cestujících, nebo účastníků silničního provozu, nebo chodců	
9		vada může mít za následek nedodržení právních předpisů ve výrobním místě	vada může mít za následek nedodržení právních předpisů ve výrobním místě	neplnění právních předpisů týkajících se produktu	
8	Středně vysoký	100% výrobní dávky může být nutné sešrotovat	odstavené linky na dobu delší, než je jedna směna; zastavení dodávek; vyžaduje opravu nebo výměnu dílu v provozu (montáž u koncového uživatele), mimo případ nedodržení právních předpisů týkajících se produktu	ztráta primární funkce vozidla potřebné pro běžný provoz v průběhu očekávané životnosti	
7		produkt může být nutné přetřídit a část (méně než 100%) vyřadit/sešrotovat; odchylka od základního průběhu procesu; snížení rychlost linky nebo přidání pracovní síla	odstavení linky od jedné hodiny do délky jedné směny; zastavení dodávek; vyžaduje opravu nebo výměnu dílu v provozu (montáž u koncového uživatele), mimo případ nedodržení právních předpisů týkajících se produktu	zhoršení primární funkce vozidla potřebné pro běžný provoz v průběhu očekávané životnosti	
6	Středně nízký	100% výrobní dávky může být nutné přepracovat mimo linku a přijmout	odstavení linky do jedné hodiny	ztráta vedlejší funkce vozidla	
5		část výrobní dávky může být nutné přepracovat mimo linku a přijmout	postíženo méně než 100% produktů; silná možnost výskytu dalších vadných produktů; požadováno třídění; bez odstavky linky	zhoršení vedlejší funkce vozidla	
4		100% výrobní dávky může být nutné přepracovat přímo na lince před dalším zpracováním	vadný produkt spouští významný plán reakce; další vadné produkty nejsou pravděpodobné; třídění není vyžadováno	velmi nepříjemný vzhled, zvuk, vibrace, hluk (psychoakustické projevy), nebo hmatový vjem	
3	Nízký	část výrobní dávky může být nutné přepracovat přímo na lince před dalším zpracováním	vadný produkt spouští menší plán reakce; další vadné produkty nejsou pravděpodobné; třídění není vyžadováno	tolerovatelně přijatelný vzhled, zvuk, vibrace, hluk (psychoakustické projevy), nebo hmatový vjem	
2		mírné nepříjemnosti v procesu, v rámci operace nebo vůči obsluze	vadný produkt nespouští žádný plán reakce; další vadné produkty nejsou pravděpodobné; třídění není vyžadováno; je požadována zpětná vazba na dodavatele	mírné ovlivnění vzhledu, zvuku, vibrací, hluku (psychoakustických projevů), nebo hmatového vjemu	
1	Velmi nízký	nezatelný dopad	nezatelný nebo žádný dopad	nezatelný dopad	

Potenciální výskyt (O) pro proces				
Poteciální příčiny se hodnotí podle následujících kritérií. Pro stanovení nejlepší hodnoty parametru Výskyt je třeba zvážít preventivní opatření. Hodnota parametru Výskyt je předpokládáné kvalitativní hodnocení provedené v okamžiku hodnocení a nemusí odrážet skutečný výskyt. Známká hodnocení parametru Výskyt je relativní hodnocení v rámci FMEA (procesů, které jsou hodnoceny). U preventivních opatření s více hodnotami výskytu použijeme hodnocení, které nejlépe odráží robustnost opatření.				Prázdkné, pro vyplnění uživatelem
O	Předpoklad výskytu příčiny	Typ opatření	Preventivní opatření	Příklady specifické pro organizaci, nebo skupinu produktů
10	Extrémně vysoký	žádné	žádné preventivní opatření	
9	Velmi vysoký	pravidla jednání	preventivní opatření má nízkou efektivnost s ohledem na předcházení příčinám vady	
8			preventivní opatření má střední efektivnost s ohledem na předcházení příčinám vady	
7	Vysoký	pravidla jednání nebo technické opatření	preventivní opatření je efektivní s ohledem na předcházení příčinám vady	
6				
5				
4	Střední			
3	Nízký	osvědčené postupy (best practices): pravidla jednání nebo technické opatření	preventivní opatření má vysokou efektivnosti s ohledem na předcházení příčinám vady	
2	Velmi nízký			
1	Extrémně nízký	technické opatření	preventivní opatření má extrémně vysokou efektivnost s ohledem na předcházení příčinám vady prostřednictvím návrhu produktu (např. geometrie dílu) nebo procesu (např. způsob upnutí dílu nebo konstrukce nástroje), záměr preventivních opatření - vada nemůže fyzicky vzniknout z dané	

Potenciál detekce (D) pro validaci návrhu procesu				Prázdné pro vyplnění uživatelem
Opatření k odhalení se hodnotí s ohledem zralost metod a možnosti odhalování.				
D	Schopnost odhalit	Zralost metody odhalování	Možnost odhalování	Příklady specifické pro organizaci, nebo skupinu produktů
10	Velmi nízká	metoda zkoušení nebo kontroly není stanovena, nebo není známá	vadu není možno odhalit	
9		není pravděpodobné, že metoda kontroly, nebo zkoušení vadu odhalí	vadu lze odhalit náhodnými, nebo občasnými kontrolami s malou pravděpodobností	
8	Nízká	metoda zkoušení nebo kontroly nebyla prokázána jako efektivní (např. výrobní místo má malou, nebo žádnou zkušenost s metodou, výsledky R&R systém měření, jsou mezní na srovnatelných procesech nebo v dané aplikaci atd.)	kontrola člověkem (vzhledová, hmatová, sluchová), nebo užití ručního měření (atributivních, nebo spojitých veličin), která by měla odhalit vadu, nebo příčinu	
7			odhalování pomocí technického zařízení (poloautomatická kontrola s potvrzením světelnou, nebo zvukovou signalizací atd.), nebo použití kontrolních zařízení jako např. souřadnicové měřicí zařízení, která by měla odhalit vadu, nebo příčinu vady	
6	Střední	metoda zkoušení nebo kontroly byla prokázána jako efektivní (např. výrobní místo má zkušenosti s metodou, výsledky R&R jsou u srovnatelných procesů nebo v tomto konkrétním případě použití přijatelné atd.)	kontrola člověkem (vzhledová, hmatová, sluchová), nebo užití ručního měření (atributivních, nebo spojitých veličin), která odhalí vadu, nebo příčinu vady (včetně ověřování vzorků produktu)	
5			odhalování pomocí technického zařízení (automatická kontrola s potvrzením světelnou, nebo zvukovou signalizací atd.) nebo použitím kontrolních zařízení, která by měla odhalit vadu, nebo příčinu vady (včetně ověřování vzorků produktu)	
4	Vysoká	systém se ukázal jako efektivní a spolehlivý ((např. Výrobní místo má zkušenost s metodou na identických procesech nebo v dané aplikaci), výsledky R&R systému měření jsou akceptovatelné atd.)	Automatizovaná metoda odhalování, která odhalí vadu v následných krocích zpracování produktu, nebo identifikuje produkt jako neshodný, produkt postupuje procesem do místa vyřazení zamítnutých dílů, neshodný produkt bude kontrolován robustním systémem, který zabrání úniku vadných dílů z výroby	
3			Automatizovaná metoda odhalování, která odhalí vadu v pracovní stanici , zabrání dalšímu zpracování, nebo identifikuje produkt jako neshodný, produkt postupuje procesem do místa vyřazení zamítnutých dílů, neshodný produkt bude kontrolován robustním systémem, který zabrání úniku vadných dílů z výroby	
2	Velmi vysoká	metoda odhalování se ukázala jako efektivní a spolehlivá (např. výrobní místo má zkušenost s metodou, ověřování systému zamezování vad (error-proofing) atd.)	Automatizovaná metoda odhalování, která odhalí příčinu vady a zabrání vzniku vady (neshodný díl) před spuštěním výroby	
1			Díl s vadou se nedá fyzicky vyrobit, návrh produktu, nebo procesu, nebo metody odhalování prokázaly, že odhalí vadu, nebo příčinu prakticky vždy .	