

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ  
PRÁCE**

**2024**

**FILIP  
MÜLLER**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**

**ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A METROLOGIE**

**OPTIMALIZACE INTERNÍ LOGISTIKY VÝROBNÍHO ZÁVODU**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**AUTOR:**

**BC. FILIP MÜLLER**

**VEDOUCÍ PRÁCE:**

**ING. JIŘÍ KYNCL, PH.D.**

**STUDIJNÍ PROGRAM:**

**VÝROBNÍ INŽENÝRSTVÍ**

**STUDIJNÍ OBOR:**

**BEZ SPECIALIZACE**

**PRAHA 2024**



# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Müller** Jméno: **Filip** Osobní číslo: **482610**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**  
Studijní program: **Výrobní inženýrství**  
Specializace: **Bez specializace**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Optimalizace interní logistiky výrobního závodu**

Název diplomové práce anglicky:

**Optimization of production plant internal logistics**

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše problematiky interní logistiky
2. Rešerše metod automatizace interní logistiky
3. Analýza konkrétního výrobního podniku
4. Návrh variant řešení
5. Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

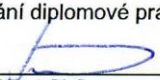
**Ing. Jiří Kyncl, Ph.D. ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:


Datum zadání diplomové práce: **03.04.2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **05.08.2024**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

  
Ing. Jiří Kyncl, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce


  
Ing. Libor Beránek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

**23.4.2024**  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Optimalizace interní logistiky výrobního závodu“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Kyncla, Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne: .....

.....

Bc. Filip Müller

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, Ing. Jiřímu Kynclovi, Ph.D., za odbornou přípravu, metodologickou pomoc, doporučení a připomínky při zpracování mé práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Ondřeji Soukupovi ze společnosti Linde HM a Markovi Mikulemu ze společnosti Jungheinrich za rady ohledně AGV technologií. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat společnosti Magna Liberec za možnost prohlédnout si jejich výrobní závod.

## **Anotace**

Diplomová práce se věnuje optimalizaci interní logistiky výrobního závodu. Zvolená optimalizace byla navržena pomocí automatizovaných řízených vozidel, zkráceně AGV. Hlavním cílem je analyzovat současný stav logistiky v konkrétním výrobním podniku, navrhnout různé varianty řešení využívající AGV, a následně provést technicko-ekonomické zhodnocení těchto variant. Na základě vypracované analýzy jsou navrženy různé varianty řešení, které zahrnují návrh implementace do stávajícího logistického systému. Implementace je také hodnocena z ekonomického pohledu pro posouzení, zda by byla zajištěna návratnost investice. Výsledkem této práce je návrh pro optimalizaci, od které je očekáváno dosažení vyšší bezpečnosti, efektivity a snížení provozních nákladů.

**Klíčová slova:** interní logistika, automatizace, AGV, AMR, optimalizace, projektování

## **Annotation**

The diploma thesis is devoted to the optimization of the internal logistics of the production plant. The chosen optimization was designed using automated guided vehicles, abbreviated AGV. The main goal is to analyze the current state of logistics in a specific production company, to propose different variants of solutions using AGV, and then to carry out a technical-economic evaluation of these variants. Based on the developed analysis, various solution variants are proposed, which include a proposal for implementation into the existing logistics system. Implementation is also evaluated from an economic perspective to assess whether a return on investment would be ensured. The result of this work is a proposal for optimization, which is expected to achieve higher safety, efficiency and lower operating costs.

**Keywords:** internal logistics, automation, AGV, AMR, optimization, planning

# Obsah

|  |    |
|--|----|
| Úvod.....  | 2  |
| 1. Rešerše problematiky interní logistiky.....       | 3  |
| 1.1. Interní logistika .....                         | 5  |
| 1.2. Štíhlá logistika.....                           | 6  |
| 1.3. Just-in-Time .....                              | 7  |
| 1.4. Průmysl 4.0 .....                               | 8  |
| 2. Rešerše metod automatizace interní logistiky..... | 9  |
| 2.1. Stohování a manipulační jednotky .....          | 12 |
| 2.2. Typy AGV podle použití .....                    | 13 |
| 2.3. AGV Management software.....                    | 15 |
| 2.4. Typy senzorů na vozíku .....                    | 17 |
| 2.5. Typy AGV podle navigace .....                   | 19 |
| 2.6. Porovnání AGV vs ARM .....                      | 23 |
| 2.7. Automatická identifikace .....                  | 24 |
| 2.8. Řešení nabíjení.....                            | 26 |
| 2.9. Bezpečnost .....                                | 27 |
| 2.9.1. Bezpečnostní prvky AGV .....                  | 28 |
| 2.9.2. Bezpečnostní prvky ve výrobě .....            | 30 |
| 2.10. Normy pro automatizaci .....                   | 31 |
| 2.11. Výhody AGV systémů .....                       | 32 |
| 2.12. Nevýhody AGV systémů .....                     | 32 |
| 2.13. Představení společností.....                   | 34 |
| 3. Analýza konkrétního výrobního závodu.....         | 35 |
| 3.1. Aktuální stav výroby .....                      | 37 |
| 3.2. Skladování ve společnosti.....                  | 38 |
| 3.3. Dimenzování počtu potřebných strojů .....       | 39 |
| 4. Návrh variant řešení.....                         | 41 |
| 4.1. Vícekriteriální rozhodování variant AGV .....   | 43 |
| 4.2. Postup optimalizace úseku.....                  | 46 |
| 4.3. Plánování fronty práce AGV .....                | 48 |
| 4.4. Vizualizace výroby a logistiky .....            | 50 |
| 4.4.1. Místo pro stání AGV .....                     | 53 |
| 4.4.2. Místo pro dobíjení.....                       | 54 |
| 4.4.3. Model odběrového místa.....                   | 55 |
| 4.5. Skladové značení.....                           | 56 |
| 4.6. Výrobci AGV vozíků .....                        | 59 |

|      |                                      |    |
|------|--------------------------------------|----|
| 4.7. | Požadavky instalace .....            | 60 |
| 4.8. | Bezpečnost ve firmě.....             | 62 |
| 4.9. | Dodatečná výbava stroje .....        | 63 |
| 5.   | Technicko-ekonomické zhodnocení..... | 64 |
| 5.1. | Ekonomická analýza .....             | 67 |
| 5.2. | Návratnost investice.....            | 68 |
| 5.3. | Rizika projektu.....                 | 70 |
|      | Závěr .....                          | 71 |
|      | Bibliografie .....                   | 72 |
|      | Seznam obrázků.....                  | 75 |
|      | Seznam tabulek .....                 | 76 |





## Obsah použitých zkratk

|       |  |
|-------|--|
| AGV   | Automated guided vehicle                       |
| AMR   | Autonomous Mobile Robot                        |
| SLAM  | Simultaneous Localization And Mapping          |
| IoT   | Internet of things                             |
| AS/RS | Automated Storage and Retrieval Systems        |
| ERP   | Enterprise resource planning                   |
| MES   | Manufacturing execution systems                |
| MS    | Managment software                             |
| WMS   | Warehouse management system                    |
| API   | Application Programming Interfaces             |
| SKU   | Stock keeping unit                             |
| VNA   | Very narrow aisles                             |
| TOF   | Time-of-Flight                                 |
| GPS   | Global Positioning System                      |
| EAN   | European Article Number                        |
| DIN   | Deutsches Institut für Normung                 |
| ISO   | International Organization for Standardization |
| RFID  | Radio-frequency identification                 |
| PLC   | Programmable logic controller                  |
| HHT   | Handheld terminal                              |



## Úvod

V době vysoce pokročilých technologií a nevyčerpatelného množství informací je nutné, aby společnosti nepřestávaly klást důraz na interní dopravu společnosti, jelikož je opomíjenou součástí výroby. Náklady na logistiku mohou totiž tvořit až 20 % z celkových výrobních nákladů. Navrhování a optimalizace logistických procesů je proto důležitou složkou pro jakýkoliv podnik, který chce získat nezbytné konkurenční výhody. Mnoho společností uvažuje o nákladech na logistiku jako o režijních nákladech, nejsou proto brány jako náklady, kde se měří výkonnost, což vede k plýtvání zdroji, a to jak finančními, tak personálními.

Trend současnosti je nasazení automatizace a robotiky. Je možné si vybírat z rozsáhlého množství technologií jako jsou například automatizované skladovací a vyhledávací systémy (AS/RS), automatické dopravníkové systémy, dnes již všudypřítomné drony a dále pak také autonomní vozy, ať už v podobě AGV, tak i AMR.

Použitím automatizovaných manipulačních vozidel je možné dosáhnout efektivnější dopravy materiálů, vyšší bezpečnosti a výrazného snížení nákladů na logistiku. Vozidla AGV fungují bez posádky a pohybují se pomocí automatického řídicího systému. Jejich funkce zrcadlí stroje manuálně operované, jako je vysokozdvizný vozík nebo tahač. Nasazení nové techniky také přinese možnost monitorování materiálu v reálném čase, což zvýší schopnost kontroly a všeobecného přehledu na skladu a ve výrobě. Automatizace a robotizace na vysoké úrovni již není teoretická věc pro odvážlivce, ale nutnost pro jakoukoliv progresivní společnost s pozitivním výhledem do budoucna. Automobilový průmysl a E-komerce byly průkopníky v nasazení automatizovaných řešení a prokázaly jejich přínos ve vyšší kvalitě služeb a dosáhly i nižších nákladů ve srovnání s původními metodami. Náklady na automatizaci rok od roku klesají a stávají se dostupnějšími.

Diplomová práce je zaměřena na automatizaci logistiky ve výrobní společnosti formou nasazení AGV strojů pro konkrétní úsek ve výrobním procesu. Je to první krok pro případnou optimalizaci celé výrobní haly, což je proces, který přesahuje rámec této práce. Práce vyhodnocuje aktuální stav daného úseku ve výrobě a nabízí možná řešení pomocí automatizace, zvažuje dostupné technologické možnosti, navrhuje podmínky implementace nové technologie a kalkuluje potřebný počet strojů. Pro vybrané řešení bude vypracováno ekonomicko-technologické zhodnocení a bude vypočítána zevrubná návratnost investice. Na závěr bude vyhotovena zpráva – studie proveditelnosti – s celkovým zhodnocením, včetně potenciálních rizik projektu.



# 1. Rešerše problematiky interní logistiky

Diplomová práce se zabývá především optimalizací interní logistiky výrobního závodu a návrhem implementace automatizovaného systému dopravy v podniku. Pro její nasazení je nutné se seznámit se základním názvoslovím a pojmy v logistice v jejím moderním pojetí. Je důležité znát termíny jako jsou štihlá logistika, just in time či průmysl 4.0.

## Definice logistiky

Logistika je komplexní obor zabývající se plánováním, řízením a činnostmi během toku materiálu. Slovo je odvozeno od řeckého základu „logos“, což se může přeložit jako počítání či rozum. Ve středověku se slovo používalo při stavbách vojenských opevnění. Samotný pojem „logistika“ jako název se objevil v roce 1885 při otevření jedné anglické námořní školy. Jako ostatní disciplíny se vyvíjí, a i její definice se v průběhu jejího vývoje v pojetí různých expertů odlišuje. O logistice je možno uvažovat jako o podnikatelské filosofii. Nejjednodušší definice je „logistika je nauka o tom, jak dostat správné věci ve správném čase na správné místo“. Tok v logistice je posloupnost stavu pohybů a jejich přerušení při uspokojování požadavků po produktech. Tok nemusí být materiálový, ale i peněžní či informační. Oblasti, kterými se logistika zabývá je doprava, skladování a manipulace s materiálem, distribuce a informační technologie.

Moderní logistika již není pouze o snižování nákladů; stává se klíčovým faktorem pro konkurenceschopnost podniku. Logistické koncepty, integrované do podnikové strategie, umožňují dosáhnout vedoucí pozice na trhu v globální konkurenci. Tato pozice může být získána v oblasti nákladů, produktů nebo služeb, přičemž kapitál, management a technologie hrají stále rozhodující roli. [1]

Odvětví logistiky v současnosti zažívá rychlý rozvoj díky novým technologiím a přístupům. Digitální transformace a automatizace jsou jádrem tohoto vývoje. Internet věcí a umělá inteligence umožňují sledování a optimalizaci dodavatelských řetězců v reálném čase. Moderní trendy jsou AGV a AMR systémy a plně automatizovaná distribuční centra. Novodobé logistické platformy nabízejí flexibilní a škálovatelná řešení, zatímco pokročilá robotika a automatizované skladové procesy dále zvyšují efektivitu. Společnosti, které dokáží zavést moderní trendy, budou těžit ze zvýšené konkurenceschopnosti a jsou lépe připraveny na budoucí výzvy. [1]



### Základní rozdělení logistiky podle druhu

Rozdělení je podle sféry působení na makro a mikro logistiku. Makrologistika se zabývá globální a národohospodářskou logistikou. Mikrologistika řeší vnitropodnikovou logistiku a její činnosti. Mikrologistika se dále dělí podle hlavních činností, viz obrázek 1. A nakonec existuje metalogistika, která realizuje propojení mezi dodavatelem a zákazníkem. [1]



*Obrázek 1: Rozdělení podnikové logistiky*

Moderní logistiku čekají nové výzvy a problémy spjaté se zvyšujícími se náklady jak na platy, tak na energie, a dále pak zvyšující se protekcionismus. Ten může představovat i šanci, jelikož po období outsourcingu přichází na řadu takzvaný „nearshoring“, neboli přesun výroby blíž k zákazníkům, zpět do Evropy. Z důvodu zvyšování odolnosti dodavatelských řetězců může mnoho firem z politicky nestabilních regionů hledat vhodné místo pro přemístění.



## 1.1. Interní logistika

Termín „interní logistika nebo intralogistika“ se někdy používá jako synonymum k výrazu „výrobní logistika“. Opakem je externí logistika, která se zabývá dopravou produktů na místo určení. Intralogistika začíná ve vstupním skladu a končí v okamžiku vydání zboží ze skladu do přepravy. Jejím úkolem je plánovat, řídit a realizovat tok materiálů v rámci společnosti. Výrobní logistiku lze popsat jako plánování, řízení a realizaci dopravy a skladování surovin, pomocných materiálů, provozních zásob, nakupovaných dílů, náhradních dílů, polotovarů a hotových výrobků a s tím související pomocné činnosti v rámci výrobního systému společnosti.

Cílem výrobní logistiky je například také před výstavbou závodu určit správné rozmístění v hale, aby bylo možné co nejefektivněji navrhnout postupy zásobování a tok materiálu v budoucím provozu. Dále se výrobní logistika zabývá optimalizací a způsobem využití kapacit, proto musí být úzce spojena s řízením technologických procesů ve výrobě. V závodě musí být procesy dopravy, výroby a skladování navrženy a prováděny co nejoptimálněji a nejefektivněji. V interní logistice zdroje plýtvání jsou zásoby, balení, doprava, prostor a vybavení. Se všemi jmenovanými položkami se pojí náklady, které chceme eliminovat. Základní ukazatelé kvality jsou dodržení řádného množství a termínu, krátká doba výroby, dodržení značení, schopnosti plnit mimořádné požadavky atd. [2]

Mezi základní úkoly výrobní logistiky patří správa skladu. Ta zahrnuje operace prováděné v něm, jako například správa objednávek. Dále je tu řízení zásob a toku informací. Práce je prováděna pomocí softwarových programů, které mají na starost například lokace a přepravu SKU. A nakonec vnitřní přeprava materiálových toků jak ve skladu, tak i mezi výrobními závody podniku. Je to nezanedbatelná část činností každého výrobního podniku a významně ovlivňuje jak náklady, tak výnos podniku.

Podstatnou část interní logistiky stále vykonávají lidé, kteří jsou nedůslední a nepřesní, proto by se měla hledat v této oblasti zlepšení jak zvýšit jejich efektivitu a snížit chybovost. Implementace automatického řešení může podniku přinést mnohé hledané optimalizace. [3]



## 1.2. Štíhlá logistika

Štíhlá logistika, známá také jako Lean logistika, představuje strategický přístup k optimalizaci toku materiálů a informací v rámci dodavatelského řetězce s cílem maximalizovat hodnotu pro zákazníka a minimalizovat plýtvání zdroji. Tento koncept vychází z principů Lean managementu, které byly původně vyvinuty v japonských automobilových firmách jako Toyota. Jedním z hlavních cílů je snížení zásob a času potřebného na doručení produktu zákazníkovi. Toho se dosahuje například implementací právě včas (Just-in-Time) dodávek a minimalizací přepravních časů.

Mezi konkrétní implementace štíhlé logistiky patří například substituce klasických vidlicových vozíků za tažné soupravy nebo implementace li-ionových baterií namísto tradičních olověných. Dalším důležitým faktorem jsou bezpečnostní technologie zajišťující hladký tok zboží a snižující riziko střetu manipulační techniky a osob ve výrobních nebo skladových provozech. [4]

Pro optimalizaci logistických procesů ve skladu a jejich zefektivnění je nezbytné mít dobře navržený regálový systém a spolehlivý inteligentní systém řízení skladu. WMS (warehouse management system) musí být schopen řídit a organizovat pohyb zboží, optimalizovat trasy skladovaného materiálu s ohledem na jeho obrátkovost. Design regálů by měl odpovídat potřebám skladu, umožňovat uložení rychloobrátkových položek blízko místa příjmu a expedice.

Další důležitý faktor je správná manipulační technika. Dnešní trend směřuje k využívání sofistikovanějších a specializovanějších strojů jako jsou systémové vozíky, inteligentní tažné soupravy a automatické systémy skladování. Tato opatření vedou k optimalizaci provozu a zvyšují jeho výkonnost. Je vždy důležité zvážit náklady z hlediska návratnosti investice, a to přes celý životní cyklus každého stroje, což zahrnuje nejen pořizovací ceny, ale i provozní náklady. Tyto náklady, včetně nákladů na obsluhu, často převažují nad pořizovacími cenami vozíků u většiny typů manipulační techniky. [4]



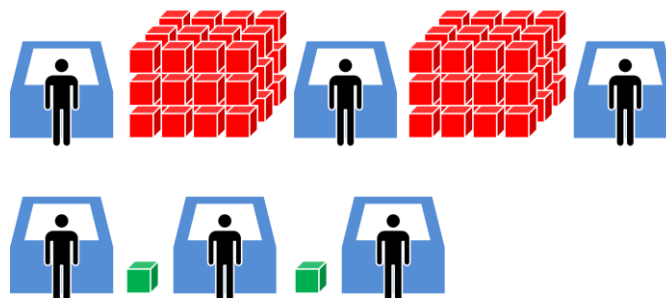
### 1.3. Just-in-Time

Just in Time (JIT) je strategie řízení zásob, která se zaměřuje na dodávání materiálů, komponent a produktů právě včas a ve správném množství, aby byla minimalizována ztráta způsobená nadbytečnými zásobami. Metoda se snaží minimalizovat skladové zásoby a náklady spojené se skladováním a to tím, že materiál dorazí do výroby nebo na prodejní místo právě v okamžiku, kdy je potřeba. Proto se v praxi snaží, aby zásoby byly co nejmenší, aby výroba nestála a nehromadil se materiál. Výhody zahrnují nižší náklady na skladování, rychlejší tok produktů a snížené riziko plýtvání. Nicméně, efektivní implementace vyžaduje pevnou spolupráci s dodavateli, spolehlivou logistiku a robustní plánování. Nevýhodou je pak nárůst přepravy menších zásilek. [5]

Filosofie se opírá o několik klíčových principů:

- Eliminace plýtvání – odstranění veškerých forem plýtvání v procesu výroby a dodávek. To zahrnuje plýtvání zásobami, časem, lidskými zdroji a všemi dalšími zdroji, které nejsou přínosem pro konečného zákazníka.
- Zajištění kvality – důležitým aspektem JIT je zajištění vysoké kvality produktů. Tím se minimalizují rizika spojená s vadnými výrobky, které mohou vést k ztrátě času a zdrojů.
- Synchronizace toku materiálů – zboží a materiály se musí pohybovat přesně včas a ve správném množství. To umožňuje minimalizovat zásoby a maximalizovat efektivitu výrobních procesů.
- Flexibilita a rychlost – schopnost pružně reagovat na změny v poptávce a ve výrobních podmínkách. To umožňuje firmám lépe se přizpůsobit dynamickým tržním podmínkám a maximalizovat svou konkurenceschopnost.

Přínos JIT pro firmu je zlepšení obratu zásob, lepší zákaznický servis, zmenšení skladového prostoru a zlepšení doby odezvy. Dále může při zavedení metoda snížit distribuční náklady, zvýšit kvalitu výrobků od dodavatelů a snížit počty dodavatelů. Pro zajištění fungování této metody jsou kladeny vysoké požadavky například na sofistikovanost komunikace, kvalitu rozhodovacího modelu dopravy a jeho efektivní využití. [6]



Obrázek 2: Zásoby v procesu – porovnání klasického skladování a při JIT[5]



## **1.4. Průmysl 4.0**

V porovnání s třetí průmyslovou revolucí, která byla charakterizována automatizací a informatizací výrobních procesů, Průmysl 4.0 představuje současný trend automatizace a datové výměny ve výrobních technologiích. Třetí průmyslová revoluce položila základ pro vznik moderního průmyslu, kdy stroje a počítačové systémy přešly z analogové do digitální podoby. Nicméně, Průmysl 4.0 neznámá pouze další stupeň automatizace a informatizace, ale přináší nový posun v průmyslové výrobě, který využívá pokročilé digitální technologie, jako jsou umělá inteligence, rozšířená realita a internet věcí (IoT) k vytvoření ještě inteligentnějšího a autonomnějšího výrobního prostředí. V Průmyslu 4.0 hraje člověk stále důležitou roli, ale spíše jako supervizor a operátor automatizovaných systémů než jako primární pracovník.

Prakticky to znamená, že v průmyslu 4.0 jsou stroje, zařízení a systémy propojeny a komunikují mezi sebou pomocí digitálních sítí a senzorů, což umožňuje sběr a analýzu obrovského množství dat v reálném čase. Tímto způsobem je možné dosáhnout větší flexibility, efektivity a adaptability výrobních procesů. [7]

### **Základní principy průmyslu 4.0:**

Jedním z hlavních principů Průmyslu 4.0 je digitalizace výrobních procesů a zařízení, což umožňuje jejich propojení a komunikaci mezi sebou pomocí digitálních technologií a sítí. Tato horizontální integrace umožňuje sběr a analýzu dat v reálném čase, což vede k lepšímu rozhodování a optimalizaci výrobních operací. Je snaha propojovat izolované výrobní jednotky, ať už například autonomními vozíky nebo roboty.

Využívá se umělá inteligence a pokročilé analytické nástroje pro predikci a optimalizaci výrobních procesů na základě sběru a analýzy dat. Díky širokému sběru dat z horizontální integrace je možné identifikovat vzory, předvídat poruchy a provádět preventivní údržbu.

Dalším principem Průmyslu 4.0 je flexibilita výrobních procesů a schopnost reagovat na měnící se potřeby trhu. Díky digitalizaci a automatizaci je možné rychle měnit výrobní linky a přizpůsobovat je k výrobě různých produktů, což umožňuje personalizované produkty a služby. Fyzické prototypy výrobků, procesů a prostředků jsou nahrazovány virtuálními návrhy, do kterých se zapojují jak výrobci, tak i dodavatelé. [8]





## 2. Rešerše metod automatizace interní logistiky

Interní doprava je jedním z nejdůležitějších prvků ve výrobní společnosti. Automatizace skladů je primárně o automatizaci opakujících se procesů bez přidané hodnoty, které pomáhají skladům zvyšovat produktivitu a přesnost, snižovat náklady na pracovní sílu a zlepšovat bezpečnost. Proto představuje navrhování a optimalizace logistických procesů vysokou prioritou. Současný moderní trend je tuto oblast automatizovat, což přinese benefity, ze kterých ostatní segmenty už těží dlouhodobě. Díky pokroku v digitalizaci v posledních letech a dynamickému rozvoji robotiky a nových technologií mohou nyní firmy mnohem snadněji optimalizovat své logistické procesy. Poptávka po automatizovaných řešeních stále rychle roste. Technologie umožňují zavádění úsporných a efektivních řešení, které jsou stále dostupnější nejen pro rapidně rostoucí moderní společnosti, ale i pro firmy hledající náhradu zastaralých systémů. [9]

Automatizaci lze definovat jako technologii, jejíž proces nebo postup se uskutečňuje bez pomoci člověka. Automatizace skladu se skládá ze dvou vrstev: digitální (související s informačními technologiemi) a automatizace procesů (pomocí strojů). Trendy automatizace jsou především mobilní robotické systémy od AGV až v poslední době nové AMR. Další technologií jsou dopravníky a AS/RS systémy. Současně se zvýšeným počtem techniky je nutné tyto systémy propojit, aby byly schopny mezi sebou komunikovat. [9]

- **Bezobslužné vozíky AGV**

Systém AGV je neřízený automatický logistický zásobovací systém. Tyto coboti se využívají při vychystávání a balení. Nejde jen o přesun materiálu z bodu A do bodu B podle předem stanovené cesty, ale systém skládající se z tahačů, předávacích stanic, které doručí a vyloží materiál na určené místo. Software dokáže zpracovávat výrobní data, reagovat na ně a činit nezávislá rozhodnutí. Je řešením pro automatickou interní logistiku, kterou lze efektivně využít v jakémkoli odvětví. Systémy zvyšují produktivitu, přesnost, a bezpečnost ve výrobě. Nejdále v implementaci jsou společnosti e-commerce, kde roboti obsluhují celé haly. [10]



- **Kolaborativní roboti (COBOTi)**

Je robot, který pracuje s lidmi v přímém kontaktu. Na rozdíl od klasických průmyslových robotů může kolaborativní robot pracovat ve stejném pracovním prostoru s lidmi bez ochranného oplocení. Skládají se většinou z robotických modulárních ramen a senzorů. Koboti v logistice mohou plnit úkoly jako je vychystávání objednávek, správa zásob a paletizace. [11]

- **Skladové drony**

Známé také jako UAV (Unmanned Aerial Vehicle), jsou letecké robotické platformy používané pro chytrou správu zásob. Skladové drony vykonávají úkoly, jako jsou inventarizační audit nebo vyhledávání zásob. Pohybují se autonomně, identifikují a počítají materiál na skladě a porovnávají jej s daty uloženými, což umožňuje bezpečné a nákladově úsporné skladové operace. Drony tyto informace dávají do přehledů, které jsou doručeny přímo do uživatelského panelu nebo stávajícího systému řízení skladu (WMS). [9]

- **Hlasová asistence**

Je technologií, která ovládá různá zařízení, procesy a rozhraní pomocí zvuku hlasu. Je to jednoduché, handsfree a intuitivní. Může poskytovat například sledování zásilek a dodávek v reálném čase. Zaměstnanec může dále ovládat jakékoliv zařízení napojené na systém. [11]

- **RaaS**

Je obchodní model, ve kterém společnosti nabízejí průmyslovou robotickou automatizaci prostřednictvím smlouvy založené na předplatném. To podnikům umožňuje přijímat průmyslová robotická řešení bez významných počátečních nákladů na nákup a údržbu zařízení. Tento obchodní model je prakticky pronájem robota, ale platíte pouze tehdy, když jsou roboti v akci, například za počet misí nebo definovaný počet metrů atd. [11]

- **Dopravníky**

Dopravník je jednoduché zařízení určené k přesunu materiálu. Používá se tam, kde je třeba něco přesunout z bodu A do bodu B. Skládají se z rámu a pohyblivé části, podle nichž se dělí na několik typů, z toho nejběžnější jsou válečkové a pásové. [9]



- **AS/RS (Automated Storage and Retrieval Systems)**

Je typ automatizace skladů speciálně navržený pro ukládání a získávání produktů a zásob na vyžádání. Systémy obvykle ukládají a načítají palety. Skládají se z paletových regálů s jeřáby. Jeřáby se pohybují po kolejnici namontované na podlaze a jsou stabilizovány v horní části stožáru horní vodící kolejnicí. [9]

- **WMS**

Jedná se o automatizovanou metodu pro zadávání dat. Systém nahrazuje tužku a papíry. S WMS je možné ukázat konkrétní pozici ve skladu pro vychystání, dále také optimalizovat frontu práce tak, aby operátor nepřecházel z jednoho konce na druhý. V kombinaci s využitím čárových kódů je skladový systém jasný první cíl automatizace ve skladu. [9]

- **Princip „zboží k člověku“**

Je způsob, kdy se manipulační jednotka dostane přímo k operátorovi, ne naopak. K tomu se používá řada technologií, například automatizovaných regálů a výtahových nebo páternosterových automatizovaných skladových systémů. [9]

Tyto jednotlivé prvky automatizace logistiky mohou fungovat odděleně, jak se často děje. Ale největší přínos nastane ze synergie a efektivity dosažené s plným propojením a integrací jednotlivých technologií, procesů a lidí do jednoho celku.

Automatizace v logistice přináší řadu výhod. Jedním z hlavních přínosů je, že přináší významnou výhodu v podobě standardizace a zvyšuje efektivitu provozu. Standardizací dochází k eliminaci zbytečných procesů, nevýhodou je však ztráta flexibility. Je vynucena optimalizace práce a tras pracovníků. Díky automatizaci je možné eliminovat chyby způsobené lidským faktorem, což vede k úspoře času v dopravě a zajišťuje konzistenci v provozu. Dalším významným přínosem je maximalizace využití dostupného skladového prostoru. Automatizace rovněž snižuje riziko úrazů, protože minimalizuje potřebu manuální manipulace s těžkými nebo nebezpečnými předměty, čímž zvyšuje bezpečnost, pokud je systém správně vyladěn. [9]



## 2.1. Stohování a manipulační jednotky

Manipulační jednotka je materiál balený i nebalený, který tvoří jednotku schopnou manipulace bez dalších úprav. Podle požadavku se využívají různé velikosti jednotky. Rozdělují se do čtyř řádů od I. pro ruční manipulaci (karton, pytel), II. pro mechanizovanou/ automatizovanou manipulaci (například paleta), III. řád je pro dálkovou přepravu (vnitrozemní kontejnery) a IV. řád je dopravou dálkovou, kombinovanou. Jednotky jsou rozměrově unifikovány podle standardů ISO. [1]

### Stohování

Stohování představuje jednu z nejběžněji používaných metod skladování. Manipulační jednotky (palety, výrobky, díly...) jsou uspořádány na sebe do vrstev, čímž vznikají stohy. Stoh je definován jako prostorová formace vytvořená z více vrstev skladovaných nebo přepravovaných manipulačních jednotek, což mohou být například kusový materiál, výrobky, palety nebo stavební dílce. Jedná se o vertikální sloupec, který vzniká uspořádáním stejných předmětů na sebe. Jednotky jsou na sebe stohovány ve způsobu LIFO – last In – First Out, v překladu poslední dovnitř – první ven. Výhoda tohoto skladování je, že oproti ostatním metodám nepotřebuje regály a je možné skladovat všude, kde je volné místo.

Stohování musí být prováděno především s důrazem na bezpečnost. Je třeba dodržet řadu podmínek, například při vidlicové manipulaci musí existovat mezi jednotlivými vrstvami mezera nejméně 60 mm (nabírací otvor) pro zasunutí vidlice. Je zakázáno zajišťovat stabilitu stohu manipulačních jednotek provazováním, podpíráním nebo vzájemným opíráním. [12]

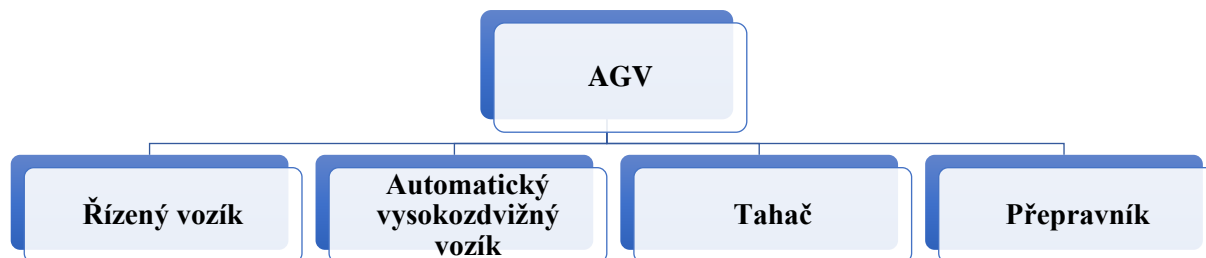


*Obrázek 3: Blokové stohování*



## 2.2. Typy AGV podle použití

Pro různé potřeby ve firmách se vyrábí různé typy AGV. Představují automatickou analogii k manuálním strojům. Záleží pak na výrobcí, jestli se rozhodne, aby stroje měly duální ovládání i pro obsluhu, nebo jsou jen čistě ovládané počítačem.



Obrázek 4: Rozdělení AGV

### Automatický řízený vozík (AGC)

Představuje základní formu Automatizovaného Vodícího Vozítka (AGV) s omezenými funkcemi. Jeho navigační systémy mohou být jednoduché, jako například magnetická páska, nebo sofistikované systémy založené na senzorech využívajících umělou inteligenci k navigaci v prostoru. AGC je schopen přepravovat různé materiály, od malých součástek po plné palety, a je často využíván při třídění a skladování. Jako příklad AGC můžeme uvést automatizovaný transportér v restauraci, který efektivně přepravuje náklady, včetně jídel a prázdných tácků. Jsou široce využívány v automobilovém průmyslu, a hlavně ve velkých online platformách e-commerce Tato automatizovaná zařízení pomáhají snižovat náklady na pracovní sílu a umožňují efektivní přesun nákladů bez manuální intervence zaměstnance. Tyto AGV jsou často modifikovány, aby byly schopny se samy rozhodovat o cestě, pak o nich mluvíme jako o AMR. [10]



Obrázek 5: AGC vozík [13]



## **Automatický vysokozdvizný vozík**

I mezi vysokozdviznými vozíky najdeme škálu variací, jako například vozík s protiváhou, výložník, tahač vozík do úzkých uliček označovaný jako VNA AGV (very narrow aisles), retrak, obkročný vysokozdvizný vozík, vysokozdvizný vozík až po klasický vysokozdvizný vozík. Standartní robot se skládá ze šasi, nabíracích vidlic, duálního ovládání pro obsluhu, Lidaru pro navigaci a dalšího pro bezpečnost, laseru pro bezpečnost a nabíjecí části. Duálního ovládání pro obsluhu se nevyskytuje u všech strojů, někteří výrobci tuto schopnost neposkytují.

Stroj je vybavený zároveň senzory pro stabilizaci nákladu za jízdy. Stroje je samozřejmě možné vybavit dalšími moduly jako jsou scannery QR kódu a další. Stroje dokáží vyvinout maximální rychlost okolo dvou kilometrů v hodině a běžně mají nosnost kolem 1,5 tuny. Vozíky se pohybují po předem naprogramovaných virtuálních trasách. Tyto dráhy jsou vymezeny pomocí navigačního softwaru vozidla. Většina běžných AGV vysokozdvizných vozíků se navigují pomocí laseru, proto jsou často nazývány LGV (laser navigation vehicle), tzn. laserem naváděné vozidlo. [10]

## **Tahač AGV**

Je široce využíván v průmyslu. Vedoucí AGV 'Vláček' slouží jako lokomotiva, která řídí vozy (jeden nebo více) z jedné stanice do druhé. Tahač je AGV bez možnosti zdvihu, určený pro horizontální dopravu a sloužící jako tažný nebo tlačný prostředek jiných vozidel. Automatizovaná vozidla typu tahač jsou často využívána k přepravě těžkých nákladů na delší vzdálenosti. Vozidla mohou provádět zastávky pro nakládku a vykládku podél stanovené trasy skladu nebo továrny. Tyto systémy mají výhodu oproti ostatním AGV, že dokáží přepravit více materiálu, a to až 5–20 tun (běžně vozí okolo 1,5 tuny). Roboti také mohou být využiti i ve venkovním prostředí. Stroje mohou být navigovány různými technologiemi, jako je laser, magnetická páska, nebo navigace pomocí přirozených orientačních bodů. [10]



*Obrázek 6: AGV tahač [14]*



### **AGV Přepravník (Unit Load Carrier)**

Zmíněná zařízení jsou autonomní plošiny, většinou vybavené válečkovými dopravníky, které usnadňují přepravu různých druhů produktů. Přepravníky jsou navrženy pro přepravu nákladu ze statických dopravníků, koncových zařízení (baliče palet, robotů) a také z automatizovaných skladovacích a vyskladňovacích systémů (AS/RSS). Používají se v mnoha průmyslových odvětvích, zejména v potravinářském a nápojovém průmyslu. Přepravník zvládne přemísťovat velmi těžké náklady kolem 20 tun, nebo i více. Jednou z nevýhod dopravníku je, že nemůže zvednout produkty a kvůli tomu vyžaduje určitou výšku k odběru produktů. [10]



*Obrázek 7: AGV přepravník [15]*

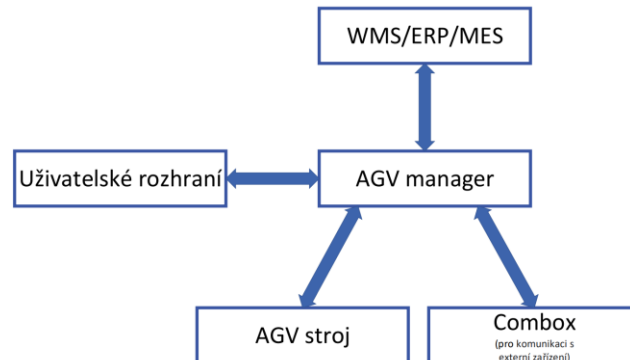
### **2.3. AGV Management software**

AGV nejsou pouze samostatná vozidla, ale AGV systém se dělí na tři části – samotní roboti, AGV management systém a AGV systémové periferie. Vše začíná u serveru s AGV management systémem, který komunikuje s firemním WMS. Ten řídí (AGV MS) pak vše ostatní, ať už provoz flotily strojů, uživatelské rozhraní, operační monitory či firemní PLC.

Management software je zodpovědný za správu příkazu přepravy, řízení úkolů, optimalizaci transportního plánu a zprávu provozu flotily AGV. Kromě WMS (Warehouse management systém) komunikuje s ERP (enterprise resource planning) a MES (Manufacturing execution systems). Management software (MS) neboli systémem řízení, shromažďuje všechny vstupy v systému, zpracovává je, sleduje a třídí, aby poskytl přesné informace o misích pro vozidla AGV. Jeho hlavním úkolem je zajistit, že náklady jsou přepravovány na správná místa včas a nejefektivnějším způsobem. S flotilou AGV komunikuje prostřednictvím firemní Wifi, která je nutná pro implementaci AGV systému do firmy. Integrace AGV Management System s klientními systémy může být realizována pomocí různých standardů, jako je SQL, databáze, webové služby, FTP, fronty zpráv (MQ), TCP/IP sockety a další. Ve většině případů se software robota musí integrovat se systémy správy zákazníka, což lze provést pomocí



rozhraní API (Application Programming Interfaces). Pokročilé prvky ovládání AGV Fleet Management dokážou vybírat nejlepší trasy pro AGVS, což zkracuje čekací doby a zvyšuje efektivitu přepravy. [10]



Obrázek 8: AGV systém

Management systém je zodpovědný za grafické rozhraní pro operátory k analýze. Údaje o sledování z MS jsou zásadní pro určení plnění a výkonu skladu. MS má nástroje pro vykazování výkonu, které poskytují provozní kontroly, řízení zásob, plánování objemu a budoucího růstu. Teoreticky je možné mít AGV bez management softwaru, ale poté jsou možnosti ovládání vozidel velmi limitované. [10]

Software vyhledává zboží pomocí SKU. SKU znamená “stock keeping unit”, tedy „skladová jednotka“, a jak název napovídá, je to číslo (obvykle osm alfanumerických číslic), které se přiděluje produktům, aby správci interně sledovali stav zásob. Pokud má produkt jakoukoliv odlišnost, jako například velikost, barvu atd., definuje se nové SKU. [16]

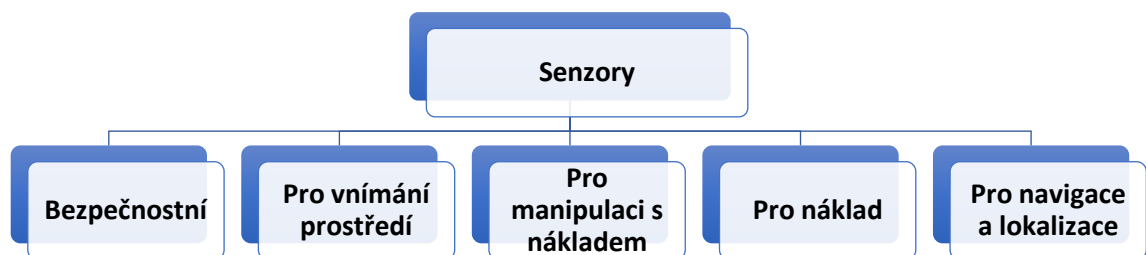




## 2.4. Typy senzorů na vozíku

Senzory jsou oči stroje. Robot je potřebuje k nezákladnějším funkcím jako je navigace, bezpečnost, manipulace s materiálem či vyhýbání se překážce.

Nejvíce využívaným senzorem na strojích je Lidar. Technologie se zakládá na emisích laserového paprsku a měření času odrazu. 2D lidar umožňuje vytvořit skenovací rovinu a měřit vzdálenosti k více bodům. 3D lidar pak dokáže poodkrýt paprsky velkou část prostoru, čímž vytvoří trojrozměrnou mapu. Díky své větší složitosti je součástíka velice drahá, její cena se může pohybovat okolo dvaceti tisíc dolarů za kus. [17]



Obrázek 9: Rozdělení senzorů

### Bezpečnostní senzory

Tyto senzory se dále dělí na kontaktní (nárazník), nekontaktní (výše zmíněný lidar) a poziční. Hlavní sensor pro bezpečnost je 2D lidar. Je využíván pro detekci osob. Senzory vytvářejí varovné pole, které detekují předměty v nich. Běžný stroj má dva až tři senzory. Jsou to nejdůležitější části vozu a musí dodržovat nejvyšší bezpečnostní standardy, jelikož zodpovídají za zdraví pracovníků. [17]



Obrázek 10: Čelní detekce překážek nad úrovní podlahy [18]



### **Senzory pro vnímání prostředí**

Nejpoužívanější senzory jsou 2D a 3D lidar, kamera, radar a ultrasonické. Většinou senzory nepokrývají celých 360 stupňů ve 3D prostoru, protože by to bylo velice drahé. Stroje proto nejsou schopny registrovat objekty zavěšené ze stropu, když je to ale potřeba, je možnost na stroj nainstalovat vícevrstvé Lidary nebo kamery s TOF technologií. Time-of-Flight je typ senzoru, který měří vzdálenost mezi sebou samým a všemi předměty v zorném poli kamery. [17]

### **Senzory pro manipulaci s nákladem**

- Pro detekci palety se využívají kamery, ultrasonické senzory, nebo senzory doby letu. Senzory jsou schopny detekovat geometrii nákladu a umístění v prostoru. Využívají například se pro detekci úchytu pro přesné naložení palety.
- Pro detekci výšky vidlice se používají optické senzory.
- Pozice nákladu se kontroluje za pomoci fotocel, ultrasonicky nebo za pomoci indukce.

### **Senzory pro náklad**

Pro identifikace převáženého materiálu se používá RFID (radiofrekvenční identifikace). Je to forma bezdrátové komunikace, která se skládá ze dvou základních prvků – čtecího zařízení a paměťového média (malý čip s pamětí a anténou). Druhou variantou je laserový scanner čárových kódů. Senzory jsou instalovány v případě, když Management software nemá kompletní informaci o nákladu. [17]

### **Senzory pro navigace a lokalizace**

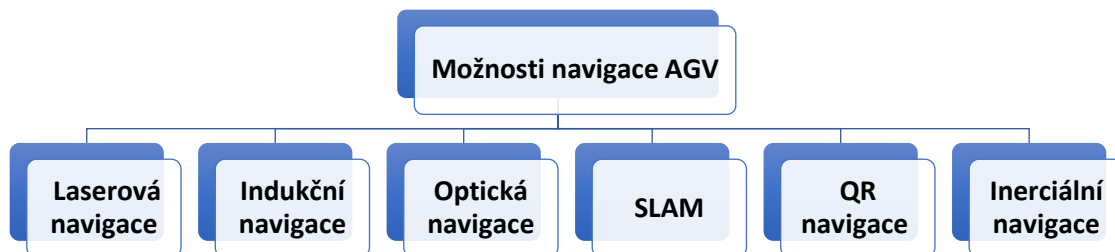
Rozebrání senzorů pro navigaci bude v následující kapitole: Typy AGV podle navigace.



## 2.5. Typy AGV podle navigace

Existuje celá řada druhů AGV, malé, velké, schopné zvedat, tahat a další. Záleží na požadavku zákazníka a inventáři výrobce. Základní typy jsou jednoduché plošinové vozíky, tahače, vysokozdvizné vozíky, outdoorové a autonomní mobilní roboti AMR. Celkově lze konstatovat, že různorodost AGV vozíků odráží širokou škálu aplikací a potřeb průmyslové a logistické sféry.

Jeden ze způsobů rozdělení je podle metody navigace robota. Nejběžnější metody jsou laserová, optická, čárová navigace pomocí QR kódu a navigace magnetická. U AMR pak můžeme mluvit o navigaci pomocí Lidar senzorů ať už 2D či 3D, SLAM, ultrazvuku, kamer a navigaci pomocí přirozených orientačních bodů. Každý robot pak potřebuje automatizovaný naváděcí systém, který robota lokalizuje, řídí a informuje AGV management systém. Obecně všichni AGV roboti potřebují přístup k Wifi ke komunikaci. [10]



Obrázek 11: Typy navigace AGV

### Laserová navigace

Je jedna z nejrozšířenějších metod ovládnání vozíků zejména pro vysokozdvizné vozíky. Je založena na laserové triangulaci. Metoda funguje podobně jako GPS, potřebuje minimálně tři referenční body pro určení pozice vozidla. Nepoužívá k tomu družice, ale laserový scanner hledá odrazy od nainstalovaných terčů (reflektorů). Technologie je vysoce přesná, podobě jako AGV sledující čáru, a zároveň jsou vozíky schopné dosáhnout relativně vysokých rychlostí. [10]



Obrázek 12: Nejběžnější reflektory ploché a válcové [19]



Výhody této technologie jsou výše zmíněná přesnost, relativně jednoduchá a neinvazivní instalace (stačí instalace laserových terčů), relativně malé náklady na údržbu. Zároveň má malé náklady spojené se změnou trati, pokud není potřeba velká změna polohy nainstalovaných terčů. Má zároveň i několik handicapů. Je potřeba velké množství času na návrh a instalaci. Náklady na počáteční investici jsou relativně vysoké. [10]

### **Indukční navigace**

Ta může být prováděna za prostřednictví magnetické pásky nebo pomocí indukovaného kabelu zabudovaného v podlaze. Kabelem či páskou pak prochází střídavý proud, který vytváří magnetické pole. Pole vozík sleduje a nalézá díky němu svoji polohu. Pokud využijeme magnetickou pásku, tak je instalace prostá a jednoduše se modifikuje. Magnetické pole nám dává přesnou polohu. Bohužel páska trpí rušným provozem. Kabel v podlaze tento problém řeší, ale pak se přichází o možnost jednoduše modifikovat trasu. [10]

### **Optická navigace**

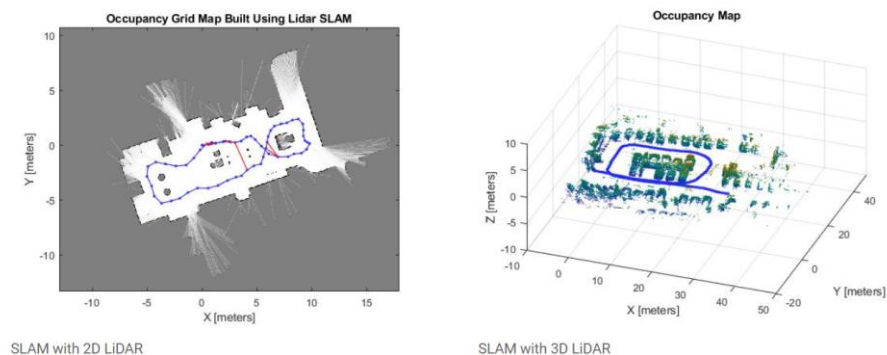
Optická navigace funguje na obdobném principu jako indukční navigace. V tomto systému je trasa vozíku rozpoznávána pomocí čáry nakreslené na podlaze. Kamery spolu se systémy pro zpracování obrazu sledují tuto čáru. Hlavními výhodami optické navigace jsou vysoká flexibilita, což znamená snadnou změnu trasy, a nízké náklady na vytváření trasy v porovnání s indukční navigací, kde je nutné frézovat drážky. Tento systém se označuje jako pasivní technologie, protože nevyžaduje napájení pro trasu, jak je tomu u indukční navigace. [10]



## SLAM

(Simultaneous Localization And Mapping) Současná lokalizace a mapování se také nazývá (Natural Feature Navigation) navigace pomocí přirozených orientačních bodů. Technologie také v literatuře najdeme pod názvem obrysová či konturová. Naváděcí vidění je podobné tomu, jak se lidé dívají na svět. K rozpoznání prvků v prostředí používá kamery místo očí. Ty jsou poté porovnány s 3D mapou, což umožňuje vozidlu vypočítat svou polohu a navigovat. Nejpoužívanější senzory pro tuto technologii je 3D lidar, ale mohou se používat i kamery.

Není nutná složitá počáteční instalace. Vozidlu se určí referenční body, kudy se pohybovat. Je velmi snadné měnit trasy. Není zde žádná údržba instalace. Vozidla mohou sledovat různé cesty, pokud narazí na překážku. Bohužel metoda má také i nevýhody, zejména je to drahý navigační systém. Technologie je stále nová a není tak rozvinutá jako jiné systémy. Dosahovaná přesnost není tak vysoká. Problematická je zejména menší přesnost oproti laserem naváděným vozidlům, algoritmy mají stupněm aproximace. Komplikovaná je práce v chladném prostředí. Změny teploty a vlhkosti způsobují falešné detekce zamlžením skla laseru nebo kamer. [10]



Obrázek 13: Jak vypadá SLAM navigace [20]

## Výhody

- Instalace mobilních robotů je jednoduchá a rychlá.
- Náklady na instalaci jsou nízké.
- Trasy lze snadno upravovat.
- V pracovní oblasti není instalováno nic rušivého.
- Pro navigaci není potřeba žádná externí infrastruktura.
- Nevyžaduje náklady na implementaci a údržbu.



## Nevýhody

- Kvůli nepředvídatelnému prostředí v průmyslové výrobě mohou mít roboti problémy s navigací.
- Vozidla AMR jsou dražší než AGV kvůli propracovanějším algoritmům a lepším sensorům, které musí být zahrnuty, aby byl zajištěn spolehlivý a účinný navigační systém.
- Méně přesné umístění a určování polohy ve srovnání s AGV používajícími jiné navigační techniky. Například AMR nemohly skladovat materiály na policích, které jsou více než 10 metrů vysoké, protože to vyžaduje vysoce přesné tolerance, kterých je obtížné dosáhnout pomocí přirozené navigační technologie.
- Přesnost je odvíjena od schopnosti výrobce a jimi používaných sensorů. [10]

## QR navigace

AGV využívá svou palubní kameru k čtení QR kódů, které jsou umístěny na podlaze ve formě matice. Tímto způsobem AGV identifikuje nejen svou aktuální polohu, ale také načte instrukce, které má provést nebo které musí dodržovat. Vyžaduje údržbu značek podobně jako optická navigace. Metoda není moc přesná v porovnání s ostatními metodami. Metoda vyžaduje udržování jak podlahy, tak samotných značek, což by v rušných podmínkách mohl být problém. Roboti se široce používají ve skladování a logistice, automobilovém průmyslu, potravinářství a mnoha dalších průmyslových odvětvích. AGV jsou často vybavena funkcí autonomního nabíjení a systémem pro vyhýbání se překážkám. Často se o nich mluví jako o AMR (Autonomous Mobile Robot). [21]

## Inerciální navigace

Fungují na využití gyroskopů a transpondérů zabudovaných v podlaze. AGV nepotřebují pevnou trasu. Jsou vhodné pro inteligentní logistiku mobilních skladů a pro dílenské montáže. Trasu jízdy inerciálního navigačního AGV lze dynamicky generovat. Uživatelé mohou automaticky generovat přepravní úkoly podle požadavků. AGV s inerciálním řízením mají velkou flexibilitu, lze je také používat venku. Nevýhodou technologie je její nepřesnost (ta se pohybuje kolem 3 centimetrů). Problém je hlavně s akumulací chyb. Malé chyby v měření akcelerace a úhlové rychlosti se časem kumulují, což vede k nárůstu odchylky od reálné polohy. [10]



## 2.6. Porovnání AGV vs ARM

AGV (Automated Guided Vehicle) jsou charakterizovány tím, že robot sleduje pevné cesty nebo stopy pro přepravu materiálu. Obvykle vyžadují změnu infrastruktury, jako jsou reflektivní terče, magnetické pásy nebo dráty. Tyto trasy jsou předdefinované a mohou si vyžádat rozsáhlou instalaci, která může být nákladná a může narušit výrobu. AGV mají omezenou inteligenci a mohou se řídit pouze jednoduchými programovacími pokyny. Dokáží detekovat překážky pomocí svých bezpečnostních senzorů, ale nejsou schopny je obejít, což znamená, že se zastaví, dokud překážku není možné odstranit. Jakákoli změna v předem definovaných trasách pro AGV přináší dodatečné náklady a může narušit běžný průběh provozu. I kvůli tomu mohou být celkově dražší než obdobné autonomní systémy, které teoreticky nevyžadují takové úpravy. [21]

Zato AMR (Autonomous Mobile Robot) fungují autonomně a dokáží se pohybovat v nekontrolovaném prostředí bez potřeby pevných cest nebo stop. Donedávna byly AGV jedinou možností pro automatizaci interních přepravních úkolů, ale dnes čelí silné konkurenci v podobě AMR technologie. Autonomní roboti dokáží detekovat překážky a vyhnout se jim. Je to možné, protože jsou vybaveny senzory, které neustále skenují oblast kolem sebe a vytvářejí prostorovou mapu jejich prostředí. To znamená, že pokud je detekována překážka, AMR může vytvořit novou trasu pro pohyb kolem ní. AMR se dají přirovnat k autům a AGV k vlakům – auta mohou objet překážku, ale vlaky musí zůstat na kolejích, dokud překážka není odstraněna. Díky tomu jsou AMR flexibilnější než běžné AGV.

AMR mohou provádět různé úkony pomocí jednoduchých softwarových úprav. Ovládání úkolů AMR může probíhat skrze jejich uživatelské rozhraní nebo skrze konfiguraci pomocí softwaru pro řízení vozového parku. Tento software má schopnost efektivně spravovat objednávky a přidělovat úkoly robotům na základě jejich polohy a dostupnosti.

Díky schopnosti AMR přizpůsobit se měnícím se prostředím a výrobním požadavkům jsou považovány za univerzální řešení ve srovnání s tradičními AGV. AMR stroje nemusí vyžadovat úpravy skladu, zato cena stroje se díky dražším senzorům může pohybovat značně výše v porovnání s klasickým AGV. Další nevýhodou těchto systémů je menší spolehlivost senzorů, například navigace pomocí přirozených orientačních bodů je citlivá na variace v prostředí a robot se může “ztratit“. Když je od technologie vyžadována extrémní přesnost, je potřeba implementovat dodatečné úpravy, například instalace QR kódů na podlahu, nebo magnetické pásy, aby bylo dosaženo potřebné přesnosti. [21]



## 2.7. Automatická identifikace

Je potřebná funkce pro zjištění totožností objektů nebo prvků. Zajistí vyšší spolehlivost a efektivitu ve srovnání s ručními metodami. Ve skladu je potřeba mít zavedený systém pro sledování skladových pozic. Sledování za pomoci tužky a papíru je v moderní době nedostačující. Zavedení EAN kódů ve výrobě (ať už QR či čárového) je nutnost pro zlepšení efektivity práce a optimalizaci zásob. V logistickém procesu využívá automatická identifikace pasivních prvků (výrobky, manipulační jednotky...) a přepravních prostředků (palety, kontejnery ...). Správně nastavený systém zjednoduší řízení autonomních strojů a povede ke zkvalitnění sledování ve skladu. Po zavedení AGV do skladu mohou být stroje vybaveny čtečkami, s kterými si mohou ověřovat své náklady. Informace se načítají a přenášejí do manažera flotily AGV a lze je použít ke spuštění konkrétních akcí. ERP/WMS tak může požadovat přepravu identifikovatelného nákladu, který robot před provedením své mise ověří. [6]

### Čárové kódy

Jsou nejstarší a nejrozšířenější technologií automatické identifikace. Počátky této technologie začínají v 50. letech v USA. Systém EAN je standard pro spotřebitelskou identifikaci, ať už zboží nebo míst. Čárový kód existuje jako série různě širokých čar, které v sobě nesou informaci. Čáry a mezery jsou různě široké, jejich tloušťka závisí na metodě kódování. Nejběžnější typ kódu, je kód EAN-13 (třináctimístný), další rozšířené jsou EAN 8, GS1 128. Kód EAN-13 je základní formát standardního zboží s proměnlivými jednotkami. Technologie je téměř všudypřítomná díky své jednoduchosti, rychlosti a spolehlivosti. [6]

### QR kódy

Kódy jsou tvořeny několika pevně danými zónami, které v sobě nesou informace o verzích kódů, typech dat a jejich formátech. Díky pozičním čtvercům pak může být čten v jakémkoliv úhlu a směru. V dalších oblastech kódů jsou samotná zakódovaná data. V znaku může být zakódován prostý text, email, vizitka atd. Nejčastěji používané typy jsou QR kódy Model 1 a 2, Micro QR kód, iQR Code a SQRC. Verze QR kódů mají maximální přenosovou kapacitu, která je závislá na množství a typech dat a úrovni korekce chyb. Technologie má schopnost korekce chyb. [6]





## Čtení a zápis

Snímače čárových kódů jsou založeny na optoelektronickém zařízení, které vysílá paprsky emitovanými laserovými diodami a ty jsou schopné číst značky. Princip digitálních snímačů funguje tak, že snímač vyfotí obrázek, a ten je poté integrovaným dekodérem dekodován. Dekodování funguje tak, že se obrázek porovnává s tabulkou a pokud je nalezena shoda, tak je kód uznán. Skenery se dělí podle konstrukce na stolní, přenosné či průtahové.

Čárové kódy lze tisknout pomocí klasických univerzálních tiskáren. Praktičtější je využití speciální tiskárny k tomuto účelu, ať už termotiskárny nebo termotransferové tiskárny. Každá z nich má specifické výhody. Termotiskárny mají jednodušší obsluhu a vyšší kvalitu tisku, zároveň nepotřebují toner, a proto jsou nejrozšířenější. [6]



Obrázek 14: Hand-Held Terminal [22]

## RFID

Alternativní metoda sledování je za pomoci RFID. Systém se skládá z transpondéru RFID s identifikačním číslem čtečky pomocí níž lze informace přečíst. Technologie je stále běžnější ve skladech, výrobě a řízení logistiky. Čtečky mohou detekovat štítky až na vzdálenost 2 m (v závislosti na použitém transpondéru). RFID lze přečíst skrze jakýkoliv nekovový materiál, to znamená, že palety nebo vozíky lze identifikovat během přiblížení AGV. Po přečtení jsou data štítku ověřena prostřednictvím systému řízení skladu, což podporuje konzistentní sledovatelnost toku zboží. Výhodou oproti ostatním technologiím je, že není nutná přímá viditelnost mezi transpondérem a čtecím zařízením. Nevýhodou technologie je, že i když mnoho tagů může být čteno současně, nelze zjistit, který konkrétní se v danou chvíli čte. Zároveň je tato technologie dražší než konkurenční metody, a proto není tolik rozšířená. [6]



## 2.8. Řešení nabíjení

Nabíjení je důležitou součástí řešení instalace AGV a ARM robotů. Vhodný výběr způsobu nabíjení a typu baterie má zásadní technický a ekonomický rozměr. Nejčastější typy baterií u vozíků jsou lithiové, olověné a gelové akumulátor. Nejčastěji využívané jsou lithiové, které mají dobré technické vlastnosti, ale jsou nejdražší. Řešení nabíjecího systému jsou pak:

- Ruční výměna baterií – vozík automaticky přejede na stanoviště pro výměnu baterie, pokud zjistí, že úroveň nabití klesla pod předem nastavenou mez. Poté operátor provede výměnu baterie.
  - Automatická výměna baterií – probíhá tak, že AGV automaticky přejede na stanoviště pro automatickou výměnu baterie, jakmile zjistí, že úroveň nabití klesla pod předem stanovený limit. Celý proces výměny probíhá automaticky.
  - Nabíjení online (s použitím drátu nebo bezdrátového připojení) - v anglické literatuře se o tom píše jako opportunity charging. AGV se samočinně připojí k nabíječce během doby nečinnosti.
- [21]

Výběr nabíjecího řešení závisí na mnoha faktorech, například počtu strojů, času nabíjení, typu baterie, nákladů na člověka atd. Jeden z nejdůležitějších faktorů je procento času stroje strávené nabíjením. Například výměnou baterie stroj stráví cca dvě procenta svého produktivního času, nabíjením online pak až deset procent, v závislosti na typu baterie.

Olověné baterie jsou v tomto ohledu vysoce nevýhodné, protože potřebují až třicet procent času ke svému nabíjení. Výhoda olověných baterií je jejich životnost – dokáží vydržet od 500 do 1200 cyklů se zachováním kapacity okolo 60%. Nejběžnější technologie olověných baterií je GEL a AGM. Ty fungují na principu VRLA neboli ventilem řízené olověné baterie. Jsou uzavřené, nevyžadují žádnou údržbu a mají možnost hlubokého vybití.

Čím dál tím běžnější řešení je však baterie na bázi lithia. Tyto baterie se dají nabíjet násobně rychleji. Mají vyšší energetickou hustotu, dokáží na stejnou hmotnost udržet více energie oproti olověným. Také jsou více energeticky účinné. Životnost těchto baterií je kolem 2000 cyklů. Bohužel jsou dražší, a to i násobně ve srovnání s olověnými. AGV stroje pak na jedno nabití dokáží vydržet jezdit jednu směnu, tedy okolo osmi hodin, poté se musí nabíjet kolem dvou hodin. [21]



## 2.9. Bezpečnost

V posledních letech se automatizované vozíky (AGV) staly klíčovým prvkem moderních průmyslových a logistických operací. Setkávají se často ve firmách s jinými vozy a lidmi, proto se musí klást mimořádný důraz na bezpečnost. Tam, kde člověk sdílí pracovní prostor s automaticky řízeným vozidlem, existují zvláštní požadavky na bezpečnostní koncepty. Člověk a stroj musí být schopni fungovat hladce a bezpečně ve stejném prostředí. Moderní stroje jsou proto vybaveny řadou pokročilých senzorů pro detekci překážek a schopností vyhýbat se kolizím. Důraz na efektivní komunikaci mezi AGV a školením personálu, který s nimi pracuje, je nezbytný pro prevenci nehod. Implementace standardů pro bezpečný provoz, včetně definování omezených oblastí, a pravidelná údržba AGV jsou klíčovými prvky zajišťujícími bezpečnostní normy.

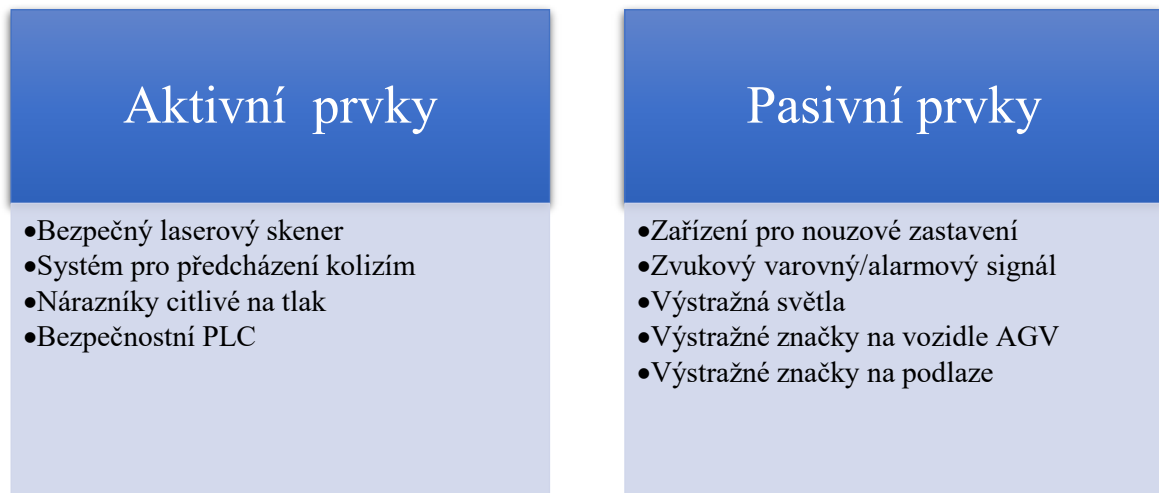
V průmyslových statistikách Spojených států se uvádí, že během životnosti vysokozdvizného vozíku existuje 90% pravděpodobnost vážného zranění nebo smrtelné nehody. Toto vysoké číslo lze snížit pomocí autonomních strojů, které nejsou ovlivněny lidskými chybami, jako jsou překročení rychlosti, špatně vyškolený řidič, nesprávné otáčení nebo jízda na nákladu vysokozdvizného vozíku. [23]

V Česku bezpečnostní standardy udává norma ČSN EN ISO 3691-4 (268812) Manipulační vozíky – Bezpečnostní požadavky a ověřování – Část 4: Průmyslové vozíky bez řidiče a jejich systémy – ta je převzata z evropské normy ISO 3691-4:2020. Norma poskytuje pokyny a standardy, jak dostatečně zredukovat risk při použití autonomních vozidel a jak implementovat celkovou bezpečnost, včetně operací a údržby mobilních systémů. Norma ISO 3691-4 je v EU nutná. V Evropě je ISO 3691-4 doplněna normou EN 1175:2020, která se týká specifických elektrických prvků AGV. Norma se zabývá bezpečnostními požadavky na všechny elektrické a elektronické součásti průmyslových vozíků, včetně elektricky ovládaných hydraulických a pneumatických ventilů. [24]



### 2.9.1. Bezpečnostní prvky AGV

Bezpečnostní opatření se u AGV dělí na aktivní a pasivní. Aktivní jsou ty, které vyžadují aktivní účast nebo interakci subjektu. Především řeší prostředky detekce osob. Opatření musí být navržena tak, aby zastavila vozidlo před srážkou s osobou. Pasivní prvky fungují vždy, ať už hrozí nebezpečí nebo ne. Hlavní opatření při snižování rizik AGV jsou:



Obrázek 15: Aktivní a pasivní prvky bezpečnosti

Pro AGV vozíky se definují minimálně dvě pole (mohou být i tři) – žluté a červené. První, žluté, když vozík zaregistruje překážku, je vydáno varování. Žlutá zóna je cca dva metry před vozidlem. Druhá je červená zóna. Ve té, pokud se nalézá překážka, vozík musí včas zastavit (cca půl metru před ní). Pole definují bezpečnostní zónu. Některé laserové scannery mají další pole (na obrázku 10 - oranžové). V této oblasti pouze stroj zpomalí, oblast je definována jako “monitorovaná”.

Návrh těchto polí se musí odvíjet od vlastností prostředí a stroje, například jaká je ve firmě podlaha a jak hmotný náklad stroj převáží. Čas potřebný k zastavení AGV jedoucího rychlostí 2 m/s s plným zatížením je jiný, než čas potřebný k zastavení AGV jedoucího rychlostí 1 metr/s s minimálním zatížením. Setrvačnost je v obou případech zcela odlišná. V prvním případě je potřeba delší ochranné pole, aby se AGV mohlo zastavit včas, než se dotkne překážky. Bezpečnostní laserové skenery mohou uložit definovaný počet sad polí. Navigační systém je schopen stanovit vozíku, kterou sadu polí musí použít. Tyto informace mohou být poskytnuty předem určenými souřadnicemi. [10]



Korekce musí být prováděna s dostatečnou marží bezpečnosti na základě zkušeností. Chyba v nastavení by mohla stát zdraví pracovníků nebo materiální škody, kterým se chceme při automatizaci vyhnout. Pokud nelze zaručit bezpečné podmínky, rychlost ve směru pohybu nesmí překročit 0,3 m/s a další zařízení nouzového zastavení musí být dosažitelné do 600 mm od nebezpečného místa. [10]



*Obrázek 16: Ochranná pole stroje [25]*

Všechna tato opatření dělají z AGV velice bezpečné zařízení pro práci ve skladu a pro spolupráci s lidmi. Bohužel tím vytváří i několik negativních vlastností. Pokud se stroji nastaví nízká rychlost, je stroj bezpečnější, ale snižuje se jeho produktivita oproti manuálním strojům, které nemají tak přísné bezpečnostní nastavení. Dále při kontaktu využívají AGV audio varování. Při konzultaci s provozovateli těchto strojů bylo zjištěno, že zaměstnanci si stěžují na hlasité výstražky při přiblížení stroje k překážce.

Další vlastností stroje, se kterou je nutno počítat, je pokud manuální stroj projede ve vysoké rychlosti v těsné blízkosti AGV, je robot přinucen k „hard stopu“ neboli tvrdému zastavení. Obsluha je potom nucena stroj manuálně restartovat pro pokračování v cestě. Tyto prvky nejsou nedostatky strojů, ale nezbytné vlastnosti, které je nutné brát v potaz při zavádění strojů do provozu. [10]



### 2.9.2. Bezpečnostní prvky ve výrobě

Důležitou součástí provozu je bezpečnostní značení. Značení upozorňuje pracovníky na riziková místa, určuje jim, v jakých oblastech se smí pohybovat a kam ukládat zboží. Hlavní význam značení je pro znázornění komunikačních tras pro pěší a manipulační techniku. Další možné doplňující bezpečnostní prvky jsou semaforey na přechodech, zábradlí, závory a zrcadla.

Problémy s bezpečností AGV se nachází na křižovatkách se slepými rohy, kde lidé a AGV nevidí, dokud nevejdou / nevjedou do křižovatky. Vozíky potřebují zpomalit, aby měly dostatek času rozpoznat provoz na křižovatkách a v případě potřeby zareagovat. V tomto případě je efektivita vyměněna za bezpečnost. [26]



Obrázek 17: Konflikt mezi lidským pracovníkem a vozidlem v tovární hale. [27]

Je vhodné instalovat bezpečnostní světla a senzory vysokozdvizných vozíků pro křižovatky skladů a dále instalovat světla tam, kde jsou pravé úhly a kde by vozík nemusel včas zaregistrovat pracovníka nebo další ještěrku. Další možností je použití audiovizuálních alarmů, které se spínají na nebezpečných místech provozu a varují pracovníky.

Nejnebezpečnější místa ve skladech jsou v okolí vrat, výjezdů a průjezdů, proto by měl být do prostoru brány umístěn majáček pro upozornění výjezdu robota. Stroje by měly být vybaveny výstražným světlem, které na sebe na trati upozorňuje. Dalším bezpečnostním opatřením jsou namalované reflexní značky. Ty mohou být i promítané. Další možností je instalace parabolického zrcadla. [26]



Obrázek 18: Varovný projektor [36]



Obrázek 19: Parabolické zrcadlo [37]



## 2.10. Normy pro automatizaci

Oblasti robotiky a mobilní automatizace se rapidně vyvíjejí. Zahrnují kolaborativní roboty, servisní roboty, autonomní průmyslová vozidla, tahače či pohyblivé plošiny atd. Normy musí na tento vývoj reagovat a budou se pravděpodobně měnit s postupem času. Obsahují technické specifikace nebo jiná přesná kritéria navržená tak, aby byla konzistentně používána jako pravidlo, směrnice nebo definice a jsou vyvíjeny zainteresovanými stranami jako jsou výrobci, uživatelé, zkušební orgány, úřady pro bezpečnost a ochranu zdraví atd. [24]

ČSN EN 1525 (268850) Bezpečnost motorových vozíků - Vozíky bez řidiče a jejich systémy

Je starším standardem – vytvořena již v roce 1997, byla nahrazena normou ISO 3691

ČSN EN ISO 3691-1 až 6 Motorové manipulační vozíky – Bezpečnostní požadavky a ověřování

Norma odkazuje na ISO 12100:2010 a zahrnuje následující;

- Signály a varovné systémy
- Značení, značky a písemná varování
- Jakékoli doprovodné dokumenty
- Identifikuje seznam hazardů
- Stanovuje požadavky pro operační zóny
- Definuje také slova jako je virtuální nárazník a ztlumení (muting)

Norma poskytuje vzor, který mohou používat výrobci strojů a orgány BOZP. Je nejdůležitější normou pro implementaci AGV, proto je několikrát citovaná i v této práci.

Další standardy pro autonomní stroje

EN ISO 10218-1:2011 - norma, která pokrývá bezpečnostní požadavek na samotného robota

EN ISO 10218-2:2011- norma, která pokrývá bezpečnostní požadavky na robotický systém a integraci

ISO/TS 15066:2016 - technická specifikace, která se vztahuje na kolaborativní roboty

EN ISO 13849 - norma uvádí bezpečnostní požadavky a pokyny o zásadách návrhu a integrace bezpečnostních částí ovládacích systémů, včetně návrhu software.

[24]



## 2.11. Výhody AGV systémů

- Primární výhodou je snižování výdajů na zaměstnance.
- Snižují i nepřímé náklady, jako například problémy s parkováním nebo eliminace zacvičování zaměstnanců. Mají také efektivnější použití baterií, a tím snižují náklady na energie.
- Zvyšují bezpečnost oproti manuálním strojům. Eliminují lidské chybování.
- Mají vyšší přesnost dodávek a vyšší produktivitu. Zařízení nevyžadují pracovní pauzy jako u lidského personálu. Vyžadují pouze dobíjení a servis.
- Se zvýšenou přesností souvisí i zefektivňování sledování materiálu ve skladu. Poskytují lepší soupis v reálném čase, speciálně když jsou integrovány na WMS.
- Nahrazují nedostatkové zaměstnance při momentálním nedostatku pracovní síly. [10]

## 2.12. Nevýhody AGV systémů

- AGV systémy využívají bezdrátovou komunikaci pro výměnu informací mezi roboty, AGV management systémem, WMS, PLC atd. To znamená, že v případě vypadnutí WIFI, přestane fungovat celý systém.
- Je velmi komplikované využití jiných dodavatelů vozíků do systému. Výrobci využívají komerčních řídicích softwarů a pokud využívají ten stejný, jde je potencionálně uvést do výroby bez problémů.
- Nehodí se pro každý provoz či výrobu. Nejlépe se implementuje pro periodické či opakované činnosti.
- Mají menší flexibilitu oproti manuálním vozidlům. Manuální stroje dokáží přenést i neočekávané náklady, s kterými nelze běžně počítat.
- Nové cesty se vytváří pomalu. Pokud je v továrně potřeba otevřít novou linku, je nutné AGV přeprogramovat.
- Podlaha musí být rovná. Vibrace mohou vytvářet problém s elektronikou.
- Senzory potřebují specifické osvětlení a dodržení maximální prašnosti, aby lasery nebyly oslepeny.
- Počáteční investice je vysoká.
- AGV stroj je výrazně pomalejší než manuální stroj. Nezávazné pravidlo je, že na jeden manuální stroj připadá 1,5 AGV. [10]





Předchozí část práce se zabývala úvodem do problematiky logistiky a následně i oblasti AGV. Následující část práce se zaměřuje na specifické výzvy spojené s implementací AGV do výrobního procesu společnosti RHI Magnesita Czechia. Analyzovány jsou klíčové aspekty, jako je výběr vhodného typu robotického zařízení a jeho navigační systém, stanovení optimálního počtu strojů, definice spolupráce mezi roboty a lidskými pracovníky a nakonec vypracování ekonomického zhodnocení implementace. Práce také provede srovnání aktuálního manuálního stavu dopravy s očekávaným automatizovaným stavem.



## 2.13. Představení společnosti

Nově přejmenovaná společnost RHI Magnesita Czechia (dříve P-D Refractories CZ a.s., historicky známá jako Moravské šamotové a lupkové závody a.s.) je firma zaměřená na výrobu žárovzdorných výrobků a surovin. Specializuje se na materiály pro tepelná zařízení, včetně koksových pecí, vysokých pecí, sklářských pecí a elektrolyzérů. Ve společnosti se vyrábí široká škála výrobků zahrnující šamotové kameny, izolační materiály, žáruvzdorné jíly a ostřiva, komínové vložky a další. Výrobky firmy lze najít v mnoha krbech a komínech po celé Evropě. RHI Magnesita má v Čechách tři výrobní divize, ve Velkých Opatovicích, Březinkách a ve Svitavách. Práce byla vypracována pro divizi ve Svitavách. Závod zde má roční výrobní kapacitou až 30 000 tun dinasových materiálů a komínových vložek. Firmu vlastní majoritním podílem mezinárodní skupina RHI Magnesita se sídlem ve Vídni. RHI Magnesita je jeden z největších celosvětových výrobců a dodavatelů žáruvzdorných produktů a surovin. Díky velkému sortimentu, kvalitě a know-how se společnost řadí mezi důležité výrobce v této oblasti. Výroba probíhá v souladu s certifikátem podle ISO 9001. Ročně společnost zde v Čechách vyprodukuje více než 75 000 tun hotových žáruvzdorných výrobků a tisíce tun dalšího žáruvzdorného materiálu. Většina výroby (až 90 procent) jde na export do zahraničí. [28]

Dinas Svitavy byl založen v roce 1985 a začal výrobu dinasových materiálů. Závod vyrábí dinasové kameny pro metalurgii, koksárenské pece a sklářský průmysl, které jsou dodávány zákazníkům po celém světě. Kromě dinasu produkuje svitavský závod keramické komínové roury. [28]



Obrázek 20: Závod Svitavy [28]



### **3. Analýza konkrétního výrobního závodu**

Pro automatizaci logistiky byla vybrána část výroby od lisování k vypalování. Oblast je vhodná díky svému umístění v rohu budovy a přímočarému směru postupu výroby. Výroba probíhá u lisů značky SGP, Horn a SACMI (na pravé straně je šest lisů plus jeden na levé straně). Lisy jsou zásobovány materiálem pomocí pásových přepravníků. U každého lisu je pracovník, který pokládá vyráběné cihly do klecí. Každý pracovník má u sebe tyto klece dvě – jednu plněnou a jednu prázdnou. Po naplnění je přivolán pracovník s manuálním vysokozdvížným vozíkem a náklad je převezen na druhou stranu místnosti. Urazí pouze okolo 10 metrů do dočasného skladu. Pracovník v této fázi musí být obzvlášť opatrný, jelikož v tomto stavu je materiál křehký a může se snadno zničit. V dočasném skladu výrobky za 24 hodin částečně zpevní a je možné s nimi dále manipulovat. Dále putují do velkého skladu v sousední místnosti. Zde klece s výrobkem vyčkávají, dokud nebudou převezeny k peci na konečné vysušení a výpal. Na výpal musí být výrobek vyložen z klecí. Zde bude automatizace náročnější a mimo rozsah této práce.

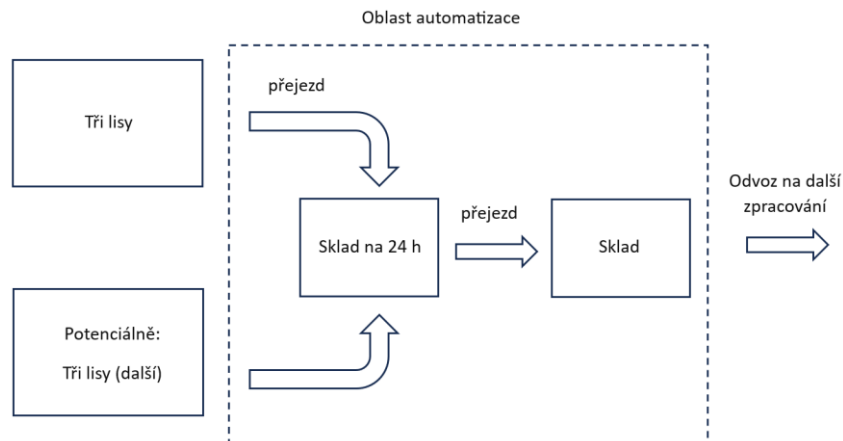
Každý lis je schopen vyrobit 7 klecí za směnu. Společnost vyrábí nepřetržitě 24 hodin denně, ve třech směnách. To jednoduchým výpočtem dává 126 klecí za den od šesti hlavních lisů. Ročně se zde vyrobí kolem 15 000 tun dinasových cihel.

Společnost chce zlepšit celý systém přepravy, a proto bylo vyhodnoceno, že se bude uvažovat o implementaci automatizované dopravy pomocí AGV, které nahradí klasické vysokozdvížené vozíky. Společnost si od toho slibuje zvýšení produktivity, rychlosti a kvality tím, že AGV umožňují operátorům zpracovávat větší objemy zboží, a to vše při vyšší spolehlivosti. Firmy s implementovanými autonomními systémy jsou schopny důsledněji a rychleji plnit své objednávky a zároveň nabídnout větší bezpečnost pro lidi i zboží.

AGV existují již od padesátých let minulého století, ale s rozvojem technologií zažívají svou renesanci. Synergické technologie pro implementaci jsou digitální továrny s pružnými výrobními systémy. AGV trvale zaručí zvýšení efektivity a produktivity a zajistí optimalizovanou automatizaci skladu. Jsou programovatelné, předvídatelné, spolehlivé a šetří čas. Lidští operátoři pouze dohlížejí na úkoly, zda zboží a materiály jsou správně převáženy. Omezení lidských chyb je zásadní přínos, jak stroje zlepšují efektivitu a přesnost na úrovni skladu a pomáhají minimalizovat ztráty a prostoje a zároveň umožňují lepší využití zdrojů.



Práce je brána jako pilotní projekt, který ověří možnosti technologie a bude informovat o možnostech následujícího rozvoje automatizace v továrně.



Obrázek 21: Oblast automatizace

V první části projektu se zvažuje automatický odvoz klecí s vyrobeným materiálem od tří až šesti lisů. Projekt je takto omezený z důvodu komplexnosti zavádění automatizace do zažitých procesů, které například u sušení spoléhají na manuální práci. Následná expanze automatizace bude nepochybně probíhat, pokud se tento projekt osvědčí v reálném provozu.



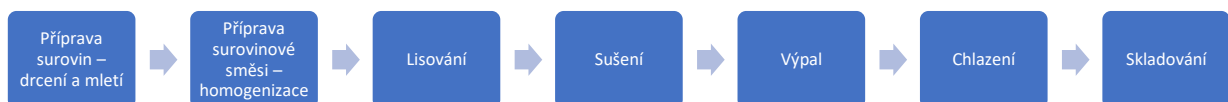
### 3.1. Aktuální stav výroby

Ve firmě se vyrábí žáruvzdorné výrobky jako jsou komínové vložky a šamotové cihly. Výrobky jsou založeny na bázi kameninových a žárovzdorných jíílů a ostřív. Jejich vlastnostmi je nízká propustnost plynů, nízká nasákavost a vysoká pevnost v tlaku. Tyto vlastnosti si dokáží udržet i za vysokých teplot, proto se využívají k odvodu spalin.

#### Dinas

je žáruvzdorný materiál obsahující nejméně 93 %  $\text{SiO}_2$ , má vysokou únosnost v žáru (až 1 700 °C), jeho předností je vysoká odolnost proti kyselým taveninám. Pro výrobu dinasu jsou hlavní surovinou křemence (zdroj  $\text{SiO}_2$ ). Další složkou je pojivo z vápna a následují přísady. Směs se namíchá a jde na extruzi do lisu. Směs má při lisování vlhkost okolo pěti procent, následuje sušení, a nakonec se výrobek vypaluje. Sušením se odstraňuje z výlisků vlhkost a získávají mechanickou pevnost. Zásadním úsekem je výpal výlisku, při němž se snižuje nebo zvyšuje jeho mechanická pevnost v důsledku krystalizace fází.

#### Technologický proces výroby

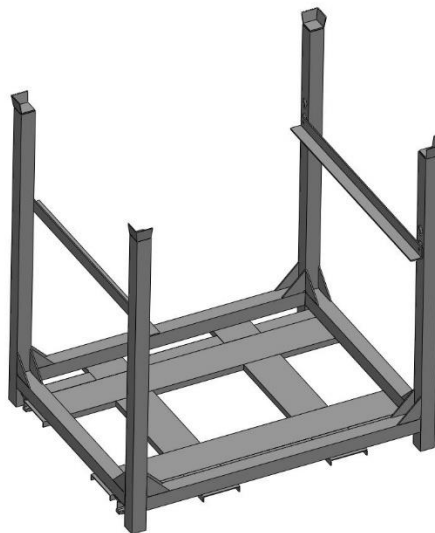


Obrázek 22: Technologický proces výroby



### 3.2. Skladování ve společnosti

Ve společnosti RHI Magnesita Czechia (dříve P-D Refractories) se využívají pro manipulaci s dinasovými vložkami do komínu kovové klece. Ty jsou uzpůsobeny pro dělníky, kteří je plní materiálem od lisu. Je možno je plnit po patrech segmentovanými nosníky. Pro manipulaci mají koryta na vidlice vysokozdvizného vozíku. Náklad je od lisu křehký, proto se nesmí za manipulace provádět prudké pohyby. Klec je uzpůsobena pro stohování, tedy skladování manipulačních jednotek na sebe. Styčné plochy jsou malé a mají kolem sebe náběh, aby nedošlo ke špatnému dosedu a následnému pádu. Rozměry klecí se ve společnosti využívají dva: 1030 x 1290 x 1345 (vyšší 1750).



Obrázek 23: Model klece používané ve společnosti

Pro zlepšení využití skladů se klece stohují. Firma požaduje, aby bylo možné stohovat i při využití automatizovaného řešení. Stohování má však problém s bezpečností, jelikož robot nerozpozná, jestli jednotku uložil správně. Tento problém je třeba řešit. Roboti některých firem, například Linde HM, to teoreticky umí. Problém je s malými styčnými plochami, jelikož robot má určitou přesnost, ale nemá, jak se ujistit, že klec usadil správně. Další problémem je, že ve firmě se používají dva typy klecí – jeden menší druhý o něco vyšší. Tento problém by bylo možné eliminovat přidáním čárového kódu na palety, kdy by stroj rozpoznal, o jaký typ se jedná, a umisťoval ho podle toho správně.



### 3.3. Dimenzování počtu potřebných strojů

Jako první krok je nezbytné zjistit, kolik bude potřeba pořídit robotů. Díky krátkým vzdálenostem se počítá s průměrnou rychlostí 0,8 m/s. Celkový počet vozidel lze odhadnout podle počtu zpátečních cest, které každé vozidlo může provést za hodinu, a celkového počtu okružních jízd. Efekty zrychlení a zpomalení jsou ignorovány. Výpočet operuje s údaji jako je průměrná rychlost, ujeté vzdálenosti a doby nakládky a vykládky. [29]

Čas potřebný k dokončení jednoho kompletního kola:

$$T = \frac{d}{v} + t + \frac{d'}{v} \quad [29]$$

- $d$  – ujetá vzdálenost naloženého vozíku [m]
- $d'$  – ujetá vzdálenost prázdného vozíku [m]
- $v$  – průměrná rychlost [m/s]
- $t$  – čas nakládání a vykládání

Počet možných jízd  $R$  (tam a zpět) se vypočítá z  $TD$ , tedy volného času (směny), násobením faktorem  $f$ , který nám udává vytížení na trati, tedy čekání robota v zácpě. Faktor se obvykle pohybuje kolem 1 (žádné zácpy) až 0,8 (20 procent doby čekání). To je poděleno časem na vykonání jednoho kola.

$$R = \frac{TD \cdot f}{T} \quad [29]$$

Jedná se o systém s jednoduchou cestou bez existujících pravidel pro směrování. Počet požadovaných AGV –  $N$  je tedy stanoven podle rovnice:

$$N = \frac{U}{R} \quad [29]$$

Kde  $U$  je počet vyžadovaných jízd na převoz materiálu.

Pro výpočet byla zjištěna jízda manuálního stroje provádějícího stejnou trasu. Autonomní vozíky ale mají menší rychlost než ty s lidským operátorem, proto byla hodnota násobena koeficientem 1,5. Tato hodnota by měla dát dostatečný teoretický čas pro pojezd stroje, aniž by hrozilo, že stroj nebude stíhat odvážet a přivážet klece.



Pro zhodnocení byla vypracována tabulka s různými scénáři pro vyhodnocení různých řešení, jako je obsluha tří nebo šesti lisů. Další scénář počítá s jiným faktorem provozu. Optimistický faktor byl zvolen 0,9 a pesimistický 0,8.

Tabulka 1: Výpočet počtu potřebných strojů

|   |      |            |           |      |       |
|---|------|------------|-----------|------|-------|
| vzdálenost jízdy do skladu (z meziskladu) | 10   | [m]        | čas jízdy | 0,21 | [min] |
| vzdálenost jízdy do meziskladu            | 40   | [m]        | čas jízdy | 0,83 | [min] |
| váha klece (prázdné)                      | 100  | [kg]       |           |      |       |
| váha materiálu                            | 900  | [kg]       |           |      |       |
| čas směny                                 | 7,5  | [h]        |           |      |       |
| počet klecí lisu za směnu                 | 7    |            |           |      |       |
| čas směny                                 | 450  | [min]      |           |      |       |
| počet směn                                | 3    |            |           |      |       |
| průměrná rychlost AGV                     | 0,8  | [m/s]      |           |      |       |
| čas nakládání = vykládání                 | 1,5  | [min]      |           |      |       |
| dopravní faktor                           | 0,8  |            |           |      |       |
| dopravní faktor                           | 0,9  |            |           |      |       |
|   |      |            |           |      |       |
| (délka cesty tam a zpět) T=               | 7,88 | [min]      |           |      |       |
|   |      |            |           |      |       |
| (počet možných jízd) R=                   | 46   | při f =0,8 |           |      |       |
| (počet možných jízd) R=                   | 51,4 | při f =0,9 |           |      |       |

Výpočet odhadované doby délky cesty vozíku tam a zpět byl zjednodušen a cesta prázdného a naloženého byla počítána jako stejná. Čas se vypočte jako čas cesty do meziskladu a skladu a zpět plus čas dvakrát nakládání a dvakrát vykládání.

Tabulka 2: Počet potřebných strojů

|  |      |      |
|--|------|------|
| počet lisů                                 | 3    | 6    |
| počet potřebných jízd na přepravu za směnu | 21   | 42   |
| počet potřebných AGV – N (při f =0,8)      | 0,5  | 0,92 |
| počet potřebných AGV – N (při f =0,8)      | 1    | 1    |
| počet potřebných AGV – N (při f =0,9)      | 0,41 | 0,82 |
| počet potřebných AGV – N (při f =0,9)      | 1    | 1    |

Z tabulky je patrné, že ve firmě na aktuální výrobu stačí jeden robot, který obslouží všech šest lisů. I tak je možné, že vozík nedorazí kvůli neočekávaným situacím včas. Proto pokud by se odváželo od všech lisovacích stanovišť, musíme uvažovat o bufferu v systému.





## 4. Návrh variant řešení

Při výběru technologie AGV je potřeba zvážit výhody a nevýhody existujících typů a konstrukcí. Tuto situaci je možné řešit za pomoci automatických vysokozdvihných vozíků ovládaných laserem nebo autonomních s navigací pomocí přirozeného vidění (SLAM), poslední možnost volby je podjezdový ARM robot s QR navigací.

### AGV s laserovou navigací

Je ověřená technologie, používána řadou firem. Konstrukčně jsou podobné klasickým manuálním vysokozdvihným strojům. První stroje fungují již od osmdesátých let minulého století. Ty jsou v současnosti ve firmách nejpoužívanější. K dispozici je řada typů vidlicových AGV, od paletových AGV po modely s protizávažím, retraky a modely s velmi úzkými uličkami (VNA). AGV stojí výrazně více než jejich manuální ekvivalenty. Instalace AGV je relativně jednoduchá, instalované AGV potřebují hlavně odrazové prvky. Díky laseru je technologie velice precizní (v rozmezí 5mm). Nejvyšší možná rychlost stroje je kolem 2 m/s.



Obrázek 24: AGV s laserovou navigací [39]

### AGV s přirozeným viděním

Je obdoba laserové navigace, stejně šasi. Technologie je nejmodernější, není osvědčená jako laserové AGV. První stroje vznikly na začátku tohoto století. Náklady na stroj jsou vyšší, ale zato odpadá potřeba instalace odrazových zařízení, tím se cena jejich instalace snížila. Zároveň má tento stroj vysokou flexibilitu při změnách cest. Největší problém technologie je její spolehlivost v chaotickém prostředí.



Obrázek 25: SLAM (přirozené vidění) AGV [40]



## Podjezdová AGV

Podjezdová AGV jezdí pod nákladem a přemísťují ho z bodu do bodu. Některé modely AGV se spodním podvozkem jsou také schopné fungovat jako tažné tahače připojením k soupravám vozíků. Často jsou využívány firmami ve e-komerce prostředí. Podjezdové AMR se používají při manipulaci s materiálem, například k přesunu polotovarů mezi různými výrobními stanicemi. Často jsou nasazovány ve velkých flotilách, zejména v automobilové výrobě. Toto nízkoprofilové autonomní zařízení má jednoduchý design a je flexibilní a relativně levné ve srovnání s jinými typy AGV, jako jsou vysokozdvizné vozíky.



*Obrázek 26: AGV s koleji pro vyložení [38]*



#### 4.1. Vícekriteriální rozhodování variant AGV

Každá technologie má mnoho pozitiv i negativ. Na začátku bylo potřeba správně definovat kritéria k hodnocení alternativ. Tato měřítka jsou komplexní a vyžadují hodnotící funkci, která je dokáže objektivně formulovat a porovnat. Pro analýzu výběru nejlepšího řešení byla použita vážená bodovací metoda. Každé alternativě bylo zadáno slovní hodnocení, které bylo převedeno na body dle vzorce (1). Každé rozhodovací hledisko je vyváжено procentem, které udává jeho důležitost. Vyšší procento označuje kritérium, které je důležitější pro projekt. Součet vah všech kritérií musí být sto procent. Bodovací metoda je relativně jednoduchá, její náročnost je dána zajištěním správných informací o kritériích. Výsledné hodnocení se vypočítá dle vzorce (2). Alternativa s největším číslem je obvykle považována za nejlepší volbu. Váhy kritérií jsou:

$$(1) \quad v_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^k p_i} \quad [30]$$

$p_i$  představuje bodové ohodnocení kritéria

Ohodnocení  $i$ -té varianty  $h_i$  se vypočítá:

$$(2) \quad h_i = \sum_{j=1}^k v_j \cdot y_{ij} \quad [30]$$

$y_{ij}$  jsou hodnoty kritériální matice a  $v_j$  je normovaná váha  $j$ -tého kritéria.

Bodovací metoda je jednou z nejjednodušších metod vícekriteriálního hodnocení. Jednoduchost metody je i její výhodou. Bodovací metoda je vhodná pro hodnocení téměř všech projektů a zejména při hodnocení na základě kvalitativních kritérií, proto byla zvolena i pro tento výpočet.



V tabulce je téměř všem kritériím přiřazeno ohodnocení – špatné/ dobré/ excelentní. Nejvyššímu ohodnocení se dává hodnota váhy kritéria, například pro 10% excelentní se rovná 10 bodů, tedy tři třetiny. Pro další ohodnocení – dobré je to 2/3 váhy a nakonec špatné je jedna třetina. Jediná odchylka tabulky je u schopnosti stohovat, kdy technologie je toho schopna nebo ne. Jsou tedy přiřazeny buď všechny body nebo žádné. [30]

Při vybírání správné technologie může být zvažováno velké množství kritérií. Pro potřeby tohoto projektu bylo zvoleno osm nejdůležitějších. Důležitým aspektem, který není brán v tabulce v úvahu, je hodnocení dodavatelů technologie AGV. Existuje velké množství výrobců, kteří mají svou reputaci a zaměřují se na určitý okruh technologií. Málo výrobců by mělo k objednání všechny typy, které jsou zde vypsány. [30]

Tabulka 3: Hodnocení kritérií

| Váha kritéria | AGV alternativy          | podjezdové (QR navigace) AGV | laserové AGV | SLAM (přirozené vidění) AGV |
|---------------|--------------------------|------------------------------|--------------|-----------------------------|
|               | Kritéria                 |                              |              |                             |
| 10%           | komplexita instalace     | špatná                       | dobrá        | excelentní                  |
| 15%           | flexibilita              | špatná                       | špatná       | excelentní                  |
| 5%            | cena instalace           | špatná                       | dobrá        | excelentní                  |
| 15%           | přesnost                 | špatná                       | excelentní   | dobrá                       |
| 15%           | cena vozidla             | excelentní                   | dobrá        | špatná                      |
| 15%           | schopnost stohování      | žádná                        | je možná     | je možná                    |
| 10%           | údržby instalace         | excelentní                   | dobrá        | excelentní                  |
| 15%           | spolehlivost technologie | dobrá                        | excelentní   | dobrá                       |

Vybraná kritéria pro rozhodování o výběru technologie:

**Komplexita instalace** – Ta vyjadřuje úroveň obtížnosti instalace, například jak narušující by technologie byla pro implementaci, jak dlouho bude trvat zavádění atd.

**Cena instalace** – Jaká je finanční náročnost oproti ostatním technologiím.

**Flexibilita** –Vyjadřuje například obtížnost změny či přidání cest nebo úprava skladiště. Technologie s vysokou flexibilitou lze měnit sklad bez větších problémů, u technologie s nízkou flexibilitou je nutno



větší a nákladné přestavby. Příkladem je například laserová navigace, která vyžaduje instalaci odrazových tělísek na nové tratě.

**Přesnost** – Jakou toleranci přesnosti očekávám od AGV, například s jakou přesností uloží náklad na určené místo? Dokáže zastavit stroj na specifikovaném místě? Přesnost do velké míry závisí na senzorech stroje, což dále souvisí s jejich cenou.

**Cena vozidla** – Cena se odvíjí hlavně od množství a komplexity senzorů potřebných pro provoz či pro vyšší bezpečnost.

**Schopnost stohování** – Vysoce důležitá vlastnost pro implementaci. Pokud technologie tuto vlastnost nemá, bude potřeba zásadní změna ve skladování.

**Údržba instalace** – Zohledňuje náklady na údržbu (například značek na podlaze nebo čištění prachu) poté, co je systém instalován.

**Spolehlivost technologie** – Vlastnost popisující například to, jak často sjíždí z vyznačené cesty, jak často bude potřeba manuální kontrola obsluhou. atd. [31]

Tabulka 4: Kritéria s přepočítanými body

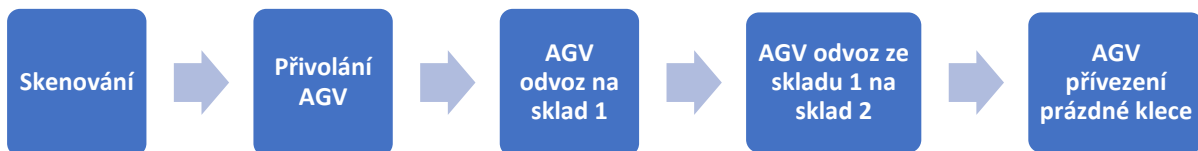
| Váha kritéria | AGV alternativy          |                              |              |                             |
|---------------|--------------------------|------------------------------|--------------|-----------------------------|
|               | Kritéria                 | podjezdové (QR navigace) AGV | laserové AGV | SLAM (přirozené vidění) AGV |
| 10%           | komplexita instalace     | 3,33                         | 6,67         | 10                          |
| 15%           | flexibilita              | 5                            | 5            | 15                          |
| 5%            | cena instalace           | 1,67                         | 3,33         | 5                           |
| 15%           | přesnost                 | 5                            | 15           | 10                          |
| 15%           | cena vozidla             | 15                           | 10           | 5                           |
| 15%           | schopnost stohování      | 0                            | 15           | 15                          |
| 10%           | údržby instalace         | 10                           | 6,67         | 10                          |
| 15%           | spolehlivost technologie | 10                           | 15           | 10                          |
| 100%          | konečné obodování        | 50                           | 76,67        | 80                          |

Podle bodů vychází nejlépe technologie autonomních strojů s přirozenou navigací v těsné blízkosti následované laserovým AGV. Výhodu AGV se SLAM navigací je jejich jednoduchá implementace a flexibilita, těmto kritériím byla dána velká váha. S velkým odstupem následují podjezdové AGV.



## 4.2. Postup optimalizace úseku

Ve společnosti se budou používat AGV stroje, které zastanou práci manuálně ovládaných strojů. S touto změnou bude souviset úprava několika postupů ve výrobě. Jeden z problémů pilotního projektu je ten, že stroj bude pouze jeden. Pokud bude vozík potřeba u místa odběru a bude mezitím zastižen mezi dalšími úkoly, bude chvíli trvat, než se k požadovanému místu dostane. Proto by se mělo začínat s plněním u lisů postupně, aby ke křížení několikanásobných úkolů nedocházelo. Tento problém bude vyřešen, když se pořídí více strojů a fleet manager bude moci úkolovat více strojů.



Obrázek 27: Seznam operací optimalizovaného úseku

### 1. Skenování

Před naplněním klece operátorem se musí zaznamenat do WMS, co se na paletu naložilo. Pracovník musí mít Hand Held Terminal (HHT) jakožto prerekvizitu implementace WMS. Buď každá klec bude mít nastálo čárový kód, nebo bude na místě tiskárna, která vytiskne přiřazený kód k paletě.

AGV podle kódu musí rozpoznat, o jakou paletu se jedná (nízká nebo vysoká), aby nedošlo ke kolizi při stohování. Pokud se bude používat systém přiřazování čárového kódu ke kleci, bude zapotřebí na klec umístit značení, o jakou se jedná, aby pracovník zadal do systému správnou informaci.



## **2. Přivolání AGV**

Jelikož pracovník nakládá klec podle své rychlosti, není možné přivolání automatizovat přes WMS. Bude nutné nainstalovat periférie, například tlačítko, kterým bude možné AGV přivolat. V pracovním prostoru budou dvě možná místa na odběr a vyzvednutí. Jeden z možných systémů je, když je AGV zavolán, přiveze prázdnou klec do místa na druhé straně před tím, než naloží naplněnou klec. Na každé straně bude tlačítko a pracovník bude alterovat mezi pozicemi při nakládání. Druhá možnost je, že tlačítka budou dvě, a pracovník před úplným naložením klece přivolá určeným tlačítkem prázdnou klec.

Body pro výdej a příjem musí být přesně nastaveny s vysokou přesností.

## **3. AGV odvoz na sklad 1**

AGV odveze materiál do skladu naproti. Zde musí materiál 24 hodin přečkat. Proto v systému WMS musí běžet odpočet s každým uloženým materiálem, než bude možné s ním dále pohybovat.

## **4. AGV odvoz ze skladu 1 na sklad 2**

Stroj musí dávat na sebe klece se stejným materiálem pro snadnější manuální vyhledávání. Systém by měl být nastaven tak, aby po vypršení daného času odvezl materiál na hlavní sklad. Pro zvýšení efektivity by stroj by měl vždy jet v jednom směru provozu. Po doručení křehkého materiálu by měl odvézt vytvrzený.

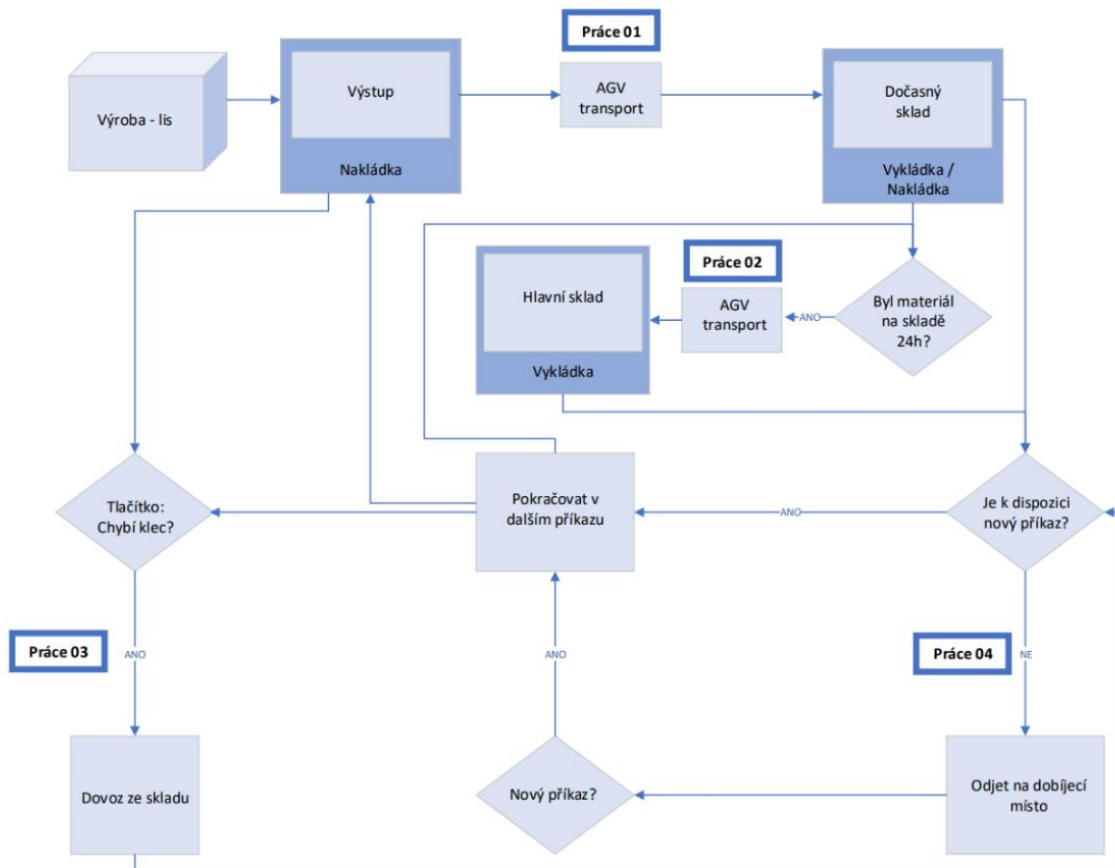
## **5. AGV přívoz prázdné klece**

Prázdné klece se nacházejí v prostoru hlavní výrobní haly. Po složení cihel na sušení se prázdné klece umísťují naproti peci. Z dedikovaného prostoru musí po zavolání AGV přivést prázdnou klec k lisu.



### 4.3. Plánování fronty práce AGV

Zahrnuje stanovení pravidel výběru pracovních míst pro přiřazení konkrétního přepravovaného zboží k AGV. Komplexnější modely se zaobírají i určením konkrétních strojů z určitého množství strojů. Práce bere v potaz pouze práci jednoho stroje.



Obrázek 28: Diagram operací AGV stroje

Práce z diagramu jsou rozepsány v jednotlivých krocích, které reprezentují úkony, které AGV musí vykonat:





#### Dobíjecí místo

- Musí být stanovena minimální úroveň, od které stroj nepřijímá nové úkoly (například 25%).
- Stroj setrvává zde, dokud není zadána práce.
- Po nabití na 100 procent se přeruší nabíjení a nezačne znovu, dokud neklesne pod 90%.
- Zpočátku AGV zůstává v nabíjecí stanici, dokud není vyžádán, aby vykonal přepravu, kdykoli se na místě nakládky objeví požadavek na přepravu.

#### Práce 01 - odvoz od lisů do dočasného skladu

- 1)Dojezd k požadovanému místu ve výrobě
  - 2)Kontrola QR kódu
  - 3)Naložení
  - 4)Dojezd do dočasného skladu
  - 5)Vyložení
  - 6)Kontrola minimálního nabití
  - 7)Kontrola fronty prací
- Poté, co AGV navštíví místo nakládky, aby naložil dávku k přepravě, dojede na místo vykládky a dávku vyloží.

#### Práce 02 - odvoz od dočasného skladu do hlavního skladu

- 1)Dojezd k požadovanému místu v dočasném skladu
  - 2)Kontrola QR kódu
  - 3)Naložení
  - 4)Dojezd do hlavního skladu
  - 5)Vyložení
  - 6)Kontrola minimálního nabití
  - 7)Kontrola fronty prací
- Po vymezeném časovém úseku (24 hodin) se musí klece s materiálem přemístit do hlavního skladu. Akce musí fungovat automaticky, je potřeba aby systém AGV s WMS sledoval materiál.

#### Práce 03 - Dovož prázdné klece

- 1)Dojezd do skladu prázdných klecí
  - 2)Naložení
  - 3)Dojezd k požadovanému místu u lisu
  - 4)Vyložení
  - 5)Kontrola minimálního nabití
  - 6)Kontrola fronty prací
- Pracovní místo musí být vybaveno kromě tlačítka pro přivolání odvozu klece i tlačítkem s funkcí na přivolání stroje s prázdnou klecí.

#### Práce 04 - Dobití

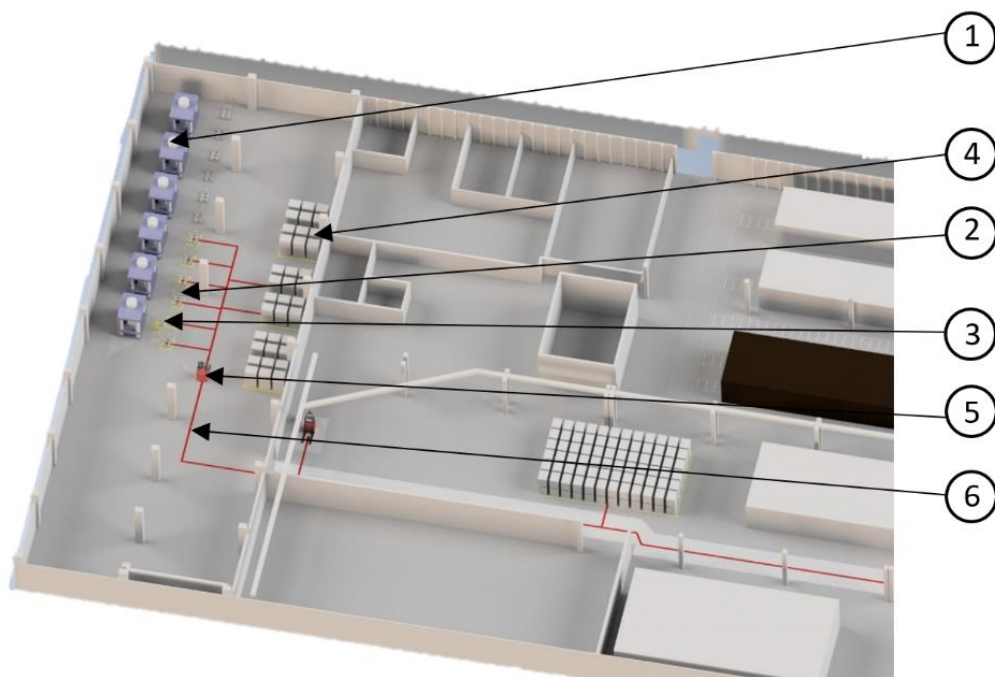
- 1)Kontrola fronty prací
  - 2)Dojezd do dobíjecí stanice
  - 3)Dobíjení
  - 4)Kontrola minimálního nabití
  - 5)Čekání na zadání nové práce
- Po vyložení přepravní dávky se zkontroluje stav nabití, následně se AGV vrátí do nabíjecí stanice a to pouze tehdy, jestli úroveň nabití klesne pod kritickou hranici. Jinak AGV pokračuje v provádění přepravního postupu pro další transport.

Obrázek 29: Seznam prací AGV



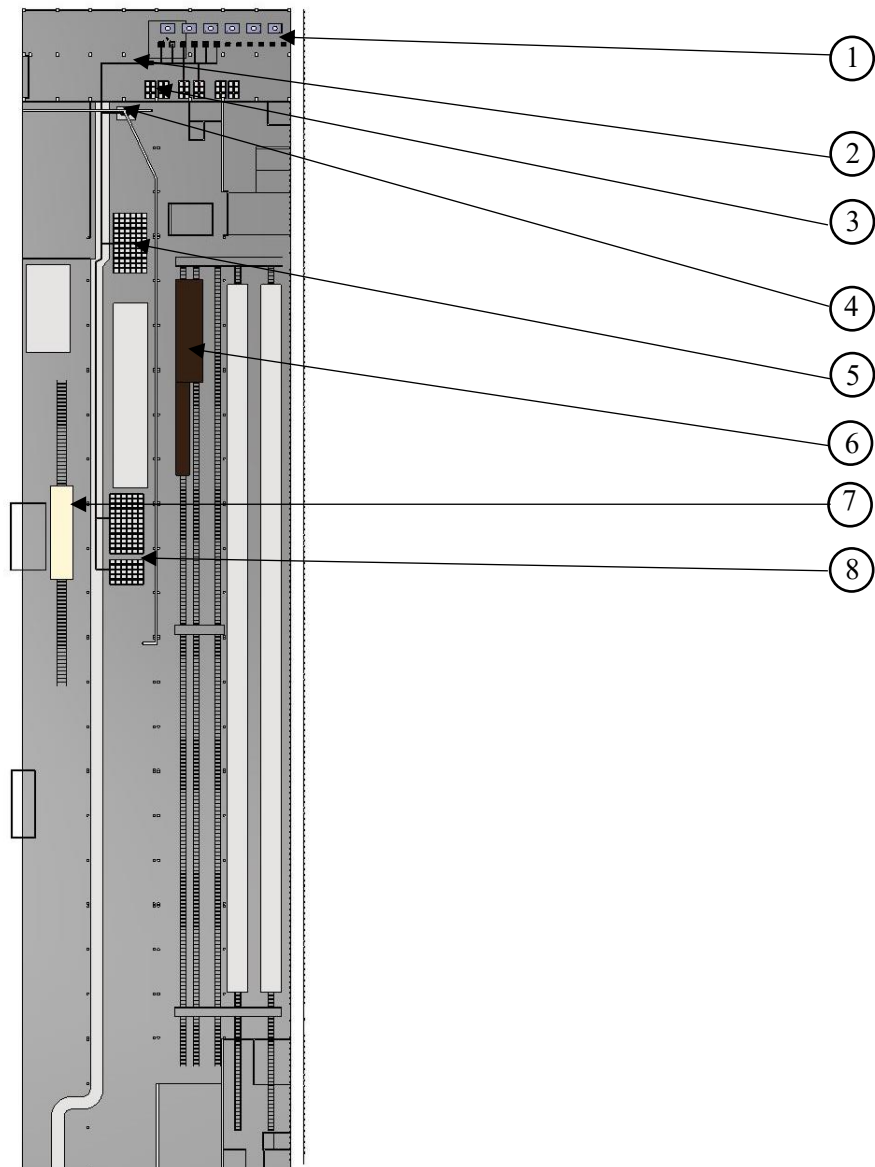
#### 4.4. Vizualizace výroby a logistiky

Výhoda využití AGV strojů je jejich jednoduchá instalace do provozu. Na modelech je vidět rozložení výrobních hal a instalace potřebná pro AGV nezabírá velký prostor. Pokud se pilotní projekt osvědčí, bude jednoduché zapojit další stroje do provozu. Pro lithiové baterie je potřeba, aby se po osmi hodinách se dobíjely. Dobíjení trvá okolo dvou hodin, tudíž by se mohly pořídit maximálně čtyři další stroje, než by kapacita byla naplněna.



Obrázek 30: Model haly 1

1. Lis
2. Pozice pro klec
3. Zaměstnanec (pro měřítko)
4. Dočasný sklad
5. AGV
6. Trasa

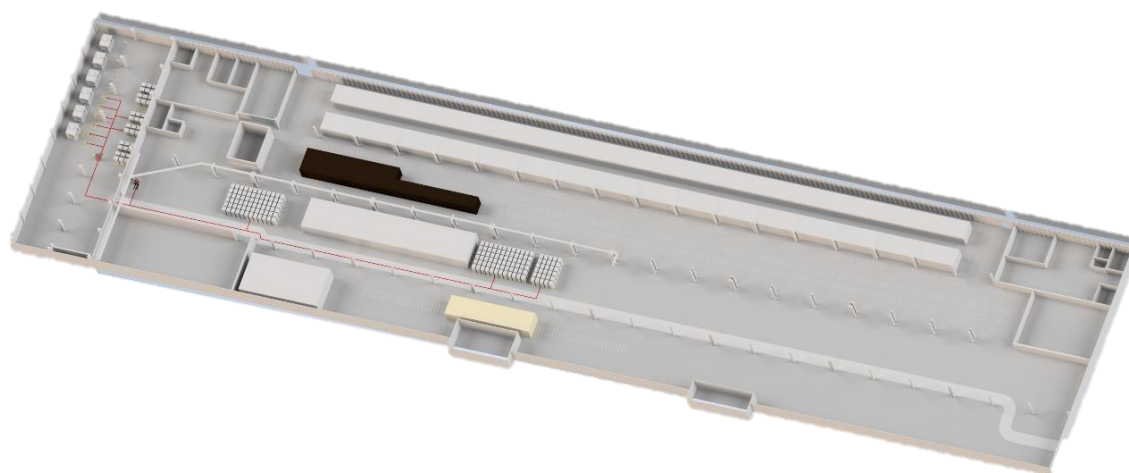


Obrázek 31: Model haly 2 z horního pohledu

1. Výroba (detail viz: model haly 1)
2. Trasa AGV
3. Dočasný sklad
4. Dobíjecí místo pro AGV
5. Hlavní sklad
6. Výpal dinasových cihel
7. Vysoušecí linka
8. Sklad prázdných klecí



Na modelu haly 2 je vidět celý automatizovaný úsek. Lisy výroby jsou v levé části modelu. Komplikovaným místem pro navigaci jsou dveře do prostoru lisů (poblíž místa stání), které dělí lisovou výrobu s dočasným skladem od zbytku haly. Hlavní důvod znepokojení je četný provoz ostatních strojů a pracovníků ve výrobě, jež by mohly vyvolat obtíže v provozu. Dobíjecí místo pro AGV je umístěno ilustrativně. Musí být umístěno v blízkosti trasy jízdy AGV, kde nebude blokovat další logistické procesy.



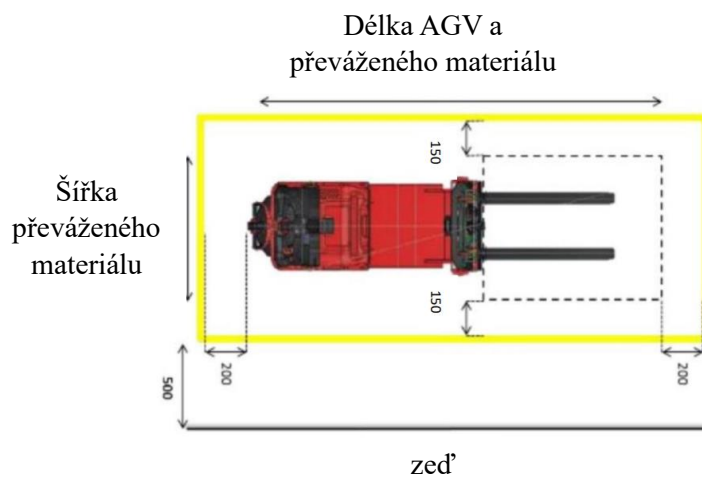
*Obrázek 32: 3D model haly*

Z modelů na obrázku 31 a 32 je vidět, kam až budou vozíky AGV zasahovat. Hlavně se drží hlavní cesty, která je určená pro hlavní trasu výroby. V pravé části haly se nacházejí sklady na expedici. Ty budou automatizovány v případě, pokud se pilotní projekt osvědčí. Automatizovat tyto části půjde jednodušeji díky již implementovanému WMS systému. Projekt zde se rozšíří kvůli množství materiálu na přesun.



#### 4.4.1. Místo pro stání AGV

Pokud vozík nepracuje, musí odjet na bezpečné místo, aby nevadil provozu. Uvedené místo se jmenuje taxi stání (Taxi Position). Je to místo, kam se robot přesune a zaparkuje, když mu není přidělen žádný úkol. Pozice může být umístěna libovolně v instalaci, je však obvykle poblíž tras automatických vozíků (AGV). Stanoviště nesmí blokovat dráhu jiného AGV. [32]



Obrázek 33: Zaparkované pozice AGV [32]

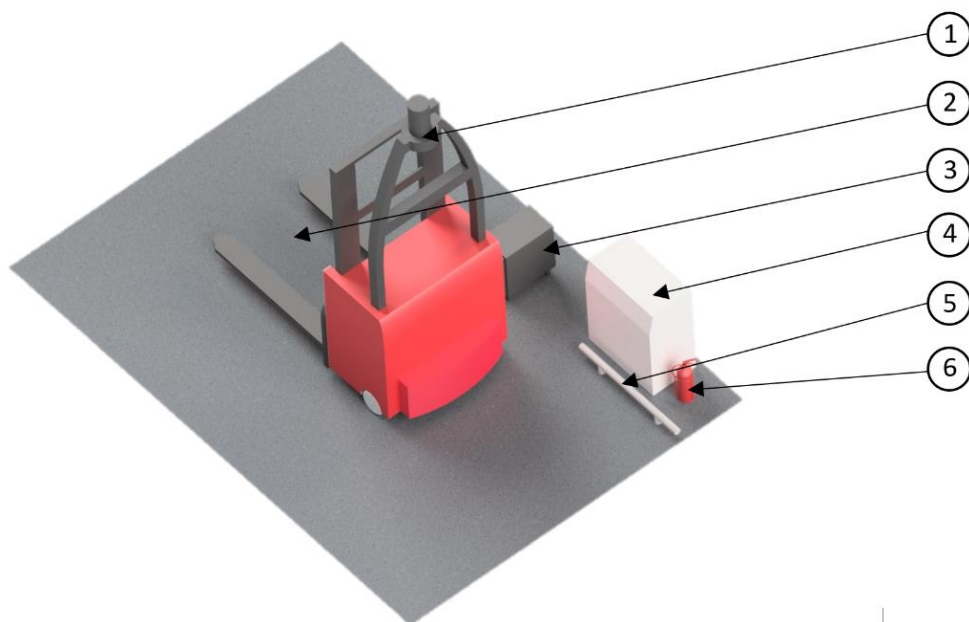
Běžné AGV má šířku okolo jednoho metru a délku okolo dvou a půl metru. Místo proto musí být minimálně tři metry dlouhé a metr a půl široké. Pro ušetření místa by bylo vhodné, aby místa stání a dobíjení byly sloučeny v jedno. Prostor se tím ale musí rozšířit o vybavení pro autonomní dobíjení.

Pro inicializaci pracovního okruhu je potřeba stroji definovat počáteční místo stání. Je to startovní pozice, od které se stroj dokáže orientovat. Tento úkon musí provést proškolený pracovník. Kromě restartu při hard stopu stroje je to jediná interakce, kterou je nutné provádět manuálně.



#### 4.4.2. Místo pro dobíjení

Dalším důležitým místem pro stroj je místo na dobíjení. Jelikož společnost chce co nejvíce automatizovat, bude se stroj dobíjet za pomoci automatu. Místo pro dobíjení může být totožné s místem stání. Zde stroj přijede, pokud má nedostatek energie nebo dle naprogramování. Užitečná výbava je tlačítko na přivolání k dobíjení, kdy zaměstnanci mohou manuálně stroj přivolat. Důležitou výbavou místa by mělo být nevodivé hasící zařízení založené na prášku pro případ požáru u elektrické rozvodny. Poslední část vybavení v prostoru by měla být ochrana pro transformátor, jelikož je to křehké zařízení a poškození by mohlo vyřadit provoz celého systému. Velikost místa pro stroje by mělo být možné v budoucnosti zvětšit. Pokud se bude pořizovat více strojů, může nastat situace, že AGV budou vyčkávat na možnost dobití. Model místa byl založen na příkladu v podniku Magna Liberec, kde se konkrétní rozložení osvědčilo.



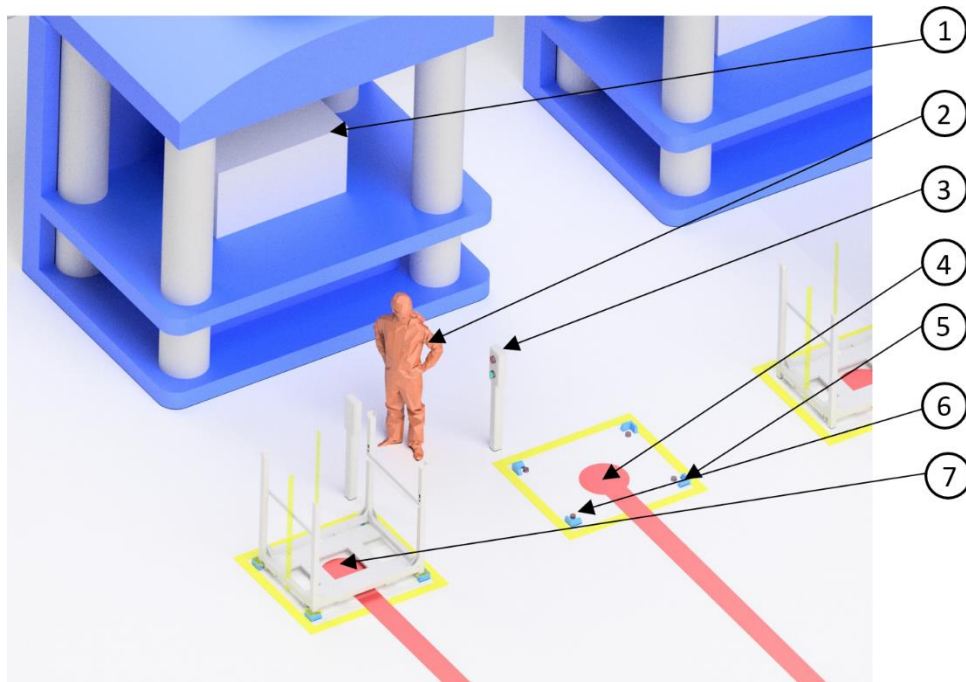
Obrázek 34: Model místa na dobíjení

1. AGV stroj
2. Potřebné místo stání
3. Dobíjecí stanice
4. Transformátor
5. Ochrana
6. Hasící přístroj



#### 4.4.3. Model odběrového místa

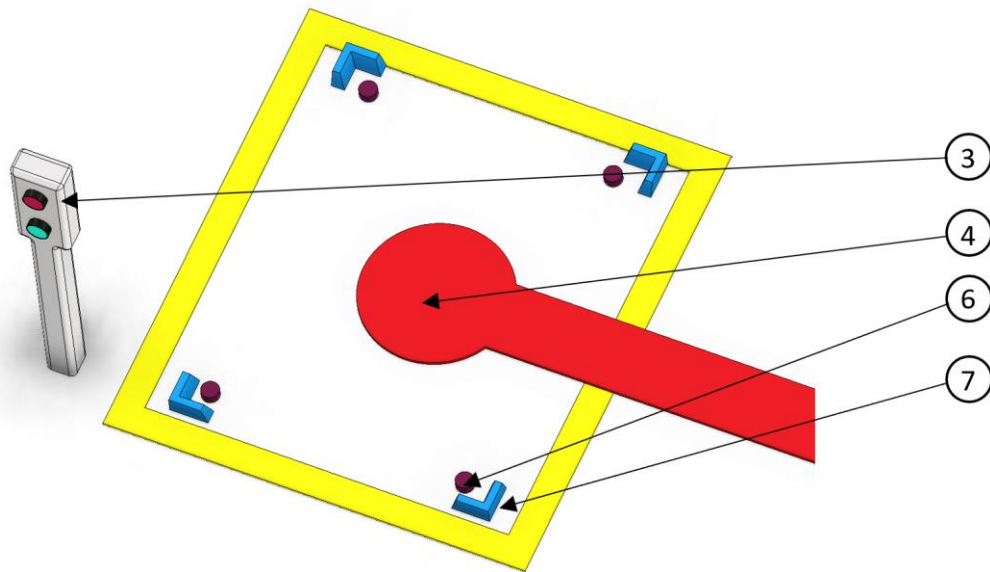
Vizualizace pracovního místa ukazuje zaměstnance v měřítku na svém stanovišti, které je vybaveno ovládacími prvky stroje a dodatečnou výbavou místa odběru. Umístění je vidět na obrázku 29 a 30 v zadní části haly. Aktuálně jsou místa obsluhována manuálními stroji a nejsou určena přesná místa odběru. To se musí změnit a místa musí být pevně vyznačena a vybavena dodatečnými prvky.



Obrázek 35: Model odběrového místa

1. Lis
2. Zaměstnanec (pro měřítko)
3. Tlačítka na ovládání
4. Prázdné místo
5. Zarážky
6. Tlakový senzor
7. Předávací místo výroby





Obrázek 36: Detail odběrového místa

Pro lepší představu je vypracován návrh detailu odběrového místa. Pro přesnější umístění klece je vhodné vybavit místa zarážkami, které zaručí přesné umístění klece. AGV tak může jednoduše nabrat náklad bez jakýchkoliv chyb. Zarážky jsou tvořeny ze zkosených obdélníků ve tvaru L, čtyři pro každý roh. Místo je zároveň možné vybavit tlakovými senzory, které potvrdí, že se na místě nachází náklad. Tlakové senzory nejsou nutnou podmínkou instalace AGV, ale osvědčily se u jiných průmyslových společnostech.

#### 4.5. Skladové značení

Pro zavedení WMS je potřeba zvolit lokalizační systém, aby bylo možné identifikovat jednotlivé lokace, popřípadě zóny, do kterých patří daný materiál. Ve skladu se budou místa značit podle toho, v jakém skladu se nacházejí, na jaké pozici jsou a v jaké jsou výšce. [33]

Tabulka 5: Značení ve skladu

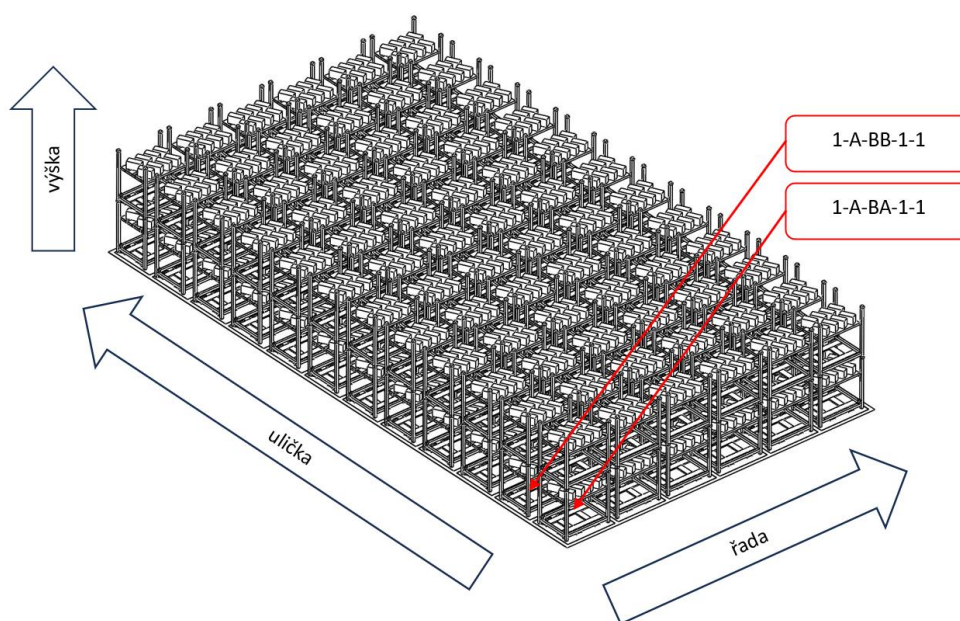
| budova | sklad | ulička | řada | výška |
|--------|-------|--------|------|-------|
| 1      | A     | BA     | 1    | 1     |

lokace pak bude vypadat: 1-A-BA-09-2



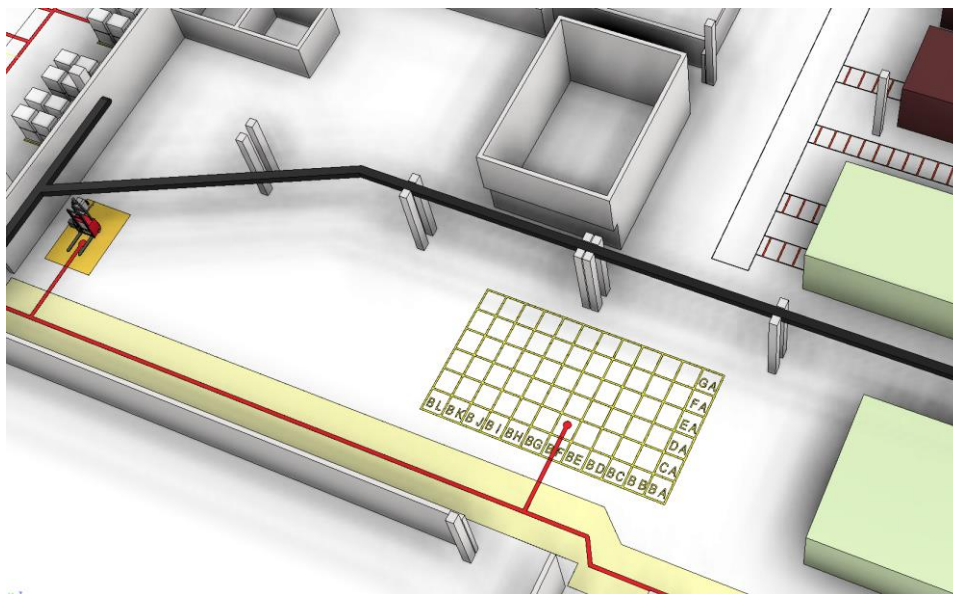


Jedním ze způsobů, jak očíslovat značky skladových uliček pro potenciální rozšíření, je začít s uličkou „BA“ a ne přímo „AA“, což umožňuje flexibilitu. Pokud by se musel sklad zvětšit, lze tak jednoduše navázat na zavedené značení. Uživatel po umístění manipulované jednotky pouze načte nebo zadá kód dané lokace do ručního terminálu HHT a systém dostane přesnou informaci o poloze SKU. Nakonec je nutné pro implementaci WMS každé logistické jednotce přiřadit identifikační systém logistických jednotek. Nejčastějším řešením je zavedení SSCC identifikátorů. [33]



Obrázek 37: Model skladu

Skladiště je modelováno podle aktuálního stavu ve společnosti. Obrázek 3 je fotografií přímo z místa v hale. Zde jsou stohy skládány po řadách okolo šesti. Sklady jsou rozmístěny podél hlavní trasy, viz obrázek 30. Značení lze využít jak pro sklady s materiálem, tak dedikované sklady prázdných klecí.

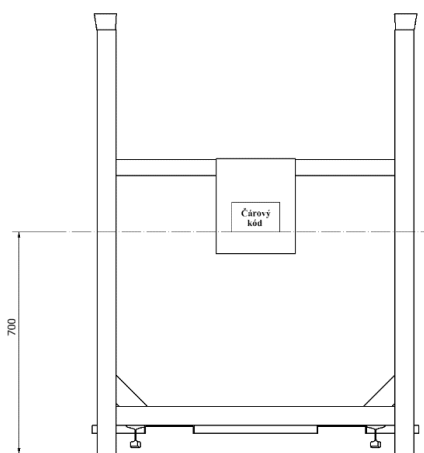


Obrázek 38: Umístění skladu v hale

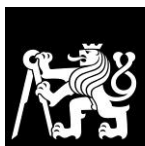
Hlavní sklad je umístěn ve vedlejší hale v blízkosti sušících pecí. Sem se bude přesouvat materiál z dočasného skladu.

### Čárový kód na klecích

Měl by být umístěn ve výšce cca 600 až 700 mm nad zemí, aby byl správně zaznamenán kamerou stroje. Obrázek 38 znázorňuje jeho umístění. Během operací ve společnosti je na klec umístěn kovový štítek s papírovým popisem. Je možné, že při provozu AGV bude muset být vytvořena stabilnější platforma pro umístění papíru s popisem a čárovým kódem.



Obrázek 39: Umístění čárového kódu



#### 4.6. Výrobci AGV vozíků

Automatizovaná vozidla (AGV) představují inovativní technologii v oblasti průmyslové automatizace, která se stává stále populárnější díky své schopnosti zlepšit efektivitu, produktivitu a bezpečnost v různých průmyslových odvětvích. Trh s AGV roboty je dynamický a rychle rostoucí, přičemž se očekává další značný růst v následujících letech. Trh je rozmanitý a každý výrobce má ve svém portfoliu řadu typů robotů na různé účely s různými typy navigace. V Čechách můžeme narazit na roboty společností:

- Jungheinrich
- Linde Handeling materials
- Toyota
- STILL
- Agilox
- EK robotick

#### Možnosti výběru stroje

Jelikož z možností implementace vychází nejlépe AGV robot s přirozeným viděním, limituje nám to možný výběr výrobců, protože ne všichni jím disponují. Jedná se tedy o výrobce Linde HM, Toyota, Agilox. Firmy mají větší počet typů strojů, ale porovnávány byly ty nejběžnější a nejpravděpodobněji použitelné ve firemním prostředí. Porovnávané parametry jsou nosnost, rychlost, velikost baterie, výška zdvihu, typ, rádius otáčení.

Tabulka 6: Tabulka Kritéria výrobců

| Značka   | Název         | Nosnost | Rychlost   | Baterie       | Výška zdvihu        | Provozní typ             | Rádius otáčení |
|----------|---------------|---------|------------|---------------|---------------------|--------------------------|----------------|
| Toyota   | SAE160        | 1,6 [t] | 2,2 [m/s]  | 24 / 300 V/Ah | 2263 nebo 4613 [mm] | Automatický/Ručně vedený | 1767 [mm]      |
| Linde HM | L-MATIC HD    | 1,6 [t] | 1,7 [m/s]  | 24 / 375 V/Ah | 2844 [mm]           | Automatický/Ručně vedený | 1712 [mm]      |
| Linde HM | R-MATIC       | 1,6 [t] | 1,95 [m/s] | 48/804 V/Ah   | 8255 [mm]           | Automatický/Manuální     | 1812 [mm]      |
| Agilox   | AGILOX OCF LC | 1,5 [t] | 1,4 [m/s]  | -             | 1270 nebo 1670 [mm] | Automatický              | 1700 [mm]      |



Všechny stroje mají možnost číst čárové kódy, ať už v základu, nebo jako samostatný přírůstek. Zvláštní schopnost vozíků od Toyoty je duální navigace, kdy jsou schopny navigovat se za pomoci laserové navigace a navigace pomocí přirozených orientačních bodů. Výhoda strojů od Linde je jejich využití ve firmě v manuální verzi. Závažný problém vyvstává se strojem firmy Agilox, jelikož požadovaná výška zdvihu není dostatečná pro stohování na vyšší klece.

Při rozhodování o optimálním AGV systému je klíčové zvážit i další technické a ekonomické faktory. Na společnost, která bude projekt implementovat, jsou kladeny nároky jako je vysoká spolehlivost, schopnost dodat referenční projekty, ale i schopnost dlouhodobé podpory a servisu, jelikož se pilotní projekt bude pravděpodobně rozšiřovat.

#### **4.7. Požadavky instalace**

Různé společnosti mají různé podmínky pro provoz AGV, přesto ale pro provoz AGV bude u všech podobný základ a nutné požadavky pro instalaci autonomních zařízení do provozu. Požadavky jsou pro AGV s přirozeným viděním.

##### **Komunikace**

Pro operování AGV je potřeba firemní Wifi s minimálním bandwidthem 1 MB/s. To je nutné zaručit po celém operačním prostoru vozítka, aby mohlo komunikovat s robot managerem. Linde handling materiál potřebuje standart IEEE.

Ovládání stroje může být prováděno za pomoci WMS, pokud má firma Sap nadstavbu WMS, tak vozík jezdí podle potřeby systému. Jinak ho ovládá ovládací systém.

Systémy ERP (Enterprise Resource Planning) umožňují komplexní plánování a koordinaci úkolů a zdrojů. Systémy WMS (Warehouse Management Systeme) zaznamenávají všechny vnitropodnikové pohyby zboží a zvyšují efektivitu v komplexním prostředí. Pro optimální automatizaci mohou AGV od společnosti Linde komunikovat se systémy ERP a WMS. [32]

##### **Dveře pro AGV**

Dveře na jízdní dráze AGV musí být vyšší o 150 mm od horní části vozidla, ať už je to navigační laser, nebo horní část palety. U dveří, které nejsou trvale otevřené, je nutné nainstalovat komunikační box zkráceně COMBOX. Potřebuje senzor zajišťující, zda jsou dveře zcela otevřené, když AGV projíždí. Systém přijímá signály. Pokud se robot přiblíží ke dveřím, pošle znamení pro otevření dveří. [32]



## **Podlaha**

Podlaha pro použití vozíků musí minimálně splňovat požadované normy dodavatele AGV. Roboti používají stejné dráhy, což může vést k předčasnému opotřebení podlah kvůli vysoké zátěži při opakovaném projetí jízdní dráhy. Společnost Linde HM doporučuje normu DIN EN 1991, oproti tomu podle společnosti Jungheinrich by podlaha měla vyhovovat normě DIN 18202:2013. [32]

Základní vlastnosti pro podlahu jsou:

- Jednoduché svahy směrem dolů a nahoru by neměly překročit sklon 3 %.
- Je požadován koeficient tření  $\mu \geq 0,6$  v případě, že materiál kola je z uretanového elastomeru nebo podobného.
- Spáry musí být omezeny na maximum 5 mm.
- Výškové převýšení u rovné podlahy by nemělo být více jak 10 mm na 4 metry dráhy.

Kvalita podlahy přímo ovlivní výsledky brzdových testů, které se provádí na začátku každého projektu. Z brzdového testu se zjistí, jakou rychlostí by mělo AGV jezdit, aby bylo zaručeno zastavení v dostatečné vzdálenosti při detekci překážky. Cesty by měly být trvale suché. Problém mokré podlahy u lisů bude ztráta tření. Třecí vlastnosti jsou velmi důležité pro brzdnou dráhu vozidel, tudíž bude potřeba snížit rychlost v oblasti před lisy, kde se vyskytují kaluže. Podlahy by měly být udržovány čisté a zbavené nečistot a prachu. Nadměrný prach nebo polévatý prach může způsobit falešné spuštění bezpečnostních laserů, což způsobí, že se robot zastaví. Podlaha ve společnosti není ideální, ale akceptovatelná. V okolí lisů bude doporučeno snížení rychlosti na například 0,75 m/s. [32]

## **Další podmínky pro implementaci**

- V hale by měla být relativní vlhkost v rozmezí mezi 45 až 90 procenty. U lisů by proto mělo proběhnout měření, jestli hodnoty nepřekónávají maximální hranici.
- Teplota, ve které může AGV operovat, je v rozmezí 0 až 40 °C.
- Koncentrace prachu by neměla být vyšší než umožňující normální provoz technických systémů.

[32]



#### **4.8. Bezpečnost ve firmě**

Sekce se zabývá doporučenými bezpečnostními prvky pro firmu RHI Magnesita Czechia. Systém AGV při správném dodržení pravidel bude bezpečnějším řešením než klasické stroje, ale je potřeba dávat pozor na odlišnosti. AGV je výkonný stroj, který pokud je špatně nastavený, může způsobit vážné škody nebo zranění. Důraz při bezpečnosti je kladen na školení zaměstnanců ohledně pohybu a dodržení bezpečnostních předpisů v okolí AGV. Úvodní proškolení společnost dostane od výrobce, ale o rozšíření a plnění se musí starat sama.

Nabíjecí stanice jsou rizikem z pohledu zvýšeného nebezpečí vzniku požáru, zkratu nebo výbuchu a je zde nutné počítat s vybudováním samostatného odděleného prostoru podle typu baterie.

Je nutné v provozu s pohybem osob zajistit dostatečnou odstupovou vzdálenost mezi vozíky, regály a průchody.

Bylo by vhodné v prostorách, kde se budou pohybovat autonomní stroje, nainstalovat cedule se značením jejich pohybu. Stroje by měly brát ohled na chodce, ale vyžadují přednost u protijedoucích vozíků. Na obrázku je příklad možného značení.



*Obrázek 40: Výstražná značka [34]*

#### **Přijetí lidmi**

Automatizace je velmi závislá na lidech, kteří jsou do ní zapojeni. Když lidé nebudou spolupracovat s AGV správným způsobem, tak systém selže. Lidé by například měli vždy umístit náklady na stejné místo nebo použít stejný postup. Vždy by se měla dodržovat pravidla související s prací s AGV. Problém může nastat, pokud by zaměstnanci účelově sabotovali stroje. Proto je nutné, aby lidé byli správně proškoleni a dodržovali disciplínu okolo strojů. [10]





#### 4.9. Dodatečná výbava stroje

Jelikož cesty jsou úzké, je nezbytné nakoupit stroje s bočními bezpečnostními senzory.

Další bezpečnostní prvek je takzvaný blue spot neboli modré světlo promítané strojem. Touto metodou jsou chodci i řidiči jiných vysokozdvizných vozíků varováni před blížícím se AGV.

Kvůli nestandardnímu nákladu je doporučeno nakoupit snímač polohování nákladu. Například stroje od Linde HM mají 3D kameru na sledování nákladu.



*Obrázek 41: Cesta ve skladu*

#### Šířka uličky

Ve společnosti je aktuální šířka cesty 2,4 m, šířka chodníku je jeden metr. Běžné AGV je okolo 0,8 až 1,2 metru široké, což s přičtením půl metru do stran dává dostatečnou vzdálenost pro bezpečnost. Pokud by se ulička v budoucnu rozšiřovala na cca 4 m bylo by možno vytvořit speciální pruh pro AGV, čímž by se zásadně zvýšila propustnost vysokozdvizných vozíků. Rozšíření není možné v celé dráze, ale implementace rozšíření i v částečné délce umožní lepší průjezd na trasách v hale.



## 5. Technicko-ekonomické zhodnocení

Jedním z hlavních cílů diplomové práce je ukázat, jak může být AGV využito v praxi. Práce analyzuje řadu aspektů spojených s AGV, ať už jde o vlastnosti různých typů AGV, nebo problematiku jejich implementace v prostředí konkrétní firmy. Bylo třeba se seznámit s technologickými hledisky implementace, jako je řízení, navádění, navigace, vyhýbání se překážkám, bezpečnost, baterie a jejich nabíjení. Byly vybrány tři technologie, které by mohly ve firmě nahradit manuální stroje. Pro ně bylo vypracováno shrnutí s jejich výhodami a nevýhodami.

Pro připomenutí je přiložena tabulka hodnocení kritérií z kapitoly 4.1. Vícekriteriální rozhodování variant AGV, z níž vychází rozhodnutí k vybrání nejlepší technologie. Slovně popisuje vlastnosti jednotlivých technologií.

Tabulka 7: Hodnocení kritérií

| Váha kritéria | AGV alternativy<br>Kritéria | podjezdové (QR navigace) AGV | laserové AGV | SLAM (přirozené vidění) AGV |
|---------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|-----------------------------|
| 10%           | komplexita instalace        | špatná                       | dobrá        | excelentní                  |
| 15%           | flexibilita                 | špatná                       | špatná       | excelentní                  |
| 5%            | cena instalace              | špatná                       | dobrá        | excelentní                  |
| 15%           | přesnost                    | špatná                       | excelentní   | dobrá                       |
| 15%           | cena vozidla                | excelentní                   | dobrá        | špatná                      |
| 15%           | schopnost stohování         | žádná                        | je možná     | je možná                    |
| 10%           | údržby instalace            | excelentní                   | dobrá        | excelentní                  |
| 15%           | spolehlivost technologie    | dobrá                        | excelentní   | dobrá                       |

- **AGV s laserovou navigací**

AGV jsou vysoce přesné díky své navigaci. Pro operaci stohování, která vyžaduje velice přesné dosedy, by tato vlastnost byla užitečná. Ve společnosti RHI Magnesita Czechia by však bylo komplikované instalovat reflexní zařízení nutné pro jejich navigaci. Dalším negativem je jejich menší flexibilita. Proto z vícekriteriálního rozhodování metoda vyšla až za AGV s přirozeným viděním.





- **AGV s navigací pomocí přirozeného vidění**

Tyto stroje jsou díky svým senzorům nejdražší řešení, přesto vyšly z vícekritériální metody nejlépe. Důvod byl hlavně díky jejich flexibilitě a jednoduchosti instalace. Instalace teoreticky nevyžaduje žádné orientační prvky. Do prostoru je možné umístit orientační odrazové plochy pro přesnější provoz.

- **AMR podjezdový vozík**

Podjezdové AMR má nejvíce problémů s implementací. Stroje jsou omezené z hlediska možnosti nakládání a vykládání. Technologie nedokáže stohovat a měla by problémy s transportem klecí, jelikož podjezdové vozíky potřebují buď dostatečnou výšku nohou, podložku, nebo koleje, do kterých budou paletu vkládat. To by vyžadovalo velkou úpravu skladu. Další nevýhodou těchto strojů je navigace pomocí QR kódů na podlaze. Tato metoda navigace je nepřesná a vyžaduje udržování podlahy. Technologie je oproti všem ostatním nejlevnější a s nejnižšími náklady na údržbu.



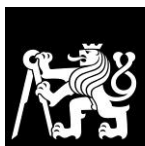
## **Shrnutí**

Dle uvedených údajů, informací a výsledků z metod vícekritériálního hodnocení bodovou metodou vychází jako nejlepší možné řešení implementace AGV s přirozeným viděním SLAM. Metoda vychází nejlépe díky tomu, že nepotřebuje náročnou instalaci. Pouze pokud senzory nebudou schopny dosáhnout dostatečné přesnosti, bude potřeba na určitých místech instalovat bílé odrazové plochy. Přes tuto nevýhodu se technologie AGV s přirozeným viděním jeví jako nejvhodnější pro implementaci ve společnosti.

V rámci pilotního projektu chce společnost instalovat automatické dobíjení. Je na zvážení, jestli by pro jeden stroj nestačilo přikoupit výměnné baterie. Je doporučeno zakoupit AGV systém od společnosti Linde HM, jelikož společnost má s firmou zkušenosti a operuje jejich manuální stroje. Při správném zavedení této automatizované technologie by společnost měla přemýšlet o celkovém nahrazení veškerého zásobování, jelikož po dosažení kritické hodnoty automatizace se výhody zvýrazní a podtrhnou celkový přínos investice.

Při výpočtu dimenzování počtu potřebných strojů vyšlo, že na obsluhu lisů postačí pouze jeden stroj. Hodnoty ve výpočtu byly zvoleny tak, aby nebyl vyhodnocen nedostatečný počet strojů. V požadavcích na instalaci byly stanoveny nutné podmínky, které musí společnost splnit, aby bylo možné provést implementaci AGV. Podlahy se musí zkontrolovat na široké spáry, internet bude muset být ověřen, aby snesl zátěž a u lisů bude muset být provedena zkouška vlhkosti, aby se zaručily podmínky výrobce. Nakonec bylo vypracováno doporučení pro bezpečnost ve společnosti.

Nasazení systému automatické manipulace pro dodávaný materiál znamená pro společnost hned několik výhod. Zvýší bezpečnost, zefektivní přepravu, vzroste schopnost sledování materiálu po skladu bez přímé obsluhy personálu a v neposlední řadě sníží přímé mzdové náklady. AGV také zvyšuje kvalitu přepravního procesu i stabilitu procesu. Oba faktory mohou snížit náklady. Rozbor a zhodnocení nákladů a úspor je uveden v následující podkapitole.



## 5.1. Ekonomická analýza

Analýza finančních dopadů ve společnosti RHI Magnesita Czechia je nedílnou a podstatnou součástí rozhodovacího procesu. Od automatizace se očekává pozitivní ekonomický přínos. Pilotní projekt obvykle provází vyšší počáteční investiční výdaje do vlastní technologie, ale i do dalších nezbytných souvisejících oblastí, jako jsou například automatické nabíjecí stanice. Dále budou potřeba investice do stabilnější Wifi sítě (pro pokrytí řídicího signálu) a možná i do oprav podlah pro hladkou jízdu. Tyto náklady nelze vždy přesně vyčíslit. Vedlejší investice (tj. vícenáklady) nebyly v této studii zohledněny. Předpokladem je, že tyto související investice přinesou přínos až při dalším rozšiřování robotizace či jiné automatizace, a jsou nezbytné pro další rozvoj společnosti.

Počáteční investice do AGV vozidla jsou vždy ve srovnání s klasickými vysokozdvihnými vozy výrazně finančně nákladnější. V autonomní verzi stojí kolem dvou až tří milionů korun. Další finančně významnou položkou je i cena softwaru, která dle komplexity může cenu dále výrazně navyšovat.

Celková cena implementace AGV je závislá i na dalších faktorech, hlavně na rozsahu projektu. Výhodou AGV s přirozenou navigací proti AGV s navigací pomocí laseru je, že odpadají výdaje na instalaci navigace. Součástí investičních nákladů je SW úprava týkající se naprogramování cest a řízení operací WMS. Cena automatizované online nabíjecí stanice se pohybuje od 50 tisíc korun (+ stavební výdaje). Cena ostatních periférií není započítána, ale jejich cena může projekt prodražit, například pokud se firma rozhodne pořídit automatizované dveře, či jiné signální zařízení a bezpečnostní prvky.

Ekonomické dopady by stanoveny přírůstkovou (marginální) metodou – tj. byly vyčísleny marginální investiční výdaje proti úsporám nákladů při stávajícím stavu.

Tabulka 8: Investiční výdaje

|                   |   |           |                |
|-------------------|---|-----------|----------------|
| Pořizovací výdaje | Požizovací Cena AGV (včetně dopravy)                    | 2 500 000 | [Kč/stroj]     |
|                   | Cena softwaru   | 300 000   | [Kč]           |
|                   | Cena instalace (konfigurace WMS...)                     | 400 000   | [Kč]           |
|                   | Projektové náklady (stavební přípravy, řízení projektu) | 250 000   | [Kč]           |
| Provozní náklady  | Cena údržby AGV strojů za rok                           | 90 000    | [Kč/rok/stroj] |
|                   | Vícenáklady nespécifikované (plánovač, dohled atd.)     | 180 000   | [Kč/rok]       |
|                   | *Ceny nákladů na energie jsou srovnatelné               |           |                |
|                   | *Způsob financování není upřesněn, inflace nezohledněna |           |                |

Tabulka je pro náklady na AGV – zvažovaná pilotní varianta

Ostatní předpoklady:

- Životnost – srovnatelná s manuálním strojem



- Dopady na životní prostředí – nevyčísleny (ve prospěch AGV)

Tabulka 9: Úspory – stávající technologie

|                   |   |         |            |
|-------------------|---|---------|------------|
| Pořizovací výdaje | Cena klasického vysokozdvizného stroje*         | 400 000 | [Kč]       |
|                   | Počet klasických vysokozdvizných strojů         | 1       |            |
| Provozní náklady  | Mzdové náklady na operátora (mzda, SP+ZP)       | 54 000  | [Kč/měsíc] |
|                   | Počet operátorů/směnu                           | 1       |            |
|                   | Počet směn                                      | 2       |            |
|                   | Vícenáklady (školení, prostoje)                 | 50 000  | [Kč/rok]   |
|                   | Údržba klasických vysokozdvizných strojů za rok | 30 000  | [Kč/stroj] |
|                   | *bude využit jinde                              |         |            |

Tabulka je vypracovaná pro manuální stroj, tj. stávající technologie (bude nahrazena). S inflací nebylo počítáno, ale jelikož je stále nízká nezaměstnanost, můžeme předpokládat, že náklady na zaměstnance porostou. Tím zapříčiní, že AGV budou více výhodná alternativa.

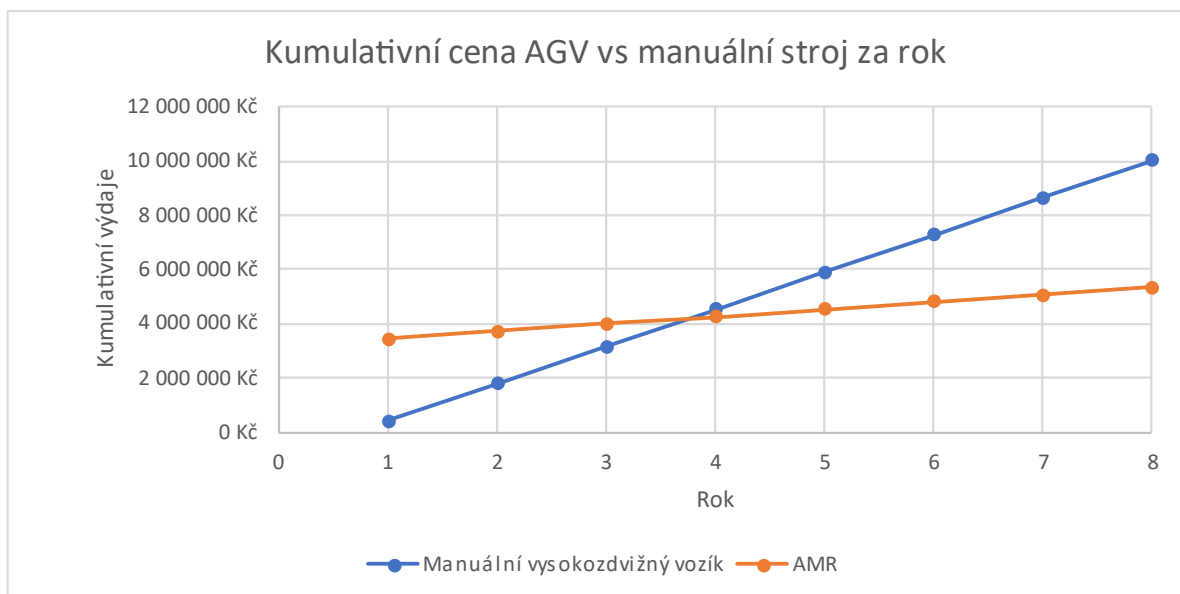
## 5.2. Návratnost investice

Návratnost investice pro daný případ je vypočítána jako porovnání aktuálního manuálního stavu s investicí do AGV. Pro lepší představu je návratnost investice vyobrazena v grafu s kumulativními cenami.

Tabulka 10: Porovnání během let

|       | Manuální vysokozdvizný stroj |  |                 | AGV stroj    |  |                |
|-------|------------------------------|--|-----------------|--------------|--|----------------|
|       | Roční výdaje                 |  | Kumulativně     | Roční výdaje |  | Kumulativně    |
| Rok 0 | 400 000                      |  | 400 000 [Kč]    | 3 450 000    |  | 3 450 000 [Kč] |
| Rok 1 | 1 376 000                    |  | 1 776 000 [Kč]  | 270 000      |  | 3 720 000 [Kč] |
| Rok 2 | 1 376 000                    |  | 3 152 000 [Kč]  | 270 000      |  | 3 990 000 [Kč] |
| Rok 3 | 1 376 000                    |  | 4 528 000 [Kč]  | 270 000      |  | 4 260 000 [Kč] |
| Rok 4 | 1 376 000                    |  | 5 904 000 [Kč]  | 270 000      |  | 4 530 000 [Kč] |
| Rok 5 | 1 376 000                    |  | 7 280 000 [Kč]  | 270 000      |  | 4 800 000 [Kč] |
| Rok 6 | 1 376 000                    |  | 8 656 000 [Kč]  | 270 000      |  | 5 070 000 [Kč] |
| Rok 7 | 1 376 000                    |  | 10 032 000 [Kč] | 270 000      |  | 5 340 000 [Kč] |

U AGV hlavní náklad přichází na počátku investice. Odhadovaná částka je nepřesná a může být navýšena buď nákupem systému navíc, nebo zakoupením dražšího modelu vozíku.



Obrázek 42: Graf porovnání manuální a AGV

Velký dopad na návratnost má cena údržby AGV. Jelikož v literatuře je rozptýl hodnot, které může nabírat, zvolil jsem 0,025násobek ceny počáteční investice. Další velký dopad má počet směn výroby. Zatím se počítá s nasazením AGV pouze ve dvou ze tří pracovních směn. I přes tuto skutečnost má AGV velice zajímavou dobu návratnosti investice. Ta se v tomto případě pohybuje kolem třech a půl roku. Kdyby se počítalo s třísměnným provozem, tak by se doba návratnosti zkrátila na cca dva roky. Je tu ale možnost, že celkové náklady budou vyšší, než zde uvedené, jelikož nejsou započítány všechny potencionální náklady, jako například zavádění WMS do provozu a vylepšení sítě Wifi. Ty jsou brány jako nutné, ale nevztahují se přímo k instalaci autonomního stroje.

Důležitou součástí ekonomičnosti systému AGV jsou nepřímé zisky, se kterými aktuální kalkulace nepočítá. Například podle GE digital je chyba uživatele častější příčinou neplánovaných odstávek ve výrobním sekt než téměř v jakémkoli jiném sektoru. Neplánované prostoje způsobené chybou uživatele jsou 23 % ve srovnání s pouhými 9 % v jiných sektorech. [35]



### 5.3. Rizika projektu

Nevýhoda pilotního projektu spočívá v nákupu jediného stroje. Pokud bude poškozen, nebude existovat možnost jeho nahrazení z flotily ostatních, a pokud manuální stroj nebo jeho obsluha nebude dostupná, může to způsobovat problémy.

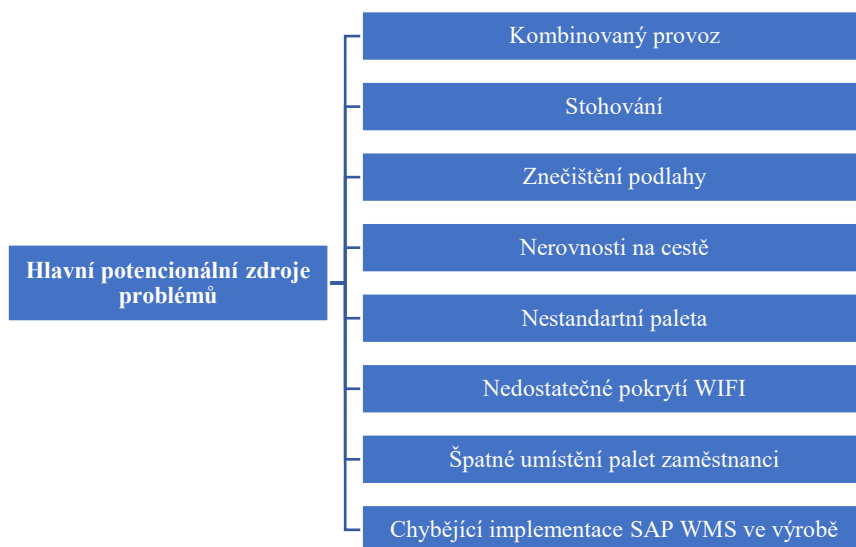
Další velký problém může způsobit stohovatelnost. Chybovost se může projevit až v okamžiku praktické zkoušky. Klece pro dopravu cihel mají výhodu tuhosti, jelikož u měkkých manipulačních jednotek je problém se sléháním.

Ve společnosti se nepoužívají standartní europalety, pro které jsou automatické vozíky přizpůsobeny. To nemusí komplikovat automatizaci, ale musí se s tím počítat. Musí se dobře nastavit senzory strojů, aby je správně registrovaly, jelikož se senzory obvykle kalibrují na prostřední část europalety.

Smíšený provoz není problém, pokud jsou zaměstnanci ochotni spolupracovat s AGV. To je důležité, protože ruční vysokozdvizné vozíky musí být podřízeny pravidlům AGV (nedodržování těchto pravidel ohrožuje úspěšný provoz AGV). V procesu s časovým tlakem a mnoha vysokozdviznými vozíky se však doporučuje oddělení jejich pracovních pruhů. Bohužel to ve firmě kvůli malému prostoru není všude možné.

Zaměstnanci jsou odpovědní za to, aby v případě poruchy zasáhli a vozidlo znovu rozjeli.

Zabezpečení systému je dalším technologickým aspektem, protože vozidla musí být chráněna před hackery, aby bylo zajištěno bezpečné fungování autonomního řízení vozidla a nemohlo být s vozy AGV manipulováno.



Obrázek 43: Zdroj problémů při implementaci AGV



## Závěr

V rámci diplomové práce byla vypracována optimalizace úseku interní logistiky výrobního závodu pro společnost RHI Magnesita Czechia. Práce obsahuje návrh automatizace úseku výroby za pomoci autonomních vozíků AGV. Cíl společnosti je nahrazení manuálních strojů robotickými a postupná automatizace logistických procesů ve společnosti. Automatizace zvýší bezpečnost, přesnost převozů a sníží výdaje. V první části této práce je shrnut stručný úvod do logistiky s průnikem do průmyslu 4.0, metody Just in Time a shrnutí informací ohledně AGV a AMR robotů.

Druhá část práce se zabývá analýzou optimalizovaného úseku. Na základě analýzy společnosti byly navrženy tři možné volby technologií. Za tyto technologie byly zvoleny laserově navigované AGV stroje, vozíky s přirozeným viděním a podjezdové stroje. Pro vybrané možnosti bylo vypracováno vícekritériální hodnocení variant bodovou metodou. Z tří možných řešení pro implementaci vyplynulo, že nejvhodnější je technologie AGV s navigací přirozeného vidění. Následně byl vypracován návrh implementace včetně grafického znázornění výrobní haly společnosti. Byla vypracována srovnávací tabulka se stroji výrobců a jejich porovnání. Na základě komunikace s výrobcem strojů byly zformulovány požadavky na instalaci. Nakonec bylo zpracováno technicko-ekonomické vyhodnocení projektu – počet požadovaných AGV, kapacita AGV, zatížení, příkazy AGV a úpravy v místě nakládky. Na základě zhodnocení bylo stanoveno jako dostatečné pořízení jednoho stroje pro obsluhu výroby z lisů. Orientační výsledky ukazují návratnost v krátkém časovém úseku okolo tří let. Celý projekt je dobré považovat za pilotní projekt pro ověření funkčnosti a spolehlivosti technologie s vizí eventuálního rozšíření do další části závodu.

Přednosti AGV spočívají v provozu ve standardizovaných a nepřetržitých procesech. Společnost uvažuje provozovat stroje ve dvou směnách ze tří. Pokud by se ale podařilo nasazení ve všech směnách, značně by se urychlila návratnost. Vzhledem k vlastnostem AGV je vhodné zvážit zavedení paralelní cesty pro stroje. Zkušenosti z jiných podniků ukazují na rizika přístupu ze strany řidičů vůči strojům AGV, které pak způsobují prostoje. Další implementaci AGV by bylo vhodné zavádět po individuálních úsecích, z počátku primárně v blízkosti dobíjecí stanice.

S nasazením AGV musí přijít také implementace WMS do výroby, aby se využilo plného potenciálu technologie, což přináší ale také úpravu výrobních pozic. Implementace technologie AGV klade organizační, časové i finanční nároky, avšak výhody, které poskytuje, tyto nároky vykompenzují. Výsledky práce ukazují přednosti zavedení automatizovaného řešení logistiky. Pokud se pilotní projekt podaří implementovat v podmínkách společnosti, otevře to dveře širší automatizaci v rámci celé společnosti.



## Bibliografie

- [1] Klabusayová, Naděžda. Logistika. [Online] 2019. [Citace: 5. 2 2024.] <https://www.vovcr.cz/portal/topic/409.978-80-88418-15-3>.
- [2] Co je to výrobní logistika? Bito. [Online] 2024. [Citace: 10. 3 2024.] <https://www.bito.com/cs-cz/odbornost/artikel/co-je-to-vyrobní-logistika/>.
- [3] Černý, Josef. Jak zlepšovat interní logistiku výrobního podniku. systemonline. [Online] 10 2014. [Citace: 4. 2 2024.] <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/jak-zlepsovat-interni-logistiku-vyrobního-podniku.htm>.
- [4] Toman, Pavel. Štíhlá logistika šetří práci i náklady. logistika. [Online] 31.. 8. 2020. [Citace: 10. 4 2024.] <https://logistika.ekonom.cz/c1-66807380-stihla-logistika-setri-praci-i-naklady>.
- [5] Roser, Christoph. What Is “Just in Time”? allAboutLean. [Online] 20. 6 2016. [Citace: 18. 1 2024.] <https://www.allaboutlean.com/what-is-just-in-time/>.
- [6] prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D. logistické a přepravní technologie. Pardubice : TRIBUN EU s.r.o., 2014. 978-80-263-0710-5.
- [7] Roser, Christoph. AllAboutLean. Industry 4.0 – What Works, What Doesn't. [Online] 3. 10 2017. [Citace: 25. 9 2023.] <https://www.allaboutlean.com/industry-4-0-potentials/>.
- [8] Kolektiv autorů, pod vedením prof. Vladimíra Maříka. NÁRODNÍ INICIATIVA PRŮMYSL 4.0. svaz průmyslu a dopravy české republiky. [Online] 3. 2 2016. [Citace: 21. 9 2023.] [https://www.spcr.cz/images/2015\\_02\\_03\\_Prumysl\\_4\\_0\\_FINAL.PDF](https://www.spcr.cz/images/2015_02_03_Prumysl_4_0_FINAL.PDF).
- [9] Schwob, Rostislav. Automatizace interní logistiky. systemonline. [Online] 1. 2 2020. [Citace: 15. 4 2024.] <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/automatizace-interni-logistiky.htm>.
- [10] Tell, Alfredo Pastor. What the heck is an automated guided vehicle? [E-kniha] místo neznámé : AGV network.
- [11] 20 Warehouse Automation Trends in 2024 to stay ahead. AGV network. [Online] <https://www.agvnetwork.com/warehouse-automation-trends>.
- [12] Juránek, Ing. Zdeněk. BOZP PROFÍ.cz. Stohování. [Online] 16. 1 2020. [Citace: 20. 1 2024.] <https://www.bozpprofi.cz/33/stohovani-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4ElMrKgIu0xQ7NhUMN-nlCZukukZUzLWmsA/>.
- [13] KUKA . KUKA Mor-Tech HD2500 Automated guided cart. [Online] [Citace: 10. 1 2024.] [https://www.kuka.com/en-us/products/amr-autonomous-mobile-robotics/mobile-platforms/kuka-mor-tech-autonomous-guided-carts/kuka-mor-tech\\_mk2500-agc](https://www.kuka.com/en-us/products/amr-autonomous-mobile-robotics/mobile-platforms/kuka-mor-tech-autonomous-guided-carts/kuka-mor-tech_mk2500-agc).
- [14] Automatic Transport with Compact Tugger AGVs Delivers Manufacturing Productivity. Dematic. [Online] [Citace: 25. 1 2024.] <https://www.dematic.com/en-mx/insights/case-studies/automatic-transport-with-compact-tugger-agvs--delivers-manufactu/>.
- [15] C3-14 Single conveyor deck load AGV. casun. [Online] [Citace: 22. 1 2024.] <https://www.casun-agv.com/products/c3-14-monolayer-sigle-station-load-shifting-agv/>.
- [16] Tella, Alfredo pastor. what can Warehouse AGV do? Types and Tasks. agvnetworks. [Online] 2024. [Citace: 8. 1 2024.] <https://www.agvnetwork.com/warehouse-autonomous-mobile-robot-amr-in-ecommerce>.





- [17] Tella, Alfredo Pastor. AGV sensors - The eyes and ears of mobile robots. agv network. [Online] 2024. [Citace: 15. 2 2024.] <https://www.agvnetwork.com/mobile-robot-sensors-agv-amr>.
- [18] Automatizace opakující se manipulace palet. Toyota. [Online] 2024. [Citace: 22. 1 2024.] [https://toyota-forklifts.cz/automatizovane-agv-voziky/automatizovane-skladove-voziky/?\\_gl=1\\*h4dx9e\\*\\_up\\*MQ..&gclid=CjwKCAiAt5euBhB9EiwAdkXWO4-IBdgaYe0tF8x7yb0kQsLkpDxXnhD17RMV6gLflDaWsM5hD0WfGRoCfgoQAvD\\_BwE](https://toyota-forklifts.cz/automatizovane-agv-voziky/automatizovane-skladove-voziky/?_gl=1*h4dx9e*_up*MQ..&gclid=CjwKCAiAt5euBhB9EiwAdkXWO4-IBdgaYe0tF8x7yb0kQsLkpDxXnhD17RMV6gLflDaWsM5hD0WfGRoCfgoQAvD_BwE).
- [19] Tella, Alfredo Pastor. LGV Vehicel. What is a laser Guided Vehicle. AGV networks. [Online] 2024. [Citace: 15. 2 2024.] <https://www.agvnetwork.com/what-is-a-laser-guided-vehicle-lgv>.
- [20] Why SLAM Matters. mathworks. [Online] 2024. [Citace: 3. 2 2024.] <https://www.mathworks.com/discovery/slam.html>.
- [21] Tella, Alfredo Pastor. What is an AMR robot? REVOLUTION Autonomous Mobile Robot. agvnetwork. [Online] 2024. [Citace: 20. 1 2024.] <https://www.agvnetwork.com/autonomous-mobile-robots-explained-amr>.
- [22] Hand-Held Terminals. Sapio Solutions. [Online] [Citace: 20. 6 2024.] <https://sapiosolutions.com/hand-held-terminals.html>.
- [23] Forklift Accident Statistics. Safety in Numbers. [Online] [Citace: 5. 2 2024.] <https://www.safetyinnumbers.ca/wp-content/uploads/2018/04/Forklift-Accident-Statistics-2018.pdf>.
- [24] Martin Kidman, Ph.D. ISO 3691-4:2020 – A new standard for industrial driverless trucks. linkedin. [Online] 10. 7 20. [Citace: 27. 4 2024.] <https://www.linkedin.com/pulse/iso-3691-42020-new-standard-industrial-driverless-kidman-phd/>.
- [25] Protecting automated guided vehicles (AGVs). Sick. [Online] 2024. [Citace: 28. 3 2024.] <https://www.sick.com/at/en/industries/consumer-goods/food-beverage-and-consumer-care/end-of-line-packaging/protecting-automated-guided-vehicles-agvs/c/p514344>.
- [26] Drabek, Christian. Automated Guided Vehicles. Fraunhofer IKS. [Online] 5. 8 2021. [Citace: 22. 6 2024.] <https://safe-intelligence.fraunhofer.de/en/articles/how-robots-in-warehouses-operate-safely-and-efficiently>.
- [27] ELOshield proximity detection system. Elokon. [Online] 2024. [Citace: 28. 3 2024.] <https://www.elokon.com/en-US/material-handling/eloshield-vehicle-pedestrian-proximity-detection>.
- [28] PD refractories. [Online] [Citace: 24. 10 2023.] <http://www.pd-refractories.cz/en/>.
- [29] Nuno CorreiaLeonor, TeixeiraLeonor Teixeira, Ana Luísa Ferreira Andrade Ramos. ReaserchGate. Implementing an AGV System to Transport Finished Goods to the Warehouse. [Online] únor 2020. [Citace: 5. 10 2023.] [https://www.researchgate.net/publication/340060714\\_Implementing\\_an\\_AGV\\_System\\_to\\_Transport\\_Finished\\_Goods\\_to\\_the\\_Warehouse.10.25046/aj050231](https://www.researchgate.net/publication/340060714_Implementing_an_AGV_System_to_Transport_Finished_Goods_to_the_Warehouse.10.25046/aj050231).
- [30] Soukopová, Jana. Přednáška - Vícekriteriální metody. MUNI. [Online] [Citace: 19. 3 2024.] [https://is.muni.cz/el/1456/jaro2013/MPV\\_VZVP/um/31766814/Vicekriterialni\\_metody\\_hodnoceni\\_1.pdf](https://is.muni.cz/el/1456/jaro2013/MPV_VZVP/um/31766814/Vicekriterialni_metody_hodnoceni_1.pdf).



- [31] Tella, Alfredo Pastor. AGV navigation. agvnetwork. [Online] 2024. [Citace: 20. 3 2024.] <https://www.agvnetwork.com/types-of-navigation-systems-automated-guided-vehicles>.
- [32] HM, Linde. standards for Automated Guided Vehicle. [firemní dokument] 2022.
- [33] Tips for Effective Warehouse Numbering Schemes. ID LABEL. [Online] 2024. [Citace: 20. 1 2024.] <https://idlabelinc.com/tips-for-effective-warehouse-numbering-schemes/>.
- [34] POZOR, AUTOMATICKÝ VOZÍK (AGV). grafiko. [Online] 2024. [Citace: 18. 1 2024.] <https://www.grafiko.cz/pozor-automaticky-vozik-agv-p-9368/>.
- [35] Survey: Human Error Common Cause Of Unplanned Downtime. manufacturing. [Online] 7. 11 2017. [Citace: 14. 1 2024.] <https://www.manufacturing.net/operations/article/13195629/survey-human-error-common-cause-of-unplanned-downtime>.
- [36] Over 100 Years of Keeping You Safe: The Linde Story. linde HM. [Online] 2024. [Citace: 12. 4 2024.] <https://lindemh.com.au/about-linde/knowledge-and-information-hub/news/over-100-years-of-keeping-you-safe-the-linde-story>.
- [37] Průmyslová parabolická zrcadla. Aledo. [Online] [Citace: 10. 4 2024.] <https://aledo.cz/parabolicka-zrcadla/>.
- [38] seit. ZlínROBOTICS. [Online] [Citace: 5. 1 2024.] <https://www.zlinrobotics.com/amr-milvus-en>.
- [39] Převavní systémy bez řidiče (AGV). linde. [Online] Linde HM. [Citace: 9. 6 2024.] [https://www.linde-mh.cz/cs/Intralogistika/Roboticke-voziky-\(AGV\)/Prepravni-systemy-bez-ridice/](https://www.linde-mh.cz/cs/Intralogistika/Roboticke-voziky-(AGV)/Prepravni-systemy-bez-ridice/).
- [40] Automated Guided Vehicles (AGV). jungheinrich. [Online] [Citace: 9. 6 2024.] <https://www.jungheinrich.in/systems/driverless-transport-systems/automated-guided-vehicles>.



## Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 1: Rozdělení podnikové logistiky .....                                      | 4  |
| Obrázek 2: Zásoby v procesu – porovnání klasického skladování a při JIT[5].....     | 7  |
| Obrázek 3: Blokové stohování .....  | 12 |
| Obrázek 4: Rozdělení AGV.....   | 13 |
| Obrázek 5: AGC vozík [13].....  | 13 |
| Obrázek 6: AGV tahač [14].....  | 14 |
| Obrázek 7: AGV přepravník [15].....   | 15 |
| Obrázek 8: AGV systém.....  | 16 |
| Obrázek 9: Rozdělení senzorů.....   | 17 |
| Obrázek 10: Čelní detekce překážek nad úroveň podlahy [18] .....                    | 17 |
| Obrázek 11: Typy navigace AGV.....  | 19 |
| Obrázek 12: Nejběžnější reflektory ploché a válcové [19] .....                      | 19 |
| Obrázek 13: Jak vypadá SLAM navigace [20].....                                      | 21 |
| Obrázek 14: Hand-Held Terminal [22].....  | 25 |
| Obrázek 15: Aktivní a pasivní prvky bezpečnosti .....                               | 28 |
| Obrázek 16: Ochranná pole stroje [25] .....   | 29 |
| Obrázek 17: Konflikt mezi lidským pracovníkem a vozidlem v tovární hale. [27] ..... | 30 |
| Obrázek 18: Varovný projektor [36].....   | 30 |
| Obrázek 19: Parabolické zrcadlo [37] .....  | 30 |
| Obrázek 20: Závod Svitavy [28] .....  | 34 |
| Obrázek 21: Oblast automatizace.....  | 36 |
| Obrázek 22: Technologický proces výroby .....                                       | 37 |
| Obrázek 23: Model klece používané ve společnosti .....                              | 38 |
| Obrázek 24: AGV s laserovou navigací [39].....                                      | 41 |
| Obrázek 25: SLAM (přirozené vidění) AGV [40] .....                                  | 41 |
| Obrázek 26: AGV s kolejiemi pro vyložení [38].....                                  | 42 |
| Obrázek 27: Seznam operací optimalizovaného úseku .....                             | 46 |
| Obrázek 28: Diagram operací AGV stroje .....  | 48 |
| Obrázek 29: Seznam prací AGV .....  | 49 |
| Obrázek 30: Model haly 1 .....  | 50 |
| Obrázek 31: Model haly 2 z horního pohledu .....                                    | 51 |
| Obrázek 32: 3D model haly.....  | 52 |
| Obrázek 33: Zaparkované pozice AGV [32].....  | 53 |
| Obrázek 34: Model místa na dobíjení .....   | 54 |
| Obrázek 35: Model odběrového místa .....  | 55 |
| Obrázek 36: Detail odběrového místa .....   | 56 |
| Obrázek 37: Model skladu .....  | 57 |
| Obrázek 38: Umístění skladu v hale.....   | 58 |
| Obrázek 39: Umístění čárového kódu .....  | 58 |
| Obrázek 40: Výstražná značka [34] .....   | 62 |
| Obrázek 41: Cesta ve skladu .....   | 63 |
| Obrázek 42: Graf porovnání manuální a AGV .....                                     | 69 |
| Obrázek 43: Zdroj problémů při implementaci AGV.....                                | 70 |



## Seznam tabulek

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 1: Výpočet počtu potřebných strojů..... | 40 |
| Tabulka 2: Počet potřebných strojů.....         | 40 |
| Tabulka 3: Hodnocení kritérií.....              | 44 |
| Tabulka 4: Kritéria s přepočítanými body.....   | 45 |
| Tabulka 5: Značení ve skladu.....               | 56 |
| Tabulka 6: Tabulka Kritéria výrobců.....        | 59 |
| Tabulka 7: Hodnocení kritérií.....              | 64 |
| Tabulka 8: Investiční výdaje.....               | 67 |
| Tabulka 9: Úspory – stávající technologie.....  | 68 |
| Tabulka 10: Porovnání během let.....            | 68 |