

Vysoká škola logistiky o.p.s.

Implementace AGV systému do
existujícího logistického procesu

(Diplomová práce)



Vysoká škola
logistiky
o.p.s.

Zadání diplomové práce

student	Bc. Martin Soukal
studijní program	Logistika

Vedoucí Katedry magisterského studia Vám ve smyslu čl. 22 Studijního a zkušebního řádu Vysoké školy logistiky o.p.s. pro studium v navazujícím magisterském studijním programu určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Implementace AGV systému do existujícího logistického procesu**

Cíl práce:

Zhodnotit stávající logistický proces distribuce prázdných obalů ve vybrané společnosti a zpracovat návrh pro implementaci AGV systému.

Zásady pro vypracování:

Využijte teoretických východisek oboru logistika. Čerpejte z literatury doporučené vedoucím práce a při zpracování práce postupujte v souladu s pokyny VŠLG a doporučeními vedoucího práce. Části práce využívající neveřejné informace uveďte v samostatné příloze.

Diplomovou práci zpracujte v těchto bodech:

Úvod

1. Teoretická východiska AGV systému
2. Analýza logistického procesu
3. Návrh implementace AGV systému do existujícího logistického procesu
4. Zhodnocení návrhu

Závěr

Rozsah práce: 55 – 70 normostran textu

Seznam odborné literatury:

CLAUER, Dana a Johannes FOTTNER. Einsatz von autonomen Transportsystemen auf dem Werksgelände: Aktueller Umsetzungsstand und Handlungsbedarf. Garching bei München: Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, 2019. ISBN 978-3-941702-99-8.

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

GÜNTER, Ullrich. Automated Guided Vehicle Systems: A Primer with Practical Applications. Heidelberg: Springer Berlin, 2015. ISBN 978-3-662-44814-4.

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Gabriel Fedorko, PhD.

Datum zadání diplomové práce:

31. 10. 2022

Datum odevzdání diplomové práce:

6. 5. 2023

Přerov 31. 10. 2022

Ing. Blanka Kalupová, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D.
rektor

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní, a že jsem ji vypracoval samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, a že jsem v práci neporušil autorská práva ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb.; o autorském právu, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

Prohlašuji, že jsem byl také seznámena s tím, že se na mou diplomovou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 60 – školní dílo. Beru na vědomí, že Vysoká škola logistiky o.p.s. nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro pedagogické, vědecké a prezentační účely školy. Užiji-li svou diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat předtím o této skutečnosti prorektora pro vzdělávání Vysoké školy logistiky o.p.s.

Prohlašuji, že jsem byl poučena o tom, že diplomová práce je veřejná ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 47b. Taktéž dávám souhlas Vysoké škole logistiky o.p.s. ke zpřístupnění mnou zpracované diplomové práce v její tištěné i elektronické verzi. Souhlasím s případným použitím této práce Vysokou školou logistiky o.p.s. pro pedagogické, vědecké a prezentační účely.

Prohlašuji, že odevzdaná tištěná verze diplomové práce a verze nahraná do informačního systému školy jsou totožné.

V Přerově, dne 06.05.2023


.....podpis.....

Poděkování

Rád bych poděkoval panu prof. Ing. Gabrielovi Fedorkovi, Ph.D., MBA za odborné vedení diplomové práce a cenné rady, které mi pomohly tuto práci vypracovat.

Anotace

V diplomové práci je zpracován návrh transportu obalových jednotek mezi skladem obalů, pracovištěm a skladem hotové výroby. V první části diplomové práce jsou vysvětleny základní teoretická východiska AGV systému. V druhé části práce je popsán diskurz automatizace a zanalyzován současný stav logistického procesu, jež má být automatizován. Ve třetí části diplomové práce je představen návrh implementace AGV systému do existujícího logistického procesu. Poslední část diplomové práce se zabývá zhodnocením návrhu implementace AGV systému.

Klíčová slova

AGV, AMR, logistika, automatizace

Annotation

The diploma thesis deals with the design of the packaging units transport between the packaging warehouse, the workplace and the warehouse of finished products. In the first part of the thesis, the basic theoretical principles of the AGV system are explained. In the second part of the thesis, the discourse of automation is described and the current state of the logistics process, which is to be automated, is analyzed. The third part of the diploma thesis presents a proposal for the implementation of the AGV system into the existing logistics process. The last part of diploma thesis deals with the evaluation of the AGV system implementation proposal.

Keywords

AGV, AMR, logistics, automation

Obsah

Úvod.....	10
1 Teoretická východiska AGV systému	12
1.1 Stručná historie automatizace	12
1.2 Průmysl 4.0	15
1.3 Prostředky automatizace vnitropodnikové logistiky	17
1.3.1 Warehouse Management System	17
1.3.2 Automatické skladovací systémy.....	18
1.3.3 AGV – Automaticky vedená vozidla	20
1.4 Řídicí systémy AGV	21
1.4.1 Problematika jednotného řízení	22
1.5 Navigační systémy AGV.....	23
1.5.1 Navigace AGV pomocí vodících pásů.....	23
1.5.2 Indukční navigace	25
1.5.3 Laserová navigace.....	25
1.5.4 SLAM navigace	27
1.6 Bezpečnost AGV.....	28
2 Analýza logistického procesu	32
2.1 Definice automatizace	32
2.2 Cíle automatizace	33
2.3 Typy automatizace	34
2.3.1 Pevná automatizace.....	35
2.3.2 Programovatelná automatizace	35
2.3.3 Flexibilní automatizace.....	36
2.4 Popis výrobního závodu.....	36

2.5	Layout výrobního závodu	38
2.6	Analýza logistických procesů a možnosti automatizace	39
2.6.1	Logistické procesy s potenciálem pro automatizaci	39
2.6.2	Logistický proces vybraný pro automatizaci	40
2.6.3	Layout obalového skladu	42
2.6.4	Používané manipulační prostředky	43
2.6.5	Popis přepravovaných břemen	45
2.7	Analýza dostupných AGV řešení na trhu	46
2.7.1	Tažné AGV	46
2.7.2	Čelní vidlicové AGV	48
2.7.3	AMR – Autonomní mobilní roboti	49
2.7.4	Plošinové AGV	51
2.7.5	AGC – Automaticky vedený vozík	52
2.8	Periférie AGV	53
3	Návrh implementace AGV systému do existujícího logistického procesu	57
3.1	Požadovaná specifikace AGV	57
3.2	Trasa AGV	58
3.3	Navrhovaná řešení různými AGV systémy	60
3.4	Představení vybraného řešení	64
3.4.1	Úkony AGV	66
3.5	Výpočet počtu AGV	70
3.6	Přijatá bezpečnostní opatření	71
4	Zhodnocení návrhu	73
4.1	Náklady spojené s pořízením AGV	73
4.2	Doba návratnosti investice	74
4.3	Aspekty investice do AGV	75
	Závěr	76

Seznam zdrojů.....	78
Seznam grafických objektů.....	82
Seznam zkratek.....	84

Úvod

V současné době je automatizace procesů stále více vyhledávaným pojmem, který pomáhá firmám zefektivnit a zrychlit své výrobní a logistické procesy. S nástupem Průmyslu 4.0 a nových technologií, jako jsou například internet věcí, umělá inteligence a robotika, se automatizace stává výkonnější s větší možností aplikace. Firmy tak čím dál častěji využívají automatizaci nejen pro zvýšení produktivity a efektivity, ale také pro zlepšení kvality výrobků, snížení nákladů na pracovní sílu a minimalizaci rizika vzniku lidské chyby. Navíc automatizace umožňuje firmám rychle reagovat na změny v trhu, přizpůsobovat se měnícím se potřebám zákazníků a tím posilovat svoji pozici před konkurencí.

Cílem diplomové práce je popsat návrh řešení automatizace vybraného logistického procesu ve výrobním závodě, který se zabývá produkcí výrobků určených pro následnou montáž do vznětových a spalovacích motorů. Tento návrh automatizace logistického procesu pomocí automaticky řízeného vozidla musí zohlednit specifické požadavky výrobního závodu a musí vycházet ze současně vykonávaných sledů úkonů, které budou předmětem důkladné analýzy. Výsledný návrh bude použit jako podklad pro realizaci automatizace, ze kterého bude čerpat tým odpovědný za implementaci.

Diplomová práce je rozdělena na čtyři hlavní části. V první části jsou vysvětleny základní teoretická východiska AGV systému. V této části je vysvětlena stručně historie automatizace, představen pojem Průmysl 4.0 a jsou zde popsány možnosti automatizace vnitropodnikové logistiky. Další kapitoly této části diplomové práce jsou orientované na problematiku jejich řídicích systémů, možnosti využití různých způsobů navádění a technická řešení zajišťující jejich bezpečný provoz.

Ve druhé části diplomové práce je definován pojem automatizace, popsány jednotlivé cíle automatizace a způsoby, kterými lze procesy automatizovat. Dále je v této části popsán výrobní závod, pro který má být navržen systém automatizace vybraného logistického procesu, který je v této kapitole popsán a analyzován. Rovněž je v této kapitole provedena analýza automaticky řízených vozidel, která jsou v současné době dostupná na trhu, a která lze použít k automatizaci vybraného logistického procesu.

Třetí část diplomové práce představuje návrh implementace AGV systému do existujícího logistického procesu. Tato část obsahuje kapitoly obsahující požadovanou specifikaci navrhovaného AGV systému, zamýšlenou trasu AGV a představuje zvažovaná řešení, ze kterých je vybráno nejvhodnější metodou vícekritériální analýzy variant. Následně je vybrané řešení popsáno a zapracováno do řešení, které je cílem této práce. V poslední kapitole je návrh zhodnocen z pohledu návratnosti investice a dalších aspektů ovlivňujících úspěšnou a smysluplnou implementaci AGV systému do existujícího logistického procesu.

1 Teoretická východiska AGV systému

Automatizace se nejenom v průmyslu stává důležitou součástí procesů, protože správným pochopením problematiky související s technologickými prostředky a metodami optimalizace lze docílit zvýšení efektivity, kvality a produktivity výroby, minimalizace nákladů a zlepšení konkurenceschopnosti. Automatizace také minimalizuje lidskou námahu a snižuje riziko chyb a nehod, což přináší výrazné zlepšení bezpečnosti práce. Dále lze díky automatizaci dosáhnout větší flexibility a rychlé adaptace na změny v prostředí, jako jsou například změny na spotřebitelském trhu, v požadavcích zákazníků nebo v legislativě.

Tato kapitola diplomové práce se zabývá teoretickými východisky nutnými pro správné pochopení problematiky související s implementací AGV systémů, což jsou prostředky umožňující transformovat manuálně prováděné procesy na procesy automatizované.

1.1 Stručná historie automatizace

Pojem automatizace pochází z řeckého slova automátos a znamená samočinný nebo sám od sebe konající. Počátky tohoto pojmu se datují do 1. století našeho letopočtu, kdy řecký matematik a vynálezce Héron Alexandrijský, nazývaný též jako Méchanikos, sestrojil první stroj poháněný párou umožňující přeměnu parní síly na rotační pohyb, známý jako aeolipile, který je znázorněn na obrázku číslo 1.1. Jedná se o teplovzdušný motor ve tvaru koule využívající k pohybu horkou páru, která je přiváděna do dutého prostoru koule soustavou trubic ze zahřívajícího kotle naplněného vodou. Zahřátá vodní pára uniká z dutiny koule skrze nasměrované trubice, čímž dochází k pohybu koule kolem osy otáčení. [1]

Héron Alexandrijský je autorem také několika z částí dochovaných spisů, jedná se hlavně o díla *Metrica*, které se zabývá geometrií, dále pak *Pneumatica*, zabývající se mechanickými zařízeními a popisující princip fungování zařízení aeolipile, dále *Cheiroballistra* popisující problematiku vrhacích zbraní, spis *Belopoeica* zabývající se válečnými stroji a *Automatopoietica*, což je spis obsahující návrhy automatických zařízení, která využívají jako pohonný zdroj především vzduch a vodu. Návrhy vodních hodin, automatických dveří do chrámu nebo mechanických divadelních figurín nebyly

v Héronově době chápány jako nástroje pro usnadnění lidské práce, ale byly spíše považovány za kuriozity, hračky nebo dokonce zázraky. [2]



Obr. 1.1 Aeolipile

Zdroj: [3]

Ve středověku se začala objevovat složitá mechanická zařízení využívaná v různých oborech lidské činnosti. V tomto období vznikali stroje využívající mechanické principy použité například v hodinových strojích a mechanických orlojích zobrazujících čas pomocí rotujících ciferníků a mechanických figur. Ozubené kolo, kliková hřídel nebo pákové mechanismy nacházejí své uplatnění při konstruování složitých zařízení určených pro zpracování vstupních komodit – vodní mlýny, větrné mlýny a tkalcovské stavy. V pozdějším období novověku již tyto stroje obsahovali součásti umožňující jejich jednoduché programování, a to pomocí válců s vystupujícími kolíčky, otvory nebo zářezy. Potřeba programování strojů pramenila z rostoucí poptávky a zvyšujícího se tlaku na efektivitu práce, což vedlo k vývoji strojů umožňujících automatizovat alespoň část pracovního postupu a ke vzniku vstupních médií nesoucích program, který právě tyto konkrétní předem definované části pracovního postupu reprezentoval.

V roce 1725 francouzský textilní dělník Basile Bouchon vynalezl způsob programování tkalcovského stavu pomocí perforované papírové pásky tvořící nekonečnou smyčku, čímž zautomatizoval proces nastavování tkalcovského stavu a vytvořil tak první poloautomatický stroj určený pro průmyslové využití. [4]

V roce 1805 francouzský mechanik Joseph-Marie Jacquard, zabývající se zdokonalením tkalcovského stavu na tkaní složitých vzorovaných tkanin, přepracoval Bouchonovo řešení a vytvořil takzvané žakárové řízení, využívající princip výměnných papírových děrných štítků obsahujících program specifického vzoru, které jsou čtené mechanismem tvořeným jehlami. Jehly pronikající jednotlivými otvory ve štítku uvádí do pohybu určité součásti tkalcovského stavu, jimiž prochází tkalcovské nitě, které tak vytvářejí požadovaný vzor. Jacquardův systém zrychlil a zefektivnil vytváření složitých vzorů v tkaninách, což vedlo k zvýšení produktivity, snížení nákladů na výrobu, masové produkci textilií a k rozvoji textilního průmyslu. [5]

Na práci Josepha-Marie Jacquarda navázal britský matematik a vynálezce Charles Babbage, který se zajímal o automatizaci matematických výpočtů za účelem minimalizace početních chyb způsobených lidským faktorem. V roce 1822 představil návrh modelu prvního mechanického počítače, který nazval jako Diferenční stroj. Tento mechanický automat měl být teoreticky schopný provádět jednoduché aritmetické operace a následně ukládat výsledky do podoby děrných štítků nebo kovových plíšků. Přestože bylo do zhotovení tohoto stroje investováno velké množství finančních prostředků, počítač nebyl nikdy dokončen. Babbage však navrhl další stroj schopný automatizovat matematické výpočty a v roce 1837 představil návrh mechanického počítače, pojmenovaný jako Analytický stroj, který měl být programovatelný pomocí děrných štítků vycházejících z tkalcovských stavů využívajících žakárové řízení. Návrh Analytického stroje pracoval s koncepcí obsahující mlýn – procesor, úložiště – paměť, čtenář – vstupní zařízení a tiskárna – výstupní zařízení, kterou lze najít u současných moderních počítačů. Ani tento Babbagův model se nedočkal zhotovení za jeho života, první funkční repliku Analytického stroje podle původních návrhů a nákresů se podařilo sestrojít až v roce 1991, přesto se práce Charlese Babbaga stala důležitým milníkem v historii počítačů, a tedy i v oboru průmyslové automatizace. [6]

Dalším důležitým milníkem průmyslové automatizace je pásová výroba, která se začala rozvíjet na začátku 20. století ve Spojených státech amerických, zejména díky přičinění automobilového průmyslu a snaze vyrábět osobní automobily za cenu, kterou si mohli dovolit lidé z široké veřejnosti, neboť osobní automobily byl v té době dostupný pouze vyšším vrstvám lidské společnosti. Za nejvýznamnějšího průkopníka v oblasti pásové výroby a masové výroby osobních automobilů považujeme amerického

průmyslníka Henryho Forda, který v roce 1913 zavedl ve své továrně Ford v Michiganu pohyblivý montážní pás poháněný elektrickým motorem, jehož účelem bylo přemísťovat automobil v různých fázích rozpracovanosti mezi jednotlivými montážními operacemi, zatímco dělníci měli určené pracoviště, které neopouštěli a prováděli jen určený úkon. Implementací montážního pásu do výroby spolu se zavedením standardizace výroby bylo dosaženo zrychlení montáže, zlevnění a zefektivnění výroby.

A právě z amerického automobilového průmyslu pochází slovo automatizace, které vzniklo ve 40. letech 20. století k označení automatického přesunu dílů mezi jednotlivými výrobními operacemi a jejich nepřetržité zpracovávání. Toto označení s pokrokem v oblasti počítačů a řídicích systémů převyšuje svůj původní význam a v současné době tento pojem používáme pro systémy, které jsou díky vysoké míře flexibility schopné zvládnou širokou škálu různých úkolů. [7]

1.2 Průmysl 4.0

Průmysl 4.0 je pojem, někdy nahrazený označením čtvrtá průmyslová revoluce, který vešel v patrnost široké veřejnosti ve spojitosti se současným trendem automatizace a digitalizace průmyslového prostředí. Tento pojem se poprvé objevil v roce 2011, v rámci snahy německé vlády o zrychlení rozvoje průmyslových technologií a zahrnoval pět hlavních oblastí zájmu, referenční architekturu a standardizaci informačních systémů, výzkum a inovace, bezpečnost sítěmi propojených systémů, právní rámec a trh práce a vzdělávání. Z technologického hlediska byla snaha soustředěna na zdokonalení metod autooptimalizace, autokonfigurace, autodiagnostiky, strojového vnímání a inteligentní podpory dělníka.

V současné době koncept Průmyslu 4.0 charakterizuje snaha o funkční uchopení celého konceptu a pochopení všech důsledků, která tato změna přinese lidské společnosti. Souběžně s těmito analýzami, probíhá implementace stěžejních technologií do různých odvětví průmyslu. Těmito stěžejními technologiemi je internet věcí, který umožňuje propojení a komunikaci mezi zařízeními, senzory a uživateli pomocí internetu, což umožňuje sběr velkého množství dat, které mohou být analyzována a následně použita pro optimalizaci výrobních operací. Další pokročilou technologií je umělá inteligence, která umožňuje počítačům a strojům učit se a adaptovat se na základě

získaných dat, díky čemu je schopná například řídit výrobní procesy, predikovat poruchy a zlepšovat kvalitu výrobků.

Virtuální a rozšířená realita je další technologie, která je nasazována do výrobních podniků. Tato technologie umožňuje interakci s digitálními modely a vizualizacemi v reálném prostředí, což vede k vytváření nových pracovních postupů při návrhu a produkci výrobků nebo při servisu zařízení. Nakonec je to robotika a automatizace, která umožňuje minimalizovat nebo zcela eliminovat lidskou intervenci pomocí implementace robotů schopných provádět složité úkoly s vysokou přesností a rychlostí.

Vizi iniciativy Průmyslu 4.0 je vytvoření inteligentních továren, ve kterých budou výrobní procesy optimalizované v rámci celého výrobního procesu díky vzájemně propojeným počítačovým systémům. Tyto počítačové systémy budou schopné autonomní výměny informací a iniciování potřebných akcí v reakci na aktuální podmínky, budou schopné provádět analýzy dat, na jejich základě budou schopné předpovídat případné chyby nebo poruchy případně budou schopné reagovat v reálném čase na změny. Jednotlivé manuální výrobní operace budou nahrazeny plně automatizovanými a vzájemně propojenými výrobními linkami. Výroba fyzických prototypů bude nahrazena virtuálními modely a simulacemi výrobních procesů. Velký důraz bude kladen na flexibilitu výroby, tak aby umožňovala efektivní výrobu malých dávek podle požadavků zákazníka.

V inteligentní továrně bude vysoká míra flexibility a efektivity, a to díky nasazení vzájemně komunikujících robotů, výrobních zařízení a finálních výrobků. Tento vzájemně propojený systém bude fungovat z části autonomně, čímž bude schopný samostatného rozhodování v reálném čase. Konfigurace a optimalizace výrobních zařízení bude probíhat zcela automaticky, pouze na základě zadání zpracování finálního produktu. Vnitropodniková logistika bude obsluhována pomocí autonomních mobilních robotů, kteří se budou automaticky přizpůsobovat potřebám výroby. Podnikové sklady komponent nebudou lokalizovány v místě výroby, ale budou řešeny v rámci kooperace s vnějšími partnery, stejně jako distribuce výrobků.

Abychom docílily vizi konceptu Průmyslu 4.0, bude nutné změnit naše současné chápání a přijmout za své nové tendence a snahy o propojení strojů, senzorů, zařízení a lidí, tak aby spolu mohli komunikovat prostřednictvím internetu věcí nebo internetu lidí.

Dále musíme učinit všechny naše procesy transparentním, aby pověřené a zainteresované osoby měli všechna data ve stoprocentní čistotě. Budeme se muset naučit pracovat s autonomními systémy a kolaborativními roboty, a hlavně je chápat jako nástroj, který má člověku ulehčit od těžké a stereotypní práce, ne jako nástroj pro šetření firemních nákladů na úkor personálu. [38, 39]

1.3 Prostředky automatizace vnitropodnikové logistiky

Existuje mnoho způsobů, jakými lze automatizovat logistické systémy, a to nejenom fyzické činnosti týkající se příjmu materiálů, skladování a expedice, ale i informační tok, řízení a plánování výroby. Vzhledem k tomu, že cílem vnitropodnikové logistiky je doprava komponent, materiálů a polotovarů na správné místo, ve správný čas a v požadované kvalitě, benefity plynoucí z automatizace logistických činností jsou eliminaci lidské chyby, optimalizaci logistických tras, standardizace procesů, úspora času připadajícího na samotnou dopravu a minimalizace možnosti vzniku úrazu. Toho je docíleno minimalizací míry lidského zásahu do procesu.

Spolu s výběrem vhodného řešení automatizace vnitropodnikové logistiky, je také důležité vzít v potaz vize a cíle výrobního podniku a předpovědět, zda zvolené řešení bude schopné vykonávat svoji činnost v případě změny nároků kladených na fungování vnitropodnikové logistiky, případně zda toho bude schopná po drobné optimalizaci, která bude finančně a časově adekvátní. Znamená to, že vybrané řešení musí být do značné míry univerzální, aby bylo připravené na případné změny v rámci výrobního závodu, spojené například se změnou designu finálního produktu, příchodem nových technologií, změnou obalových materiálů anebo úprav dispozic výrobních a skladovacích prostor. [9, 11]

1.3.1 Warehouse Management System

Prvním krokem automatizace vnitropodnikové dopravy je implementace WMS, které umožňuje automatizovat sběr dat, tok informací napříč výrobním závodem, optimalizovat sled pracovních operací a vytvořit ucelený přehled o stavu zásob na všech systémově vedených skladových plochách. WMS je nástroj, který umožňuje proškoleným uživatelům s příslušnými uživatelskými rolemi řídit sklad a monitorovat různé operace vnitropodnikové logistiky v reálném čase, počínaje příjmem zboží,

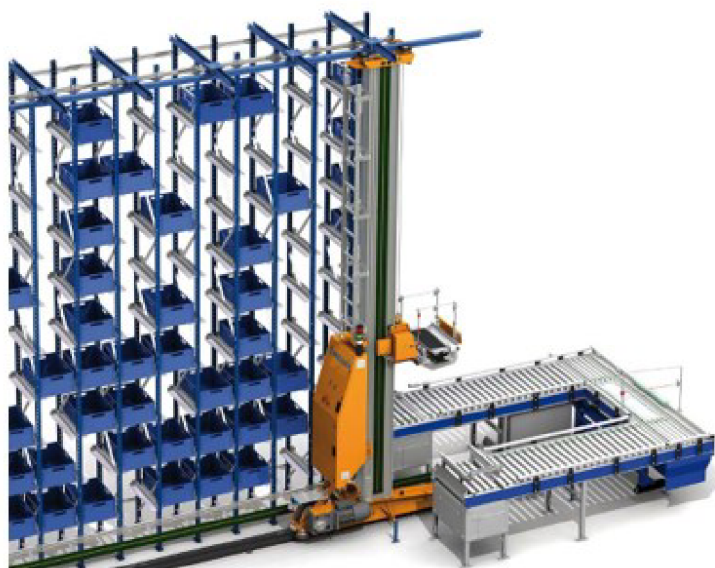
přebalováním komponent do podnikových obalů, pohyb materiálu ve skladovacích regálech a vychystávacích plochách, výdej komponent a neprodukčního materiálu určeného pro zpracování výrobou, mezioperační přepravy a expedice.

Další důležitá funkce WMS je možnost tvoření inventarizačních seznamů pro účely průběžné a roční inventarizace skladových ploch. WMS systémy bývají často propojené s podpůrnou výpočetní technikou, jako jsou odolné průmyslové tablety, brýle pro rozšířenou realitu, terminály vybavené čtecím zařízením různých typů čárových kódů nebo RFID čipů, eventuálně systémy určené k řízení vychystávání požadovaných komponent pomocí světelných signálů nebo hlasových příkazů označované jako Pick by Light a Pick by Voice, které zrychlují proces a minimalizují možnost lidské chyby. WMS systém může případně komunikovat přímo s automatickými regály, dopravníky a paletovými nosiči, které na základě příkazů z WMS systémy vychystávají nebo naskladňují požadovaný materiál na předem definované pozice. [9]

1.3.2 Automatické skladovací systémy

Dalším způsobem automatizace vnitropodnikových operací je použití AS/RS řešení, které využívá logistický koncept Goods-to-Man, umožňující dopravu požadovaných uskladněných položek nebo jejich naskladnění do systému z definovaných míst určených pro vstup a výstup ze skladovacího systému. V praxi koncept G2M umožňuje pracovníkům logistiky zůstat na jednom místě během vychystávání nebo zaskladňování komponent, které jsou skladovány v páternosterových skladovacích systémech nebo jsou požadované položky dopravovány k obsluze pomocí automatických dopravníků, paletových nosičů nebo Mini Load systému, který využívá kolejnicové vedení vozíku pohybujícího se ve velmi úzkých uličkách mezi skladovými regály, viz. obrázek číslo 1.2.

AS/RS systémy jsou propojeny přímo s WMS nebo se systémem komunikují přes dodavatelský řídicí systém. Z WMS jsou odesílány příkazy na vychystání nebo zaskladnění materiálu nacházejícího se na konkrétní skladové pozici, tyto příkazy jsou řazeny do fronty, kterou automatický skladový systém postupně obsluhuje.



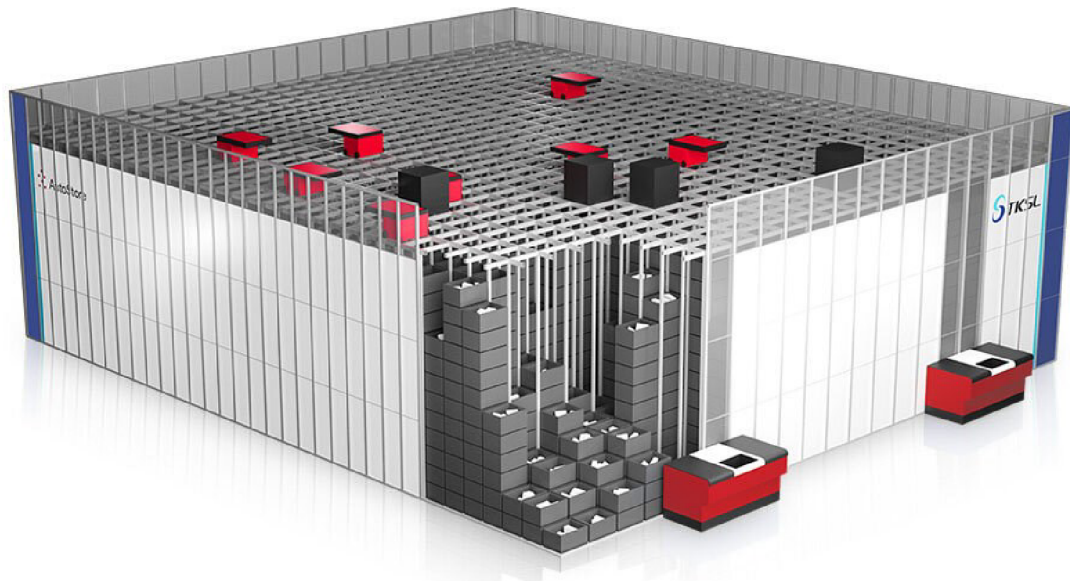
Obr. 1.2 AS/RS řešení typu Mini Load

Zdroj: [14]

Efektivní logistika je neodmyslitelnou součástí odvětví elektronického obchodu. V tomto prostředí se v poslední době rozvíjí modulární koncepce automatizovaných kubických skladovacích systémů, navržených pro vysokou hustotu skladování malých předmětů na relativně malé podlahové ploše. Toto řešení je tvořeno z hliníkové konstrukce tvořícího mřížku, přičemž rozměry mřížky jsou přizpůsobeny rozměrům speciálních boxů. Kubické skladovací systémy využívají k obsluze velký počet mobilních robotů, kteří se pohybují po horní nebo spodní straně mřížky v návaznosti na zvoleném dodavatelském řešení a pomocí speciálně navrženého manipulačního ramene manipulují s boxy uloženými v zásobnících. V momentě vzniku příkazu na zaskladnění a vyskladnění jsou boxy přepravovány mezi zásobníky a předávacími pozicemi, kde čeká na konkrétní box operátor.

Automatizované kubické skladovací systémy, viz. obrázek číslo 1.3, využívají vlastní řídicí systém, volitelně komunikující se zákaznickým WMS, který může pracovat s několika principy skladování. Řídicí systém sleduje pořadí, v jakém jednotlivé položky přijal a je tedy schopen je vydávat v souladu s principy FIFO nebo LIFO. Toho je schopný docílit přesouváním položek mezi jednotlivými zásobníky v době, kdy systém není plně vytižen příkazy na zaskladnění nebo výdej. Zároveň řídicí systém ukládá nízkoobrátkové položky v zásobnících do vzdálenějších pozic od robotů a vysokoobrátkové položky do bližších pozic, tak aby jejich vychystání zabralo nejkratší možnou dobu.

Výhodou toho systému, kromě úspory podlahové plochy je možnost snadného navýšení kapacity skladu rozšířením mřížky o další zásobníky. [10]



Obr. 1.3 Příklad automatizovaného kubického skladu

Zdroj: [13]

1.3.3 AGV – Automaticky vedená vozidla

Automaticky vedená vozidla neboli AGV jsou mobilní roboti schopní pohybovat se v definovaném prostoru za pomoci informačních tagů, optických navigačních prvků, v podlaze umístěných vodičích prvků, laseru nebo optických sensorů. AGV jsou schopná provádět manipulační operace bez lidského zásahu, čímž minimalizují riziko vzniku lidské chyby nebo pracovního úrazu způsobeného pohybem manipulačního prostředku. Jejich začlenění do logistických procesů je vhodné v provozech s pravidelnými a opakujícími se požadavky na převoz výrobního materiálu, na předem definovaných a dostatečně širokých trasách. Výhodou provozu automaticky vedených vozidel je jejich nepřetržitý provoz s minimalizací rizika poškození přepravovaného břemene.

Úroveň automatizace je klasifikovaná do několika kategorií, AGV na nejvyšší úrovni automatizace jsou schopná pohybovat se v prostoru bez předem stanovené trasy, pouze díky znalosti startovního a cílového bodu a vlastní pozice na základě předdefinovaných algoritmů a pravidel, což jim umožňuje samostatně hledat alternativní trasy v případě výskytu překážek na zamýšlené trase a reagovat na nepředvídatelné události bez nutné lidské intervence. Mezi další vlastnosti AGV řadíme sdělování si informací s ostatními vozidly ve flotile o případných překážkách na plánované trase,

úrovně nabíjení nebo obsazenost nabíjecích stanic. Dále jsou tato vozidla schopná komunikovat pomocí bezdrátového síťového připojení s WMS a pevnými perifériemi, jako jsou například paletové stanice, páskovací linky, brány nebo semaforey.

Úroveň autonomie je definovaná v rámci standardu SAE J3016, který vytvořila americká společnost Society of Automotive Engineers, a který klasifikuje šest rozdílných úrovní automatizace řízení, který se vztahuje na všechny automobilové, letecké a průmyslové stroje a popisuje jejich funkce a schopnosti:

- úroveň 0 – žádná automatizace, přepravní úkoly provádějí lidé pomocí ručně ovládaných průmyslových vozíků,
- úroveň 1 – asistenční systémy, vozíky na této úrovni jsou vybavené asistenčními systémy včasného varování před kolizí,
- úroveň 2 – částečná automatizace, označuje průmyslové vozíky využívající více podpůrných a asistenčních systémů, umožňujících částečnou automatizaci některých funkcí podle předem definovaných parametrů,
- úroveň 3 – automatizace, tato úroveň označuje automaticky vedená vozidla schopná samostatného pohybu v ohraničené oblasti a standardizovaných procesech, vozidlo je schopné provádět úkoly samostatně na základě naprogramovaných algoritmů, nicméně stále je nutná lidská intervence,
- úroveň 4 – částečná autonomnost, tato úroveň označuje průmyslová vozidla schopná chovat se autonomně v předem definovaných oblastech,
- úroveň 5 – plně autonomní, tato úroveň označuje plně autonomní průmyslová vozidla schopná flexibilně upravovat trasu, objíždět překážky a reagovat na nepředvídatelné události. [12]

1.4 Řídící systémy AGV

Řídící systém je nedílnou součástí uceleného řešení automatizace pomocí implementace automaticky vedených vozidel. Jedná se o softwarové řešení, často označované také jako systémový manažer nebo manažer flotily, jehož účelem je korigovat pohyb AGV, distribuovat na základě určitých pravidel příkazy k převozu mezi dostupná automaticky vedená vozidla, monitorovat jejich aktuální pozice na virtuální mapě, přijímat a zpracovávat signály ze všech zařízení integrovaných do systému, jako jsou například

příkazová tlačítka, vstupní a výstupní jednotky, optická čidla monitorující přítomnost břemene na stanovišti nebo moduly ovládající automatická vrata nebo jiné periférie.

Řídicí systém slouží také jako nástroj pro správu virtuálních map, konfiguraci systému, správu jednotlivých zařízení v systému a také jako nástroj pro tvorbu reportů z nasbíraných dat, zobrazující například informace o vytíženosti jednotlivých AGV, počtu příkazů, celkovou uraženou dráhu, doby čekání a nabíjení a tak dále. Řídicí systém může být propojený s ERP nebo WMS systémy, se kterými je schopný komunikovat pomocí databází a předávat si tak informace související s výrobou a skladováním, jako jsou například informace o velikosti skladové zásoby, konkrétním umístění materiálů ve regálových pozicích nebo jednotlivé požadavky na transport, pokud je WMS systém schopný je tvořit.

Řídicí systém je většinou dodáván na předinstalovaném počítačovém serveru nebo virtuálním zákaznickém serveru, ale také je možné ho provozovat jako cloudové řešení. Pro docílení spolehlivé komunikaci mezi řídicím systémem a všemi zařízeními potřebnými pro chod automatizace, je nutné zajištění perfektního pokrytí všech předdefinovaných tras Wi-Fi signálem, umožňujícím rychlou a bezpečnou výměnu informací, v opačném případě může být systém nespolehlivý a bude vyžadovat časté zásahy správce nebo jiné pověřené osoby. [31]

1.4.1 Problematika jednotného řízení

V současné době vyvstává nový problém pramenící z rozmachu technologie automaticky vedených vozidel, související s různým pojetím řídicích systémů jednotlivých dodavatelů a způsobu komunikace mezi řídicím systémem a AGV. Většina dodavatelů využívá vlastní řídicí systém, což komplikuje situaci zákazníkům, kteří v případě rozhodnutí využívat automaticky vedená vozidla od různých dodavatelů musí akceptovat integraci rozdílných řídicích systémů, které nejsou schopné společně komunikovat, případně je komunikace omezena jen na nutné minimum. Tato situace může vést k nemožnosti paralelního provozu různých AGV na společných trasách.

Z toho důvodu Německé sdružení automobilového průmyslu ve spolupráci s Německou asociací strojírenského průmyslu připravilo v roce 2016 normu označovanou jako VDA 5050, která se touto problematikou zabývá a definuje pravidla, požadavky, postupy a doporučení pro výrobce automaticky vedených vozidel, aby bylo možné

využívat jejich řídicí systémy pro komunikaci se všemi typy AGV splňujícími tuto normu, a to včetně všech prvků, které automatizovaný systém obsahuje.

Výsledkem dodržení pravidel a postupů stanovených touto normou by měl být vznik standardizovaného univerzální rozhraní, používajícího společný komunikační jazyk srozumitelný všem aktivním prvkům v systému. Toto univerzální rozhraní by mělo umožnit snadnou integraci všech prvků automatizovaného systému a vzájemnou komunikaci mezi AGV od různých výrobců, takže by bylo možné jejich paralelní využití na společných trasách.

Přestože myšlenka univerzálního komunikačního rozhraní pro automaticky vedená vozidla je správná, někteří dodavatelé AGV systémů se k této normě chovají zatím spíše zdrženlivě a normu VDA 5050 nerespektují. Třeba kvůli tomu, že akceptování normy pro ně může znamenat odhalení svého know-how konkurenčním dodavatelům. Nicméně s přibývajícemi implementacemi nových AGV bude sílit i tlak od zákazníků na dodavatele volající po univerzálním řešení komunikace, a proto se několik hlavních dodavatelů aktivně podílí na definování podoby dalších fází normy VDA 5050. [30, 32]

1.5 Navigační systémy AGV

Navigační systémy jsou klíčovým prvkem automaticky vedených vozidel, díky kterým jsou schopné plnit své úkoly bez lidského zásahu. Existuje několik druhů navigačních systémů, které mohou být použity za účelem určit polohu automaticky vedených vozidel v prostoru. Výběr vhodného navigačního systému je řazen mezi hlavní kritéria při výběru nejvhodnějšího řešení automatizace transportních činností.

1.5.1 Navigace AGV pomocí vodících pásů

Navigace pomocí vodících pásů je metoda navádění automaticky vedených vozíků, označovaných jako AGC. Způsob jejího použití je velice jednoduchý, navíc se jedná o pasivní technologie bez nutnosti napájení, proto je použití těchto vozíků velice oblíbené. Princip navigace pomocí vodících pásů spočívá ve vyznačení celé trasy, a to včetně všech odboček a zastávek, příklad realizace je znázorněn na obrázku číslo 1.4. Podél trasy jsou umístěny radiofrekvenční štítky nebo QR kódy, které nesou informace o tom, kde přesně na trase se vozík aktuálně nachází, zároveň instruuji vozík

1.5.2 Indukční navigace

Jedná se o nejpoužívanější typ navigace automaticky vedených vozidel. Tato technologie určování polohy využívá princip indukční smyčky, kdy je jednopólový vodič z feromagnetického materiálu umístěný několik centimetrů pod úroveň podlahy po celé délce trasy. Vodič v podlaze je napájen střídavým proudem, čímž v jeho okolí dochází ke generování elektromagnetické pole, které je detekováno senzorem umístěným na spodní straně automaticky vedeného vozidla, který je tak schopen rozpoznat pozici vodiče v podlaze, a na základě této skutečnosti upravuje směr jízdy AGV. Nutnost frézování podlahy kvůli umístění vodiče znamená, že tento typ navigace je neflexibilní a není tedy vhodný pro použití v prostorech, které mají potenciál častých změn logistických tras.

Indukční navigace využívá radiofrekvenční čipy vysílající signály o různých frekvencích, které jsou umístěny podél trasy AGV a určují přesnou polohu AGV. Přijímač umístěný na vozidle je možné naprogramovat, aby přijímal pouze konkrétní frekvenci, ale celý systém může používat větší frekvenční rozsah, tudíž každé vozidlo může mít v systému svoji jedinečnou frekvenci. Toho lze využít například k udělování příkazů týkajících se například změny rychlosti, zastavení, odpojení či připojení přepravovaného břemene.

Moderní systémy indukční navigace využívají modulovaný indukční vodič, který umožňuje přenos dat v obou směrech, což umožňuje výměnu informací mezi AGV a řídicím počítačem, který má podrobné informace o všech prvcích dopravní sítě, jako jsou křižovatky, nabíjecí stanice, odstavná depa a tak dále. Pomocí tohoto technického řešení je možné regulovat dopravu a zadávat jednotlivým automaticky řízeným vozidlům konkrétní přepravní úlohy. [15]

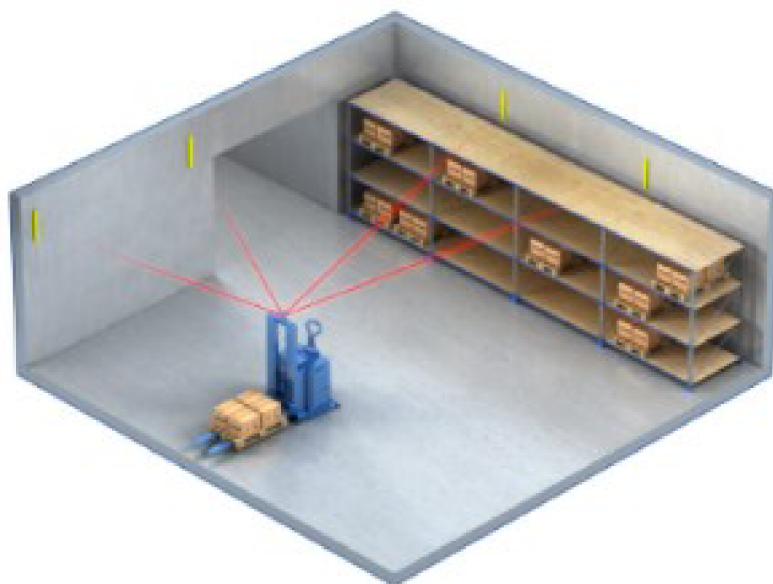
1.5.3 Laserová navigace

Laserová navigace využívá pro určení polohy metodu triangulace, kdy je vzdálenost měřena pomocí výpočtu úhlu odraženého paprsku. Zařízení označované jako LiDAR, skládající se z vysílače, přijímače a rotujícího zrcátka, se zpravidla nachází na nejvyšším bodu AGV, které je proto často vybaveno sloupem, promítá nepřetržitý paprsek v 360° rozsahu. Laserový paprsek integruje s odrazovými cíli, které jsou instalované podél trasy ve stejné výšce jako je LiDAR na AGV, v maximální vzdálenosti 30 metrů

od zdroje paprsku. Tyto prvky můžou mít formu válcových nebo plochých reflexních odrazek různých velikostí.

Vyslaný paprsek se po nárazu na reflexní cíl odráží zpět do LiDARu, který v závislosti na úhlu přijatého paprsku vypočítá přesné souřadnice X a Y jednotlivých reflexních cílů a samotného AGV, které následně systém zaznamenává do vnitřní virtuální mapy. Tento výpočet se provádí 30krát až 40krát za sekundu, proto je určení polohy velice přesné. AGV musí přijímat odražený paprsek z nejméně tří reflexních cílů, což je důležité mít v patrnosti při implementaci systému a přizpůsobit tomu jejich umístění. Výpočet přesné polohy se provádí složitými algoritmy a musí brát v úvahu další proměnné, jako je například rychlost AGV.

Tento způsob navigace je díky své přesnosti vhodný pro automatickou obsluhu vysokých regálů v logistických skladech, neboť při manipulaci s těžkými břemeny ve velkých výškách je vysoká přesnost žádoucí. Další výhodou laserové navigace je snadná instalace vyžadující pouze precizní instalaci reflexních cílů, ale nejsou nutné zásadní stavební úpravy podlahových ploch, protože veškeré cesty jsou tvořeny ve virtuální mapě. Laserová navigace je zobrazena na obrázku číslo 1.5. [24]



Obr. 1.5 AGV využívající laserovou navigaci

Zdroj: [25]

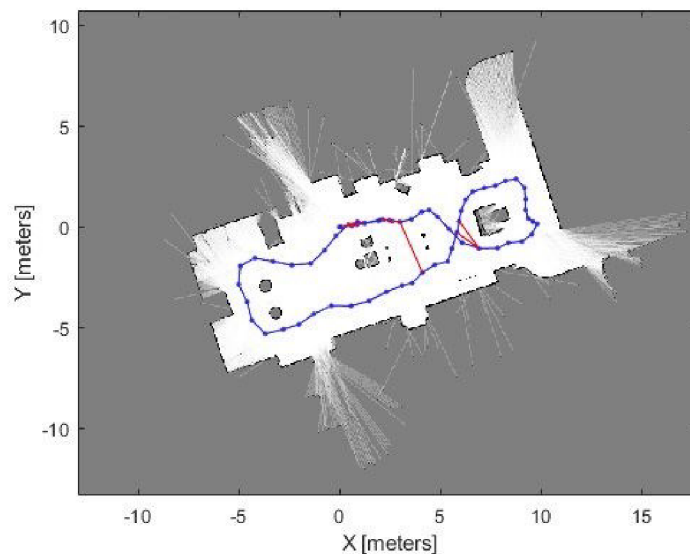
1.5.4 SLAM navigace

Simultánní lokalizace a mapování neboli SLAM navigace je jedna z metod navigování autonomních mobilních vozidel. AGV využívající SLAM navigaci dokáží mapovat okolí vozidla a současně se ve vzniklé mapě dokáží lokalizovat v reálném čase, díky čemu jsou schopné reagovat na neočekávané překážky na trati samostatně, bez zásahu pověřeného operátora. K tomu využívají inerciální měřící jednotku označovanou jako IMU, skládající se z gyroskopů, akcelerometrů a magnetometrů, které měří různé aspekty pohybu jako jsou zrychlení, rotace a změny magnetického pole a na základě naměřených hodnot je systém schopen sledovat a zaznamenávat pohyb a orientaci vozidla v prostoru.

Další technické prostředky, kterými jsou AGV využívající SLAM navigaci vybaveny jsou LiDAR, pohybové senzory a kamery. LiDAR je využíván i u jiných typů navigace, jedná se o technologii využívající laserový paprsek k vyvážení prostorových map. Princip měření vzdálenosti pomocí LiDARu u tohoto typu navigace spočívá ve vysílání krátkých laserových paprsků a počítání času potřebného na jeho vrácení po odražení od překážky. Systém tohoto mapování je velice přesný, a proto se hojně používá nejenom v systémech navigace autonomních mobilních vozidel.

Při implementaci autonomního mobilního vozidla využívající navigaci typu SLAM se v první fázi projede předem definovaná trasa v manuální režimu, kdy je vozidlo ovládané specialistou pomocí ovladače, který může mít podobu fyzického zařízení nebo může být instalovaný v mobilním telefonu jako aplikace. Vozík pomocí svého vybavení zmonitoruje okolí podél trasy a vytvoří prvotní virtuální mapu, která je následně upravena, definují se zakázané oblasti, zvýrazní se důležité navigační body a případně se doplní profesionálně vytvořený náčrt celého objektu. Takto upravená mapa, která je zobrazená na obrázku číslo 1.6, je v dalším kroku nahrána do paměti všech implementovaných AGV.

Samotná navigace AGV v prostoru probíhá na základě sběru informací z IMU, LiDARu a kamer kdy simultánně probíhá lokalizace vozidla ve virtuální mapě a zároveň dochází k nepřetržitému mapování okolí, díky čemuž je celá soustava schopná reagovat na drobné změny mapy, jako jsou například překážky v cestě nebo chodci. Díky znalosti prostorové mapy je vozidlo schopné vyhodnotit nebezpečí a vytvořit alternativní trasu, díky čemuž je AGV schopné odklonit se od předem definované trasy a vyhnout se překážce.



Obr. 1.6 Virtuální mapa vytvořená technologií LiDAR SLAM

Zdroj: [27]

Simultánní lokalizace a mapování je již řadu let předmětem technického výzkumu a vzhledem k pokroku v oblasti zpracování informací a relativní dostupnosti levných technických zařízení, jako jsou kamery, senzory a LiDAR, dochází k rozmachu tohoto typu navigace.

1.6 Bezpečnost AGV

Zvýšení bezpečnosti práce je jeden z cílů, který je očekáván od implementace automaticky vedených vozidel a dosahuje se nejenom minimalizováním lidské intervence, ale také hardwarovými a softwarovými nástroji a bezpečnostními prvky, kterými jsou AGV vybavena. To vše v souladu s platnými pravidly a nařízeními, které musí být dodržovány výrobcí, dodavateli a provozovateli automaticky vedených vozidel, a která jsou ve spojitosti s bezpečnostní automaticky vedených vozidel uváděny v normě ČSN ISO 3691-4, jejíž čtvrtá část se týká právě bezpečnostních požadavků, které musí provozovaná AGV splňovat a dále platné nařízení vlády číslo 320/2017 Sb., zabývající se technickými požadavky na strojní zařízení.

Prvky zajišťující bezpečný provoz automaticky vedených vozíků se dělí na pasivní a aktivní. Mezi pasivní prvky ochrany patří tlačítko pro nouzové zastavení, jehož umístění na automaticky řízeném vozidle vychází z normy ISO 3691-4. Počet a přesná pozice nouzového tlačítka je závislá na tvaru a velikosti AGV, nicméně důležité je, aby byla

rychle a jasně identifikovatelná a snadno dosažitelná z jakékoli strany AGV. Při aktivaci nouzového tlačítka musí dojít k okamžité deaktivaci veškerých funkcí vozidla.

Dalšími pasivními prvky bezpečnosti jsou zdroje akustického a světelného signálů, které na základě naprogramovaných výstupů poskytují poučenému pozorovateli jasné informace o záměrech AGV. Světelnými signály AGV upozorňuje své okolí o plánovaném pohybu vpřed, změnách směru, o plánovaných reakcích na neočekávanou událost, jako je například překážka na trase, případně upozorňuje operátora na očekávanou intervenci, například stisk tlačítka na ovládacím panelu tažného AGV, oznamující ukončení vykládky a nakládky soupravy.

Zvukové signály AGV používá pro upozornění svého okolí na svoji přítomnost, případně můžou sloužit jako upozornění na neočekávanou chybu, nebo jako zpětná vazba při provádění změn konfigurace správcem systému. Jako pasivní bezpečnostní prvek označujeme také varovné značky a symboly z odolných materiálů, informující okolí o nebezpečných zónách, kde při neopatrné manipulaci hrozí úraz či poškození AGV. Toto značení vychází z platného nařízení vlády.

Mezi aktivní prvky bezpečnosti řadíme bezpečnostní laserový skener, systém zabraňující kolizi, nárazníky citlivé na tlak a bezpečnostní řídicí systém. Tyto aktivní prvky musí svým působením pokrýt minimálně plochu rovnající se celkovým rozměrům vozidla a přepravovaného břemene a musí být koncipované tak, aby zastavili vozidlo dříve, než dojde ke srážce s osobou nebo jiným předmětem. Nejdůležitějším prvkem aktivní ochrany a prevence před srážkou je laserový skener, který odměřuje vzdálenost mezi vozidlem a překážkou. Oblast okolo AGV je rozdělena na několik bezpečnostních zón, obvykle jsou dvě nebo tři, viz. obrázek číslo 1.7.

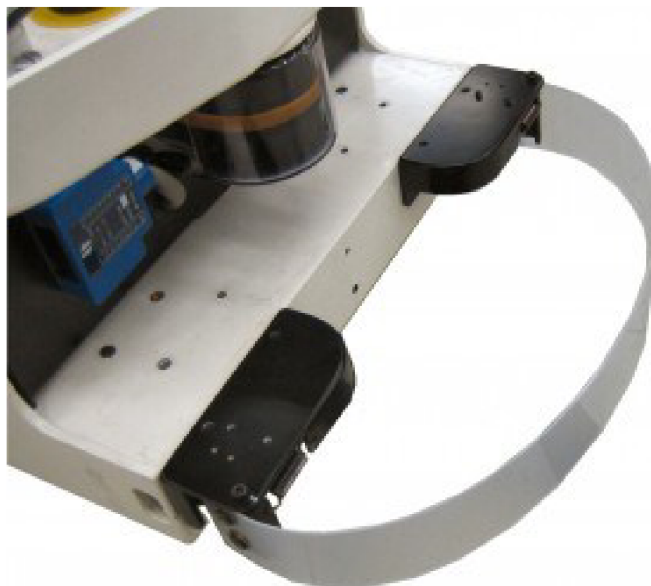
Jednotlivé zóny určují, co bude AGV dělat v případě, že se překážka ocitne v některé z definovaných zón a přítomnost překážky v bezpečnostní zóně kontroluje právě laserový skener. Přítomnost překážky v jednotlivých bezpečnostních zónách má za následek zpomalení vozíku, vedoucí případně až k jeho úplnému zastavení. Tato akce bývá doprovázena světelným a zvukovým signálem, upozorňujícím na zvyšující se riziko nebezpečí. Velikosti jednotlivých zón se dynamicky mění v závislosti na aktuální rychlosti AGV, váze přepravovaného břemene, zorném poli jednotlivých skenerů a na povaze právě prováděného úkonu.



Obr. 1.7 Bezpečnostní zóny okolo AGV

Zdroj: [29]

Dalším aktivním prvkem bezpečnosti, který se používá pro snížení rizika vzniku újmy na zdraví, okolním vybavení nebo samotném automaticky vedeném vozíku, jsou tlakové nárazníky zobrazené na obrázku číslo 1.8, které se využívají u AGV, které mají laserový skener snímající jen prostor ve směru jízdy AGV. Toto řešení se využívá zejména kvůli vlivu na cenu, neboť bezpečnostní skener monitorující plochu v okruhu 360° je dražší než skener snímající užší pole a tlakové nárazníky, které jsou umístěny na stranách, které laserový skener nemonitoruje.



Obr. 1.8 Tlakový nárazník

Zdroj: [28]

Tlakový nárazník je tvořený pružným materiálem, jehož kraje jsou pevně uchyceny k AGV. Pokud se tlakový nárazník dotkne překážky na trase, dojde k bezpečnému zastavení celé soupravy, a to před tím, než by došlo k ohrožení bezpečnosti nebo k poškození majetku nebo AGV. Čas nutný pro zastavení AGV je definovaný vzdáleností tlakového nárazníku a rámu automaticky řízeného vozidla. Velikost tohoto prostoru definuje maximální rychlosti AGV, brzdná dráha potřebná pro zastavení plně naloženého AGV, maximální tažná síla a kvalita a typ povrchu trasy. [28]

2 Analýza logistického procesu

Následující kapitola je zaměřená na analýzu logistického procesu výrobního závodu, v jejíž první části je definován pojem automatizace, stanovené cíle, kterých chceme automatizací dosáhnout a popsané jednotlivé typy automatizací, které pro dosažení stanovených cílů lze použít. V druhé části kapitoly je obsažen popis výrobního závodu, detailně zaměřený na jednotlivé úkony konkrétních logistických procesů s potenciálem pro automatizaci, včetně použitých technických prostředků, detailů potřebných pro pochopení dané problematiky a návrhů automatizace s hodnocením benefitů a nedostatků. V závěrečné části kapitoly je detailně popsán vybraný logistický proces určený pro implementaci prostředků automatizace, a to včetně představení aktuálního způsobu provádění jednotlivých úkonů, layoutů ploch a detailů přepravovaných břemen.

2.1 Definice automatizace

Automatizaci lze obecně definovat jako proces následování předem stanoveného sledu operací s malou nebo žádnou mírou lidské intervence, využívající speciální nástroje a zařízení, které provádějí a řídí výrobní procesy. Pro dosažení automatizace v jejím plném slova smyslu využíváme různá technologická řešení, senzory snímající různé fyzikální veličiny, akční členy řídící pohyb stroje, regulátory tlaku a teploty, vybavení schopné sledovat průběh výrobního procesu se schopností reagovat na změny, rozhodovat se a volit správné řešení nastalých situací týkajících se provozu. Jako průmyslovou automatizaci pak označujeme stroje využívající výše uvedená technologická řešení, pomocí kterých je možné transformovat manuálně prováděné procesy na procesy automatizované nebo mechanizované, za účelem zvýšení produktivity, kvality, efektivity a minimalizace nákladů, námahy a rizik.

Jako mechanizované procesy označujeme činnosti, při kterých lidská obsluha využívá mechanických nástrojů usnadňujících obsluhu pracovní úkony a pozitivně ovlivňujících rychlost a kvalitu prováděné výrobní operace. Automatizované procesy jsou oproti těm mechanizovaným řízeny výpočetními systémy, které zajišťují rychlé a přesné dokončení stanoveného sledu operací, čímž dochází k minimalizaci nutné lidské intervence. Při implementaci automatizace je nutné provést analýzu daného procesu s cílem identifikovat operace vhodné pro automatizování, tak aby automatizace řešila

vzniklý problém dané operace a nestala se jeho zdrojem. Operace vhodné pro automatizování negativně ovlivňují efektivitu, kvalitu, rychlost výroby nebo představují bezpečnostní riziko.

Automatizace je proces zabývající se aplikováním mechatroniky a počítačového řízení do odvětví služeb nebo výroby finálních produktů. V odvětví výroby produktů zahrnuje automatické obráběcí stroje, automatické montážní linky, pokročilé systémy kontroly kvality finálních produktů založených na sofistikovaných snímacích technologiích, průmyslová robotická ramena vybavená různorodými nástroji, automatické přemísťování výrobních materiálů, automatické skladovací systémy a řídicí systémy používající informace o výstupu z výrobního procesu k řízení vstupu do procesu, čímž pozitivně ovlivňují kvalitu produktů. Dále systémy umožňující výrobu konkrétního produktu na základě digitálního návrhu, který je převeden na strojový kód srozumitelný pro daný výrobní stroj nebo pokročilé ERP systémy schopné řídit a plánovat výrobu v závislosti na strojových predikcích požadavků odběratele. Za hlavní výhody průmyslové automatizace považujeme šetření zdrojů personálních i materiálních, schopnost efektivní kontroly automatizovaných výrobních procesů a výstupů z těchto procesů a s tím související navýšení kvality výsledných produktů, zvýšení míry bezpečnosti práce a produktivity. [7]

2.2 Cíle automatizace

Mezi hlavní cíle, které mohou být dosaženy prostřednictvím implementace různých technologických řešení a metod automatizace procesů, jako jsou průmysloví roboti, CNC stroje, strojové řízení procesů, autonomní mobilní roboti, automatizované skladovací systémy a dalších řešení automatizace řadíme:

- sjednotit postupy výrobních operací a standardizovat výrobu, čímž se dosáhne zlepšení kvality, zredukování časů výrobních cyklů a snížení nákladů na pracovní sílu,
- zlepšit produktivitu a efektivitu práce snížením výrobních nákladů spojených s manipulací jednotlivými komponenty a polotovary a dosažení efektivní kontroly a řízení výroby,

- zredukovat lidskou intervenci za účelem minimalizace možnosti vzniku lidské chyby způsobené monotónní prací nebo neopatrnou manipulací s jednotlivými komponenty, polotovary nebo finálními výrobky,
- zvýšit úroveň bezpečnosti práce, zvláště v rizikovém pracovním prostředí,
- minimalizovat prostorové nároky na podlahové plochy a pohyb materiálu efektivním rozložením výrobních strojů a snížením počtu mezioperačních přesunů polotovarů,
- vyrovnat nedostatek pracovních sil způsobený demografickým vývojem, nedostatkem kvalifikované pracovní síly nebo vysokou náročností výrobních operací. [7]

Implementaci technologií do průmyslového prostředí nebo odvětví služeb za účelem transformace manuálně vykonávaných operací na operace automatizované volíme také v situacích, kdy náklady na lidskou pracovní sílu převyšují náklady spojené s pořízením a provozováním technologií umožňujícím automatizaci daného procesu. Při vytváření objektivní kalkulace návratnosti investice je nutné zvolit správné časové rozmezí. Neméně důležitým aspektem pro rozhodování se o implementaci automatizace je konkurenceschopnost, neboť automatizace může vést k nižším cenám finálních produktů, zlepšení kvality finálních produktů a celkově zlepšuje obraz firmy na spotřebitelském trhu. Zároveň automatizace není ovlivněna nemocností nebo fluktuací personálu, tudíž redukuje náklady vynaložené na odborná školení nového personálu.

2.3 Typy automatizace

Automatizaci lze rozlišit podle velikosti prostředků, které je nutné vynaložit ve spojitosti s pořízením automatizovaných systémů na automatizaci nízkonákladovou a automatizaci s vysokými náklady. Nízkonákladová automatizace se zaměřuje na minimalizaci potřebných nákladů spojených s pořízením a provozem automatizovaného systému. Toto řešení formuje určitý stupeň automatizace okolo stávajícího výrobního zařízení, a to za pomoci dostupných prostředků, čímž zjednodušuje proces bez změny základních nastavení a zaběhlých sledů operací.

Dále automatizaci dělíme dle schopnosti reagovat na změny výroby do tří kategorií:

- pevná automatizace,

- programovatelná automatizace,
- flexibilní automatizace. [7]

2.3.1 Pevná automatizace

Pevná automatizace se vyznačuje tím, že je navržena pro řešení konkrétních výrobních úkonů a procesů, které jsou stabilní a nevyžadují časté optimalizace. Důležitým faktorem pro zvolení tohoto typu automatizace je dlouhý životní cyklus vyráběného produktu, protože v případě pevné automatizace se většinou jedná o napevno zabudované speciálně navržené jednoúčelové stroje optimalizované pro konkrétní úlohy s možností navýšení výrobní kapacity nicméně rozšíření funkčnosti nebo kompletní přepracování na novou výrobní operaci je velice nákladné a náročné. Často tak bývá výhodnější pořízení dalšího stroje, proto je vhodné použít tento typ automatizace pro hromadnou a velkosériovou výrobu, kdy se vyrábí jen nebo více výrobků ve velkém množství.

U pevné automatizace je také kladen veliký důraz na rychlost zpracování zadaného výrobního úkonu s maximální mírou účinnosti. Příklady pevné automatizace můžeme najít v automobilovém, potravinovém, elektronickém, farmaceutickém, textilním nebo těžebním průmyslu, protože se jedná o relativně stabilní výrobu, vyznačující se vysokým stupněm opakovatelnosti s možností přesné predikce poptávky. Také se jedná o náročné procesy vyžadující velkou rychlost zpracování. [7, 8]

2.3.2 Programovatelná automatizace

Tento typ automatizace se vyznačuje použitím programovatelných řídicích systémů, které umožňují flexibilnější a efektivnější automatizaci výrobních úkonů a procesů. Přítomnost řídicích systémů umožňují obsluhu programovat a upravovat výrobní procesy podle aktuálních potřeb v souladu s výrobní zakázkou bez nutnosti manuálních zásahů do zařízení. Programovatelná automatizace je tak často využívána v průmyslových výroбах, které jsou nucené pružně reagovat na změny v poptávce, a proto je vhodné používat je ve výroбах kusových a malosériových. Konkrétně se jedná o obráběcí stroje s číslicovým řízením a průmyslové roboty.

Mezi jejich hlavní výhody zahrnujeme flexibilitu a rychlost s jakou lze změnit posloupnost stanoveného sledu operací, nicméně toto platí pouze pro opakující se výrobu, protože vytvoření programu pro nový produkt je časově náročné a vyžaduje práci

odborníka. Další výhodou tohoto typu automatizace je pořizovací cena a od ní se odvíjející návratnost počáteční investice, která je přívětivější oproti automatizaci pevného typu.

[7, 8]

2.3.3 Flexibilní automatizace

Flexibilní nebo též měkká automatizace se vztahuje na automatizační systémy, které jsou navrženy s důrazem na vysokou míru přizpůsobení se aktuálním očekáváním, díky čemuž jsou schopné rychle reagovat na změny ve výrobním procesu související například se zpětnou vazbou od zákazníka, v reakci na měnící se podmínky trhu nebo příchod nového produktu. Tento typ automatizace může být snadno rekonfigurován na různé úkoly a výrobní operace.

Vysoké úrovně flexibility je dosaženo využitím programovatelných řídicích jednotek a pokročilých senzorických technologií určených pro monitorování a řízení procesů, což umožňuje rychle měnit předdefinované posloupnosti operací bez nutnosti předem naplánovaných časově náročných změn systému, proto lze tento typ automatizace použít k výrobě různých kombinací produktů podle libovolně specifikovaného plánu nebo pro kusovou výrobu. [7]

2.4 Popis výrobního závodu

Výrobní závod se zabývá produkcí výrobků určených pro následnou montáž do vznětových a spalovacích motorů a mezi jeho zákazníky patří přední výrobci osobních automobilů. Portfolio výrobního závodu čítá celkem jedenáct různých alternativ finálních produktů. Výrobky jsou expedovány do konkrétních výrobních závodů zákazníků nacházejících se v Severní Americe, Evropě a Asii, a to pomocí silniční, železniční, lodní a letecké dopravy. Výrobní závod v současné době zaměstnává přibližně 500 zaměstnanců na různých pracovních pozicích. Výroba probíhá ve třech osmihodinových směnách, kdy pracovní operace jsou zahájeny v neděli noční směnou a končí v pátek směnou odpolední.

Výrobní závod je součástí předního globálního dodavatele pro automobilový, letecký a průmyslový sektor, zabývajícího se inovacemi, vývojem a výrobou produktů v oblasti pohybu a mobility, v jehož výrobních závodech je kladen důraz na využívání moderních metod, systémů a technologií nejenom v oblasti výroby, ale i v oblastech kvality,

logistiky a dalších. Pro účely pořízení moderních technologií určených k automatizování úkonů prováděných ve výrobním závodě, uvolňuje mateřská společnost prostředky, pro jejichž čerpání musí konkrétní projekt splnit podmínku návratnosti investice v době kratší než tři roky.

Výrobní závod operuje s přibližně 280 druhy komponent, z nichž si přibližně 40 procent sám vyrábí a zbytek nakupuje u různých dodavatelů. Výroba interně produkováných komponent je plánována a řízena ERP systémem, jehož součástí je i WMS a MES a probíhá na vlastních lisech různých tlaků s integrovanými robotickými manipulátory. Lisy jsou přímo spojeny s pracovišti vykonávajícími operace broušení míst vtoků pomocí dvojice kolaborativních robotů, z nichž jedno robotické rameno provádí operaci broušení a druhé robotické rameno zakládá hotové díly do interních transportních obalů. U některých komponent dochází k dodatečnému vypalování DMC kódů, které v případě potřeby slouží ke zpětnému dohledání vyrobeného komponentu.

Všechny interně vyráběné komponenty jsou naskládány do definované obalové jednotky, jakmile je zkompletována celá transportní jednotka, je označena vygenerovanou etiketou z WMS, která obsahuje jedinečný identifikátor ve formě čárového kódu. Jako základní obalové jednotky používané pro interní oběh nakupovaných a vyráběných komponentů ve výrobě jsou používány KLT boxy o různých rozměrech, které jsou skládány na plastovou paletu. Transportní jednotky definované v konkrétních balících předpisech, jsou tvořené přesným počtem KLT boxů, které se skládají na transportní podvozky odpovídajícího rozměru. V této podobě jsou skladovány v jasně označených zásobnících ve výrobní hale. Doplnění a odebírání materiálů z těchto zásobníků je řízené metodou FIFO.

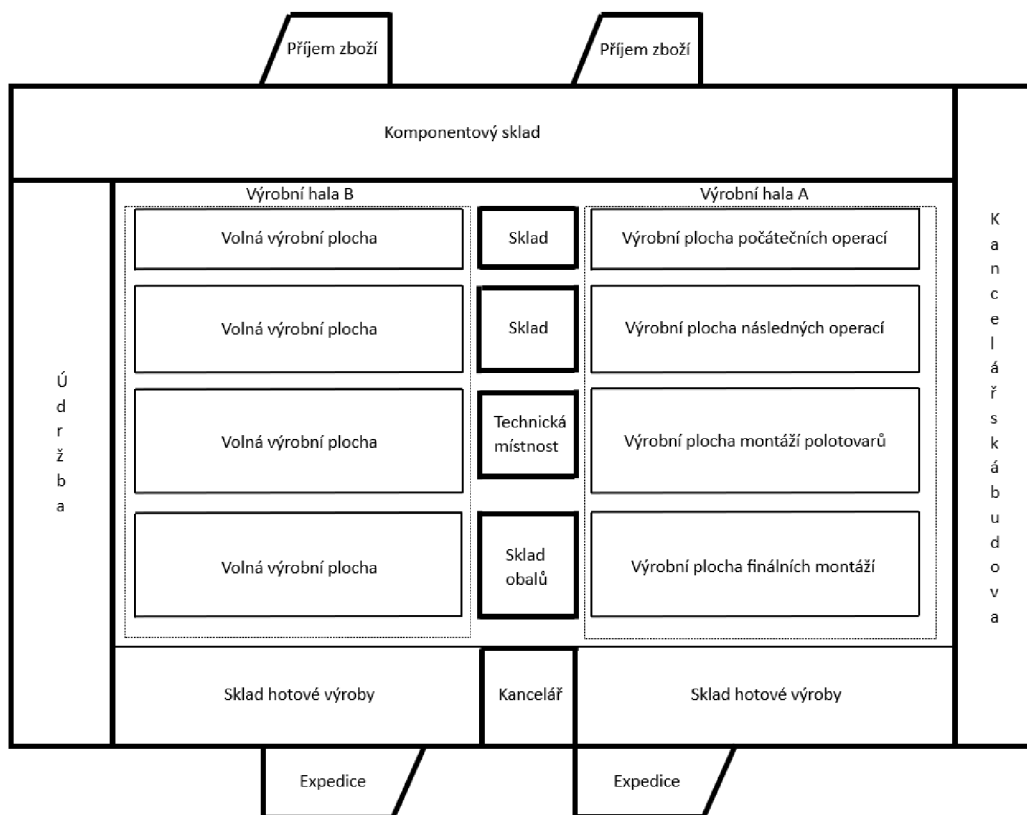
Vyrobené komponenty, nakupované komponenty a polotovary jsou objednávané obsluhou pracoviště montáže polotovarů a finální montáže v čase potřeby pomocí metody kanban, jež je realizovaná pomocí WMS a následně vyřízena pracovníky logistiky v rámci pravidelných tras systému zásobování výroby milk run.

Na hale A se v definované oblasti nachází sedm montážních linek tvaru U, které spotřebovávají vstupní komponenty a polotovary. Na jednotlivých montážních stanovištích se v každé lince postupně zkompletuje finální produkt, jehož funkčnost je ještě v lince strojově ozkoušena. Následně je finální produkt zkontrolován obsluhou pracoviště vizuální kontroly, které je umístěno na výstupu z linky, a zabalen

do příslušného transportního obalu, který je dopravován ze skladu obalů a naplněný je odvezen pracovníky logistiky na expediční plochu.

2.5 Layout výrobního závodu

Výrobní závod využívá pro svoje potřeby jednu halu, která se skládá z několika oddělených oblastí s jasně definovaným využitím. Orientační layout výrobního závodu je zobrazen na obrázku číslo 2.1. Produkční oddělení, oddělení nákupu, oddělení kvality, průmyslové inženýrství, průmyslová technologie, oddělení výzkumu a vývoje a podnikový management jsou umístěny v hlavní kancelářské budově. Podniková údržba má určený vlastní prostor nacházející se na opačné straně výrobního závodu. Příjem zboží, sklad komponent a vychystávací plocha tvoří začátek materiálového toku, layout výrobního závodu je proto navržen tak, aby byl dodržen směr toku materiálu shora dolů, od příjmu zboží, přes výrobní a montážní operace až po expedici, čímž je minimalizována vzdálenost mezi jednotlivými výrobními operacemi a tím minimalizován i čas potřebný pro jednotlivé transporty materiálu.



Obr. 2.1 Layout výrobního závodu

Zdroj: vlastní zpracování

Samotný výrobní prostor závodu je rozdělen na dvě výrobní haly oddělené skladem pro surový materiál, skladem určeným pro potřeby produkčního oddělení, technickou místností, skladem obalového materiálu a kanceláří logistiky. Výrobní hala B je volná, protože je určena pro projekt, jehož start je očekávaný v budoucnu. Hala A je rozdělena na několik oblastí jednotlivých výrobních operací, na kterých jsou umístěny stroje podobného charakteru a zásobníky hotové výroby dané operace. Jednotlivé výrobní oblasti jsou odděleny komunikací, která splňují šířku určenou pro jednosměrný a obousměrný provoz. Obousměrný provoz je povolený pouze na hlavní obvodové trase, ostatní komunikace jsou jednosměrné.

Naplněná balení finálního produktu jsou skladována ve skladu hotové výroby, kde je toto balení patřičně označeno, manuálně zafixováno pomocí PET pásky a nachystáno na samotnou expedici, a to podle avizovaných příjezdů dopravců.

2.6 Analýza logistických procesů a možnosti automatizace

2.6.1 Logistické procesy s potenciálem pro automatizaci

Interní logistika zastává operace příjmu zboží, skladování nakupovaných komponent a dalších materiálů, zásobování výroby, převozy komponent mezi jednotlivými výrobními operacemi a činnosti spojené s expedicí. Podle interní analýzy vykonávaných činností logistického oddělení se pro implementaci různých prostředků automatizace hodí tři činnosti, které jsou svým charakterem stěžejní pro správný chod výroby, jsou náchylné na výskyt lidských chyb, vyžadují zapojení většího počtu pracovníků logistiky, jsou spojené s přesunem materiálu, který negeneruje přidanou hodnotu finálnímu produktu a jejich vykonávání může vést ke vzniku pracovního úrazu.

První analyzovaný proces je zaskladňování nakupovaných komponent, což je úkon následující po vykonání příjmu zboží. Komponenty jsou zabaleny v KLT boxech skládaných na paletě. Po příjmu zboží jsou zaskladněny do výškových policových regálů, odkud jsou v případě potřeby jednotlivé KLT boxy vyskladněny do vychystávacího skluzového regálu. Tato činnost je řízena WMS.

Popsaný proces lze automatizovat pomocí skladovacího systému Mini Load, s kapacitou 17 000 KLT boxů různých rozměrů, což plnohodnotně nahrazuje manuální činnosti spojené s využíváním výškových policových regálů a vychystávacích skluzových regálů.

Benefity konceptu automatizace jsou efektivní využití prostoru skladu, implementace metody G2M a napojení na WMS, tento koncept ale nebude realizován, protože není splněna podmínka návratnosti investice v době kratší než tři roky, a to hlavně z důvodů vysoké prvotní investice do systému Mini Load.

Druhý analyzovaný proces je zásobování výrobních linek interními a nakupovanými komponenty v rámci pravidelných tras systému zásobování výroby milk run. Koncept automatizace vychází z návrhu nahrazení aktuálně používaného tahače a jeho periférií flotilou autonomních mobilních robotů přepravujících periférie tvořené pevnou základnou, na které je umístěný regálový systém schopný pojmout určitý počet KLT boxů. Vychystání požadovaných nakupovaných komponent provádí pracovník komponentového skladu, na základě požadavků vytvářených ve WMS. AMR přemísťuje vychystanou periférie ze skladu komponent ke konkrétní výrobní lince, kde platformu odkládá na definovanou pozici, pro cestu zpět do skladu je AMR vytíženo převozem platformy, která je tentokrát naplněna prázdnými obaly, vzniklými spotřebou komponent.

Benefitem tohoto řešení je eliminace možnosti záměny komponentu při vykládání KLT boxů na určeném místě u konkrétní výrobní linky, protože AMR přiváží vždy platformu určenou pro konkrétní linku. Dále dochází k eliminování času, který operátor stráví činností řízení, což mu dává možnost věnovat se sofistikovanějším úkonům. Tento koncept není zatím realizován, protože vyžaduje zásadní změny v logistickém konceptu a vyšší míru spolupráce s výrobním oddělením.

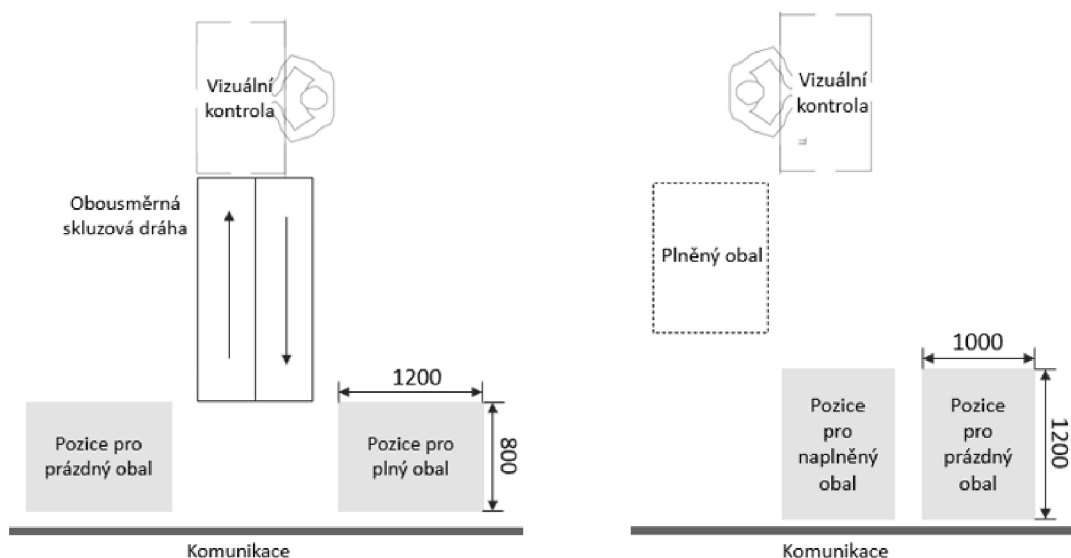
2.6.2 Logistický proces vybraný pro automatizaci

Třetí analyzovaný proces je přeprava prázdného obalu určeného pro balení finálního produktu ze skladu obalů ke konkrétní montážní lince a následný odvoz naplněného obalu od montážní linky do skladu hotové výroby, kde dochází k jeho fixaci PET páskou, která je vykonávána manuálním páskovacím strojem. Po zapáskování následuje úkon zaskladnění obalu na správnou pozici, kde je uskladněn do doby, než dojde k jeho naložení na LKW. Za tento proces jsou zodpovědní dva operátoři na každé směně, kteří obsluhují vysokozdvíhový vozík a páskovací stroj.

Každý finální produkt z celého portfolia výrobního závodu vyžaduje balení do specifického obalu, pracovník logistiky zodpovídá za to, že je k montážní lince dopraven správný typ obalu. Tyto obaly se liší rozměrem použité palety, použitým obalovým materiálem a blistrem nebo výplní tvořenou několika vrstvami kartonových

mřížek. Ve výrobním závodě se používají dva základní typy obalů. Prvním typem je obal využívající dřevěnou paletu o rozměrech 1200x1000mm (délka, šířka), která je kvůli stabilitě během transportu k zákazníkům podbita podélně o příčně. Na této paletě je umístěný kartonový obal obsahující různé druhy kartonových mřížek. Dále se využívá obal s kovovou paletou o rozměrech 1200x800mm (délka, šířka), na které jsou naskládány KLT boxy obsahující různé typy blistrů. Kovová paleta může být obsluhovaná všemi typy manipulační techniky, neboť má čtyři opěrné nohy, které nejsou vzájemně spojené.

U pracoviště vizuální kontroly, kde dochází k balení finálního produktu do obalového materiálu, jsou jasně definované oblasti pro prázdný obal, plný obal a plněný obal. Pracoviště vizuální kontroly využívající pro balení finálních produktů KLT boxy, používá obousměrnou skluzovou dráhu, na kterou jsou jednotlivé KLT boxy vyskládány, v jednom směru prázdné, v opačném směru naplněné, čímž je dosaženo snadné a ergonomicky správné manipulace. Pokud pracovník logistiky nedostane informaci od pracovníků výroby o ukončení zakázky, uvolnění pozice pro prázdný obal udává vizuální signál pracovníkovi logistiky, který je povinen vybrat ze zásoby vhodný typ obalu a odvést ho na požadované místo. Aby bylo možné obalem pohybovat mezi jednotlivými oblastmi u pracoviště vizuální kontroly, je obal pokládán pomocí vysokozdvížného vozíku na rozměrově odpovídající paletový podvozek. Na obrázku číslo 2.2 jsou zobrazeny layouty pracoviště vizuální kontroly, s využitím různých typů obalových jednotek.



Obr. 2.2 Layout pracovišť vizuální kontroly

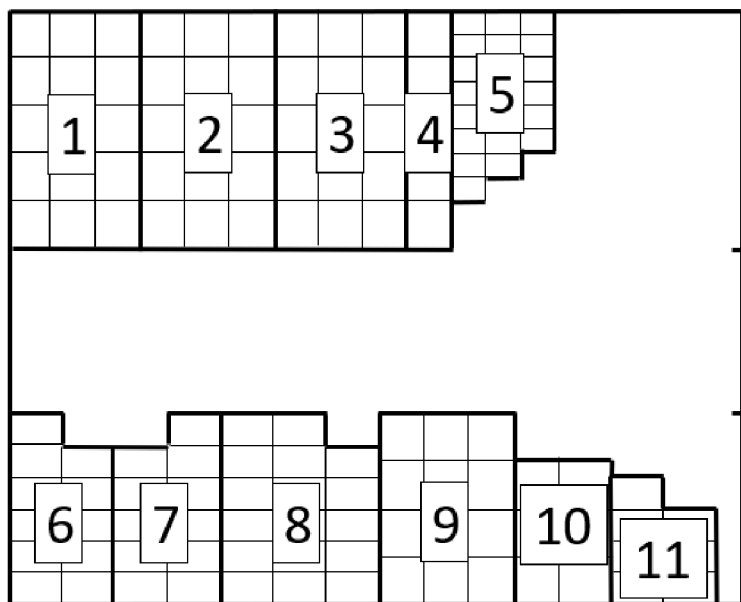
Zdroj: vlastní zpracování

Koncept automatizace popsané procesu předpokládá použití čelního vidlicového AGV s vysokým zdvihem, které je schopné odebírat stohovaný obalový materiál ve skladu obalů a doručovat tento obalový materiál k pracovištím vizuální kontroly, kde bude obal odkládat na přistavené paletové podvozky. Následně bude odvážen naplněné obaly do skladu hotové výroby, kde je bude odkládat na předem definovanou pozici, případně bude naplněné obaly pokládat na první segment válečkového dopravníku automatické páskovací linky, která komunikuje s AGV a která je součástí dlouhodobé strategie automatizace logistických procesů interní logistiky.

Doplňování obalů u pracovišť vizuální kontroly bude inicializováno virtuálním nebo pevným tlačítkem, jehož stisk provedený obsluhou pracoviště vizuální kontroly vyvolává akci skládající se z činností návozu prázdného obalu a odvozu obalu naplněného. Informaci o tom, který konkrétní druh obalu je požadovaný, dostává AGV z vlastního řídicího systému komunikujícího s ERP systémem, který má informaci o právě probíhající výrobě konkrétních zakázek. Benefity automatizace tohoto procesu jsou odstranění opakující se práce, možnost využití operátorů pro složitější úkony a systémové řízení objednávání a transportu obalů.

2.6.3 Layout obalového skladu

Obalový sklad je rozdělen vizuálním značením na oblasti určené pro konkrétní typ obalového materiálu. Rozlišujeme celkem jedenáct druhů obalového materiálu odlišujícími se rozměry, obsaženými kartonovými mřížkami a blistry určenými pro bezpečné uložení finálního produktu. Prázdný obalový materiál je ve skladu stohován na sebe do sloupců vždy po pěti obalových jednotkách. Tento počet je definován v rámci protipožárních opatření. Doplnění obalů ve skladu provádí pracovníci logistiky pomocí vysokozdvíhových vozíků, samotné doplňování probíhá dvakrát v rámci ranní směny všedního dne. Větší množství obalových jednotek je skladováno u externího partnera a jejich maximální počet v interním skladu výrobního závodu je definovaný tak, aby nemohl nastat nedostatek obalů mezi posledním závozem páteční ranní směny a prvním závozem pondělní ranní směny následující pracovní týden. Layout obalového skladu je zobrazen na obrázku číslo 2.3.



Obr. 2.3 Layout obalového skladu

Zdroj: vlastní zpracování

2.6.4 Používané manipulační prostředky

Aktuálně využívá interní logistika pro činnosti spojené s transportem obalových jednotek ze skladu obalů k výrobním linkám a od výrobních linek na plochu skladu hotové výroby trojici čelních vysokozdvížných vidlicových vozíků Jungheinrich EFG 110. Tento typ vozíku s nosností 1,1tuny je zobrazen na obrázku číslo 2.4.



Obr. 2.4 Jungheinrich EFG 110

Zdroj: [41]

Dva vysokozdvížeňé vozíky jsou vybaveny lithium iontovými akumulátory, které umožňují dobíjení baterie v krátkých intervalech bez rizika poškození napájecího zařízení. Třetí VZV využívá trakční baterii, k přestavbě na lithium iontovou technologii nebylo přistoupeno kvůli stáří VZV. Nabíjecí stanice vybavená odtahy nebezpečných výparů vznikajících během nabíjení trakčních baterií se nachází na hale C, na ploše skladu hotové výroby. Tato manipulační technika je sdílena i s dalšími pracovníky, kteří jsou zodpovědní za proces expedice. Čelní vysokozdvížeňý vozík byl pro tuto činnost vybrán, protože je to jediný typ manipulační techniky schopný manipulovat s obalovou jednotkou využívající podélně a příčně podbitou paletu.

Obsluha pracoviště vizuální kontroly využívá pro manipulaci obalové jednotky mezi pozicemi určenými pro prázdnou, plněnou a naplněnou obalovou jednotku paletový podvozek, který je zobrazen na obrázku číslo 2.5. Tento podvozek je přiřazen na konkrétním pracovišti a pracovníci logistiky na něj pokládají břemeno, případně z něj břemeno odebírají. Využití tohoto podvozku vybaveného nožní brzdou, protiskluzovou deskou a manipulačním madlem zlepšuje ergonomii práce a eliminuje nutnost využití ručního paletového vozíku.

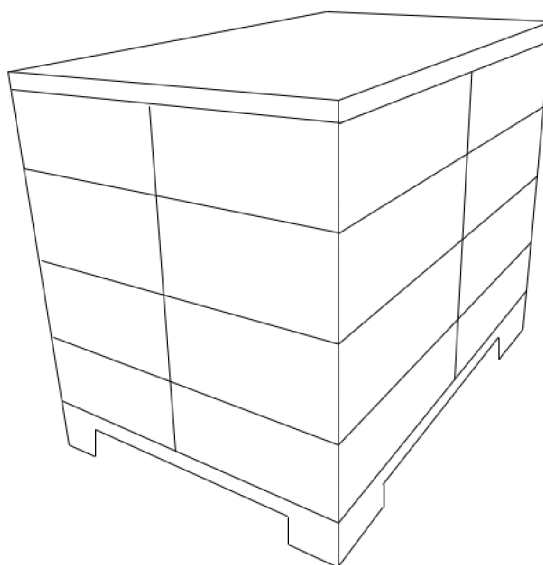


Obr. 2.5 Paletový podvozek

Zdroj: [42]

2.6.5 Popis přepravovaných břemen

Prvním typem přepravovaného břemene je obalová jednotka využívající kovovou paletu, KLT boxy a transportní víko viz obrázek číslo 2.6. Tento obal má rozměry 1200x800mm (délka, šířka), naplněný může vážit až 215 kg, z toho 35 kg připadá na samotnou kovovou paletu a lze ho použít pro pět různých variant finálního produktu, což je určeno variantou blistru, který se nachází uvnitř KLT boxů. Tento obal se dopravuje na pět pracovišť vizuální kontroly u montážních linek.



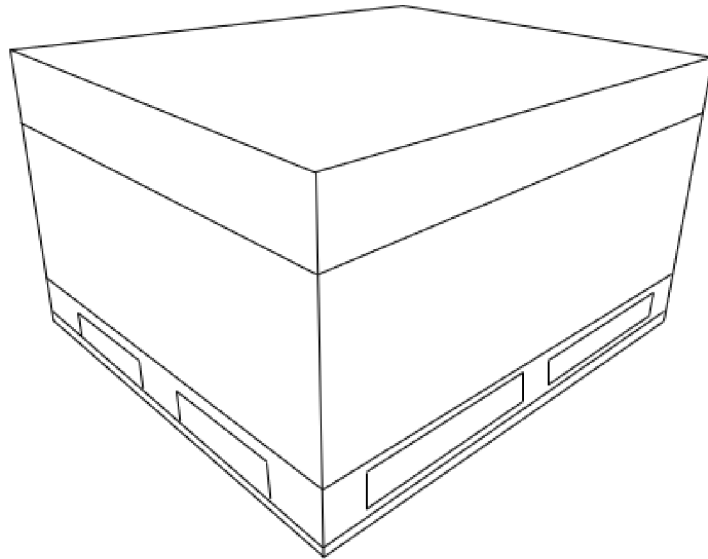
Obr. 2.6 Obal s kovovou paletou a KLT boxy

Zdroj: vlastní zpracování

Druhým typem přepravovaného břemene je obalová jednotka využívající dřevěnou paletu a kartonový obal se samostatným kartonovým víkem, obsahujícím různé druhy kartonových mřížek, jejichž buňky jsou v různých rozměrech odpovídajících velikosti finálního produktu. Tento typ obalové jednotky je zobrazen na obrázku číslo 2.7, má rozměry 1200x1000mm (délka, šířka), naplněná může vážit až 130 kg a lze ji použít pro šest různých variant finálního produktu. Tato obalová jednotka se dopravuje na dvě pracoviště vizuální kontroly u montážních linek.

Vzhledem k tomu, že tento obal je určen pro přepravu v kontejnerových lodích, které během přepravy můžou čelit přírodním silám způsobujícím extrémní výkyvy dopravního prostředku, je z důvodů zajištění maximální stability paleta po celém obvodu zpevněna dřevěnou výztuhou, což umožňuje manipulaci pouze čelním vidlicovým

vozíkem, protože využití jiného typu manipulační techniky může způsobit poškození palety.



Obr. 2.7 Kartonový obal s dřevěnou paletou

Zdroj: vlastní zpracování

2.7 Analýza dostupných AGV řešení na trhu

V současné době existuje několik forem automaticky vedených vozidel určených pro průmyslové použití, navržených pro efektivní a bezpečný transport. Jedná se převážně o stroje určené pro obstarání toku různého materiálu mezi startem a cílem mise, nicméně stále více se prosazují na trhu firmy nabízející autonomní mobilní roboty s možností montáže speciálního příslušenství využívajícího kolaborativní robotické systémy, pásové dopravníky, gravitační válečkové regály, zdvihací zařízení nebo čtečky čárových kódů což je v souladu s filozofií dodavatelů vytvářet příslušenství, vyhovující specifickým požadavkům zákazníka, určené pro sériově vyráběná automaticky vedená vozidla, proto aby se snížila jejich cena a tím zvýšila jejich dostupnost.

2.7.1 Tažné AGV

Jedná se o nejstarší formu AGV, která byla poprvé zkonstruována ve firmě Barrett Electronics v Illinois v roce 1953 a sloužila pro dopravu materiálu po výrobním závodě společnosti Mercury Motor Freight Company. Vozík pojmenovaný jako Guide-O-Matic

byl navržen pro automatický pohyb na trase vyznačené kabelem umístěným na podlaze, později se drát skryl do podlahy. Mezi další technické vybavení tohoto vozíku patřily senzory hlídající přítomnost překážek na trase, pevný nárazník a tlačítko pro nouzové vypnutí. [15]

V současné době se jedná o velice populární typ AGV, který již pro svoji navigaci v prostoru nevyžaduje fyzické vedení realizované formou drátu nebo magnetické pásky. Hlavní výhodou tažných AGV je možnost nasazení v rozdílných typech průmyslové výroby a schopnost transportu více obalových jednotek v jednom přepravním cyklu, neboť tažné AGV může táhnout několik přípojných různorodě řešených vozíků, proto jsou ve výrobních závodech nasazována hlavně na přepravu velkého množství materiálu na dlouhé vzdálenosti. Celková délka soupravy je závislá na šířce komunikací, a to zejména v prostorech křižovatek a zatáček, a také na schopnosti připojených vozíků dokonale následovat trajektorii tažného AGV. U implementace toho typu soupravy je také nutné myslet na řešení stanic určených pro nakládání a vykládání soupravy, případně odpojování a připojování vozíků, neboť souprava čekající na operátora odpovědného za tyto operace může blokovat důležité komunikace ve výrobním závodě.

Někteří dodavatele tažných AGV nabízejí možnost automatického připojování a odpojování prvního vozíku soupravy, čímž se tento proces automatizuje, nicméně tato funkce není vhodná pro každé řešení přesunu materiálu pomocí tažného AGV. Některá řešení AGV vozíků nabízejí možnost přepínat režim provozu mezi automatickým a manuálním. Takový typ AGV je zobrazen na obrázku číslo 2.8. V praxi lze různé módy řízení využít například tak, že AGV překoná dlouhou vzdálenost z logistické haly do haly výrobní v automatickém režimu a na předdefinovaném místě zastaví a čeká na operátora. Operátor přepne vozík do manuálního režimu a vjede s celou soupravou do úzkých prostor mezi výrobními stroji, kde provede úkony spojené s naložením a vyložením soupravy. Po ukončení této činnosti a jejím navrácení na hlavní komunikaci, přepne operátor tažné AGV zpět do automatického režimu, které se již bez řidiče navrátí do logistické haly.



Obr. 2.8 Tažné AGV s možností provozu v manuálním režimu

Zdroj: [16]

2.7.2 Čelní vidlicové AGV

Tento typ AGV se používá pro přepravu, vyskladňování nebo zaskladňování obalových jednotek umístěných na paletě. Konkrétní využití čelního vidlicového AGV je závislé na zvoleném typu stroje. Čelní vidlicová AGV dělíme dle výšky zdvihu na nízkozdvižné a vysoko zdvižné a na vozíky s vidlicemi zavěšenými na rámu s možností změny rozteče vidlic a na vozíky s pevnou konstrukcí, viz. obrázek číslo 2.9. AGV s vidlicemi zavěšenými na nosném rámu je vhodné pro transporty standardních a speciálních palet, které je AGV schopné vyzvednout přímo z pracovní plochy bez nutnosti instalace paletových stanic či jiných platforem.

Paletové stanice je nutné použít v případě využití čelního vidlicového AGV s pevným rámem pro manipulaci speciálních palet neumožňujících průjezd vozíku skrze paletu. Obalové jednotky určené pro manipulaci pomocí čelních vidlicových AGV je nutné přesně umístit na předem definované místo určené pro vyzvednutí nebo odložení přepravovaného břemene, v případě nepřesně umístěného břemene vozík vyhodnotí situaci jako nebezpečnou a bude pokračovat v práci na dalším přepravním úkolu.



Obr. 2.9 AGV s vidlicemi zavěšenými na rámu a AGV s pevným rámem

Zdroj: [17]

Vysokozdvížné AGV jsou vhodné pro práci v regálových skladech přizpůsobených pro provoz automaticky vedených vozidel, ale docílení rychlosti a přesnosti práce je vhodné vybavit jednotlivé skladové pozice čidly informujícími AGV o obsazenosti jednotlivých buněk regálového systému. Některé typy čelních vidlicových AGV je možné přepínat mezi automatickým a manuálním jízdním režimem, čehož se využívá ve stejných případech jako u tažných AGV. Nabíjení vozíků se provádí buď kontaktním nabíjením, kdy konektory nabíjecí stanice jsou umístěny na zemi nebo na straně nabíjecího doku a AGV se automaticky připojí, případně lze baterii měnit manuálně.

2.7.3 AMR – Autonomní mobilní roboti

AMR lze považovat za evoluci automaticky vedených vozidel. Jedná se o sofistikované, flexibilní řešení automatizace přepravních úkonů, jehož prvotní koncepce vznikla v 80. letech 20. století s úkolem vykonávat monotónní úkoly podle předem definovaných scénářů namísto lidských operátorů, kteří se tak mohou věnovat složitějším úkolům. V průběhu let se technologie mobilních robotů neustále vyvíjela až na současnou úroveň, kdy výrobci produkují sofistikovanější a inteligentnější roboty, se schopností provádět stále náročnější repetitivní úkoly. S nástupem vyspělých softwarových systémů a senzorů je možné robotům poskytnout větší autonomii a schopnost adaptovat se na měnící se podmínky. Příklad autonomního mobilního robota je zobrazen na obrázku číslo 2.10.



Obr. 2.10 Autonomní mobilní robot

Zdroj: [18]

Hlavní rozdíl mezi AGV a AMR je v použitých technologiích, pomocí kterých se tyto stroje orientují na definované trase. Zatímco AGV využívá pro navigaci kabely, magnetické pásy, senzory, odrazové prvky a pohybuje se na definované trase bez možnosti objet případnou překážku na trati, AMR je vybaveno speciálními sadami kamer, integrovaných senzorů, laserových skenerů a sofistikovaného softwarového řešení, které je použito mimo jiné také jako paměť vozíku. Do této paměti je nahrána podrobná mapa prostoru určeného pro pohyb AMR, včetně alternativních tras, jednotlivé zastávky určené pro vyzvednutí a složení břemen, nabíjecí stanice, zakázané oblasti pohybu nebo únikové východy a části požárních úseků, na kterých AMR v případě požárního poplachu nesmí překážet. Pomocí těchto nástrojů je autonomní mobilní robot schopný samostatného navádění s možností volení efektivnějších tras a detekce překážek se schopností jejího objevení.

Vzhledem k tomu, že pro provoz AMR není nutné umisťovat podél definovaných tras žádné pevné prvky určené pro navigaci vozíku, je případná změna těchto tras proveditelná pouze v softwarovém manageru flotily, což z AMR dělá vhodné řešení pro průmyslové výroby, které jsou nucené často měnit svoje dispozice a procesy. Tento manager má také za úkol sbírat požadavky na transport z jednotlivých stanic, které jsou vyvolávány optickým senzorem nebo stiskem volacího tlačítka. Pokud využíváme více AMR ve flotile, softwarový manažer přiřazuje úkoly jednotlivým robotům podle jejich vytíženosti, stavu baterie a na základě vzdálenosti vozidla od místa vzniku úkolu.

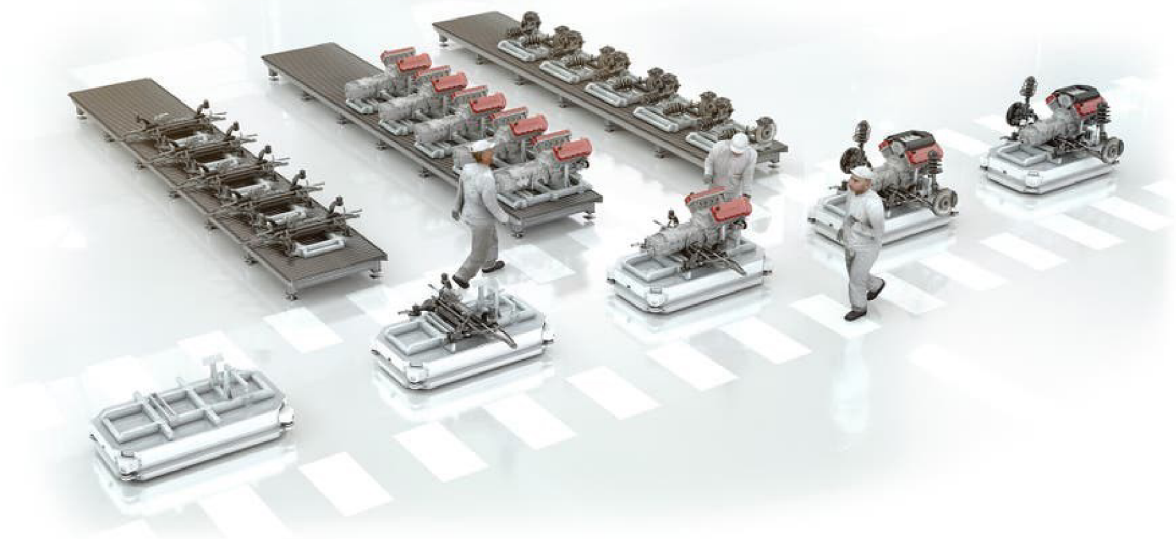
Softwarový manažer flotily sbírá data a všech úkonech, které AMR provedli a stává se tak i nástrojem na tvorbu reportů pro management o časech jednotlivých převozů, počtech převozů, počtu nabíjecích cyklů a tak dále.

Nevýhodou provozování autonomních mobilních robotů může být nutnost využití fixních paletových stanic, určených pro odkládání a vyzvedávání palet, proto vývojáři pracují na řešeních odstraňující tento nedostatek. Existují AMR schopné manipulovat s paletovými podvozky s kolečky, vyzvedávat je nebo umisťovat do FIFO kolejnic. Dále výrobci neustále uvádějí do prodeje nové možnosti nástaveb, které umožňují například pomocí kolaborativních robotů vychystávat komponenty určené pro transport, přepravovat nástavby vybavené gravitačními regály, zvedat břemena ze země a pomocí transportních háků jsou AMR schopná zachytit a táhnout paletový podvozek, takže se stávají případnou alternativou k tažným AGV. AMR jsou také vhodnější pro využití v provozech s malou šířkou komunikací určených pro převoz materiálů. [18, 21]

2.7.4 Plošinové AGV

Plošinové AGV nebo AGV platformy, jsou manipulační prostředky vyznačující se velkou ložnou plochou a robustní konstrukcí, která je používána pro transport různých typů břemen s různými rozměry a váhovým rozpětím od stovek kil až po stovky tun. Podle typu a povahy břemene jsou plošinové AGV doplňovány specifickými nástavbami, umožňujícími pevnou fixaci nákladu po celou dobu transportu, případně mohou být vybaveny nástavbou s válečkovou dráhou nebo pohyblivým pásem pro automatické nakládání a vykládání břemen na pevně umístěnou periférii vybavenou stejným typem manipulačního prostředku. Plošinová AGV nejsou schopná automaticky naložit břemeno položené na podlahové ploše, většinou je pro nakládku nutné využít jinou manipulační techniku, například jeřáb nebo VZV. Časté je také využití plošinových AGV jako součásti montážní linky, v tom případě dochází k montáži přepravovaného břemene přímo na platformě AGV, tak jako je zobrazeno na obrázku číslo 2.11.

Pro řízení plošinového AGV se nejčastěji používá navigace pomocí vodících pásů, případně laserová navigace. U plošinových AGV přepravujících nadměrná břemena je často možné využít i manuální ovládní pomocí ovladače, a to zejména v případech, kdy je potřeba s AGV projet úzkou či jinak členitou oblast, případně mohou plošinová AGV urazit automaticky venkovní vzdálenost mezi výrobními halami a pro vjezd do haly může být využito manuálního ovládní.



Obr. 2.11 Využití plošinového AGV jako součásti montážních operací

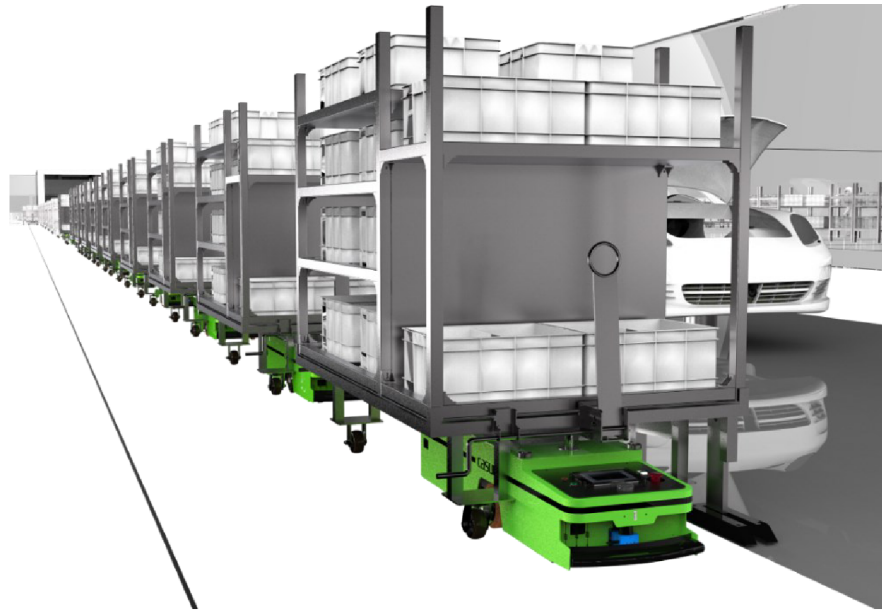
Zdroj: [33]

2.7.5 AGC – Automaticky vedený vozík

Automaticky vedený vozík je typ AGV, u kterého je kladen důraz na jeho cenu, flexibilitu a snadnou instalaci, proto je charakteristický svými rozměry, typem použité navigace a méně robustním rámem, než je tomu u větších AGV. AGC je přizpůsobeno pro podjíždění statických stojanů, manipulačních podvozků a jiných typů pomocných manipulačních prostředků, tomu je také přizpůsoben svojí nízkou výškou. Některá AGC mají také funkci všesměrového řízení, což jim umožňuje otočit se na místě. Tato funkce je u AGC velice užitečná, protože kvůli redukci ceny umí některá nabízená provedení vykonávat jen pohyb vpřed, neboť mají pouze laserový skener sledující prostor před vozíkem a pohyb jiným směrem je kvůli absenci skeneru z bezpečnostních důvodů zakázán. Dalším typem navigace využívaný tímto typem AGV je navigace pomocí vodících pásů.

Rozlišujeme dva typy automaticky vedených vozíků, a to s výsuvnými piny a se zdvihací plošinou. AGC s výsuvnými piny podjíždí pod manipulační podvozek vybavený koly umožňujícími pohyb v rozsahu 360°. Tento manipulační podvozek je vybaven přípojovací částí s otvory pro piny AGC, které slouží k zaháknutí podvozku, což umožňuje vlastní přemístění břemene. AGC může být vybaveno jedním, dvěma nebo čtyřmi piny, což mu umožňuje bezpečně manévrovat se zachyceným manipulačním podvozkem. Díky tomu, že váha břemene prochází koly manipulačního podvozku do podlahy, není vyžadována robustní konstrukce AGC. Manipulační podvozky je možné

spřahat do delších souprav, čímž se z automaticky řízeného vozíku stává alternativa pro tažné AGV. Příklad automaticky vedeného vozíku je zobrazen na obrázku číslo 2.12.



Obr. 2.12 Automaticky vedený vozík s výsuvným pinem

Zdroj: [35]

Automaticky vedený vozík se zdvihací plošinou je koncipovaný na převoz menších vah než plošinové AGV. Díky zdvihacímu mechanismu je schopný přepravovat statické stojany nebo palety, které ale musí být umístěny v paletové stanici, která umožňuje podjetí vozíku pod paletu. [34]

2.8 Periférie AGV

Periférie jsou nedílnou součástí automatizace logistických operací, bez které by nebylo možné využívat některé typy automaticky vedených vozíků. Jedná se o pomocné manipulační prostředky, které usnadňují práci, zlepšují ergonomii práce, zvyšují bezpečnost práce a pomáhají uskutečňovat zamýšlené automatizační logistické projekty. Typ periférie volíme podle zvoleného typu AGV, zamýšleného užití, použitých obalových jednotek a tak dále.

Tažné AGV využívá nejčastěji paletové podvozky různých rozměrů s říditelnou nápravou nebo samostatně řízenými koly, oji s pojistkou proti samovolnému rozpojení a čep, umožňující spřahání manipulačních vozíků do souprav. V případě využití automaticky vedeného vozíku je oje a čep nahrazena platformou s otvory pro výsuvný pin vozíku,

respektive je vozík o tuto platformu doplněn, čímž je možné ho použít pro tažení pomocí tažného AGV i AGC, včetně zapojování dalších manipulačních podvozků.

Důležitou vlastností manipulačního podvozku je schopnost kopírovat trajektorii tažného AGV. V návaznosti na charakteru přepravované paletové jednotky může být paletový podvozek vybaven například protiskluzovou deskou v případě převozu palet, regálového systému v případě převozu boxů nebo další specifickou nástavbou. Výhodou těchto manipulačních prostředků je jejich cena, za nevýhodu můžeme považovat nutnost rozpojení soupravy v momentě, kdy chci vyložit paletu s absencí další manipulační techniky schopné sundat paletu z manipulačního podvozku.

Další periférií vhodnou pro použití v kombinaci s tažným AGV jsou mobilní vychystávací regály, které jsou vybaveny technologií, umožňující použití systému Pick to Light. V tom případě je tažený manipulační podvozek s regálem vybaven vlastní lithium iontovou baterií. Vlastní napájení se využívá i pro manipulační podvozky vybavené válečkovou dráhou s pohonem, toto řešení umožňuje v kombinaci s vhodnými paletovými stanicemi docílit automatizované nakládky a vykládky.

Další periférie používané pro převoz obalových jednotek umístěných na různých typech manipulačních podvozků za tažným AGV jsou rámy typu B, C a E. Tyto speciálně navržené flexibilní rámy umožňují nakládat a vykládat materiál bez nutnosti rozpojování soupravy, neboť rám umožňuje naložení materiálu na vlastním manipulačním podvozku. Při přepravě je vlastní manipulační podvozek pevně fixován v rámu a při potřebě naložení nebo vyložení lze pojistku deaktivovat nohou a náklad z rámu vyjmout, což napomáhá zlepšit ergonomii práce, navíc vozíky jsou navrženy tak, aby dokonale kopírovali tažené vozidlo, což minimalizuje riziko převrnutí nákladu v zatáčkách. Některé B rámy umožňují naklápění vozíku na určenou stranu pro usnadnění nakládky a vykládky přepravovaných břemen. Na obrázku číslo 2.13 je zobrazeno tažené vozidlo s připojenými E rámy, které umožňují přepravu čtyř paletových podvozků odpovídajícího rozměru.



Obr. 2.13 Tažné vozidlo s připojenými E rámy

Zdroj: [36]

I autonomní mobilní roboti mají vlastní periférie, bez kterých nejsou schopni vykonávat požadované logistické operace automaticky. Jedná se o fixní paletové stanice, viz. obrázek číslo 2.14, které jsou určeny pro vyzvedávání a odkládání palet, a jsou napevno fixovaná k podlaze, čímž umožňují odložení palety do výšky a podjetí AMR pod paletu, které pak zdvihacím mechanismem paletu vyzvedne a odveze na požadované cílové místo, kde ji odloží do totožné paletové stanice. Jednotlivé paletové stanice je možné spojovat do velkých útvarů, což je vhodné při využívání většího počtu autonomních mobilních robotů. Paletové stanice lze také doplnit o senzor, který monitoruje přítomnost palety. Tato informace je odesílána do řídicího systému, který následně posílá informaci AMR, což zrychluje proces přepravy.

Tyto paletové stanice mohou být vybavené horizontálním pojezdem, který je realizován pomocí kovových válečků nebo pásu, což umožňuje paletu automaticky posunout na další pozici například do automatické páskovací linky nebo na válečkový dopravník. Paletové stanice mohou být vybaveny i vertikálním pojezdem, který umožňuje kombinovat obslužnost paletové stanice AMR a manuálním paletovým vozíkem. V případě prodloužení vertikálního pojezdu, je možné využít tuto paletovou stanici jako zásobník prázdných palet.



Obr. 2.14 Paletová stanice pro AMR

Zdroj: [37]

Další periférie používaná pro přesun materiálu pomocí autonomního mobilního robota, je regálový systém s vlastní pevnou základnou, viz. obrázek číslo 2.15. Tento regálový systém AMR podjíždí, pomocí zdvihacího mechanismu celý regál přizvedne a odveze na požadované místo. Regálový systém může být přizpůsoben pro umístění různých typů přepravek nebo může disponovat vlastním úložným prostorem, který vychází ze specifických požadavků a potřeb uživatele. Při zvažování řešení automatizace s využitím tohoto typu periférie je nutné brát v potaz skutečnost, že AMR nemusí být vhodné pro manipulaci s tímto typem periférie, neboť nohy regálového systému, které jsou v zorném poli skenerů, mohou způsobit dezorientaci autonomního mobilního robota v prostoru, který tak nebude schopen plnit svoji funkci.



Obr. 2.15 Regálový systém s vlastní pevnou základnou

Zdroj: [40]

3 Návrh implementace AGV systému do existujícího logistického procesu

Výrobní závod hledá řešení pro automatizovanou přepravu obalových jednotek finálního produktu, které využívají palety o rozměrech 1200x800mm a 1200x1000mm (délka, šířka). Tyto obalové jednotky jsou přepravovány ze skladu obalů na pracoviště vizuální kontroly u montážních linek, kde dochází k jejich plnění. Po naplnění jsou obalové jednotky odváženy na definované místo ve skladu hotové výroby. Pokud dojde k realizace automatické páskovací linky, budou obalové jednotky odkládány na první segment válečkového dopravníku linky náležejícího této lince.

3.1 Požadovaná specifikace AGV

Hlavním požadavkem na řešení umožňující automatizaci tohoto logistického procesu pomocí AGV je, že všechny obalové jednotky musejí být převáženy jedním typem automaticky vedeného vozidla a musí zůstat zachována možnost manipulovat s obalovou jednotkou okolo pracoviště vzhledové kontroly stávajícím řešením paletového podvozku, případně jiným typem manipulační techniky, jejíž použití je vhodné do úzkých prostor, ideálně bez nutnosti nabíjení. Dalším požadavkem na AGV je minimální nosnost 300 kg a schopnost odbavit 14 objednávek za hodinu. Tento požadavek vyplývá z výpočtu (1):

$$C_{pO_h} = \left(\frac{P_{vkML1}}{P_{kOj1}} \right) + \left(\frac{P_{vkML2}}{P_{kOj2}} \right) + \left(\frac{P_{vkMLx}}{P_{kOjx}} \right) \quad (1)$$

C_{pO_h} – Celkový počet objednávek za hodinu

P_{vkML1} – Počet vyrobených kusů na montážní lince 1

P_{vkML2} – Počet vyrobených kusů na montážní lince 2

P_{vkMLx} – Počet vyrobených kusů na montážní lince x

P_{kOj1} – Počet finálních kusů v obalové jednotce pro montážní linku 1

P_{kOj2} – Počet finálních kusů v obalové jednotce pro montážní linku 2

P_{kOjx} – Počet finálních kusů v obalové jednotce pro montážní linku x

Jednotlivé vstupní hodnoty, potřebné pro výpočet naplněných obalových jednotek za hodinu pro jednotlivé montážní linky, jsou obsažené v tabulce číslo 3.1.

Tab. 3.1 Vstupní hodnoty pro určení celkového počtu objednávek za hodinu

Název pracoviště	Počet vyrobených kusů za hodinu při OEE 100 %	Počet kusů v obalu
Montážní linka 1	47	45
Montážní linka 2	120	90
Montážní linka 3	94	36
Montážní linka 4	94	36
Montážní linka 5	94	36
Montážní linka 6	109	64
Montážní linka 7	109	64

Zdroj: vlastní zpracování

$$C_{po_h} = \left(\frac{47}{45}\right) + \left(\frac{120}{90}\right) + \left(\frac{94}{36}\right) + \left(\frac{94}{36}\right) + \left(\frac{94}{36}\right) + \left(\frac{109}{64}\right) + \left(\frac{109}{64}\right)$$

$$C_{po_h} = 13,6$$

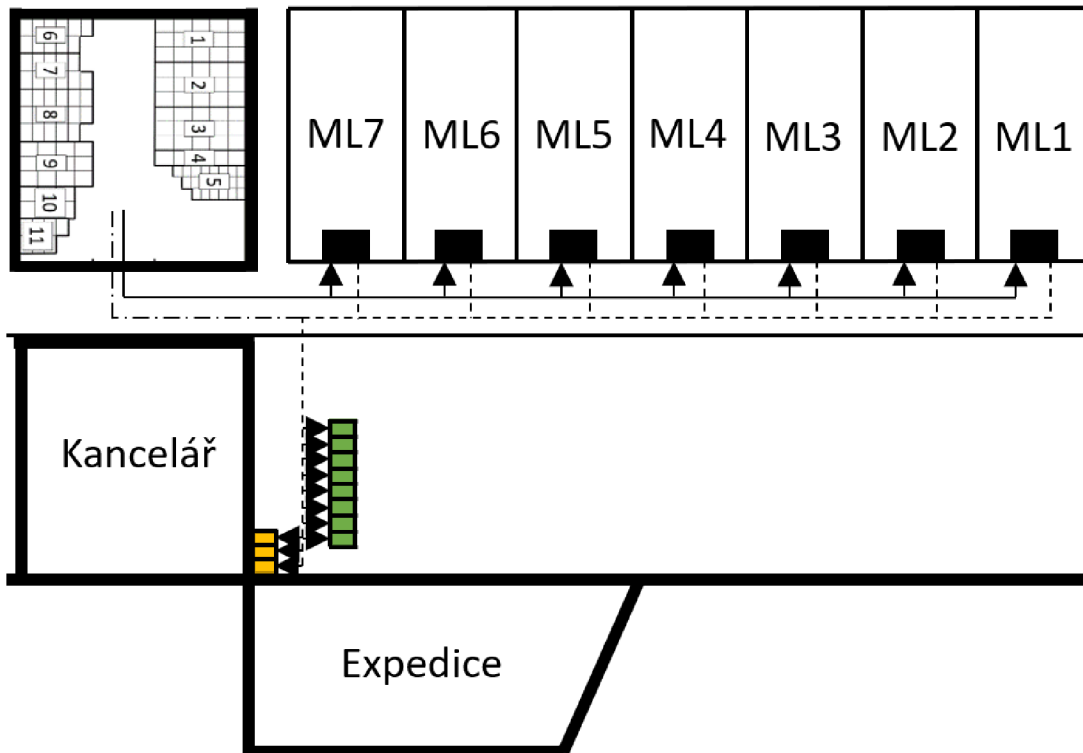
Systém musí být také schopný pracovat v režimu 24/7, z této skutečnosti vzniká požadavek na baterie užívané AGV, které musí využívat technologii umožňující nabíjení v krátkých intervalech a bezobslužné nabíjení.

Jednotlivé objednávky na přemístění obalových jednotek pro AGV budou inicializovány pomocí ovladače umístěného na každém pracovišti vizuální kontroly. Ovladač může být tvořený pevným zařízením nebo virtuální tlačítkem na displeji. Mezi další požadavky výrobního závodu, které musí dodavatel splňovat je vyřešení případné poruchy AGV do 24 hodin od nahlášení problému a uspořádání školení kmenového zaměstnance výrobního závodu, který bude určen jako klíčový uživatel.

3.2 Trasa AGV

Plánovaná trasa znázorněná na obrázku číslo 2.7, začíná na nabíjecím místě (žluté obdélníky na obrázku číslo 2.7), které je realizované třemi nabíjecími stanicemi umístěnými na ploše skladu hotové výroby. Po přijetí objednávky vyrazí volné AGV do skladu obalů, tato etapa měří průměrně 30 metrů. Po vyzvednutí požadované obalové jednotky míří AGV ke konkrétnímu pracovišti vizuální kontroly (černé obdélníky na obrázku číslo 2.7, zkratky ML1 až ML7 označují jednotlivé montážní linky). Zde dochází k položení obalové jednotky na definované místo. Následně se AGV přemístí k druhé pozici, kde vyzvedává naplněnou obalovou jednotku, kterou přemísťuje

na definovanou plochu ve skladu hotové výroby (zelené obdélníky na obrázku číslo 2.7). Pokud AGV po odložení naplněné obalové jednotky na ploše skladu hotové výroby nepřijme z řídicího systému další objednávku na převoz obalové jednotky, přesune se do výchozího bodu, kterým je nabíjecí stanice.



Obr. 3.1 Plánovaná trasa AGV

Zdroj: vlastní zpracování

Jednotlivé délky tras se odvíjejí od konkrétního umístění pracoviště vizuální kontroly, které vytvoří požadavek na transport obalové jednotky. Naměřené délky tras, skládající se z následujících etap, jsou zaznamenány v tabulce číslo 3.2:

- 1. etapa: trasa z nabíjecí stanice do skladu obalů,
- 2. etapa: trasa ze skladu obalů ke konkrétnímu pracovišti vizuální kontroly, pozice pro prázdnou obalovou jednotku,
- 3. etapa: přesun mezi pozicí určenou pro prázdnou obalovou jednotku a pozicí pro naplněnou obalovou jednotku,
- 4. etapa: převoz naplněné obalové jednotky na pozici ve skladu hotové výroby,
- 5. etapa: přemístění AGV do nabíjecí stanice.

Tab. 3.2 Přehled délek jednotlivých tras

Název pracoviště	Délka kompletní trasy (m)	Počet objednávek během 8hodinové směny při OEE 100 %	Celková délka trasy / 8hodinová směna (m)
Montážní linka 1	176,0	7,8	1378,7
Montážní linka 2	160,0	10,0	1600,0
Montážní linka 3	140,0	19,6	2741,7
Montážní linka 4	129,0	19,6	2526,3
Montážní linka 5	116,0	19,6	2271,7
Montážní linka 6	99,0	12,8	1264,6
Montážní linka 7	86,0	12,8	1098,5

Zdroj: vlastní zpracování

3.3 Navrhovaná řešení různými AGV systémy

Na základě požadované specifikace poptávaného automaticky řízeného vozidla bylo vybráno několik potencionálních automatizačních systému od různých dodavatelů, které zahrnují specifická technická řešení, která jsou nabízena jednotlivými typy AGV. Zástupci oddělení logistiky výrobního závodu pracují s návrhy na realizaci automatizace vybrané logistické operace pomocí čelních vidlicových AGV, autonomních mobilních robotů a automaticky vedených vozíků. Konkrétní typy vozíků jsou uvedeny v tabulce číslo 3.4.

Výběr nejvhodnějšího řešení je proveden výpočtem kompromisní varianty metodou váženého součtu. V první fázi analýzy stanovíme jednotlivá kritéria výběru a jejich váhy. Kritéria ovlivňující rozhodnutí o výběru konkrétního řešení jsou cena kompletní realizace, cena nutných stavebních úprav stávajících prostor, a to včetně nákladů vynaložených na instalaci prvků určených pro přesnou navigaci AVG, typ použité navigace AGV, nosnost a rychlost AGV, reference na použitý typ AGV a dodavatele, udávaná počtem realizovaných projektů ve výrobních závodech vlastněných mateřskou společností. Dále pak rozměry AGV, s tím že vzhledem k prostorům určeným pro provoz AGV je preferováno malé vozidlo a posledním kritériem rozhodování je nutnost využití paletových stanic určených pro odkládání převážené obalové jednotky. Preferované je řešení bez dodatečných paletových stanic. Jednotlivé váhy kritérií byly stanoveny bodovací metodou a jsou zobrazeny v tabulce číslo 3.3.

Výpočet váhy prvního kritéria (2) podle uvedeného vzorce, který následně aplikujeme na všechny kritéria uvedená v tabulce číslo 3.3:

$$VK_1 = \left(\frac{K_1}{SB} \right) \quad (2)$$

VK₁ – Váha prvního kritéria

K₁ – Body přiřazené prvnímu kritériu

SB – Suma subjektivně přiřazených bodů k jednotlivým kritériím

Vstupní hodnoty:

Body přiřazené prvnímu kritériu K₁=10

Suma subjektivně přiřazených bodů k jednotlivým kritériím SB=45

$$VK_1 = \left(\frac{10}{45} \right)$$

$$VK_1 = 0,22$$

Tab. 3.3 Stanovení váhy kritérií

Kritéria	Body	Váha
Cena	10	0,22
Stavební úpravy	1	0,02
Typ navigace	9	0,20
Nosnost	2	0,04
Rychlost	6	0,13
Reference	4	0,09
Rozměry	8	0,18
Potřeba paletových stanic	5	0,11

Zdroj: vlastní zpracování

Pro výběr nejvhodnějšího automaticky řízeného vozidla k použití pro automatizaci vybraného logistického procesu je zvolena metoda WSA. Tato metoda rozhodování se používá k hodnocení zvolených alternativních řešení na základě předem stanovených kritérií a vah těchto kritérií, které jsou uvedena v tabulce číslo 3.3. V tabulce číslo 3.4 jsou uvedeny všechny zvolené alternativní řešení, včetně ceny realizace stanovené dodavatelem, ceny za stavební úpravy, které výrobní závod v případě realizace musí vynaložit, dále typ navigace, který je hodnocen dle následujících kritérií:

- Navigace typu SLAM – 10 bodů,
- laserová navigace – 5 bodů,
- navigace využívající vodící pásy – 1 bod.

Dále tabulka číslo 3.4 obsahuje kritéria nosnosti a rychlosti AGV, reference, rozměr plochy AGV a nutnost využití paletových stanic.

Tab. 3.4 Vybrané alternativy a data potřebná pro aplikaci metody WSA

AGV	Cena [t€]	Stavební úpravy [t-Kč]	Typ navigace	Nosnost [kg]	Rychlost [m/s]	Reference	Rozměry [m2]	Potřeba paletových stanic
Agilox OCF	10832	65	10	1500	1,4	0	3,4	0
CEIT 1500FS	6000	105	5	1500	2	0	2,3	0
Jungheinrich EKS215	9250	120	5	1500	1,7	0	2,1	0
Jungheinrich ERC213	7830	120	5	1300	1,7	2	2,3	0
Kivnon K55	5500	65	10	1000	1	1	1,5	0
Linde L-Matic AC	10550	135	5	1200	1,7	2	2,4	0
Robotize GoPal E24W	5840	65	10	1200	2	1	1,4	1
Safelog X1	6577	100	1	1500	1,6	1	0,7	1
Váha	0,22	0,02	0,20	0,04	0,09	0,13	0,18	0,11
Povaha	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX	MIN	MIN
H (Ideální varianta)	5500	65	10	1500	2	2	0,7	0
D (Bazální varianta)	10832	135	1	1000	1	0	3,4	1
H-D	5332	70	9	500	1	2	2,7	1

Zdroj: vlastní zpracování

Vlastní zpracování metody WSA vyžaduje doplnění váhy, povahy funkce, nalezení ideální a bazální varianty a dopočítání absolutní hodnoty ideální a bazální varianty do tabulky číslo 3.4. Následně je nutné pomocí výpočtu (3), zjistit hodnoty kritérií pro jednotlivé alternativy:

$$x_{11} = \left(\frac{|Hod-D|}{|H-D|} \right) \quad (3)$$

x_{11} – Výsledek náležející průniku první alternativy a prvního kritéria

Hod – Hodnoty počítané alternativy uvedené v tabulce číslo 3.4

H – Ideální varianta

D – Bazální varianta

Vstupní hodnoty pro výpočet jednotlivých údajů jsou uvedeny v tabulce číslo 3.4.

Výpočet (4) výsledku aplikované metody WSA vychází ze vzorce:

$$WSA = (x_{11}v_1 + x_{12}v_2 + x_{13}v_3 + x_{14}v_4 + x_{15}v_5 + x_{16}v_6 + x_{17}v_7 + x_{18}v_8) \quad (4)$$

WSA – Hodnota metody WSA určená k porovnání alternativ

x11 – Hodnota průniku první alternativy a prvního kritéria

v1 – Váha prvního kritéria

Vstupní hodnoty pro výpočet jednotlivých údajů jsou uvedeny v tabulce číslo 3.4.

Tab. 3.5 Hodnoty pro jednotlivé alternativy a kritéria potřebná pro skalární součin

AGV	Cena [t€]	Stavební úpravy [t-Kč]	Typ navigace	Nosnost [kg]	Rychlost [m/s]	Reference	Rozměry [m2]	Potřeba paletových stanic
Agilox OCF	0,0	1,0	1,0	1,0	0,4	0,0	0,0	1,0
CEIT 1500FS	0,9	0,4	0,4	1,0	1,0	0,0	0,4	1,0
Jungheinrich EKS215	0,3	0,2	0,4	1,0	0,7	0,0	0,5	1,0
Jungheinrich ERC213	0,6	0,2	0,4	0,6	0,7	1,0	0,4	1,0
Kivnon K55	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,5	0,7	1,0
Linde L-Matic AC	0,1	0,0	0,4	0,4	0,7	1,0	0,4	1,0
Robotize GoPal E24W	0,9	1,0	1,0	0,4	1,0	0,5	0,7	0,0
Safelog X1	0,8	0,0	0,0	1,0	0,6	0,5	1,0	0,0
Váha	0,22	0,02	0,20	0,04	0,13	0,09	0,18	0,11
Povaha	MIN	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX	MIN	MIN
H (Ideální varianta)	5500	65	10	1500	2	2	0,7	0
D (Bazální varianta)	10832	135	1	1000	1	0	3,4	1
H-D	5332	70	9	500	1	2	2,7	1

Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce číslo 3.6 jsou uvedeny výsledky analýzy WSA, na jejichž základě bylo pro realizaci automatizace vybraného logistického procesu vybráno AGV typu AMR od výrobce Robotize.

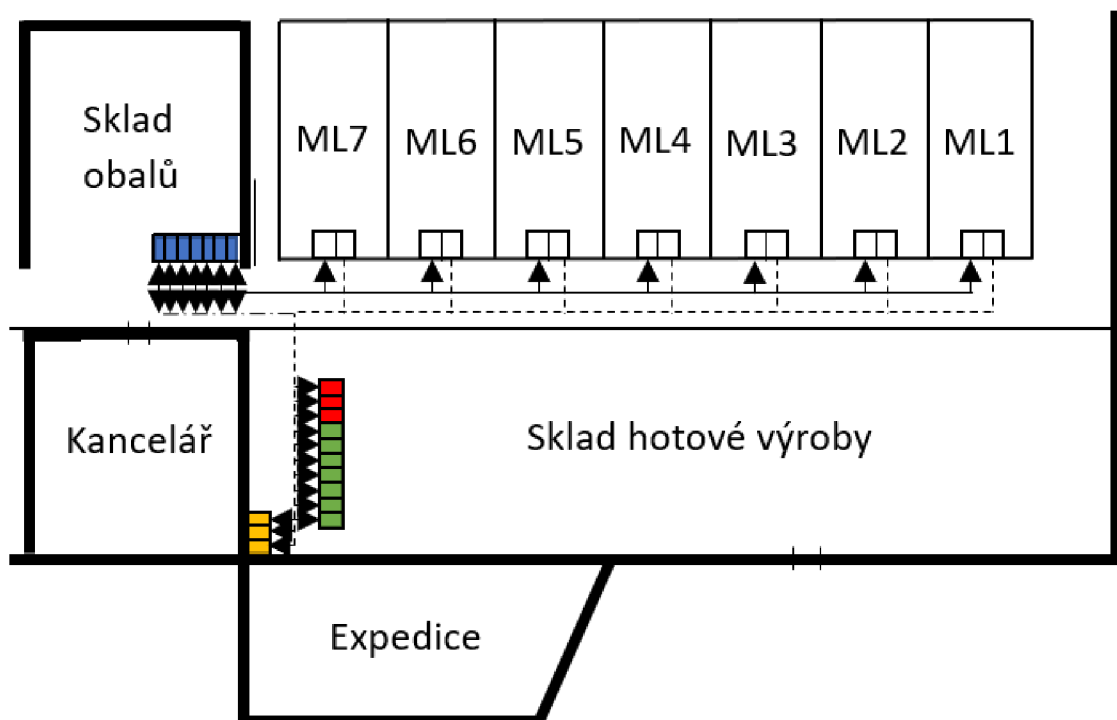
Tab. 3.6 Výsledky metody WSA

AGV	Výsledky WSA
Agilox OCF	0,43
CEIT 1500FS	0,66
Jungheinrich EKS215	0,49
Jungheinrich ERC213	0,61
Kivnon K55	0,73
Linde L-Matic AC	0,48
Robotize GoPal E24W	0,75
Safelog X1	0,52

Zdroj: vlastní zpracování

3.4 Představení vybraného řešení

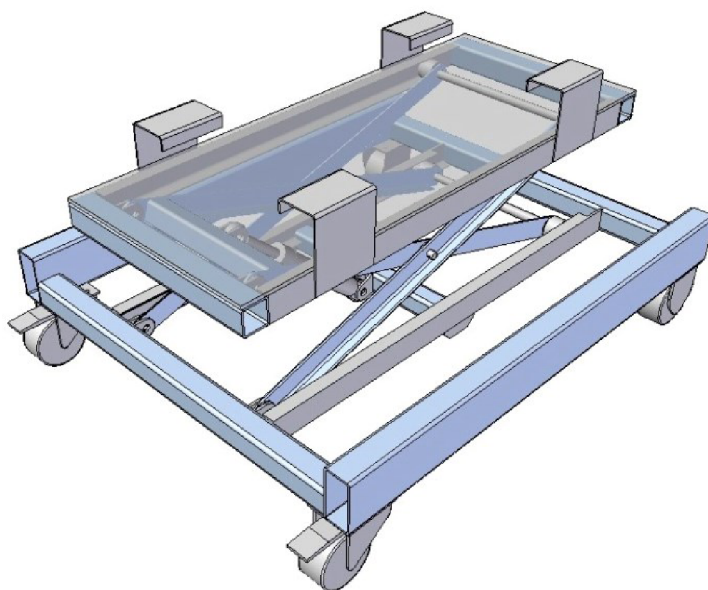
Na základě vícekritériální analýzy variant byl pro finální realizaci vybrán dodavatel Robotize nabízející AGV typu AMR, které je zobrazeno na obrázku číslo 1.15. AMR Robotize E24W využívá navigaci typu SLAM, nevyžadující instalaci dodatečných reflexních cílů. AMR je schopné transportovat břemena o maximální váze 1200 kg a rovněž je schopné vyvinout maximální rychlost 2 m/s. Vzhledem k faktu, že se jedná o podjezdové AMR, je nutné ve výrobní hale umístit dostatečný počet paletových stanic. Jejich umístění je zobrazeno na obrázku číslo 3.2.



Obr. 3.2 Trasa AGV a umístění paletových stanic

Zdroj: vlastní zpracování

Každá montážní linka má vlastní paletovou stanici se dvěma pozicemi, pozice po levé straně je určena pro prázdnou obalovou jednotku, na pozici vpravo se umístí naplněná paletová jednotka. Pozice určená pro plnění obalové jednotky obsluhou pracoviště vizuální kontroly je tvořena speciálním manipulačním vozíkem, zobrazeným na obrázku číslo 3.3, umožňujícím manuální zdvih a manipulaci s břemenem.



Obr. 3.3 Ruční manipulační vozík

Zdroj: Interní dokumentace výrobní společnosti

Dále je ve skladu obalů umístěno sedm paletových stanic, každá s jasným určením cílové paletové stanice ve výrobě, na které jsou umísťovány požadované obaly. Obsluha obalového skladu využívá stávající vysokozdvizný vozík Jungheinrich EFG 110, pomocí kterého umísťuje požadované obalové jednotky na příslušná paletová stání. Obsluha paletového skladu rozpoznává požadavky na konkrétní obalovou jednotku z konkrétní montážní linky z informační tabule MES softwaru, která je umístěná ve skladu. MES má informace o právě probíhající výrobní zakázce.

Celkem deset paletových stanic je umístěno ve skladu hotové výroby. Sedm paletových stanic je určeno pro naplněnou obalovou jednotku, tyto paletové stanice mají stejnou logiku jako paletové stanice u pracovišť vizuální kontroly, tudíž mají jasné přiřazení. Díky tomu AMR míří s naplněnou obalovou jednotkou na konkrétní místo a nemusí hledat volnou paletovou stanici. O uvolnění paletové stanice se stará operátor odpovědný za sklad hotové výroby, který využívá ke své práci vysokozdvizný vozík Jungheinrich EFG 110. Tři paletové stanice jsou určeny pro poškozené obalové jednotky a pro hotovou výrobu podléhající dodatečné kvalitativní kontrole. Na ploše skladu hotové výroby jsou také umístěny tři nabíječe. Plocha využívaná pro paletové stanice a nabíječe ve skladu hotové výroby bude v případě realizace určena pro umístění automatické páskovací linky, která bude spolupracovat s AMR. V případě realizace bude sedm paletových stanic určených pro naplněné obalové jednotky využito v hale B určené pro nové projekty výrobního závodu.

3.4.1 Úkony AGV

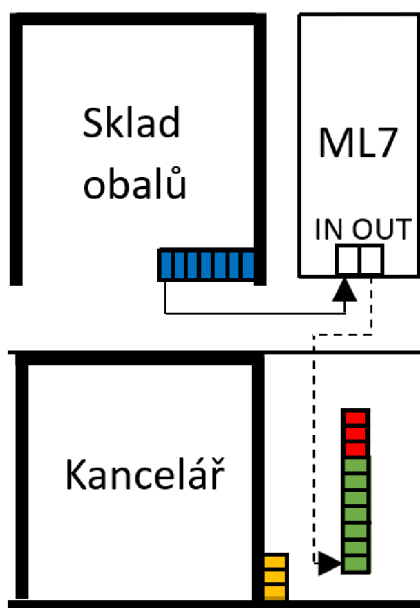
Obsluha každého pracoviště vizuální kontroly vyvolává jednotlivé mise automaticky řízeného vozidla pomocí pevného Wi-Fi ovladače propojeného s řídicím systémem AGV. Každý ovladač je přiřazen konkrétnímu pracovišti, tato skutečnost určuje místo vzniku požadavku na vykonání konkrétní přepravní mise. Na každém ovladači je umístěno 5 tlačítek, které reprezentují jednotlivé mise, jež jsou definované v řídicím systému. Ovladač je zobrazený na obrázku číslo 3.4. Všechny vyvolané mise jsou řazeny do fronty podle času vzniku a řídicí systém rozděljuje jejich plnění mezi jednotlivá AGV, a to v návaznosti na jejich aktuální pozici, vytíženosti a stavu baterie.



Obr. 3.4 Ovladač jednotlivých misí AMR

Zdroj: [37]

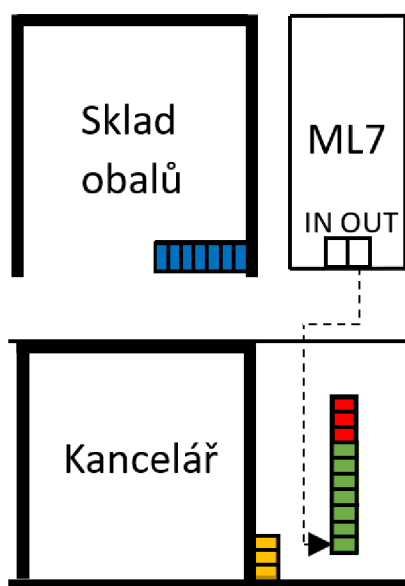
Tlačítko číslo jedna představuje nejvíce využívanou misi. AGV při tomto sledu úkonů vyzvedává z definované pozice v obalovém skladu nachystanou obalovou jednotku, kterou následně odváží na určenou pozici u pracoviště vizuální kontroly. Následně se AGV přemístí k paletovému stání, které je určené pro naplněnou obalovou jednotku, kterou v případě její přítomnosti vyzvedne a odveze na pozici ve skladu hotové výroby, která náleží tomuto pracovišti vizuální kontroly. Mise je vizuálně znázorněna na obrázku číslo 3.5.



Obr. 3.5 Trasa mise č.1

Zdroj: vlastní zpracování

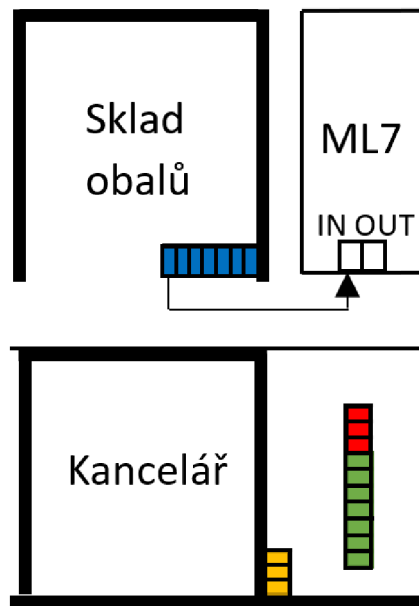
Tlačítko číslo dvě je určeno pro misi představující nutnost odvozu naplněné obalové jednotky od pracoviště vizuální kontroly do skladu hotové výroby bez nutnosti doručení prázdné obalové jednotky ze skladu obalů. Tuto misi bude obsluha pracoviště vzhledové kontroly využívat v případě, kdy byla ukončena montážní zakázka a dochází k přestavbě nebo odstávce montážní linky. AGV přijíždí k příslušnému paletovému stání u montážní linky prázdné, tato mise tedy snižuje efektivnost systému. Mise je vizuálně znázorněna na obrázku číslo 3.6.



Obr. 3.6 Trasa mise č.2

Zdroj: vlastní zpracování

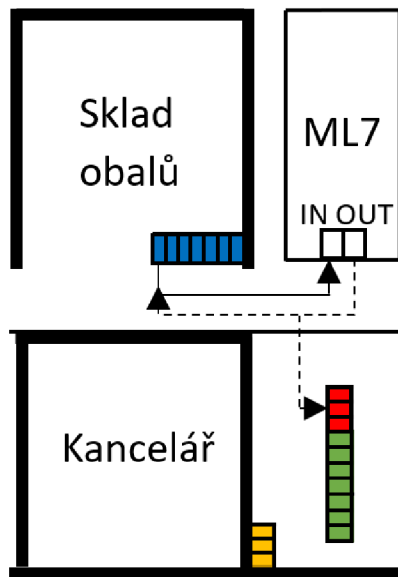
Tlačítko číslo tři je určeno pro misi představující nutnost doručení prázdné obalové jednotky ze skladu obalů bez potřeby odvozu naplněné obalové jednotky do skladu hotové výroby. Tato mise bude inicializovaná v případě, že montážní linka bude zahajovat novou montážní zakázku a obsluha pracoviště vizuální kontroly nemá k dispozici potřebnou obalovou jednotku náležející vyráběnému produktu. Mise končí bezprostředně po doručení obalové jednotky, řídicí systém tak AGV může okamžitě přiřadit další misi. Trasa popsané mise je zobrazena na obrázku číslo 3.7.



Obr. 3.7 Trasa mise č.3

Zdroj: vlastní zpracování

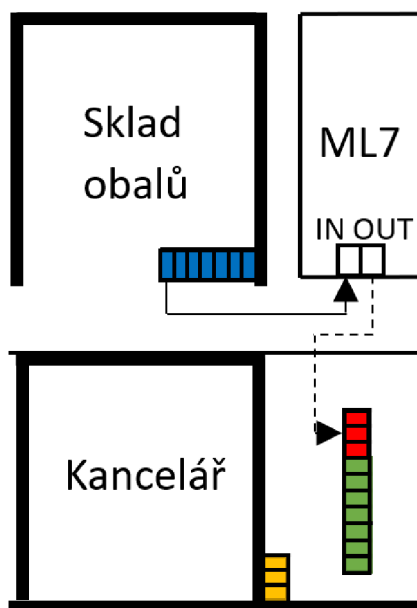
Tlačítko číslo čtyři je určeno pro odvoz prázdné obalové jednotky z paletového stání u pracoviště vizuální kontroly na definovanou paletovou stanici ve skladu hotové výroby. Tato mise je určena pro situace, kdy obsluha pracoviště vizuální kontroly zjistí poškození obalu nebo výplně, díky které obalová jednotka nemůže plnit svoji funkci, a to ještě před začátkem plnění obalové jednotky finálními produkty. Po odvozu obalové jednotky AGV míří ihned do skladu obalů, kde vyzvedne novou obalovou jednotku, kterou následně doručí na příslušnou paletovou stanici u pracoviště vizuální kontroly. Mise je vizuálně znázorněna na obrázku číslo 3.8.



Obr. 3.8 Trasa mise č.4

Zdroj: vlastní zpracování

Tlačítko číslo pět je určeno pro odvoz naplněné obalové jednotky a doručení nové prázdné obalové jednotky. Tato mise se od mise číslo jedna liší určenou paletovou stanicí ve skladu hotové výroby. Naplněná obalová jednotka je doručena na speciálně definované paletové stání, které je určené pro finální produkty, jejichž následné expedování podléhá dodatečnému schválení vyplívajícímu z kontroly pověřeným pracovníkem oddělení kvality. Mise je vizuálně znázorněna na obrázku číslo 3.9.



Obr. 3.9 Trasa mise č.5

Zdroj: vlastní zpracování

3.5 Výpočet počtu AGV

Výpočet celkového počtu AGV, potřebného pro zvládnutí všech požadavků logistického procesu během jedné 8hodinné směny, je stanovený následujícím výpočtem (4):

$$C_{pAGV} = \left(P_{aoh} \left(M_{bt} * P_{mc} \right) + \left(\frac{P_{vo}}{V_{pAGV}} \right) + N_t \right) \div 3600 \quad (4)$$

C_{pAGV} – Celkový počet AGV

P_{aoh} – Počet absolvovaných okruhů za hodinu

M_{bt} – Čas potřebný pro manipulaci s břemenem (zdvih, položení) [s]

P_{mc} – Počet manipulačních cyklů během okruhu (zdvih, položení)

P_{vo} – Průměrná vzdálenost okruhu [m]

V_{pAGV} – Průměrná rychlost AGV [$m \cdot s^{-1}$]

N_t – Čas potřebný pro nabití AGV během jednoho okruhu [s]

Vstupní hodnoty:

Počet absolvovaných okruhů za hodinu	$P_{aoh}=14$
Čas potřebný pro manipulaci s břemenem (zdvih, položení)	$M_{bt}=45$ s
Počet manipulačních cyklů během okruhu (zdvih, položení)	$P_{mc}=3$
Průměrná vzdálenost okruhu	$P_{vo}=126,5$ m
Průměrná rychlost AGV	$V_{pAGV}=1$ $m \cdot s^{-1}$
Čas potřebný pro nabití AGV během jednoho okruhu	$N_t=120$ s

Výpočet celkového počtu AGV:

$$C_{pAGV} = \left(14 \left((45 * 3) + \left(\frac{126,5}{1} \right) + 120 \right) \right) \div 3600$$

$$C_{pAGV} = 1,5$$

Pro úspěšné zvládnutí všech požadavků logistického procesu během jedné osmi hodinové směny, bez vzniku rizika zastavení montážních linek kvůli chybějící obalové jednotce, je nutné implementovat 2 AGV.

3.6 Přijatá bezpečnostní opatření

Při implementaci AGV do existujícího logistického procesu, je nutné klást zvýšený důraz na bezpečnost celého systému, tak aby nedošlo k ohrožení ostatních pracovníků a zároveň, aby AGV systém fungoval v souladu se zavedenými pravidly týkajícími se protipožárních opatření. Implementace řešení vyžaduje propojení řídicího systému s EPS systémem, tak aby v případě vzniku požáru AGV neblokovalo protipožární dveře, instalované podél stěny obalového skladu, rozdělující výrobní halu na samostatné požární úseky.

Dále pak AGV nesmí v případě nutnosti urychlené evakuace blokovat únikové cesty a východy z výrobního závodu. Všechna implementovaný AGV mají jasně definované instrukce, kterými se v případě požáru musí řídit. Konkrétní úkony se odvíjejí od místa, kde se automaticky řízené vozidlo aktuálně nachází. Obrázek číslo 2.8 znázorňuje zakázané oblasti, kde se AGV nesmí vyskytovat v případě požáru. Pokud se AGV nenachází v zakázaných oblastech, je povinno bezpečně zastavit, a čekat na zrušení platnosti signálu EPS.

Dalším bezpečnostním prvkem, který byl spolu s AGV implementován, je vizuální bezpečnostní signalizace, oznamující pracovníkům přítomnost blížícího se AGV, jež plní preventivní funkci eliminace rizika srážky chodce nebo jiné manipulační techniky s AGV. Vizuální signalizace je umístěna na rozích obalového skladu a kanceláře logistiky, je tvořena LED páskem a v případě blížícího AGV se rozbliká. Prodleva mezi jednotlivými bliknutími se zkracuje s blížícím se AGV, čímž LED signalizace dává pracovníkům najevo, jak daleko se AGV od křižovatky nachází.

Pro zvýšení bezpečnosti pracovníků logistiky, jejichž kancelář se nachází naproti skladu obalů byla na dveře do kanceláře umístěna speciální klika a elektronický zámek. Toto řešení je propojeno s řídicím systémem AGV, který v případě blížícího vozidla rozbliká LED diody ve dveřní klice. Pokud je však AGV v nebezpečné blízkosti dveří, elektronický zámek nedovolí jejich otevření, nicméně toto řešení slouží jen jako jistění zamezení nežádoucího střetu s AGV, neboť plocha okolo dveří vedoucích do kanceláře

4 Zhodnocení návrhu

V předchozí kapitole bylo popsáno řešení automatizace vybraného logistického procesu pomocí automaticky řízeného vozidla typu AMR od dodavatele Robotize, využívajícího navigaci typu SLAM, které tak umožňuje tomuto vozidlu interakci spolu s ostatní technikou a zaměstnanci výrobního závodu. K automatizaci logistického procesu přepravy prázdné obalové jednotky určené pro balení finálního produktu, ze skladu obalů ke konkrétní montážní lince a následný odvoz naplněného obalu od montážní linky do skladu hotové výroby bylo přistoupeno z důvodů odstranění opakujících se úkonů vykonávaných pracovníky logistiky, které lze tak využít pro sofistikované činnosti spojené s prací s ERP nebo WMS systémy, případně další složitější úkony, které je nutné v rámci logistických procesů vykonat.

Dalším důvodem implementace AVG bylo zvýšení bezpečnosti realizované nahrazením manuálně řízených vysokozdvizných vozíků autonomními mobilními roboty. V neposlední řadě automatizace logistického procesu eliminuje možnost zastavení výroby z důvodů nedoručení obalu kvůli momentální absenci pracovníka logistiky.

4.1 Náklady spojené s pořízením AGV

V rámci zhodnocení projektu implementace AGV systému do existujícího logistického procesu, je nutné uvést všechny náklady spojené s touto implementací. Tyto data jsou uvedena v tabulce číslo 4.1.

Tab. 4.1 Náklady spojené s pořízením AGV

Položka	Cena
Paletové stanice	1 135 000 Kč
Dokumentace	40 000 Kč
Manipulační vozíky	600 000 Kč
Instalace	20 000 Kč
Nabíjecí stanice	340 000 Kč
Řídící systém	330 000 Kč
AGV	3 375 000 Kč
Celkem	5 840 000 Kč

Zdroj: vlastní zpracování

4.2 Doba návratnosti investice

Interní pravidla výrobního závodu stanovují, že pořízení investičního majetku pro účely automatizace logistických procesů, musí splňovat podmínku, která stanovuje že doba návratnosti investice musí být kratší než tři roky. Doba návratnosti je klíčový ukazatel, který určuje efektivnost pořízení investice. Ve výrobní společnosti se jako investiční majetek označuje každá položka nebo soubor nesamostatně fungujících součástí, převyšující svoji hodnou náklad ve výši 50 000 Kč. Pro účely výpočtu doby návratnosti (5) využijeme níže popsany vzorec:

$$ROI = \left(\frac{N_{AGV}}{R_{NP} * P_P} \right) \quad (5)$$

ROI – Návrat investice

N_{AGV} – Náklady na pořízení AGV [Kč]

R_{NP} – Roční náklady na jednoho pracovníka logistiky [Kč]

P_P – Počet pracovníků nahrazených AGV

Vstupní hodnoty:

Náklady na pořízení AGV

$N_{AGV} = 5\,842\,000$ Kč

Roční náklady na jednoho pracovníka logistiky

$R_{NP} = 680\,000$ Kč

Počet pracovníků nahrazených AGV

$P_P = 3$

$$ROI = \left(\frac{5842000}{680 * 3} \right)$$

$$ROI = 2,86 < 3$$

Na základě výsledku matematického výpočtu návratnosti investice můžeme konstatovat, že projekt je v souladu s interním pravidlem výrobní společnosti, které stanovuje, že všechny investiční majetek společnosti musí splňovat dobu návratnosti investice do maximálně tří let od pořízení. Zároveň můžeme konstatovat, že případné vícenáklady spojené s investicí do jisté míry neohrozí tento klíčový ukazatel.

4.3 Aspekty investice do AGV

Vzhledem k implementaci automaticky řízeného vozíků do existujícího logistického procesu, je velice pravděpodobné, že se pracovníci logistickí začnou obávat o ztrátu pracovního místa. Proto je důležité přesvědčit pracovníky o tom, že automatizace může být naopak prospěšná, protože zvyšuje efektivitu, produktivitu, snižuje náklady, zvyšuje rychlost a přesnost procesů, což může vést k růstu podniku, získávání nových zakázek a zlepšení konkurenceschopnosti, což je k prospěchu výrobního závodu jako celku, ale i každému zaměstnanému jednotlivci.

Investice do AGV také zlepšuje pracovní podmínky, protože pomocí automatizovaných systémů lze odstranit nebezpečnou, namáhavou a opakující se práci, což vede ke snížení počtu úrazů, což je mimo jiné také jeden z klíčových ukazatelů každého výrobního závodu, a proto společnosti vynakládají nemalé finanční prostředky, aby vzniku úrazů zamezili.

Z těchto důvodů je důležité se během implementace zabývat nejenom samotnou realizací jednotlivých částí systému, jako je definování tras, předávacích pozic a tak dále, ale také osvětě pracovníků výrobního závodu, kterým je nutné vysvětlit, jak se mají chovat v případě využívání společných komunikací s AGV technikou, je třeba také pracovníky seznámit se základními bezpečnostními pravidly, případně popsat technická řešení, která AGV používají, aby zaměstnanci věděli, s jak choulostivou, ale sofistikovanou technologií v rámci své každodenní pracovní agendy přicházejí do styku.

Důležitým faktorem při implementaci AGV do logistického procesu je také zajištění dostatečného školení zainteresovaných zaměstnanců pro práci s automaticky řízenými vozidly. Tito pracovníci musí být schopni správně používat AGV, správně zadávat požadavky na transport a být schopni řešit běžné problémy s AGV. Toto školení by mělo být provedeno jak při zavádění AGV do provozu, tak i pravidelně během provozu, aby se zaměstnanci mohli stále zdokonalovat a udržet své znalosti aktuální.

Celkově lze říci, že implementace AGV do logistického procesu může být prospěšná pro výrobní závod, pokud se na ni správně připraví a provede se s dostatečnou péčí a ohledem na zaměstnance a jejich potřeby. AGV mohou pomoci zlepšit efektivitu a produktivitu logistického procesu a zlepšit pracovní podmínky zaměstnanců.

Závěr

Vzhledem k tomu, že logistické procesy nepřidávají hodnotu finálnímu produktu, výrobní závody si kladou za cíl docílit maximální efektivity těchto procesů s důrazem na ušetření vynaložených nákladů na tyto procesy. Protože žádný výrobní závod nemůže bez fungující interní logistiky existovat, Průmysl 4.0 se z teoretických východisek převádí do praxe a zájem výrobních závodů o technologie umožňující automatizaci roste.

Existují různé způsoby řešení automatizace logistických procesů, jako jsou například AGV systémy, automatické sklady nebo WMS. Tyto technologie jsou schopné zvýšit efektivitu logistických procesů, zlepšit přesnost a snížit náklady, což je důležité pro konkurenceschopnost podniku. Automatizace umožňuje také lepší sledování zásob, zlepšuje kontrolu kvality zboží, díky čemuž jsou podniky schopny poskytovat rychlejší a spolehlivější dodávky zákazníkům. V důsledku zvyšování poptávky po rychlých dodávkách a snižování nákladů na práci, lze očekávat, že trend automatizace v logistických procesech bude v budoucnu dále narůstat.

Cílem diplomové práce bylo navrhnout řešení pro automatizovanou přepravu obalových jednotek finálního produktu ve výrobním závodě. Tento návrh automatizace logistického procesu pomocí automaticky řízeného vozidla zohledňuje specifické požadavky výrobního závodu a vychází ze současně vykonávaných sledů úkolů. Výsledný návrh bude použit jako podklad pro realizaci automatizace, ze které bude čerpat tým odpovědný za implementaci vybraného AGV.

Diplomová práce je rozdělena na čtyři hlavní části. V první části diplomové práce jsou vysvětleny základní teoretická východiska AGV systému. V druhé části práce je popsán diskurz automatizace a také současný stav logistického procesu, který má být automatizován. Ve třetí části diplomové práce je představen návrh implementace AGV systému do existujícího logistického procesu. Poslední část diplomové práce se zabývá zhodnocením návrhu implementace AGV systému.

Výstupem této práce je návrh pro automatizovanou přepravu obalových jednotek finálního produktu pomocí automaticky řízeného vozidla typu AMR od dodavatele Robotize, využívajícího navigaci typu SLAM, které tak umožňuje tomuto vozidlu interakci spolu s ostatní technikou a zaměstnanci výrobního závodu. K automatizaci logistického procesu přepravy prázdné obalové jednotky určené pro balení finálního

produktu, ze skladu obalů ke konkrétní montážní lince a následný odvoz naplněného obalu od montážní linky do skladu hotové výroby bylo přistoupeno z důvodů odstranění operátory vykonávané opakující se úkony, které lze tak využít pro sofistikované činnosti spojené s prací s ERP nebo WMS systémy, případně další složitější úkony, které je nutné v rámci logistických procesů vykonat.

Dalším důvodem implementace AVG bylo zvýšení bezpečnosti realizované nahrazením manuálně řízených vysokozdvihných vozíků autonomními mobilními roboty. V neposlední řadě automatizace logistického procesu eliminuje možnost zastavení výroby z důvodů nedoručení obalu kvůli momentální absenci pracovníka logistiky.

Seznam zdrojů

- [1] Aeolipile. *Britannica* [online]. 2016 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/aeolipile>
- [2] Heron of Alexandria. *Britannica* [online]. 2021 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/biography/Heron-of-Alexandria>
- [3] Aeolipile. *Wikipediea* [online]. 2023 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Aeolipile>
- [4] Basile Bouchon Begins the Automation of the Weaving Process. *Jeremy Norman's history of information* [online]. 2023 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=4727>
- [5] HEŘMAN, Josef. 250 let od narození vynálezce programovaného mechanického stavu. *Elektro časopis pro elektroniku* [online]. Praha: FCC Public, s.r.o., 2002 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/250-let-od-narozeni-vynalezce-programovaneho-mechanickeho-stavu--14653>
- [6] BEDNÁŘOVÁ, Jana. Charles Babbage a Vigenèrova šifra. *Magazín Knihovny Ústeckého kraje* [online]. 2023 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://blog.svkul.cz/index.php/2023/02/20/charles-babbage-a-vigenerova-sifra/>
- [7] GUPTA, Ashwani. *Industrial Automation and Robotics*. Dulles: Mercury learning and information LLC., 2016. ISBN 978-1-938549-30-4
- [8] POLÁŠEK, Jaromír. Číslicově řízené stroje. [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31_Cislicove_rizene_stroje.pdf
- [9] SCHWOB, Rostislav. Automatizace interní logistiky. *IT Systems* [online]. 2020 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/automatizace-interni-logistiky.htm>
- [10] AutoStore: Space saving storage and order picking system for small parts. [online]. 2023 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.swisslog.com/en-us/products-systems-solutions/asrs-automated-storage-retrieval-systems/autostore-integrator>
- [11] GHIANI, Gianpaolo, Gilbert LAPORTE a Roberto MUSMANNO. *Introduction to logistics systems management*. 2nd ed. Chichester: Wiley, 2013. Wiley series in operations research and management science. ISBN 978-1-119-94338-9.

- [12] CLAUER, Dana a Johannes FOTTNER. Einsatz von autonomen Transportsystemen auf dem Werksgelände: Aktueller Umsetzungsstand und Handlungsbedarf. Garching bei München: Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, 2019. ISBN 978-3-941702-99-8.
- [13] AutoStore: Ultra-high Density, High Efficiency Storage Solution. [online]. [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.tksl.co.jp/en/products-info/keeping-sys/autostore.html>
- [14] MINI-LOAD SYSTEMS (AS/RS FOR BOXES). [online]. 2023 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.interlakemecalux.com/automated-storage-retrieval-systems-asrs/arsr-boxes-miniload>
- [15] FEDORKO, Gabriel. *Přepravní a manipulační prostředky: AGV – charakteristika, vyvoj, podstata fungovania*. Přerov: Vysoká škola logistiky o.p.s., 2019.
- [16] Automatický tahač 5 t. *Jungheinrich* [online]. 2023 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://www.jungheinrich.cz/systemy/autonomni-voziky/automaticke-voziky/ezs-350a-492450>
- [17] Global AGV [online]. 2023 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.global-agv.com/>
- [18] AGV versus AMR – v čem je rozdíl?. *Mobile Industrial Robots*. [online]. 2023 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.mobile-industrial-robots.com/cz/přehledy/začínáme-s-roboty-amr/agv-versus-amr-v-čem-je-rozdíl/>
- [19] Pohledem expertů: Výhody a nevýhody AMR. *Systémy logistiky*. [online]. 2023 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <https://www.systemylogistiky.cz/2023/02/21/pohledem-expertu-vyhody-a-nevyhody-amr/>
- [20] FEDORKO, Gabriel. *Přepravní a manipulační prostředky: AGV – aplikace, využitie, efektivita*. Přerov: Vysoká škola logistiky o.p.s., 2019.
- [21] VALIŠKA, Josef. Rozdíl mezi mobilními roboty AGV a AMR. *Robotics journal*. [online]. 2020 [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: https://www.roboticjournal.cz/archiv/core/ROBOTIC_2020_02.pdf
- [22] irob. [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.irobagv.com/en/irob-agv-en/agv-navigation-systems/>

- [23] Automated Guided Vehicle. *Industrial Plant and Equipment*. [online]. 2016 [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: https://www.ipesearch.co.uk/page_742030.asp
- [24] TELLA, Pastor Alfredo. LGV Vehicle: What is a Laser Guided Vehicle?. *AGV Network*. [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.agvnetwork.com/what-is-a-laser-guided-vehicle-lgv>
- [25] Automated Guided Vehicles. *Solving*. [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.solving.com/products/automated-guided-vehicles-agv-for-heavy-loads/>
- [26] Navigation Systems. *AGV systems*. [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.automaticguidedvehicles.com/agv-systems/>
- [27] SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). *Mathworks*. [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/discovery/slam.html#how-slam-works>
- [28] TELLA, Pastor Alfredo. How does an AGV Safety System Work?. *AGV Network*. [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.agvnetwork.com/automated-guided-vehicles-safety-systems#risk-zones>
- [29] Safety Comes First for ROBOS!. *ROBOS*. [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <http://robos.com.tr/en/our-tech/>
- [30] TELLA, Pastor Alfredo. Why is VDA5050 for AGVs and AMRs a must?. *AGV Network*. [online]. [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.agvnetwork.com/amr-agv-interopability>
- [31] TELLA, Pastor Alfredo. Automated Guided Vehicle: The BASIC but FULL GUIDE. What the...??. *AGV Network*. [online]. [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: Automated Guided Vehicle: The BASIC but FULL GUIDE. What the...??
- [32] VDA–Empfehlungen. *VDA*. [online]. 2022 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.vda.de/de/aktuelles/publikationen/publication/vda-5050-version-2.0.0-fts-kommunikationsschnittstelle>
- [33] Automotive assembly line. *Stäubli*. [online]. 2023 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/de/en/robotics/industries/automotive/powertrain/assembly-line.html>

- [34] TELLA, Pastor Alfredo. Automated Guided Cart – AGC – The low cost AGV. *AGV Network*. [online]. [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.agvnetwork.com/automated-guided-cart-agc>
- [35] C1-22 Bidirectional Latent Towing AGV. *Casun*. [online]. [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.casun-agv.com/products/c1-22-bidirectional-latent-traction-agv/>
- [36] STILL Liftrunner tugger train system. *Material Handling 24/7*. [online]. 2023 [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: https://www.materialhandling247.com/product/still_liftrunner_tugger_train_system/KI-ON
- [37] Accessories. *Robotize*. [online]. 2023 [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.robotize.com/solutions/accessories/>
- [38] Short history of manufacturing: from Industry 1.0 to Industry 4.0. *K.Factory*. [online]. [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://kfactory.eu/short-history-of-manufacturing-from-industry-1-0-to-industry-4-0/>
- [39] Iniciativa Průmysl 4.0. *Ministerstvo průmyslu a obchodu*. [online]. 2016 [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/prumysl-4-0-ma-v-cesku-sve-misto--176055/>
- [40] Autonomous mobile robots (AMR). *Still*. [online]. [cit. 2023-04-25]. Dostupné z: <https://www.still.de/en-DE/intralogistics-systems/autonomous-mobile-robots-amr.html>
- [41] Čelní elektrický vysokozdvížený vozík. *Jungheinrich*. [online]. 2023. [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://www.jungheinrich.cz/produkty/manipulacni-technika/vysokozdvizne-voziky/elektricke-vysokozdvizne-voziky/efg-112-1150416>
- [42] Lean Pallet Size Dolly. K.Hartwall. [online]. [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://k-hartwall.com/products/metal-dollies/lean-pallet-size-dolly/>

Seznam grafických objektů

Seznam obrázků

Obr. 1.1 aeolipile	13
Obr. 1.2 AS/RS řešení typu Mini Load	19
Obr. 1.3 Příklad automatizovaného kubického skladu	20
Obr. 1.4 Příklad realizace navigace pomocí vodícího pásu	24
Obr. 1.5 AGV využívající laserovou navigaci	26
Obr. 1.6 Virtuální mapa vytvořená technologií LiDAR SLAM	28
Obr. 1.7 Bezpečnostní zóny okolo AGV	30
Obr. 1.8 Tlakový nárazník	30
Obr. 2.1 Layout výrobního závodu	38
Obr. 2.2 Layout pracovišť vizuální kontroly	41
Obr. 2.3 Layout obalového skladu	43
Obr. 2.4 Jungheinrich EFG 110	43
Obr. 2.5 Paletový podvozek	44
Obr. 2.6 Obal s kovovou paletou a KLT boxy	45
Obr. 2.7 Kartonový obal s dřevěnou paletou	46
Obr. 2.8 Tažné AGV s možností provozu v manuálním režimu	48
Obr. 2.9 AGV s vidlicemi zavěšenými na rámu a AGV s pevným rámem	49
Obr. 2.10 Autonomní mobilní robot.....	50
Obr. 2.11 Využití plošinového AGV jako součásti montážních operací	52
Obr. 2.12 Automaticky vedený vozík s výsuvným pinem	53
Obr. 2.13 Tažné vozidlo s připojenými E rámy	55
Obr. 2.14 Paletová stanice pro AMR	56
Obr. 2.15 Regálový systém s vlastní pevnou základnou.....	56

Obr. 3.1 Plánovaná trasa AGV	59
Obr. 3.2 Trasa AGV a umístění paletových stanic	64
Obr. 3.3 Ruční manipulační vozík	65
Obr. 3.4 Ovladač jednotlivých misí AMR	66
Obr. 3.5 Trasa mise č.1	67
Obr. 3.6 Trasa mise č.2	67
Obr. 3.7 Trasa mise č.3	68
Obr. 3.8 Trasa mise č.4	69
Obr. 3.9 Trasa mise č.5	69
Obr. 3.10 Únikové cesty a vizuální bezpečnostní signalizace	72

Seznam tabulek

Tab. 3.1 Vstupní hodnoty pro určení celkového počtu objednávek za hodinu	58
Tab. 3.2 Přehled délek jednotlivých tras	60
Tab. 3.3 Stanovení váhy kritérií	61
Tab. 3.4 Vybrané alternativy a data potřebná pro aplikaci metody WSA	62
Tab. 3.5 Hodnoty pro jednotlivé alternativy a kritéria potřebná pro skalární součin	63
Tab. 3.6 Výsledky metody WSA	63
Tab. 4.1 Náklady spojené s pořízením AGV	73

Seznam zkratek

AGC	Automated Guided Cart – Automaticky vedený vozík
AGV	Automated Guided Vehicle – Automaticky řízené vozidlo
AMR	Autonomous mobile robot – Autonomní mobilní robot
AS/RS	Automated Storage and Retrieval System – Automatické skladové systémy
ČSN	Česká státní norma
DMC	Data Matrix Code – Kód datových matic
EPS	Elektronická požární signalizace
ERP	Enterprise Resource Planning – Plánování podnikových zdrojů
FIFO	First In First out – První dovnitř, první ven
G2M	Goods to Man – Zboží k člověku
IMU	Inertial Measurement Unit – Inerciální měřicí jednotka
ISO	International Organization for Standardization – Mezinárodní organizace pro standardizaci
KLТ	Kleinladungsträger – Malá přepravka
LED	Light-Emitting Diode – Elektroluminiscenční dioda
LiDAR	Light Detection and Ranging – Detekce vzdálenosti pomocí světla
LIFO	Last In Last Out – Poslední dovnitř, první ven
LKW	Lastkraftwagen – Nákladní automobil
MES	Manufacturing Execution Systems – Výrobní informační systémy
MiR	Mobile Industrial Robots – Mobilní průmyslový roboti
OEE	Overall Equipment Effectiveness – Celková efektivnost zařízení
PET	Termoplast Polyethylentereftalát
ROI	Return Of Investment – Návratnost
SAE	Society of Automotive Engineers – Společnost inženýrů automobilového průmyslu

SLAM	Simultaneous Localization and Mapping – Simultánní lokalizace a mapování
VDA	Verband der Automobilindustrie – Německé sdružení automobilového průmyslu
VZV	Vysokozdvížený vozík
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WMS	Warehouse Management System – Systém skladového hospodářství
WSA	Weight Sum Approach – Metoda váženého součtu

Autor/ka DP	Bc. Martin Soukal
Název DP	Implementace AGV systému do existujícího logistického procesu
Studijní program	Logistika
Rok obhajoby DP	2023
Počet stran	<i>64</i>
Počet příloh	0
Vedoucí DP	prof. Ing. Gabriel Fedorko, PhD.
Anotace	V diplomové práci je zpracován návrh transportu obalových jednotek mezi skladem obalů, pracovištěm a skladem hotové výroby. V první části diplomové práce jsou vysvětleny základní teoretická východiska AGV systému. V druhé části práce je popsán diskurz automatizace a zanalyzován současný stav logistického procesu, jež má být automatizován. Ve třetí části diplomové práce je představen návrh implementace AGV systému do existujícího logistického procesu. Poslední část diplomové práce se zabývá zhodnocením návrhu implementace AGV systému.
Klíčová slova	AGV, AMR, logistika, automatizace
Místo uložení	ITC (knihovna) Vysoké školy logistiky v Přerově
Signatura	