

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Analýza podmínek zavedení automaticky vedených vozíků ve skladu

Petr Palka

Bakalářská práce

2021

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Petr Palka**
Osobní číslo: **D17316**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Technologie a řízení dopravy: Technologie a řízení dopravních systémů**
Téma práce: **Analýza podmínek zavedení automaticky vedených vozíků ve skladu**
Zadávací katedra: **Katedra technologie a řízení dopravy**

Zásady pro vypracování

Úvod

1. Analýza systému automaticky vedených vozíků
2. Vymezení podmínek pro aplikaci systému ve skladu
3. Návrh nového způsobu zásobování

Závěr

Rozsah pracovní zprávy: **30-40**
Rozsah grafických prací: **3-4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

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

CEMPÍREK, Václav. Technologie ložných a skladových operací. Pardubice: Institut Jana Pernera, 2007. ISBN 80-86530-36-1.

ŘEZNÍČEK, Bohumil. Logistika. Pardubice: Univerzita Pardubice, 1997. ISBN 80-7194-093-3

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Šourek, Ph.D.**
Katedra technologie a řízení dopravy

Datum zadání bakalářské práce: **22. září 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. ledna 2021**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Jaromír Široký, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 6. ledna 2021

Prohlašuji:

Tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 v úplném znění, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitalní knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne

.....
Petr Palka

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto formou poděkoval všem, kteří přispěli k vytvoření této bakalářské práce, především pak vedoucímu bakalářské práce Ing. Davidu Šourkovi, Ph.D. za odborné vedení.

ANOTACE

V práci budou analyzovány a porovnány v současnosti dostupné systémy automaticky vedených vozíků. Na základě jejich vlastností budou vymezeny podmínky, za kterých je možné tento systém aplikovat při obsluze skladu.

KLÍČOVÁ SLOVA

skladování, vozíky, roboti, automatizace, skladovací proces, materiálový tok, sklad

TITLE

Requirements analysis for automated guided vehicle implementation in storage.

ANNOTATION

In this work will be analyzed and compared all available automated guided vehicle systems. On the basis of their attributes will be sorted out conditions, in which is able to use this system in warehouse.

KEYWORDS

storing, vehicles, robots, automation, storage proces,material flow, warehouse

OBSAH

Seznam obrázků.....	10
Seznam Tabulek.....	11
Seznam zkratk a značek	12
Úvod.....	13
1 Analýza systému automaticky vedených vozíků	14
1.1 Charakteristika systému AGV.....	14
1.2 Historie a vývoj systému AGV	14
1.3 Základní typy automatizovaných vozíků	15
1.3.1 Vidlicové vozíky.....	15
1.3.2 Vozíky s palubním dopravníkem.....	16
1.3.3 Automatizované tahače.....	16
1.3.4 Pohyblivé regály	16
1.4 Navigace automatizovaných vozíků	17
1.4.1 Optická navigace.....	18
1.4.2 Indukční navigace	18
1.4.3 Magnetická navigace	19
1.4.4 Laserová navigace.....	20
1.4.5 Satelitní navigace (GPS).....	21
1.4.6 Multinavigace	22
1.5 Srovnání navigace AGV vozíků.....	22
1.6 Správa nad provozem automatizovaných vozíků.....	23
1.7 Pohon AGV	24
2 Úrazovost spojená s provozem manipulačních prostředků.....	25
2.1 Bezpečnostní prvky.....	26
3 Výrobci AGV systémů.....	27
3.1 Indeva - Intelligent devices for handling	27
3.2 Linde Material Handling	27
3.2.1 P-MATIC	28
3.2.2 L-MATIC.....	28
3.2.3 T-MATIC.....	29

3.2.4	K-MATIC	29
3.3	Jungheinrich	30
3.3.1	EZS 350a.....	30
3.3.2	ERC 215a.....	31
3.3.3	ERE 225a	31
3.3.4	EKS 210a	32
3.4	Porovnání jednotlivých typů AGV vozíků pro vybrané úkoly	32
3.4.1	Srovnání tažných automatických vozíků P-MATIC a EZS 350a.....	32
3.4.2	Srovnání vysokozdvížných automatických vozíků L-MATIC a ERC 215a.....	33
3.4.3	Srovnání nízkozdvížných automatických vozíků T-MATIC a ERE 225a	34
3.4.4	Srovnání vertikálních vychystávacích vozíků K-MATIC a EKS 210a	34
4	Vymezení podmínek pro aplikaci systému ve skladu.....	36
4.1	Požadavky na infrastrukturu	36
4.2	Požadavky na software.....	37
4.3	Bezpečnostní požadavky	37
4.4	Požadavky na údržbu	37
4.5	Návratnost	38
5	Materiálová manipulace a její systematické projektování	40
5.1	Klasifikace manipulovaného materiálu.....	40
5.2	Materiálový tok a jeho rozbor	40
5.3	Způsoby zásobování.....	41
5.4	Schéma zásobování	42
5.5	Manipulační zařízení.....	43
5.6	Nalezené problémy v daném podniku a návrh na zlepšení	43
6	Návrh nového způsobu zásobování - systém AGV	44
6.1	Počet nasazených AGV vozíků.....	44
6.2	Výběr vhodného dodavatele AGV systému	45
6.3	Náklady na nasazení AGV	47
6.4	Úspory (nový x původní stav).....	48
6.5	Návratnost investice	50
	ZÁVĚR	51

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE.....	52
SEZNAM PŘÍLOH.....	54

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1 - První AGV vozík (tahač s přivesnými vozíky)</i>	14
<i>Obrázek 2 - Popis vysokozdvížného vidlicového AGV vozíku</i>	15
<i>Obrázek 3 - Princip optické navigace</i>	18
<i>Obrázek 4 - Princip aktivní indukční navigace</i>	19
<i>Obrázek 5 - Princip magnetické navigace</i>	19
<i>Obrázek 6 - Princip laserové navigace</i>	20
<i>Obrázek 7 - Princip satelitní navigace GPS</i>	21
<i>Obrázek 8 - Princip satelitní navigace LPR</i>	21
<i>Obrázek 9 - Pracovní prostředí programu TransportControl</i>	23
<i>Obrázek 10 - Blue spot varující ostatní řidiče při pohybu vzad</i>	26
<i>Obrázek 11 - Tahač INDEVA TUNNEL AGV 750 kg</i>	27
<i>Obrázek 12 - Tahač P-MATIC</i>	28
<i>Obrázek 13 - Vysokozdvížné vozíky L-MATIC a L-MATIC AC</i>	28
<i>Obrázek 14 - Nízkozdvížný paletový vozík T-MATIC</i>	29
<i>Obrázek 15 - Regálový zakladač K-MATIC</i>	29
<i>Obrázek 16 - Automatický tahač EZS 350a</i>	30
<i>Obrázek 17 - Vysokozdvížný automatický vozík ERC 215a</i>	31
<i>Obrázek 18 - Nízkozdvížný automatický vozík ERE 225a</i>	31
<i>Obrázek 19 - Vychystávací automatický vozík EKS 210a</i>	32
<i>Obrázek 20 - Srovnání manuálně a automaticky ovládaných vozíků z hlediska nákladů</i>	38
<i>Obrázek 21 - Grafické zobrazení návratnosti investice po zavedení AGV systému</i>	50

Seznam Tabulek

<i>Tabulka 1 - Porovnání navigace AGV vozíků</i>	22
<i>Tabulka 2 - Srovnání tažných automatických vozíků P-MATIC a EZS 350a</i>	33
<i>Tabulka 3 - Srovnání vysokozdvížných automatických vozíků L-MATIC a ERC 215a</i>	33
<i>Tabulka 4 - Srovnání nízkozdvížných automatických vozíků T-MATIC a ERE 225a</i>	34
<i>Tabulka 5 - Srovnání vertikálních vychystávacích vozíků K-MATIC a EKS 210a</i>	34
<i>Tabulka 6 - Schéma zásobování montážních linek</i>	42
<i>Tabulka 7 - Výpočet délky jednoho cyklu vozíku</i>	44
<i>Tabulka 8 - Parametry vybraných dodavatelů AGV systému</i>	45
<i>Tabulka 9 - Rozhodovací analýza pro vybrané AGV systémy</i>	46

Seznam zkratk a značek

AGV - Automatic Guided Vehicle

GPS - Global Positioning System

LPR - Local Positioning Radar

LAN - Local Area Network

WMS - Warehouse Management System

ERP - Enterprise Resource Planning

APM - Auto Pallet Mover

Úvod

Skladování a manipulace se zbožím patří k nejdůležitějším procesům v hospodářství. Skladovací společnosti se snaží tyto procesy automatizovat a tím zcela vyřadit lidský faktor. Skladovací personál je nahrazován automaticky řízenými vozíky, které dokážou za pomoci moderních technologií stejné pracovní úkony jako lidé s maximální přesností. Zvýší se tím tak efektivita a rychlost práce. Zároveň se sníží počet chyb při vykonávání skladovacích úkonů. Využití těchto vozíků ale nemusí být pouze ve skladech. Své uplatnění nacházejí také například v nemocnicích a zábavních parcích. Cílem této práce je analýza podmínek, za kterých je možné tento systém zavést, porovnat v současnosti dostupné automatické systémy a vybrat pro daný sklad ten nejvhodnější.

1 Analýza systému automaticky vedených vozíků

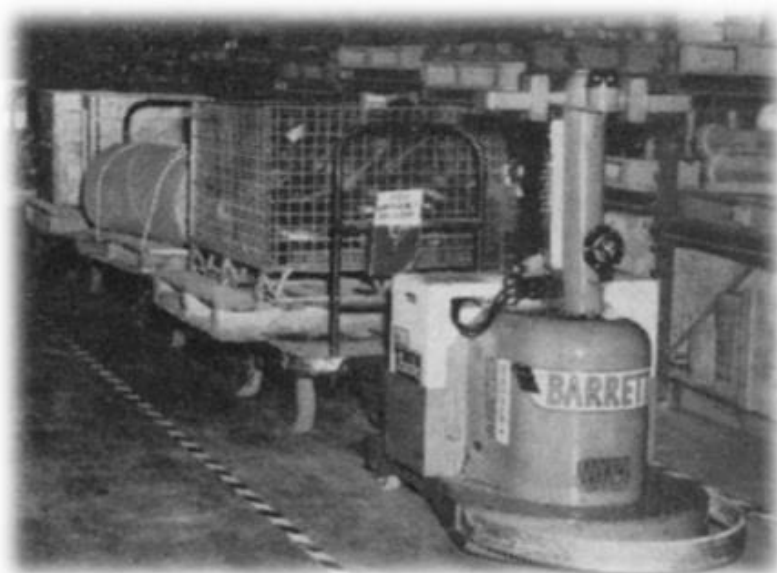
V této kapitole autor popíše systém automaticky vedených vozíků, budou zde uvedeny jednotlivé typy systémů, jejich rozdělení podle specifických parametrů a vlastností.

1.1 Charakteristika systému AGV

Neustále rostoucí poptávka po zboží tlačí výrobní firmy k větší a rychlejší produkci hotových výrobků. Proto se často upouští od klasického skladování velkého množství materiálu a přechází se na zásoby krátkodobé. Zde přichází na řadu systém automaticky vedených vozíků. Díky němu lze efektivně snížit dobu manipulace materiálu, zvýšit přesnost nebo předejít například lidským zraněním a tím ušetřit například na mzdových nákladech zaměstnanců. Automaticky vedené vozíky, dále jen AGV (Automatic Guided Vehicle) jsou samoobslužná vozidla s vlastním pohonem. Dnes jde o nejvíce se rozvíjející typ manipulačních jednotek, zejména ve velkých skladech a výrobních halách. (4)

1.2 Historie a vývoj systému AGV

První AGV systém se objevil v roce 1953 ve společnosti Barrett Electronics v Illinois, USA. Tažné vozidlo bylo vedeno díky elektricky vodivému pásu umístěnému na podlaze v celé hale (obr. 1). Do Evropy se systém AGV dostal v roce 1956. Nejdříve se používaly optické senzory, které rozeznávaly barevný pruh na zemi (optická navigace). (10)



Zdroj: (3)

Obrázek 1 - První AGV vozík (tahač s přívěsnými vozíky)

1.3 Základní typy automatizovaných vozíků

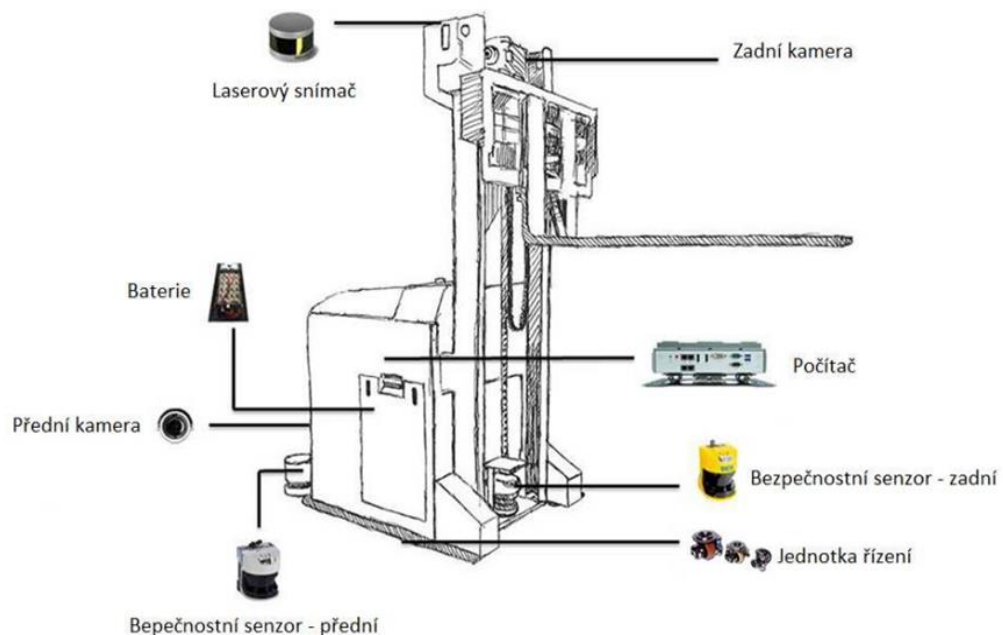
Vozíky AGV existují v různých variantách. Rozdíl mezi nimi je hlavně v účelu, pro který se používají.

Mezi hlavní nabízené typy patří:

- vidlicové vozíky
- vozíky s palubním dopravníkem
- tahače
- pohyblivé regály

1.3.1 Vidlicové vozíky

Využívají se k manipulaci se skladovaným materiálem v prostoru skladu a následně k jeho zakládání do jednotlivých sektorů ve skladu. Hlavní částí vidlicových vozíků je zdvihací jednotka, která se skládá ze zdvihacího rámu a nosiče vidlí. Nosič vidlí má z pravidla dvě ocelové ližiny (trny) s různě nastavitelnou roztečí. Vidlice mohou být umístěny ve směru jízdy nebo do boku vozidla. Nejčastější formou nákladu, na který se využívají vidlicové vozíky, jsou palety. Různé druhy vidlicových vozíků se využívají k různým operacím.



Zdroj: (7 s úpravou autora)

Obrázek 2 - Popis vysokozdvížného vidlicového AGV vozíku

Nízkozdvižné vidlicové vozíky mají zpravidla vyšší nosnost a robustnější zpracování zdvihací jednotky než ostatní druhy vidlicových vozíků. Proto je vhodné využívat je k přepravě těžších břemen na úrovni podlahy.

Vysokozdvižné vidlicové vozíky nedisponují takovou nosností zdvihací jednotky jako vozíky nízkozdvižné, ale mají zdvihací rámy schopné vytáhnout vidlice do vyšších míst. Využívají se především k manipulaci s materiálem ve vyšších regálech skladu. Další druhy vysokozdvižných vidlicových vozíků jsou vertikální vychystávací zařízení a regálové zakladače, které mají zdvihací rámy teleskopické a jsou tedy schopné dostat se ještě do vyšších míst. Na obrázku 2 je vyobrazen náčrt vysokozdvižného AGV vozíku a popis jeho základních prvků.

1.3.2 Vozíky s palubním dopravníkem

Pokud se na výrobní lince využívá řetězového nebo válečkového dopravníku, některé společnosti zaměřené na AGV vozíky nabízejí speciálně upravené vozíky s palubním dopravníkem, které dokáží převzít pohybující se materiál na koncových bodech statických dopravníků a dále s ním manipulovat.

1.3.3 Automatizované tahače

Své uplatnění nacházejí především při transportu většího množství nákladu, který je možné naložit na tažené vozíky zapojené za tahačem. Tahače mohou být v provedení tahacím nebo podbíhavém.

1.3.4 Pohyblivé regály

Pohyblivé (podvozkové) regály jsou ukotveny na elektricky poháněných pojízdných podvozcích. Díky tomu lze vytvářet libovolný počet různě širokých uliček pro vjezd manipulační techniky a následné vyskladnění či naskladnění materiálu. Hlavní výhodou je úspora místa ve skladu, nevýhodou ovšem větší náchylnost k poškození či opotřebení pohyblivých částí.

1.4 Navigace automatizovaných vozíků

Vozíky AGV lze rozdělit podle typu navigace. Mezi základní úkoly navigace patří:

- určení polohy vozíku
- změna trasy v případě náhle překážky
- potřebné úkony k bezpečné jízdě na cílové místo

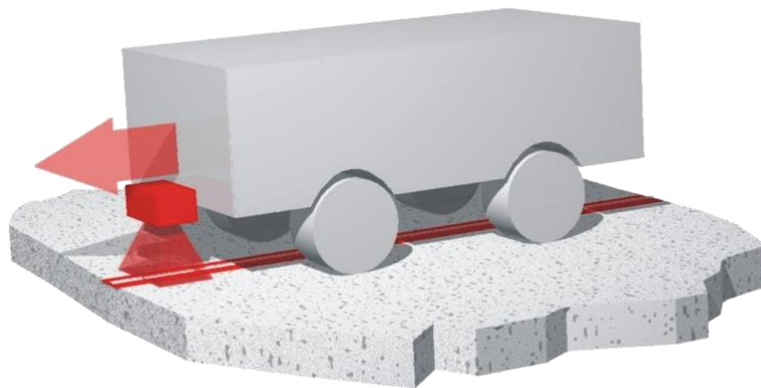
Vozík AGV má stanovený souřadnicový systém, podle kterého se pohybuje. Souřadnicový systém může být skladovací prostor nebo výrobní hala. Tento systém se nachází přímo na vozíku, obvykle v jedné z jeho náprav nebo těžišti. Ve vozíku je zabudován vlastní mobilní souřadnicový systém, který komunikuje s globálním souřadnicovým systémem umístěným na stropě nebo v jednom rohu monitorovaného prostoru. Souřadnice se odesílají právě z globálního souřadnicového systému do přijímače na vozíku (zpravidla prostřednictvím Wi-Fi sítě). K určení výšky vozíku slouží vertikální souřadnice. Pokud má hala více pater, pak je možné tuto hodnotu vztáhnout pouze k číslu patra. (2)

Navigace dělíme:

- S řídicími prvky umístěnými na podlaze
 - Optická navigace
 - Indukční navigace pasivní
- S řídicími prvky umístěnými v podlaze
 - Indukční navigace aktivní
 - Magnetická navigace
- Laserová navigace
- Satelitní navigace (GPS, LPR)
- Multinavigace

1.4.1 Optická navigace

Optická navigace (viz. obr. 3) pracuje na principu snímání barevných čar na podlaze. Na vozíku se nachází optický snímač, který využívá algoritmu detekce hran a s jeho pomocí vypočítá vodící signály pro řídicí motor. Barevné pásy nalepené na zemi jsou odolné, musí být lehce rozpoznatelné pouhým okem a v případě potřeby se mohou opravit např. při změně trasy. Dá se přes ně přejíždět také manuálně vedenými vozíky nebo dalšími manipulačními prostředky. Tento druh navigace je nejlevnější a nejjednodušší především pro svůj velice snadný způsob zavedení a případné změny trasy. (2)



Zdroj: (6)

Obrázek 3 - Princip optické navigace

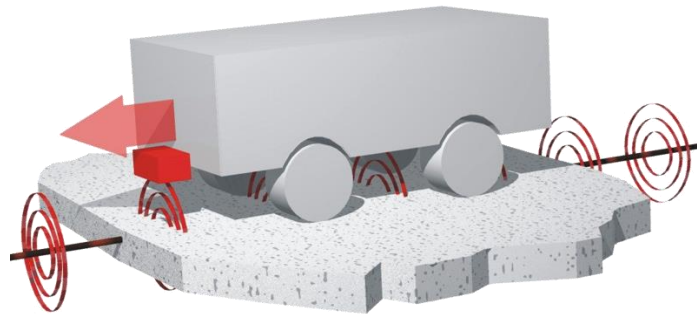
1.4.2 Indukční navigace

Princip fungování Indukční navigace je obdobný jako u navigace optické. Dělíme ji na aktivní a pasivní indukční navigaci.

Aktivní indukční navigace. Vodič, kterým je veden proud, je veden v podlaze. Rozdělení a uspořádání jednotlivých vodičů lze zapojit do různých okruhů, které se pak mohou zapínat dle potřeb. Vodičem v podlaze protéká proud, který vytváří rozdílné proudy na dvě cívky umístěné pod vozíkem. Rozdíl těchto proudů na cívkách je měřítkem odchylky vozíku od vodící čáry. Odchylka je pak vyrovnávána řídicím motorem a vytvoří negativní zpětnou vazbu. Změna frekvence střídavého proudu udává příkaz vozíku k pohybu nebo ke změně pohybu. Aktivní indukční navigace je finančně náročnější složitější pro své umístění do podlahy.

Výhodou je minimální poškození z důvodu umístění vodičů v podlaze a možnost napájení vozíku pomocí elektromagnetické indukce. Vodící dráhy však nelze měnit, což je velkou nevýhodou

Pasivní indukční navigace. Vodící dráha je umístěná na podlaze. Jedná se o kovové pásy o šířce 5 – 10 cm, nebo o jednoduché kovové proužky. Snímač, který je umístěný pod vozíkem, má dva až tři senzory magnetického pole. Řídící motor reaguje na změnu pole. Vzdálenost pro čtení se pohybuje v rozmezí 10-30 mm. (2)

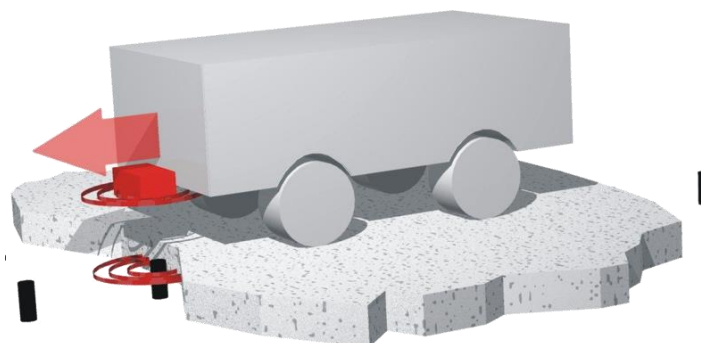


Zdroj: (6)

Obrázek 4 - Princip aktivní indukční navigace

1.4.3 Magnetická navigace

Magnetická navigace je vedena pomocí značek umístěných v podlaze. Ty určují polohu a směr trasy, kterými se má vozík pohybovat. Magnety válcového tvaru o průměru 8 - 20 mm a o délce 5 - 30 mm mohou být umístěny buď v řadě, zpravidla od 1 do 10 m za sebou, nebo v mřížce, kde jsou rozestupy menší, než je šířka vozíku. Mřížkové umístění zlepšuje flexibilitu pohybu vozíku. Vzdáleností mezi jednotlivými rozestupy lze dosáhnout velké přesnosti při jízdě. Magnetické senzory umístěné na podvozku vozíku snímají magnety a nasbíraná data jsou pak vyhodnocena procesorem. Ten poté zhodnotí polohu vozíku a určí jeho správný směr.



Zdroj: (6)

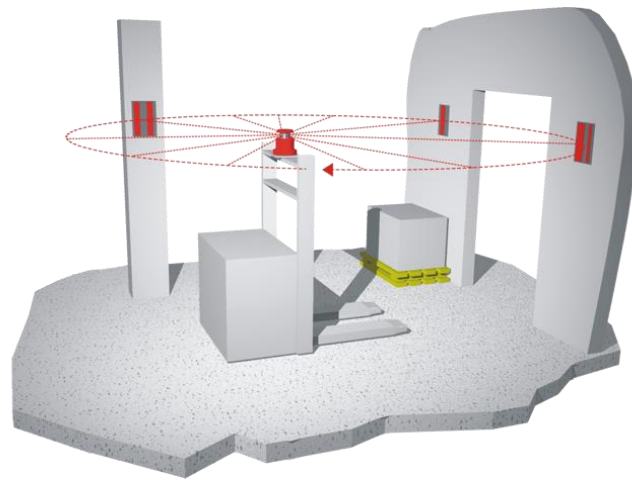
Obrázek 5 - Princip magnetické navigace

Pro tento typ navigace je výhodou, že nedochází ke znečištění vodící dráhy vozíku. Náklady na realizaci jsou poměrně vysoké, závisí především na požadované přesnosti navigace (rozestoupení jednotlivých magnetů). S tímto způsobem řízení manipulačních vozíků je nutné počítat předem, nejlépe již při stavbě samotné budovy. Pokud jsou magnety rozmístěny v mřížce, dá se také použít pro venkovní prostory. (2)

1.4.4 Laserová navigace

Laserová navigace (viz obr.6) je nejrozšířenějším typem a zároveň hlavním soupeřem magnetické navigace. Pro správný chod laserové navigace se musí umístit reflektory (čidla) do prostoru, nejlépe na stěny a sloupy do výšky cca 2 metry. Můžou se použít i nalepené reflexní pásy. Pro správné snímání musí být viditelné alespoň dva nebo tři reflektory nebo pásy. Z vozíku jsou vysílány laserové paprsky, které snímají okolní prostor. Snímač sbírá paprsky odražené od reflektorů a tím měří průběžně polohy čidel vůči vozíku. Souřadnice určující polohu reflektoru zpracovává počítač vozíku. Ten poté neustále opravuje odchylku od naprogramované trasy. Rozdíl v naplánované trase může být způsoben tolerancemi geometrie vozíků, zatížením, nerovnostmi v terénu, opotřebením kol, atd.

V paměti vozíku je naprogramovaná trasa. Také se může do paměti zanést cvičnou jízdou (vozik si ukládá do paměti trasu, po které se následně pohybuje).



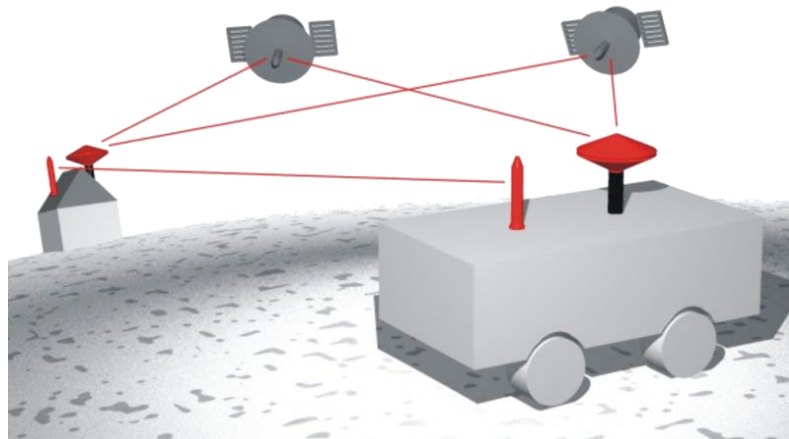
Zdroj: (6)

Obrázek 6 - Princip laserové navigace

Laserová navigace je velice přesná a může se do prostoru zanést dodatečně (nemusí se nic zabudovávat do podlahy, pouze se umístí po stěnách a sloupech reflektory). (2)

1.4.5 Satelitní navigace (GPS)

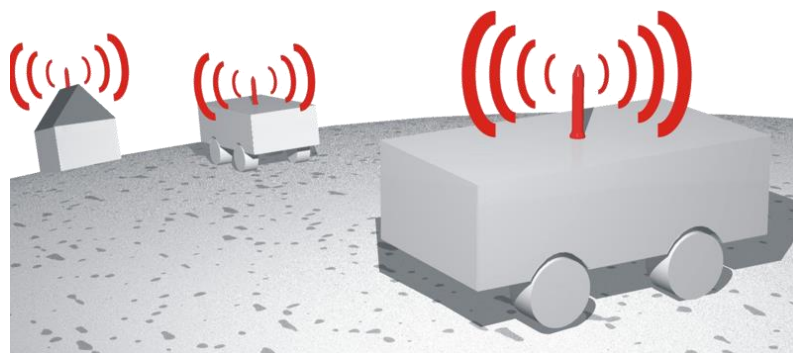
Poslední typ navigace je možné aplikovat na velké a otevřené prostory. Satelitní navigace pracuje na principu snímání vzdálenosti mezi GPS přijímačem vozíku a satelitem na oběžné dráze (viz obr. 7). Pro správné pracování je nutné, aby mezi satelitem a GPS přijímačem nebyla žádná překážka. Výhodou satelitní navigace je její použití ve venkovních prostorech, i když bývá nepřesná.



Zdroj: (6)

Obrázek 7 - Princip satelitní navigace GPS

Pokud chceme použít satelitní navigaci v zastavěných prostorech, můžeme využít tzv. LPR (viz obr. 8). Radiové majáky, které jsou umístěny uvnitř těchto prostor a fungují jako satelity. Tento systém je přesnější než dražší GPS, který jen obtížně dosahuje přesnosti ± 10 cm (obvykle více). Při vhodném rozmístění majáků lze dobře pokrýt celou oblast skladovacího areálu. (2)



Zdroj: (6)

Obrázek 8 - Princip satelitní navigace LPR

1.4.6 Multinavigace

Tento systém se využívá v situacích, kdy je prostor skladu nebo výroby členitý. Kombinují se různé druhy navigací, například laserové naváděcí systémy s magnetickou navigací. Vozíky využívají v daný moment vhodné systémy, aby co nejpřesněji určily svou polohu

1.5 Srovnání navigace AGV vozíků

V tabulce je seznam výše uvedených typů navigací. Autor vybral několik kritérií, podle kterých jsou jednotlivé druhy navigace srovnané.

Tabulka 1 - Porovnání navigace AGV vozíků

Hodnocení z hlediska	Typ navigace				
	Optická	Indukční	Magnetická	Laserová	Satelitní
Flexibility vozíku	0	0	0	+	++
Přesnosti	++	+	+	+	-
Fungování při znečištění spojení	--	++	++	-	++
Provedení konstrukce	++	0	0	-	-
Původní investice	++	-	-	-	--
Fungování při změně trasy	++	-	-	+	++

Legenda:

++ velmi dobré

+ dobré

0 neutrální

- špatné

-- velmi špatné

Zdroj: Autor

Vyhodnocení navigací:

Z výše uvedených údajů vyplývá, že pořízení AGV systému s optickou navigací bude pro společnost nejvýhodnější. Je velice přesná, má jednoduchou konstrukci a dokáže se lehce přizpůsobit změnám trasy. Její pořizovací cena je také nejmenší ze všech ostatních. Nevýhoda nastává při znečištění spojení vlivem nečistot.

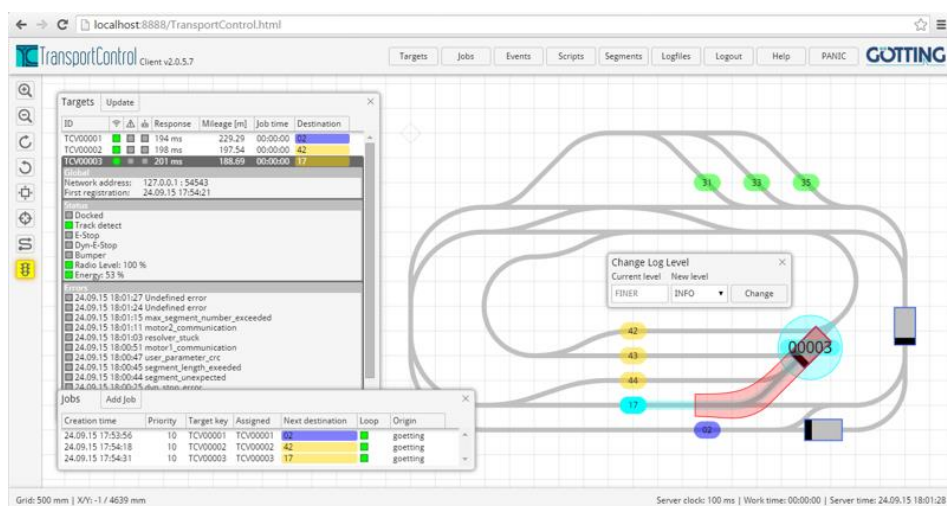
1.6 Správa nad provozem automatizovaných vozíků

Provoz automatizovaných vozíků v podniku je řízen hardwarovým a softwarovým systémem. V jednom nebo ve více počítačích jsou naprogramovány jednotlivé úkony, které jsou potřebné ke kvalitnímu chodu výrobních linek a skladovacích prostor. Programy hromadně koordinují AGV vozíky, které se podílí na chodu jednotlivých oddělení v podniku. Vozíky jsou řízeny z počítačů a samy nevykonávají žádná rozhodnutí. Bezdrátové komunikační systémy mohou řídit nejen vozíky, ale dokážou obsluhovat i další potřebné zařízení jako jsou například výtahy nebo otevírání jednotlivých vstupů do hal. Přijaté informace z výrobních linek se dále zpracovávají a řídí další výrobní činnosti, nebo pracovní postupy.

Do komunikačního řídicího systému zadává příkazy:

- personál obsluhy
- zařízení na sběr provozních dat
- hostitelské počítačové systémy (např. systém plánování výroby)
- automatické přenosové stanice, obráběcí stanice, stanice nakládky a překládky

Obsluha komunikačního řídicího systému pracuje například v německém programu TransportControl (viz obr.9), který dokáže řídit pohyby vozíků ve skladu a plánovat jejich další trasy. (16)



Zdroj: (16)

Obrázek 9 - Pracovní prostředí programu TransportControl

1.7 Pohon AGV

AGV vozíky jsou napájeny elektromotorem. Ten se napájí z akumulátorové baterie nebo přes vysokofrekvenční kabel.

Vysokofrekvenční vozíky (indukční) se pohybují po dráze určené rozvodem kabelů v podlaze. Používají se u vozíků s indukční navigací (aktivní). Kabelem proudí elektrický proud o vysoké frekvenci. V okolí kabelu vzniká elektrické pole. To je snímáno přijímačem ve vozíku, proud se zde indukuje a je veden do elektromotoru. Rozsah pohybu vozíku se tak omezuje pouze na dráhu rozvodu kabelů.

Akumulátorová baterie je dnes nejpoužívanější u automatizovaných vozíků. Předností vozíků s baterií je bezproblémové používání v různých částech podniku a mobilita při výrobě. Mezi nevýhody patří velká hmotnost baterie (což ovšem může být někdy využito jako protiváha při manipulaci) a dobíjení případně výměna při vybití. U vozíků AGV můžeme využít tyto typy dobíjení:

- **Tricklecharge (mezidobíjení)** – při vybití nebo nečinnosti vozíku se sám dopraví do nabíjecí stanice a automaticky se připojí k dobíjecímu systému
- **Poloautomatická výměna baterie** – výměnu baterie uskutečňuje operátor systému
- **Automatická výměna baterie** – vozík si dokáže vyměnit baterii sám bez přítomnosti operátora

Standardně jsou automatizované vozíky vybaveny dvěma motory. První se stará o trakci a druhý o řízení vozidla. Motory mohou být různých typů dle požadavku klienta:

- **Stejnoseměrný motor** – nejčastěji používaný typ motoru u AGV, jeho údržba je ovšem komplikovaná
- **Asynchronní motor** – jednoduchá údržba vnitřku motoru
- **Synchronní motor s permanentními magnety** – motor s minimálními nároky na údržbu (neobsahuje kartáče), kompaktnější rozměry než ostatní typy

U AGV vozíků funguje zdvih přes šnek, který je připojený k elektromotoru, nepoužívá se vůbec hydraulický zdvih. (1)

2 Úrazovost spojená s provozem manipulačních prostředků

Z velké části může za nehody spojené s manipulací ve skladech lidský faktor. Pokud společnost nechce investovat do modernějšího zabezpečení, musí poté řešit zbytečné škody na svém majetku a pracovní úrazy zaměstnanců.

"Zhruba 90 procent všech problémů, které nastávají nebo se občas vyskytnou, jsou otázkou lidské chyby," (Řehák, 2017)

Nejčastější chyby, kterých se řidiči manipulačních prostředků dopouští, jsou spojené s nedodržováním stanoveného řádu společnosti a bezpečnosti práce. Často překračují bezpečnou rychlost, jezdí s nákladem ve výšce nebo nesledují pečlivě svoji trasu. Skladové prostory jsou většinou plné materiálu a řidič vozíku musí manévrovat na velmi malé ploše. Poté dochází ke kolizím s regály, s vraty nebo s rohy stěn. Vysoký je i tlak na efektivitu, který nutí řidiče také jezdit nepřiměřeně rychle. Další rizikové chování je spojené například s převozem spolujezdce nebo zvedáním člověka na vidlicích. (15)

Nejnebezpečnější místa ve skladech jsou v okolí vrat, výjezdů a průjezdů mezi halami. V těchto místech dochází nejčastěji k setkávání manipulační techniky. Situace se tu pak stává nepřehlednou a zvýší se riziko nehody. Zvýšení bezpečnosti v těchto místech dosahují firmy instalací značek na podlahu, přechodů pro pěší nebo výraznými barevnými pruhy. Rampy a jejich hrany jsou další rizikovou oblastí, zde se často užívají reflexní barevné pruhy.

"Automat nebourá, dodržuje pravidla, zná nejkratší cesty, pamatuje si lokace, jezdí pomaleji, ale stabilně, plynule a bez prudkých rozjezdů nebo brzdění, před překážkou sám vždy bezpečně zastaví." (Přívora, 2017)

Společnosti vyrábějící manipulační techniku často nabízejí dodatečně bezpečnostní prvky, které dokážou omezit riziko. Jedná se například o výstražná světla. Varovný světelný bod je promítán na podlahu před zařízení pro výstrahu ostatním. Tzv. blue spot (viz obr. 10) nebo red spot svítí na obou stranách nebo jen při pohybu vzad. Včas upozorní řidiče jiného vozíku nebo osobu ve skladu. (15)



Zdroj: (11)

Obrázek 10 - Blue spot varující ostatní řidiče při pohybu vzad

2.1 Bezpečnostní prvky

Při práci a manipulaci s vozíky AGV musí být dodržována bezpečnostní pravidla a vozíky musí obsahovat povinné bezpečnostní prvky, odpovídající předepsaným normám.

Nouzový vypínač – musí být přístupný a viditelný na první pohled. Při použití nouzového vypínače stroj okamžitě zastaví a je spuštěn resetováním vypínače.

Výstražná světla a zvukové signály – informují okolí o svém provozu. Při jízdě jsou světla rozsvícena, používají se i blinkry z důvodu oznámení změny směru jízdy. Při couvání jsou automaticky aktivovány akustické varovné signály.

Mechanické brzdy – provozní brzdy nejsou aktivovány, pokud jim je dodávána energie. V případě potřeby je možné vozík zastavit přerušením energie a tím vozík okamžitě zabrzdí.

Systém ochrany osob – vozíky jsou vybaveny ochrannými prvky (plastové nebo měkké pěnové nárazníky). Dále jsou na vozíku umístěny bezkontaktní senzory, které za pomoci laseru, radaru, infračerveného záření nebo ultrazvuku mapují okolní terén a v případě nebezpečí zastaví vozík. Tyto systémy pracují tak, aby spolehlivě chránily lidi a vyhnuly se tak překážkám, které by se mohly vyskytnout při manipulaci s vozíky.

Bezpečnostní PIN - číselný kód, který je nastavený při spuštění vozíku. Tento kód zná pouze osoba oprávněná k provozu a manipulaci s vozíkem. (2)

3 Výrobci AGV systémů

V současné době přechází výrobci AGV systémů převážně k optické a laserové navigaci. S pokročilejší technologií je aplikace velice snadná a méně nákladná. Mezi přední výrobce AGV systémů patří následující: Linde, Jungheinrich, Still, Ceit, System, Indeva a další. Autor pro srovnání vybral první dva výrobce, kteří jsou v současnosti nejrozšířenější a nejznámější.

3.1 Indeva - Intelligent devices for handling

Společnost Indeva pochází z Itálie, z města Brembilla, kde v roce 1906 vzniklo první jádro závodu s názvem Scaglia. Na přelomu 80. let minulého století společnost založila několik dceřiných podniků, které se specifikovaly na různé výrobky. Jedny z nich byl i systém AGV vozíků (viz obr. 11). Tyto vozíky mají specifický nízký profil a využívají magnetickou navigaci.



Zdroj: (11)

Obrázek 11 - Tahač INDEVA TUNNEL AGV 750 kg

3.2 Linde Material Handling

Tato společnost byla založena v roce 1904 v Mnichově pod názvem Güldner-Motoren-Gesellschaft. a nyní zaměstnává více než 13 000 lidí po celém světě. Patří mezi největší výrobce vidlicových vysokozdvížných vozíků a skladové techniky na světě. K systému AGV se společnost dostala na přelomu 20. a 21. století a zahájila jeho sériovou výrobu.

Všechny vozíky společnosti Linde využívají kombinaci optické a laserové navigace. V pravidelných intervalech se na podlahu umístí značky RFID nebo čárové kódy na regály. Snímací zařízení na vozíku pak při jízdě čte zmíněné značky a kódy a s jejich pomocí vyhodnocuje svoji aktuální polohu. Centrální systém komunikuje s vozíkem prostřednictvím Wifi sítě. Každý vozík je vybaven jak automatickým, tak i manuálním řízením.

Typy automatických vozíků značky Linde:

3.2.1 P-MATIC

Jedná se o standardní tahač upravený tak, aby mohl fungovat i jako robotický vozík (viz obr. 11). Jeho součástí je plošina pro manuální obsluhu. Využití nachází především při dodávce výrobních materiálů ve skladu, likvidaci odpadů nebo tažení větších nákladů. Lze jej použít samostatně nebo jako součást autonomního vozového parku. Ve vozíku je výkonný bezúdržbový motor s vysokým kroutícím momentem.



Zdroj: (11)

Obrázek 12 - Tahač P-MATIC

3.2.2 L-MATIC

Tento automatický vysokozdvizný vozík slouží k přepravě palet v nízkých pracovních výškách (viz obr. 12). Součástí výbavy je přepínatelné manuální řízení. Používá se samostatně nebo v autonomním vozovém parku. Vyrábí se i v protizátěžové verzi L-MATIC AC, kde se vidlice nachází dále od řídicí plošiny a umožňuje tím stabilnější manipulaci a zvedání těžšího nákladu.



Zdroj: (11)

Obrázek 13 - Vysokozdvizné vozíky L-MATIC a L-MATIC AC

3.2.3 T-MATIC

Nízkozdvižný paletový vozík se hodí na přepravu nákladu na delší trasy nebo k přípravě zboží na odeslání (viz obr. 13). Je vybaven dlouhými vidlicemi pro transport až dvou palet najednou. Jeho maximální nosnost je 3 tuny.



Zdroj: (11)

Obrázek 14 - Nízkozdvižný paletový vozík T-MATIC

3.2.4 K-MATIC

Robustní regálový zakladač od společnosti Linde je vhodný pro náklady s hmotností do 1000 kilogramů a maximální výškou zdvihu do 7 metrů (viz obr. 14). Součástí výbavy je přepínatelné manuální řízení. Vidlice jsou umístěné do boku s možností vysunutí do strany pro manipulaci s náklady v úzkých uličkách



Zdroj: (11)

Obrázek 15 - Regálový zakladač K-MATIC

3.3 Jungheinrich

Vznik společnosti Jungheinrich je spojen se založením obchodního domu H. Jungheinrich & Co. v roce 1908 Hermannem Jungheinrichem. Téměř o půl století později v roce 1953 jeho nejstarší syn, Friedrich Jungheinrich, založí znovu společnost pod názvem H. Jungheinrich & Co. Maschinenfabrik v Hamburku. V druhé polovině 20. století dochází k zásadnímu vývoji v logistických procesech (především vychystávání) a do popředí se dostává automatizace skladu. Jsou vyvíjeny první automaticky vedené vozíky, přepravní systémy bez řidiče. Výroba se přesouvá do města Norderstedt.

Vozíky jsou označeny jako Jungheinrich Auto Pallet Mover (APM) a fungují na principu laserové navigace. Jak již bylo zmíněno výše, pro tento typ navigace se instalují reflexní prvky na trase vozíku jako jsou např. značky RFID nebo čárové kódy. Systém APM lze bezproblémově integrovat do stávající skladové infrastruktury. Dobře spolupracují se systémy jako jsou například WMS nebo ERP.

Typy automatických vozíků značky Jungheinrich:

3.3.1 EZS 350a

Automatický vozík, který slouží jako tahač při vytváření dlouhých vozíkových souprav (viz obr. 14). Stejně jako tahač P-MATIC od společnosti Linde i tento typ je upravený ze standardního manuálního tahače. Součástí výbavy je sedačka pro obsluhu a přepínatelné manuální řízení.



Zdroj: (12)

Obrázek 16 - Automatický tahač EZS 350a

3.3.2 ERC 215a

Vysokozdvížený automatický vozík s ojí pro manuální ovládání (viz obr. 16). Jeho maximální zdvihová výška je až čtyři metry. Používá se např. při manipulaci s paletami mezi regály. Při zdvihu zůstávají dvě spodní vidlice na zemi pro lepší stabilitu vozíku.



Zdroj: (12)

Obrázek 17 - Vysokozdvížený automatický vozík ERC 215a

3.3.3 ERE 225a

Nízkozdvížený automaticky řízený vozík vybavený ojí pro možné manuální ovládání (viz obr. 17). Lze s ním přepravovat vysoká břemena s maximální nosností 2,5 t na úrovni podlahy. Vozík je vybaven dlouhými vidlicemi pro přepravu až dvou palet umístěných za sebou.



Zdroj: (12)

Obrázek 18 - Nízkozdvížený automatický vozík ERE 225a

3.3.4 EKS 210a

Vertikální vychystávací vozík s maximální pracovní výškou 3 metry a nosností 1,5 tuny (viz obr. 18). Jeho hlavní pracovní náplní je přesná manipulace s předměty ve výšce. Uprostřed vozíku se nachází řídicí plošina pro obsluhu manuálního řízení.



Zdroj: (12)

Obrázek 19 - Vychystávací automatický vozík EKS 210a

3.4 Porovnání jednotlivých typů AGV vozíků pro vybrané úkoly

Autor vybral několik základních parametrů, o kterých si myslí, že jsou podstatné při výběru vozíků a následné funkci ve skladu.

3.4.1 Srovnání tažných automatických vozíků P-MATIC a EZS 350a

V první tabulce jsou automatické vozíky určené k tahání nákladů. Vozík značky Linde P-MATIC je výrazně lehčí a menší na šířku a délku. To může být výhoda při průjezdech v těsných uličkách mezi regály. Tažná kapacita (maximální hmotnost nákladu, kterou lze za vozík zapojit) je totožná, avšak tažná síla je více jak dvakrát taková u vozíku značky Jungheinrich EZS 350a. To se projeví především na zrychlení soupravy. Rádus otáčení určuje prostor potřebný pro otočení vozíku. Čím je hodnota menší, tím lepší má vozík manévrovatelnost. Vybrané dva vozy mají tyto hodnoty podobné. Maximální rychlost s nákladem se pohybuje na stejných hodnotách. Bez nákladu je vozík EZS 350a rychlejší.

Tabulka 2 - Srovnání tažných automatických vozíků P-MATIC a EZS 350a

	P-MATIC	EZS 350a
Celková hmotnost (kg)	1080	1333
Rozměry š,v,d (mm)	798,2370,1750	980,2273,1962
Tažná kapacita (kg)	5000	5000
Tažná síla (N)	1800	3700
Rádus otáčení (mm)	1485	1466
Maximální rychlost (km/h) s nákl./bez nákl.	8/8	8/12,5

Zdroj: Autor s využitím (11)(12)

3.4.2 Srovnání vysokozdvížných automatických vozíků L-MATIC a ERC 215a

Ve druhé tabulce jsou vysokozdvížné vozíky určené k manipulaci s předměty ve výšce. Celková hmotnost vozíků je velmi podobná, rozměry se ovšem liší. První vybraný vozík je menší jak na šířku, tak i na délku. Nosnost v maximální vysunuté poloze zdvižného stožáru je větší u vozíku ERC215a. Výhodou vozíku je i více jak dvakrát větší výška zdvihu. Rychlosti s nákladem i bez nákladu jsou ovšem u vozíku ERC215a velmi nízké.

Tabulka 3 - Srovnání vysokozdvížných automatických vozíků L-MATIC a ERC 215a

	L-MATIC	ERC 215a
Celková hmotnost (kg)	1415	1370
Rozměry š,v,d (mm)	804,2370,2285	911,2132,2363
Nosnost/Náklad (kg)	1200	1500
Zdvih (mm)	1924	4000
Rádus otáčení (mm)	2066	2032
Maximální rychlost (km/h) s nákl./bez nákl.	6/6	1,7/1,7

Zdroj: Autor s využitím (11)(12)

3.4.3 Srovnání nízkozdvížných automatických vozíků T-MATIC a ERE 225a

Ve třetí tabulce jsou nízkozdvížné vozíky používané k pozemnímu přemísťování palet a podobných těžkých břemen. Celková hmotnost vozíku T-MATIC bez nákladu je daleko větší než u druhého vozíku ERE225a. Vozík společnosti Jungheinrich je větší jako předchozí modely a má menší maximální nosnost. Jeho rádius otáčení je kvůli rozměrům také větší.

Tabulka 4 - Srovnání nízkozdvížných automatických vozíků T-MATIC a ERE 225a

	T-MATIC	ERE 225a
Celková hmotnost (kg)	1360	802
Rozměry š,v,d (mm)	790,2370,3315	893,2127,3603
Nosnost/Náklad (kg)	3000	2500
Zdvih (mm)	120	122
Rádius otáčení (mm)	2735	2836
Maximální rychlost (km/h) s nákl./bez nákl.	6/6	6,1/6,1

Zdroj: Autor s využitím (11)(12)

3.4.4 Srovnání vertikálních vychystávacích vozíků K-MATIC a EKS 210a

Ve čtvrté tabulce jsou vertikální vychystávací vozíky. Hlavní výhoda vozíku K-MATIC je umístění vidlic do boku. Tento model je ovšem kvůli další mechanice vidlic téměř třikrát těžší a prostorově větší než vozík EKS 210a. Výška zdvihu je ve prospěch modelu K-MATIC, při maximálním výsunu zdvižného stožáru dosahuje výšky více jak dvakrát větší. Maximální rychlost s nákladem i bez nákladu je vysoká u typu K-MATIC.

Tabulka 5 - Srovnání vertikálních vychystávacích vozíků K-MATIC a EKS 210a

	K-MATIC	EKS 210a
Celková hmotnost (kg)	8801	2570
Rozměry š,v,d (mm)	1845,4900,3694	1040,2595,3225
Nosnost/Náklad (kg)	1000	1500
Zdvih (mm)	7200	3000
Rádius otáčení (mm)	2340	2140
Maximální rychlost (km/h) s nákl./bez nákl.	12/12	6,1/6,1

Zdroj: Autor s využitím (11)(12)

Z tabulek je patrné, že automatické vozíky od společnosti Jungheinrich jsou širší i delší (s výjimkou vychystávacích vozíků). To se projeví zejména při pohybu v těsných prostorách skladu. Vysokozdvížené vozíky od společnosti Linde mají daleko větší výšku zdvihu, proto určitě zaujmou potenciální zákazníky, kteří mají ve svém skladu vyšší regály.

4 Vymezení podmínek pro aplikaci systému ve skladu

V této části autor vymezení požadavky na sklad, ve kterém má být aplikovaný AGV systém.

4.1 Požadavky na infrastrukturu

Základním předpokladem pro nasazení AGV systému do skladu je dostatek prostoru. Nasazení má smysl v provozech, kde vozíky převáží náklad na dlouhé vzdálenosti. Při průjezdu uličkami by měl mít vozík po stranách minimálně jeden metr místa. Hlavním důvodem je velký důraz na bezpečnost. Volně pohybující pracovníci se pak mohou vyhnout kolizi s automatickým vozíkem. V prostorách, kde vozík náklad nepřeváží, ale dochází k manipulaci, by mělo být dostatek místa k manévrování. Výše uvedené hodnoty pro rádius otáčení jsou při pohybu vozíku zásadní.

Základní a nejjednodušší varianta AGV systému je řízení s optickou nebo laserovou navigací. Pro správné fungování tohoto systému není potřeba složitá instalace systémové infrastruktury. Zavedení těchto systémů zpravidla trvá několik dní a je možnost přejít na daný systém téměř ihned.

Průběh instalace AGV systému od společnosti Linde ve skladu společnosti Wolf:

"Okamžitě po příjezdu do společnosti Wolf byla zahájena instalace. Aplikační inženýrka nejdříve ručně provedla zařízení expediční halou a prostřednictvím kamery nainstalované na vozíku zaznamenala do mapy všechny nepohyblivé předměty v prostoru. Z toho vznikla dvourozměrná mapa budovy, která byla v následné fázi vyčištěna, protože na konci by měly v mapě zůstat jen takové prvky, podle kterých se může vozík trvale orientovat, tzn. stěny, sloupy a regály. Ve třetím kroku následovalo „naučení“ tras či jízdních drah a regálů, na jejichž základě se má vozík v daném prostředí pohybovat." (11)

Systémy s indukční a magnetickou navigací mají svoji instalaci o poznání složitější. V celém prostoru skladu je nutné zavést v podlaze vodící prvky pro svůj typ navigace a vytvořit tak rozsáhlou síť tras pro vozíky. Při pohybu zaměstnanců skladu nebo manuálních manipulačních prostředků dochází k poškozování a opotřebování těchto vodících prvků a tím může dojít i k přerušení provozu a špatnému fungování AGV systému. Stávající vodící dráhy také nelze v případě potřeby měnit např. u aktivní indukční navigace. (2)

Poslední typ systému se satelitní navigací nachází své využití pouze venku. Pro správnou funkci nesmí být mezi satelitem a přijímačem na vozíku žádná překážka. Jeho

využití ve vnitřních skladech je tedy prakticky nulové. Jeho instalace nevyžaduje změnu infrastruktury skladu.

Výše uvedené AGV systémy není vhodné využívat v exteriéru (s výjimkou satelitního systému). Případné střídání vnitřního a venkovního prostředí může způsobovat poškození čidel a dalších křehkých technologií vlivem měnícího se počasí. Automatické vozíky zatím nejsou vhodné pro venkovní provoz a pro manipulaci v oblastech, kde se vyskytují nečistoty v ovzduší a rychlé hodinové změny vlhkosti a teploty. (14)

4.2 Požadavky na software

Ideální využití AGV systému je převoz nákladu z bodu A do bodu B. Pokud má vozík vykonávat složitější manipulační operace, je potřeba systém naučit všechny regálové pozice, nastavení správné výšky, dojetí podle nákladu, vyložení a odjezd.

Většina softwarů novějších AGV systémů spolupracuje se systémy WMS nebo ERP. Pokud sklad nemá svůj vlastní interní systém, dokáže systém AGV pracovat i autonomně.

4.3 Bezpečnostní požadavky

Protože se automatizované vozíky nacházejí ve skladových prostorech společně s dalšími zaměstnanci skladu, musí se vybavit bezpečnostními prvky, které zabrání kolizi s nimi. Bezpečnost při provozu AGV systému je obecně přiblížena v kapitole 2.1 Bezpečnostní prvky.

Velice důležité je, aby operace, které má vozík vykonávat, byly jednoduché, pravidelné a jasně definované. Při složitějších úkolech je možné vždy vozík přepnout na manuální ovládání a nechat je vykonat pracovníkem skladu. Kvůli bezpečnosti pracuje AGV výrazně pomaleji než člověk. Výhodou je ovšem nepřetržitý provoz zkrácený pouze o dobu nabíjení nebo údržby. (15)

4.4 Požadavky na údržbu

Ze začátku nejsou opravy automatických vozíků vůbec nutné. Může dojít k náhodnému poškození při manuálním provozu nebo jiné nehodě. K většině oprav AGV vozíků dochází kvůli trvalému zatížení a tím pádem běžnému opotřebení. Větší opravy se dají eliminovat včasným rozpoznáním opotřebení stroje a následnou výměnou opotřeбенé části.

Intervaly údržby jsou stanovené od výrobce zařízení a při vyšším zatížení se přizpůsobují jednotlivým vozíkům. Společnost, která dané vozíky vyrobila, stanovuje termíny pravidelné údržby, bezpečnostní kontroly a zkoušky emisí. U AGV vozíků se využívá stejná diagnostická technika jako v automobilovém průmyslu. Servisní technik také navrhuje

preventivní opatření pro zabránění vzniku dalších nákladů v důsledku neplánovaných výpadků a krátkodobých oprav. (11)

Vybrané úkony při kontrole vozíku před provozem:

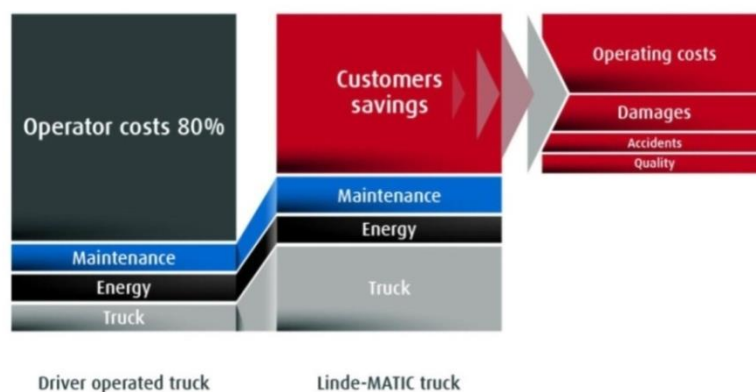
- **podvozek a konstrukce vozíku** - kontrola zajištění nastavovacího mechanismu sloupku řízení, stav sedadla řidiče a pánevního pásu, stav pneumatik a ráfků, pohonný systém a řízení, provozní a parkovací brzda
- **trakční baterie a nabíječ** - stav nabití trakční baterie, hladina elektrolytu a případné doplnění destilované vody, utažení konektorů na trakční baterii, stav přípojek nabíječe
- **další části vozíku** - kontrola osvětlení, směrovek, zvukové signalizace, správné namontování vidlic

4.5 Návratnost

Společnost, která se rozhodne využít zavedení AGV systému, zajímá především návratnost investice. Pořizovací cena automaticky vedeného vozíku je daleko vyšší než u běžného vozíku. Kromě nákladných technologií zákazník platí také za nastavování provozu strojů. Tato cena se ovšem mění v závislosti na počtu nasazených vozíků. Čím více vozíků společnost zakoupí, tím se cena připadající na jeden vozík snižuje. Hodnotu návratnosti také určuje počet lidí, které automatické vozíky nahradí a aktuální mzdové náklady. (8)

"Vyplácí se určitě od dvousměnného provozu výše. Návratnost se zpravidla pohybuje kolem dvou až tří let," (Byczkowski, 2018)

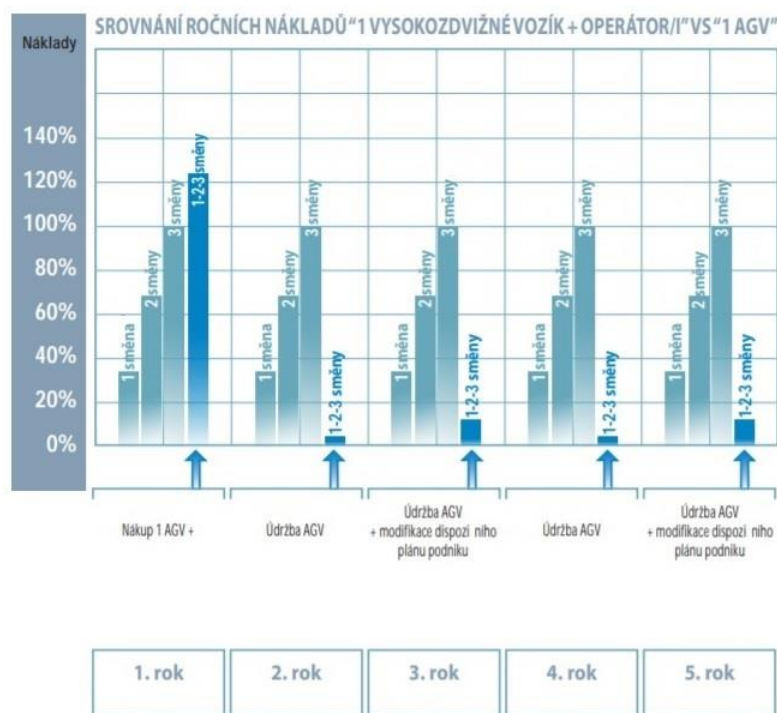
Do celkových nákladů při pořizování je nutné také započítat pořizovací náklady při zavádění AGV systémů (magnetický a indukční) do výrobních hal a skladů. Ty se mohou navýšit zejména při rekonstrukci stávajících prostor.



Zdroj: (11)

Obrázek 20 - Srovnání manuálně a automaticky ovládaných vozíků z hlediska nákladů

Na obrázku můžeme vidět, že mzdové náklady na zaměstnance tvoří 80% veškerých nákladů na provoz manuálně řízeného manipulačního zařízení. Při přechodu na automaticky vedený vozík se v malé míře zvednou údržbové a pořizovací náklady, ale zcela zmizí mzdové náklady.



Zdroj: (11)

Obrázek 21 - Srovnání ročních nákladů za použití manuálních vozíků a AGV systému

Na výše uvedeném grafu je zobrazen scénář s použitím jednoho AGV vysokozdvížného vozíku ve skladu v porovnání s klasickým systémem jedné, dvou a tří směn manuálních vozíků s operátory v průběhu pěti let. Z grafu je patrné, že náklady na zavedení AGV systému do skladu přesahuje v prvním roce náklady na třísměnný provoz operátorů, v dalších letech ovšem náklady na provoz a údržbu AGV systému jsou minimální.

5 Materiálová manipulace a její systematické projektování

Základním principem systematického projektování materiálové manipulace je analyzovat danou problematiku v souvislostech. V první části je důležité zachytit potřebná data o současném stavu, která jsou následně prověřována a zpracována do názorného vyobrazení např. jako schéma, graf nebo tabulka. Důležitá data při řešení problému v materiálové manipulaci jsou:

P - produkt (výrobek, předmět, který se má montovat, vyrábět nebo s ním má být manipulováno)

Q - kvantita (vyráběný objem výroby, počet vyrobených kusů)

R - reprodukční proces (tok materiálu, manipulace, výrobní proces)

S - služby a jiné činnosti spojené s manipulací

T - čas, v němž probíhá výroba i manipulace s materiálem

Manipulaci s materiálem lze rozdělit do několika fází:

5.1 Klasifikace manipulovaného materiálu

V počáteční fázi je potřeba si určit, se kterým materiálem se bude manipulovat a jaké jsou jeho vlastnosti, protože právě materiál má na volbu metody zásadní vliv. Manipulovaný materiál, který je potřeba přemístit ze skladu na montážní linku, se musí rozdělit do různých skupin, které mají stejné vlastnosti. Základní vlastnosti materiálu jsou jeho váha, rozměry, dále jaký má manipulovaný materiál tvar nebo jak je křehký. V tuto chvíli lze určit, jaké budou vhodné manipulační jednotky pro daný materiál.

5.2 Materiálový tok a jeho rozbor

Materiálový tok je řízený pohyb manipulovaného materiálu za pomoci manipulačních, dopravních či přepravních prostředků cílevědomě tak, aby materiál byl k dispozici tam, kde je v danou chvíli potřeba. Při optimalizaci zásobování a výroby je možné materiálový tok různě upravovat, případně zcela změnit a navrhnout nový. Při novém návrhu manipulace s materiálem je potřeba určit délky jednotlivých tras a také jejich stav.

Intenzita materiálového toku - množství přepravovaného materiálu za jednotku času

Pro lepší představu materiálového toku v podniku se používají schematické diagramy (např. Sankeyův diagram), které se zakreslují přímo do nákresu podniku.

5.3 Způsoby zásobování

Vybraná společnost si kvůli povaze jejich výroby nepřála, aby její jméno bylo zveřejněno v této práci. V samotném podniku se nachází celkem šest montážních linek, na které se postupně dopravuje potřebný materiál. Jedná se o součásti, které jsou v další části práce označovány jako součást 1 až 6. Prostorově jsou linky uspořádány ve tvaru "U". Zásobování montážních linek je v zadaném podniku řešeno převážně pomocí přímého systému zásobování. Jednotlivé komponenty pro výrobu jsou dodávány ve svých manipulačních jednotkách přímo do místa spotřeby. Podnik má pouze jeden hlavní sklad (tzv. centrální), ze kterého jsou veškeré hlavní komponenty odebírány.

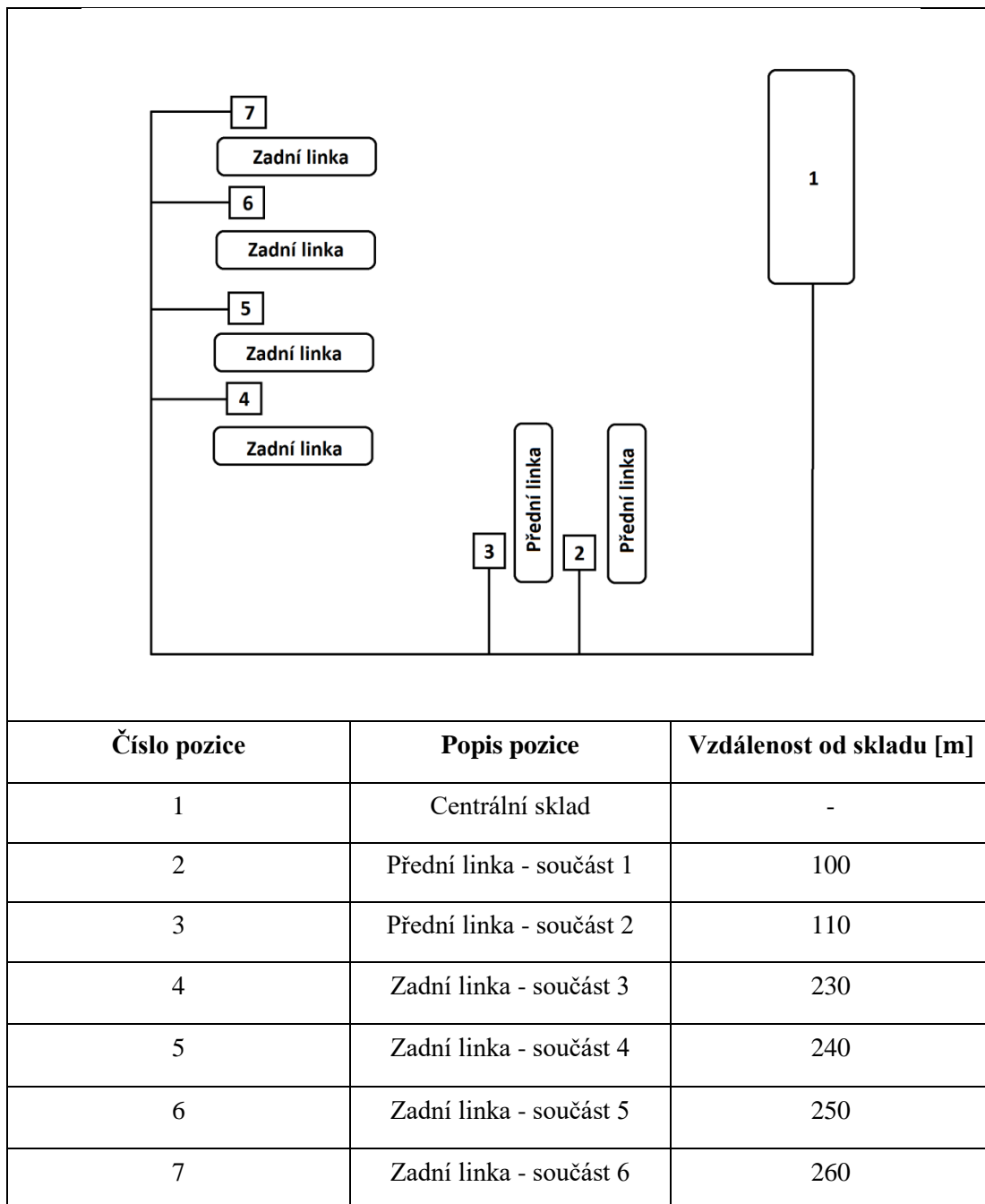
V podniku pracují současně dva operátoři na dvou manuálních vysokozdvihných vozíčkách. S jejich pomocí doplňují jednotlivé montážní linky. Komponenty na všech montážních linkách se spotřebují přibližně za **50 minut**.

Drobné součásti, jako např. spojovací materiál, je rozmístěn v menších skladovacích prostorách v blízkosti montážních linek. Jejich stav je doplňován každý den před zahájením směny z centrálního skladu a nemá žádný vliv na výrobu.

5.4 Schéma zásobování

V tabulce je zakreslené jednoduché schéma, jak je na montážní lince řešené zásobování. Z centrálního skladu (č. p. 1) je dodáván materiál na přední a zadní linky (č. p. 2-7). Vyrobené díly jsou následně dopravovány z montážních linek za pomoci automatických dopravníků do další části podniku.

Tabulka 6 - Schéma zásobování montážních linek



Zdroj: (autor)

5.5 Manipulační zařízení

V zadaném podniku je pro zásobování využíváno vysokozdvížných vozíků značky Jungheinrich retruck ETV, které jsou řízeny manuálně operátory. Podnik tyto vozíky pronajímá od externí společnosti. Vozíky pracují v cyklickém režimu a dodávají materiál na jednotlivé montážní linky.

5.6 Nalezené problémy v daném podniku a návrh na zlepšení

Po analýze podniku a jeho zásobování, skladování a manipulaci s materiálem bylo zjištěno, že se na skladovacích prostorách u jednotlivých montážních linek hromadí nespotřebovaný materiál za směnu a tím vzniká blokáce výrobních ploch. Dále je také poměrně dlouhá dráha ze skladu k linkám a pokud by na některé z nich chyběly součástky do výroby, znamenalo by to vysokou ztrátu produkce. V neposlední řadě je také tento způsob manipulace velice nepraktický z hlediska vysokých nákladů na mzdy operátorů vysokozdvížných vozíků.

Na zajištění efektivnějšího chodu zásobování montážních linek je potřeba, aby manipulace probíhala s vyšší účinností a konzistencí. Potřebný materiál, který na lince dochází, by měl být na základě podnětu z linky dovezen z centrálního skladu s časovým předstihem.

System AGV se jeví jako možné řešení v daném podniku. Díky tomuto systému se ušetří výrobní plocha, zmenší se vytváření zásob nespotřebovaného materiálu, materiál bude na montážních linkách v přesném množství a čase a také se eliminuje mzdová část nákladů na zásobování.

6 Návrh nového způsobu zásobování - systém AGV

V této kapitole je popsán výpočet potřebného počtu vozíku systému AGV, které lze v daném podniku uplatnit, dále výběr vhodného dodavatele AGV systému a nakonec výpočet nákladů, úspor a následné návratnosti investice.

6.1 Počet nasazených AGV vozíků

K plynulému provozu zásobování montážních linek je potřeba zjistit počet AGV vozíků, které pokryjí aktuální spotřebu montážních linek. U těchto výpočtů je vycházeno z toho, že většina tažných AGV vozíků má provozní rychlost 8 km/h, tedy přibližně 2 m/s. S přihlédnutím k případným zdržením na trase kvůli překážkám a zatáčkám byla tato rychlost dále snížena za pomoci koeficientu využití maximální rychlosti $k = 0,7$. Výsledná rychlost vozíků je tedy přibližně 1,5 m/s. Doba naložení a vyložení je pevně stanovená a pro každou součástku totožná. Postup výpočtu vychází ze vztahu:

$$\text{doba na 1 cyklus} = (\text{vzdálenost celkem} / \text{rychlost vozíku}) + \text{doba naložení a vyložení}$$

Tabulka 7 - Výpočet délky jednoho cyklu vozíku

Materiál	Vzdálenost [m]	Vzdálenost [m]	Doba naložení a vyložení [s]	Doba na 1 cyklus [s]	Doba na 1 cyklus [min]
Součást 1	100	200	180	313	5,22
Součást 2	110	220	180	327	5,45
Součást 3	230	460	180	487	8,12
Součást 4	240	480	180	500	8,33
Součást 5	250	500	180	513	8,55
Součást 6	260	520	180	527	8,78
				celkem	44,45

Zdroj: (autor)

Z výpočtu kapacity vychází, že zásobování za pomoci systému AGV všech šesti montážních linek trvá přibližně **45 minut**. Součástky na všech montážních linkách se spotřebují za **50 minut**. Z toho vyplývá, že pro navrhovaný proces bude zcela stačit nasazení pouze jednoho AGV vozíku a ten bude vytížen na 90%.

6.2 Výběr vhodného dodavatele AGV systému

Autor vybral tři dodavatele, kteří figurují na českém trhu a dodávají AGV systémy do českých společností. Výběr je specifický v tom, že kvůli případnému servisu nebude muset podnik omezovat svůj provoz na delší dobu.

Vybranými dodavateli jsou:

- **Jungheinrich**
- **Linde**
- **Indeva**

Pro všechny tři dodavatele byla vytvořena specifická poptávka s popisem projektu a požadavků společnosti. Následně byli tito dodavatelé osloveni s žádostí o nabídku jejich systému a produktů.

Výše uvedené společnosti na základě poptávky, která jim byly poslána, následně dodaly odpovědi s přibližnou cenou za zavedení systému AGV a dalšími parametry jejich systému, kterými disponují. V tabulce níže jsou uvedeny ceny za kompletní instalace AGV systému.

Tabulka 8 - Parametry vybraných dodavatelů AGV systému

	Jungheinrich	Linde	Indeva
Cena [Kč]	2780000	2540000	2 250 000
Druh navigace	optická	laserová a optická	magnetická
Pohon	vpřed i vzad	vpřed i vzad	pouze vpřed
Maximální rychlost [km/h]	8	8	3
Bezpečnostní výbava	laserové senzory	laserové senzory	laserové senzory
Tažná kapacita (kg)	5000	5000	1500
Rádus otáčení (mm)	1485	1466	1000
Rozměry š,v,d (mm)	798,2370,1750	980,2273,1962	920,1400,1150

Zdroj: (autor)

Pro výběr dodavatele systému AGV byla použita rozhodovací analýza, která je uvedena v tabulce. Způsob, jakým byly jednotlivé hodnocení uděleny a jak byl daný dodavatel vybrán, je blíže popsán v příloze č. 1.

Váha jednotlivých kritérií byla zadána společností, která chce zavést systém AGV. Největší důraz je kladen na pořizovací cenu. Následně společnost také zajímá bezpečnostní výbava jednotlivých zástupců vozíků, protože po prostorách skladu se pohybují lidé. Dále je také kladen důraz na druh navigace kvůli zavedení systému a tažná kapacita, která udává jak budou moci být jednotlivé vozíky vytíženy.

Tabulka 9 - Rozhodovací analýza pro vybrané AGV systémy

Kritérium	Váha	Jungheinrich	Váž. součin	Linde	Váž. součin	Indeva	Váž. součin
Cena	8	81	648	89	712	100	800
Druh navigace	4	80	320	100	400	60	240
Pohon	3	100	300	100	300	50	150
Maximální rychlost [km/h]	3	100	300	100	300	38	114
Bezpečnostní výbava	5	100	500	100	500	100	500
Tažná kapacita (kg)	4	100	400	100	400	30	120
Rozměry š,v,d (mm)	3	80	240	60	180	100	300
Užitnost			2708		2792		2224
Pořadí		2.		1.		3.	

Zdroj: (autor)

Z rozhodovací analýzy vychází jako nejlepší nabídka od společnosti Linde. Hlavními důvody jsou flexibilnější multinavigace fungující na principu laserové a optické, která lépe reaguje v prostoru, nižší cena než u konkurenční společnosti Jungheinrich, možnost jízdy vpřed i vzad a dále také maximální tažná kapacita. Vozík od společnosti Indeva jako nejlevnější varianta má ovšem velice nízkou maximální rychlost a zásobování by se rapidně zpomalilo.

6.2.1 Výdrž baterie a její dobíjení

Všechny vozíky výše uvedených společností jsou osazeny gelovými bateriemi. Baterie vozíku Jungheinrich a Linde mají napětí 24 V a disponují kapacitou 375 Ah. Baterie vozíku Indeva mají napětí 12 V a ve vozíku jsou ve 4 kusech. Její kapacita je 135 Ah. Podle dat dodávaných od výrobců tyto akumulátory dokáží být v provozu po dobu 16 hodin.

S každým vozíkem jsou dodávány náhradní akumulátory, které lze dobíjet mimo vozík přes nabíjecí kabel. Po nabití lze tento akumulátor manuálně vyměnit za právě využívaný akumulátor ve vozíku a tím omezit jeho provoz na krátkou chvíli. Z výpočtu výše je jasné, že vozík je časově vytížen pouze na 90% a lze tedy právě v tomto čase akumulátor vyměnit.

6.3 Náklady na nasazení AGV

Náklady, které jsou spojeny se zavedením systému AGV se skládají z nákupní ceny automatického vozíku, vytvoření centrálního dispečinku pro řízení a obsluhu vozíku, proškolení personálu, příslušenství jako dobíjecí stanice nebo výměnné akumulátory. Dále také instalace trasy, po které se má vozík pohybovat. Jako poslední položka nákladů je určena cena na výrobu tažených vozíků, které budou kompatibilní s AGV systémem.

Automatický vozík.....	826 200 Kč
Centrální dispečink.....	479 500 Kč
Příslušenství, instalace.....	1 224 300 Kč
Výroba vozíků kompatibilních s AGV systémem.....	250 000 Kč
Celkem.....	2 790 000 Kč

6.4 Úspory (nový x původní stav)

V současné době ve společnosti pracují v jedné směně 2 operátoři, kteří zásobují montážní linky za pomoci pronajatých manuálních manipulačních zařízení značky Jungheinrich retruck ETV. Pracují ve dvou směnách, každá z nich má 8,5 hod. Zaměstnanci mají nárok na 45 minut dlouhou přestávku. Po nasazení AGV systému bude potřeba pouze jednoho operátora, který bude obsluhovat samotný systém a zajišťovat tak jeho plynulý chod. Společnost tedy ušetří jednoho operátora na směnu, při dvousměnném provozu to znamená 2 zaměstnance denně. Další finance, které společnost ušetří, je pronájem za obě manipulační manuální zařízení, které pracují nyní ve společnosti.

$$N_{celk} = N_m + N_o + N_s + N_p$$

N_{celk}celkové náklady spojené s manipulací daného manipulačního zařízení

N_mmzdové náklady operátora

N_onáklady na odpisy daného manipulačního zařízení

N_snáklady spojené s údržbou a servisem manipulačního zařízení

N_pnáklady na provoz manipulačního zařízení (pohonné hmoty, elektřina)

N_{pr}pronájem za vozíky

$N_{úsp}$úspory vypočítané jako rozdíl celkových nákladů před a po zavedení systému AGV

Výpočet nákladů pro současné manipulační zařízení:

$$N_m = 800\,000 \text{ Kč/rok}$$

$$N_{pr} = 200\,000 \text{ Kč/rok}$$

$$N_p = 20\,000 \text{ Kč/rok}$$

$$N_s = 5\,000 \text{ Kč/rok}$$

$$N_{celk} = 1\,025\,000 \text{ Kč/rok}$$

Výpočet nákladů po zavedení systému AGV:

$$N_o = 250\,000 \text{ Kč/rok}$$

$$N_s = 15\,000 \text{ Kč/rok}$$

$$N_p = 20\,000 \text{ Kč/rok}$$

$$N_{celk} = 285\,000 \text{ Kč/rok}$$

$$N_{úsp} = 1\,025\,000 \text{ Kč/rok} - 285\,000 \text{ Kč/rok} = \underline{\underline{740\,000 \text{ Kč/rok}}}$$

Z výše uvedených výpočtů vychází, že zavedením automaticky vedeného vozíku lze dosáhnout přibližné úspory **740 000 Kč za rok**, kde hlavní úspory jsou spojené s mzdami operátorů manuálních vozíků, které AGV systém nahradí. Jako vedlejší úspory lze považovat také eliminace pronájmu za stávající manipulační zařízení. Nepatrně vyšší jsou náklady na údržbu a servis AGV systému.

Další úspora se týká prostorů, kde výroba přechovává materiál určený k přímé spotřebě na montážní lince. Tyto prostory se po zavedení AGV systému dají využít pro rozšíření kapacity montážních linek nebo jiné modifikace společnosti.

6.5 Návratnost investice

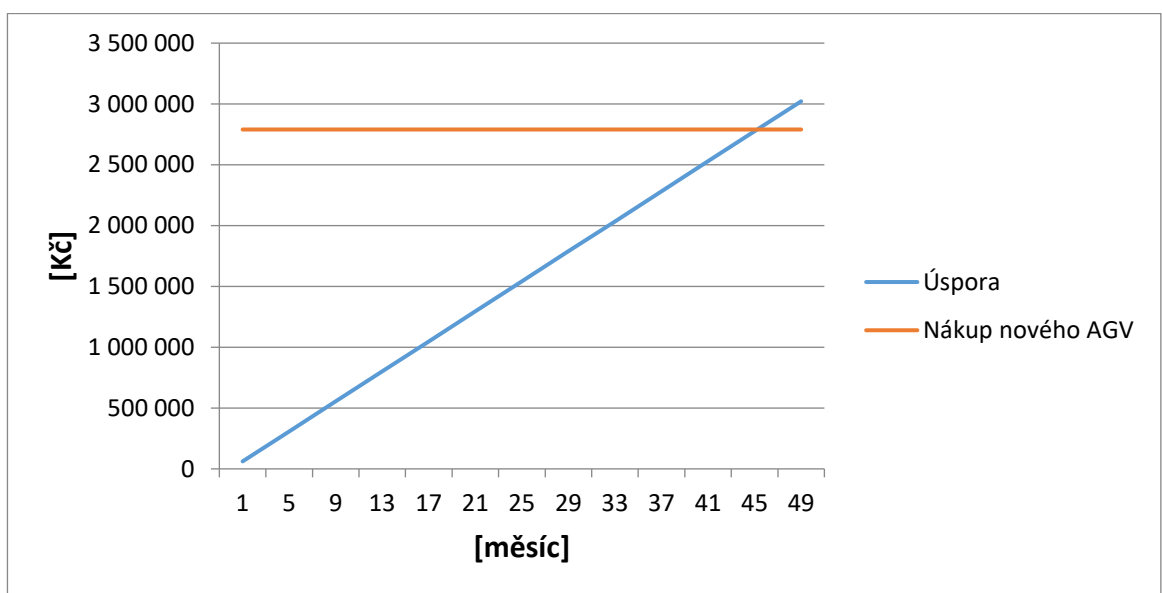
Návratnost investice pro daný případ je vypočítána jako podíl celkového součtu pořizovacích nákladů za nový systém a měsíční úspory. Pro lepší představu je návratnost investice vyobrazena na obrázku č. 21.

Nákup nového zařízení:

Pořizovací náklady.....2 790 000 Kč

Úspora na nákladech.....61 667 Kč/měsíc (740 000 Kč/rok)

Návratnost investice.....45 měsíců



Zdroj: (autor)

Obrázek 21 - Grafické zobrazení návratnosti investice po zavedení AGV systému

Pokud se ve vybraném podniku aplikuje systém AGV, společnosti se náklady vrátí přibližně za **45 měsíců**, tedy za **3,75 let**. Velká část pořizovacích nákladů tvoří bezdrátový dispečink a tvorba zázemí pro AGV systém (značení tras, příslušenství k napájení vozíku). Vypracovaný návrh zahrnuje pouze jeden vozík systému AGV. Při rozšíření produkce a skladovacích prostor lze zapracovat do projektu více automatických vozíků, které budou spolehlivě fungovat na základě již zavedeného dispečinku a vyznačených tras. Tyto počáteční vysoké náklady tedy částečně odpadnou a společnost dosáhne dalších úspor v budoucnu.

ZÁVĚR

Zadaná práce měla za úkol přiblížit problematiku systému automaticky vedených vozíků ve skladu. V první části práce autor popisuje jednotlivé druhy vozíků a jejich funkce. Dále se zde zabývá typy navigací, které lze pro vozíky využít. Navigaci, s jejíž pomocí jsou vozíky vedené, rozdělujeme na optickou, indukční, magnetickou, laserovou a satelitní. Zpravidla každý automaticky vedený vozík má elektromotor. Existují dva typy způsobu napájení, indukce nebo akumulátorové baterie. Mezi důležité části automaticky vedených vozíků patří bezpečnostní prvky, které zaručují jeho plynulý a bezpečný provoz.

Ve druhé části práce autor vypisuje několik dostupných modelů automatických vozíků dvou předních výrobců manipulační techniky Linde a Jungheinrich. Na základě jejich základních parametrů provádí porovnání v tabulkách.

Ve třetí části vymezuje podmínky, za jakých je možné aplikovat systém automaticky vedených vozíků ve skladu. Určuje požadavky na infrastrukturu skladu, ve které se má AGV systém zavést. Dále také autor zmiňuje požadavky na údržbu a návratnost systému.

V poslední části práce autor vypracoval návrh na zavedení AGV systému do specifického podniku. Přínosy návrhu jsou vyčísleny za pomoci ekonomické analýzy jako úspory a dále je vypočítána také návratnost investice.

Z práce vyplývá, že používání AGV systému může být pro firmu velkým přínosem. Před pořízením jednotlivých strojů a technologií by se měla logistická společnost poradit s výrobcem AGV systémů, který typ navigace bude pro ně nejvýhodnější. Způsob zavedení systémů a finanční možnosti jsou hlavním faktorem při pořizování AGV systému a další modernizaci skladů a výrobních linek.

Cílem této práce bylo vytvořit analýzu, za jakých podmínek lze zavést automaticky vedené vozíky do provozu nebo skladů. Porovnat v současnosti dostupné systémy a vymezit podmínky, za kterých jsou tyto systémy použitelné.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] GROS, Ivan. Velká kniha logistiky. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. ISBN 978-80-7080-952-5
- [2] CEMPÍREK, Václav. Technologie ložných a skladových operací. Pardubice: Institut Jana Pernera, 2007. ISBN 80-86530-36-1.
- [3] ŘEZNÍČEK, Bohumil. Logistika. Pardubice: Univerzita Pardubice, 1997. ISBN 80-7194-093-3
- [4] ARVIND, S.A. *Fabrication of automated guided vehicle* [online]. [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/soorajsasthamcottaproject-report-for-automated-guided-vehicle>
- [5] *Automated guided vehicle* [online]. [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/smit1994/basics-of-agvs-automated-guided-vehicles>
- [6] Solutions. Götting KG [online]. © 1997 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <http://www.goetting-agv.com/solutions>
- [7] *StackRack*. *StackRack* [online]. [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: http://stackrack.com/UGV_AGV.html
- [8] *Vozíky s automatickým řízením* [online]. [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://logismarketcz.cdnwm.com/ic/systech-group-sro-agv-voziky-s-automaticym-rizenim-947976.pdf>
- [9] SKIPP, Trevor. *AUTOMATED GUIDED VEHICLE* [online]. [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: https://mil.ufl.edu/5666/papers/IMDL_Report_Spring_05/skipptrevor/agv.pdf

- [10] History of AGVS | Savant Automation. Home | Savant Automation [online]. Copyright © 2019 Savant Automation. All rights reserved. [cit. 07.05.2019]. Dostupné z: <http://www.agvsystems.com/history-agvs/>
- [11] Automatizační řešení od společnosti Linde Material Handling. [online]. Copyright © 2019 Linde Material Handling [cit. 07.05.2019]. Dostupné z: [https://www.linde-mh.cz/cs/Reseni/Roboticke-voziky-\(AGV\)/](https://www.linde-mh.cz/cs/Reseni/Roboticke-voziky-(AGV)/)
- [12] Homepage | Jungheinrich. Homepage | Jungheinrich [online]. Copyright © 2019 Jungheinrich AG [cit. 07.05.2019]. Dostupné z: <https://www.jungheinrich.cz/>
- [13] Převážní vozíky, pracovní a montážní stoly, regály do výroby | BEEWATEC s.r.o. [online]. Copyright © [cit. 07.05.2019]. Dostupné z: <http://www.beewatec.cz/files/upload/file/kat-automaticke-rizene-voziky.pdf>
- [14] Novotný, Radek. *Automatické vozíky se učí myslet* [online]. [cit. 07.05.2019]. Dostupné z: <https://logistika.ihned.cz/c1-66092110-automaticke-voziky-se-uci-myslet>
- [15] Novotný, Radek. *Úrazovost v českých skladech loni narostla. Hlavní příčinu - lidské chyby - může eliminovat řada "pomocníků"* [online]. [cit. 07.05.2019]. Dostupné z: <https://logistika.ihned.cz/c1-65628050-urazovost-v-ceskych-skladech-loni-narostla-hlavni-pricinu-lidske-chyby-muze-eliminovat-rada-pomocniku>
- [16] Götting KG. Götting KG | Components for AGV | Vehicle Automation [online]. Copyright © 1997 [cit. 07.05.2019]. Dostupné z: <https://www.goetting-agv.com/news/2016/transportcontrol-introduction>

SEZNAM PŘÍLOH

Vzor způsobu hodnocení nabídek

1) Pro hodnocení jednotlivých dílčích hodnotících kritérií se použije bodovací stupnice v rozsahu 0 až 100 bodů.

2) Pro výpočet bodového ohodnocení, které vyjadřuje míru splnění hodnoceného dílčího hodnotícího kritéria ve vztahu k nejuhodnější nabídce, se použije těchto vzorů:

a) U dílčích hodnotících kritérií, kde má nejuhodnější nabídka minimální hodnotu (cena, doba provádění apod.):

Počet bodů dílčího hodnotícího kritéria = $100 \times \text{hodnota minimální nabídky} / \text{hodnota posuzované nabídky}$

b) U dílčích hodnotících kritérií, kde má nejuhodnější nabídka maximální hodnotu (doba záruky, smluvní pokuta apod.):

Počet bodů dílčího hodnotícího kritéria = $100 \times \text{hodnota posuzované nabídky} / \text{hodnota maximální nabídky}$.

3) U dílčích hodnotících kritérií, která nelze číselně vyjádřit, zadavatel stanoví hodnotící subkritéria včetně jejich bodové váhy. Váhu jednotlivých hodnotících subkritérií stanoví zadavatel v rozsahu 0 až 100 bodů, přičemž maximální počet bodů rozdělených mezi jednotlivá hodnotící subkritéria může dosáhnout 100 bodů, tj. maximální bodové hodnoty dílčího hodnotícího kritéria. Pro výpočet bodového ohodnocení u číselně nevyjádřitelných kritérií (kvalita navrhovaného řešení, kvalita složení řešitelského týmu apod.) se použije následující postup:

- nejprve se přiřadí body jednotlivým zadavatelem ve výzvě stanoveným hodnotícím subkritériím dílčího hodnotícího kritéria, a to v bodovém rozmezí, které jednotlivým hodnotícím subkritériím stanovil zadavatel ve výzvě;
- poté se sečtou bodové hodnoty přiřazené jednotlivým hodnotícím subkritériím dílčího hodnotícího kritéria.

4) Počet bodů přiřazených jednotlivým dílčím hodnotícím kritériím hodnocené nabídky se vynásobí % váhou jednotlivých dílčích hodnotících kritérií hodnocené nabídky, kterou těmto dílčím hodnotícím kritériím stanovil zadavatel ve výzvě, takto získané bodové hodnoty všech dílčích hodnotících kritérií hodnocené nabídky se poté sečtou.

5) Nabídky uchazečů se seřadí dle výše bodových hodnot, kterých nabídky dosáhly, a to od nabídky s nejvyšší bodovou hodnotou, až po nabídku s bodovou hodnotou nejnižší.