

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: N0413A050001 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: Specializace Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců

Pilotní nasazení podjezdových AGV na montážní hale pro výrobu osobních vozů

Diplomová práce

Aneta KLUSOŇOVÁ

Vedoucí práce: prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.



ŠKODA AUTO Vysoká škola

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatelka: **Bc. Aneta Klusoňová**

Studijní program: Ekonomika a management

Specializace: Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců

Název tématu: **Pilotní nasazení podjezdových AGV na montážní hale pro výrobu osobních vozů**

Cíl: Cílem práce je navrhnout a vyhodnotit pilotní nasazení podjezdových AGV pro flexibilní zavážení různých typů břemen na montážní hale M1 ve společnosti ŠKODA AUTO a.s.

Rámcový obsah:

1. Proved'te literární rešerši aktuálních zdrojů z oblasti interní logistiky a technologií AGV.
2. Analyzujte možnosti nasazení podjezdových AGV k flexibilnímu zavážení různých typů břemen na montážní hale M1.
3. Navrhněte pilotní nasazení podjezdových AGV, včetně určení předpokládaného počtu AGV a jejich misí.
4. Proved'te vyhodnocení předloženého návrhu.

Rozsah práce: 55 – 65 stran

Seznam odborné literatury:

1. GROS, I. *Velká kniha logistiky*. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. 507 s. ISBN 978-80-7080-952-5.
2. MACUROVÁ, P. – KLABUSAYOVÁ, N. – TVRDOŇ, L. *Logistika*. 2. vyd. VŠB-TU Ostrava, 2018. 342 s. Series of economics textbooks ;. ISBN 978-80-248-4158-8.
3. GÜNTER, U. – ALBRECHT, T. *Automated Guided Vehicle Systems*. Wiesbaden: Springer, 2022. 300 s.

Datum zadání diplomové práce: únor 2022

Termín odevzdání diplomové práce: leden 2023

L. S.

Elektronicky schváleno dne 14. 2. 2022

Bc. Aneta Klusoňová

Autorka práce

Elektronicky schváleno dne 14. 2. 2022

prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.

Vedoucí práce

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2022

doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.

Garant studijní specializace

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2022

doc. Ing. Pavel Mertlík, CSc.

Rektor ŠAVŠ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval(a) samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil(a) vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnici Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom(a), že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne

Děkuji prof. Ing. Radimu Lenortovi, Ph.D. za odborné vedení závěrečné práce, poskytování rad, informačních podkladů a za vřelý přístup během konzultací.

Na tomto místě bych ráda poděkovala i mé rodině za podporu nejen při vypracovávání závěrečné práce, ale i po celou dobu studia.

Obsah

Úvod.....	7
1 Interní logistika.....	8
1.1 Interní logistika a její cíle	8
1.2 Navážení materiálu k montážní lince.....	10
1.3 Nové trendy v interní logistice	19
2 Technologie autonomních vozíků v logistice.....	22
2.1 Historie AGV	22
2.2 Druhy automaticky naváděných vozíků	24
2.3 Plánování nasazení AGV v rámci interní logistiky	32
3 Analýza možnosti nasazení podjezdových AGV na montážní hale osobních automobilů.....	46
3.1 Interní logistika ŠKODA AUTO a.s.....	46
3.2 Dispozice montážní haly a její kapacitní omezení	49
3.3 Analýza typů převážených břemen	51
4 Návrh pilotního nasazení podjezdových AGV v montážní hale.....	61
4.1 Popis navrhovaného procesu.....	61
4.2 Předpokládaný počet čísel dílů zavážených podjezdovým AGV	63
4.3 Hodnocení předloženého návrhu	66
Závěr	70
Seznam literatury	72
Seznam obrázků a tabulek	76
Seznam příloh	78

Seznam použitých zkratk a symbolů

AGV	Automated Guided Vehicle
AMR	Autonomous Mobile Robot
GLT	Großladungsträger – velký přepravní box
KLT	Kleinladungsträger – malý přepravní box
LKW	Lastkraftwagen – nákladní automobil
VZV	Vysokozdvihný vozík
WLAN	Wireless Local Area Network

Úvod

Automobilový průmysl, se nachází v období zásadních transformací v rámci Průmyslu 4.0, který se vyznačuje digitalizací, rozsáhlou automatizací a funkčním propojováním podnikových systémů. Tento trend se přenesl i do odvětví výrobní logistiky pod označením Logistika 4.0. V období, kdy se logistika stále ještě vyrovnává s nárůstem globalizace a v poslední době i nestálostí trhů a narušených dodavatelských řetězců, jež jsou dopadem celosvětové pandemie Covid-19, probíhá příprava na transformaci výroby automobilů směrem k elektromobilitě. Tato transformace si žádá nové výrobní postupy a nové technologie, se kterými musí být interní logistika kompatibilní. Právě principy Logistiky 4.0, zejména pak automatizace, se jeví jako potenciál pro udržitelné logistické procesy s přijatelnou hladinou nákladů. Ve vztahu k zákazníkům jsou tyto principy důležité pro zachování konkurenceschopnosti.

Tato závěrečná práce se zabývá možností pilotního nasazení podjezdových automaticky naváděných vozíků (dále jen AGV – z anglického Automated Guided Vehicle) na montážní hale M1 ve výrobním závodě osobních automobilů společnosti ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav. Hlavní motivací pro výběr tohoto tématu závěrečné práce byla jeho aktuálnost, v současné době nelze přehlédnout snahu podniků o implementaci autonomních technologií v logistice, zejména pak té interní.

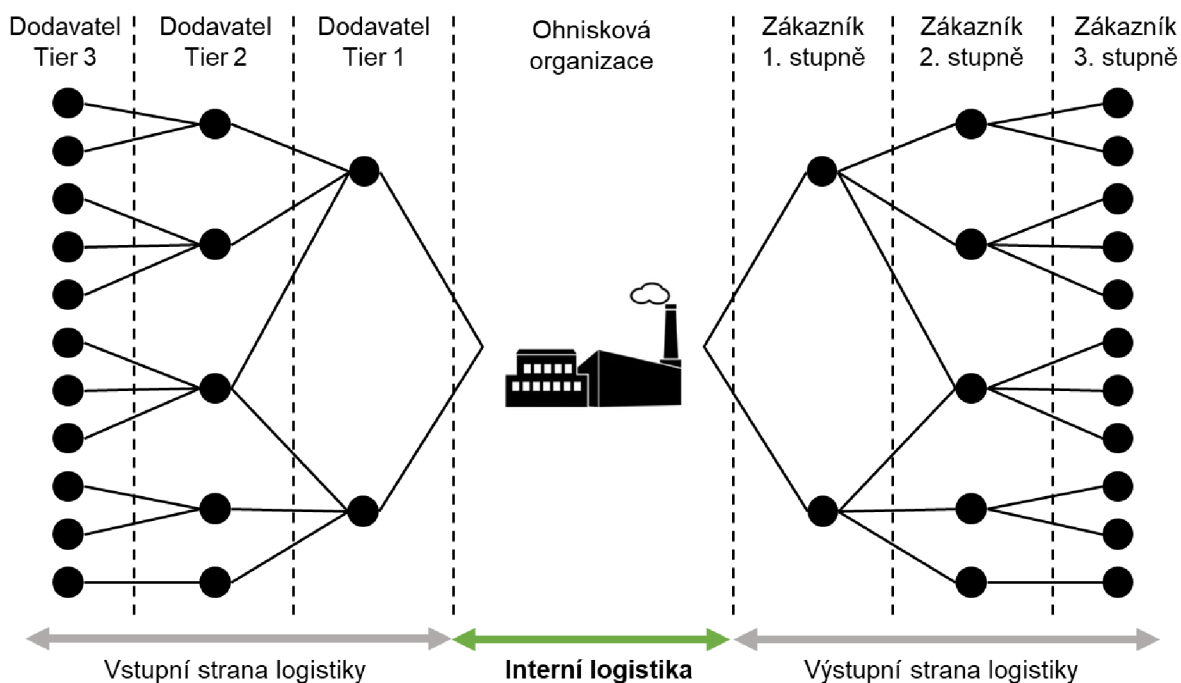
Hlavním cílem závěrečné práce je navrhnout a vyhodnotit pilotní nasazení podjezdových AGV pro flexibilní zavážení různých typů břemen na montážní hale M1. Práce je rozdělena do čtyř částí, z nichž první dvě jsou teoretické. V první kapitole je identifikováno postavení interní logistiky v rámci logistiky celého podniku a jsou popsány její hlavní úkoly a činnosti, v neposlední řadě jsou zmíněny aktuální trendy v interní logistice. Druhá teoretická kapitola poskytuje vhled do vývoje technologií AGV, jehož nedílnou součástí je metodický postup plánování nasazení AGV ve výrobně-logistické provozu. V praktické části práce je provedena analýza současného stavu navážení materiálu k montážní lince, na základě které byly identifikovány požadavky na provoz AGV v hale M1. V poslední kapitole je navrženo pilotní nasazení AGV včetně určení počtu čísel dílů, které budou zaváženy dostupným podjezdovým AGV. Navržené řešení je následně podrobeno hodnocení.

1 Interní logistika

Tato kapitola vysvětluje pojem interní logistika a definuje její pozici v logistickém řetězci. Dále jsou popsány význam a hlavní cíle interní logistiky. Jako důležitá část interní logistiky je detailně rozebrán proces navázení materiálu k výrobní lince a jeho hlavní úskalí. Poslední část kapitoly je zaměřena na nové trendy v systémech interní logistiky.

1.1 Interní logistika a její cíle

Na obrázku 1 je zachyceno jednoduché členění logistické řetězce na 3 hlavní úseky, kterými jsou vstupní strana logistiky, interní logistika a výstupní strana logistiky. Z pohledu konkrétního podniku vstupní stranou logistiky se označují veškeré logistické procesy zajišťující vstupy do podniku, kterými jsou zdroje pro výrobu například suroviny, materiál, díly, energie, zařízení. Naopak výstupní strana logistiky pokrývá distribuci výstupů směrem ven z podniku. Na obrázku zeleně vyznačený úsek logistického řetězce označuje interní logistiku.



Zdroj: Upraveno dle (Waters, 2007)

Obr. 1 Struktura logistického řetězce

Interní logistika označovaná často jako intralogistika, výrobní, vnitropodniková či závodová logistika je bezprostředně spjatá s výrobními procesy v rámci daného podniku. Pojem „interní“ se vztahuje na ohraničená místa – podniky, jako jsou továrny, sklady a distribuční centra, ale také železniční terminály, vnitrozemské a námořní přístavy a letiště. Fottner et al. (2021) definují interní logistiku jako komplexní interakci různých logistických funkcí pokrývajících organizaci, řízení, provádění a optimalizaci interních materiálových a informačních toků v rámci průmyslové, komerční nebo veřejné organizace. Interní logistika zajišťuje veškeré logistické činnosti, které se odehrávají uvnitř podniku a jsou navázané na výrobní proces, představuje tak spojovací můstek mezi logistikou dispozic a distribuční logistikou. Součástí interní logistiky však není proces přepravy po trasách veřejné dopravy (silnice, železnice, vodní a letecká doprava). Výrobní logistika tak představuje spojovací můstek mezi logistikou nákupu a logistikou distribuce.

Mezi klíčové aspekty široké škály témat interní logistiky dle Macurové, Klabusayové, Tvrdoně (2018) patří:

- procesy pro manipulaci s příchozím a odchozím zbožím a materiálem, při skladování a používání, při přepravě,
- optimalizace materiálových toků, příkladem může být tzv. princip one touch, tedy snaha manipulovat s manipulační jednotkou co nejméně krát, v ideálním případě pouze jednou,
- informační toky o zásobách a pohybu materiálu a zboží, stavu nevyřízených objednávek, doby průchodnosti a předpovědi dostupnosti materiálu, monitorování a předkládání dat pro plánování a v případě potřeby pro rozhodování o opatřeních, která mají být přijata,
- vhodné využití logistických a výrobních ploch,
- dosahování vysoké produktivity,
- příznivé pracovní podmínky pro pracovníky,
- přiměřená výše nákladů na skladování a manipulaci vzhledem k úrovni poskytovaných služeb,

- použití dopravních prostředků (jeřáby, zvedáky, dopravníky, průmyslové vozíky atd.), jakož i monitorovacích a ovládacích prvků (senzorická a ovládací zařízení),
- využití technik (pro jak aktivní, tak pasivní bezpečnost, správu dat, identifikaci zboží, transfer zboží, poskytování, třídění, uvádění do provozu, paletizace, balení).

Tyto úkoly vyžadují neustálou regulaci, kontrolu a časté přizpůsobování se neustále se měnící situaci. Aby bylo dosaženo maximální flexibility při řešení těchto úkolů, je správný výběr manipulačního prostředku stejně důležitý jako plánování výroby. Při plánování interní logistiky je třeba zohlednit velké množství faktorů a postupovat systematicky krok za krokem. V oblasti podnikové ekonomiky ovlivňuje výběr manipulačních prostředků nejen otázky finančních prostředků, ale také analýzu využití kapacit a plánování, a to jak na technologické, tak i na lidské zdroje.

Coyle et al. (2021) proklamují, že rozhraní mezi interní logistikou a výrobou je stále kritičtější vzhledem k trendu pořizování surovin a komponentů ze zahraničních zdrojů a problémům udržitelnosti. Řízení globálních dodavatelských řetězců klade důležitost úzké spolupráce mezi logistikou a výrobou. Logistika a výroba se propojují na vstupní straně výroby. Nedostatek zásob může vést k zastavení výroby, zvýšení výrobních nákladů a následně uzavření výrobního závodu. Útvar logistiky by měl zajistit dostatečné množství surovin a komponentů pro splnění výrobních plánů a zároveň by daná zásoba surovin a komponentů měla být optimální, co se týče nákladů na skladování. Kvůli potřebě tohoto typu koordinace dnes mnoho organizací přesunulo odpovědnost za plánování výroby z oddělení výroby právě na logistiku.

1.2 Navážení materiálu k montážní lince

Interní logistika je zodpovědná za manipulaci s materiálem v rámci daného výrobního úseku podniku. Manipulace s materiálem v rámci výrobní haly zahrnují činnosti jako vykládka materiálu z dopravního prostředku, zaskladnění, přebalení, odvolání ze skladu, vyskladnění, případné vychystání dle výrobní sekvence, zavezení k místu spotřeby. Po kompletaci výsledného výrobku logistika daného výrobního úseku zajišťuje uskladnění a převoz k expedici.

Podle Maynarda a Zandina (2001) jsou metody manipulace s materiálem odlišné pro nakupované materiály, pro rozpracovanou domácí výrobu a pro hotové výrobky, avšak vždy musí být manipulační metoda kompatibilní s metodou skladování. Metody manipulace určují, jak se materiál přesouvá z výchozího místa do požadovaného cílového umístění. Každá manipulační metoda se skládá ze tří částí, kterými jsou:

1. systém, jehož je pohyb součástí,
2. zařízení, které provádí pohyb,
3. přepravní jednotka, se kterou je pohybováno.

Vzhledem k velké rozmanitosti manipulací v typickém průmyslovém prostředí, je patrné, že obvykle je zapotřebí mnoho různých metod manipulace s materiálem. Proto není žádoucí konat při plánování manipulací s materiálem příliš standardizované nebo univerzálními plány. Aby bylo zajištěno, že plány jsou praktické a nákladově efektivní, každý krok by měl být přezkoumán s ohledem na jeho nejvhodnější manipulační systém, zařízení a přepravní jednotku. Tato analýza interních manipulací by měla být zahájena po naplánování procesu odvolávání materiálu od dodavatelů, využití poskytovatelů logistických služeb, plánování přepravy a přepravních jednotek (obalů). Tato rozhodnutí definují omezení pro výběr manipulačních metod.

1.2.1 Systémy manipulace s materiálem

Maynarda a Zandin (2001) dělí systémy manipulace s materiálem na přímé a nepřímé. V přímém systému se různé materiály pohybují odděleně přímo z výchozího místa na místo určení, a to obvykle po nejkratší možné trase. Příkladem přímé manipulace je vysokozdvizný vozík převážející paletu naloženou jedním typem dílu z jednoho místa na druhé nebo vyhrazený dopravník spojující dvě operace. Naproti tomu nepřímý systém přesouvá materiály z a do různých míst společně na sdíleném zařízení obvykle po předem definované trase s několika potenciálními zastávkami. V tomto systému může daný materiál projít několika zastávkami, než je dopraveno na své místo určení. Příkladem nepřímé manipulace může být trajlerový vozík, který má za sebou zapřažené na podvozcích různé palety s různým materiálem.

Volba systému manipulace závisí na vzdálenosti, kterou má materiál urazit a na intenzitě zavážení, tedy na množství pohybovaném za jednotku času. Když je vzdálenost krátká nebo střední a intenzita toku je vysoká, přímý systém je obvykle nejvýhodnější z ekonomického pohledu. Když je vzdálenost střední nebo dlouhá a intenzita je jen mírná nebo nízká, jeví se použití nepřímých systémů jako vhodnější řešení, protože náklady na přesun jsou rovnoměrně rozloženy na všechny manipulované materiály (Maynard a Zandin, 2001).

Speciální formou nepřímého systému zavážení materiálu k montážní lince. Zavážení materiálu k lince totiž může zahrnovat transporty mezi skladovacím prostorem, prostorem určeným pro vychystávání dílů tzv. supermarketem a různými zástavbovými místy na montážní lince. Dle Maynarda a Zandina (2001) mohou mít systémy nepřímého doplňování jednu ze tří základních forem:

- oddělené vychystávání a zavážení materiálu – vychystávání materiálu ze skladu na probíhá na předávací místo pro následný převoz vychystaného materiálu k montážní lince,
- kombinované vychystání a zavážení materiálu – operátor si vychystá požadovaný materiál a následně ho i sám převezve k montážní lince,
- oddělená zavážení a doplňování – mezi výchozím místem ve skladu a cílovým místem u montážní linky se nachází mezisklad, supermarket nebo sekvenční pracoviště.

V případě posledního zmiňovaného systému dochází sice k minimálně jedné manipulaci s materiálem navíc, ale tato metoda je výhodná zejména pokud není možné umístit veškerý potřebný materiál přímo k lince, ale musí být vychystán do speciálních vozíků. Počet manipulací by měl být sledován, protože přímo ovlivňuje náklady. Podle Macurovpé, Klabusayové, Tvrdoně (2018) se v souvislosti s manipulacemi můžou vyskytovat tyto příčiny plýtvání ve skladech:

- opakované manipulace,
- dlouhé trasy,
- zdlouhavé hledání materiálu,
- obtížné operace nevhodnou manipulační technikou,

- manipulace s neshodnými díly,
- chybné množství nebo typ položky.

1.2.2 Manipulační zařízení

Maynard a Zandin (2001) uvádí, že při rozhodování o výběru manipulačního zařízení platí, že nejdůležitějším faktorem jsou fyzikální vlastnosti přepravovaného materiálu. Zohledňuje se zejména rozměry přepravovaného materiálu, jeho hmotnost, tvar, typ obalu, ale také zda se jedná o nebezpečný materiál. Při plánování manipulačního zařízení se po zohlednění typu manipulovaného materiálu přistupuje k vyhodnocení trasy a stěžejních míst. Vzdálenost a zároveň frekvence zavážení mají zásadní vliv na náklady za manipulaci. Trasy, po kterých se materiál bude manipulovat, je nutné analyzovat zejména u průmyslových prostor, které svou rozlohou přesahují hranici 3 000 m². U menších prostor lze prohlásit přesuny za relativně krátké, a tedy parametr vzdálenost nebude vstupovat do analýzy na výběr manipulačního zařízení, respektive nebude mít diskriminační charakter.

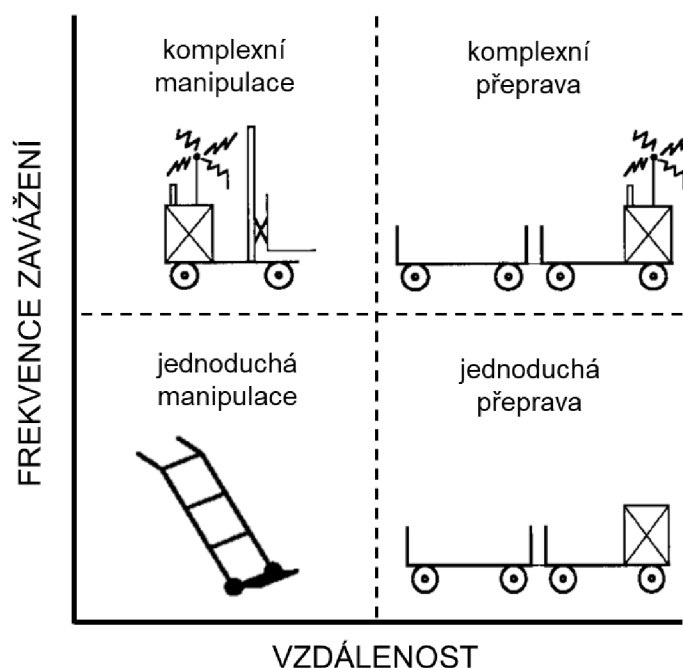
Podle vzdálenosti, kterou musí manipulační zařízení s materiálem urazit se rozlišují:

- manipulace – rychlé a snadné transporty na krátké vzdálenosti,
- přepravy – dlouhé trasy, kvůli úspoře nákladů se obvykle transportuje velké množství materiálu najednou, aby se uspořili transportní náklady.

Podle frekvence zavážení je možno uvažovat dva typy manipulačního zařízení:

- jednoduchá zařízení – nižší pořizovací (fixní) náklady, avšak vyšší variabilní náklady vynaložené na práci operátorů,
- komplexní zařízení – vysoké pořizovací (fixní) náklady, ale nepatrné variabilní náklady, protože tyto zařízení jsou typicky automatizované a bez lidské obsluhy.

Kombinací těchto dvou parametrů vznikají 4 třídy manipulačních zařízení, jejichž rozdělení znázorňuje obrázek 2. Zařízení pro komplexní přepravu ze všech tříd tou nejnákladnější variantou. Před volbou takového zařízení by měla být provedena analýza, zda nelze zkrátit vzdálenost či snížit frekvenci zavážení alespoň u větších přepravovaných břemen.



Zdroj: Upraveno dle (Maynard a Zandin, 2001)

Obr. 2 Volba typu manipulačního zařízení v závislosti na frekvenci zavážení a vzdálenosti

Rushton et al. (2014) rozdělují manipulační zařízení podle toho, zda převáží materiál paletizovaný, či nepaletizovaný. Do první skupiny patří jednoduché ruční vozíky, dopravníky, automaticky naváděné vozíky, vysokozdvizné vozíky (dále jen VZV), trajlery. Nepaletizovaný materiál se typicky manipuluje pomocí jeřábů, závěsných manipulačních zařízení, mobilních regálů, ale taktéž i dopravníků.

1.2.3 Přepravní jednotky

Přepravní či manipulační jednotkou je označován materiál, který je zabalen tak, že umožňuje, aby s ním bylo manipulováno pomocí manipulačního zařízení. Hlavními vlastnostmi logistických obalů je ochrana materiálu před poškozením, usnadnění transportu a manipulace, efektivita skladování. Gros (2016) rozděljuje obaly do základních tří skupin:

- spotřebitelské obaly – na jejich vzhledu se podílí zejména oddělení marketingu, jejich funkce souvisí s řízením hmotného toku pouze nepřímo,
- manipulační obaly – pomocí nich jsou spotřebitelské obaly slučovány do větších celků (větších boxů či palet),

- přepravní obaly – slouží pro transport dílů, typickým zástupcem této skupiny je kontejner.

Manipulační obaly lze pak dále klasifikovat podle různých parametrů, z nichž Macurová, Klabusayová, Tvrdoň (2018) uvádí následující:

- Klasifikace manipulačních jednotek dle univerzálnosti:
 - univerzální – mají standardizované rozměry odvozené od rozměrů nejpoužívanějších manipulačních zařízení, standardizované rozměry manipulačních jednotek mohou uspořit náklady za skladování díky zefektivnění skladových ploch,



Zdroj: (Smart Box, 2022)

Obr. 3 Ilustrace univerzálních manipulačních jednotek

- speciální – jsou speciálně vyvíjené pro specifické díly, které z různých důvodů nelze zabalit do univerzálních obalů.



Zdroj: (Stauner palet, 2022)

Obr. 4 Ilustrace speciální manipulační jednotky

- Klasifikace manipulačních jednotek dle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny:
 - plastové manipulační jednotky,
 - dřevěné bedny,
 - kovové manipulační jednotky,
 - jednorázové kartonové manipulační jednotky.

1.2.4 Montážní linka

Dle Boysena, Fliednera a Scholla (2007) je montážní linka tokově orientovaný výrobní systém, kde jsou sériově řazeny montážní pracoviště provádějící jednotlivé operace dle technologického postupu. Vyráběné polotovary se mezi montážními pracovišti pohybují pomocí různých druhů dopravníkových systémů, např. dopravníkovým pásem nebo válečkovou dráhou.

Petrů a Čep (2012) klasifikují montážní linky různými způsoby například dle:

- **způsobu přesunu mezi montážními operacemi:**
 - stacionární linky,
 - linky s pohybujícím se výrobkem,
 - výrobek se přesune k další montážní operaci až po ukončení předchozí operace,

- výrobek se pohybuje soustavně,
- **způsobu prostorového uspořádání:**
 - jednoduché linky,
 - rozvětvené linky,
- **stupně synchronizace:**
 - synchronizované linky (nepřetržité),
 - nesynchronizované linky (přerušované),
- **montážního taktu:**
 - linky s pevným (vázaným) montážním taktem,
 - linky s volným (nevázaným) montážním taktem,
- **počtu montovaných druhů na lince:**
 - jednopředmětové linky (stále),
 - více předmětové linky (střídavé) – lze provádět přestavbu.

Rozšířená je klasifikace montážních linek dle uspořádání pracovišť na, kterou uvádí například Sivasankaran a Shahabudeen (2014):

- přímé uspořádání pracovišť,
- uspořádání ve tvaru „U“.

Montážní linka původně vznikla za účelem nákladového zefektivnění hromadné výroby standardizovaných produktů. Benefit takové montážní linky spočíval zejména ve specializaci práce a s tím spojeného rychlého zaškolení montážních dělníků. Od dob Henryho Forda a jeho proslulého modelu T se však požadavky na výrobky a tím i požadavky na výrobní systémy dramaticky změnil. Aby společnosti mohly rychle a flexibilně reagovat na různorodé potřeby zákazníků, musely umožnit personalizaci svých produktů.

Víceúčelová zařízení s automatizovanou výměnou nástrojů umožňují fakultativní výrobní sekvence různých modelů při zanedbatelných nákladech na přenastavení. To umožnilo rozšíření montážních linek i pro maloobjemovou montáž na zakázku. Vysoká úroveň personalizace a komplexity produktů však klade nároky na výrobní logistiku, která se potýká se zvýšenou potřebou skladových a manipulačních ploch

a s přípravnými a vychystávacími činnostmi. Kvůli vysokému stupni automatizace jsou montážní systémy spojeny se značnými pořizovacími náklady. Jelikož přestavba takové montážní linky může dosahovat velmi vysokých nákladů, je patrné že i případné změny je na snaze řešit přizpůsobením logistických procesů (Boysen, Fliedner a Scholl 2007).

1.3 Nové trendy v interní logistice

Během posledních dvou desetiletí je možné pozorovat strmý nárůst složitosti ve výrobě, logistice a operacích v dodavatelském řetězci. Aelker et al. (2013) řadí mezi faktory vedoucí k proklamovanému nárůstu globalizaci, dynamické a nestálé trhy, kratší životní cykly produktů, rostoucí rozmanitost produktů a klesající hloubku výroby. Růst složitosti a dynamiky výrobních a intralogistických systémů jsou dnes pro společnosti dvě velké výzvy. Klíčovým přístupem k řešení těchto výzev je posun paradigmatu od centralizovaných, hierarchických organizačních principů a struktur k dynamickým, síťovým, autonomním systémům, které vzájemně spolupracují a jsou samy o sobě optimalizovány v dynamicky se měnících prostředích.

Aktuální vývoj v interní logistice se udává stejným směrem jako Průmysl 4.0, který je tvořen digitalizací, rozsáhlou automatizací a propojením veškerých výrobních jednotek. Procesy v interní logistice se tak stávají složitějšími, zákazníci tíhnou k masové výrobě na míru, při které digitalizované a automatizované systémy jsou nezbytností. V návaznosti na tyto skutečnosti Dobralogistika.cz (2020) uvádí, že u mnoha intralogistických systémů již dochází k automatizaci, například regálových systémů, dopravníkových systémů, průmyslových vozíků, řídicích a sledovacích systémů, IT systémů. Uplatnění ve výrobní logistice nachází i rozšířená realita, avšak nejvýznamnějšími technologiemi jsou v tomto směru robotika a autonomní vozíky. Cichosz et al. (2020) začleňuje mezi technologie spojené s digitální transformací Big Data, umělou inteligenci a kyberfyzické systémy (CPS). Dobralogistika.cz (2020) předpokládá v souvislosti s Průmyslem 4.0 změnu celého hodnotového řetězce k plně digitalizovaným a automatizovaným procesům. Od Průmyslu 4.0 se odvodil samostatný koncept Logistika 4.0, který Winkelhaus a Grosse (2020, s. 18) definují jako „logistický systém, který umožňuje udržitelné uspokojování individualizovaných požadavků zákazníků bez zvýšení nákladů a podporuje tento rozvoj v průmyslu a obchodu pomocí digitálních technologií“.

Pekaříková et al. (2019) jmenují další dlouhodobý trend v souvislosti s interní logistikou, a tím je filozofie štíhlé výroby a logistiky (z anglického lean production), jejíž cílem je získat štíhlé a vysoce ekonomické procesy v podniku. Metody a nástroje štíhlé výroby a logistiky jsou zaměřeny na eliminaci plýtvání a ztrát napříč hodnotovým řetězcem neinvestičním způsobem. Je známo 8 základních druhů plýtvání, kterými konkrétně v oblasti interní logistiky jsou:

1. zbytečný přebytek zásob (materiál, rozpracovaná výroba),
2. nadvýroba (nadměrná zásoba hotových výrobků),
3. čekání (na materiál, informace, zdlouhavý transport),
4. zbytečné manipulace (přemísťování, překládání, přesklazení),
5. hledání (ztraceného materiálu, dokumentů, informací),
6. nadbytečné pohyby (manipulační techniky, operátorů),
7. nadbytečné činnosti (duplikace činností, přepisování dokumentů),
8. škody (chyby v odvolávání materiálu).

Dle Pekaříkové et al. (2019) však dopad Průmyslu 4.0 na společnosti využívající principy štíhlé výroby a logistiky není dostatečně prozkoumán. Je postrádán koncept, který kombinuje zavedené principy, metody a nástroje štíhlé výroby s informačními a komunikačními technologiemi z Průmyslu 4.0, potažmo Logistiky 4.0, která umožňuje implementaci informačních technologií k vytvoření inteligentní sítě v celém hodnotovém řetězci. Obrázek 5 poskytuje srovnání těchto dvou přístupů a nabízí možnosti, jak je lze propojit. Je možné si všimnout, že navrhované možnosti propojení těchto dvou trendů jsou v podstatě vlastnostmi již zmiňovaného trendu autonomních systémů fungujících v dynamické prostředí.

	LEAN	PRŮMYSL 4.0	
Nasazení	komplexní	technické	lean zůstává jako nástroj řízení
Filozofie	hodnota	realita	evoluční nasazení technologií
Základní báze	stabilita a standardizace	Ad hoc optimalizace	adaptivní standardizace
Principy managementu	pull, FIFO	v závislosti na situaci	dynamické dimenzování
Proces zlepšování	na denní bázi	sebeoptimalizace v reálném čase	prediktivní řešení problémů
Zprostředkování informací	Genchi Genbutsu ¹	zpracování situačních dat v reálném čase	řešení problémů na základě reálných dat

Zdroj: Upraveno dle (Pekaříková et al., 2019)

Obr. 5 Srovnání lean a průmyslu 4.0

¹ **Genchi Genbutsu** je filozofie společnosti Toyota a znamená „jít až ke zdroji a nalézt fakta umožňující přijmout správná rozhodnutí, docílit konsensu a dosáhnout vytčených cílů.“ (Toyota material handling, 2022)

2 Technologie autonomních vozíků v logistice

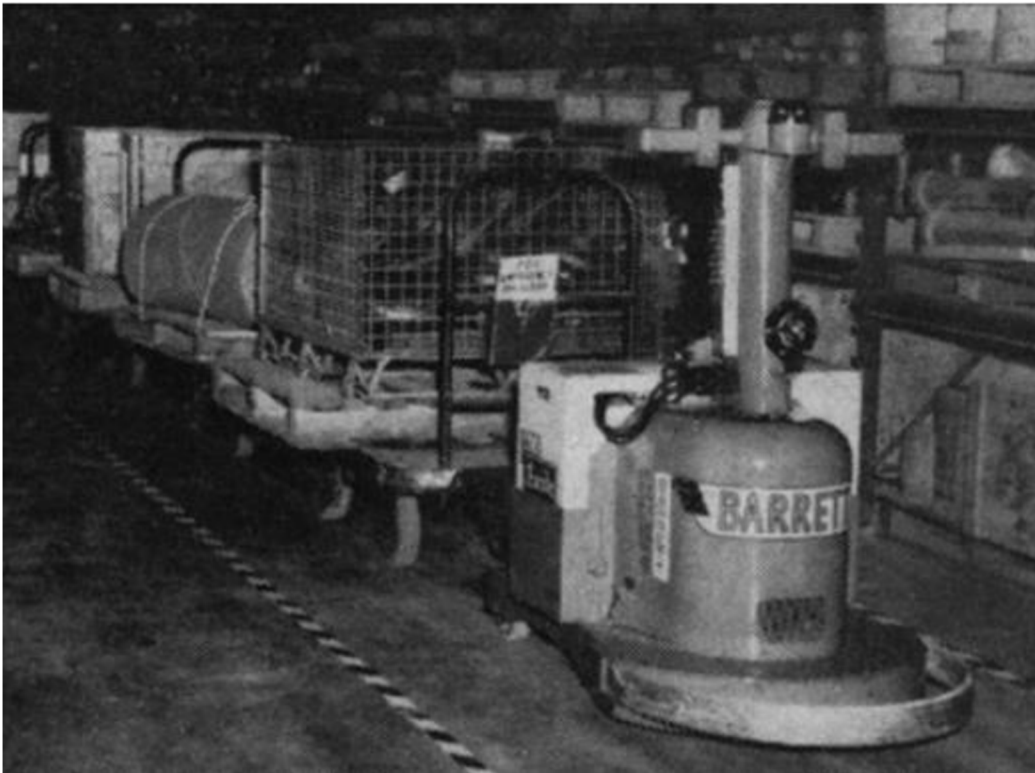
Tato kapitola je zaměřena na použití automaticky naváděných manipulačních zařízení v oblasti interní logistiky. Nejprve je popsán vývoj a rozvoj technologie zejména na americkém a evropském trhu. Tato kapitola dále poskytuje srovnání současných technologií a na konci se detailněji zaměřuje na konkrétní typ automaticky naváděných vozíků – podjezdové vozíky.

AGV se staly klíčovou součástí dnešní interní logistiky. Wang a Mao (2019) definují AGV jako transportní vozík vybavený automatickým naváděcím zařízením například elektromagnetickým nebo optickým, dále je opatřen bezpečnostními prvky a umožňuje různé možnosti manipulace. Technologický standard a současná úroveň zkušeností s touto automatizační technologií vedly k rozšíření AGV téměř do všech průmyslových odvětví a oblastí výroby. Womack et al. (2007) jejich význam dokonce přirovnávají k vynálezu dopravního pásu pro výrobu automobilů Ford Model T, který se stal symbolem druhé průmyslové revoluce. Dopravní pás však nebyl důvodem změn ve výrobě, naopak byl důsledkem technologických a společenských výzev, které byly viditelné na počátku 20. století.

2.1 Historie AGV

AGV bylo poprvé uvedeno na trh v 50. letech 20. století. Haque a Jitu (2020) popisují první AGV jako druh robota, který se k pohybu nepotřebuje kolejnici, ale je naváděný pouhou čarou na podlaze. Když se po druhé světové válce znovu rozběhly výrobní závody a světová ekonomika vzkvétala, autonomní roboti byli součástí vize lidstva, nahradit většinu lidské práce stroji. Rychlý vývoj senzorických a regulačních technologií, stejně jako raný vývoj v mikroelektronice, prošlapaly cestu pro AGV. Ullrich (2015) dělí šedesátiletou historii AGV do čtyř fází, které se od sebe odlišují dostupnými technologiemi a postojem společnosti k automatickým systémům. První éra AGV je započala jeho vynálezem v Americe v roce 1953. V Evropě jsou první zmínky o automaticky řízených vozících z roku 1956. Technologicky se tyto první stroje vyznačovaly jednoduchými kolejovými naváděcími systémy a senzory dotyku. Dříve člověkem řízená vozidla nyní sama sledovala elektricky vodivý pás namontovaný na podlaze. Tento princip je nyní známý jako indukční vedení stopy. První automaticky naváděné zařízení tedy orientovalo svou jízdu podle indukčního magnetického pole. První automaticky

naváděná zařízení byla implementována v běžných továrnách a skladech. Všude tam, kde pracovníci vozíky přepravovali zboží. Pro snížení rizik bylo zavedeno bezpečnostní značení, speciálně vyhrazené jízdní pruhy pro automatické vozíky a další pasivní a aktivní ochranná opatření. V USA se dokonce objevily zprávy o odporu vůči nové technologii. Odbory se obávaly ztráty pracovních míst, protože v té době málokdo předvídal vytvoření nových pracovních míst na rozvíjejícím se trhu autonomních technologií. Na obrázku 6 je dobová fotografie jednoho z prvních AGV.



Zdroj: (Barrett Cravens / Savant Automation, 1958)

Obr. 6 Jeden z prvních AGV vyvinutých v Americe

Druhá fáze se vyznačuje vývojem automatického dobíjení baterií a přenosem dat pomocí infračerveného a radiového vlnění. Autonomní vozíky byly poprvé použity jako samostatně se pohybující pracoviště jako součást montážní linky. Nejvíce však byly používány pro zásobení montážních linek materiálem, tzv. line feeding. Vozíky navíc už uměly samy couvat. Druhá éra končí v 80. letech 20. století dočasným úpadkem AGV způsobeným recesí v ekonomice a rapidním poklesem poptávky po „drahých“ automaticky naváděných vozících. Tuto situaci ještě více zhoršilo vydání

knihy *The Machine That Changed The World – The Story of Lean Production*, která pojednává o úspěších japonských automobilek, které dokáží vyrábět více vozů ve vyšší kvalitě oproti ostatním továrnám, a to za pomoci jednoduchých strojů, tedy nikoliv díky komplikované automatické technologii.

Třetí éra, která trvala přibližně do roku 2010, se vyznačuje především rozšířením do interní logistiky. Vývoj technologií byl zaznamenán především v provozní rychlosti AGV, v manévrování s materiálem a ve snížení nákladů za technologii díky jednodušším řešením. Ta spočívala zejména v nových konceptech navádění, do popředí se dostávalo navádění pomocí magnetických pásek, laseru a gyroskopické či obrysové navigace. Tyto druhy naváděcích systémů budou detailně vysvětleny v další podkapitole. Další pokrok byl dle Ullricha (2015) zaznamenán v přenosu dat pomocí WLAN a v neposlední řadě ve vývoji senzorů. Rozšíření AGV do interní logistiky dopomohl i pokrok v logistických a montážních technologiích, tedy i prostředí, ve kterém se AGV pohybují se pro tuto technologii přizpůsobovalo a vyvíjelo. AGV byly v této vývojové fázi již na takové úrovni, že bylo možné konstatovat, že pomocí AGV lze přepravit téměř jakýkoliv náklad a AGV mohlo být úspěšně nasazeno v operacích, ve kterých se přepravují kontejnery, palety, boxy či balíky. Proto je možné pozorovat od této doby rozšíření i do jiných průmyslových odvětví než pouze automotive.

2.2 Druhy automaticky naváděných vozíků

Jedním z hlavních přínosů, které podniky očekávají při zavádění celých flotil AGV v interní logistice, je podle Bergmanna et al. (2021) poskytování přepravních služeb pro dynamicky přicházející sekvenci úloh, každou úlohu plní takovým způsobem, aby se minimalizoval celkový transportní čas. Automaticky naváděné vozíky lze rozdělit na:

- **Vidlicové AGV** – funkcionalitou je kopií klasického VZV s rozdílem, že je automaticky naváděný. V mnoha případech však kvůli zachování flexibility může mít tento druh vozíku zachován i panel pro manuální ovládání operátorem jako například automaticky naváděný vidlicový vozík od společnosti Jungheinrich na obrázku 7. Tento vozík lze použít všude tam, kde lze použít klasický VZV. Nevýhodou aktuálně na trhu dostupných vidlicových AGV je nutnost uložení odebíraného materiálu v přesně

definovaných pozicích ve skladu nebo ve speciálních předávacích pozicích, jinak vidlicové AGV nedokáže materiál zmanipulovat, což ubírá celkovému logistickému procesu na flexibilitě (Jungheinrich AG, 2022).



Zdroj: (Jungheinrich AG, 2022)

Obr. 7 Vidlicové AGV

- **AGV tahač** – nahrazuje tahače obsluhované operátorem fungující na principu tzv. vláčku. Za tahačem jsou zapřaženy rámy, do kterých se zakládají sekvenční vozíky či palety s materiálem umístěné na podvozcích opatřených kolečky. Ukázka AGV tahače se zapřaženým E-rámem je na obrázku 8 od společnosti Asseco CEIT. Když je potřebný materiál zkonsolidovaný ve vláčku, vydává se AGV tahač na trasu. Trasa má charakter okruhu a AGV tak rozváží materiál do různých míst výrobní linky. Od výrobní linky pak odváží prázdné sekvenční vozíky a palety zpět do výchozího bodu. Výhodou tohoto druhu AGV oproti ostatním jmenovaným je poměrně jednoduchá integrace a přizpůsobení se běžícím procesům (Asseco CEIT, 2022).



Zdroj: (Asseco CEIT, 2022)

Obr. 8 AGV tahač se zapřažený E-rámem

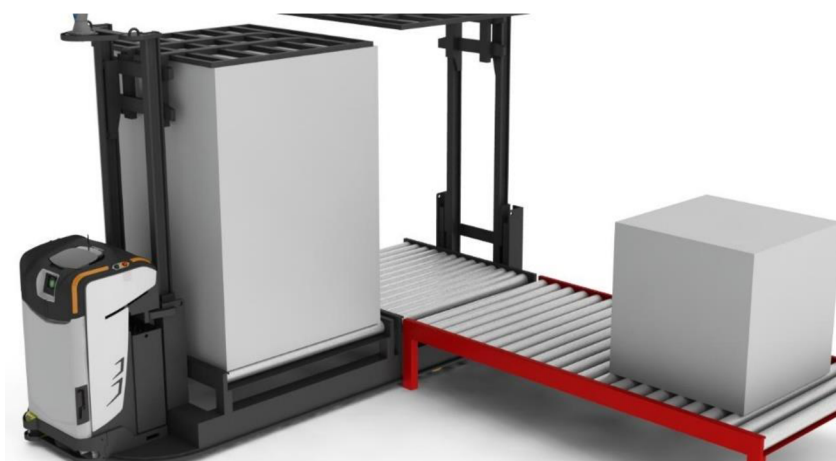
- **Podjezdové AGV** – pomalu začínají vytlačovat AGV tahače jako doposud nejvíce využívaný druh AGV ve vnitropodnikové logistice. Jedná se o nejmenší typ AGV, který odebírá materiál tak, že pod něj zajede, poté ho přizvedne a převáží ho naložený na sobě, tím umožňuje efektivnější využití místa ve výrobních a logistických prostorách (Asseco CEIT, 2022). Trend u tohoto druhu AGV je stroje co nejvíce zmenšovat, jednak aby využití prostor haly bylo co největší, ale taky aby tyto AGV dokázaly manipulovat i s menšími paletami. Na obrázku 9 je podjezdové AGV od společnosti Asseco CEIT, které je vybaveno panelem umožňujícím manuální zásah operátora v nouzovém režimu.



Zdroj: (Asseco CEIT, 2022)

Obr. 9 Podjezdové AGV

- **PickUp/Delivery (P/D) stanice** – toto AGV má speciální nástavbu, která mu umožňuje odebrat materiál například z regálového úložiště, dopravit na požadované místo a tam ho vyložit. Lze ho tak využít například pro zásobení montážní linky malými boxy s díly (Maynard). Na obrázku 10 je vyobrazena P/D stanice od společnosti Rocla umožňující předávání materiálu pomocí válečkového dopravníku.



Zdroj: (Rocla AGV, 2022)

Obr. 10 P/D stanice

- **Vysoko-zátěžové AGV** – jedná se o největší druh AGV s vysokou nosností, které nachází využití v automobilovém průmyslu například v lisovnách pro přepravu těžkých a objemných břemen (plechových svitků, raznic). Například vysoko-zátěžové AGV na obrázku 11 umožňuje manipulaci s těžkými a objemnými betonovými bloky.



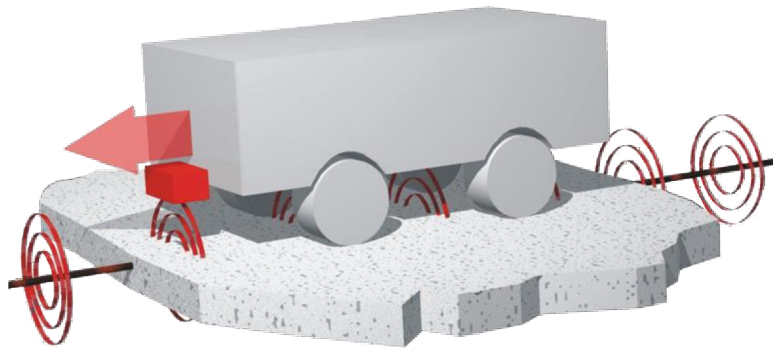
Zdroj: (Hedin USA, 2022)

Obr. 11 Vysoko zátěžové AGV

2.2.1 Druhy naváděcích systémů

Jak již bylo zmíněno v podkapitole 2.1, AGV již prošlo značným vývojem technologií a výrobci AGV stále přichází na trh s dalšími inovativními řešeními. V této podkapitole budou představeny nejzásadnější metody navádění AGV, některé z nich už byly překonány efektivnějšími řešeními. Maynard (2004) uvádí několik typů navádění AGV:

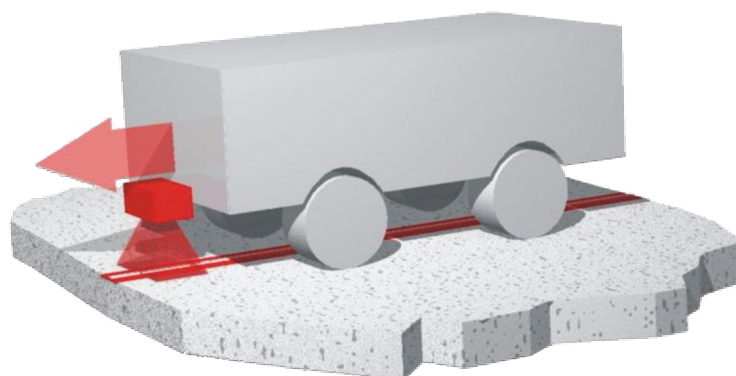
- **Indukční vedení** – to se nejčastěji používá u AGV umožňující manipulaci s těžkým břemeny. Palubní snímací zařízení sleduje elektromagnetické pole, které vytváří tenký drátek zapuštěný do podlahy. Tento systém vyžaduje hladké podlahy a spojitost drátu zapuštěného v podlaze. V zatáčkách je drát zalomený do pravého úhlu. Vozík provádí zatáčku tak, že opustí drátek a provede naprogramovanou zatáčku, dokud se znovu nespojí s drátkem. Nevýhodou je složitá nákladná instalace a nízké flexibilita systému při změně trasy. Princip indukčního vedení je vyobrazen na obrázku 12, kde je možno vidět drát zapuštěný v podlaze, po jehož trase se AGV pohybuje.



Zdroj: (Demuth, 2013)

Obr. 12 Princip indukčně naváděného AGV

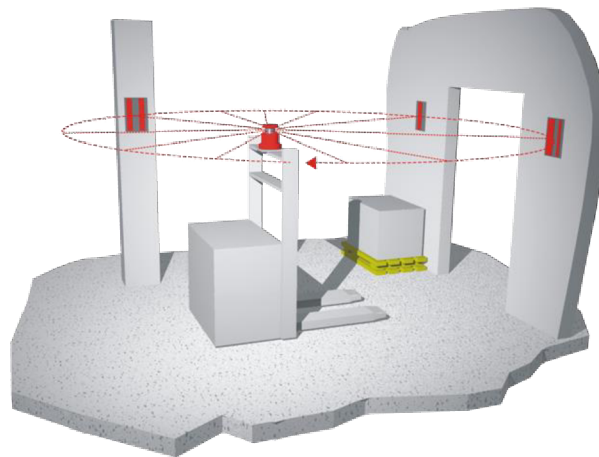
- **Optické vedení** – to používá barevnou pásku nebo jiný reflexní materiál k vytvoření trasy. Světelný zdroj na AGV osvětluje dráhu pro optický senzor, který je umístěn na palubě AGV. Optické naváděcí dráhy se snadno instalují a upravují a lze je snadno udržovat a měnit podle potřeby. Optická dráha však není tak odolná jako drát v podlaze, protože je umístěna na povrchu podlahy, viz obrázek 13. Hrozí tak riziko poškození nebo znečištění pásky, proto je optické navádění vhodné především pro čisté provozy. Naopak výhodou tohoto způsobu vedení je levná instalace a snadná změna trasy.



Zdroj: (Demuth, 2013)

Obr. 13 Princip opticky naváděného AGV

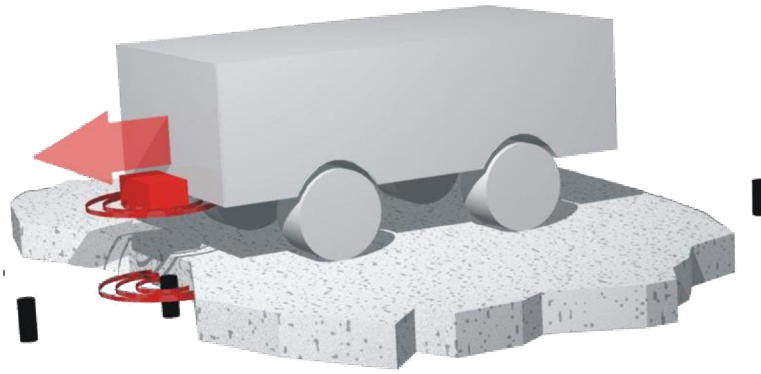
- **Laserové vedení** – často označované také jako obrysové. Tato forma navigace spočívá v neustálé aktualizaci polohy, kterou zjišťuje laserový paprsek pomocí odrazů od reflexních bodů umístěných v hale na místech jako jsou sloupy či regály. Tento princip je znázorněn na obrázku 14. Jedná se o nejjednodušší hardware k instalaci pro vedení, ale instalace musí být provedena důkladně a bezpečnostní funkce AGV pro zabránění kolizí musí být v prvotřídním funkčním stavu. Výhodou tohoto systému je vysoká přesnost navádění a možnost generování alternativní trasy, pokud je zvolená cesta zablokována a neuvolní se v předem stanoveném čase. Nevýhodou je nutnost osazení sloupů reflexními body, které musí být pro vozík dobře viditelné.



Zdroj: (Demuth, 2013)

Obr. 14 Princip laserově naváděného AGV

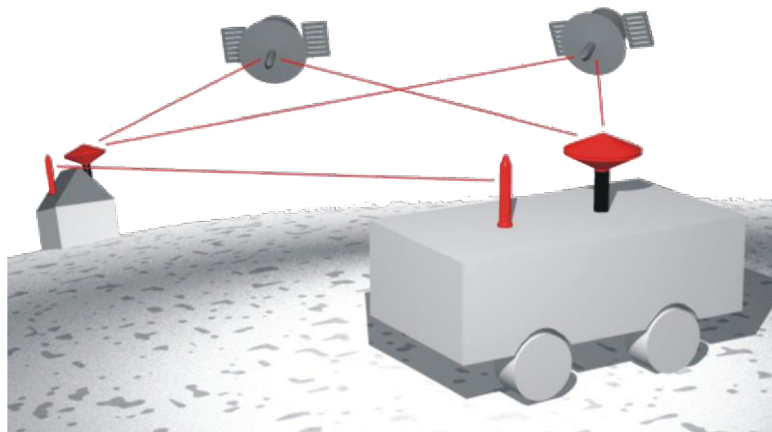
- **Magnetické vedení** – je založeno na podobném principu jako optické navádění, avšak místo reflexní pásky je na podlahu nainstalována magnetická páska nebo jednotlivé magnety. Na obrázku 15 je vysvětlen princip navádění s jednotlivými magnety zapuštěnými v podlaze. Toto řešení je sice jednodušší než indukční navádění, ale přesto patří k méně flexibilním systémům navádění.



Zdroj: (Demuth, 2013)

Obr. 15 Princip magneticky naváděného AGV

- **Chemické vedení** – tento typ navádění je velmi podobný optickému vedení s tím rozdílem, že trasa je vytvořenou barvou fosforového typu, takže není okem viditelná.
- **Vedení pomocí GPS** – AGV vedené pomocí GPS je opatřené přijímačem a komunikuje s družicemi umístěnými v provozu, viz obrázek 16. Nevýhodou tohoto principu je nutnost volného prostoru mezi GPS přijímačem a družicí, proto tyto AGV jsou určeny především pro venkovní použití.



Zdroj: (Demuth, 2013)

Obr. 16 Princip AGV naváděného pomocí GPS

- **Samonaváděné vozíky** – díky bezpečnostním laserům, lidarů a sonaru dokáží tyto vozíky detekovat překážky na cestě a zabránit kolizím, dále umožňují vlastní mapování díky integrovanému počítači, který je součástí vozíku (OMRON, 2021). Princip funkčního sledování okolí AGV je zobrazen na obrázku 17.



Zdroj: (OMRON, 2021)

Obr. 17 Princip samonaváděného AGV

2.3 Plánování nasazení AGV v rámci interní logistiky

Výrobní oblast je řetězec vzájemně propojených procesů od příjmu zboží až po expedici finálního produktu. Podle Rushtona et al. (2014) je tento řetězec v závislosti na odbytu, dispozicích, řízení výroby a další administrativě formován různými elementy, konkrétně:

- zvýšením, snížením nebo přesunem zásob,
- nastavením řídicích časů a časů průchodnosti procesu při balancování nadvýroby nebo nedostatečné kapacity,
- stanovením nebo změnou priority jednotlivých zakázek,
- optimalizací velikosti výrobních dávek.

Tyto úkoly vyžadují neustálé monitorování, regulaci a časté přizpůsobování neustále se měnící situaci. Aby bylo dosaženo maximální flexibility při řešení těchto úkolů, je správný výběr manipulační techniky stejně důležitý jako plánování výroby,

a proto by plánování typu manipulační techniky mělo být součástí plánování nových projektů v interní logistice.

Tato práce se detailně zabývá implementací AGV v interní logistice jakožto v oblasti, ve které jsou v současné době klasická AGV nejvíce využívána. Jak již bylo zmíněno v přechozí kapitole, interní logistika zahrnuje široké spektrum činností zahrnující organizaci, realizaci a optimalizaci toků materiálu, zboží a informací v rámci podniku. Mezi kombinace faktorů ovlivňujících efektivitu výrobního procesu a tím i jeho potenciální rentabilitu, bezpochyby patří výběr intralogistických systémů a manipulační techniky. Jako u každého plánování ve výrobě nebo logistice, tak i při plánování nasazení AGV tvoří základ ekonomické kalkulace spolu s čistě technickými, procesními a infrastrukturními aspekty. Dle Ullricha (2015) jsou pro vyčíslení potřebných investic zapotřebí komplexní a pečlivé studie finančního plánování, které zahrnují i komparativní analýzy alternativních řešení a jejich modely financování. To je důvod, proč musí být od začátku plánování kladen důraz na interdisciplinární přístup, je třeba brát v úvahu všechny relevantní aspekty a stanovit jejich kauzální souvislosti. Bohužel, právě nedostatek relevantních informací v praxi často vede k upuštění od plánovaného nasazení AGV ve prospěch jednoduchého manuálního řešení například pomocí tradičních vozíků obsluhovaných pracovníky, což ve výsledku vede k promarněným příležitostem ke zvýšení efektivity procesu. Coyle et al. (2021) navíc dodává, že plánování jakékoliv manipulace s materiálem by mělo být koordinováno, aby byla zajištěna shoda mezi typy používaných manipulačních zařízení, typy skladovací techniky a samotným manipulovaným materiálem.

2.3.1 Automatizace intralogistických systémů

Hlavním důvodem, proč nelze při plánování nových projektů oblast interní logistiky opomenout, je nárůst komplexity a výrobní i logistické dynamiky zejména v posledních dvou desetiletích. Dle Fottnera et al. (2021) lze těmto výzvám čelit jen posunem od centralizovaných hierarchických organizačních principů a struktur k dynamickým, vzájemně propojeným autonomním systémům, které dokážou samy sebe optimalizovat a rychle se přizpůsobovat změnám prostředí.

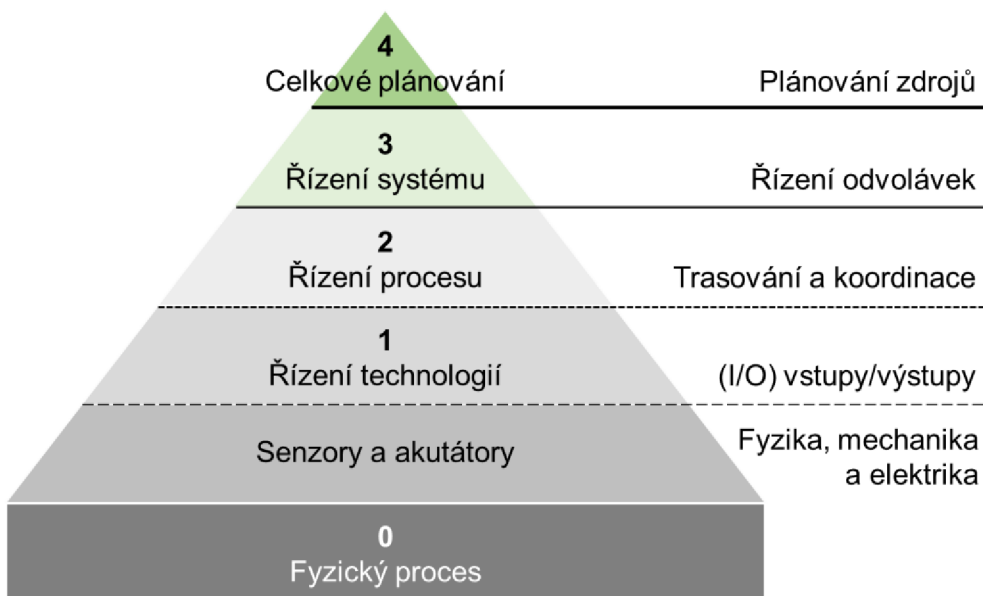
Právě jasná definice pojmu autonomní intralogistické systémy dle Fottnera et al. (2021) v odborné literatuře chybí, a proto předkládá vlastní a sice: „autonomní

intralogistické systémy umožňují samostatné, decentralizované plánování, provoz, řízení a optimalizaci interních materiálových a informačních toků prostřednictvím interakce s ostatními systémy a lidmi“. Autonomní intralogistické systémy mají schopnost získávat informace a na základě nich přizpůsobovat změnám své chování i ve vysoce komplexních a dynamických prostředích. Další nezbytnou součástí autonomních intralogistických systémů jsou doprovodné informační toky, které slouží pro kontrolu a analýzu procesů.

Tabulka 1 představuje matici pro klasifikaci autonomních systémů interní logistiky navrženou Fottnerem et al. (2021). Na základě této matice lze přidělit stupeň autonomie jednotlivým částem intralogistického systému. Matice se skládá ze dvou dimenzí, přičemž na vertikální úrovni jsou vyneseny úkoly prováděné intralogistickými systémy a na horizontální úrovni jsou zobrazeny stupně autonomie.

Pyramida automatizace na obrázku 18 představuje obecnou strukturu pro úrovně úkolů a souvisejících funkcí v řízení provozu. Nejnižší úroveň 0 jsou myšleny fyzické výrobní a logistické procesy. Van Gils et al. (2018) rozlišuje v rámci interní logistiky na této úrovni pět typů procesů a sice: dopravu, skladování, vychystávání, manipulaci a balení. Doprava je pohyb zboží od zdroje do požadovaného místa. Při skladování je materiál stohován pro pozdější spotřebu. Vychystávání je vyzvednutí materiálu ze skladu na základě konkrétních odvolávek. Manipulace představuje fyzické umístění materiálu na požadované místo. Při procesu balení je materiál opatřen ochranným obalem, aby nedošlo k poškození během přepravy. Úroveň 1 v pyramidě odpovídá úrovni senzorů a akčních členů (z angličtiny též aktuátorů) zabudovaných do technických systémů, které provádí zmiňované fyzické procesy v logistice a výrobě. Dle Šídla (2017) se aktuátory používají pro přeměnu nejen elektrických veličin na mechanické. Naopak senzory slouží jako zpětná vazba k aktuátorům, přeměňují tedy neelektrické veličiny na elektrické. Úkoly a funkce na této úrovni zahrnují shromažďování dat ze senzorů, aktuátorů a I/O modulů. I/O systémy jsou běžně používaná kabelová připojení vstupů/výstupů, které jsou základem pro automatizační systémy. Vavra (2020) uvádí, že tato tradiční technologie, díky které je možné komunikovat velké množství informací, bude nadále vyžadována jako základní komponent automatizačních technologií. Po úrovni 1 následuje úroveň řízení procesu, která přijímá informace od úrovně zařízení, například aktuální stav a poloha zařízení v hale, a dále koordinuje pohyb

všech objektů. Úroveň 3 obsahuje všechny funkce pro řízení provozu a krátkodobé plánování, tedy řízení zásob a konkrétních odvolávek materiálu ze skladu. Úlohy na nejvyšší úrovni se zaměřují na střednědobé až dlouhodobé plánování, tedy plánování zdrojů. S posunem paradigmatu od hierarchických centralizovaných systémů interní logistiky k decentralizovanému autonomnímu řízení se postupně smazávají hranice mezi jednotlivými úrovněmi.



Zdroj: Upraveno dle (Fottner et al., 2021, str. 3)

Obr. 18 Pyramida automatizace – hierarchické centralizované systémy konvenční interní logistiky

Na horizontální úrovni klasifikační matice autonomních logistických systémů Fottner et al. (2021) vynesl právě úrovně autonomie na škále od 0 do 5. Tato myšlenka byla převzata od společnosti SAE International (2021), která na stejné bodové škále popsala vývoj autonomního řízení ve veřejné silniční dopravě. Norma z roku 2021 popisuje těchto 6 úrovní autonomního řízení:

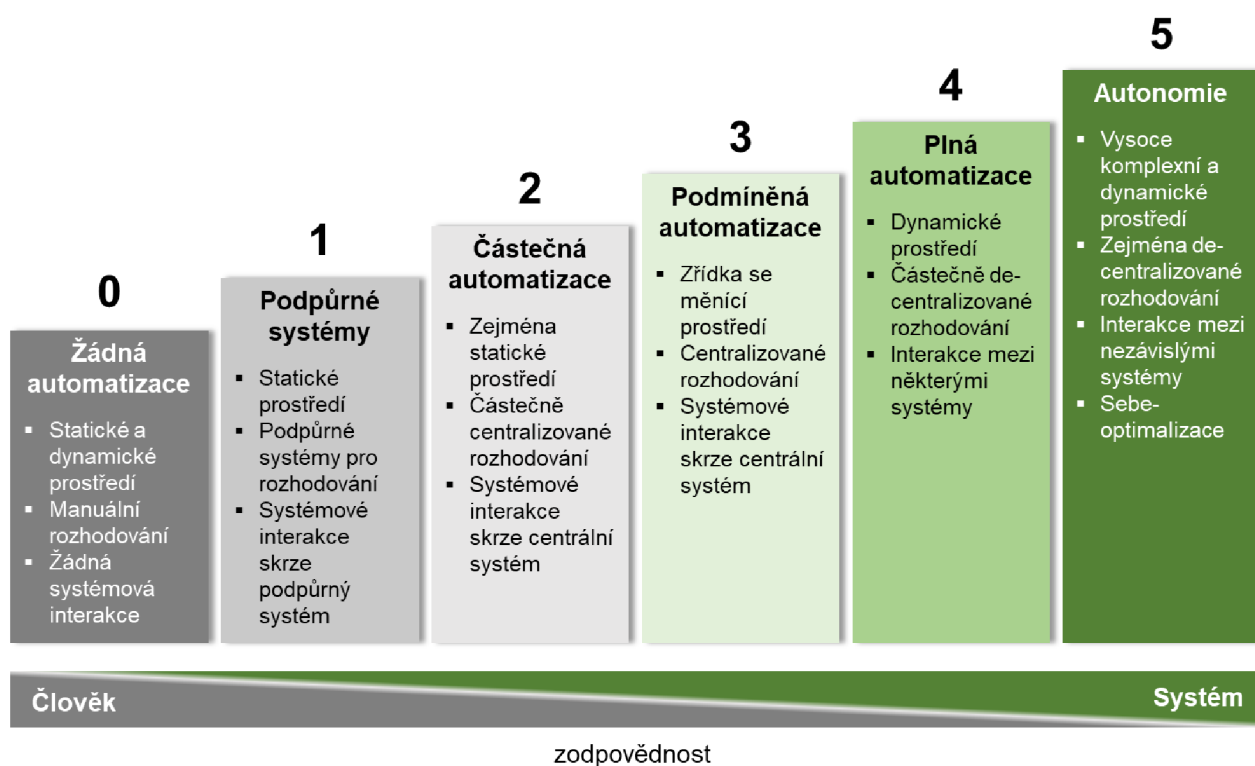
- úroveň 0 – žádná automatizace,
- úroveň 1 – asistent jízdy (např. asistent jízdy v pruzích),
- úroveň 2 – částečně automatizace (např. systém automatického parkování),
- úroveň 3 – podmíněná automatizace (např. autopilot na dálnici),

- úroveň 4 – vysoká automatizace (za ideálních podmínek může být dosaženo plné autonomie, ale nikoliv např. za nepříznivého počasí),
- úroveň 5 – plně autonomní řízení.

Obrázek 19 zachycuje Fottnerovu et al. (2021) škálu úrovní autonomních logistických systémů od žádné automatizace v logistických technologiích až po plnou autonomii. Tato škála pro interní logistiku však neuvažuje pouze fyzickou úroveň technologií, nýbrž i již zmiňované softwarové požadavky jako např. monitorování, sběr dat, řízení, plánování. Škála se skládá z šesti úrovní:

- úroveň 0 – žádná automatizace,
- úroveň 1 – podpůrné systémy,
- úroveň 2 – částečná automatizace,
- úroveň 3 – podmíněná automatizace,
- úroveň 4 – plná automatizace,
- úroveň 5 – autonomie.

První charakteristikou nejvyšší úrovně automatizace je vysoce komplexní, dynamické a rychle se měnící prostředí, ve kterém intralogistické systémy zvládnou fungovat i ve vícenásobném provozu. Rozhodování je decentralizováno, tj. autonomní systémy se mohou samy rozhodovat v různých situacích a zároveň komunikovat s jinými systémy. Na této úrovni automatizace jsou možné interakce mezi nezávislými systémy. Systémy na této úrovni automatizace mají schopnost učení a sebeoptimalizace. Armstrong (2010) popisuje podle Bloomovy taxonomie z roku 1956, že schopnost učení a sebeoptimalizace zahrnuje schopnosti pamatovat si, pochopit, aplikovat, analyzovat, hodnotit a tvořit. Kromě zmíněných aspektů přebírá celkovou odpovědnost plně systém. Naopak úroveň 0 lze charakterizovat manuálním rozhodováním a žádnou systémovou interakcí. Ručně ovládaný průmyslový vozík však může fungovat jak ve statickém, tak i dynamickém prostředí, a to díky přítomnosti lidského operátora, který přebírá plnou zodpovědnost a dokáže se přizpůsobit dynamickým změnám prostředí.



Zdroj: Upraveno dle (Fottner et al., 2021, str. 4)

Obr. 19 Stupně automatizace směrem k autonomním intralogistickým systémům

Na základě dvou zavedených dimenzí Fottner et al. (2021) navrhl klasifikační matici pro systémy interní logistiky zobrazenou v tabulce 1. Aby bylo možné korektně a objektivně klasifikovat konkrétní intralogistický systém, je třeba přiřadit každému úkolu jeho stupeň autonomie.

Tab. 1 Obecná klasifikační matice pro autonomní intralogistické systémy

Úroveň činností	Úroveň automatizace					
	0	1	2	3	4	5
Systémové plánování (4)	Manuální	Podpůrný systém pro plánování	Částečně centralizované rozhodování	Centralizované rozhodování	Částečně decentralizované rozhodování	Decentralizované rozhodování
Řízení systému (3)	Manuální	Podpůrný systém pro řízení	Částečně centralizované rozhodování	Centralizované rozhodování	Částečně decentralizované rozhodování	Decentralizované rozhodování
Řízení a sledování procesu (2)	Manuální	Podpůrný systém pro řízení a sledování procesu	Částečně centralizované rozhodování	Centralizované rozhodování	Částečně decentralizované rozhodování	Decentralizované rozhodování
Řízení technologií a zpracování informací (1)	Manuální vyhledávání a transfer informací	Asistované hledání a zpracování informací	Asistované a částečně nezávislé získávání informací	Plně soběstačné získávání informací, generování dat a interakce s centrálním systémem	Plně soběstačné získávání informací a částečné interakce některých systémů	Plně soběstačné získávání informací a interakce systémů
Systémové zpracování a řízení v reálném čase (0+1)	Manuální ve statickém prostředí	Manuální zpracování s asistencí ve statickém prostředí	Asistované a částečně samostatné zpracování ve statickém prostředí	Částečně samostatné zpracování ve zřídka se měnícím prostředí	Plně samostatné zpracování v dynamickém prostředí	Plně samostatné zpracování v komplexním a dynamickém prostředí

Zdroj: Upraveno dle (Fottner et al., 2021, str. 5)

Tabulka 2 znázorňuje použití klasifikační matice na příkladu zavedení AGV v interní logistice. Zeleně vyznačené plochy znázorňují stupeň automatizace AGV na různých úrovních úloh intralogistického systému. V úloze 0+1 se automaticky naváděné vozíky mohou volně pohybovat kolem překážek, což odpovídá úrovni automatizace 4, ale dostávají příkazy k přepravě z centrálního IT systému, tedy úlohy 1 a 2 odpovídají stupni automatizace pouze 2. Na druhou stranu na úrovni řízení systému a systémového plánování lze implementovat určitou automatizaci. Fottner et al. (2021) shledává analýzu intralogistického systému pomocí této maticové klasifikaci velmi jednoduchou a rychlou. Navíc díky takto přehlednému zaznamenání stupně automatizace celého systému interní logistiky lze různé systémy porovnávat mezi sebou. Pokud tedy útvar plánování logistiky zvažuje implementaci jakékoliv automatické technologie v interní logistice, měl by zohlednit všechny aspekty systému, vyhodnotit stupeň automatizace celku, aby se předešlo případům, kdy se použití automatické technologie jeví jako přínosná optimalizace procesu, ale ostatní úlohy systému nejsou na takovou technologii připraveny a paradoxně tak může dojít ke zhoršení procesů ve výrobním či logistickém provozu. Nakonec Rushton et al. (2014) uvádí, že je potřeba začlenit logistický

záměr do celkového konceptu s ohledem na různá rozhraní paralelních, podřízených a hostitelských systémů.

Tab. 2 Klasifikační matice autonomie pro zavedení AGV v interní logistice

Úroveň činností	Úroveň automatizace					
	0	1	2	3	4	5
Systémové plánování (4)				Centralizované rozhodování		
Řízení systému (3)				Centralizované rozhodování		
Řízení a sledování procesu (2)			Částečně centralizované rozhodování			
Řízení technologií a zpracování informací (1)			Asistované a částečně nezávislé získávání informací			
Systémové zpracování a řízení v reálném čase (0+1)					Plně samostatné zpracování v dynamické prostředí	

Zdroj: Upraveno dle: (Fottner et al., 2021, str. 5)

2.3.2 Metodika plánování při nasazení AGV

Již při prvotní myšlence nasazení AGV Ullrich (2015) uvádí několik základních parametrů potenciálního projektu, na základě kterých lze hrubě naplánovat záměr implementace AGV. Prvním z parametrů je celkový rozsah projektu, tedy zda cílem je čistě samostatné plánování nasazení AGV nebo je nasazení AGV pouze jednou složkou v komplexním projektu zaměřeném na materiálové toky. Z hlediska ekonomického také záleží, zda oddělení nákupu bude vybírat pouze AGV nebo celý intralogistický systém složený z různých technologií. Dalším parametrem je, zda se plánovaný provoz AGV musí přizpůsobit již existující struktuře, tato skutečnost se označuje jako projekt brownfield a obnáší integraci do stávající struktury či rozšíření, modernizaci nebo změnu účelu stavby. Zatímco plánování AGV ve zcela novém stavebním objektu, tzv. na zelené louce poskytuje větší volnost a kreativitu v plánování. Omezujícím parametrem při plánování AGV je pak nepochybně výše rozpočtu, která je klíčovým faktorem při rozhodování o rozsahu projektu. S rozpočtem se pak pojí i délka projektu, čím delší projekt, tím je vyšší

pravděpodobnost, že projekt bude rentabilní. Dalším parametrem je pak zhodnocení celého intralogistického systému, zejména pak jaký dopad bude mít nasazení AGV na provozní postupy a tedy, jestli bude potřeba zahrnout do plánování i jiné odborné oblasti. Zásadním parametrem je zajištění nouzového konceptu při poruše AGV. A nakonec při uvažovaném nasazení AGV hrají roli i předchozí zkušenosti s AGV v konkrétním či alespoň typově srovnatelném provozu. Tyto parametry budou v rámci této podkapitoly detailněji rozebrány.

Interdisciplinárním plánováním AGV se zabývá německá norma z roku 2010 nesoucí označení VDI 2710, která zahrnuje všechny fáze plánování od prvotních koncepcí AGV až po vyřazení opotřebovaného AGV z provozu. Na obecné rovině norma VDI 2710 rozděluje plánování do šesti fází, viz tabulka 3. Ke každé fázi projektu je pak stanoven základní cíl, který musí být splněn, aby mohla být daná fáze oficiálně ukončena a mohlo se přistoupit k další fázi plánování.

Tab. 3 Fáze plánování AGV podle VDI 2710

Pozice	Označení	Výsledek
1	Koncepce systému	Rozhodnutí o použití AGV, je prokázáno ekonomické opodstatnění
2	Systémové plánování	Dokončen katalog plánovaných produktů
3	Nákup	AGV je implementováno a připraveno k provozu
4	Plánování provozu	AGV funguje spolehlivě
5	Plánování změn	AGV je upraveno
6	Vyřazení z provozu	AGV je demontováno a zlikvidováno

Zdroj: Upraveno dle: (VDI 2710, 2010)

1. Koncepce systému

Hlavním cílem první plánovací fáze nasazení AGV je objektivně dospět k rozhodnutí, že AGV jsou správným typem manipulační techniky pro daný záměr v interní logistice ve srovnání s ostatními typy. Ullrich (2015) v této fázi plánování AGV apeluje na potřebu provést důkladnou analýzu současného stavu a vymezit požadavky na systém materiálových toků tak, aby byl funkční i v budoucnu. Požadavky na logistický koncept by tak neměly vycházet pouze z analýzy současného stavu, ale měly by zohledňovat střednědobé až dlouhodobé plány pro daný provoz. Například pokud projektanti uvažují nasazení nové manipulační

techniky na montážní hale, nelze vycházet jen ze současných parametrů výroby jako jsou montážní takt, kapacita výrobní linky, směnnost, produktivita, nýbrž by měli zohlednit budoucí růst podniku a nové plánované projekty, které mohou mít zásadní dopad na tyto parametry a v důsledku i na celý koncept interní logistiky. Ten by se mohl stát neefektivním, kapacitně nedostačujícím nebo naopak předimenzovaným. V rámci této fáze se stanovují mezní podmínky procesu, rozpoznávají se budoucí potenciály, je zde snaha o kompilaci co největšího množství věrohodných informací a klíčových údajů o výkonnosti materiálových, informačních, energetických a personálních toků. Na základě takových dat jsou následně stanovena kritéria pro posouzení vhodnosti jednotlivých řešení systémů interní logistiky. Následně jsou různé koncepty porovnávány mezi sebou. Typickými srovnávacími kritérii jsou:

- stupeň automatizace,
- layout provozu,
- materiálový tok včetně vstupů a výstupů,
- umístění materiálových zón,
- výrobní koncept,
- technologie výrobních zařízení,
- čistota provozu,
- bezpečnost provozu,
- přidaná hodnota podniku díky zvýšení kvality a spolehlivosti,
- pozitivní image pro zákazníky a další zainteresované strany.

Finální rozhodnutí je však učiněno na základě jak technického, tak i ekonomického srovnání. Technické srovnání vyplývá z úrovně naplnění výše zmíněných požadavků a kritérií, pokud některý z konceptů požadované kritérium ani z části nesplňuje, je automaticky vyřazen. Ekonomické srovnání je pak složitější vzhledem k tomu, že veškeré aspekty musí být peněžně ohodnoceny. Pro ucelený vhled do finanční výhodnosti jednotlivých konceptů přisuzuje Ullrich (2015) význam třem položkám, kterými jsou investice, přímé náklady a nepřímé náklady. Položku investice pak lze rozpadnout na investice na pořízení AGV, investice na systémové rozhraní, investice na úpravu provozu pro nasazení AGV a integrace do existujících

systemů. Tato položka následně bývá použita pro výpočet návratnosti investic vztahené na dobu životnosti manipulační techniky. Do kalkulace přímých nákladů se zahrnuje údržba AGV, spotřeba energií, přímý personál obsluhující AGV, daně, pojištění a plánované škody způsobené provozem AGV. Poslední položkou ekonomického srovnání jsou náklady nepřímo se vztahující k technologii AGV, zahrnují se do nich náklady na personál provádějící všechny ostatní logistické činnosti kromě obsluhy AGV, dále náklady na skladování zásob a pracnost celkového procesu, kterou lze definovat jako dobu průchodnosti procesem. Macurová, Klabusayová, Tvrdoň (2018) dále rozdělují náklady na skladování zásob na kapitál vázaný v zásobách, náklady na skladování a manipulaci, do kterých spadají i provozní náklady na udržování požadovaných podmínek ve skladu, a náklady spojené s rizikem například poškození materiálu. Výsledkem první plánovací fáze dle tabulky 3 je rozhodnutí o konceptu manipulační techniky, převedeno na plánování AGV tedy, zda nasazení AGV je dle posuzovaných kritérií objektivně lepší oproti ostatním typům manipulační techniky.

2. Systémové plánování

Hlavními výstupy z fáze plánování systému je detailně naplánovaný projekt a produktový katalog plánované manipulační techniky. Pro detailní plánování složitých projektů jsou v této fázi používány počítačové simulace. Dle Dlouhého et al. (2011) simulace spočívá ve zobrazení plánovaného nebo skutečného systému v dynamickém prostředí prostřednictvím modelu, následně se provádí experimenty za účelem zjištění dopadu změn vstupních dat na model. Langley Jr. et al. (2021) shledávají tyto simulace užitečné zejména při hledání úzkých míst a síťových omezení systému, i přestože jsou velice náročné na tvorbu analýz a na shromažďování značného množství dat o uceleném logistickém procesu. V případě plánování AGV simulace přináší informace nejen o potřebném počtu AGV vozíků a jejich vytížení, ale i o celkové výkonnosti procesu. Při detailním plánování systému musí být zvážena nejhorší scénář, který může v provozu nastat a na něj se plánuje tzv. nouzová strategie. Při nejhorším scénáři se předpokládá s výpadkem systému AGV nebo jiných přidružených logistických systémů po definovanou dobu při současně plném výkonu výrobních technologií. Nouzová strategie pak obnáší buď vysoké nároky na výkon AGV a řídicích systému nebo organizační řešení zahrnující zvýšený počet mezioperačních zásobníků, pokud je však tato varianta nouzové

strategie vůbec možná vzhledem k požadované době průchodnosti procesu. Při výpadku primárního řídicího systému musí existovat druhý paralelně na pozadí běžící sekundární systém, který okamžitě přebírá úkoly primárního. Zároveň porucha jednoho AGV vozíku by neměla způsobit kolaps celé flotily AGV, pokud toto není zaručeno, musí být k dispozici záložní manipulační technika obsluhovaná operátory, například vysokozdvizné vozíky. Kromě toho, periferní rozhraní mezi AGV a standardním vybavením haly musí mít v případě výpadku bypassový systém. Ullrich (2015) poskytuje následující výčet parametrů haly a periferních zařízení, které často bývají specificky upraveny pro provoz AGV:

- typ podlahy a dopravní komunikace,
- stacionární zařízení pro navigaci AGV,
- předávací místa / stanice,
- komunikační systémy AGV,
- nabíjecí místa pro AGV,
- automatická vrata, průjezdy, protipožární vrata a předěly,
- výtahy, zvedací plošiny, vertikální dopravníky,
- dopravníky,
- jeřábové dráhy a manipulátory.

Výsledkem detailního technického plánování je zkreslený hrubý layout provozu, naplánované stavební úpravy haly, infrastruktura, řízení materiálových toků, typy a počty potřebných AGV. Norma VDI 2710 (2010) uvádí, že pro určení potřebného počtu AGV vozíků je potřeba znát počet pracovních směn, maticí vstupů a výstupů, provozní dobu AGV a obrátku přepravovaného zboží. Ullrich (2015) tento výčet rozšiřuje o dobu přestávek ve výrobě, maximální možné rychlosti a kapacity dopravníků a dalších závislých technologií, procento blokace AGV, potřebný čas pro nabíjení, strategii údržby.

3. Nákup

V okamžiku, kdy je naplánován nejen koncept, ale už jsou jasně definované technické požadavky na typy a počty manipulační techniky a zároveň je k provedení tohoto záměru sestaven plán na přizpůsobení provozu a integraci do již existujících

systemů a periférií, přichází na řadu role nákupu. Dle VDI 2710 (2010) výstupem z této plánovací fáze je pořízená nainstalovaná, interní logistice předaná a jí odsouhlasená manipulační technika se všemi dalšími požadovanými položkami intralogistického systému.

V této plánovací fázi hraje logistika pouze podpůrnou vedlejší roli, hlavním hybatelem je oddělení nákupu. Prvním jeho úkolem je provést průzkum trhu s AGV a poptat dodavatele, kteří jsou schopni zajistit technické požadavky uvažovaného záměru specifikované logistikou v předchozích plánovacích fázích. Ullrich (2015) zdůrazňuje, že čím detailněji je propracované technické zadání a produktový katalog, tím snazší je pro poptané dodavatele poskytnout konkrétní nabídku. Dále doporučuje požádat vážné zájemce o referenční návštěvu u svých zákazníků, kterým v minulosti implementovali podobné řešení, to může velmi přispět při posuzování jednotlivých nabídek. Projekty obnášející implementaci AGV bývají často velice rozsáhlé a celý záměr nelze obsáhnout pouze jedním obchodním partnerem, zúčastněných subjektů na projektu bývá více, tudíž je důležité předem věnovat pozornost přesnému rozdělení zodpovědností.

Struktura nabídek dodavatelů je často rozdělena do tří sekcí: technická, finanční a ostatní služby. Vyhodnocení a posouzení technické sekce by mělo být provedeno za asistence příslušných odborných útvarů, obsahem technické sekce nabídky AGV může být: celkové řešení, technologie AGV, komponenty a příslušenství AGV, technologie nabíjení, princip odebírání materiálu a manipulace s ním, řídicí systém AGV, systémová rozhraní, infrastruktura, servis, termínový plán nasazení. Obsah finanční sekce posuzuje pouze nákup a tato sekce by podle Nicolettiho (2020) měla být rozpadnuta na: celkové investice, režijní náklady (zejména v případě leasingu, s tím se pojí i délka kontraktu), náklady na energie, nabídka zasmluvněných cen náhradních dílů, platební a dodací podmínky, záruční doba, penále, nouzové strategie. V poslední sekci jsou projednávány ostatní doplňkové záležitosti, například inovace, změnové řízení, požadavky na normy a certifikáty, forma výběrového řízení apod. Po nominaci dodavatele, přijetí závazné objednávky a podpisu smlouvy postupuje projekt do fáze realizace. Při implementaci AGV realizace nekončí pouhým dodáním AGV a integrací řídicího systému do zavedených logistických systémů, ale nainstalovaná technologie se testuje v provozu za účasti náběhového týmu dodavatele, před předáním technologie do

užívání musí být řádně proškolen veškerý dotčený personál včetně údržby. Až po odladění posledních problémů se může přejít k podpisu přijímacího protokolu, který musí být stvrzen podpisem dodavatele, uživatele a dalších zainteresovaných stran. Specifika pro akceptaci AGV popisuje směrnice VDI 4452.

4. Plánování provozu

Cílem této fáze je snaha o zajištění nepřerušovaného chodu AGV bez poruch, blokad a výpadků řídicího systému. Organizují se pravidelná školení personálu, aby každý pracovník při poruše okamžitě přešel na nouzové strategie, provedl správná opatření. Následně je třeba vyčlenit odpovídající rozpočet na opravy, údržbu, pořízení náhradních dílů a bezpečnostní opatření.

5. Plánování změn

Ullrich (2015) vyjmenovává dva typy změn, které s největší pravděpodobností nastanou během životního cyklu AGV. První typ změny vyplývá z rozsahu použití, dojde ke změně ve výrobní nebo logistické oblasti, změní se layout nebo typ zaváženého materiálu, pak je potřeba upravit úlohy AGV v souladu s novými požadavky, například přeprogramovat trasy AGV. Druhý typ změny souvisí se samotnými AGV, během životnosti techniky dochází k aktualizacím softwaru, úpravám hardwaru či vývoji v navádění. Na všechny tyto změny musí být personál připraven a patřičně proškolen.

6. Vyřazení z provozu

Poslední fází AGV je vyřazení z provozu. Pokud jsou AGV majetkem podniku, vyřadí je z užívání podle Ullricha (2015) v průměru po 10 a 20 letech. Pokud však využívá podnik na AGV leasing, záleží na době nasmlouvaného kontraktu s dodavatelem. Hlavními důvody vyřazení je však zastaralost systému, AGV už nesplňuje požadavky, náklady na údržbu dosahují takové výše, že vlastnictví AGV již nemá ekonomické opodstatnění nebo se změnila činnosti ve výrobní či logistické hale v takovém rozsahu, že AGV již nenachází v daném provozu uplatnění. V posledním zmiňovaném případě dává smysl prověřit možnost využití AGV v jiném provozu či nabídnout AGV k odkupu.

3 Analýza možnosti nasazení podjezdových AGV na montážní hale osobních automobilů

V této kapitole bude představen záměr koncepčního nasazení podjezdového AGV na montážní hale osobních automobilů včetně veškerých premis a omezujících podmínek. Tento záměr má být uvažován pro nasazení v hale M1 určené pro montáž osobních vozů ŠKODA AUTO a.s. (dále jen ŠA) v závodě Mladá Boleslav. Bude provedena analýza parametrů potřebných pro návrh pilotního nasazení podjezdového AGV, mezi tyto parametry patří především povaha manipulovaného materiálu, hmotnost, obaly a jejich parametry, procesy v hale M1, frekvence zavážení, dopravní komunikace a jejich omezení.

3.1 Interní logistika ŠKODA AUTO a.s.

Útvar interní logistiky ve ŠA organizačně nespadá do oddělení logistiky, ale spolu s technickým servisem logistiky je včleněn přímo do oddělení výroby. V tomto případě tak zcela odpovídá i alternativní označení výrobní logistika. V praxi toto členění má význam, jelikož tento logistický úsek je přímo spjat s výrobou a výrobou je i řízen. Ostatní oddělení logistiky mají k interní logistice vztah podpůrný, například plánování logistiky plánuje logistické projekty a koncepty pro daný provoz na střednědobé až dlouhodobé bázi, dispozice pracují s kapacitami u dodavatelů a od nich odvolávají díly pro interní logistiku, oddělení transportu zajišťuje dopravu dílů od dodavatelů a následně i expedici výrobků k zákazníkům. Pouze interní logistika se zabývá aktuálními potřebami výroby a plánováním v krátkém časovém horizontu (týdny až měsíc). Pro koncepční využití podjezdových AGV byl zadáním projektu vybrán logistický úsek haly M1, viz pohled na halu na obrázku 20. V hale M1 v areálu ŠA v Mladé Boleslavi probíhá montáž osobních vozů, aktuálně se zde montují modely FABIA třetí generace, FABIA čtvrté generace, SCALA a KAMIQ.



Zdroj: Upraveno dle (mapy.cz, 2022)

Obr. 20 Montážní hala M1

Hlavními činnostmi interní logistiky výrobního úseku M1 jsou:

- Příjem materiálu – vykládka materiálu z transportního prostředku, zpravidla LKW (nákladní automobil – z německého Lastkraftwagen), vizuální kontrola materiálu, systémová evidence materiálu atd.
- Zaskladnění materiálu – uložení materiálu na definovanou pozici ve skladu.
- Vyskladnění materiálu – odebrání požadovaného materiálu ze skladu a převoz do místa spotřeby, tím může být sekvenční pracoviště, supermarket nebo takt na montážní lince.
- Přebalení materiálu – pokud materiál není dodán v balení uzpůsobeném k manipulaci u montážní linky, to je například v předsériové fázi projektu nebo v případě použití náhradního balení z důvodů problémů u dodavatele, je nutné materiál přebalit do požadovaného sériového balení, tato činnost by neměla být standartní, ve většině případů by mělo dodavatelské balení odpovídat požadavkům výroby.

- Vychystání materiálu – tento ve ŠA v praxi používaný pojem znamená připravení materiálu do podoby požadované výrobou, oproti přebalení tato činnost má standardní charakter, může se jednat nejen o vybalení materiálu, připravení do specializovaného balení či vozíku, ale i o drobnou předmontáž.
- Sekvencování materiálu – varianty jednoho dílu jsou řazeny do sekvenčních vozíků nebo palet v takovém pořadí, v jakém budou zpracovávány na montáži.
- Line-feeding neboli zavážení materiálu k lince – manipulace a přeprava vyskladněného, vychystaného a sekvencovaného materiálu k montážní lince dle odvolávek.
- Manipulace s prázdnými obaly – interní logistika ve svém provozu hospodář s obaly, odváží prázdné obaly od linky do místa skladování, poté je nakládá na transportní prostředek, v případě jednorázových obalů zajišťuje přípravu k likvidaci, například v hale M1 je jednorázový karton a papír slisováván do kvádrů, které jsou následně odváženy svozovou službou, tento systém přináší úsporu plochy.
- Monitoring a evidence dat o materiálu a jeho tocích, sledování chyb, například chybných odvolávek, neshodných dílů, nevyřízených požadavků.
- Správa prostor interní logistiky (přístřešky u haly, sklady, pracoviště logistiky, komunikace), dohled na údržbu používané manipulační techniky, údržba majetku.

Mezi vedlejší činnosti, které jsou neméně důležité, ale nespádají do činností, které mají okamžitý dopad na výrobu, patří sledování logistických procesů a snaha o zvyšování jejich produktivity, optimalizace materiálových a informačních toků, sledování kapacit a potřeb logistických ploch, optimalizace nákladů, hospodaření s přiděleným rozpočtem na provoz a údržbu svěřeného úseku, zlepšování pracovních podmínek pro operátory, proaktivní přístup při implementaci nového projektu do provozu. Zajímavostí je, že interní logistika nezodpovídá za hotové vozy, které opouští montážní linku, její zodpovědnost končí po předání materiálu na takt u montážní linky. Manipulaci s vyrobenými osobními vozy má na starosti již jiný útvar logistiky.

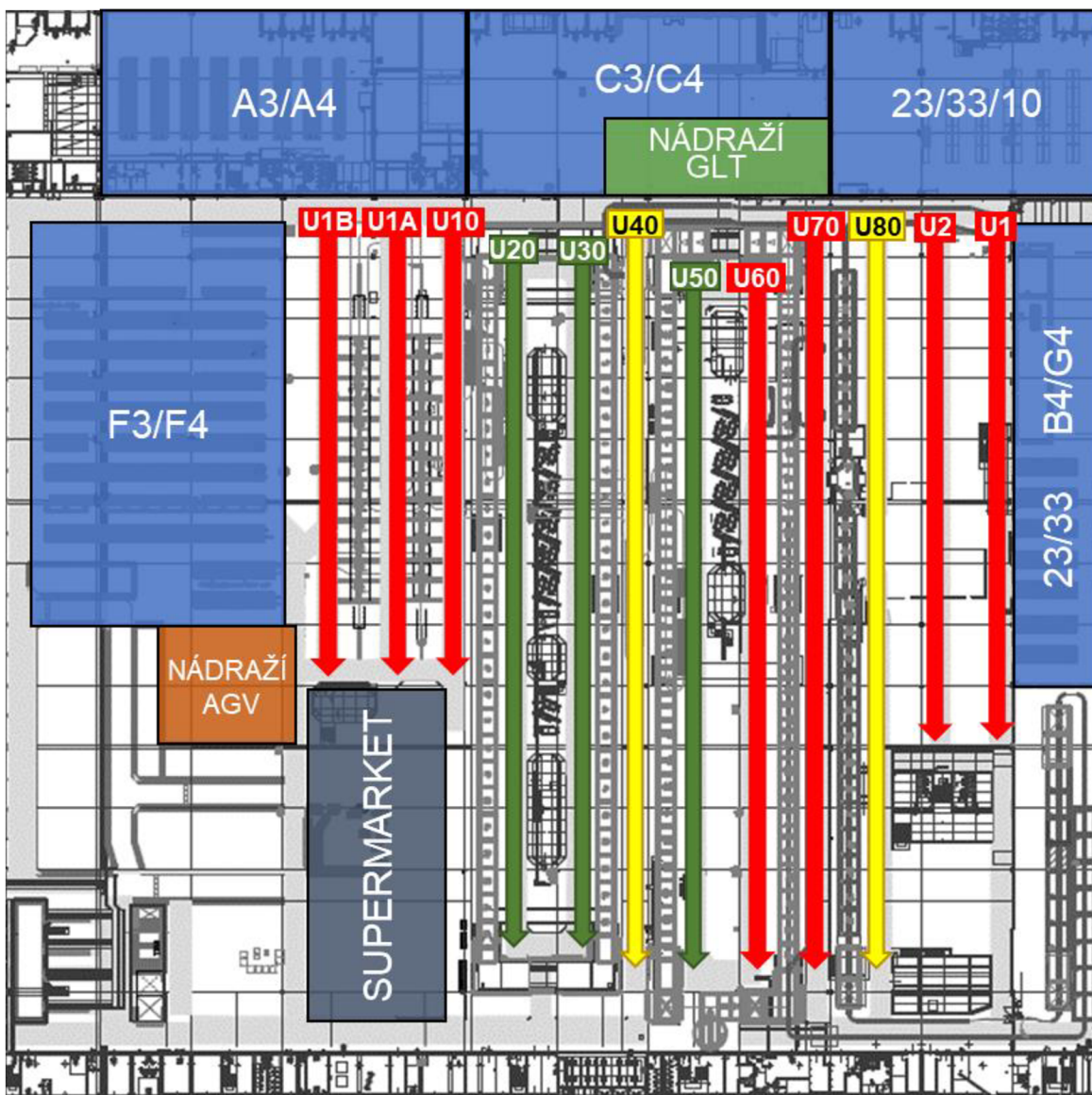
3.2 Dispozice montážní haly a její kapacitní omezení

Interní logistika výrobního úseku M1 operuje v hale o vnitřní ploše téměř 50 000 m², k této hale připadají ještě další venkovní prostory, z nichž většina je krytá přístřešky. V těchto prostorách se kompletují osobní vozy ŠA již desítky let, a přestože dochází k častým stavebním úpravám a optimalizacím provozu v důsledku inovací a implementací nových projektů, je v hale spousta kapacitních omezení, zejména pak těch plošných. Při snaze začlenit výrobu nového modelu do provozu vznikají úzká místa pro interní logistiku, kterými jsou například nedostačující kapacita skladů, zúžení komunikací, prodloužení tras zavážení materiálu, navýšení pracovních omezení provozu na komunikacích v důsledku jednosměrného provozu, výskytu zábran a křížení komunikací.

Montážní linka začíná montáží podvozku na východní straně haly, konec montážní linky je na západní straně haly, kde kompletní vozy prochází kvalitativními kontrolami a odtud putují na zkušební polygon a k expedici, viz příloha 1. Příjem materiálu probíhá jak pod severním přístřeškem, tak i pod jižním přístřeškem haly M1. Montážní linka je pak zásobovaná přímým i nepřímým způsobem. Přímým způsobem jsou vyskladněné díly dodány přímo k montážní lince. Zvláštním případem přímého zásobování jsou díly v režimu Just in Time, Just in Sequence, Kanban a Japan Delivery Concept, kde díly nejsou ani zaskladněny, ale po vykládce z transportního prostředku jsou rovnou dodány k montážní lince. V některých těchto případech není za zásobování linky zodpovědná závodová logistika, ale dodavatel či externí poskytovatel logistické služby, kteří dodávají materiál ve zmíněných režimech. Nepřímé zásobování pak prochází přes supermarket, sekvenční či přebalovací pracoviště. Výchozím bodem pro GLT zavážená podjezdovým AGV je nádraží GLT nacházející se na severu haly ve skladu C3/C4, viz layout na obrázku 22. Zde se budou nacházet předávací pozice neboli rozhraní mezi manuálním a automatickým procesem zavážení. Manuálně bude umístěno GLT na určený podvozek, který si poté i s naloženou paletou odebere AGV.

Při plánování pilotního zavážení GLT podjezdovými AGV byla vzata v potaz průjezdnost komunikací, frekvenci na dopravních uzlech v hale a celkový výskyt úzkých míst na trasách, kterých je v hale M1 nespočet. Pro pilotní zavážení GLT podjezdovými AGV byly primárně uvažovány komunikace s nejlepší průjezdností a s minimálními hrozbami kolize na trase s jinou technologií. K tomu byla použita

Analýza měření výkonnosti v materiálovém toku AGV na automobilové montážní lince M1 ŠA zpracovaná Ibachachem (2022). Nejvhodnějšími ulicemi pro pohyb podjezdových AGV jsou U20, U30 a U50, viz zeleně vyznačené ulice v layoutu na obrázku 22. Pro pilotní projekt by tak měla být uvažována ta GLT, která mají zástavbový takt v těchto ulicích, alternativně lze zařadit GLT z ulic U40 a U80. Zbylé červeně vyznačené ulice jsou pro pohyb podjezdového AGV nevhodné.



Zdroj: Upraveno dle (Interní dokumentace ŠA, 2022)

Obr. 22 Layout komunikací mezi montážní linkou

3.3 Analýza typů převážených břemen

Logistika montáže vozů je zatížena velkým množstvím typů palet a efektivní hospodaření s nimi je jedním z klíčových determinantů funkční výrobní logistiky. Interní logistika ve ŠA není přímo zodpovědná za vývoj palet, ale díky zkušenostem z daného provozu dokáže velkou měrou přispět jako podpůrný orgán. Zejména pak v sériové fázi projektu navrhuje optimalizace v souvislosti s obaly, tak aby se zamezilo různým druhům plýtvání a došlo ke zlepšení procesu. Palety se ve ŠA člení do kategorií dle různých parametrů, na montáži vozu je vhodné palety členit do následujících kategorií:

- Podle výskytu v procesu:
 - dodavatelské balení,
 - logistické balení.

Dodavatelské balení je označení palety, ve které byl expedován a následně přijat materiál od dodavatele. Procesně ideální je, pokud taková paleta je vhodná pro celý následující logistický proces zakončený dodáním palety k montážní lince a odebíráním materiálu přímo z ní. Pokud však toto balení není způsobilé pro následující proces, je třeba materiál přebalit do vyhovujícího balení, které se pak označuje jako logistické, jelikož je způsobilé pro další logistický proces. Může se jednat například o případ, kdy na příslušném místě zástavby u montážní linky není dostatek místa pro dodavatelskou paletu a materiál tak musí být přebalen do menšího balení. Nutno však podotknout, že z hlediska pracnosti a plynulosti procesu je pro logistiku žádoucí snižovat počet přebalovaných dílů. Když přesto není možné se vyhnout přebalení dílů z dodavatelského balení do logistického a kapacita pro tuto činnost není dostatečná, outsourcuje se.

- Podle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny:
 - kovové,
 - plastové,
 - kartonové,
 - dřevěné.

Na montáži vozů se vyskytují palety z různých materiálů, především z kovu, plastu, kartonu nebo dřeva. Palety vyrobené z kovu nebo plastu jsou vratné neboli vícecestné a slouží pro oběh mezi subjekty dodavatelského řetězce. Oproti tomu kartonové a dřevěné obaly jsou ve většině případů jednocestné a interní logistika se musí po použití těchto obalů vypořádávat s jejich likvidací, což je bezesporu jejich nevýhoda. Další nevýhodou je, že jednocestné balení není plně způsobilé pro odebírání dílů z palety přímo u montážní linky. Kvůli své nízké odolnosti vůči poškození bývá materiál zabezpečen dalším obalovým materiálem, jako jsou fólie, proložky či mirelon, ten musí operátor montáže odstranit, což je časově i prostorově náročné a v důsledku by to způsobovalo prostoje. Proto je materiál v takovém balení vychystáván do vhodného balení v režii interní logistiky na pracovišti přebalování.

- Podle velikosti:
 - KLT,
 - GLT.

Podle velikosti se palety ve ŠA rozdělují na KLT a GLT. KLT je zkratka z německého Kleinladungsträger a označuje malý plastový box. Pokud se paleta označuje jako GLT (zkratka z německého Großladungsträger), jedná se o velký box. Obecně se uvádí, že o GLT se jedná, pokud alespoň jedna hrana palety je větší než 600 mm. Z pohledu přepravy se KLT vrství na podlahku do tzv. Gebinde, jehož rozměry pak odpovídají GLT, a tak se i označují. Proto Gebinde se označuje jako dodavatelské balení, ale po rozložení se už jednotlivá KLT označují jako logistické balení, jelikož proběhla přípravná činnost rozložení.

- Podle univerzálnosti:
 - univerzální,
 - speciální.

Univerzální palety se používají pro transport dílů, které nejsou nikterak zvlášť náročné na balení, nejsou náchylné na poškození. Speciální palety jsou vyvíjeny pro specifické díly, které si to vyžadují z povahy náchylnosti na poškození, vysoké hodnoty, nestandardních tvarů nebo rozměrů, způsobu odebírání dílů z palety, požadavků na transport. Jako speciální se označují i palety, které jsou v základu univerzální, ale jsou nějak upravené, například mají vnitřní vložku.

Dalším typem převážených břemen v hale M1 jsou sekvenční vozíky. Do nich jsou zakládány díly podle pořadí, ve kterém budou následně odebírány u montážní linky. Sekvenční vozíky jsou opáreny kolečky, což umožňuje jejich převoz k místu zástavby buď manuálně pomocí tahače či pouhým odtlačení operátorem nebo automaticky pomocí podjezdového AGV.

3.3.1 Popis projektu koncepčního využití flexibilních podjezdových AGV na hale M1

Rozsah projektu koncepčního využití podjezdového AGV, kterým se tato práce zabývá, byl zúžen pouze na určitou část manipulovaného materiálu na hale M1. Konkrétně na materiál zavážený v GLT paletách k montážní lince. Dále byl rozsah pilotního nasazení omezen pouze na trasu zavážení mezi nádražím GLT nacházejícím se ve skladu C3/C4 a taktem zástavby u montážní linky. Pro pilotní nasazení je k dispozici pouze 1 kus podjezdového AGV od společnosti Asseco CEIT, jedná se o typ 1200F. Detailní specifikace tohoto podjezdového vozíku je obsahem tabulky 4. Nicméně o tomto omezení bylo rozhodnuto až během plánování pilotního projektu, proto tato podmínka byla zohledněna až na samotném konci návrhu.

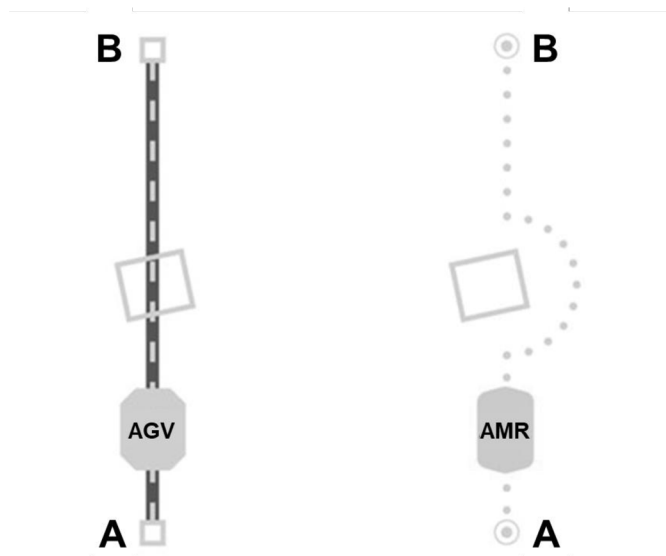
Tab. 4 Specifikace podjezdového AGV 1200F od společnosti Asseco CEIT

Parametr	Vlastnosti
Navádění	konturové
Nabíjení	indukční, bezdotykové
Zdvih	hydraulický, 130 mm
Max. nosnost	1 200 kg
Max. rychlost	1,3 m/s
Poloměr otáčení	0,7 m, otáčené na místě
Váha	270 kg
Rozměry	690 mm x 1 251 mm x 353 mm

Zdroj: Upraveno dle (Asseco CEIT, 2022)

Výrobce tento podjezdový vozík řadí do kategorie autonomní mobilních robotů, dále jen AMR (zkratka z anglického Autonomous Mobile Robot), nikoli AGV, přestože vozíky od firmy Asseco CEIT nenaplňují všechny funkcionality AMR. Hlavním rozdílem mezi AGV a modernějším AMR je typ trajektorie. Zatímco AGV následuje pevně danou trajektorii pomocí senzorů a při detekci překážky vyžaduje manuální

zásah operátora, AMR nemá striktně definovanou trajektorii, vytváří si ji sám autonomním mapováním provozu a dokáže se pomocí sensoriky sám vyhýbat překážkám, viz náčrt na obrázku 22. Typ 1200F je sice vybaven konturovým naváděním, ale autonomně se vyhýbat překážkám prozatím nedokáže.



Zdroj: Upraveno dle (Trapo Nederland BV, 2022)

Obr. 22 Rozdíl v trasování AGV a AMR

3.3.2 Analýza GLT v montážní hale M1

Aktuálně jsou GLT zaváženy pomocí VZV, retraků, tahačů řízených operátorem či automaticky naváděných tahačů. V případě zavážení tzv. trajlery jsou za tahačem GLT umístěny na podvozky vybavené kolečky a zapřaženy do E-rámů nebo C-rámů jako na obrázku 23. Podvozků je několik typů lišících se od sebe rozměry, tak aby bylo možné zavážet všechny GLT pomocí tahačů z důvodu úspory manipulací. V současné době se na hale M1 pro zavážení GLT tahači používá 6 typů podvozků, viz detailní parametry v tabulce 5.



Zdroj: (ŠA, 2022)

Obr. 23 Trajlerová souprava

Tab. 5 Aktuálně využívané typy podvozků pro díly v GLT

Podvozek	Rozměr podvozku
1	1 300 x 1 100 mm
2	1 100 x 650 mm
3	1 250 x 1 060 mm
4	1 470 x 1 250 mm
5	1 670 x 1 250 mm
6	1 850 x 1 250 mm

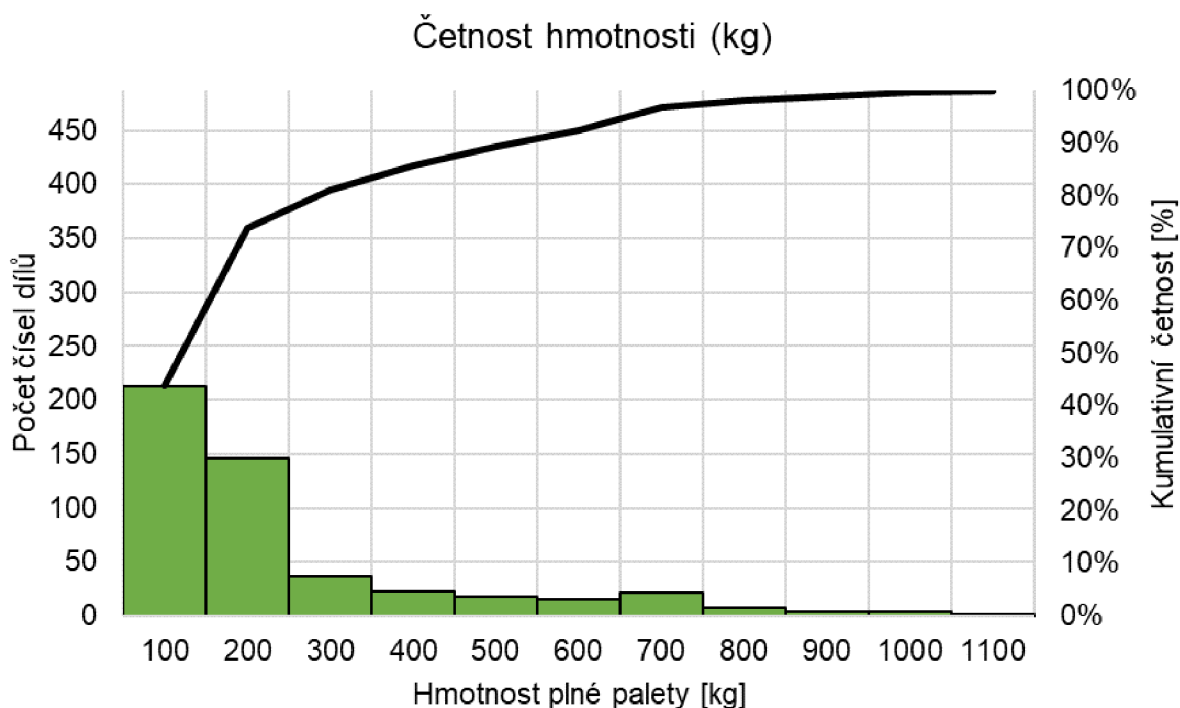
V prvním kroku byl vytvořen seznam čísel dílů zavážených k montážní lince v GLT na základě dat ze systému monitorujícího odvolávky materiálu za období dvou vypovídajících měsíců a z logistického kusovníku. Seznam dílů obsahuje 487 čísel dílů. Jeho ukázka je součástí přílohy 2. Pomocí Paretovy analýzy byla provedena analýza hmotnosti palet, ve kterých jsou díly zaváženy k montážní lince. Nejprve byla zjištěna minimální a maximální hmotnost GLT s díly. Minimální hmotnost byla 27 kg a maximální 1 024 kg. Následně byly sestaveny hmotnostní třídy, viz tabulka 6. Nejnižší třída je do 100 kg hmotnosti, třídy rostou po 100 kg a je jich celkem 11. Nejvyšší hmotností třída je od 1 001 kg do 1 100 kg, ale nachází se v ní pouze 1 GLT. Větší rozsah tříd nebyl uvažován vzhledem k vysoké četnosti GLT s hmotností do 200 kg.

Tab. 6 Tabulka kumulativních relativních četností pro hmotnostní třídy

Hmotnostní třídy [kg]	Četnost	Kumul. četnost [%]
100	213	43,7%
200	146	73,7%
300	36	81,1%
400	23	85,8%
500	17	89,3%
600	15	92,4%
700	21	96,7%
800	7	98,2%
900	4	99,0%
1000	4	99,8%
1100	1	100,0%

Poté bylo určeno zastoupení jednotlivých tříd četností čísel dílů, z čehož bylo možné určit kumulativní relativní četnost. Histogram s Lorenzovou křivkou zobrazuje obrázek 24. Díky této analýze bylo možné určit, jakou nosností musí disponovat

podjezdové AGV, aby dokázalo zavážet 80 % čísel dílů, tedy 80 % čísel dílů by z pohledu hmotnosti bylo možné zavážet podjezdovým AGV s nosností 300 kg, pro pokrytí 99 % čísel dílů by stačila nosnost 900 kg, což je trojnásobně vyšší nosnost. Z tabulky 4 je známá maximální nosnost testovaného podjezdového AGV typu 1200F 1200 kg, z hlediska nosnosti tak toto AGV dokáže zmanipulovat i nejtěžší GLT v provozu M1. Avšak vztaženo k výsledku Paretovy analýzy, je nosnost tohoto AGV předimenzovaná. Vzhledem k četnosti zastoupení jednotlivých hmotnostních tříd by bylo vhodnější využívat více typů AGV lišících se maximální nosností, jelikož tento parametr bude mít pravděpodobně vliv na cenu AGV, přestože výrobci tuto úměru neuvádí.



Obr. 24 Graf četnosti hmotnosti převážených GLT v hale M1

GLT dále byly podrobeny analýze zaměřené na jejich rozměry. Tento parametr je pro záměr zavážení GLT pomocí podjezdových AGV významný, jelikož GLT musí být umístěno na podvozku, aby bylo možné jej podjezdovým AGV zmanipulovat. Jak již bylo zmíněno, v současné době se používá 6 typů podvozků pro zavážení GLT pomocí tahačů, ty však nezaváží všechny GLT nacházející se v hale M1, zbytek je zavážen VZV nebo i retraky. Hlavní důvodem, proč byla tato analýza provedena, je přezkoumání vhodnosti aktuálně používaných podvozků vzhledem k rozměrům celého portfolia GLT a k prostorovým omezením na komunikacích

v hale. Nejprve byla vytvořena kontingenční tabulka ze seznamu dílů zabalených v GLT, díky které bylo zjištěno celkem 14 rozměrově jedinečných typů palet, viz tabulka 7.

Tab. 7 Rozměrově jedinečné typy palet

č.	Délka [m]	Šířka [m]
1	1,000	0,600
2	1,005	0,605
3	1,200	0,780
4	1,200	0,800
5	1,200	1,000
6	1,400	1,200
7	1,205	1,005
8	1,210	1,010
9	1,235	0,835
10	1,400	1,000
11	1,500	0,800
12	1,600	1,200
13	1,610	1,208
14	1,800	1,200

max.	1,800	1,208
min.	1,000	0,600

Dále byla tato data použita pro tvorbu shlukové analýzy, která umožňuje seskupovat položky do tzv. clusterů na základě podobnosti či rozdílnosti sledovaných parametrů položek. Úloha shlukové analýzy byla formulována Tryonem (1958) následovně:

Existuje n objektů, kde každý je charakterizován p znaky.

$C = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ množina všech objektů,

$X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{ip}\}$ p -členné vektory pozorování,

$X = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ n -rozměrný vektor matice.

Cílem je vytvořit k shluků $C_1, C_2, C_3, \dots, C_k$ takových, že:

$$C_i \text{ je neprázdná podmnožina } C \forall i \in \{1, 2, 3, \dots, k\},$$

$$C_i \cap C_j = \emptyset \text{ pro } i \neq j, \quad i, j \in \{1, 2, 3, \dots, k\},$$

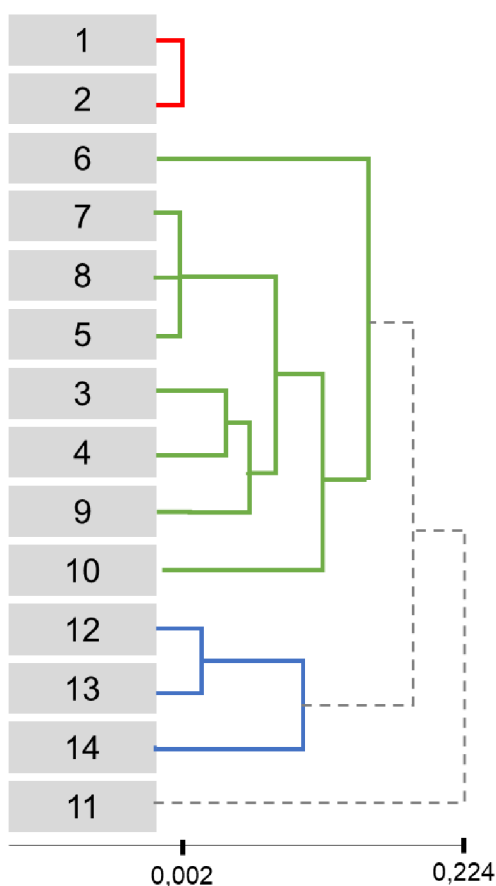
$$C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_k = C.$$

Míra podobnosti objektů byla určena na základě Euklidovské vzdálenosti, dále byla vytvořena matice typu $n \times n$ (1) s nulovými hodnotami na úhlopříčce, kde prvek na pozici i, j nabývá hodnoty:

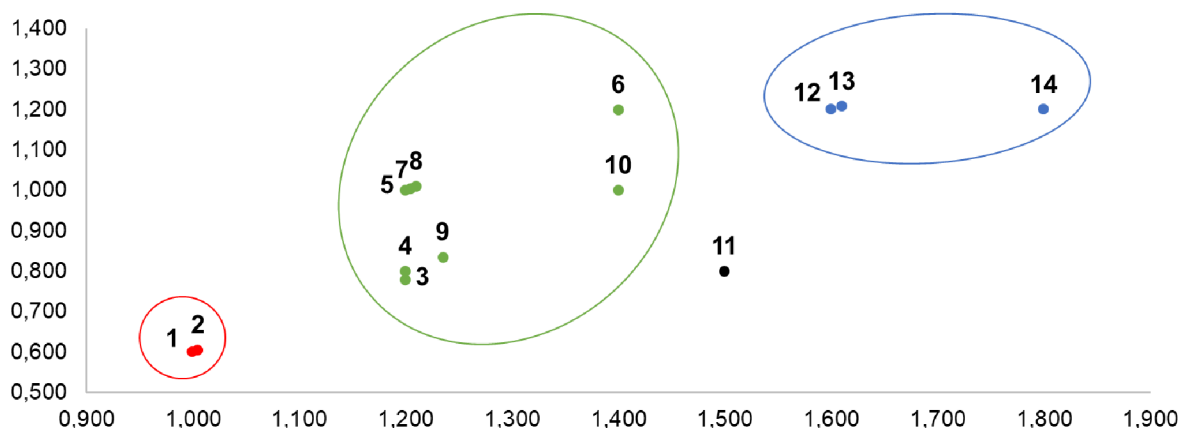
$$d(X_i X_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2}. \quad (1)$$

Proměnnými jsou v této analýze délka a šířka GLT. Výška je v tomto případě zanedbána, jelikož není rozhodujícím parametrem při definici podvozků. Ale je zásadním parametrem ovlivňujícím stabilitu AGV a břemenem.

Matice 14×14 s vypočtenými Euklidovskými vzdálenostmi je zobrazena v příloze 3. Vzestupně podle Euklidovské vzdálenosti byly seskupovány typy palet, viz obrázek 25. Nejmenší vzdálenost, tedy i největší podobnost je mezi paletami 1,2 a také 7,8 a 5. Navrhovaným řešením je seskupení GLT do 3 clusterů, které jsou barevně vyznačeny na obrázcích 25 a 26.



Obr. 25 Shlukování GLT podle délky a šířky



Obr. 26 Grafické zobrazení výsledných clusterů

Nejvíce odlišujícím se prvkem shlukové analýzy je paleta 11, viz bodový graf na obrázku 26. Z grafu je patrné, že paleta 11 se nachází osamocně od vyznačených clusterů. Výpočtem se nejvíce blíží zelenému clusteru, ale její začlenění do tohoto clusteru způsobí zvětšení jedné strany podvozku o 100 mm z 1 400 mm na 1 500 mm, viz alternativní 2. cluster v tabulce 8. Než bude tato paleta začleněna do zeleného clusteru, bylo by vhodné ověřit její četnost zavážení a další parametry, které rozhodnou o tom, zda je lepší paletu zavážet nadále manuálně či ji zahrnout do clusteru pro pilotní projekt.

Tab. 8 Navrhované rozměry podvozků pro vytvořené clustery

	Délka podvozku [m]	Šířka podvozku [m]
1. cluster	1,005	0,600
2. cluster	1,400	1,200
2. cluster - alternativa	1,500	1,200
3. cluster	1,800	1,208

Vzhledem k šířce AGV 1200F 0,69 m, které bude pro pilotní nasazení použito, je patrné, že šířka podvozku 1. clusteru 0,6 m je příliš malá, tento podvozek by tak musel být rozšířen alespoň na 0,7 m. V budoucnu by však bylo lepší pro relace těchto malých GLT využít menší typ AGV, aby podjezdové AGV s nákladem zabíralo co nejméně prostoru. Všechny nově navržené podvozky musí mít podobu mřížky, nikoliv pouhého rámu o daných rozměrech, protože na každém podvozku musí být možné převést i rozměrově menší palety. Shlukovou analýzou byl redukován počet typů podvozků na polovinu, což přispívá ke standardizaci procesu.

Pro funkční zavážení pomocí podjezdových AGV je nezbytný princip tzv. dvoupaletového systému u montážní linky. Tento princip spočívá v umístění dvou palet stejného materiálu u montážní linky tak, aby když se vyprázdní první paleta, byla ihned k dispozici druhá pro případ, kdy operátor či automatická technologie zavážení nedodá plnou paletu včas. Když se u montážní linky nenachází bezpečná zásoba materiálu dochází k ohrožení výroby. Při analýze současného stavu v hale bylo zjištěno, že tento princip je dodržován pouze u zlomkového množství dílů. Důvodem je nedostatek prostoru v materiálové zóně u linky, neblahým trendem je v poslední době v automotive neustálé zvyšování variability dílů tak, aby si zákazník mohl svůj vůz co nejvíce personalizovat. To má ale za následek právě zvyšující se počet palet u montážní linky. Jedním z řešení je vychystávání materiálu do efektivnějšího linkového balení v režii výrobní logistiky, to však vyvolává vícenáklady, vyšší pracnost a celkové zhoršení procesu. Proto se vzhledem k již tak omezeným kapacitám v hale často přistupuje k jednopaletovému principu s minimální pojistnou zásobou, která je řešena například malým boxem, kam si montážní operátor odloží několik kusů dílů, které spotřebovává po dobu, než mu operátor logistiky vymění prázdnou paletu za plnou. V jednopaletovém systému je kladen důraz zejména na odvolávání materiálu k lince v dostatečném předstihu tak, aby nebyl ohrožen plynulý chod montážní linky. Při zásobování linky podjezdovými AGV však musí být v materiálové zóně u linky dostatečný prostor pro 2 palety, jinak AGV nedokáže umístit plnou paletu a odebrat prázdnou. Proto se výběr GLT vhodných pro pilotní projekt zúžil pouze na ty GLT, u kterých je dodržován dvoupaletový systém anebo je v materiálové zóně dostatek prostoru pro dva podvozky s GLT.

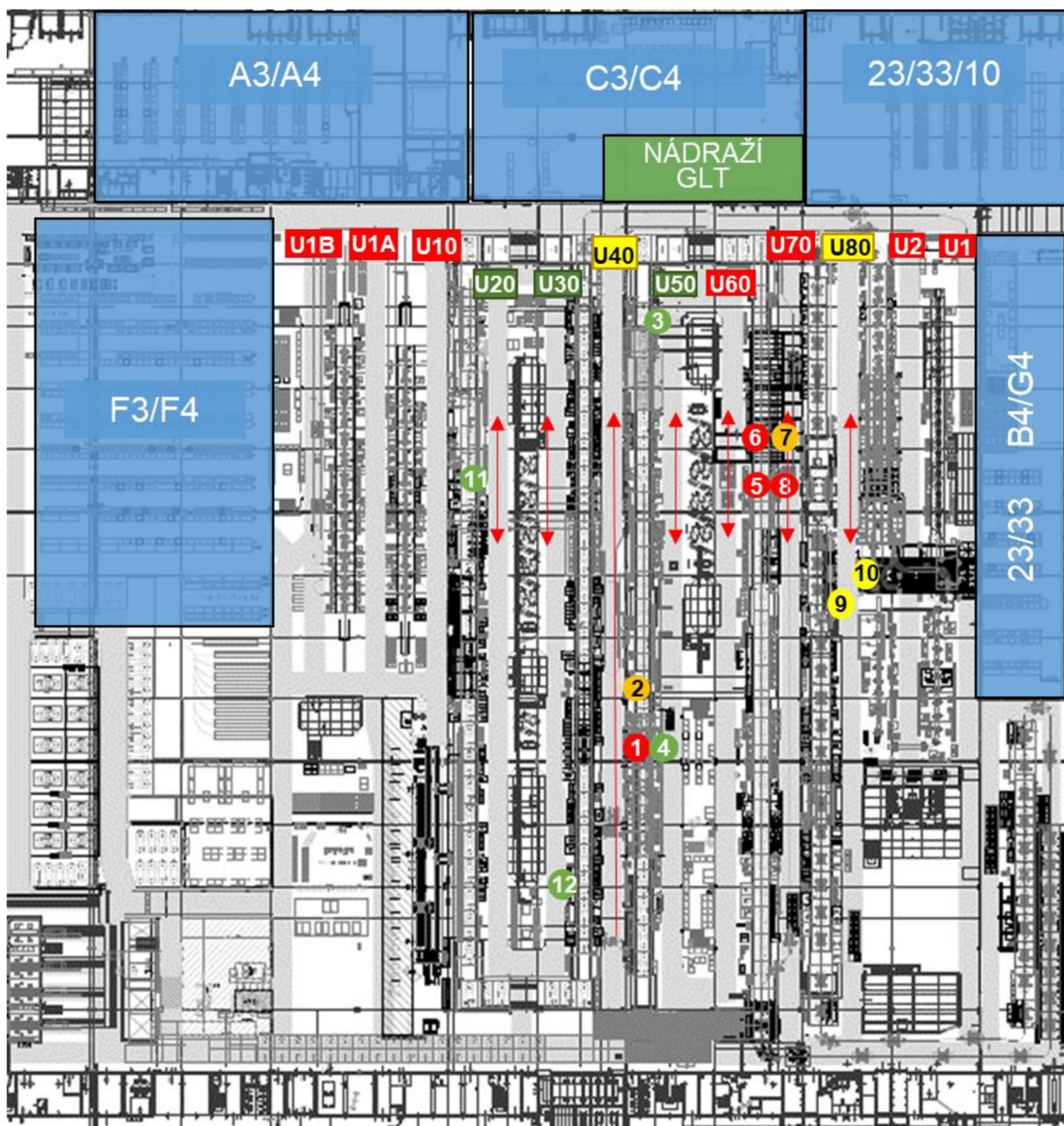
4 Návrh pilotního nasazení podjezdových AGV v montážní hale

Cílem této kapitoly je představit návrh pilotního nasazení podjezdových AGV v montážní hale M1, jehož součástí je popis navrhovaného procesu. Dále je uveden počet čísel dílů, které budou zaváženy 1 kusem podjezdového AGV, který bude pro pilotní projekt k dispozici. Budou definovány mise AGV a vysvětlena aplikovaná metodika kapacitního plánování. Předložený návrh je pak hodnocen se zohledněním několika faktorů, které jsou rozhodující pro úspěšnou implementaci flexibilních AGV.

4.1 Popis navrhovaného procesu

Jak již bylo zmíněno na konci předchozí kapitoly, pouze několik dílů manipulovaných v GLT z celkového seznamu je v materiálové zóně u montážní linky umístěno ve dvoupaletovém principu. Pro zavážení podjezdovými AGV musí být tento princip zachován pro funkční výměnu plné palety za prázdnou. Proto byl seznam dílů redukován na 17 čísel dílů z celkových 487. Redukovaný seznam je součástí přílohy 5. První sloupec seznamu odkazuje na umístění materiálu u linky, které je dle označení zakresleno v layoutu na obrázku 27. Význam barevného označení bude vysvětlen později. Seznam obsahuje název dílu a název balení, které má pro tuto práci pouze informativní charakter. V dalších sloupcích je možné nalézt počet kusů dílů v daném GLT, rozměry GLT a váhu břemene, která byla získána součtem váhy palety a váhy dílů obsažených v GLT. Dále seznam obsahuje označení taktu zástavby a jeho pozici v rámci ulic v montážní hale. Na základě znalosti umístění konkrétního materiálu u linky byla změřena vzdálenost, kterou GLT urazí z nádraží GLT k taktu zástavby (vyjádřena v metrech). Tento údaj dále poslouží při kapacitním plánování.

Pro návrh pilotního projektu byly uvažovány současné podvozky kvůli úspoře nákladů za vývoj a nákup nových.



Obr. 27 Layout M1 s vyznačenými taktými zástavby vybraných GLT

Zdroj: Upraveno dle: (Interní dokumentace ŠA, 2022)

Při rozhodování o zařazení GLT do pilotního projektu byla uvažována velikost břemene vzhledem k šíři komunikace, orientace GLT u montážní linky, zda je umístěno k lince kratší nebo delší stranou. Tento údaj je vyznačen taktěž v seznamu dílů v příloze 5 zeleným podbarvením toho rozměru palety, kterým je orientovaná k lince. V této orientaci je totiž paleta manipulovaná a přepravovaná po celou dobu. Je tedy třeba prověřit, zda širší komunikace vůbec umožňuje transport takového břemene. V rámci plánování tohoto pilotního projektu bylo vycházeno

z parametru dle čl. 10.3 nařízení vlády č. 101/2005 Sb.: „Šířka uličky pro průjezd manipulačních vozíků musí být alespoň o 0,4 m větší než největší šířka manipulačních vozíků nebo nákladů“ (BOZPinfo, 2022).

Významnou roli dále hrál výskyt úzkých míst na trase a celková průchodnost ulic, ve kterých se nachází takty zástavby uvažovaných GLT. Tato data byla získána z analýzy Ibachache (2022), viz příloha 4. Červeným kroužkem jsou vyznačena úzká místa provozu, která jsou nejčastěji způsobena přesahem různých technologií do komunikací, například automatické závory přes komunikaci sloužící k zastavení křížení manipulační techniky s linkovým dopravníkem. Dále jsou v nákresu v příloze 4 zakresleny šíře všech komunikací v různých místech. Díky znalosti těchto prostorových omezení, je možné se již ve fázi plánování projektu vyhnout nasazení podjezdových AGV do míst, kde by bylo komplikované vyhýbání se další manipulační technice.

4.2 Předpokládaný počet čísel dílů zavážených podjezdovým AGV

Vzhledem k tomu, že pro pilotní nasazení podjezdových AGV pro zavážení GLT k montážní lince bude k dispozici pouze 1 kus AGV, uvažují se relace ve formě okruhů, tzn. AGV zaveze k lince plnou paletu a rovnou odveze zpět prázdnou paletu. Kdyby byla k dispozici velká flotila AGV, byla by možnost flexibilního využití AGV, tedy řídicí systém AGV by sám dokázal vyhodnotit nejefektivnější řešení a sám by AGV přiděloval mise.

Primární úlohou bylo určit počet čísel dílů, které budou zaváženy 1 kusem podjezdového AGV. K tomu bylo zapotřebí určit čistý disponibilní čas podjezdového AGV. Aby bylo dosaženo hodnoty, která bude co nejvíce odpovídat reálnému provozu podjezdového AGV, bylo využito dat získaných při předchozím pilotním nasazení podjezdových AGV v hale M1, pouze pro jiné typy břemen. Graf na obrázku 28 vyjadřuje procentuální využití srovnatelného podjezdového AGV s typem 1200F, z těchto dat byl použit údaj o nabíjení a časové rezervě vyjádřené jako volná kapacita. Tento typ AGV disponuje bezdotykovým indukčním nabíjením, takže nezajíždí do pevných nabíjecích pozic, ale dobíjí se například na předávací pozici na nádraží GLT.

Čistý disponibilní čas 1 kusu podjezdového AGV při 1 směně byl vypočten dle (2) následovně:

hrubý disponibilní čas = 8 h ~ 480 min

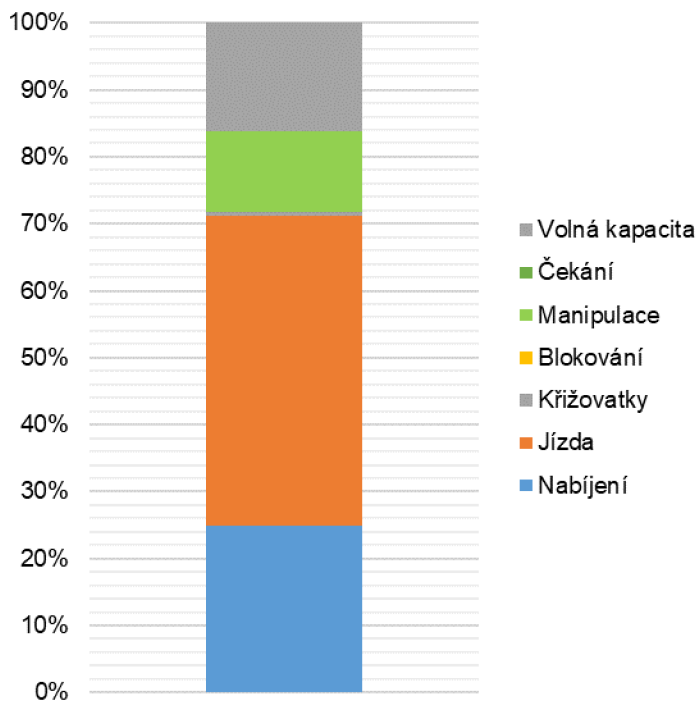
nabíjení = 25 %

rezerva = 15 %

$$\text{čistý disponibilní čas} = \text{hrubý disponibilní čas} - \text{nabíjení} - \text{rezerva} \quad (2)$$

$$\text{čistý diponibilní čas} = 480 * [1 - (0,25 + 0,15)]$$

$$\text{čistý disponibilní čas} = 288 \text{ min}$$



Obr. 28 Průměrné využití AGV v předchozím pilotním nasazení AGV ve stejném provozu

Zdroj: Upraveno dle: (ŠA, 2022)

V dalším kroku kapacitního plánování bylo potřeba určit čas potřebný pro zavážení každého dílu v seznamu v příloze 5. Nejprve byl určen čas potřebný pouze pro překonání okruhu mezi nádražím GLT a taktem zástavby. Doba transportu byla vyjádřena dle (3) jako:

$$t = \frac{v}{s}, \quad (3)$$

kde

t – čas [s],

v – průměrné rychlost [m/s],

s – délka trasy [m].

Přestože výrobce uvádí maximální rychlost AGV 1200F 1,3 m/s, maximální rychlosti AGV většinu času nedosahují, protože při provozu zpomalují například z těchto důvodů:

- projíždění zatáček / křižovatek,
- střet s operátorem, manipulační technikou či jinými pohybujícími se objekty,
- odebírání / odkládání materiálu.

Průměrná rychlost podjezdového AGV je dlouhodobým sledováním srovnatelného typu AGV v provozu haly M1 udávaná ve výši 0,5 m/s. Čas jízdy 1 okruhu je pro každý díl uveden v příloze 5. Dalším potřebným parametrem je doba manipulace s břemenem, tedy odebrání podvozku s břemenem z předávací pozice, umístění k montážní lince, odebrání podvozku s prázdnou paletou u linky a jeho odložení zpět na předávací pozici. Během jednoho okruhu tedy AGV vykoná celkem 4 manipulace s břemenem. Doba trvání 1 manipulace na základě pozorování v provozu nepřesáhne 1 minutu. K době trvání 1 okruhu tak nutno připočítat 4 minuty na manipulaci.

Následně byl pro každý díl vyjádřen počet okruhů, které AGV musí urazit během 1 směny. K tomu byl potřeba parametr frekvence závozů neboli spotřeba materiálu za směnu neboli počet palet spotřebovaných za směnu, který byl vypočten dle (4) takto:

$$\text{počet palet na směnu} = \frac{\text{počet vozů za směnu} * \text{zástavbovost dílu}}{\text{počet dílů v paletě}}. \quad (4)$$

Po vynásobení výsledné hodnoty celkovým časem 1 okruhu je znám čas jízdy a manipulací u konkrétního dílu za směnu. 1 kus AGV tak může zavážet takový počet dílů, jejichž čas na jízdu a manipulaci za směnu nepřesáhne jeho čistý disponibilní čas.

Pro pilotní projekt tak jako první byly vybrány díly, jejichž takt zástavby se nachází v zeleně vyznačených ulicích a pilotní testování podjezdových AGV pro relace dílů v GLT nebude ovlivněno úzkými místy a časem blokáží v nich strávených. První do výběru jsou zařazeny díly s označením 3, 4, 11 a 12, které celkem spotřebovávají

191 minut z čistého disponibilního času 1 podjezdového AGV. Zbývá ještě 97 minut, které mohou být využity pro další relaci. Dále bylo vybíráno z dílů s takty ve žlutě podbarvených ulicích (U40 a U80), z nichž byla upřednostněna ulice U80, jelikož takt zástavby v ulici U40 se nachází za úzkým místem, a navíc je tato komunikace jednosměrná z jihu na sever haly. Palety by tak musely být nejprve převezeny na jih komunikací U50. Ulice U50 již však byla vybrána, a tak v zájmu testování různých podmínek získala vyšší prioritu ulice U80. Díly s označením 9 a 10 spotřebují dalších 55 minut z čistého disponibilního času AGV. A zbývá posledních 42 volných minut, ty lze obsadit už jen 23 minutami pro díl 7 a 5 minutami pro díl 2.

Aby bylo možné zavázat všechny díly ze seznamu v příloze 5 podjezdovými AGV, bylo by potřeba celkem 5 kusů AGV. Tento údaj byl zjištěn kapacitním propočtem dle (5), jestliže celková časová potřeba pro všechny díly je 1 388 minut, pak:

$$\frac{1\ 388}{288} = 4,82 \doteq 5. \quad (5)$$

Nevýhodou této kapacitní úvahy je zanedbání nárazových odvolávek ve stejnou dobu. Tento výpočet předpokládá rovnoměrné rozložení odvolávek GLT během směny. Ale vzhledem k jednotnému výrobnímu taktu, může u dílů se stejným počtem kusů v paletě a shodnou zástavbovostí docházet k souběžným odvolávkám. Tyto případy jsou ve výpočtu pokryty rezervou 15 % ve využití podjezdového AGV.

4.3 Hodnocení předloženého návrhu

V předchozích podkapitolách byl představen návrh pilotního nasazení podjezdových AGV v hale M1. Pro hodnocení předloženého návrhu bylo vybráno několik faktorů ovlivňujících úspěšnost nasazení podjezdových AGV:

- parametry AGV,
- procesy a jejich přizpůsobení,
- velikost flotily AGV,
- systém řízení,
- řešení kolizí,
- automatizace manipulací.

Parametry AGV

V podkapitole 3.3.2 byla provedena analýza převážených břemen, na jejímž základě byly doporučeny podvozky o optimalizovaných rozměrech, aby převážená břemena nesnižovala průjezdnost komunikací. Avšak pokud podjezdové AGV nedisponuje automatickou identifikací břemene, musí být manuálně nastaveny bezpečnostní zóny dle rozměrů největšího možného břemene, což má za následek snížení flexibility a průjezdnosti komunikací, to je aktuální problematika, kterou se zabývá interní logistika ŠA ve spolupráci s výrobcí podjezdových AGV.

Volba podjezdového AGV by měla vycházet z analýzy břemen, provozu a požadavků na proces. Na základě analýzy hmotnosti převážených břemen bylo v přechodí kapitole zjištěno, že nosnost vybraného podjezdového AGV je předimenzovaná. Aktuálně není nabídka podjezdových AGV od společnosti Assec CEIT tak rozmanitá, aby bylo možné vybrat podjezdové AGV, které bude přesně splňovat všechny požadavky. Zároveň kombinace více řídicích systémů od více výrobců se nejeví jako dobrá volba na stále se vyvíjejícím poli autonomní manipulační techniky. V této situaci je vhodné budovat partnerství s výrobcí AGV a společně diskutovat a podporovat vývoj technologií požadovaným směrem. Stejně tak vývoj baterie a nabíjení se rychle posouvají kupředu. V návrhu pilotního projektu je uvažováno s bezdotykovým indukčním nabíjením, na které se vyhrazuje až 25 % z disponibilního času, proto lze předpokládat další optimalizace v tomto ohledu. Stěžejními parametry podjezdového AGV, které zásadním způsobem ovlivňují fungování procesu jsou: rozměry, nosnost, možnosti otáčení, zdvih, rychlost, typ baterie a nabíjení, typ navigování, bezpečnostní prvky, řídicí systém.

Procesy a jejich přizpůsobení

Při plánování nasazení AGV je třeba analyzovat současný stav a vyhodnotit všechny dopady spojené s implementací AGV. Je důležitá identifikace všech oblastí, které se budou muset nějakým způsobem přetransformovat, upravit či přizpůsobit. Z důvodu úspory náklad je záměr provést pilotní nasazení se současnými podvozky, avšak v rámci analýzy byl předložen návrh k optimalizaci podvozků. Pro nadstandardně vysoké palety by bylo možné navrhnout další speciální úpravu podvozků, tak aby se zvýšila stabilita při převážení těchto palet.

Tyto úpravy musí být v souladu s ergonomií pro montážní operátory při odebírání materiálu. Nasazení podjezdových AGV si často žádá úpravu materiálové zóny u montážní linky, změny layoutu skladů a komunikací. Další nezbytnou úpravou při plošném nasazení je zavedení dvoupaletového systému.

Velikost flotily AGV

Jak již bylo zmíněno v předchozí podkapitole, návrh nasazení podjezdových AGV pro zavážení GLT v hale M1 se kapacitně nezaměřuje na výskyt nárazových okamžiků, kdy dochází ke kumulaci požadavků na mise AGV. Tato problematika se stává významnou zejména při rozsáhlém nasazení AGV v provozu. Vzhledem k vysoké rozmanitosti typů GLT a zástavbovosti dílů a variabilnímu výrobnímu programu, nelze systémově podchytit tyto výkyvy. Lze je však řešit naddimenzováním kapacity flotily AGV či alternativním manuálním zavážením.

Systém řízení

Řídicí systém AGV by měl být dostatečně dimenzován pro flotilu čítající desítky kusů. Vzhledem k vysoké variabilitě zavážených břemen by řídicí systém měl být schopen řídit AGV různých výrobců. Jeho cílem je efektivní přidělování misí jednotlivým AGV dle jejich disponibility a dostupnosti v dynamickém prostředí. Zároveň je žádoucí okamžité reagování na změny a operativní řešení chybových situací. Aktuálně využívaný řídicí systém je schopen řídit flotilu pouze 6 kusů AGV, což je pro pilotní nasazení dostačující, ale při případné implementaci ve větším rozsahu nebude schopen vše pojmout. Řídicí systém není dostatečně flexibilní, každá změna znamená zdlouhavé přeprogramování pracovníky firmy Asseco CEIT. Přestože Asseco CEIT uvádí kompatibilitu se standardem VDA 5050, která pojednává o jednotném řízení AGV různých výrobců, v praxi tato norma v hale M1 nefunguje.

Řešení kolizí

Podjezdová AGV se standartně pohybují po komunikacích sdílených s další manipulační technikou a chodci, zejména u chodců je pak nemožné předvídat jejich pohyby, a proto z bezpečnostních důvodů jsou podjezdová AGV při detekci překážky blokována, to negativně ovlivňuje jejich kapacitu. Za účelem redukce času, kdy je AGV blokováno, se zavádí systémová nastavení pravidel, pro provoz

na komunikacích, pro chování se v křižovatkách. Příkladem takových pravidel je určení, které vozidlo má přednost před kterým, nebo i úprava layoutu, kdy v některých komunikacích se zavede jednosměrný provoz, aby nedocházelo k míjení AGV a další manipulační techniky. V některých komunikacích s frekventovaným pohybem manipulační techniky bývá zákaz vstupu chodců, dodržování tohoto typu pravidel je však v praxi velmi problematické. Preferovaným řešením je co největší míra autonomie podjezdových AGV, aby AGV předcházelo kolizním situacím, popřípadě bylo samo schopno vyhodnotit nastalou situaci a vyřešit ji. Uvažované podjezdové AGV 1200F je sice vedeno konturovou navigací, ale neumožňuje objíždění překážek, stejně tak zde chybí sledování dynamicky se pohybujících objektů. Jako dočasné řešení, než bude vyvinut vyzrálý systém na prediktivní řízení dynamicky se pohybujících objektů, lze v bezproblémových úsecích haly využívat co největší možné míry autonomie a flexibility, naopak ve frekventovaných komunikacích a dopravních uzlech systémově přesně stanovit pravidla pro pohyb manipulační techniky.

Automatizace manipulací

Různá GLT vyžadují odlišnou orientaci u montážní linky, cílem by mělo být automatické orientování palety nejen u linky, ale i během transportu by měla být zajištěna orientace břemene na užší stranu, aby nebyly komunikace zbytečně přetěžovány. Řešením je např. otočná nástavba umožňující otáčení břemene.

Závěr

Tato doba je pro interní logistiku plná výzev a zásadních transformací, se kterými se musí na každodenní bázi vypořádávat. Zejména v tomto období skutečně platí, že v zájmu zachování konkurenceschopnosti na trhu osobních automobilů je stěžejní držet tempo s vývojem technologií a zavádět principy Průmyslu 4.0. Tato závěrečná práce je zaměřena na jeden z principů Průmyslu 4.0, kterým je automatizace, konkrétně automatizace v navážení materiálu k montážní lince pomocí automaticky naváděných vozíků. Právě interní logistika je v současnosti oblastí s nejdynamičtějším vývojem automatických i autonomních technologií.

V úvodní části závěrečné práce byla provedena literární rešerše v oblasti interní logistiky a technologií AGV. Bylo představeno rozhraní činností mezi interní logistikou, výrobou a dalšími odděleními logistiky, byly identifikovány hlavní úkoly interní logistiky a metody, na jejichž základu je interní logistika realizována. Teoretická část dále poskytuje vhled do vývoje AGV a jeho postupné rozšiřování do různých průmyslových odvětví, následně byl definován metodický postup plánování nasazení AGV. K jednotlivým fázím plánování byly stanoveny cíle, které musí být splněny, aby daná fáze byla oficiálně ukončena. V neposlední řadě byla nastíněna problematika intralogistických systémů na různých stupních automatizace.

Dalším dílčím cílem byla analýza současného stavu navážení dílů v montážní hale M1. Podrobné analýze byla podrobena jak převážená břemena, tak i prostředí, ve kterém má být pilotní projekt implementován. Na základě analýzy současného stavu byl předložen návrh na standardizaci typů podvozků, které jsou pro zavážení palet k montážní lince pomocí podjezdových AGV nezbytné. Pomocí dat získaných z předchozích srovnatelných pilotních projektů byl proveden kapacitní propočet čistého disponibilního času podjezdového AGV. Dále dle výsledků analýzy a kapacitního plánování byl vybrán počet čísel dílů splňujících kritéria pro zařazení do pilotního projektu. Tento výběr dílů byl zdůvodněn. Byly definovány mise, které bude podjezdové AGV plnit v rámci zavážení vybraných dílů.

Z kapacitních důvodů dodavatele AGV a montážní haly bohužel nebyl pilotní projekt zrealizován před termínem odevzdání této závěrečné práce, proto bylo provedeno hodnocení předloženého návrhu formou posouzení faktorů, které podmiňují úspěšné nasazení AGV. Posuzovanými faktory byly: parametry AGV, procesy

a jejich přizpůsobení, velikost flotily AGV, systém řízení, způsob řešení kolizí, a automatizace manipulací. U každého faktoru byl srovnán aktuální status technologie AGV s požadavky interní logistiky ŠA výrobního úseku M1, bylo dáno doporučení směřování budoucího vývoje AGV a jejich řídicích systémů.

Seznam literatury

AELKER J., T. BAUERNHANSL a H. EHM. Managing complexity in supply chains: A discussion of current approaches on the example of the semiconductor industry. *Procedia CIRP*. 2013, **7**, 79-84.

ARMSTRONG, P. Bloom's taxonomy. *Vanderbilt University Center for Teaching*. [online]. 2010 [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: <https://cft.vanderbilt.edu/guides-sub-pages/blooms-taxonomy/>

Autonomous Mobile Robot: smartest & most flexible transport mode. Trapo Nederland BV. [online] 2022. [cit.2022-12-28]. Dostupné z: <https://www.trapo.eu/en/robotization/autonomous-mobile-robot/>

Automatický VZV ERC 215a. Jungheinrich AG. [online] 2022. [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://www.jungheinrich.cz/systemy/autonomni-voziky/automaticke-voziky/erc-213a-217a-492418>

BERGMANN J., D. GYULAI a J. VÁNCZA. Adaptive AGV fleet management in a dynamically changing production environment. *Procedia Manufacturing*, 2021, 148-153.

BOYSEN, N., M. FLIEDNER a A. SCHOLL. A classification of assembly line balancing problems. *European journal of operational research*. 2007, **2**, 674-693. ISSN 0377-2217.

CICHOSZ, M., C. M. WALLENBURG, a A. M. KNEMEYER. *Digital transformation at logistics service providers: Barriers, success factors and leading practices*. The International Journal of Logistics Management. 2020, **31**(2), 209–238.

Conveyor Pick-up, Drop-off and Handshakes. Rocla AGV. [online] 2022 [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://rocla-agv.com/agv-solution/agv-applications/conveyor-pick-up-drop-off/>

COYLE, J. et al. *Supply chain management: A logistics perspective*. Boston: Cengage learning, 2021. ISBN 978-0-357-44213-5.

DEMUTH, R. *Solutions – Components for AGV*. Götting KG [online]. 2013 [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: <https://www.goetting-agv.com/solutions>

DLOUHÝ, M., J. FÁBRY, M. KUNCOVÁ a T. HLADÍK. *Simulace podnikových procesů*. 2. vyd. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-8025116494.

Flatbed Transporter - Battery Powered Solutions for Moving Heavy Loads. Hedin USA [online]. 2022 [2022-12-05]. Dostupné z: <https://hedinusa.com/equipment-category/flatbed-transporter/>

FOTTNER, J. et al. Autonomous systems in intralogistics—state of the art and future research challenges. *Journal logistics research*, 2021.

GROS, I. *Velká kniha logistiky*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. 507 s. ISBN 978-80-7080-952-5.

HAQUE, H. a M. K. JITU. *AGV fleet management problem with reinforcement learning*. Department of Automation and Computer Science Hochschule Harz. 2020, s. 2.

IBACHACHE, L. F. *Material flow and layout optimization on the automated assembly line in building M1 at ŠKODA AUTO a.s. - Mlada Boleslav, Czech Republic*. Mladá Boleslav: OTH Regensburg/ŠAVŠ, 2022. Diplomová práce.

LANGLEY JR., C. J., R. A. NOVACK, B. J. GIBSON a J. C. COYLE. *Supply chain management: A logistics perspective*. 11th ed. Boston: Cengage, 2021, s. 111. ISBN 978-0-357-44213-5.

OMRON LD-60/90. OMRON. [online] 2021. [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: <https://industrial.omron.cz/cs/products/ld-60-90>

MACUROVÁ, P., N. KLABUSAYOVÁ a L. TVRDOŇ. *Logistika*. 2. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2018. Series of economics textbooks. ISBN 978-80-248-4158-8.

MAYNARD, H. B. a K.B. ZANDIN. *Maynard's industrial engineering handbook*. 5th ed. New York: The McGraw Hill Companies, 2004, s. 1558-1559. ISBN 00-704-1102-6.

NICOLETTI, B. *Procurement 4.0 and the Fourth Industrial Revolution: The Opportunities and Challenges of a Digital World*. London: Palgrave Macmillan Cham, 2020, 53-116. ISBN 978-3-030-35978-2.

PEKAŘÍKOVÁ, M., P. TREBUŇA a M. KLIMENT. Digitalization effects on the usability of lean tools. *Acta logistica* [online]. 2019, **6**(1), 9-13 [cit. 2022-12-23]. Dostupné z: https://www.actalogistica.eu/issues/2019/I_2019_03_Pekarcikova_Trebuna_Kliment.pdf

PETRŮ, J. a R. ČEP. *Základy montáže: učební text*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2773-5.

RUSHTON, A., P. CROUCHER a P. BAKER. *The handbook of logistics and distribution management*. 5th ed. London: Chartered Institute of Logistics and Transport, 2014. ISBN 978-0-7494-6627-5.

SAE International. Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles. *SAE Mobilus* [online]. 2021 [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: https://saemobilus.sae.org/content/j3016_202104

SIVASANKARAN, P. a P. SHAHABUDEEN. Literature review of assembly line balancing problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2014, **73**, 1665-1697.

Smart Box [online]. Kuřim: Smart product solution s.r.o., 2022 [2022-08-11]. Dostupné z: <https://www.smartbox4you.com/cz/obaly-a-lean/boxy/vstrikolisove-boxy/klt-boxy>

ŠÍDLO, D. *Aktuátor s PVC gelem*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2017. Bakalářská práce.

Toyota Lean Academy. Toyota material handling [online]. 2022 [cit. 2022-12-29]. Dostupné z: <https://toyota-forklifts.cz/toyota-lean-academy/toyota-way/>

TRYON, R. C. Cumulative Communalities Cluster Analysis. *Educational and Psychological Measurement* [online]. 1958, **18**(1), 3–35. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/001316445801800102>

Uličky a dopravní komunikace na pracovišti. BOZPinfo.cz - Časopis JOSRA [online]. 2002 [cit. 2022-12-23]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/ulicky-a-dopravni-komunikaci-na-pracovisti>

ULLRICH, G. *Automated guided vehicle systems*. Wiesbaden: Springer, 2015. ISBN 978-3-662-44813-7.

Underrun AGVs. Asseco CEIT. [online] 2022. [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: <https://www.asseco-ceit.com/en/agv-systems/mouse-agv/>

VAN GILS, T., K. R-AMAEKERS, A. CARIS, R.B.M. DE KOSTER. Designing efficient order picking systems by combining planning problems: State-of-the-art classification and review. *European journal of operational research*. 2018, **267**(1), 1-15.

VAVRA, C. Připojte I/O systémy k IloT. *Vše o průmyslu – Portál pro digitalizovanou výrobu* [online]. 2022 [cit. 2022-11-26]. Dostupné z: <https://www.vseoprmyslu.cz/digitalizace/prumyslovy-internet-veci/pripojte-i-o-systemy-k-iiot.html>

VDI 2710 - Interdisciplinary design of automated guided vehicle systems (AGVS). VDI e.V. [online]. 2019 [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: <https://www.vdi.de/en/home/vdi-standards/details/vdi-2710-interdisciplinary-design-of-automated-guided-vehicle-systems-agvs>

Výrobce speciálních kontejnerů a univerzálních palet [online]. Mrakov: Stauner palet s.r.o., 2022 [2022-08-11]. Dostupné z: <https://stauner.cz/specialni-palety-pro-lisovane-dily>

Výrobní logistika. Dobrá logistika: Řešení logistiky a systémů skladování [online]. Horní Počernice, 2022 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.dobralogistika.cz/vyrobní-logistika--1>

WANG, C. a J. MAO. Summary of AGV path planning. *3rd International conference on electronic information technology and computer engineering (EITCE)*. 2019, s. 332-335.

WINKELHAUS, S. a E. H. GROSSE. Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system. *International Journal of Production Research*. 2020, **58**(1), 18.

WOMACK, J. P., D. T. JONES a D. ROOS. *The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production-Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars that is Now Revolutionizing World Industry*. Rawson Associates Macmillan Publishing Company, 2007, s. 48-70.

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Struktura logistického řetězce	8
Obr. 2 Volba typu manipulačního zařízení v závislosti na frekvenci zavážení a vzdálenosti	14
Obr. 3 Ilustrace univerzálních manipulačních jednotek	15
Obr. 4 Ilustrace speciální manipulační jednotky	16
Obr. 5 Srovnání lean a průmyslu 4.0	21
Obr. 6 Jeden z prvních AGV vyvinutých v Americe	23
Obr. 7 Vidlicové AGV	25
Obr. 8 AGV tahač se zapřažený E-rámem	26
Obr. 9 Podjezdové AGV	27
Obr. 10 P/D stanice	27
Obr. 11 Vysoko zátěžové AGV	28
Obr. 12 Princip indukčně naváděného AGV	29
Obr. 13 Princip opticky naváděného AGV	29
Obr. 14 Princip laserově naváděného AGV	30
Obr. 15 Princip magneticky naváděného AGV	31
Obr. 16 Princip AGV naváděného pomocí GPS	31
Obr. 17 Princip samonaváděného AGV	32
Obr. 18 Pyramida automatizace – hierarchické centralizované systémy konvenční interní logistiky	35
Obr. 19 Stupně automatizace směrem k autonomním intralogistickým systémům	37
Obr. 20 Montážní hala M1	47
Obr. 22 Layout komunikací mezi montážní linkou	50
Obr. 22 Rozdíl v trasování AGV a AMR	54

Obr. 23 Trajlerová souprava.....	55
Obr. 24 Graf četnosti hmotnosti převážených GLT v hale M1	56
Obr. 25 Shlukování GLT podle délky a šířky	58
Obr. 26 Grafické zobrazení výsledných clusterů	59
Obr. 27 Layout M1 s vyznačenými takty zástavby vybraných GLT	62
Obr. 28 Průměrné využití AGV v předchozím pilotním nasazení AGV ve stejném provozu	64

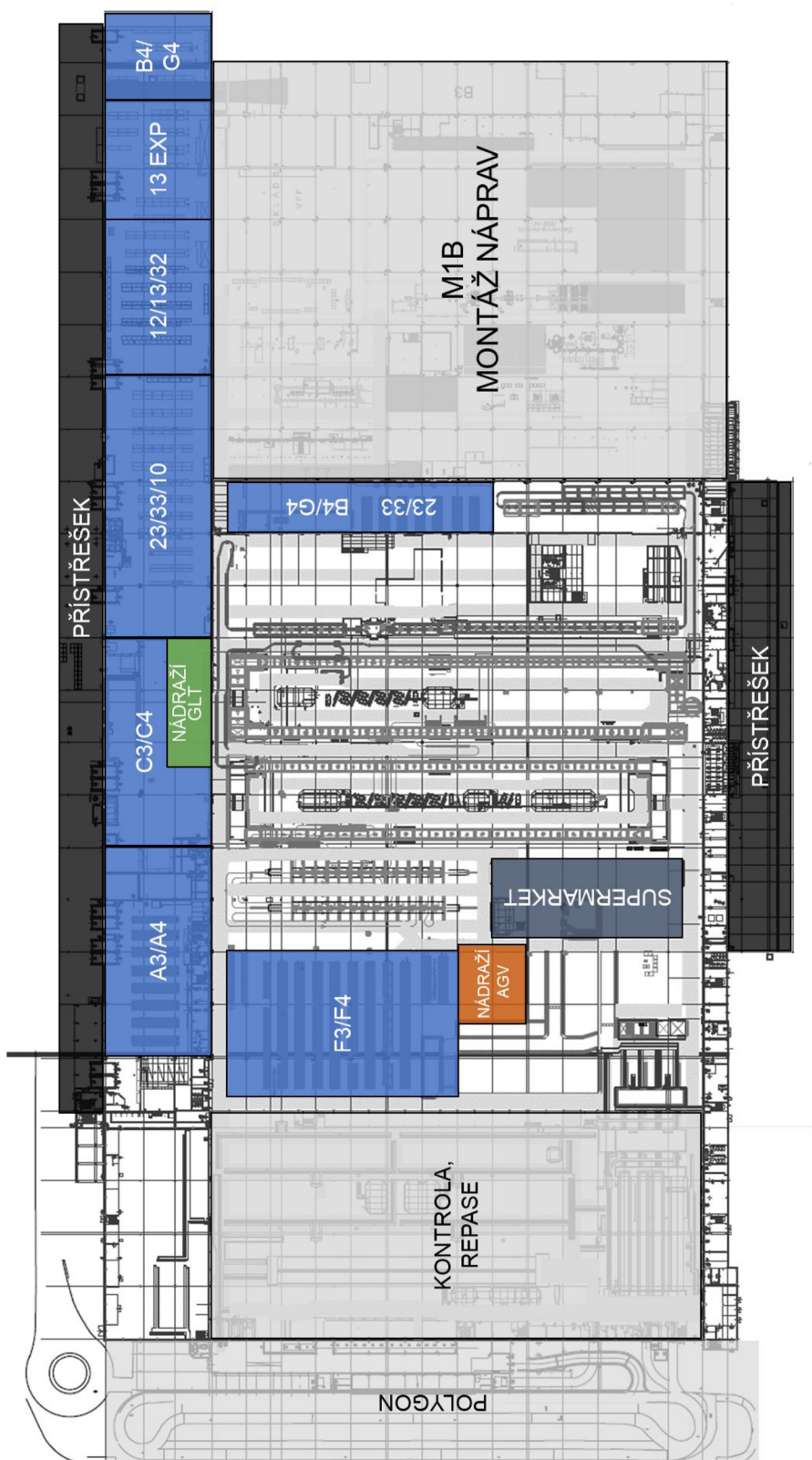
Seznam tabulek

Tab. 1 Obecná klasifikační matice pro autonomní intralogistické systémy	37
Tab. 2 Klasifikační matice autonomie pro zavedení AGV v interní logistice	39
Tab. 3 Fáze plánování AGV podle VDI 2710.....	40
Tab. 4 Specifikace podjezdového AGV 1200F od společnosti Asseco CEIT	53
Tab. 5 Aktuálně využívané typy podvozků pro díly v GLT	55
Tab. 6 Tabulka kumulativních relativních četností pro hmotnostní třídy	55
Tab. 7 Rozměrově jedinečné typy palet	57
Tab. 8 Navrhované rozměry podvozků pro vytvořené clustery	59

Seznam příloh

Příloha 1 Layout montážní haly M1	79
Příloha 2 Seznam čísel dílů zavážených v GLT k montážní lince	80
Příloha 3 Matice jedinečných typů GLT s vypočtenými Euklidovskými vzdálenostmi	81
Příloha 4 Šířky ulic a úzká místa v hale M1	82
Příloha 5 Výběr GLT pro pilotní nasazení podjezdových AGV	83

Příloha 1 Layout montážní haly M1



Zdroj: Upraveno dle (Interní dokumentace ŠA, 2022)

Příloha 2 Seznam čísel dílů zavážených v GLT k montážní lince

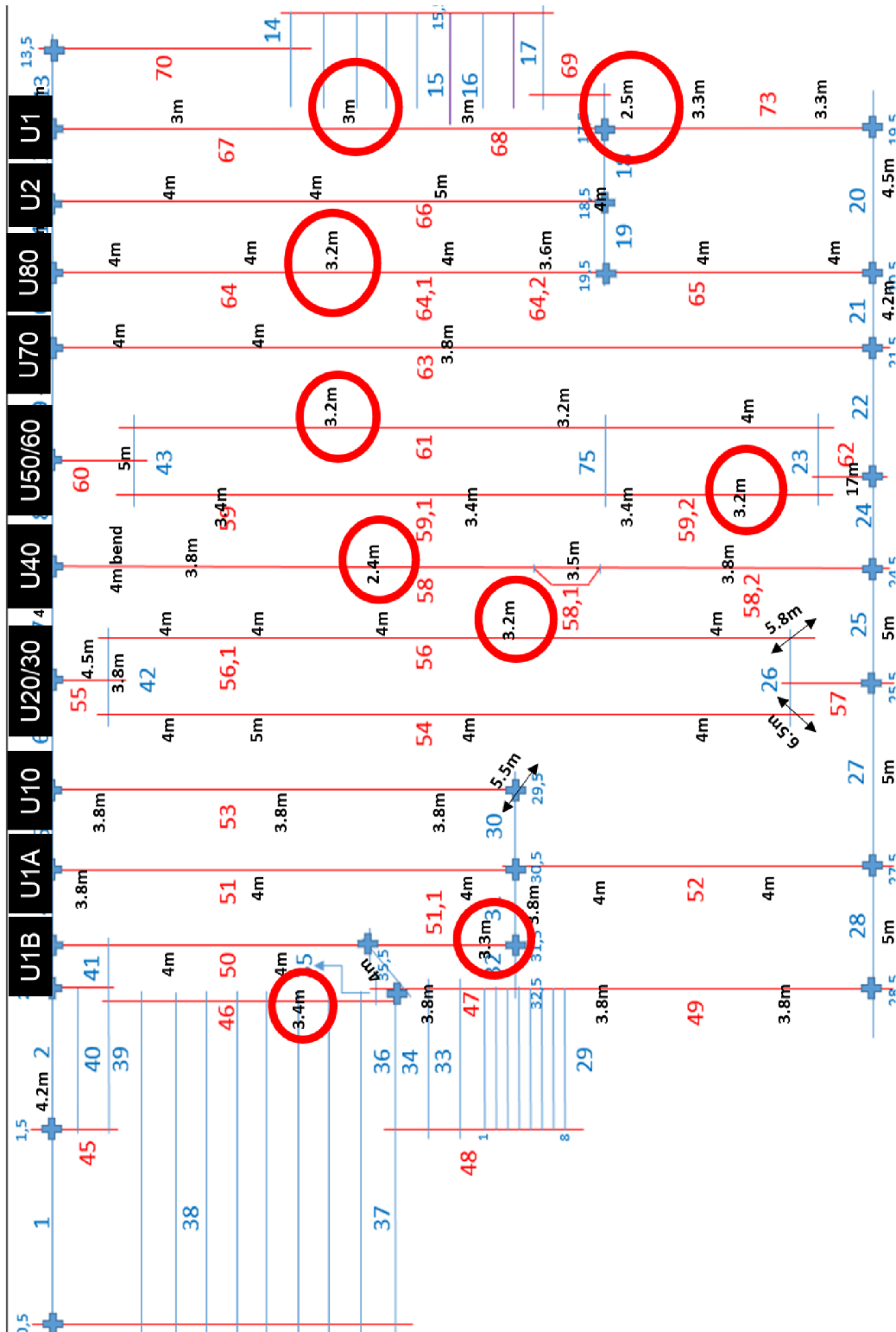
č.	Číslo dílu	Hmotnost palety [kg]	Délka palety [mm]	Šířka palety [mm]	Výška palety [mm]
1	6C0199111D	176,2	1 000	600	517
2	6R0825921	183,9	1 000	600	517
3	6R0825922	188,4	1 000	600	517
4	657955405B	52,4	1 000	600	821
5	657955405C	51,7	1 000	600	821
6	657955406B	50,2	1 000	600	821
7	657955406C	50,1	1 000	600	821
8	6V0837479B	144,8	1 000	600	1 050
9	6V0837480B	144,8	1 000	600	1 050
10	6V6839479B	111,8	1 000	600	1 050
11	6V6839480B	111,8	1 000	600	1 050
12	1K0253141F	170,9	1 000	600	517
13	1K0253141E	164,3	1 000	600	517
14	654823535	58,0	1 005	605	693
15	657854541	159,0	1 005	605	693
16	657854542	159,0	1 005	605	693
17	657864908	29,4	1 005	605	693
18	658854541	242,5	1 005	605	693
19	658854542	244,0	1 005	605	693
20	658864908	30,5	1 005	605	693
21	2Q0201655A	92,2	1 005	605	693
22	2Q0201801A	50,3	1 005	605	693
23	2Q0612041AM	31,0	1 005	605	693
24	2Q0612041P	32,3	1 005	605	693
25	2Q0711951F	65,2	1 005	605	693
26	2Q0711951J	62,4	1 005	605	693
27	2Q0711952F	65,2	1 005	605	693
28	2Q0711952J	62,4	1 005	605	693
29	2Q2721465F	67,6	1 005	605	693
30	5Q0199117A	167,0	1 005	605	693
↓					
487	6VC863934A	244,2	1 800	1 200	999

Zdroj: Upraveno dle (Interní dokumentace ŠA, 2022)

**Príloha 3 Matice jedinečných typů GLT s vypočtenými
Euklidovskými vzdálenostmi**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1		0,007	0,269	0,283	0,447	0,721	0,454	0,461	0,332	0,566	0,539	0,849	0,861	1,000
2	0,007		0,262	0,276	0,441	0,714	0,447	0,454	0,325	0,559	0,532	0,841	0,854	0,993
3	0,269	0,262		0,020	0,220	0,465	0,225	0,230	0,065	0,297	0,301	0,580	0,593	0,732
4	0,283	0,276	0,020		0,200	0,447	0,205	0,210	0,049	0,283	0,300	0,566	0,578	0,721
5	0,447	0,441	0,220	0,200		0,283	0,007	0,014	0,169	0,200	0,361	0,447	0,460	0,632
6	0,721	0,714	0,465	0,447	0,283		0,276	0,269	0,401	0,200	0,412	0,200	0,210	0,400
7	0,454	0,447	0,225	0,205	0,007	0,276		0,007	0,173	0,195	0,359	0,441	0,453	0,626
8	0,461	0,454	0,230	0,210	0,014	0,269	0,007		0,177	0,190	0,358	0,434	0,446	0,620
9	0,332	0,325	0,065	0,049	0,169	0,401	0,173	0,177		0,233	0,267	0,516	0,529	0,673
10	0,566	0,559	0,297	0,283	0,200	0,200	0,195	0,190	0,233		0,224	0,283	0,296	0,447
11	0,539	0,532	0,301	0,300	0,361	0,412	0,359	0,358	0,267	0,224		0,412	0,423	0,500
12	0,849	0,841	0,580	0,566	0,447	0,200	0,441	0,434	0,516	0,283	0,412		0,013	0,200
13	0,861	0,854	0,593	0,578	0,460	0,210	0,453	0,446	0,529	0,296	0,423	0,013		0,190
14	1,000	0,993	0,732	0,721	0,632	0,400	0,626	0,620	0,673	0,447	0,500	0,200	0,190	

Príloha 4 Šírky ulíc a úzká miesta v hale M1



Zdroj: Upraveno dle (Ibachache, 2022)

Příloha 5 Výběr GLT pro pilotní nasazení podjezdových AGV

Ozrn.	Název dílu	Ozrn. Palet / paleta	Počet ks / paleta	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Váha břemene	Ulice	Takt	Vzdálenost [m]	FABIA III	FABIA IV	SCALA	KAMIQ	Počet palet / směna	Čas jízdy 1 okruhu [min]	Čas jízdy / směna [min]	Čas jízdy a manipulace / směna [min]
1	KRYT ZAVAZADL. PROSTORU	GT14522	12	1 210	1 010	990	66,6	U40	T118	136	0%	100%	0%	0%	10,28	9,07	93,25	134,36
2	KRYT ZAVAZADL. PROSTORU	GT14522	12	1 210	1 010	990	69,4	U40	T118	136	0%	0%	50%	0%	4,01	9,07	36,37	52,40
3	REZONATOR	114888	84	1 210	1 010	990	94,1	U40	T116	131	0%	27%	0%	0%	0,39	8,71	3,41	4,98
4	VÝPLŇ ZADNÍHO VÍKA	GT28249	10	1 610	1 208	759	81,0	U50	T102	47	0%	100%	0%	0%	12,33	3,15	38,89	88,22
5	KRYT ZAVAZADL. PROSTORU	GT14522	12	1 210	1 010	990	68,1	U50	T118	130	0%	0%	50%	0%	3,96	8,65	34,30	50,16
5	OBLOŽENÍ PODBĚHU	GT28603	7	1 200	1 000	955	42,2	U60	T94	84	0%	94%	0%	0%	16,60	5,57	92,50	158,89
5	OBLOŽENÍ PODBĚHU	GT25060	6	1 200	1 000	870	43,7	U60	T94	84	0%	0%	94%	80%	39,00	5,57	217,35	373,35
6	VÝPLŇ ZADNÍHO VÍKA	GT25061	10	1 610	1 208	759	80,2	U60	T97	67	0%	0%	100%	0%	9,57	4,43	42,41	80,68
7	VÝPLŇ ZADNÍHO VÍKA	510429	10	1 600	1 200	750	77,7	U70	T97	77	100%	0%	0%	0%	2,50	5,14	12,85	22,85
7	VÝPLŇ ZADNÍHO VÍKA	530279	18	1 600	1 200	990	80,0	U70	T97	77	0%	0%	0%	100%	9,96	5,14	51,21	91,06
7	VÝPLŇ ZADNÍHO VÍKA	530279	18	1 600	1 200	990	86,7	U70	T97	77	0%	0%	100%	0%	5,31	5,14	27,32	48,58
8	OBLOŽENÍ PODBĚHU ZADNÍ	GT25060	18	1 200	1 000	870	50,0	U70	T94	81	0%	0%	94%	80%	13,00	5,40	70,20	122,20
8	OBLOŽENÍ PODBĚHU ZADNÍ	GT28603	21	1 200	1 000	955	49,2	U70	T94	81	0%	94%	0%	0%	5,53	5,40	29,87	52,00
9	KONZOLA BATERIE	114888	124	1 210	1 010	990	173,8	U80	T62	133	0%	100%	100%	100%	3,21	8,86	28,46	41,31
10	HADICE BRZDOVÁ	0013SCH	750	1 200	780	1 100	145,0	U80	T225	130	0%	200%	200%	200%	1,06	8,68	9,22	13,47
11	AIRBAG HLAVOVÝ	508078	88	1 200	1 000	1 020	353,5	U20	T10	151	0%	0%	99%	100%	3,11	10,03	31,22	43,66
12	KANÁL ROZVODOU VZD.	114888	52	1 210	1 010	990	69,9	U30	T28	217	100%	0%	0%	0%	0,48	14,44	6,94	8,87

Předpokládaný počet vozů/den pro listopad 2022			
FABIA III	FABIA IV	SCALA	KAMIQ
75	370	287	538

Zdroj: Upraveno dle (Interní dokumentace ŠA, 2022)

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Bc. Aneta Klusoňová		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	Specializace Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců		
NÁZEV PRÁCE	Pilotní nasazení podjezdových AGV na montážní hale pro výrobu osobních automobilů		
VEDOUCÍ PRÁCE	prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.		
KATEDRA	KRVLK - Katedra řízení výroby, logistiky a kvality	ROK ODEVZDÁNÍ	2023
POČET STRAN	83		
POČET OBRÁZKŮ	28		
POČET TABULEK	8		
POČET PŘÍLOH	5		
STRUČNÝ POPIS	<p>Diplomová práce se zabývá zavážením materiálu pomocí podjezdových AGV na montážní hale pro výrobu osobních automobilů. Za účelem dosažení cíle práce byla provedena literární rešerše v oblasti interní logistiky a technologie AGV.</p> <p>Jedním z výstupů praktické části je analýza, na jejímž základě je stanoven návrh pilotního nasazení podjezdových AGV včetně kapacitního vyhodnocení. Navržené řešení je podrobeno hodnocení včetně návrhu doporučení směřování budoucího vývoje podjezdových AGV směrem k požadavkům interní logistiky.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	Interní logistika, podjezdové AGV, pilotní nasazení, intralogistické systémy		

ANNOTATION

AUTHOR	Bc. Aneta Klusoňová		
FIELD	Specialization International Supply Chain Management		
THESIS TITLE	Pilot implementation of underrun AGVs in an assembly hall for the production of personal vehicles		
SUPERVISOR	prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.		
DEPARTMENT	KRVLK - Department of Production, Logistics and Quality Management	YEAR	2023
NUMBER OF PAGES	83		
NUMBER OF PICTURES	28		
NUMBER OF TABLES	8		
NUMBER OF APPENDICES	5		
SUMMARY	<p>This Master thesis deals with line-feeding of material with underrun AGVs in an assembly hall for personal vehicle production. In order to achieve the goal of this thesis, literature review in the area of internal logistics and AGV technology is created.</p> <p>One of the conclusions of practical part is analysis for pilot implementation of underrun AGVs and capacity analysis. Suggested pilot implementation is evaluated and created suggestion of future development of underrun AGVs according to requirements of internal logistics.</p>		
KEY WORDS	Internal logistics, Underrun AGV, Pilot implementation, Intralogistics systems		