

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Návrh hodnotících kritérií pro aplikaci autonomní manipulační techniky

Vladyslava Boichuk

Bakalářská práce
2025

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Vladyslava Boichuk**
Osobní číslo: **D21669**
Studijní program: **B1041A040002 Technologie a management v dopravě**
Specializace: **Logistika**
Téma práce: **Návrh hodnoticích kritérií pro aplikaci autonomní manipulační techniky**
Zadávající katedra: **Katedra dopravního managementu, marketingu a logistiky**

Zásady pro vypracování

Úvod
1. Teorie skladování
2. Analýza autonomní manipulační techniky
3. Návrh hodnoticích kritérií
Závěr

Rozsah pracovní zprávy: **35-45 stran**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucí/ho**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:
dle pokynů vedoucí/ho práce

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Libor Bauer, Ph.D.**
Katedra dopravního managementu, marketingu
a logistiky

Datum zadání bakalářské práce: **31. října 2023**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. června 2025**

L.S.

doc. Ing. Ladislav Řoutil, Ph.D.
děkan

Ing. Pavla Lejsková, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 18. června 2025

Prohlašuji:

Práci s názvem Návrh hodnotících kritérií pro aplikaci autonomní manipulační techniky jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 24. června 2025.

Vladyslava Boichuk v. r.

Ráda bych poděkovala vedoucímu své bakalářské práce Ing. Liboru Bauerovi, Ph.D., za vstřícný přístup, cenné rady, trpělivost a podporu, kterou mi poskytoval po celou dobu zpracování této práce. Dále děkuji své rodině za morální podporu a za to, že ve mně vždy věří.

ANOTACE

Práce se zabývá návrhem hodnoticích kritérií pro aplikaci autonomní manipulační techniky (AMT) ve skladovém prostředí. Jejím cílem je identifikovat klíčové faktory ovlivňující efektivní implementaci AMT a na základě těchto faktorů vytvořit hodnoticí kritéria a přiřadit váhy jako podporu pro strategické rozhodování. Výstupem práce je soubor doporučení, který napomáhá při rozhodování o zavedení AMT v různých typech skladových prostředí.

KLÍČOVÁ SLOVA

sklady, autonomní manipulační technika, logistika, hodnoticí kritéria

TITLE

Proposal of Evaluation Criteria for the Application of Autonomous Material Handling Technology

ANNOTATION

The work focuses on designing evaluation criteria for the application of autonomous material handling technology (AMT) in warehouse environments. Its aim is to identify key factors influencing the effective implementation of AMT and, based on these factors, to develop a set of evaluation criteria with assigned weights to support strategic decision-making. The output of the thesis is a set of recommendations that assists in deciding on the deployment of AMT across different types of warehouse operations.

KEYWORDS

warehouses, autonomous material handling technology, logistics, evaluation criteria

OBSAH

| | |
|---|----|
| ÚVOD | 9 |
| 1 SKLADY A MANIPULAČNÍ TECHNIKA | 10 |
| 1.1 Definice skladování..... | 10 |
| 1.2 Cíle skladování..... | 10 |
| 1.3 Skladové operace | 11 |
| 1.3.1 Přesun produktů | 12 |
| 1.3.2 Uskladnění produktů | 13 |
| 1.3.3 Přenos informací | 13 |
| 1.4 Manipulace s materiálem | 14 |
| 1.4.1 Manualní sklady | 14 |
| 1.4.2 Mechanizované sklady | 15 |
| 1.4.3 Automatizované sklady | 16 |
| 1.5 Manipulační technika | 17 |
| 1.5.1 Manipulační technika s obsluhou..... | 17 |
| 1.5.2 Autonomní manipulační technika | 19 |
| 2 ANALÝZA AUTONOMNÍ MANIPULAČNÍ TECHNIKY | 25 |
| 2.1 Typy AMT vhodné pro různé typy skladů..... | 25 |
| 2.1.1 Automatizované skladovací a vychystávací systémy (AS/RS)..... | 25 |
| 2.1.2 Systémy AGV a AMR | 27 |
| 2.1.3 Robotická ramena a pick-and-place systémy | 28 |
| 2.1.4 Drony pro inventarizaci..... | 30 |
| 2.2 Typy AMT vhodné pro různé typy komodit | 31 |
| 2.2.1 Malé a lehké produkty (e-commerce, farmacie) | 31 |
| 2.2.2 Velké a těžké produkty..... | 32 |
| 2.2.3 Chlazené zboží a nebezpečné materiály | 33 |
| 2.3 Typy vybavení skladu a aplikace AMT v nich | 34 |
| 2.3.1 Regálové systémy..... | 34 |
| 2.3.2 Dopravníkové systémy..... | 37 |
| 2.3.3 Systémy pro sledování zboží (RFID, IoT senzory)..... | 38 |
| 2.4 Trendy vývoje AMT a současné limity..... | 39 |
| 2.4.1 Trendy ve vývoji AMT | 39 |
| 2.4.2 Současné limity AMT | 40 |

| | | |
|-----|---------------------------------|----|
| 3 | NÁVRH HODNOTÍCÍCH KRITÉRIÍ..... | 41 |
| 3.1 | Účel a metodika návrhu | 41 |
| 3.2 | Stanovení kritérií..... | 41 |
| 3.3 | Váhy hodnotících kritérií | 42 |
| | ZÁVĚR | 47 |
| | POUŽITÁ LITERATURA..... | 48 |
| | SEZNAM TABULEK..... | 51 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 52 |
| | SEZNAM ZKRATEK..... | 53 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 55 |

ÚVOD

Rostoucí nároky na efektivitu, flexibilitu a přesnost skladových operací vedou v posledních letech k výraznému rozvoji a aplikaci moderních technologií v oblasti logistiky. Jedním z klíčových směrů tohoto vývoje je využívání autonomní manipulační techniky (AMT), která umožňuje automatizovat procesy manipulace se zbožím bez přímého zásahu člověka. Tato technologie nachází uplatnění především ve skladech, distribučních centrech a výrobních provozech, kde přispívá ke zvýšení produktivity, bezpečnosti a snížení provozních nákladů.

Zavádění AMT do skladového prostředí však není univerzálním řešením. Úspěšnost její implementace závisí na celé řadě faktorů – od typu skladovaného zboží a organizace prostoru, přes úroveň digitalizace a automatizace podniku, až po nákladové možnosti investora. Vzhledem k různorodosti skladových provozů i autonomních technologií je proto nezbytné vytvořit soubor hodnoticích kritérií, které umožní objektivně posoudit vhodnost a přínos zavedení AMT v konkrétních podmínkách.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout hodnoticí kritéria pro aplikaci autonomní manipulační techniky ve skladu, která budou sloužit jako podpůrný nástroj při rozhodování o jejím zavedení. K naplnění tohoto cíle je nejprve provedena analýza dostupných typů AMT a jejich vhodnosti pro různé typy skladů, komodit a skladového vybavení. Dále je zmapováno využití těchto technologií v praxi prostřednictvím případových studií. Na základě získaných poznatků je navržen dotazník, jehož výsledky jsou zpracovány pomocí vícekritériální analýzy. Výstupem je návrh strukturovaného souboru hodnoticích kritérií, který zohledňuje jak technické, tak i ekonomické a provozní aspekty.

Výsledky této práce mohou být využity jako metodická pomůcka při rozhodování firem o implementaci AMT a přispět tak k efektivnějšímu plánování automatizace v oblasti skladového hospodářství.

1 SKLADY A MANIPULAČNÍ TECHNIKA

Tato kapitola představuje základní informace o skladování. Vysvětluje, co skladování znamená, proč je důležité a jaké má hlavní cíle. Dále popisuje nezbytné činnosti, které se ve skladu provádějí a které jsou důležité pro fungování celého logistického procesu.

1.1 Definice skladování

Sixta a Mačát (2005) ve své knize popisují skladování jako jednu z nejdůležitějších částí logistického systému, která tvoří spojovací článek mezi výrobcí a zákazníky. Uskladněné produkty jsou zabezpečeny jak v místě jejich vzniku, tak i mezi místem vzniku a místem spotřeby. Podle autorů sklady pomáhají překlenout prostor a čas. Výrobní zásoby zabezpečují plynulost výroby a také plynulé zásobování obyvatelstva.

Waters (2003) používá stručnou a obecnou definici pro sklad, která zní: „Sklad je jakékoliv místo, kde jsou na své cestě skrz dodavatelský řetězec drženy zásoby materiálů. Kromě skladování mohou sklady sloužit také k řadě dalších činností.“

Jak uvádí Waters (2003), mnoho organizací používá sklady jako vhodná místa pro provádění různých souvisejících činností. Je zřejmé, že je lze využít k prohlížení, třídění materiálů a jejich distribuci (přijímání velkých dodávek a jejich dělení na menší množství). Mohou být také využívány pro dokončení hotových výrobků, označování, balení, přípravu produktů „připravených do obchodu“ pro maloobchodníky, provádění dalších aspektů postponementu, správu inventářů dodavatelů a podobně. Celkový trend směřuje k tomu, aby sklady vykonávaly více úkolů, přinášely pozitivní přidanou hodnotu, místo aby byly čistým nákladovým centrem.

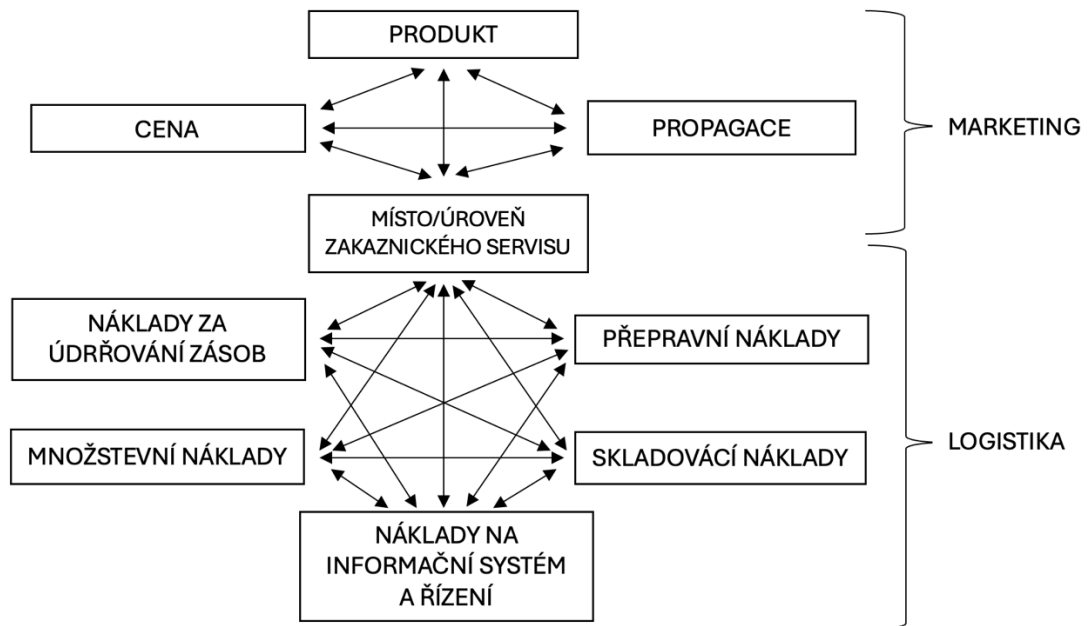
1.2 Cíle skladování

V této podkapitole jsou popsány hlavní cíle skladování, na které je důležité se zaměřit pro zajištění efektivního fungování skladu.

Waters (2003) uvádí ve své práci, že cílem skladu je podpořit širší logistickou funkci tím, že poskytuje kombinaci vysoké úrovně zákaznických služeb a nízkých nákladů. Konkrétnější cíle zahrnují:

- poskytování potřebného skladovacího prostoru v klíčových bodech dodavatelského řetězce;
- bezpečné skladování materiálů požadovaného typu;
- udržování všech materiálů v dobrém stavu s minimálním poškozením;
- zajištění vysoké úrovně zákaznických služeb;

- efektivní provádění všech potřebných činností při nízkých nákladech;
- dosahování vysoké produktivity a maximálního využití zdrojů;
- efektivní a bezchybné řízení všech pohybů materiálů;
- třídění materiálů po příchodu a jejich rychlý přesun do skladu;
- rychlý výběr materiálů pro expedici, jejich přesun ze skladu a konsolidace dodávek;
- schopnost skladovat širokou škálu potřebných materiálů;
- dostatečná flexibilita pro efektivní zvládnání změn v úrovni zásob;
- umožnění speciálních podmínek, jako je rotace zásob, a další specifické požadavky;
- zajištění bezpečných pracovních podmínek a dodržování platných předpisů.



Obrázek 1 Nákladové vazby, které je nutné respektovat v logistickém systému (upraveno autorkou podle: Sixta a Mačát, 2005)

1.3 Skladové operace

Skladování zahrnuje tři klíčové funkce: přesun produktů, jejich uskladnění a přenos informací o zásobách. Aktuálním trendem je rostoucí zaměření na efektivitu pohybu produktů, jelikož podniky stále více usilují o zrychlení obratu zásob a plynulý tok objednávek od výroby až po konečnou distribuci či dodávku zákazníkům (Lambert, Stock a Ellram, 2005).

1.3.1 Přesun produktů

Funkci přesunu jde dál rozčlenit na několik následujících činností:

- příjem zboží
- transfer nebo ukládání zboží
- kompletace zboží podle objednávky
- překládka zboží (cross-docking)
- odeslání expedice zboží

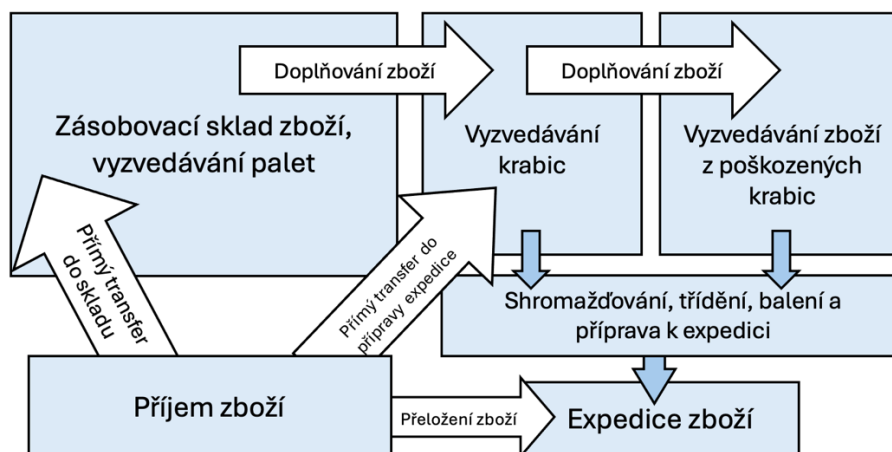
Příjem zboží zahrnuje fyzické vyložení a rozbalení zboží z dopravního prostředku, aktualizaci záznamů v databázi zásob, kontrolu kvality zboží (např. poškození) a porovnání fyzického počtu položek s údaji uvedenými v průvodní dokumentaci.

Transfer nebo uskladnění zahrnuje fyzický přesun produktů do skladu, jejich uložení, přemísťování do oblasti speciálních služeb (např. konsolidace) nebo přesun do místa, kde budou připraveny k expedici.

Důležitou součástí přesunu je kompletace zboží dle jednotlivých objednávek, při které se produkty seskupují podle požadovaného sortimentu a množství, které zákazník objednal. V této fázi se také připravují balicí listy.

Při překládce zboží metodou cross-docking se vynechává proces uskladnění, protože zboží je přemísťováno z místa příjmu přímo na místo expedice. Kompletní cross-docking navíc eliminuje potřebu uskladnění, transferu i kompletace objednávek. Klíčovou roli zde sehrává přesná koordinace informačních toků, jelikož tyto dodávky vyžadují vysokou úroveň koordinace všech činností.

Expedice zboží, jako závěrečná činnost v rámci pohybu zásob, zahrnuje zabalení a fyzický přesun zásilek, které byly připraveny dle zákaznických objednávek, do přepravního prostředku. Součástí je také aktualizace skladových záznamů a kontrola zboží vůči požadavkům objednávek. Tento proces může rovněž zahrnovat třídění a balení výrobků pro specifické zákazníky. Produkty jsou umístěny do krabic, kartonů nebo jiných přepravních obalů, poté paletizovány nebo zabaleny do smršťovací fólie a označeny informacemi důležitými pro dopravu – jako je místo odeslání, destinace, přepravce, příjemce a obsah zásilky (Lambert, Stock a Ellram, 2005).



Obrázek 2 Typické funkce skladování a související toky produktů (upraveno autorkou podle: Lambert, Stock a Ellram, 2005)

1.3.2 Uskladnění produktů

Uskladnění produktů je druhou základní funkcí skladování. Tuto operaci je možné provádět jak přechodné, tak i na časově omezené bázi.

Přechodné uskladnění slouží k podpoře přesunu produktů a zahrnuje pouze dočasné skladování, které je nutné pro průběžné doplňování základních zásob. Tento typ uskladnění je vyžadován bez ohledu na aktuální obrat zásob. Jeho rozsah se odvíjí od charakteristik logistického systému a odchylek v dodacích lhůtách dodavatelů i změn v poptávce.

Časově omezené uskladnění se vztahuje na zásoby, které přesahují běžné potřeby doplňování. Tyto zásoby jsou označovány jako nárazníkové nebo pojistné. Mezi hlavní důvody, které vedou k časově omezenému skladování, patří sezónní poptávka, kolísající poptávka, zpracování výrobků (například ovoce či masa), spekulativní nákupy nebo nákupy do zásoby a specifické obchodní podmínky, jako jsou množstevní slevy (Lambert, Stock a Ellram, 2005).

1.3.3 Přenos informací

Přenos informací, který je třetí hlavní složkou skladování, probíhá současně s přesunem a uskladněním produktů. Pro efektivní řízení všech skladovacích činností potřebuje management vždy aktuální a přesné informace. Důležité jsou údaje o stavu zásob, o produktech v pohybu (tj. množství zboží procházející skladem), o umístění zásob, o dodávkách, zákaznících, využití skladovacích prostor a personálu. Tyto informace jsou důležité pro úspěšné fungování skladu. V současné době podniky stále více využívají počítačové systémy pro přenos informací, které jsou založeny na elektronické výměně dat (EDI) a technologii čárových kódů, které výrazně zlepšují rychlost a přesnost přenosu dat (Lambert, Stock a Ellram, 2005).

1.4 Manipulace s materiálem

Tato podkapitola vysvětluje význam manipulace s materiálem jako základní součásti skladových operací, zahrnující činnosti jako příjem, ukládání a expedici zboží. Dále popisuje různé typy skladů – manuální, mechanizované a automatizované – a porovnává jejich využití, výhody a nároky na vybavení, prostor a pracovní sílu.

Podle Watersa (2003) všechny výše uvedené operace, týkající se přenosu produktu ve skladě (příjem, ukládání, překládka a odeslání zboží) zahrnují a tvoří součást manipulace s materiálem. Autor ve své knize definuje manipulaci se zbožím jako pohyb materiálů na krátké vzdálenosti, obvykle v rámci skladu nebo mezi skladovacími prostory a dopravním prostředkem.

Konkurenční prostředí na trhu klade stále vyšší nároky na přesné a efektivní systémy manipulace, skladování a vyhledávání zboží, stejně jako na vylepšené procesy balení a expedice. Pro efektivní provoz skladu je zásadní nalezení optimální rovnováhy mezi manuálními a automatizovanými manipulačními systémy, což umožňuje dosáhnout vyšší efektivity a přesnosti při nakládání se zásobami (Lambert, Stock a Ellram, 2005).

Některé cíle manipulace s materiálem zahrnují:

- přesouvání materiálu ve skladu podle potřeby
- rychlé přesouvání materiálu, snižování počtu a délky přesunů
- zvyšování hustoty skladování snížením nevyužitého prostoru
- snižování nákladů pomocí efektivních operací
- minimalizaci chyb díky efektivním systémům správy materiálu

Tyto cíle do velké míry závisí na volbě manipulační techniky. Ta může ovlivnit rychlost pohybu, typ materiálu, který lze přesouvat, náklady, uspořádání skladu, počet zaměstnanců a další aspekty (Waters, 2003).

1.4.1 Manuální sklady

Toto uspořádání je pravděpodobně nejjednodušší na představu a stále patří mezi nejčastěji využívané. Položky jsou uloženy na regálech nebo v kontejnerech a pracovníci se po skladu pohybují, vybírají zboží z regálů a ukládají ho do kontejnerů určených k přesunu (např. do vozíků podobných těm v supermarketu). Mohou se využívat různé nástroje, jako jsou paletové vozíky nebo karusely, které přivázejí zboží přímo k pracovníkům, ale základní kontrolu nad pohybem materiálů mají vždy lidé. Podobnou představu si lze udělat při pohledu na provoz supermarketu, což je velmi blízké manuálnímu skladu.

Manuální sklady jsou efektivní pouze tehdy, když jsou položky dostatečně malé a lehké, aby je mohli pracovníci snadno zvedat. Regály musí být umístěny tak, aby na ně pracovníci dosáhli, a zároveň musí být blízko u sebe, aby se minimalizovala vzdálenost, kterou musí projít. Materiály jsou uskladněny na regálech nebo v kontejnerech do výšky přibližně dvou metrů. Sklad musí být vytápěný, dobře osvětlený a uzpůsobený tak, aby pracovníkům poskytoval pohodlné pracovní prostředí (Waters, 2003).

1.4.2 Mechanizované sklady

Mechanizované sklady využívají stroje k usnadnění manipulace s náklady a nahrazují část fyzické práce. Typickými příklady vybavení jsou:

- **Zakladače (reach trucks):** Elektricky poháněné stroje pro přesun a ukládání palet do výšky, vhodné do omezených prostor.
- **Vychystávací stroje:** Modifikace zakladačů, kde je řidič zvedán spolu s materiálem pro práci ve vyšších úrovních.
- **Vysokozdvížené vozíky (forklift trucks):** Standardní nástroj pro manipulaci s paletami, velmi obratné a flexibilní, ale náročné na prostor a provozní náklady.
- **Jeřáby:** Zařízení pro zvedání těžkých materiálů na velké výšky.
- **Tažné linky (towlines):** Pohyblivé kabely pro přesun vozíků po pevné trase.
- **Dopravníky (conveyors):** Systémy pro přesun zboží po pevné trase, například pásové nebo válcové dopravníky.
- **Traktory a vláčky:** Jednotky táhnoucí přívěsy s náklady, podobně jako vlečné čluny.
- **Karusely:** Série pohybujících se boxů pro přepravu a vyprazdňování položek na určených místech.



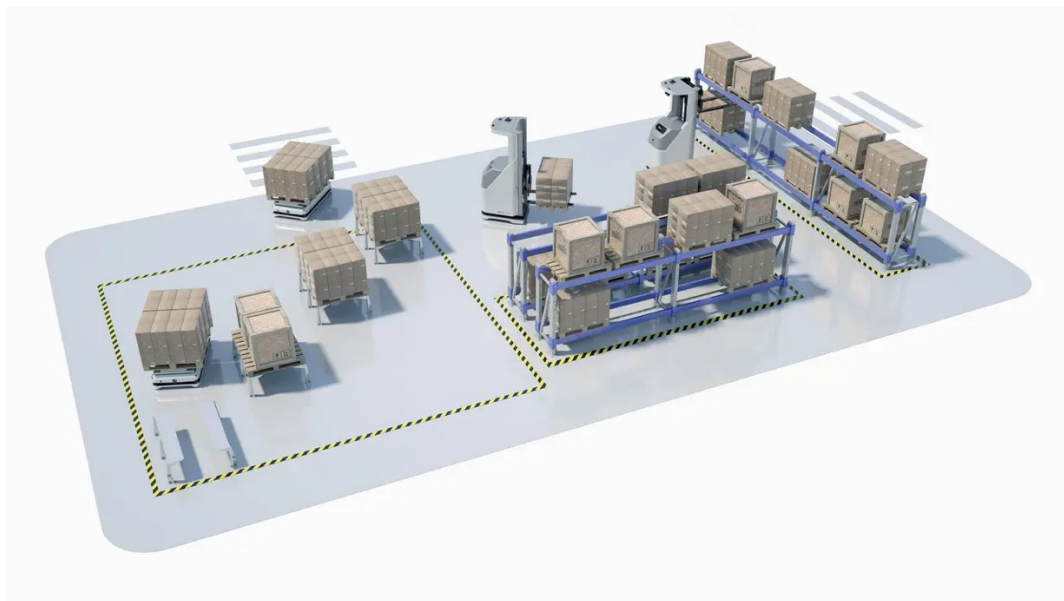
Obrázek 3 Mechanizovaný sklad (Icograms, 2023)

Tyto sklady mohou pojmout těžší zboží a často bývají výrazně větší. Některé stroje a vybavení vyžadují širší uličky pro manévrování, ale regály mohou být mnohem vyšší, obvykle až do výšky 12 metrů při použití vysokozdvížného vozíku, případně ještě vyšší při využití jeřábů nebo jiných zvedacích zařízení.

Klíčovým bodem mechanizovaných systémů je to, že jsou stále ovládány operátorem. Někdo skutečně řídí vysokozdvížný vozík nebo ovládá pohyb po tažné lince. Další alternativou je přenést kontrolu nad pohybem na počítač (Waters, 2003).

1.4.3 Automatizované sklady

Tradiční sklady, i ty mechanizované, mají tendenci mít vysoké provozní náklady. Tyto provozní náklady lze snížit, a zároveň zlepšit některé aspekty služeb, pomocí automatizace. Bohužel to vyžaduje velmi vysoké investice do vybavení a skutečně se to vyplatí pouze pro velmi velké sklady, které manipulují s velkým množstvím materiálů.



Obrázek 4 Automatizace ve skladě (Staubli, n.d.)

Automatizované sklady fungují běžným způsobem, ale obsahují následující prvky:

- skladovací prostory, ke kterým má přístup automatizované vybavení; často využívají úzké uličky, které mohou být vysoké až 40 m, aby dosáhly vysoké hustoty skladování a minimalizovaly vzdálenosti přesunů,
- vybavení pro přesun materiálu po skladu; obvykle se jedná o automatizovaná naváděná vozidla (AGV), která využívají vodící dráty ve podlaze, ale mohou zahrnovat i dopravníky, traktory nebo jiná manipulační zařízení,

- zařízení pro automatické vychystávání materiálů a jejich uložení do skladu, včetně rychlých stohovacích jeřábů, které mohou velmi rychle dosáhnout na jakékoliv místo v úzkých uličkách,
- vybavení pro přemísťování materiálů mezi různými typy zařízení; tato automatická nakládací a vykládací zařízení mohou zahrnovat průmyslové roboty,
- systém řízení skladu pro záznam umístění materiálu a řízení všech pohybů (Waters, 2003).

1.5 Manipulační technika

Táto odkapitola se zabývá manipulační technikou, která slouží k přesunu, ukládání a manipulaci se zbožím ve skladu. Dělí se na ručně ovládanou techniku a autonomní systémy. Výběr vhodné techniky závisí na potřebách skladu, typu zboží a úrovni automatizace.

1.5.1 Manipulační technika s obsluhou

Rudl a ruční vozík. Rudl (z angl. hand truck) nebo ruční vozík (z angl. hand cart) představují jeden z nejjednodušších a nejlevnějších typů manipulačních prostředků. Používají se pro přepravu menších nákladů na krátké vzdálenosti a poskytují univerzální metodu pro ruční manipulaci s materiálem. Byla navržena celá řada vozíků včetně pohaněných motorem s místem pro obsluhu, určené k tažení řetězce propojených přívěsů (Tompkins et al., 2010).

Paletový vozík. Paletový vozík slouží k nadzvednutí, manévrování a přepravě nákladu na paletě na krátké vzdálenosti. Paletový vozík může být buď ruční (z angl. pallet jack), nebo pohaněný baterií (z angl. pallet truck), což umožňuje jak zvedání, tak přepravu nákladu. Výška zdvihu se obvykle pohybuje mezi 15 až 25 cm. Elektrický paletový vozík se využívá tam, kde přepravní vzdálenost vylučuje možnost chůze (Tompkins et al., 2010).

Plošinový vozík. Plošinový vozík (z angl. walkie platform truck) je jednou z variant takových vozíků, která místo vidlic pro zvedání a podpírání přepravovaných palet využívá plošinu k podpírání nákladu. Nemá zdvihací schopnost a slouží tedy pouze k přepravě, což vyžaduje použití alternativní metody pro nakládání a vykládání nákladu (Tompkins et al., 2010).

Ručně vedený vysokozdvizný vozík. Ručně vedený vysokozdvizný vozík (z angl. walkie stacker) rozšiřuje možnosti paletového vozíku tak, aby umožnil stohování jednotkových nákladů nebo jejich umístění do skladových regálů. Tento vozík může být buď s konstrukcí typu „straddle“ (s rozpěrami) nebo „reach“ (s dosahem). Typ „straddle“ obklopuje náklad pomocí svých opěrných ramen, zatímco typ „reach“ používá pantograf nebo nůžkový mechanismus, který umožňuje přístup k nákladu a jeho umístění do skladu.

Ručně vedený vysokozdvížený vozík umožňuje zvedání, stohování a přepravu palet na krátké vzdálenosti. Operátor řídí vozík z pozice při chůzi za vozíkem. Právě tento typ vozíku může být vhodným řešením v situacích, kdy je požadován nízký objem manipulace, krátké přepravní vzdálenosti, nízká výška skladování a zároveň cenově dostupná varianta (Tompkins et al., 2010).



Obrázek 5 Ručně vedený vysokozdvížený vozík (Crown Equipment Corporation, n.d.)

Čelní vysokozdvížený vozík. Základním nástrojem pro manipulaci s materiálem je čelní vysokozdvížený vozík (z angl. counterbalanced lift truck). Existují různé varianty těchto konstrukcí; některé jsou vybaveny nastavci ve formě ramen či plošin namísto tradičních vidlic. Stejně jako většina průmyslových vozíků může být poháněn buď baterií, nebo spalovacím motorem, přičemž u spalovacích motorů lze použít benzín, propan nebo naftu.

Pneumatiky na průmyslovém vozíku mohou být buď plné pro vnitřní provoz, nebo nafukovací pro venkovní provoz. Nosnost čelního vysokozdvíženého vozíku se pohybuje od 450 až do více než 45 000 kg.

Jelikož selektivní paletové regály představují standardní způsob skladování, může být čelní vysokozdvížený vozík s protizávažím považován za univerzální prostředek pro nakládku, vykládku a vychystávání, který vyniká flexibilitou a relativně nízkými náklady (Tompkins et al., 2010).



Obrázek 6 Čelní vysokozdvížený vozík (Crown Equipment Corporation, n.d.)

1.5.2 Autonomní manipulační technika

Kategorie automatizovaných průmyslových vozidel se odlišuje tím, že jejich pohon a řízení nevyžadují zásah člověka (Tompkins et al., 2010).

AGV (Automated Guided Vehicles) jsou autonomní vozidla řízená softwarem, která určují svou polohu a pohyb po předem stanovených trasách. Jsou poháněna baterií nebo elektromotorem a slouží k manipulaci s materiálem, montáži i přepravě nákladu různé hmotnosti bez nutnosti lidského zásahu (IQS Directory, n.d.).

AGV systémy jsou nezbytnou součástí automatizace a využívají pokročilé řídicí a naváděcí technologie, které jim umožňují cestovat na dlouhé vzdálenosti a plnit rozmanité úkoly. Navigace probíhá na základě metod, jako jsou vnímání okolí, lokalizace, plánování trasy a řízení pohybu. Ovládání může být realizováno prostřednictvím palubního počítače, centrálního řídicího systému nebo dispečera. Díky těmto technologiím AGV nahrazují manuální práci, zvyšují efektivitu, snižují rizika a minimalizují chybovost (IQS Directory, n.d.).

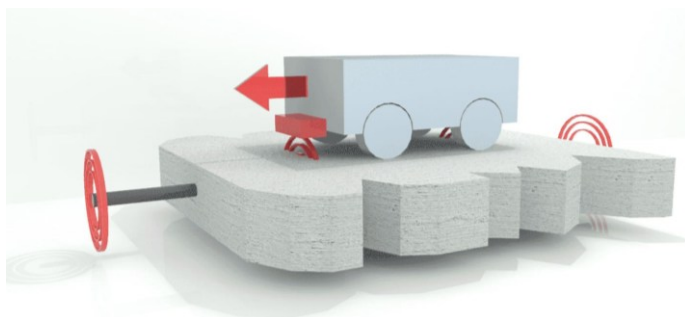
AGV může přijímat instrukce a být programováno prostřednictvím různých technologií, jako jsou fyzické naváděcí prvky, laserová nebo GPS navigace apod. Trasy pro vozíky jsou pečlivě naplánovány tak, aby se vyhnuly možným překážkám, blokacím či rušení, které by mohly narušit jejich provoz (Vecna Robotics, n.d.).

Tyto trasy mohou být jednoduchý okruh nebo složitá síť, přičemž podél cesty může být mnoho určených stanic pro nakládání a vykládání (Tompkins et al., 2010).

Systémy AGV navíc vyžadují hladký a rovný povrch pro optimální výkon, protože nejsou určeny pro pohyb přes díry, nerovnosti nebo praskliny (IQS Directory, n.d.).

Fyzické naváděcí prvky zahrnují vodičí dráhy, pásy a vodiče, které mohou být detekovány aktivně nebo pasivně. Navigační systém využívá pevné referenční body nebo orientační prvky prostředí, které vyhodnocují senzory a řídicí jednotky (IQS Directory, n.d.).

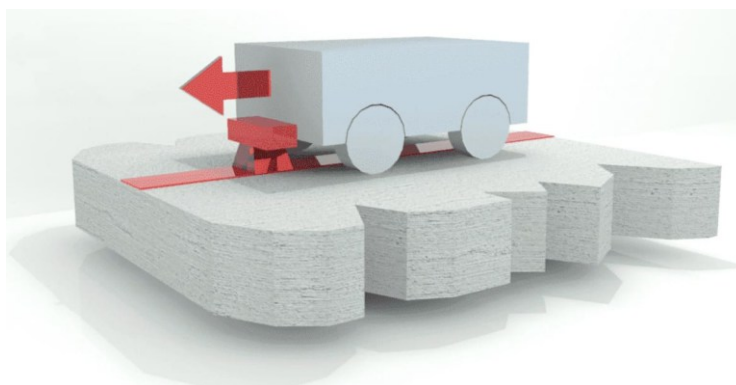
Příkladem je indukční vodičí dráha, která spočívá v zabudování vodiče se střídavým proudem do podlahy. Vodič vytváří elektromagnetické vlny, které zachycují senzory se dvěma cívkami na AGV. Tyto senzory převádějí indukované proudy na analogové signály, které jsou odesílány do řídicího systému (IQS Directory, n.d.).



Obrázek 7 Systém navádění pomocí vodiče (IQS Directory, n.d.)

Příklady fyzických naváděcích prvků zahrnují také magnetické, kovové a optické vodičí pásy. Tyto pásy se aplikují na podlahu a jsou detekovány různými senzory namontovanými na AGV. Magnetické senzory přiblížení využívají Hallův jev k rozpoznání magnetických materiálů, zatímco indukční senzory přiblížení detekují kovové objekty pomocí elektromagnetické indukce. Optické senzory naopak rozpoznávají vodičí pásy podle jejich barvy nebo jiných vizuálních vlastností (IQS Directory, n.d.).

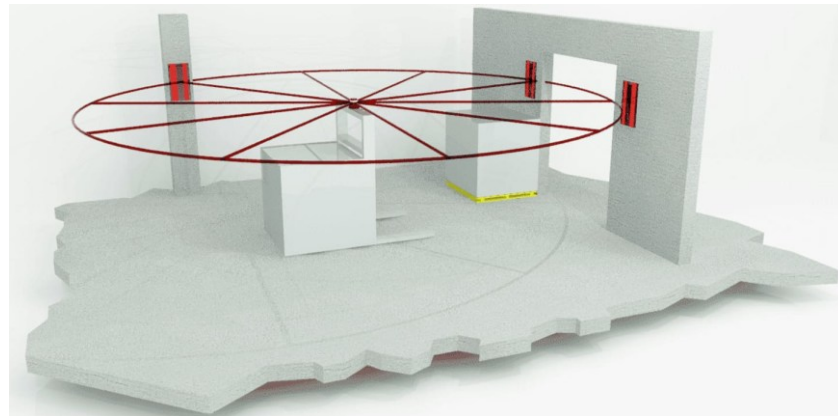
I když jsou fyzické naváděcí prvky obecně cenově výhodnější a snadněji přizpůsobitelné než systémy s vodiči, nemusí dobře fungovat ve znečištěném prostředí nebo v prostorech s vysokým provozem (IQS Directory, n.d.).



Obrázek 8 Systém navádění pomocí pásy (IQS Directory, n.d.)

Laserová navigace je všestranný systém, který využívá aktivní dálkoměrné světelné senzory pro přesné určování polohy. Na stěny nebo objekty se umísťují reflexní značky, například fólie nebo pásy, které laserový senzor snadno detekuje. Pro přesnou triangulaci jsou zapotřebí alespoň tři značky (IQS Directory, n.d.).

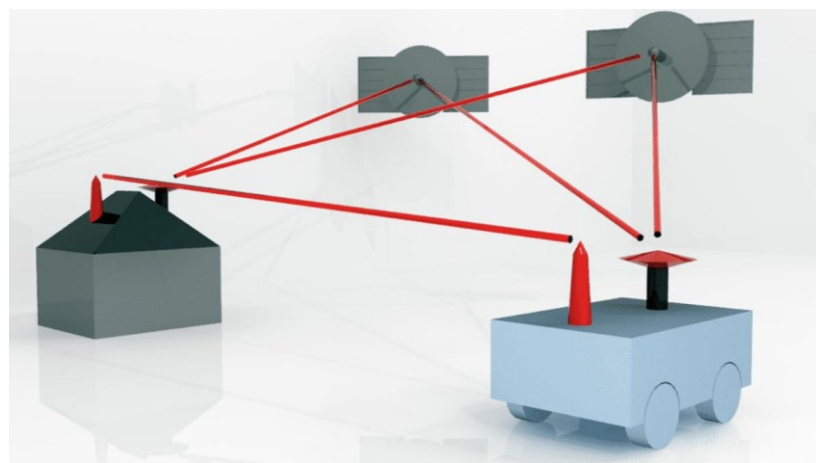
Tento systém umožňuje vozidlu provádět jak lokalizaci, tak plánování trasy. Díky tomu dosahuje vysoké míry flexibility v pohybu a dokáže vypočítat nejefektivnější trasu (IQS Directory, n.d.).



Obrázek 9 Systém laserového skenování (IQS Directory, n.d.)

GPS navigace se využívá ve venkovním prostředí, kde je umístění umělých značek nepraktické. Tento systém používá GPS družice jako majáky, které odesílají data automaticky řízenému vozidlu (AGV) pro výpočet jeho polohy prostřednictvím triangulace.

Samotné spoléhání se na GPS však může být problematické kvůli nižší přesnosti, zejména v interiérovém prostředí. Pro zajištění spolehlivého výkonu je nezbytné, aby mezi satelitem a AGV byla nepřerušovaná přímá viditelnost (IQS Directory, n.d.).



Obrázek 10 Systém satelitní navigace (IQS Directory, n.d.)

AGV se kategorizují podle nosnosti a způsobu přepravy:

Tažná AGV přepravují náklady tažením přívěsů bez zvedání břemen. Různé typy AGV jsou vybaveny různými motory a mají odlišné tažné schopnosti. Běžné AGV zvládne táhnout až 1,5 tuny, zatímco větší modely unesou až 20 tun. AGV s magnetickým naváděním se pohybují rychlostí 60 metrů za minutu, zatímco modely s laserovou navigací dosahují rychlosti až 240 metrů za minutu. Jsou efektivní pro manipulaci s více náklady než vysokozdvizné vozíky, ale slouží pouze k transportu, nikoliv k jejich umístění (IQS Directory, n.d.).



Obrázek 11 Tažné AGV se střední nosností (PNC Technologies Co, 2025)

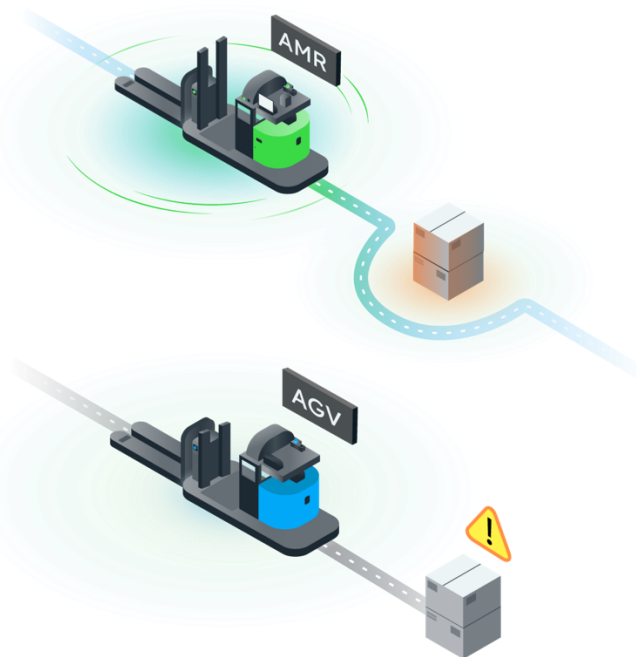
Vysokozdvizné AGV jsou automatizované vozíky s navigačním systémem, které manipulují se zásobami, přesouvají materiály a stohují palety do různých výšek. Široce se využívají v automatizovaných skladech a třídících systémech, kde nahrazují běžné vysokozdvizné vozíky a licencované operátory, čímž snižují náklady. Výkonnější modely dokážou přepravovat těžké náklady, jako jsou papírové role, ocelové svitky nebo motory. Navigační systém lze přepnout na manuální ovládání (IQS Directory, n.d.).



Obrázek 12 Automatický vysokozdvizný vozík (Staubli, n.d.)

Autonomní mobilní robot (AMR) je samohybné a autonomně napájené zařízení určené k vykonávání opakujících se úkolů nebo organizačních funkcí prostřednictvím interního navigačního systému.

Díky vybavení senzory, umělou inteligencí (AI), strojovým učením a počítačovými algoritmy dokáže AMR detekovat překážky, vyhodnocovat rizika a předcházet kolizím. Senzory průběžně skenují okolí, a pokud je zjištěn potenciální problém, AMR automaticky naplánuje a provede efektivní objízdnu trasu (IQS Directory, n.d.).



Obrázek 13 Porovnání AMR a AGV navigací (Vecna Robotics, n.d.)

Při počátečním nasazení se AMR vybavuje mapovacími technologiemi, například systémem simultánní lokalizace a mapování (SLAM), který umožňuje robotu rozhodovat se na základě aktuálních dat z okolí (IQS Directory, n.d.).

Důležitou roli při navigaci hraje technologie LiDAR (Light Detection and Ranging), která slouží jako „oči“ AMR. LiDAR využívá pulzní laserové senzory k přesnému měření vzdáleností a poskytuje robotu podrobný přehled o okolí. Tato technologie umožňuje AMR přesně navigovat a interagovat s prostředím. Při konstrukci map a lokalizaci využívá mračna bodů, která jsou porovnávána pomocí různých algoritmů. Mračna bodů generovaná LiDAREm mohou být zobrazena jako mřížkové nebo voxelové mapy (IQS Directory, n.d.).

Při porovnávání AGV a AMR je důležité zohledňovat různé faktory, které ovlivňují celkové náklady a potenciální návratnost investice.

AGV obvykle stojí méně než AMR, avšak je nutné zohlednit náklady na instalaci, přeprogramování a provoz. AGV vyžadují fyzické naváděcí prvky, což zvyšuje náklady při změně tras. U AGV bez pevné infrastruktury je často nutná přítomnost pracovníků pro resetování vozidel v případě překážek nebo chyb.

Naopak autonomní mobilní roboti nevyžadují podlahové vedení ani jiné nákladné úpravy, což umožňuje jejich rychlé a finančně efektivní nasazení. Přestože jsou AMRs jednotkově dražší než AGVs, jejich nízké počáteční náklady a rychlá optimalizace procesů vedou k návratnosti investic (ROI) často do šesti měsíců (Vecna Robotics, n.d.).

2 ANALÝZA AUTONOMNÍ MANIPULAČNÍ TECHNIKY

Tato kapitola se zaměřuje na detailní analýzu autonomní manipulační techniky (AMT), která představuje klíčový prvek moderní automatizace ve skladovém hospodářství. AMT výrazně přispívá ke zvyšování efektivity, přesnosti a bezpečnosti skladových operací. Cílem kapitoly je představit jednotlivé typy AMT, jejich vhodnost pro různé druhy skladů a komodit, a zároveň zhodnotit možnosti jejich integrace do různých skladových prostředí.

2.1 Typy AMT vhodné pro různé typy skladů

Tato podkapitola se zaměřuje na různé typy autonomní manipulační techniky (AMT) a jejich vhodnost pro konkrétní skladová prostředí včetně příkladu firem, které mají tyto typy skladů a aplikované AMT.

Popisuje využití automatizovaných skladovacích a vychystávacích systémů, autonomních mobilních robotů a dronů v různých typech skladů v závislosti na jejich velikosti, organizaci a požadovaném stupni automatizace.

2.1.1 Automatizované skladovací a vychystávací systémy (AS/RS)

Automatizované skladovací a vychystávací systémy (z angl. AS/RS – Automated Storage and Retrieval Systems) jsou navrženy pro efektivní manipulaci se zbožím ve velkoobjemových a vysoce automatizovaných skladech.

Široce rozšířenou variantou je konstrukce tvořená kovovými rámy, které vytvářejí vysoké regály s možností hlubokého skladování. Tyto regály sahají až ke stropu a jsou uspořádány s úzkými uličkami, což umožňuje efektivní využití skladovacího prostoru. Mezi regály se pohybují automatizované jeřáby, které zajišťují přesun, uskladnění a vychystávání zboží na základě předem definovaných pokynů.

Tento systém funguje v návaznosti na jiné přepravní technologie. Aby zboží, které dorazilo přímo na sklad od dodavatelů, bylo přemístěno do systému AS/RS, musí být přepravováno s ohledem na jednotku, ve které je zabaleno.

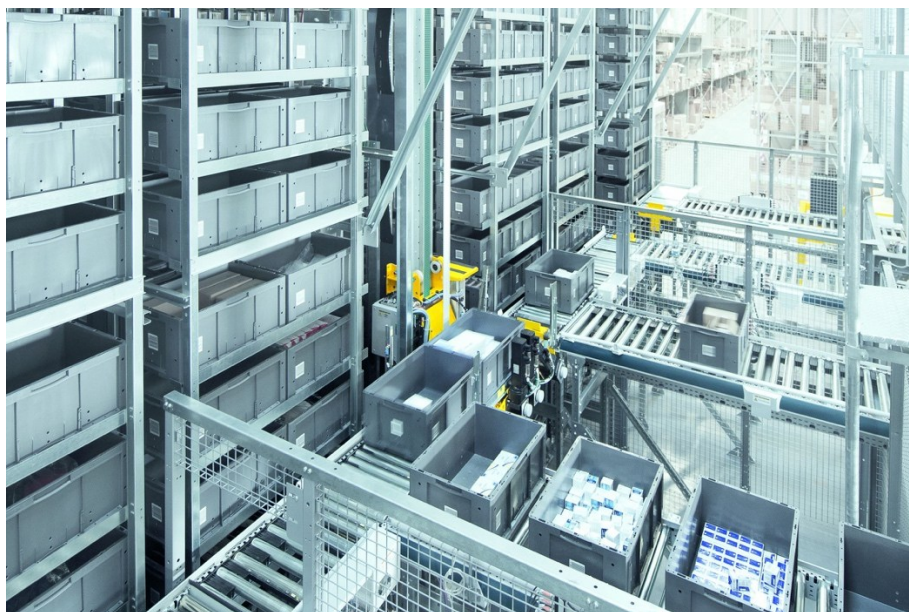
Nejčastěji se přepravuje pomocí navazujících dopravníků, které jsou navrženy buď pro těžké palety, nebo pro menší krabice. K tomu lze také kombinovat funkce robotů nebo vysokozdvížných vozíků.

Pro urychlení procesu vychystávání, balení a expedice se často objednávané produkty skladují pohromadě nebo v těsné blízkosti. Různé typy AS/RS systémů se využívají podle specifických skladovacích požadavků a druhu zboží.

Existují charakteristiky a faktory, které určují, zda je tento systém výhodný a vhodný pro implementaci ve skladu, a zároveň ovlivňují výběr konkrétního typu AS/RS:

- Velikost a hmotnost manipulační jednotky, ať už jde o standardizované (např. farmaceutika), nebo nestandardizované produkty (např. průmyslové komponenty)
- Znalost vrcholových hodin nebo období, která pomáhá využívat systém pro zvýšení propustnosti a kapacity skladu
- Analýza počtu denních objednávek, vychystaných položek, uložených a aktivních produktů, která pomáhá určit potřebnou úroveň investice do automatizace a definovat hlavní ukazatele výkonnosti systému
- Typ skladu (např. suchý nebo chlazený), který ovlivňuje potřeby a instalaci
- Zvolení správné umístění. Je důležité přesně znát rozměry prostoru a zajistit, aby systém plynulě navazoval na ostatní procesy materiálového toku.

Na trhu existuje řada dodavatelů zaměřených na poskytování kvalitních a spolehlivých AS/RS řešení. Jedním z nich je skupina SSI SCHAEFER, která je globálním specialistou na řešení pro všechny oblasti intralogistiky.



Obrázek 14 Příklad automatizovaného skladovacího a vychystacího systému (SSI SCHAEFER, n.d.)

Ve spolupráci se společností JYSK, dánskou firmou, která celosvětově nabízí nábytek a bytové doplňky, SSI SCHAEFER se podařilo modernizovat a rozšířit již existující sklad v Dánsku, čímž vzniklo největší distribuční centrum v zemi. Tato budova má celkovou kapacitu

215 000 skladovacích míst pro palety a 45 000 skladovacích míst pro přepravky (SSI SCHÄFER, 2021).

„Integrovaný koncept od společností SSI SCHAEFER výborně splňuje naše požadavky. Inteligentní propojení vysoce dynamických paletových skladů a miniload systémů, ergonomický vychystávací koncept a logistický software WAMAS činí toto řešení velmi úspěšným.“, říká Allan K. Kjærgaard, výkonný viceprezident pro logistiku ve společnosti JYSK (SSI SCHÄFER, 2021).

2.1.2 Systémy AGV a AMR

Některé detaily týkající se provozu AGV (Automated Guided Vehicles¹) a AMR (Autonomous Mobile Robots²) ve skladech, jako jsou typy autonomní manipulační techniky, rozdíly v navázaných technologiích nebo využití navigačních fyzických prvků, již byly popsány v podkapitole 1.5.2. Tato část navazuje na uvedené informace, zaměřuje se na konkrétní příklad jejich aplikace ve skladovém prostředí a popisuje základní požadavky, které by měl sklad splňovat pro co nejefektivnější provoz těchto systémů.

V současné době existuje mnoho variant interpretací těchto robotů, které se liší svou funkcí a způsobem provedení různých úkolů. Záleží to na individuálních potřebách skladů a jejich vybavení. Trh však nabízí široké spektrum rozmanitých technologií AGV a AMR v závislosti na typech regálů, velikosti a typu zboží, doplňkových technologiích apod.

Pro efektivní provoz systémů AGV nebo AMR by měl sklad splňovat určité technické a provozní požadavky, a to nezávisle na konkrétním typu těchto systémů:

- Podlaha by měla být rovná, pevná a bez nerovností či překážek, které by mohly bránit plynulému pohybu vozidel
- Případné úpravy skladu, které jsou vyžadovány některými typy navigačních systémů – např. magnetické pásky nebo vodiče (typické pro AGV), QR kódy na podlaze, LiDAR nebo SLAM algoritmy využívané u moderních AMR systémů
- Integrace se skladovým systémem (WMS) pro efektivní řízení úkolů, sledování zásob a optimalizaci tras. Toto umožňuje automatické přiřazování úkolů, real-time monitoring a adaptivní plánování
- Sklady by měly být vybaveny bezpečnostními zónami, světelným a zvukovým značením a senzory pro detekci pohybu osob. Dále je třeba definovat vyhrazená místa pro dobíjecí stanice a případně servisní zóny

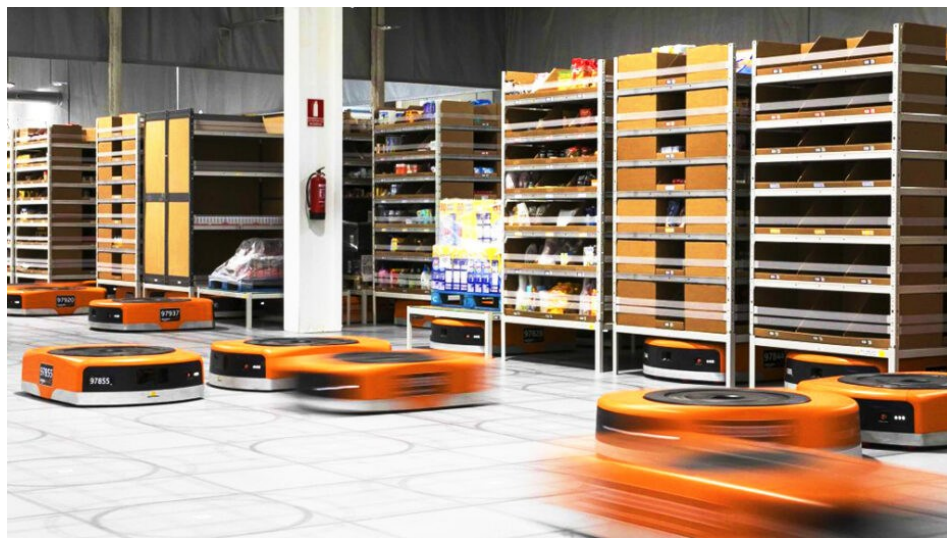
¹ AVG; Automated Guided Vehicles; Automaticky naváděná vozidla

² AMR; Autonomous Mobile Robots; Autonomní mobilní roboti

- Zajištění stabilního a rychlého bezdrátového připojení (např. Wi-Fi nebo 5G) zejména pro provoz AMR, které vyžadují online komunikaci s řídicím systémem. Bez kvalitní propojení může dojít ke zpožděním či výpadkům
- Školení zaměstnanců pro zabezpečení hladkého provozu, a to jak v oblasti obsluhy systémů, tak v rámci bezpečnostních postupů a základní údržby
- Zohlednění možnosti budoucího rozšíření systému v případě růstu objemu provozu. Důležitou roli hraje i ekonomické vyhodnocení návratnosti investice, které závisí na typu zboží, skladových operací

Mezi praktické příklady využití AMT patří implementace robotů ve skladech společnosti Amazon, zejména pro procesy vychystávání a třídění objednávek.

V roce 2012 Amazon zakoupil společnost Kiva Systems za 775 milionů dolarů a integroval jejich roboty do svých logistických center. Roboti Kiva, dnes známí jako Amazon Robotics, autonomně přepravují celé regály s produkty k pracovníkům, čímž výrazně zvyšují efektivitu skladových operací (Exotec, 2024).

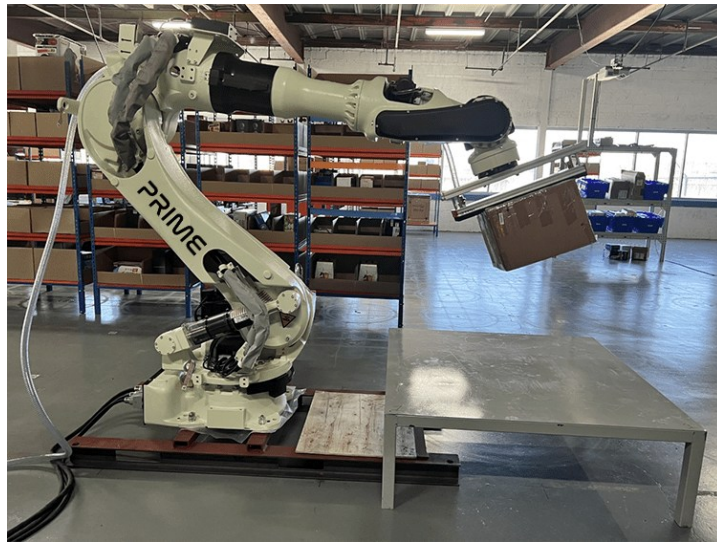


Obrázek 15 Roboti Kiva od Amazonu přepravují regály po skladu (Exotec, 2024)

2.1.3 Robotická ramena a pick-and-place systémy

Robotická ramena často slouží jako doplněk nebo navazující nástroj ke stávajícím automatizovaným systémům (např. systémům pro řízení skladu WMS, autonomním mobilním robotům AMR apod.) a přispívají ke zvýšení efektivity jejich provozu. Díky této integraci ramena mohou přesně sbírat data v reálném čase a rychle se přizpůsobovat změnám v poptávce. Jsou také schopna zvládat širokou škálu úkolů od manipulace s těžkými břemeny až po balení

předmětů různých velikostí, tvarů a materiálů. Tyto činnosti vykonávají s vysokou přesností a dokážou mezi nimi rychle přecházet.



Obrázek 16 Robotické rameno při manipulaci se zbožím (Prime Robotics, 2024)

Robotická ramena se využívají v různých odvětvích, např. v elektronice, automobilovém průmyslu, potravinářství apod. Ve skladech a distribučních centrech jsou užitečné především při paletizaci, vychystávání, balení nebo nakládce a vykládce zboží.

Podle konkrétního typu zařízení dokážou například:

- vybírat zboží z dopravních pásů,
- vkládat položky do obalů nebo třídících boxů,
- skládat a odebírat produkty z palet,
- přesouvat zboží do a z dopravních prostředků.

Jednou z největších výhod robotických ramen, a zároveň jedním z hlavních rozdílů oproti jiným typům automatizovaných systémů, je jejich rychlost. Robotická ramena mohou neúnavně pracovat a dosahovat vyšší rychlosti než lidské paže. Technologie Prime, integrovaná s robotickým ramenem pro vychystávání a paletizaci, umožňuje vychystání více než 700 kusů za hodinu. To zajišťuje nepřetržité plnění objednávek a efektivní pohyb produktů celým dodavatelským řetězcem (Prime Robotics, 2024).

Investice do takové technologie nese určité počáteční náklady spojené s pořízením, nastavením a školením obsluhy. Z krátkodobého hlediska se to může jevit jako finančně náročné. Na druhou stranu však tato investice firmám pomáhá snižovat další výdaje z dlouhodobé perspektivy, konkrétně snížením nákladů na pracovní sílu, zkrácením prostojů, nižší chybivostí a omezením pracovních úrazů, což může vést k výrazným úsporám. Mnoho

fírem uvádí, že se jim investice do robotických systémů s rameny vrátí v plné výši během 24 až 36 měsíců od zavedení, ačkoli tento údaj se může lišit v závislosti na velikosti a intenzitě provozu (Prime Robotics, 2024).

2.1.4 Drony pro inventarizaci

Ve velkých skladovacích prostorech, kde jsou logistické procesy řízeny automatizovanými systémy, se běžně využívá Warehouse Management System (WMS), tedy software, který firmám zajišťuje kontrolu správnosti a přesnosti skladových operací, od okamžiku, kdy zboží a materiály vstoupí do distribučního nebo expedičního centra, až po jejich odeslání. Tento systém vyžaduje také fyzické nástroje – hardware, který napomáhá realizaci procesů řízení skladových operací. Jednou z možných variant jsou skladové drony.



Obrázek 17 Dron společnosti Verity (Verity, 2024)

Skladové drony využívají kombinaci robotiky, cloudového propojení, videozpracování a umělé inteligence, čímž jsou dobře a efektivně přizpůsobené skladovému prostředí. Dokážou pohybovat se autonomně po skladu, skenovat jednotlivé položky a porovnávat získaná data s inventárním systémem. WMS jim předem poskytuje potřebná data a pak na jejich základě se automaticky aktualizují záznamy – přidávají se nové položky, zastaralé údaje se odstraňují a vytváří se aktuální přehled skladových zásob (DJI Enterprise, 2024).

Pro bezpečný a plynulý pohyb skladový dron využívá digitální mapu prostoru, která mu umožňuje plánovat optimální trasu. Software na základě této mapy naviguje dron tak, aby se vyhnul překážkám a minimalizoval riziko kolizí. Tímto systémem zajišťuje efektivní a bezproblémový provoz (DJI Enterprise, 2024).

Jedním z příkladů využití této technologie je švédská společnost IKEA, která ve spolupráci s firmou Verity (globálním lídrem v oblasti autonomních dronových systémů)

úspěšně otestovala automatizované drony pro kontrolu zásob. Logistický vývojář společnosti Olof Orstadius sdílí, že hlavním přínosem této technologie je zvýšení přesnosti skladové evidence, eliminace ručních kontrol a snížení pracovního zatížení zaměstnanců. Drony mohou provádět inventury automaticky během noci nebo mezi směnami, čímž šetří čas a zajišťují aktuální přehled o dostupnosti zboží pro zákazníky (IKEA, 2020).

2.2 Typy AMT vhodné pro různé typy komodit

V této podkapitole je popsáno, jaký typ autonomní manipulační techniky je vhodný pro manipulaci s různými typy zboží. Zaměřuje se na specifika manipulace s lehkými, těžkými, chlazenými či nebezpečnými komoditami.

2.2.1 Malé a lehké produkty (e-commerce, farmacie)

Manipulace s malým zbožím ve skladech obvykle umožňuje velmi flexibilní a lehkou integraci automatizovaných systémů do stávajícího prostředí. Díky nižší technické náročnosti tyto procesy je možné realizovat efektivně a bez složitých zásahů.

Jednou z výhod a specifíků zavádění AMT pro tento typ zboží je možnost dosažení vysoké hustoty uskladnění. Není potřeba tak velký prostor jako u skladů s většími průmyslovými produkty. Další výhodou je vysoká rychlost a přesnost při vychystávání, přemisťování a doručování zboží, což přispívá k rychlé obrátkovosti zásob a následně i k návratnosti investic. Ta pak vede k výrazné úspoře času i nákladů.

Při rozhodování o automatizaci skladu s malým zbožím mají podniky k dispozici širokou škálu vhodných automatizovaných systémů. Díky rozmanité nabídce technologií lze řešení snadno přizpůsobit konkrétním potřebám provozu, charakteristikám skladu i typu skladovaného zboží. Mezi nejčastěji využívané systémy v tomto segmentu patří AS/RS, které optimalizují prostor a zvyšují rychlost vychystávání, vertikální skladovací výtahy (Vertical Lift Modules, VLM) vhodné zejména pro kompaktní ukládání drobného zboží a komponent, nebo robotická ramena integrovaná s dopravníky a kamerovými systémy pro automatické třídění a manipulaci se zbožím.

Při zavádění manipulační techniky je důležité zohlednit také legislativní normy, které se mohou lišit v závislosti na druhu zboží – i přesto, že se jedná o produkty menších rozměrů. Například u běžného spotřebního zboží (např. textil, kosmetika, domácí potřeby) nejsou legislativní požadavky na automatizaci příliš přísné. Důraz je kladen na bezpečnost provozu a splnění obecných technických standardů. V odvětvích, jako je farmacie nebo potravinářství, však platí přísná pravidla týkající se sledovatelnosti, správného skladování (např. teplotní a vlhkostní podmínky) a bezpečnosti manipulace. Použitá technika musí

být schopna zajistit plnou dohledatelnost pohybu zboží, uchovávat produkty v souladu s příslušnými normami a zároveň umožnit zabezpečený přístup k citlivým oblastem skladu (SYSTEMYLOGISTIKY.CZ, 2023).

2.2.2 Velké a těžké produkty

S velkými a nestandardními položkami se pracuje zejména v průmyslových odvětvích (např. strojírenství, stavebnictví nebo automobilový průmysl), a každé z nich má své specifické nároky na manipulaci. Zařízení určená k přemísťování takových produktů musí být specializovaná a disponovat vysokou nosností. Proto trh nabízí autonomní manipulační techniku podobně jako pro běžné produkty – například autonomní vysokozdvizné vozíky, AGV nebo robotická ramena – ale ve větších rozměrech a s vyšší nosností.

Jednou z firem působících na trhu je FADA – strojírenská společnost, která nabízí širokou škálu různých typů automatizované techniky.



Obrázek 18 Těžkotonážní přepravní vozík společnosti FADA (FADA, 2024)

Mezi jejich významné produkty patří těžkotonážní přepravní vozíky určené pro manipulaci s náklady v rozsahu od 100 do 400 tun v rámci průmyslových provozů. Tyto vozíky mají možnost přizpůsobení horní části podle tvaru a velikosti nákladu. Jsou také vybaveny různými variantami kol přizpůsobenými různým povrchům a nabízejí i různé typy řízení, čímž představují vhodné řešení pro přepravu různých typů a velikostí zboží (FADA, 2024).

Manipulace s takovými produkty vyžaduje větší opatrnost a stabilitu při pohybu. Autonomní technika musí pracovat při nižších rychlostech, aby bylo zajištěno bezpečné

přemísťování bez rizika poškození zboží nebo zařízení. Důležitým faktorem je správné vyvážení nákladu, které minimalizuje riziko převrácení nebo skluzu během přesunu.

Z hlediska skladového prostředí je nutné zajistit širší uličky pro pohyb techniky, podlahy s vyšší nosností kvůli těžkému zatížení a celkově robustnější infrastrukturu pro zajištění bezpečnosti provozu. K tomu taky patří i důraz na ochranné zóny, lepší značení tras a často i fyzické bariéry pro minimalizaci rizik spojených s provozem těžké techniky. Ta bývá výrazně nebezpečnější i pro obsluhu než běžná manipulační zařízení určená pro standardní typy zboží.

V souvislosti se všemi zmíněnými opatřeními a požadavky bývají celkové investice často vysoké a samotná implementace těchto zařízení finančně náročná. Návratnost je obvykle dlouhodobější a závisí na úrovni automatizace a objemu manipulovaného zboží. Na druhou stranu však i pomalejší proces manipulace může výrazně zlepšit bezpečnost práce a snížit počet chyb nebo poškození zboží.

2.2.3 Chlazené zboží a nebezpečné materiály

Manipulace s chlazeným zbožím, jako jsou potraviny nebo farmaceutické výrobky, klade vysoké nároky na udržení stálé teploty, hygienických podmínek a přesného časování. V těchto případech je důležitá integrace autonomní manipulační techniky do tzv. chladového řetězce.

Pro manipulaci s chlazeným zbožím se využívají AGV a AMR vozíky vybavené izotermickými nebo chladicími kontejnery. Jsou osazeny senzory pro měření teploty a vlhkosti a jsou napojeny na systémy řízení kvality, které umožňují sledování přepravních podmínek v reálném čase. AGV vozíky mohou pracovat nepřetržitě, včetně nočního provozu bez nutnosti osvětlení, a to i v prostředí s teplotami dosahujícími až $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro takový provoz je zásadní vybavení speciálně upravenými pohonnými jednotkami a bateriemi. Zavedení AGV v těchto skladech vede ke snížení rizik v oblasti bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a zároveň přispívá k eliminaci lidských chyb (Dematic, 2019).

Manipulace s nebezpečnými materiály, jako jsou chemikálie, hořlavé látky nebo lithium-iontové baterie, představuje vysoké riziko pro zdraví, životní prostředí i majetek. Z tohoto důvodu je při nasazení autonomní manipulační techniky v těchto provozech důležité splnění přísných bezpečnostních předpisů, jako jsou ADR (Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí) a REACH (Registrace, hodnocení, povolování a omezování chemických látek) (Dokumentace BOZP, 2018).

Manipulace s nebezpečnými materiály ve výbušném prostředí vyžaduje použití speciálně upravené autonomní manipulační techniky a vysokozdvižných vozíků s ochranou

proti výbuchu. Tato zařízení jsou obvykle vybavena odolným krytem proti výbuchu, senzory detekujícími úniky látek (například plynů) a systémy automatického zastavení v případě detekce nebezpečí. Jedním z výrobců, kteří taková zařízení nabízí, je společnost Linde Material Handling. Její vozíky splňují přísné bezpečnostní normy. Konstrukce minimalizuje riziko vzniku jisker a elektrostatických výbojů díky nevýbušnému provedení elektrických a mechanických částí a použití antistatických materiálů. Součástí bezpečnostních opatření je také systém monitorování teploty, který zabraňuje překročení stanovených limitů i při maximálním zatížení (Linde Material Handling, n.d.).

2.3 Typy vybavení skladu a aplikace AMT v nich

Tato část se věnuje různým typům skladového vybavení a jejich souvislosti s autonomní manipulační technikou. Zabývá se regálovými systémy, dopravníkovými technologiemi, vychystávacími systémy a technologiemi pro sledování zboží, které usnadňují efektivní nasazení autonomních robotů ve skladech.

2.3.1 Regálové systémy

Regálové systémy tvoří důležitou součást vybavení skladu, protože výrazně ovlivňují, jak celý prostor funguje. Většina moderních regálových systémů je navržena tak, aby bylo možné je propojit s různými typy automatizace. Některé regálové systémy jsou již od počátku navrženy jako součást automatizovaného systému, například v případě systémů AS/RS (viz podkapitola 2.1.1). Jiné regálové systémy jsou naopak zcela nezávislé a mohou být využity jak v mechanizovaných skladech s obsluhou člověkem, tak i v automatizovaných provozech, kde manipulaci se zbožím zajišťuje robot.

Existují dva základní typy regálových systémů: statické a dynamické. Toto rozdělení je běžně používané v oblasti skladování a logistiky.

Statické regálové systémy jsou pevně ukotvené ke skladové ploše a během provozu se nepohybují. Jsou jednoduché na instalaci, spolehlivé a vyžadují nižší investiční náklady. Právě jejich stabilita a pevné rozmístění umožňují snadné propojení s automatizovanou technikou, jako jsou zakladače nebo autonomní vozíky.

Statické regálové systémy se dělí na další typy: paletové, policové a konzolové regály.

Paletové regály jsou nejběžnějším typem regálových systémů, který je určen pro skladování zboží uloženého na paletách a umožňují k nim snadný přístup. Často se kombinují s automatickými zakladači, které výrazně zrychlují práci ve skladu (Toyota Material Handling, n. d.).

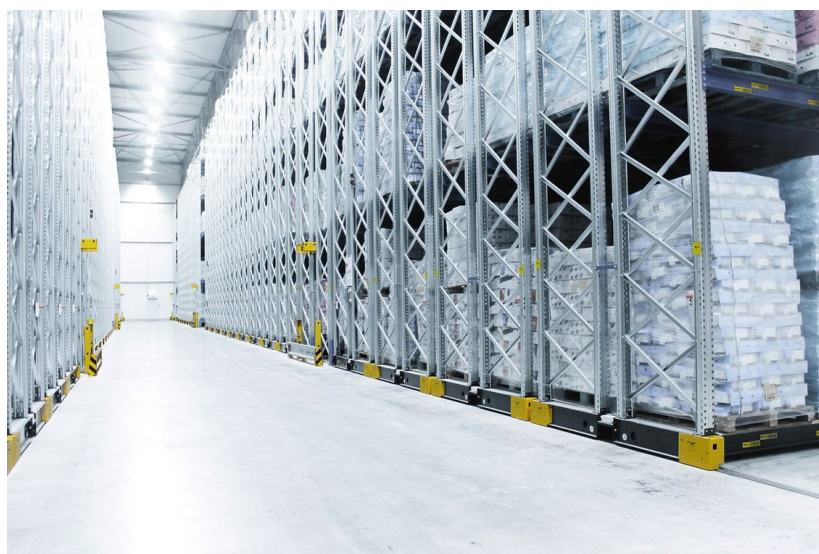
Policové regály jsou vhodné pro skladování menších položek, krabic či dílů. Používají se především v distribučních centrech, dílnách nebo e-shopech. Nabízejí flexibilitu pro efektivní skladování drobných předmětů a umožňují přímý přístup k jednotlivým položkám, což usnadňuje vychystávání (BITO Lagertechnik, 2024).

Konzolové regály představují ideální řešení pro skladování dlouhého, objemného zboží nebo materiálů s různými rozměry. Mohou pojmout širokou škálu produktů, od lehkých plastových trubek a ocelových profilů až po těžké cívky a dřevěné panely (SSI SCHAEFER, n.d.).

Dynamické regálové systémy se od statických liší tím, že umožňují pohyb – buď celého regálu, nebo jeho částí. Díky tomu se zvyšuje flexibilita a efektivita využití prostoru. Jsou ideální pro sklady s vysokou obrátkovostí zboží, kde je kladen důraz na rychlost a optimalizaci toku materiálu.

Dynamické regálové systémy se liší na tyto druhy: pojízdné regály, víceúrovňové systémy a shuttle systémy.

Do pojízdných regálů patří pohyblivé regálové systémy (Mobile Racking Systems, MRS), které využívají regály instalované na podvozcích pohybujících se po kolejnicích zabudovaných v podlaze. Pohyb zajišťují motory a systém může být ovládán manuálně nebo řízen softwarově prostřednictvím WMS. Uličky se otevírají pouze v případě potřeby, což umožňuje výrazně efektivnější využití skladovací plochy. Vzhledem k nárokům na rovnost, pevnost a odolnost podlahy vůči vysokému zatížení je důležité s instalací těchto systémů počítat již při plánování nové skladové haly (SSI SCHAEFER, n.d.).



Obrázek 19 Pohyblivý regálový systém (SSI SCHAEFER, n.d.)

Využití AMT v kombinaci s mobilními regály je technicky náročnější než u statických systémů, ale často se uplatňuje ve skladech s omezeným prostorem nebo ve vysoce automatizovaných provozech. Důležitá je synchronizace obou technologií, kdy například autonomní vozík prostřednictvím WMS systému vyžádá otevření požadované uličky. Regály se následně automaticky přesunou a umožní bezpečný přístup k cílové lokaci. Tato kombinace výrazně snižuje nároky na skladovou plochu, zvyšuje kapacitu skladu, zajišťuje plynulý tok materiálu a omezuje vznik chyb i potřebu nadbytečných zásob (SSI SCHAEFER, n.d.).

Vertikální výtahový modul (Vertical Lift Module, VLM) je automatizovaný systém pro skladování a vychystávání zboží, který slouží k efektivnímu využití prostoru a zvýšení produktivity. Skládá se ze dvou paralelních sloupců zásobníků, mezi nimiž se pohybuje automatizovaný výtah, který vyhledává a dopravuje položky do výdejního místa. Tento systém může být také propojen s robotickými rameny pro výdej a následný přesun zboží. VLM je řízen počítačovým systémem, který optimalizuje uspořádání zboží a zároveň zajišťuje přehled o skladových zásobách (Storage Solutions, n.d.).



Obrázek 20 Vertikální výtahový modul (Storage Solutions, n.d.)

Shuttle systémy jsou automatizované regálové systémy, které využívají malé vozíky (*shuttles*) pro rychlé převození zboží uvnitř regálových kanálů. Každá úroveň regálu může mít vlastní vozík, což umožňuje paralelní manipulaci a vysokou efektivitu. Zboží se následně přesouvá pomocí výtahů na výdejní stanice (Interlake Mecalux, 2025).

Shuttle systémy jsou ideální pro menší položky s vysokou obrátkovostí a často bývají propojené s autonomní technikou, jako jsou například AMR jednotky nebo robotická ramena,

kteřá zboží dále přepravují nebo zpracovávají. Celý proces řídí systém řízení skladu (WMS) (Interlake Mecalux, 2025).

Tyto regálové systémy patří do širší kategorie AS/RS (Automated Storage and Retrieval Systems). Oproti klasickým AS/RS, které využívají velké zakladače, jsou shuttle systémy rychlejší a flexibilnější a lépe se hodí pro automatizované sklady s vysokými nároky na výkon (Daifuku, n.d).

2.3.2 Dopravníkové systémy

Dopravníkové systémy (angl. conveyor systems) slouží k automatizovanému přesunu zboží mezi různými částmi skladu. Umožňují plynulý tok materiálu bez nutnosti lidského zásahu, a tím zvyšují efektivitu a snižují chybovost.

Existuje několik typů dopravníků, které se liší podle způsobu pohybu a typu přepravovaného zboží:

- Pásové dopravníky (belt conveyors): vhodné pro přepravu lehčích kusových produktů, balíků nebo krabic.
- Válečkové dopravníky (roller conveyors): určené pro těžší náklady, využívají soustavu válců, po kterých se zboží pohybuje.
- Řetězové dopravníky (chain conveyors): často se používají ve výrobních skladech pro přepravu palet nebo těžkých předmětů.
- Teleskopické dopravníky: používají se pro nakládku a vykládku zboží z kamionů.
- Vertikální dopravníky (elevátory): umožňují přepravu zboží mezi různými patry skladu.

Dopravníkové systémy lze snadno propojit s autonomní manipulační technikou. Jsou běžně řízeny přes WMS systém, které řídí trasu zboží a zajišťují koordinaci s dalšími technologiemi.

Aby byly dopravníky efektivně využity, sklad by měl splňovat několik základních podmínek:

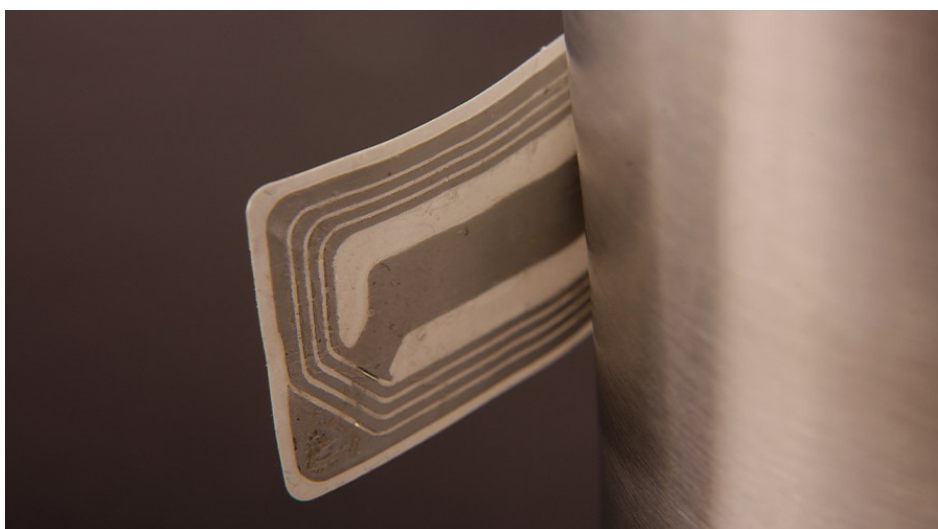
- Dobře definované toky materiálu – jasně stanovené vstupy, výstupy a cesty zboží.
- Dostatek prostoru pro instalaci – dopravníky potřebují volné trasy bez překážek.
- Pevná a rovná podlaha – zajišťuje stabilitu a bezpečný provoz systému.
- Vysoká četnost pohybu zboží – investice do dopravníků se vyplatí tam, kde je nutné přemisťovat velké množství položek opakovaně a rychle.

Dopravníkové systémy jsou ideální především pro vysokoobrátkové sklady, distribuční centra a automatizované provozy, kde je důležitá rychlost, plynulost a minimální potřeba ruční manipulace (SphereWMS, 2025).

2.3.3 Systémy pro sledování zboží (RFID, IoT senzory)

Ve dynamickém skladovém prostředí je velmi důležité sledovat zboží pro efektivní řízení zásob, kontrolu pohybu a propojení s automatizovanými procesy. Moderní technologie jako RFID (Radio Frequency Identification) a IoT senzory (Internet of Things) umožňují sběr dat v reálném čase a vytvářejí systém, ve kterém spolupracuje zboží, sklad a autonomní manipulační technika.

RFID (radiofrekvenční identifikace) je technologie, která využívá rádiové vlny k automatickému rozpoznávání a sledování tagů (čipů) připojených ke skladovým položkám. V oblasti řízení zásob RFID nahrazuje tradiční skenování čárových kódů a umožňuje automaticky sledovat produkty v reálném čase bez potřeby manuálního zadávání (AutoStore, n.d.).



Obrázek 21 RFID tag (AutoStore, n.d.)

Systém řízení pomocí RFID se skládá z tagů, čteček a softwaru. Každá položka ve skladu je opatřena tagem s unikátním identifikačním číslem. Čtečky jsou strategicky rozmístěny po celém objektu a automaticky detekují a skenují tyto tagy bez potřeby přímé viditelnosti. Jakmile zboží vstupuje do skladu nebo jej opouští, systém zaznamenává jeho polohu a poskytuje tak přesný a aktuální přehled o zásobách.

V maloobchodu RFID pomáhá firmám zajistit přesný přehled o zásobách, minimalizovat situace, kdy zboží chybí, a zjednodušit proces doplňování. Díky tomu je řízení zásob rychlejší a spolehlivější (AutoStore, n.d.).

Internet věcí (IoT) znamená propojení fyzických zařízení prostřednictvím internetu, které umožňuje sběr, přenos a analýzu dat v reálném čase. Ve skladech se IoT senzory využívají

například ke sledování teploty, vlhkosti, pohybu zboží nebo stavu zařízení. Tyto senzory mohou být umístěny na regálech, dopravnících, vozících nebo přímo na obalech zboží (GAO Tek, n.d.).

2.4 Trendy vývoje AMT a současné limity

V této podkapitole jsou popsány nejnovější trendy v oblasti AMT. Zároveň budou zmíněny současné limity těchto technologií jako problémy se složitou navigací v nestandardizovaných prostředích, vyšší pořizovací náklady nebo nutnost integrace s existujícími skladovými systémy.

2.4.1 Trendy ve vývoji AMT

Automatizované manipulační technologie se v posledních letech vyvíjejí pod vlivem několika trendů, které zásadně mění způsob, jakým jsou tyto technologie navrhovány a implementovány v různých průmyslových odvětvích. Tyto trendy se soustředí na zvýšení efektivity, flexibility, bezpečnost a propojení s širšími výrobními a logistickými procesy.

Jedním z hlavních trendů je integrace umělé inteligence (AI) a strojového učení (ML) do autonomních manipulačních technik (AMT). Tyto systémy využívají pokročilé algoritmy k optimalizaci manipulačních úloh a adaptivnímu chování v reálném čase, umožňující rychlou reakci na změny v rozmístění zboží nebo neočekávané překážky. AI a ML se také používají k predikci potřeb údržby, optimalizaci tras robotů a analýze historických dat pro zlepšení skladových procesů. Tyto pokroky zkracují dobu potřebnou k dokončení úkolů a zvyšují flexibilitu, klíčovou pro rychle se měnící trh (Sodiya et al., 2024).

Dalším důležitým trendem je rozvoj kolaborativních robotů, známých také jako coboty. Jsou navrženi pro bezpečnou spolupráci s lidmi ve sdíleném pracovním prostoru bez nutnosti ochranných bariér. Díky pokročilým sensorům a bezpečnostním systémům dokážou coboty detekovat přítomnost člověka a přizpůsobit své chování tak, aby minimalizovaly riziko nehod. Coboti nacházejí uplatnění v různých průmyslových odvětvích, kde přebírají monotónní nebo fyzicky náročné úkoly, čímž zvyšují produktivitu a zároveň ulehčují pracovníkům (Association for Advancing Automation, n.d.).

Kromě toho, AMT se stále více propojují s konceptem Průmyslu 4.0, který klade důraz na digitalizaci a vzájemnou komunikaci mezi jednotlivými částmi výroby. Tato integrace umožňuje efektivnější monitorování a analýzu výrobních procesů v reálném čase, které potom vede k optimalizaci výrobních a skladových operací. AMT mohou být napojeny na cloudové platformy, které sbírají data o výkonu systémů a analyzují je pro identifikaci potenciálních problémů nebo oblastí pro zlepšení. Díky propojení s Průmyslem 4.0 mohou firmy lépe předvídat poptávku, optimalizovat zásoby a zvýšit celkovou produktivitu. Integrace

se systémem řízení skladu umožňuje hladkou synchronizaci mezi automatizovanými procesy a lidskými operátory, a tímto zvyšuje efektivitu a přesnost v celém výrobním řetězci (Kinali, n.d.).

2.4.2 Současné limity AMT

Automatizované manipulační technologie přinášejí podnikům řadu výhod, jejich implementace a provoz však vyžadují překonání několika významných výzev.

Za prvé, vysoké investiční náklady představují pro malé a střední podniky výraznou překážku. Návratnost investic závisí na objemu výroby, složitosti procesů a míře automatizace. Pro menší firmy může být obtížné zajistit vysoké počáteční náklady, i když dlouhodobě mohou AMT přinést úspory a zvýšení produktivity.

Za druhé, implementace AMT do stávajících výrobních linek často vyžaduje rozsáhlé úpravy infrastruktury. Rozdílné komunikační protokoly a standardy mezi jednotlivými systémy mohou komplikovat jejich propojení. Proto úspěšná integrace vyžaduje pečlivé plánování a často i investice do moderních technologií, které zajistí hladký přenos informací mezi různými částmi výrobního procesu.

Další výzvou může být nedostatek kvalifikovaného personálu. Pro efektivní provoz a údržbu AMT jsou nutné specializované znalosti a dovednosti, které nejsou na trhu práce vždy snadno dostupné. Školení zaměstnanců nebo nábor nových odborníků představuje pro firmy další časovou i finanční zátěž.

3 NÁVRH HODNOTÍCÍCH KRITÉRIÍ

Tato praktická část se zaměřuje na návrh hodnoticích kritérií, která mohou sloužit jako nástroj podpory rozhodování při zavádění autonomní manipulační techniky do skladového prostředí, a přiřazení jejich vah významnosti.

3.1 Účel a metodika návrhu

Cílem praktické části je navrhnout soubor hodnoticích kritérií, která mohou sloužit jako podklad pro rozhodování při zavádění autonomní manipulační techniky do skladového prostředí. Návrh kritérií vychází z analýzy existujících typů a druhů AMT popsanych v teoretické části práce a zohledňuje klíčové technické, provozní a ekonomické aspekty, které jsou při implementaci těchto technologií relevantní.

Za účelem ověření relevance navržených kritérií a určení jejich vah bylo provedeno dotazníkové šetření mezi odborníky působícími v oblasti logistiky a skladového hospodářství. Respondenti hodnotili navržená kritéria podle jejich vnímané důležitosti pro rozhodování o nasazení AMT – a to na základě svých profesních zkušeností i specifických parametrů skladového prostředí, ve kterém působí.

Tímto přístupem vzniká přehledný návrh hodnoticích kritérií, doplněný o orientační váhy, který může sloužit jako výchozí bod pro budoucí rozhodovací modely nebo jako pomůcka pro odborníky z praxe při úvahách o implementaci AMT do konkrétních typů skladových provozů.

Dotazník byl vytvořen v prostředí Google Forms a distribuován prostřednictvím profesní platformy LinkedIn, e-mailové komunikace a osobních kontaktů v logistických a technologických firmách. Dotazník byl anonymní a celkem bylo získáno 18 odpovědí. Vzor dotazníku je uveden v Příloze A. Data byla zpracována pomocí průměrného hodnocení faktorů. Nejvíce pozornosti bylo věnováno faktorům, které byly napříč odpověďmi označeny jako nejdůležitější.

3.2 Stanovení kritérií

Stanovená kritéria vycházejí z poznatků získaných v předchozí části práce, která se zabývala různými typy autonomní manipulační techniky, jejich vhodností pro specifické typy skladů, komodit a technologického vybavení. Na základě srovnání technických parametrů, provozních požadavků a reálných příkladů z praxe byly identifikovány faktory, které se opakovaně ukazují jako nezbytné při rozhodování o implementaci AMT.

Tabulka 1 Popis navržených kritérií

| Kritéria | Popis kritérií |
|---|---|
| Cena | Představuje pořizovací náklady na techniku včetně případných nákladů na instalaci, integraci do stávajících systémů a související infrastrukturu. |
| Bezpečnost provozu | Zohledňuje míru, do jaké AMT minimalizuje riziko úrazů zaměstnanců, kolizí se zbožím nebo poškození infrastruktury. |
| Přesnost manipulace | Vyjadřuje schopnost zařízení přesně manipulovat se zbožím, zejména v kontextu citlivých nebo standardizovaných procesů |
| Rychlost manipulace | Udává, jak rychle zařízení vykonává jednotlivé manipulační úkony. Toto kritérium je důležité v provozech s vysokým obrátem zboží. |
| Flexibilita systému | Hodnotí, jak snadno lze systém přizpůsobit změněným provozním podmínkám – například novému rozvržení skladu, jinému typu zboží nebo sezónnímu nárůstu kapacity. |
| Možnost rozšíření systému v budoucnu | Vyjadřuje, do jaké míry je systém modulární a škálovatelný. |
| Úroveň technické podpory dodavatele | Zahrnuje dostupnost a kvalitu služeb poskytovaných dodavatelem, jako je školení, vzdálená diagnostika, rychlost zásahu v případě poruchy nebo dostupnost náhradních dílů. |
| Ekologické a energetické parametry | Posuzuje vliv zařízení na životní prostředí (např. emise, spotřeba energie, možnost recyklace). |

3.3 Váhy hodnoticích kritérií

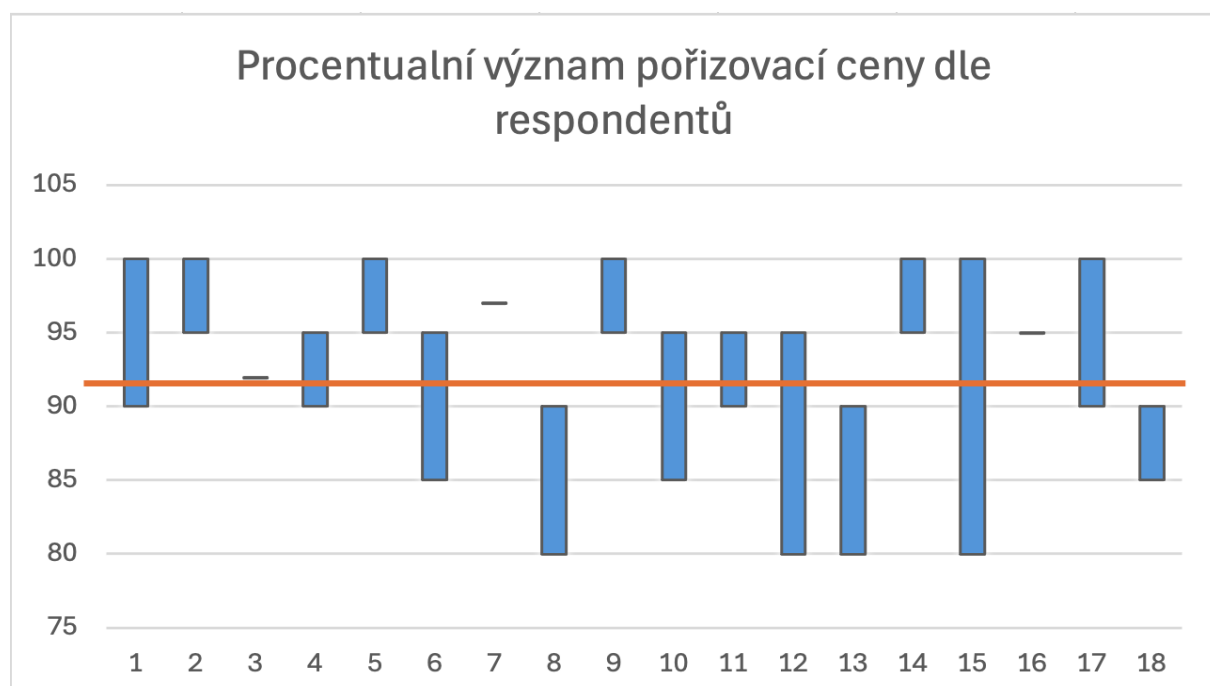
Celkem bylo navrženo osm hodnoticích kritérií, přičemž klíčovým z nich je pořizovací cena. Vzhledem k tomu, že cena je obecně považována za jeden z nejvýznamnějších faktorů při rozhodování o investicích do technologií, byla jí v dotazníkovém šetření věnována zvláštní pozornost. Na rozdíl od ostatních kritérií, jejichž váha byla zjišťována pomocí předem definované škály možností. Pro určení váhy ceny byla do dotazníku zařazena samostatná otevřená otázka: „Jakou procentuální váhu běžně přiřazujete k hodnotě ceny při posuzování investičních nabídek od dodavatelů?“. Tímto způsobem bylo možné získat přesnější a individuálnější pojeté hodnocení významu tohoto kritéria ze strany respondentů.

Cílem bylo zjistit, jak významnou roli přisuzují odborníci ceně v rámci celkového rozhodovacího procesu. Respondenti byli požádáni, aby uvedli odhad v procentech dle svých reálných zkušeností z praxe.

Odpovědi byli zpracované následně:

Tabulka 2 Odpovědi respondentů a jejich průměr

| Číslo respondenta | Odpovědi respondentů | Průměr |
|----------------------------|----------------------|---------------|
| 1 | 90%-100% | 95,0% |
| 2 | 95%-100% | 97,5% |
| 3 | 92% | 92,0% |
| 4 | 90%-95% | 92,5% |
| 5 | 95%-100% | 97,5% |
| 6 | 85%-95% | 90,0% |
| 7 | 97% | 97,0% |
| 8 | 80%-90% | 85,0% |
| 9 | 95%-100% | 97,5% |
| 10 | 85%-95% | 90,0% |
| 11 | 90%-95% | 92,5% |
| 12 | 80%-95% | 87,5% |
| 13 | 80%-90% | 85,0% |
| 14 | 95%-100% | 97,5% |
| 15 | 80%-100% | 90,0% |
| 16 | 95% | 95,0% |
| 17 | 90%-100% | 95,0% |
| 18 | 85%-90% | 87,5% |
| Průměr významu ceny | | 92,29% |



Obrázek 22 Procentuální význam ceny při posuzování investičních nabídek dle respondentů, vlastní zpracování

Z obdržených odpovědí byl následně vypočten aritmetický průměr, který ukázal, že pořizovací cena má v rozhodovacím procesu průměrnou váhu 92, 29 %. Tento výsledek potvrzuje silný vliv pořizovací ceny jako rozhodovacího faktoru a podtrhuje její dominantní roli při posuzování nabídek na zavedení AMT.

Pro zbývajících sedm kritérií byla vytvořena souhrnná otázka, jejímž cílem bylo zjistit, jakou důležitost jednotlivým kritériím přisuzují odborníci při teoretickém zvažování zavedení AMT do jejich skladového provozu. Respondenti byli požádáni, aby každé kritérium ohodnotili na pětibodové škále, kde hodnota 1 znamenala nevýznamné a hodnota 5 označovala nezbytné kritérium pro rozhodování.

Tabulka 3 Škála hodnocení

| Hodnocení | Bodové ohodnocení |
|------------|-------------------|
| Nevýznamné | 1 |
| Nízké | 2 |
| Střední | 3 |
| Vysoké | 4 |
| Nezbytné | 5 |

Na základě obdržených odpovědí byl u každého kritéria vypočten aritmetický průměr, který slouží jako indikátor jeho relativní důležitosti.

Tabulka 4 Navržené váhy kritérií a jejich průměr

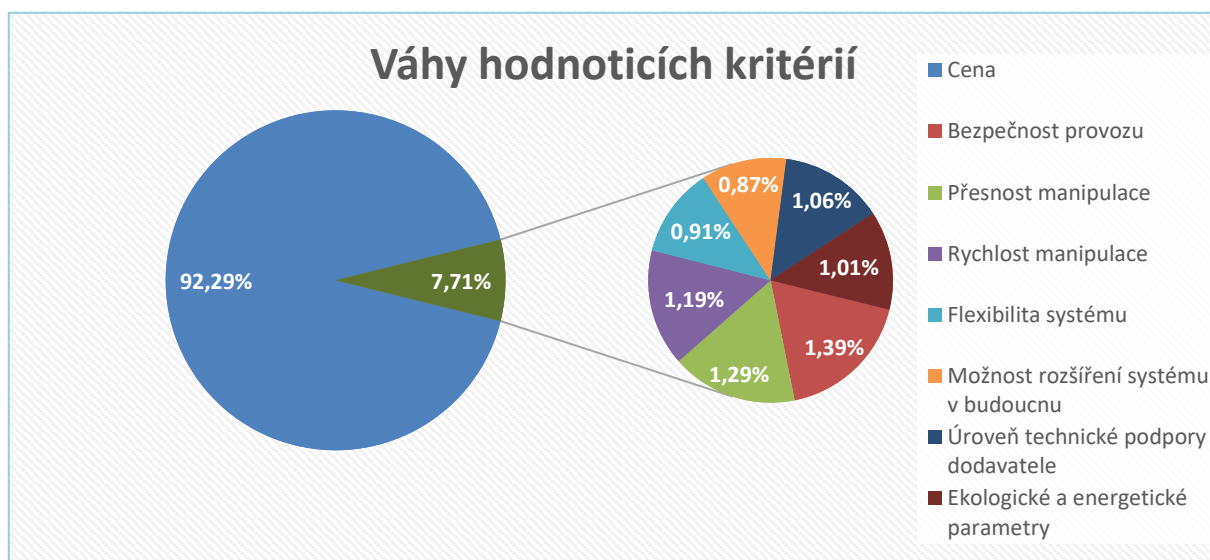
| Kritérií | Váhy přiřazené respondenty | | | | | | | | | | | | | | | | | | Průměr |
|--------------------------------------|----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|
| Bezpečnost provozu | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4,67 |
| Přesnost manipulace | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4,33 |
| Rychlost manipulace | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4,00 |
| Flexibilita systému | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3,06 |
| Možnost rozšíření systému v budoucnu | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 5 | 3 | 2,94 |
| Úroveň technické podpory dodavatele | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3,56 |
| Ekologické a energetické parametry | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 5 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3,39 |

Vzhledem k tomu, že kritérium „Cena“ představovalo na základě odpovědí respondentů průměrně 92,29 % celkové váhy, zbývajících sedm kritérií tak dohromady tvoří pouze 7,71 % ze 100 %. Z tohoto důvodu bylo důležité určit, jaký procentuální podíl z těchto 7,71 % připadá na každé jednotlivé kritérium. Průměrná hodnocení získaná z pětibodové škály byla proto dále využita k výpočtu relativního zastoupení každého kritéria v rámci tohoto zbytkového podílu. Tento postup umožňuje přiřadit každému z těchto sedmi kritérií odpovídající váhu a následně je zařadit do celkového hodnoticího rámce pro rozhodování o implementaci AMT.

Tabulka 5 Podíl stanovených vah

| Kritérium | Stanovená váha | Podíl (%) |
|--------------------------------------|----------------|-----------|
| Bezpečnost provozu | 4,67 | 1,39 |
| Přesnost manipulace | 4,33 | 1,29 |
| Rychlost manipulace | 4,00 | 1,19 |
| Flexibilita systému | 3,06 | 0,91 |
| Možnost rozšíření systému v budoucnu | 2,94 | 0,87 |
| Úroveň technické podpory dodavatele | 3,56 | 1,06 |
| Ekologické a energetické parametry | 3,39 | 1,01 |

Výsledné váhy jednotlivých kritérií jsou znázorněny na obrázku níže.



Obrázek 23 Váhy hodnoticích kritérií pro výběr AMT, vlastní zpracování

Z grafu vyplývá, že kritérium „Cena“ bylo respondenty jednoznačně označeno jako nejvýznamnější s průměrnou váhou 92,29 %. Zbýlých 7,71 % bylo rozděleno mezi ostatních

sedm kritérií. Nejvyšší podíl z této skupiny získalo kritérium „Bezpečnost provozu“ (1,39 %), následované „Přesností manipulace“ (1,29 %) a „Rychlostí manipulace“ (1,19 %). Nejméně důležité podle respondentů bylo kritérium „Možnost rozšíření systému v budoucnu“, které obdrželo pouze 0,87 %.

Tato váhová struktura odráží praktické preference odborníků při posuzování výběru dodavatele investice do autonomní manipulační techniky. Tento obecný model může být standardem pro multikriteriální podporu strategického rozhodování.

ZÁVĚR

Tato práce se zabývala problematikou autonomní manipulační techniky (AMT) ve skladovém prostředí, přičemž hlavním cílem bylo navrhnout soubor hodnotících kritérií, která mohou organizacím pomoci při rozhodování o jejím zavedení. Na základě úvodní teoretické části a následné analytické a návrhové fáze byly stanoveny důležité faktory ovlivňující efektivní implementaci AMT a navržena vícekriteriální struktura pro jejich hodnocení.

V první části práce byla provedena klasifikace skladových systémů a manipulační techniky s důrazem na autonomní prostředky. Dále byla analyzována vhodnost jednotlivých typů AMT pro různé druhy skladů a typy komodit, přičemž byly zohledněny i různé typy skladového vybavení, jako jsou regálové systémy, dopravníky nebo systémy sledování zboží. Byla také popsána současná úroveň technologií, jejich možnosti, omezení a trendy dalšího vývoje.

V analytické části práce byly uvedeny konkrétní příklady využití AMT ve firmách (např. Amazon, IKEA a JYSK), čímž byl potvrzen praktický význam a přínos této technologie v reálném prostředí. Součástí práce byla i identifikace technických, provozních a ekonomických aspektů, které je nutné brát v úvahu při plánování automatizace skladových operací.

Na základě získaných poznatků byl sestaven dotazník, jehož cílem bylo zjistit vnímání významu různých faktorů ovlivňujících zavedení AMT u odborné veřejnosti. Výsledky byly následně zpracovány pomocí metody váženého průměru, na jejímž základě vznikl návrh hodnotících kritérií s přiřazenými vahami. Výsledný model tak může sloužit jako podpora strategického rozhodování při výběru a implementaci vhodných technologií v konkrétních podmínkách.

Přínosem práce je vytvoření strukturovaného nástroje, který kombinuje technické, provozní i ekonomické hledisko a zároveň vychází z reálných názorů a zkušeností odborníků v oblasti logistiky a skladování. Tento nástroj může být dále rozvíjen a přizpůsobován specifickým potřebám různých odvětví.

V rámci dalšího výzkumu by bylo možné rozšířit počet respondentů dotazníkového šetření a ověřit navržený model v praxi například formou případové studie konkrétní firmy. Za užitečné lze považovat také hlubší zkoumání návratnosti investic do AMT v různých typech skladových provozů nebo porovnání efektivity různých navigačních technologií v odlišných skladových podmínkách.

POUŽITÁ LITERATURA

- WATERS, Donald, 2003. *Logistics: an introduction to supply chain management*. New York. ISBN 0-333-96369-5.
- SIXTA, Josef a Václav MAČÁT, 2005. *Logistika – teorie a praxe*. Brno. ISBN 80-251-0573-3.
- LAMBERT, Douglas, James STOCK a Lisa ELLRAM, 2005. *Logistika*. Brno. ISBN 80-251-0504-0.
- TOMPKINS, James et al., 2010. *Facilities Planning: fourth edition*. Hoboken. ISBN 978-0-470-44404-7.
- VECNA ROBOTICS, n.d. *Comparing AMRs and AGVs: What's Your Best Option* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.vecnarobotics.com/amr-vs-agv/>
- IQS DIRECTORY, n.d. *Automated Guided Vehicles: Discovering the Various Types of AGVs* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.iqsdirectory.com/articles/automated-guided-vehicle/automated-guided-vehicle.html>
- IQS DIRECTORY, n.d. *Types of AGVs (Automated Guided Vehicles): Components and Benefits* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.iqsdirectory.com/articles/automated-guided-vehicle/types-of-agvs-automatic-guided-vehicles.html>
- IQS DIRECTORY, n.d. *Autonomous Mobile Robots (AMR): Types and Uses* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.iqsdirectory.com/articles/automated-guided-vehicle/autonomous-mobile-robots.html>
- STAUBLI, n.d. *Warehouse* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.staubli.com/global/en/robotics/products/mobile-robotics/mobile-robot-forklift.html>
- SSI SCHÄFER, 2021. *Reference JYSK, Denmark: Highly Dynamic Distribution Center to Control the Growing Variety of Items in the Furniture Business* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.ssi-schaefer.com/resource/blob/749294/8cba0a67c0d426d943beaa8e7ccfa6b9/reference-jysk-denmark-highly-dynamic-distribution-center-to-control-the-growing-variety-of-items-dam-download-en-21949--data.pdf>
- EXOTEC, 2024. *How Amazon Robotics Changed the Landscape of Fulfillment* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.exotec.com/insights/how-amazon-robotics-has-changed-the-landscape-of-fulfillment>
- PRIME ROBOTICS, 2024. *How a Picking and Palletizing Robotic Arm Can Streamline Warehousing Workflows* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.primerobotics.com/how-a-picking-and-palletizing-robotic-arm-can-streamline-warehousing-workflows>
- SYSTEMYLOGISTIKY.CZ, 2023. *Farmacie: Přísné podmínky a omnichannel na vzestupu* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.systemylogistiky.cz/2023/11/21/farmacie-prisne-podminky-a-omnichannel-na-vzestupu/>

IKEA, 2020. *How tech for show business can automate IKEA warehouses* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.ikea.com/global/en/stories/design/how-tech-for-show-business-can-automate-ikea-warehouses-201119/>

FADA ENGINEERING (FADA), n.d. *Heavy Duty Transfer Cart (HDC)* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.fada.com.tr/en/product/en-heavy-duty-transfer-cart-hdc/>

DEMATIC, 2019. *Dematic AGVs the coolest solution for Oxford Cold Storage* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.dematic.com/en-us/insights/case-studies/oxford-cold-storage/>

LINDE MATERIAL HANDLING, n.d. *Vysokozdvížené vozíky EX s ochranou proti výbuchu* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.linde-mh.cz/cs/Vyrobky/Vysokozdvizne-voziky-EX-s-ochranou-proti-vybuchu/>

AUTOSTORE, n.d. *RFID Tags for Inventory* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.autostoresystem.com/insights/rfid-tags-for-inventory#how-rfid-works-in-warehouse-inventory-management->

GAO TEK, n.d. *Applications of IoT Sensors in Inventory Management* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://gaotek.com/application-of-iot-sensors-in-inventory-management/>

TOYOTA MATERIAL HANDLING, n.d. *Regálová řešení. Toyota Forklifts* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://toyota-forklifts.cz/reseni/regalova-reseni/>

BITO-LAGERTECHNIK BITTMANN GMBH, 2024. *Přehled typů skladování* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.bito.com/cs-cz/odbornost/artikel/prehled-typu-skladovani/>

SSI SCHAEFER, n.d. *Cantilever Racking for Every Application* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.ssi-schaefer.com/en-de/products/storage/shelving-systems/cantilever-racking>

SSI SCHAEFER, n.d. *Mobile Racking for Pallets and Long Goods* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.ssi-schaefer.com/en-de/products/storage/semi-automated-storage/mobile-racking-systems/mobile-racking-for-pallets-and-long-goods>

SSI SCHAEFER, n.d. *Mobile racking system & automated guided vehicles* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.ssi-schaefer.com/en-au/solutions/by-intralogistic-strategy/combined-solutions/mobile-racking-system-automated-guided-vehicles>

STORAGE SOLUTIONS, n.d. *Goods-To-Person* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://storage-solutions.com/solutions/goods-to-person/>

VERITY, 2024. *Inventory Tracking Drone* [online]. [cit. 2025 06 26]. Dostupné z: <https://www.verity.net/solution>

DOKUMENTACE BOZP, 2018. *Přeprava nebezpečných látek a věcí v režimu ADR* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.dokumentacebozp.cz/aktuality/adr-preprava-nebezpecnych-latek-a-veci/>

INTERLAKE MECALUX, n.d. *Shuttle System* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.interlakemecalux.com/automated-storage-retrieval-systems-asrs/shuttle-system>

DAIFUKU, n.d. *Multi Shuttle Vehicle AS/RS - Shuttle Rack M* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.daifuku.com/solution/intralogistics/products/automated-warehouse/multi-shuttle-asrs/>

- SODIYA, Enoch O. et al., 2024. *AI-driven warehouse automation: A comprehensive review of systems*. *GSC Advanced Research and Reviews* [online]. 18(2), 272–282 [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://gsconlinepress.com/journals/gscarr/sites/default/files/GSCARR-2024-0063.pdf>
- ASSOCIATION FOR ADVANCING AUTOMATION (A3), n.d. *What Are Collaborative Robots?* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.automate.org/robotics/cobots/what-are-collaborative-robots>
- KINALI, n.d. *Průmysl 4.0* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.kinali.cz/cs/technologie/prumysl-4-0/>
- SPHEREWMS, 2025. *Guide to Warehouse Conveyor Systems: Types, Uses, & Benefits* [online]. Dostupné z: <https://spherewms.com/blog/warehouse-conveyor-systems>
- DJI ENTERPRICE, 2024. *How Drones Help Warehouse Logistics and Inventory Checks* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://enterprise-insights.dji.com/blog/warehouse-drones-help-manage-inventory-checks-and-optimize-logistics>
- ICOGRAMS, 2023. *Manual Warehouse* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://icograms.com/templates/693/manual-warehouse>
- CROWN EQUIPMENT CORPORATION, n.d. *M Series Walkie Straddle Stacker* [online]. [cit. 2025-06-26]. Dostupné z: <https://www.crown.com/en-us/forklifts/stackers/m-intermediate-stacker.html>

SEZNAM TABULEK

| | | |
|------------------|--|----|
| Tabulka 1 | Popis navržených kritérií | 42 |
| Tabulka 2 | Odpovědi respondentů a jejich průměr | 43 |
| Tabulka 3 | Škála hodnocení | 44 |
| Tabulka 4 | Navržené váhy kritérií a jejich průměr | 44 |
| Tabulka 5 | Podíl stanovených vah | 45 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | | |
|-------------------|---|----|
| Obrázek 1 | Nákladové vazby, které je nutné respektovat v logistickém systému..... | 11 |
| Obrázek 2 | Typické funkce skladování a související toky produktů..... | 13 |
| Obrázek 3 | Mechanizovaný sklad..... | 15 |
| Obrázek 4 | Automatizace ve skladě | 16 |
| Obrázek 5 | Ručně vedený vysokozdvizný vozík..... | 18 |
| Obrázek 6 | Čelní vysokozdvizný vozík..... | 19 |
| Obrázek 7 | System navádění pomocí vodiče..... | 20 |
| Obrázek 8 | System navádění pomocí pásky | 20 |
| Obrázek 9 | System laserového skenování | 21 |
| Obrázek 10 | System satelitní navigace | 21 |
| Obrázek 11 | Tažné AGV se střední nosností..... | 22 |
| Obrázek 12 | Automatický vysokozdvizný vozík..... | 22 |
| Obrázek 13 | Porovnání AMR a AGV navigací | 23 |
| Obrázek 14 | Příklad automatizovaného skladovacího a vychystavacího systému..... | 26 |
| Obrázek 15 | Roboti Kiva od Amazonu přepravují regály po skladu..... | 28 |
| Obrázek 16 | Robotické rameno při manipulaci se zbožím..... | 29 |
| Obrázek 17 | Dron společnosti Verity | 30 |
| Obrázek 18 | Těžkotonážní přepravní vozík společnosti FADA..... | 32 |
| Obrázek 19 | Pohyblivý regálový systém | 35 |
| Obrázek 20 | Vertikální výtahový modul | 36 |
| Obrázek 21 | RFID tag..... | 38 |
| Obrázek 22 | Procentuální význam ceny při posuzování investičních nabídek dle respondentů, vlastní zpracování | 43 |
| Obrázek 23 | Váhy hodnoticích kritérií pro výběr AMT, vlastní zpracování..... | 45 |

SEZNAM ZKRATEK

| | |
|---------|---|
| ADR | Accord relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route Evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí |
| AGV | Automated Guided Vehicle Automaticky naváděné vozidlo |
| AI | Artificial Intelligence Umělá inteligence |
| AMR | Autonomous Mobile Robot Autonomní mobilní robot |
| AMT | Autonomní manipulační technika |
| EDI | Electronic Data Interchange Elektronická výměna dat |
| GPS | Global Positioning System Globální poziční systém |
| IoT | Internet of Things Internet věcí |
| LiDAR | Light Detection and Ranging Detekce a měření vzdálenosti pomocí světla |
| ML | Machine Learning Strojové učení |
| MRS | Mobile Racking System Pohyblivý regálový systém |
| QR code | Quick-Response code Kód rychlé reakce |
| REACH | Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals Registrace, hodnocení, povolování a omezování chemických látek |
| RFID | Radio Frequency Identification Identifikace na rádiové frekvenci |
| ROI | Return on Investment Návratnost investice |

| | |
|------|--|
| SLAM | Simultaneous Localization and Mapping Systém simultánní lokalizace a mapování |
| VLM | Vertical Lift Modules Vertikální výtahový modul |
| WMS | Warehouse Management Systém Systém řízení skladu |

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A Náhled dotazníku

Hodnotící kritéria pro implementaci autonomní manipulační techniky

Tento dotazník je součástí praktické části bakalářské práce.

Jeho cílem je získat informace, které pomohou navrhnout hodnotící kritéria pro zavedení autonomní manipulační techniky (AMT) ve skladech. Vaše odpovědi mohou firmám usnadnit rozhodování o tom, zda a jak implementovat AMT do svého provozu.

Dotazník je anonymní a jeho vyplnění zabere přibližně 5 minut.

Děkuji předem za Váš čas a ochotu přispět k výzkumu.

Jakou máte praxi ve skladové logistice? *

- Méně než 2 roky
- 2-5 let
- 5-10 let
- Více než 10 let

Jakou procentuální váhu běžně přiřazujete k hodnotě ceny při posuzování investičních nabídek od dodavatelů? *

0/100/1000

Jak důležité jsou následující faktory při teoretickém zvažování zavedení AMT do vašeho skladu? *

| | Nevýznamné | Nízké | Střední | Vysoké | Nezbytné |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Bezpečnost provozu | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Přesnost manipulace | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Rychlost manipulace | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Flexibilita systému (změna provozu) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Možnost rozšíření systému v budoucnu | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Úroveň technické podpory dodavatele | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Ekologické a energetické parametry | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |