

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2025

KIRILL LEUT

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Optimální plánování trasy při výdeji zboží ze skladu
Bakalářská práce

2025

Kirill Leut

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Kirill Leut**
Osobní číslo: **D20171**
Studijní program: **B1041A040002 Technologie a management v dopravě**
Specializace: **Logistika**
Téma práce: **Optimální plánování trasy při výdeji zboží ze skladu**
Zadávací katedra: **Katedra technologie a řízení dopravy**

Zásady pro vypracování

Úvod

- Analýza způsobů skladování a vychystávání
- Analýza a porovnání doby vychystávání u různých technik vychystávání
- Návrhy pro rychlé vychystávání zboží

Závěr

Rozsah pracovní zprávy: **35-45**
Rozsah grafických prací: **3-4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Dle pokynů vedoucí/ho práce.

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

Datum zadání bakalářské práce: **25. února 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. června 2025**

L.S.

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

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

Prohlašuji:

Práci s názvem „optimální plánování trasy při výdeji zboží ze skladu“ jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., 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 27.06.2025

Kirill Leut v. r.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Davidu Šourkovi, Ph.D. za absolvované konzultace k této práci a návrhy na zlepšení.

ANOTACE

Obsahem práce je problematika plánování trasy při vychystávání zboží. Zejména se zaměřuje na proces vychystávání zboží a popis vychystávacích heuristik. Zabývá se též analýzou jednotlivých metod a technologií skladování zboží ve skladech a analýzou jednotlivých metod a technik vychystávání zboží.

KLÍČOVÁ SLOVA

vychystávání, optimalizace vychystávání, skladování, zboží, sklady

TITLE

Optimal route planning when picking up goods from the warehouse

ANNOTATION

The content of the thesis is the issue of route planning during goods picking. It focuses in particular on the goods picking process and the description of picking heuristics. It also deals with the analysis of individual methods and technologies of storing goods in warehouses and the analysis of individual methods and techniques of picking goods.

KEYWORDS

picking, optimization of picking, storage, goods, warehouses

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	10
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČE	11
ÚVOD.....	12
1 Analýza způsobů skladování a vychystávání.....	14
1.1 Sklady a v jakých skladech je potřeba plánovat a optimalizovat vychystávací trasy.....	14
1.2 Způsoby skladování zboží ve skladu	15
1.2.1 Kryté sklady s podlahovým skladováním	15
1.2.3 Paletové regály a jejich typy.....	18
1.2.4 Kombinovaný způsob skladování a sklady podle úrovně regálů	24
1.2.5 Konkrétní umístění zboží ve skladu. Metody umístění zboží	25
1.3 Vychystávání, jeho způsoby.....	28
1.3.1 Způsoby vychystávání zboží	29
1.3.2 Heuristické směřování vychystávačů. Strategie směřování	31
1.3.3 Směřování ve víceblokovém skladu	36
2 Analýza a porovnání doby vychystávání u různých technik vychystávání	40
2.1 Kombinovaná heuristika	40
2.1.2 Příklad metody dynamického programování.....	40
2.1.4 Vylepšená kombinovaná heuristika	41
2.1.5 Porovnání heuristik pro víceblokový sklad	41
2.2 Metody skladování a směřování založené na křivce ABC na základě COI.....	42
2.2.1 Potvrzení funkčnosti analytického modelu	44
2.2.4 Srovnávací analýza mezi "return" heuristikou a "traversal" heuristikou	45
3 Porovnání metod pomoci fiktivního skladu	46
3.1 Obyčejné použití heuristik	46
3.2 Uspořádání zboží pro vychystávání pomocí ABC	48
ZÁVĚR.....	54
POUŽITÁ LITERATURA	55

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklad blokového skladu.....	17
Obr. 2 Paletové regály	18
Obr. 3 Vjezdové regály.....	19
Obr. 4 Hluboké (zalisované) paletové regály	20
Obr. 5 Policové regály	22
Obr. 6 Gravitační regály	23
Obr. 7 „S-Shape“	32
Obr. 8 „Return“	33
Obr. 9 „Largest Gap“.....	34
Obr. 10 „Mid-point“	34
Obr. 11 Kombinovaná strategie směřování	35
Obr. 12 Optimální algoritmus	36
Obr. 13 Heuristika „S-shape“	37
Obr. 14 Heuristika největší mezery.....	38
Obr. 15 Heuristika „Aisle-by-aisle“	39
Obr. 16 Příklad situace pro metodu dynamického programování	41
Obr. 17 Rozdělení skladu na oblasti vyhrazené pro položky s nízkým (A), středním (B) a vysokým (C) COI pro „Return“ heuristiku.....	43
Obr. 18 Rozdělení skladu na oblasti vyhrazené pro položky s nízkým (A), středním (B) a vysokým (C) COI pro „Traversal“ heuristiku.....	44
Obr. 19 Heuristika „Traversal“ při náhodném umístění položek	47
Obr. 20 Heuristika „Return“ při náhodném umístění položek.....	47
Obr. 21 Kombinovaná heuristika při náhodném umístění položek.....	48
Obr. 22 Ilustrace skladu s uspořádáním zboží podle ABC.....	49
Obr. 23 Heuristika „Traversal“ při umístění zboží podle ABC. 71 metrů	50
Obr. 24 Heuristika „Traversal“ při umístění zboží podle ABC. 86 metrů	50
Obr. 25 Ilustrace skladu s uspořádáním zboží podle ABC.....	51
Obr. 26 Heuristika „Return“ při umístění zboží podle ABC. 86 metrů	52
Obr. 27 Heuristika „Return“ při umístění zboží podle ABC. 70 metrů	52

SEZNAM TABULEK

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

COI	Cube per Order Index (Index krychle na objednávku)
I/O	Vstupní/výstupní bod
SKU	Stock Keeping Unit (Skladová jednotka)
WMS	Warehouse Management System (Systém řízení skladu)

ÚVOD

V současném dynamickém a globalizovaném světě hraje efektivní logistika klíčovou roli v úspěšném fungování firem téměř ve všech oblastech hospodářství. Zvláštní význam má skladová logistika, která zajišťuje efektivní tok materiálu a zboží mezi jednotlivými články dodavatelského řetězce. V tomto kontextu vystupuje do popředí potřeba optimalizace skladových procesů – zejména procesů vychystávání, které jsou jednou z nejvíce časově a ekonomicky náročných činností ve skladu.

Cílem této bakalářské práce je analyzovat a navrhnout vhodné metody pro optimalizaci pohybu pracovníků při vychystávání zboží ze skladu. Jedním z hlavních problémů, se kterým se sklady potýkají, je nadměrné množství času, které zaměstnanci stráví pohybem mezi jednotlivými položkami zboží. Tento čas představuje významnou část celkové doby zpracování objednávek a jeho redukce má přímý vliv na zvýšení produktivity a snížení nákladů.

Práce se zaměřuje především na nízkoúrovňové sklady, kde vychystávání zboží provádějí lidé manuálně. Ve skladech tohoto typu je optimalizace vychystávacích tras zásadní, neboť zaměstnanci často stráví většinu pracovní doby chůzí. Téma je aktuální zejména s ohledem na rostoucí nároky zákazníků na rychlost dodání, rozmanitost sortimentu a efektivitu zpracování objednávek.

V první části práce je provedena analýza různých způsobů skladování zboží, jejich výhody a nevýhody, včetně metod jako jsou paletové regály, gravitační regály či policové systémy. Následuje přehled metod vychystávání zboží a jejich charakteristika – od klasického vychystávání podle sběrného listu až po moderní přístupy jako je dávkové nebo zónové vychystávání.

Zvláštní důraz je kladen na analýzu směřování vychystávačů – tedy na způsob, jakým je určována optimální trasa pracovníka při výdeji zboží. Jsou zde popsány různé heuristické metody jako „S-shape“, „Return“, „Largest gap“, „Mid-point“ nebo kombinované strategie, včetně jejich výhod, nevýhod a oblastí použití. Součástí práce je rovněž srovnání těchto metod s optimálními algoritmy, založenými například na dynamickém programování, a analýza jejich praktického využití v jedno – a víceblokových skladech.

Práce se opírá o odborné zdroje a výzkumy autorit v oblasti skladové logistiky, jako jsou Roodbergen nebo Caron, a doplňuje teoretická zjištění vlastními příklady a výpočty. Cílem je

nejen popsat existující metody, ale především zhodnotit jejich efektivitu a použitelnost v reálném provozu.

Výsledkem by měl být návrh konkrétního optimalizačního řešení, které povede ke zkrácení tras pracovníků ve skladu, a tím i ke zvýšení produktivity celého logistického procesu.

1 Analýza způsobů skladování a vychystávání

Otázka optimalizace skladových procesů byla v oblasti skladové logistiky vždy naléhavá. Každý rok se objevuje stále více různých druhů zboží a nároky na sklady a zaměstnance, kteří je obsluhují, rostou. Každý rok se objevuje stále více technologií, které pomáhají optimalizovat skladové operace. Ze všech problémů, které vznikají při plánování skladu nebo i v již fungujících skladech, však vyniká problém úspory času při pohybu po skladu, a konkrétně problém směrování při vychystávání zboží.

Tato bakalářská práce se bude zabývat a analyzovat jak skladovací technologie, tak i metody směrování při vychystávání. Hlavním úkolem je zvážit a zdůraznit nejlepší metody optimalizace skladových operací a také zvážit možnosti zavedení moderních technologií do skladové logistiky.

Ve své práci se budu opírat o stávající výsledky porovnání metod směrování pomocí dynamického programování a také o matematické modely.

1.1 Sklady a v jakých skladech je potřeba plánovat a optimalizovat vychystávací trasy

Sklady jsou skladovací prostory pro materiálové zdroje, které jsou potřebné ke zmírnění výkyvů v nabídce a poptávce a také k synchronizaci rychlosti toků surovin a hotových výrobků. Materiálový tok ve všech fázích svého pohybu – od zdroje surovin až po konečného spotřebitele produktu – potřebuje speciálně vybavená místa pro skladování a přerozdělování zásob. Může se jednat o vlastní sklady firem, pronajaté sklady nebo sklady operátora logistiky, což jsou zabezpečené sklady. Sklad tedy představuje jeden z nejdůležitějších prvků logistického řetězce. (1, 2).

K vyřešení těchto a dalších problémů se staví sklady, které se od sebe liší velikostí, designovým uspořádáním a dalšími vlastnostmi. Plocha skladů tak může měřit od několika set do několika set tisíc metrů čtverečních. Výška stohování nákladu může být také různá – pokud je v některých skladech vše umístěno v maximální výšce lidské výšky, pak v jiných může náklad stoupnout o 25 metrů a více.

Každý sklad pracuje na optimalizaci svého provozu. Optimalizují každou akci tak, aby bylo zajištěno bezpečné uskladnění zboží, dobře zabaleno, včas vyzvednuto a včas odesláno dále podél logistického řetězce.

Z velkého množství různých skladů můžeme konkrétně vyzdvihnout sklady s regálovým a podlahovým uspořádáním zboží. Právě v takových skladech je třeba věnovat největší pozornost plánování a optimalizaci vychystávacích tras. Mezi takové sklady patří:

Distribuční sklady je zásobovací centrum, kde je určitý objem zboží přijímán přímo z výrobních zařízení. V jejich zdech se zboží rozkládá na maloobchodní sortiment;

Sklady průmyslových podniků je prostor, který je součástí průmyslových území (podniků, dílen), kde je organizováno skladování hotových výrobků nebo surovin;

Sklady pro on-line obchody (E-commerce) - jedná se o sklady, od klasických dispozic až po velké a komplexní sklady s moderním řešením, ve kterých je potřeba udržovat obrovský sortiment zboží, kompletovat velký objem zakázek, vysoká rychlost všech operací s produkty od okamžiku příjmu aplikace atd.

Je také velmi důležité si uvědomit, že nejen ve výše popsaných skladech je nutné neustále optimalizovat procesy vychystávání. Každý sklad, kde si lidé vlastníma rukama vychystají zboží, má tento problém a ten spočívá v několika faktorech. Mezi takové faktory patří velikost skladu, jeho uspořádání (layout), umístění zboží a únava zaměstnanců. U skladů internetových obchodů a podobných obchodů je problém sezónnosti zboží.

Dále se podíváme na metody skladování v různých skladech a podrobně prozkoumáme uspořádání (layout) skladu.

1.2 Způsoby skladování zboží ve skladu

Skladování zboží je samostatná věda, která provádí takové operace jako: využití prostoru, pohodlné a logické uspořádání zboží ve skladu, aby se neztrácel drahocenný čas při vychystávání zboží, přípravě zboží, expedice. Každá akce by měla být zaměřena na snížení počtu prováděných operací a v souladu s tím i na zkrácení času na provedené operace. Vše pro snížení nákladů a inteligentní řízení skladu a toku zboží, protože sklad je hlavním článkem logistického řetězce.

Způsoby skladování zboží vycházejí z vlastností samotného skladu, jako je jeho umístění, velikost, účel. Na základě těchto údajů je zvolen způsob uskladnění zboží.

1.2.1 Kryté sklady s podlahovým skladováním

Podlahové skladování je způsob skladování, při kterém je zboží umístěno přímo na podlaze skladu (3, 4). Tento způsob se často používá u velkého, těžkého nebo nadrozměrného

zboží a také u zboží, které nevyžaduje zvláštní skladovací podmínky. Podlahové skladování zahrnuje různé způsoby skladování zboží, jako je stohování a blokové skladování.

Podlahové skladování zboží se stohováním

Stohování nákladu je způsob stohování jakéhokoli typu balení do vrstev (zboží je naskládáno na sebe) ve skladu. Tato metoda je vhodná pro výrobky, které unesou váhu vrchních vrstev bez poškození (5, 6). Stohování lze použít pro krabice, palety a další obaly. Jeho cílem je co nejrationálnější využití skladových prostor.

Výhodou stohovacího skladování je vysoká míra využití využitelné skladové plochy a nevyžaduje regálové vybavení. Proto je vhodné použít pro nízké sklady (do 6 m). (7)

Nevýhody spočívají v tom, že za prvé existuje omezení výšky stohování. Vzhledem k tomu, že spodní řada závaží by se neměla zdeformovat nebo poškodit, nelze na ni moc položit, takže je potřeba váhu správně rozložit, když její hmotnost klesá.

Za druhé, při dodání nákladu z vícesortimentního zásobníku je nutné jej posunout, což není racionální a není vždy možné. Za třetí, pro práci se stohem potřebujeme nakládací zařízení, které není vždy k dispozici.

Kromě toho při stohování téměř nemožné organizovat cílené skladování přesně podle skladové účetní jednotky. Stohy by proto měly sloužit k ukládání rychleobrátkových jednosortimentních zásilek zboží. (8)

Skladování v blocích

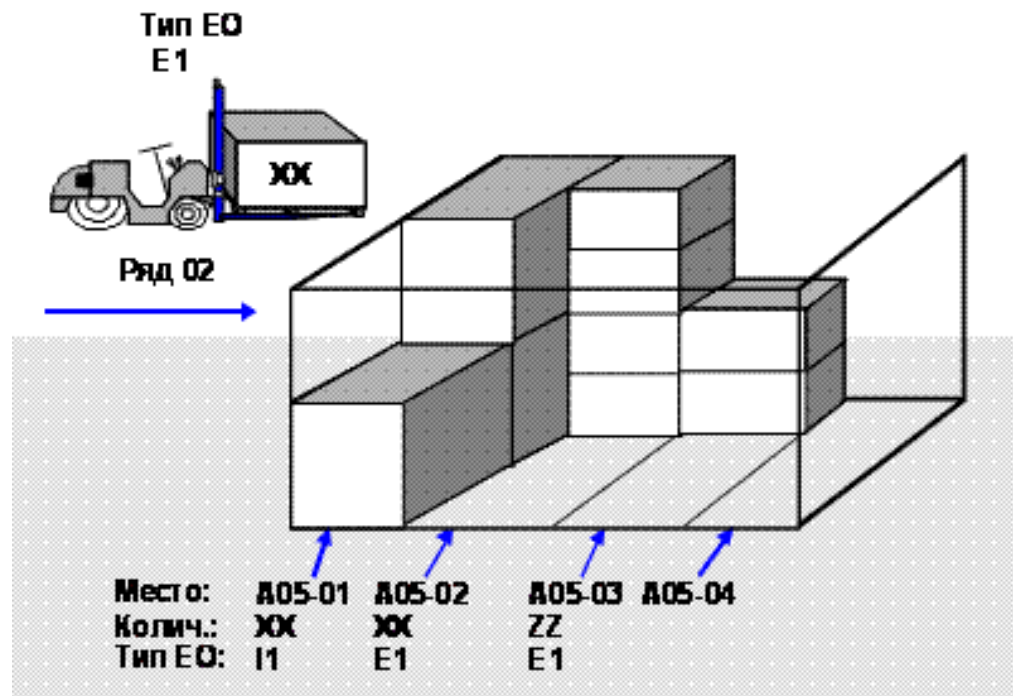
Náklad je organizován do bloků nebo skupin, což usnadňuje jejich účtování a správu. Bloky lze umístit blízko sebe, čímž se minimalizuje volný prostor. (8)

Důležité funkce zpracování při ukládání do bloků:

- **Volně definovaná souřadnicová struktura.** Při definování zásobníků ve skladu s ukládáním do bloků není potřeba brát v úvahu žádné technické systémové předpoklady. Sklad je rozdělen do bloků, které jsou zase rozděleny do samostatných řad. (8)
- **Jedno úložné místo na řádek.** Ve skutečnosti je pro blokový sklad řádek znakem třídění. Vytvoří se řádek a použije se v systému jako úložný zásobník. Zásobníky (řady) jsou klasifikovány podle typů zásobníků.

Například řádky 2 a 3 v bloku A05 (viz obr. 1) mohou obsahovat až 16 palet. Řádek 4 však pojme maximálně 12 palet, protože obsahuje sloupek. Tuto výjimku (sníženou kapacitu řádků) lze zadat při definování struktury bloku. (8)

- **Různé typy manipulačních jednotek.** Blokovaný sklad často používá různé typy manipulačních jednotek různých velikostí, jako jsou standardní palety a průmyslové palety s odnímatelným upevněním. Extended Warehouse Management (EWM) podporuje řízení různých typů manipulačních jednotek ve skladu s ukládáním do bloků. (8)



Obr. 1 Příklad blokového skladu

Zdroj: (8)

Výhody: zvýšená skladovací kapacita díky minimalizaci uliček a optimalizaci využití prostoru.

Nevýhody: omezený přístup ke zboží v rámci bloků, což může zkomplikovat jeho odstranění.

Výhody podlahového skladování celkem

- **Jednoduché a nákladově efektivní:** skladování na podlaze nevyžaduje významné kapitálové investice do vybavení, jako jsou regály. To z něj dělá cenově výhodnou variantu zejména pro malé a střední sklady. (3)
- **Flexibilita:** jednodušší je rozdělit území na skladovací zóny. Například jedna skupina poblíž pravé linie, velké vybavení u zdi.
- **Vhodné pro velké a těžké předměty:** úložný prostor na podlaze se často používá k ukládání předmětů, které je obtížné nebo nemožné umístit na police. (3)
- **Snadnější přístup k obalovým položkám umístěným v předních řadách:** pokud produkty nejsou těžké, možná se obejít bez mechanizovaných nakladačů.

Nevýhody podlahového skladování

- **Nízká hustota skladování:** podlahové skladování využívá prostor méně efektivně než regály. To může mít za následek potřebu využít více skladových prostor pro uskladnění stejného objemu zboží.
- **Obtížný přístup k položkám:** k položkám, zejména k těm ve spodních vrstvách nebo zadních řadách, může být obtížné získat přístup. To může zpomalit proces vychystávání a odeslání.
- **Zvýšená pracovní síla:** pracovníci mohou vyžadovat více času a úsilí k přesunu zboží, zvláště když je vyžadován přístup ke zboží v nižších nebo zadních řadách.

V další práci se budu věnovat pouze regálovým skladům, jelikož problém vychystávání ve skladech s podlahovým skladováním je řešen přeskupováním a otáčením zboží.

1.2.3 Paletové regály a jejich typy

Paletové regály jsou kovové regály s horizontálně namontovanými nosníky, na které lze instalovat palety. Díky tomuto uspořádání umožňují maximální využití výšky skladu (9, 10).

- **Paletové regály**

Tento systém je bloková konstrukce, která je instalována v několika řadách. Mezi nimi je zajištěn vysokozdvizný vozík. Náklad se umístí na regálech a odtud se odebírá podle potřeby (11). Obr.2



Obr. 2 Paletové regály

Zdroj: (12)

Výhody

- Paletové regály mají docela dobré pevnostní vlastnosti.
- Mají jednoduchý design a umožňují snadný přístup k nákladu.
- Umožňuje kontrolovat podmínky skladování zboží.
- Jejich instalace nevyžaduje velké náklady.

(9)

Nevýhody

- Hustota uložení je nízká.
- Proces nakládky a vykládky je komplikovanější kvůli křížení tras vysokozdvizných vozíků.

• Vjezdové regály

Takové konstrukce jsou systémem sloupků a nosníků, jejichž výška sekcí umožňuje vysokozdviznému vozíku vjet do vnitřního prostoru. Nakladač dopraví náklad uvnitř regálu do krajního bodu sekce a tam jej naloží, čímž postupně zaplní konstrukci (16). Obr.3



Obr. 3 Vjezdové regály

Zdroj: (13)

Výhody

- Vjezdové paletové regály mají lepší plnicí kapacitu než předchozí model.
- Konstrukce je poměrně pevná a stabilní.
- Vybavení skladu je levné.

(16)

Nevýhody

- Je možné uložit pouze stejný druh nákladu, který má stejné rozměry.
- Nevhodné pro produkty s omezenou trvanlivostí.
- Z důvodu obtížného přístupu k paletám je nemožné kontrolovat skladovací podmínky zboží.

• Hluboké (zalisované) paletové regály

Existují průchozí hluboké regály a běžné hluboké regály. Běžné hluboké regály se používají pro práci s nákladem na jedné straně, nemají žádné uličky, což umožňuje efektivní využití skladového prostoru. A průchozí hluboké regály zahrnují nakládání na jedné straně a vykládání na druhé straně. Zboží naložené jako první bude vyloženo jako poslední, protože palety se nakládají od konce (17). Obr.4



Obr. 4 Hluboké (zalisované) paletové regály

Zdroj: (13)

Výhody

- Maximální využití skladových prostor (z praxe – až 90% plochy).
- Možnost použití různých typů nákladních palet.
- Možnost servisu hlubokého regálového systému z obou stran.
- Rychlá a snadná instalace.

(17)

Nevýhody

- Náklady na paletový prostor v hlubokých regálech jsou v průměru o 30 % vyšší než v klasických.
- Je poměrně obtížné organizovat skladování zboží různých typů, nejčastěji princip jedná chodba (od první do poslední vrstvy) - dodržuje se jeden produkt.
- Je problematické rychle transformovat systém. K přerozdělení nákladu uvnitř skladu je třeba vykonat spoustu práce.

(17)

• Policové regály

Policové regály jsou nejrozšířenějším typem regálů na světě. Používají se téměř všude: malé i velké sklady, obchody, supermarkety, hypermarkety, archivy, knihovny, velkoobchody a maloobchody. Jsou to rámy stojící svisle, na kterých jsou instalovány obdélníkové nosníky s háčky pro upevnění polic. Police je ve skutečnosti nosný konstrukční prvek, odtud název „policové regály“. (9, 11) Obr. 5



Obr. 5 Policové regály

Zdroj: (13)

Zvláštností takového skladovacího systému je, že nevyžaduje použití vysoko zdvižných vozíků nebo jiného speciálního vybavení, zatímco do regálů produktů se vejde poměrně velký sortiment (včetně nadrozměrných položek). Produkty jsou neustále dostupné – na délku paže. Policové regály jsou navíc skládací a snadno přenosné.

- **Gravitační regály**

Princip fungování tohoto typu regálového zařízení je založen na využití gravitace při umístění nákladu na regálovou polici, která má sklon vzhledem k horizontu. Vlivem gravitace (vlastní hmotnosti) se náklad přesune z místa instalace na místo vykládky. Gravitační regály mají zpravidla blokovou strukturu: břemena jsou řazena za sebou podél hloubky police uvnitř jednoho kanálu gravitačního regálu, který má několik skladovacích úrovní nad sebou (viz obr. 2). (9, 11, 15) Obr.6



Obr. 6 Gravitační regály

Zdroj: (14)

Výhody

- Celý proces skladování podléhá principu FIFO (First In, First Out) - paleta, která dorazila jako první, bude odeslána jako první.
- Vzhledem k tomu, že se náklad pohybuje nezávisle po válečkové plošině, proces nakládání a vykládání vyžaduje minimálně lidskou práci.
- Vzhledem k tomu, že nakládka a vykládka se provádí z různých stran (z různých koridorů), výrazně se zvyšuje produktivita zaměstnanců a rychlost práce. Do prostoru montáže a balení je zajištěna nepřetržitá dodávka nákladu.
- Zařízení gravitačních regálů umožňuje obsadit až 80 % skladového prostoru díky blokové konstrukci a absenci meziregálových uliček.

(9, 11, 15)

Nevýhody. Hlavní nevýhodou takových skladovacích systémů je jejich vysoká cena ve srovnání s hlubokými regály. Cena regálů závisí na velikosti skladu, typu a funkčnosti požadovaného obsahu regálové konstrukce. Při provozu gravitačních regálů jsou kladeny speciální požadavky na velikost a tvar palet a boxů, což s sebou nese i určité nepříjemnosti při jejich použití. (18)

Výhody a nevýhody regálových skladu

Výhody.

- Optimální řešení pro intenzivní obrát obchodu. Při velkém množství zásilek ze skladu je potřeba mít nerušený a rychlý přístup ke každé jednotce skladovaného zboží. Regálové skladování umožňuje rychlé vytváření objednávek na základě požadavků.
- Mechanizace. Regálové skladování funguje dobře s vysokozdvíhými vozíky a zakladači. S jejich pomocí se náklad přesune z místa vykládky na místo uložení, zvedne se do požadované výšky a následně je vyzvednut (19). Při skladování na regálech může vysokozdvíhový vozík zajíždět mezi regály a otáčet se. Operace využívající skladové zařízení jsou mnohem rychlejší než použití ruční práce.
- Zjednodušení inventur. Ukládání adres výrazně zrychluje auditování a tok dokumentů. V účetním systému skladových operací jsou nákladu přiřazena místa a na této „adrese“ lze je rychle najít, zkontrolovat a spočítat.
- Pořádek ve skladu. Při skladování na regálech jsou palety umístěny na místech, která jsou za nimi upevněna ("adresy"). Potřebný náklad lze snadno najít a získat k němu přístup. Je vhodné provádět úklid a pohybovat se po skladových prostorech, včetně vysokozdvíhových vozíků a zakladačů. Je zajištěno odvětrávání, požární bezpečnost, správný hygienický stav. (19)

Nevýhody.

- Náklady na regálové skladování jsou vyšší ve srovnání s podlahovým skladováním. Riziko poškození nákladu a složitost skladových operací však činí úspory krajně pochybnými.
- K umístění a odstranění nákladu je zapotřebí speciální skladové vybavení (například vysokozdvíhové vozíky s vysokou výškou zdvihu). Toto zařízení je nutné zakoupit a udržovat, což s sebou nese dodatečné náklady. (19)
- Stěhování polic vyžaduje čas a plánování (19). Sklady jsou většinou ihned po výstavbě vybaveny regály, ale na přání nového nájemce lze dispozičně změnit.

1.2.4 Kombinovaný způsob skladování a sklady podle úrovně regálů

Kombinovaný způsob skladování zboží je široký pojem. Může zahrnovat kombinaci podlahového i regálového skladování zboží. Může existovat i něco podobného jako mezaninové regály; například kombinace paletových regálů, gravitačních regálů a skladování v přízemí. Tento způsob skladování zboží ve skladu zohledňuje jak vlastnosti zboží, tak i plán skladu a oblast činnosti, ve které sklad působí.

Pro každý sklad je výběr skladovacích metod a jejich kombinací individuálním procesem. Lze však vyzdvihnout základní ustanovení, kterých se většina společností vlastních skladových prostorů snaží dodržovat. Tato ustanovení závisí na vlastnostech zboží, a to:

Velkorozměrné a málo obrátové zboží se umísťuje na podlahu nebo do hlubokých regálů.

- Často obrácené zboží je skladováno v čelních paletových regálech.
- Drobné předměty – na policových regálech nebo na mezaninových regálech.

Tento přístup zajišťuje racionální využití skladového prostoru a výšky, zvýšenou rychlost zpracování objednávek, flexibilitu pro různé typy produktů a snížené náklady na skladování s vysokou hustotou umístění.

Nízkoúrovňové (Low-Level) a vysokoúrovňové (High-Level) sklady

Nízkoúrovňové sklady se vyznačují ruční manipulací se zbožím, kde se zaměstnanci pohybují po skladu a vybírají produkty z regálů umístěných v dosažitelné úrovni bez použití specializovaného vybavení. Takové sklady obvykle používají jednoduché regály do výšky 2 metrů a nevyžadují významné kapitálové investice do vybavení. (20)

Mezi výhody patří nízké počáteční náklady – absence potřeby drahého vybavení činí takové sklady atraktivními pro malé a střední podniky. A také flexibilita – snadná přestavba a přizpůsobení se měnícím se potřebám.

Mezi nevýhody stojí za zmínku nízká hustota úložiště. Omezení výšky regálů vede k neefektivnímu využití vertikálního prostoru.

Vysokoúrovňové sklady využívají automatizované systémy skladování a vyzvedávání, včetně regálů až do výšky 12 metrů a výše, automatických výtahů, dopravníků a robotických systémů. Takové sklady jsou spravovány pomocí specializovaného softwaru, který zajišťuje vysokou přesnost a rychlost zpracování objednávek.

Dále ve své práci budu uvažovat pouze nízkoúrovňové sklady, protože právě v nich je naléhavá potřeba optimalizovat procesy vychystávání zboží.

1.2.5 Konkrétní umístění zboží ve skladu. Metody umístění zboží

Rychlost vychystávání do značné míry závisí na tom, kde přesně se požadovaný produkt nachází. Čím dále se produkt nachází, tím delší cestu musí vychystávač urazit. Čím více produktů musí vychystávač vychystat, tím větší je pravděpodobnost, že ve skladu, kde je produkt umístěn chaoticky, se požadované položky budou nacházet na různých koncích skladu. Pro řešení těchto problémů je vhodné zvážit několik metod, které pomohou optimalizovat sklad, a tím zkrátit dobu vychystávání objednávek. (21)

Adresní skladování

Bez ohledu na velikost skladu a sortiment v něm nabízených produktů je nutné zavést všeobecný systém kontroly pohybu hmotného majetku, aby se předešlo chybám, špatnému třídění a poškození zboží. V současné době je nejefektivnějším systémem je adresní skladování.

Adresní skladování je moderní metoda organizace skladového prostoru, při které je každému místu ve skladu přiřazena unikátní adresa. (22) Tato adresa obvykle zahrnuje informace o sektoru, regálu, úrovni a konkrétní skladovací pozici (např. Sektor A / Regál 3 / Úroveň 2 / Pozice 05). (23) Díky této struktuře lze přesně určit, kde se konkrétní zboží nachází, což výrazně zvyšuje efektivitu skladových operací. Existují také různé způsoby skladování zboží v samotném systému adresního skladování:

1. Dynamické adresy

Pokud se v systému adresního skladování používají dynamické adresy, pak se doručené zboží umístí do volného prostoru a jeho adresy se přiřadí k přijatému nákladu. Výhody této metody jsou v první řadě efektivní využití skladových prostor. Za druhé, jasný a srozumitelný obchodní obrat. Prozkoumáním softwaru používaného ve skladu bude možné rychle a snadno zjistit poptávku po produktech. (21)

Existují však i nevýhody. Pokud z nějakého důvodu program spadne, bude obtížné najít umístěná zatížení. Navíc s dynamickými adresami mohou úspěšně pracovat pouze zkušení skladníci, kteří dobře znají sortiment a skladové prostory.

2. Statické adresy

Pro každý typ produktu je možné přidělit trvalé místo, pak adresy zůstanou nezměněny. Mezi výhody této metody patří snadné použití systému: i nezkušení skladníci snadno zjistí umístění produktů, takže přijetí a odeslání bude rychlé. Když však dorazí velké množství zboží, nastávají potíže s jeho umístěním a rotací. (21)

Po výběru typu adresního skladování obvykle: nakreslí diagram, kde jsou adresy uvedeny, zadají adresy do specifikace produktu, vyplní databázi a označí produkty. Poté se skladové objekty obvykle označí a nanesou se na ně odpovídající písmena nebo číslice v jasných barvách. Snadnost použití spočívá v tom, že pokud se vše udělá správně, každý skladník nebo nakladač bude schopen zboží najít, aniž by si představoval, jak vypadá.

ABC analýza

ABC analýza je metoda klasifikace zásob ve skladu podle jejich vlivu na celkový obrat nebo zisk podniku. Je založena na Paretově principu, podle kterého 20 % položek poskytuje 80 % výsledků. V kontextu skladové logistiky pomáhá ABC analýza určit, které produkty vyžadují zvláštní pozornost při řízení a umístování zásob.

ABC analýza je založena na seřazení produktů podle určitého kritéria, jako je objem prodeje nebo zisk. Po seřazení jsou produkty rozděleny do tří kategorií:

Skupina A: Nejhodnotnější produkty, tvořící přibližně 20 % sortimentu a zajišťující až 80 % obratu.

Skupina B: Produkty průměrné důležitosti, tvořící přibližně 30 % sortimentu a zajišťující přibližně 15 % obratu.

Skupina C: Nejméně důležité produkty, tvořící přibližně 50 % sortimentu a zajišťující pouze 5 % obratu.

Toto rozdělení umožňuje zaměřit se na správu nejdůležitějších produktů a optimalizovat skladové procesy.

Metoda COI (Cube per Order Index)

Metoda COI je efektivní technika řízení zásob ve skladu, jejímž cílem je optimalizovat logistické procesy, zejména v oblastech vychystávání objednávek. Pomáhá minimalizovat dobu cestování zaměstnanců a zlepšit celkovou produktivitu skladu. (24)

Metoda je založena na výpočtu indexu pro každou skladovou jednotku (SKU), definovaného jako poměr objemu produktu k četnosti jeho vychystávání:

$$\text{COI} = \text{Objem SKU} / \text{Četnost vychystávání}$$

Položky s nejnižším COI jsou umístovány blíže k vstupním/výstupním bodům (I/O), protože jsou buď často vychystávány, nebo zabírají méně místa. Tím se snižuje vzdálenost, kterou musí zaměstnanci urazit, aby vychystali objednávky, a tím i doba obratu. Tento přístup je obzvláště efektivní ve skladech s vysokou fluktuací a velkým sortimentem. (24, 25)

Kombinace metody COI a ABC analýzy

Kombinace těchto dvou metod umožňuje cílenější a informovanější přístup k umístění. Například produkty kategorie A s nízkým indexem COI jsou umístěny v nejdostupnějších a „horkých“ oblastech skladu, což urychluje vychystávání objednávek. Naopak položky kategorie C s vysokým indexem COI lze přesunout do periferních nebo vysokých úrovní, protože jsou zřídka žádané a zabírají značný prostor. Tím se současně dosahuje prioritního umístění klíčových produktů a efektivního využití skladovacího prostoru.

Implementace kombinovaného přístupu vyžaduje etapovou implementaci. Nejprve se položky produktů klasifikují podle ABC analýzy. Poté se na základě údajů o rozměrech a četnosti expedice vypočítají hodnoty COI. Následně se vytvoří schéma umístění, které zohledňuje obě hodnocení, a odpovídající položky se přerozdělí po celém skladu. Je důležité zajistit pravidelné aktualizace dat a možnost dynamické úpravy adres skladů.

Použití kombinované metody ABC+COI umožňuje výrazné zvýšení provozní efektivity skladu, snížení časových ztrát při vychystávání, zvýšení přesnosti vychystávání a zlepšení ovladatelnosti logistických procesů. Tento přístup je obzvláště relevantní pro distribuční centra, internetové obchody a sklady s velkým objemem skladových položek a vysokou variabilitou poptávky.

1.3 Vychystávání, jeho způsoby

Vychystávání zboží je proces, kdy se po obdržení faktury tvoří dávky k odeslání. Dávka může obsahovat různý počet položek sortimentu (26).

Algoritmus vychystávacího procesu:

Příjem a zpracování objednávky: po zaregistrování objednávky v informačním systému (např. WMS) se vygeneruje výdejní list obsahující seznam potřebného zboží, jeho množství a umístění ve skladu.

Plánování trasy vychystávání: osoba nebo systém optimalizuje trasu vychystávače a minimalizuje pohyby po skladu. To je obzvláště důležité při použití schématu „od osoby ke zboží“, kdy se zaměstnanec pohybuje po skladu a vyzvedává zboží.

Vychystávání zboží: vychystávač podle pokynů systému vychystává zboží ze stanovených skladovacích míst.

Kontrola a balení: vybrané zboží je převezeno do oblasti kontroly kvality, kde je zkontrolováno, zda splňuje požadavky objednávky. Poté je zboží zabaleno s ohledem na jeho vlastnosti a požadavky na přepravu.

Označování a expedice: zabalené objednávky jsou označeny potřebnými štítky a převezeny do expediční oblasti pro následný předání doručovací službě nebo zákazníkovi. Vychystávání objednávek ve skladu je poměrně pracná fáze logistického procesu. (27)

„člověk za zbožím“ a „zboží za člověkem“

„„Člověk za zbožím“ - zboží se vyváží z místa uskladnění na kompletizační plochu a až po soustředění celého objemu obcházením míst se sestavují dodávky – zboží „stojí“ a v pohybu jsou pracovníci s manipulačními jednotkami – skladník/operátor (picker, vychystávač) prochází nebo projíždí skladem a z odpovídajících skladových lokací odebírá požadované artikly do manipulačních jednotek.“ (27)

„„Zboží za člověkem“ ve skladu znamená, že se zboží dopravuje k operátorovi, který ho pak vychystává, namísto aby operátor procházel skladem a vybíral zboží. Nejčastěji se jedná o automatizaci ve skladu.“ (27)

Toto jsou dvě hlavní metody, které se používají ve fázi vychystávání zboží ve skladu. Volba jedné z těchto dvou metod závisí na provozu a uspořádání skladu. Ve své práci se budu věnovat zejména metodě „Člověk za zbožím“

Většina skladníků, kteří se zabývají vychystáváním zboží, 50 % času stráví pohybem ve skladu a hledáním skladových míst, 20 % času stráví generováním přepravních dokladů a pouze 10 % času věnují na výběr z úložiště. (26) Proces vychystávání je regulován mapami tras, aby bylo možné pochopit pořadí vyzvednutí a trasy pohybu po skladu. K sestavení takových map se obvykle používá WMS (Warehouse Management System).

Nejobtížnější částí výběru optimální metody vychystávání je skutečnost, že se jedná o nepřetržitý a dynamický proces. Nové potřeby, nové okolnosti nebo noví klienti mohou kdykoli spustit změny. Schopnost flexibilně a rychle upravovat model vychystávání je nesmírně důležitým faktorem, na kterém je založeno efektivní řízení skladu.

1.3.1 Způsoby vychystávání zboží

- **Výběr podle sběrného listu (Picking list)** – nejběžnějším způsobem řízení kompletace objednávek, kdy je v sběrném listu uvedena trasa soupravy, množství a název zboží, které

bylo vybráno do objednávky (28). Tento způsob se vyznačuje dlouhou dobou na kompletaci zboží. Přesnost výběru je navíc do značné míry dána pozorností sběrače.

- **Dávkové vychystávání (Batch Picking)** – u tohoto způsobu se skladník zabývá současným výběrem více zakázek. Najde šarže podobných produktů, vybere je ze skladovacích prostor a přesune je do místa odběru. Zboží je následně tříděno a distribuováno dle objednávek. Vzhledem k tomu, že zaměstnanec vybírá zboží pro více objednávek najednou během jednoho přejezdu skladem, zkracuje se doba jízdy. Ale v tomto případě bude další čas strávený tříděním položek podle objednávek zákazníků. Jednou z výhod tohoto způsobu je zkrácení času stráveného pohybem po skladu v každé zóně skladu je osoba odpovědná za určité kategorie zboží. Nevýhodou je malá přesnost kompletace z důvodu výběru z více zakázek najednou, čas navíc na třídění položek dle objednávek zákazníků. (29, 30)
- **Vlnové vychystávání (Wave Picking) „Vlna“** je omezený objem/počet objednávek, které jsou spouštěny současně celým seznamem. Vlna je shromažďována v určitých časových intervalech, které jsou stanoveny harmonogramem práce skladových oddělení. Po spuštění vlny WMS analyzuje celý seznam objednávek přijatých do té doby. WMS analyzuje specifikaci inventáře ve výběrových buňkách a porovná ji s množstvím zboží požadovaným pro vlnu. Pokud pro některé objednávky není ve výběrových buňkách dostatek zboží, pak tyto objednávky nejsou zahrnuty do vlny. Na skladě lze postupně spustit několik vln objednávek za den, ale jejich celkový objem je omezen standardní produktivitou skladu, která závisí na produktivitě práce všech vychystávače a vychystávacích míst v oblasti vychystávání. (29)
- **Zónové vychystávání (Zone Picking)** je proces vychystávání objednávek, ve kterém jsou vychystávači přiřazeni k vychystávání položek z vyhrazené zóny skladu. V tomto procesu je sklad rozdělen do odlišných zón nebo sekcí na základě různých charakteristik, jako je kategorie položek nebo požadavky na vychystávání. (29) Bez ohledu na to, jak tyto zóny nastaví, každý vychystávač vybere položky pouze ze zóny, která je mu přiřazena. To znamená, že pokud se další položka z objednávky nachází v jiné zóně, bude k jejímu odběru přiřazen jiný vychystávač. (29)
- **Zhlukování více zboží do více objednávek (Cluster Picking)**. Zaměstnanec současně nakládá položky pro dvě nebo více objednávek a okamžitě je třídí. Vyžaduje použití speciálního typu koše/vychystávacího vozíku s oddělenými segmenty. Počet segmentů odpovídá počtu objednávek, které lze zpracovat současně. Tato metoda funguje obzvláště dobře, když je sesbíraný sortiment malý a lehký. Výhodou clusterového vychystávání je, že výrazně zkracuje trasy, které zaměstnanci absolvují, a tím i čas potřebný k vyřízení objednávek. Nevýhodou je reálné riziko chyb při třídění.
- **Hybridní modely vychystávání.** Kromě výše uvedených možností firmy často volí hybridní modely. Mnoho skladů kombinuje dvě nebo více metod vychystávání, což někdy vytváří jedinečné a zajímavé řešení. Kromě toho existuje široká škála technologií, které podporují vzorkování.

1.3.2 Heuristické směřování vychystávačů. Strategie směřování

Směřování vychystávačů zboží se zabývá určením pořadí, ve kterém by mělo být určité množství zboží vyzvednuto ze skladu. Obecným cílem řešení problémů směřování je vyvinout metodu schopnou generovat co nejkratší trasy.

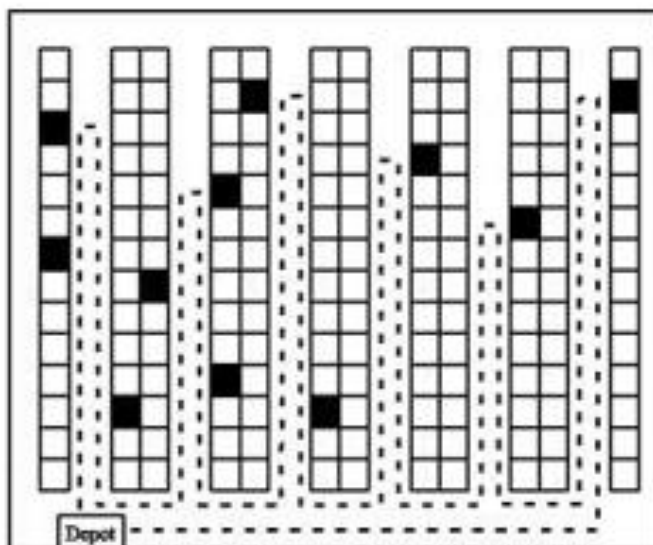
Kromě cíle vytváření krátkých tras existují i další aspekty. Například je užitečné zvážit, že vychystávající musí trasu skutečně provést. Jedním z důležitých důvodů pro použití heuristik je, že umožňují vytváření tras s jasnou strukturou. Vychystávající musí dodržovat pokyny ve svém výdejním seznamu, aby vytvořili trasu vypočítanou počítačovým systémem. Pokud trasa není podle názoru vychystávajících logicky konstruována, mohou omylem zvolit špatnou trasu nebo se mohou rozhodnout systém přechytračit a zvolit trasu, kterou považují za lepší. To samozřejmě nezajistí vysoký výkon. Jednoduchá a jasná trasa proto může zlepšit výkon vychystávajících. (31)

Problém je také v samotném plánu skladu. Pokud je sklad jednoblokovou strukturou, bude na něm fungovat pouze jedna metoda směřování, ale pokud se sklad skládá ze 2 nebo více bloků, pak metody použité pro jednoblokové uspořádání přestanou v víceblokovém uspořádání fungovat. (31)

Směřování v jednom bloku

Jednoblokové rozvržení jsou v literatuře analyzována nejčastěji. V jednoblokové skladovací struktuře byla testována řada provozních metod. Metody směřování lze rozdělit do dvou kategorií. Zaprvé existují metody, které určují nejkratší trasy, nazývané optimální algoritmy. Zadruhé existují heuristiky směřování – metody, které určují rozumnou trasu, která nemusí být nutně nejkratší. Pro jednoblokové uspořádání existuje efektivní optimální algoritmus, který je podrobně popsán v článku Ratliffa, H.D. a Rosenthala, A.S. "Orderpicking in a rectangular warehouse: a solvable case of the traveling salesman problem". Proto není pro toto schéma nutné uvažovat o heuristikách. V praktických situacích však mohou existovat důvody pro preferenci heuristického směřování. Důležitými důvody pro heuristiky jsou jejich přizpůsobivost a skutečnost, že dokáží vytvářet trasy se snadno srozumitelnou strukturou. (31)

„Strategie směřování je strategie, která určuje cestu přes sklad. Trasa je cesta, po které jsou přenášeny všechny prvky objednávky. Pokud je potřeba snížit náklady na vychystávání na minimum, měla by být trasa co nejkratší. Existuje několik směrovacích strategií, ale ne všechny jsou vhodné pro každou situaci.“ (32)

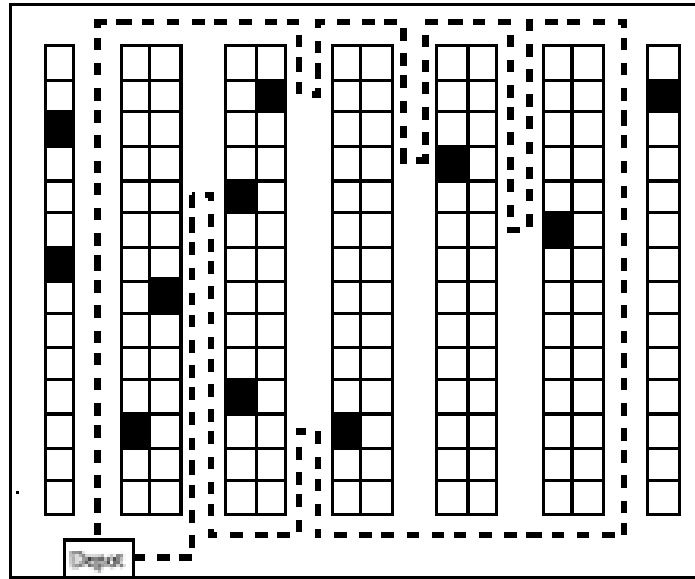


Obr. 8 „Return“

Zdroj: (31)

Heuristika největší mezery (Largest Gap)

Sběrač vjede do první uličky a projde touto uličkou do zadní části skladu. Do každé další uličky se vjíždí až po „největší mezeru“ a opustí se ze stejné strany, ze které do ní vjel. Mezera představuje vzdálenost mezi dvěma sousedními položkami nebo mezi příčnou uličkou a nejbližší položkou. Poslední ulička se projde celou a sběrač se vrací do skladu po přední straně a znovu vjíždí do každé uličky až po největší mezeru. Největší mezera je tedy část uličky, kterou se neprojde. (31) Obr. 9

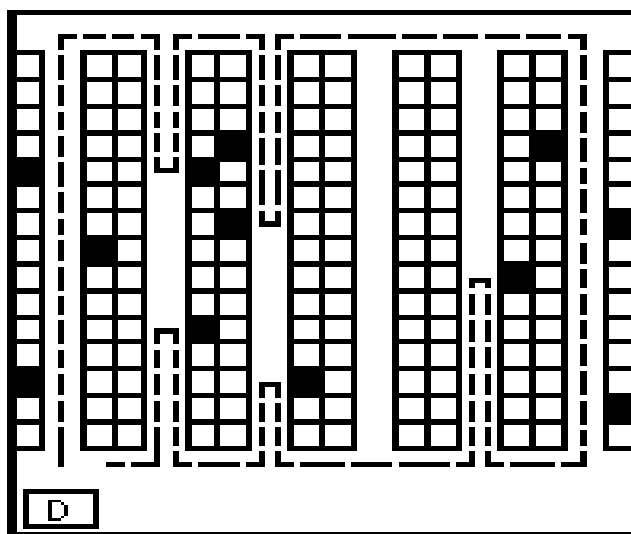


Obr. 9 „Largest Gap“

Zdroj: (31)

Strategie směřování s největší mezerou (Mid-point)

V rámci strategie směřování s největší mezerou je největší mezera v navštívené uličce vzdálenost mezi libovolnými dvěma sousedními trsátkami nebo mezi prvním trsátkem a přední příčnou uličkou nebo mezi posledním trsátkem a zadní příčnou uličkou. Pokud je největší mezera vzdálenost mezi dvěma sousedními trsátkami, měl by sběrač provést návrat, jak je znázorněno na obrázku 10. (32)



Obr. 10 „Mid-point“

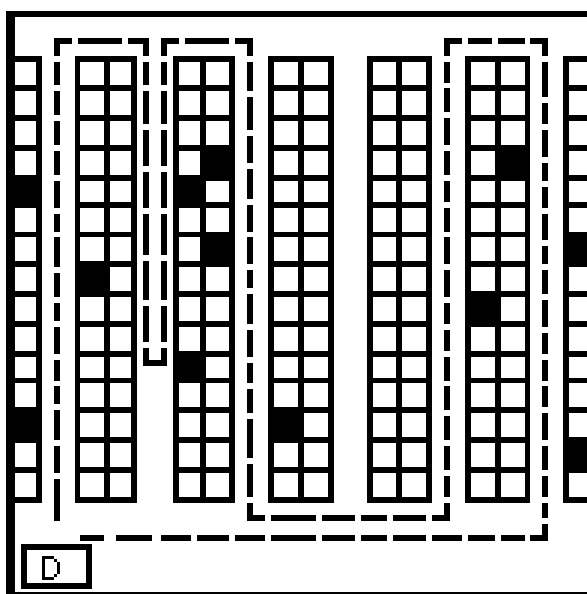
Zdroj: (32)

Podle principu strategie největší mezery, kdy je počet navštívených uliček jedna, se provádí návrat (směrování zpět); když je počet navštívených uliček dvě, vychystávač vždy prochází dvěma uličkami (také nazývané směrování „S“); jsou-li navštívené více než dvě uličky, je nutné projít také první a poslední navštívenou uličkou a do uliček mezi nimi se vstoupí až do největší mezery v uličce (pravidlo největší mezery). (32)

Kombinovaná strategie směrování

V této směrovací strategii, kterou vyvinuli Roodbergen a De Koster (1998), je pokaždé, když jsou vybrány všechny položky jedné uličky, položena otázka, zda přejít na zadní konec uličky nebo se vrátit do předního konce. Tyto dvě alternativy se musí vzájemně porovnat a poté se vybere ta, která vede k nejkratší trase. Po opuštění uličky (na předním nebo zadním konci) je tedy třeba provést volbu mezi dvěma alternativami končícími vzadu a volbou mezi dvěma alternativami končícími vpředu (viz obr. 11) (32). To znamená, že vždy existují dvě možné cesty.

Je-li vybrána poslední položka (teď trasa končí na předním konci), provede se konečná volba mezi dvěma alternativami.

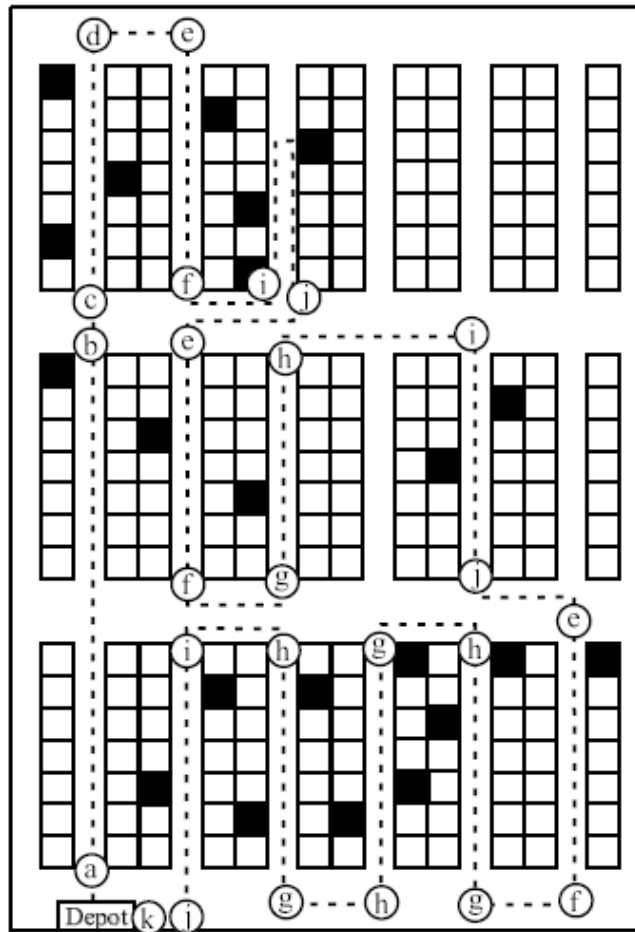


Obr. 11 Kombinovaná strategie směrování

Zdroj: (32)

Optimální algoritmus

Všechny výše zmíněné směrovací zásady omezují možnosti vytváření tras. Například heuristika ve tvaru S nutí vychystávače objednávek projet každou uličkou. Abychom dosáhli

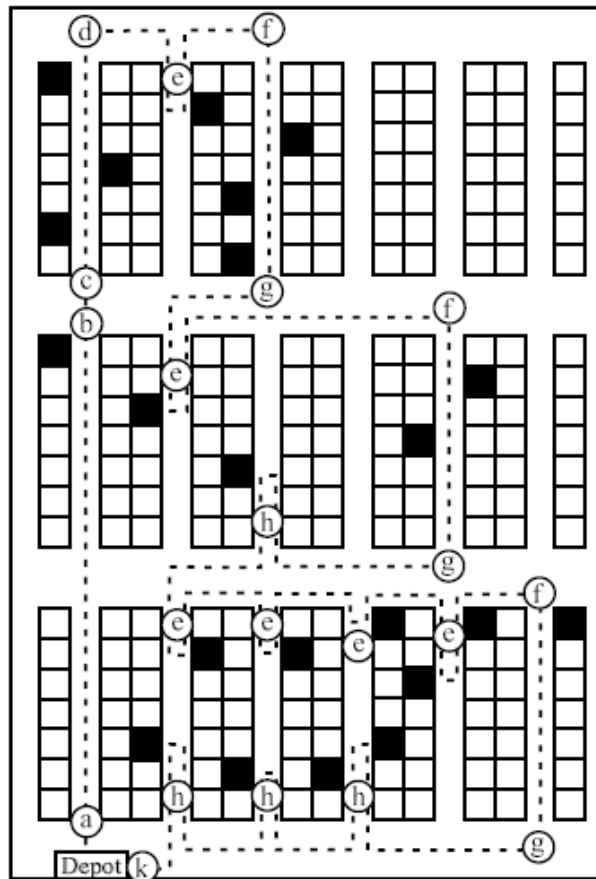


Obr. 13 Heuristika „S-shape“

Zdroj: (31)

Heuristika největší mezery

Heuristika největší mezery v podstatě sleduje obvod každého bloku, který v případě potřeby vstupuje do poduliček. Heuristika nejprve jde k nejbližšímu bloku a poté postupuje blok po bloku až k přední části skladu. Do každé poduličky se vstupuje až k „největší mezeře“. Mezerou rozumíme vzdálenost mezi dvěma sousedními místy vychystávání v poduličce nebo mezi příčnou uličkou a nejbližším místem vychystávání. Největší mezera je největší ze všech mezer v poduličce. Největší mezera rozděluje místa vychystávání v poduličce na dvě sady. Jedna sada míst vychystávání je přístupná ze zadní příčné uličky; druhá sada z přední příčné uličky. Jedna nebo obě sady mohou být prázdné, takže není nutné vstupovat do poduličky z této strany. (31) Obr.14

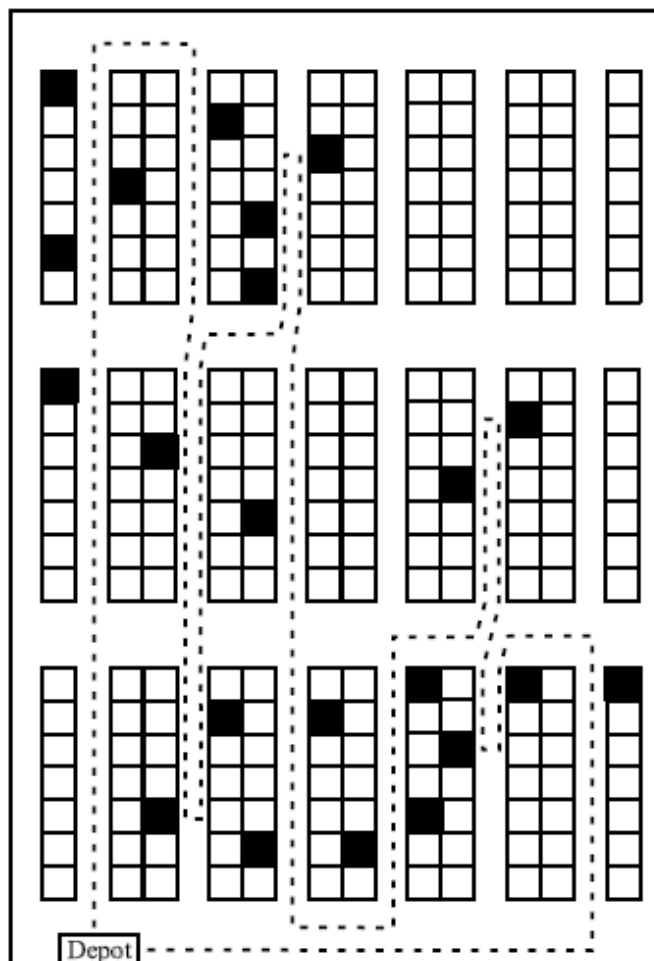


Obr. 14 Heuristika největší mezery

Zdroj: (31)

Heuristika ulička po uličce „Aisle-by-aisle“

Vychystávací trasy vyplývající z této heuristické metody procházejí každou vychystávací uličkou právě jednou. To znamená, že nejprve se vychystávají všechny položky ve vychystávací uličce 1, poté všechny položky ve vychystávací uličce 2 atd. (31) K určení nejlepších příčných uliček pro přechod z jedné vychystávací uličky do druhé se používá dynamické programování. Obr. 15



Obr. 15 Heuristika “Aisle-by-aisle“

Zdroj: (31)

Optimální algoritmus

Směrování vychystávačů ve skladu je speciálním případem problému obchodního cestujícího. Je třeba navštívit řadu míst s cílem co nejméně cestovat. Pro sklady se dvěma příčnými uličkami je efektivní směrovací algoritmus uveden v článku Ratliff a Rosenthal (33). Jejich metoda k řešení problému využívá dynamické programování. Nejkratší trasy vychystávání objednávek vypočítané pro tuto kapitolu lze získat libovolnou metodou výčtu, například metodou větvení a hranic pro problém obchodního cestujícího. (31) Výsledky optimálního směrování budou použity jako měřítko v analýze výkonnosti heuristik.

2 Analýza a porovnání doby vychystávání u různých technik vychystávání

Ve své práci Roodbergen K.J. (31) popisuje metodu dynamického programování pro sklady s jedním blokem, ve které je pro vychystávacího pracovníka vybudována optimální trasa.

2.1 Kombinovaná heuristika

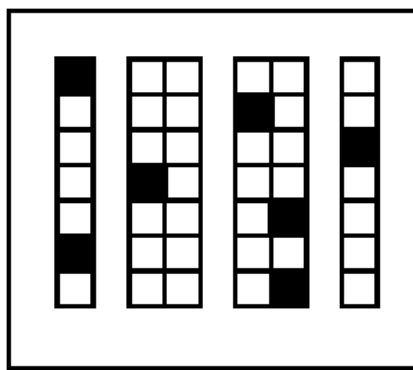
Tato metoda je založena na výběru nejkratší cesty mezi body vychystávání. Využívá kombinovanou heuristiku směřování, kde trasa začíná v krajní levé poduličce, která obsahuje položky, a končí v krajní pravé poduličce. Po průchodu levou uličkou se sběrač přesune do další uličky. Pokud v této uličce nejsou žádné položky k vyzvednutí, pak se tato ulička přeskočí. Pokud v ní položky k vyzvednutí jsou, pak je další volbou mezi vstupem, vyzvednutím položky a výstupem stejnou cestou, nebo průchodem uličkou s kompletním vyzvednutím položky. Volí se možnost s nejkratší cestou.

Je také důležité vzít v úvahu, že po dosažení pravé uličky musí sběrač projít touto uličkou směrem k východu. Jinak bude cesta výrazně delší.

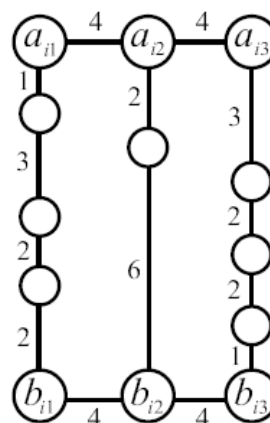
2.1.2 Příklad metody dynamického programování

Ve své práci Roodbergen K.J. (31) uvažuje jako příklad jednoblokové schéma vychystávací zóny se třemi poduličkami, pro které je použita metoda dynamického programování. Obr.16 (a)

Při průchodu vchází vychystávač do krajní levé uličky. Po průchodu do zadní části zóny se vychystávač přesune ke vchodu do druhé uličky, kde má na výběr mezi průchodem druhou uličkou nebo přechodem k položce pro kompletace, vyzvednutím položky a návratem zpět. Z těchto metod se vybere ta s nejkratší vzdáleností. Poté už zbývá jen projít třetí uličkou a dokončit vychystávání. Obr. 16 (b)



(a)



(b)

Obr. 16 Příklad situace pro metodu dynamického programování

Zdroj: (31)

Výsledkem bylo, že pomocí metody dynamického programování pro vychystávače bylo možné vytvořit optimální a nejkratší trasu.

2.1.4 Vylepšená kombinovaná heuristika

Roodbergen K.J. (31) ve své práci navrhuje vylepšení kombinované heuristiky pro optimalizaci směrování. V zásadě existují dva směry pro vylepšení kombinované heuristiky:

Prvním je lokální vylepšení trasy. Po počáteční konstrukci trasy pomocí kombinované heuristiky se provede lokální kontrola a případná náhrada „traversal-heuristiky“ za „return-heuristiku“ (a naopak) v každém průchodu. Pokud náhrada zkrátí celkovou délku cesty, je akceptována.

Druhým směrem je zjednodušení přechodů mezi průchody. Týká se volby vstupních a výstupních bodů mezi průchody. V původní heuristice jsou vybrány standardně (například vstup striktně podél krajního levého/pravého průchodu) a ve vylepšené je možnost vybrat jak průchod, tak blok (například vstup z druhého průchodu prvního bloku).

Za zmínku také stojí, že tato vylepšení buď zkracují dobu trvání trasy, nebo ji ponechávají beze změny.

2.1.5 Porovnání heuristik pro víceblokový sklad

Tato část porovnává optimální a heuristická řešení v praktickém systému vychystávání objednávek, konkrétně v regálové oblasti.

Roodbergen K.J. (31) prezentoval srovnávací analýzu šesti metod trasování. Charakteristiky skladu byly následující: průměrná rychlost chůze byla 0,6 m/s. Vzdálenost mezi dvěma sousedními vychystávacími uličkami byla 2,5 metru. Šířka příčné uličky byla 2,5 metru. Délka vychystávacích uliček se pohybovala od 10 do 30 metrů. Každý vychystávač pracoval v oblasti sestávající ze 7 až 15 uliček. Trasa každého vychystávače musela navštívit 10 až 30 míst. Zboží je ve skladu skladováno náhodně. (31)

Nejlepší výsledky v pěti scénářích vykazala strategie „Largest gap“ a všechny tyto případy spadají do uspořádání skladů se dvěma příčnými uličkami. Metoda „Aisle-by-aisle“ vykazala nejlepší výsledky ve čtyřech scénářích a ve třech z nich se časové hodnoty shodovaly s výsledky heuristik „combined“ a „combined+“. Nejméně efektivní heuristika byla heuristika „S-shape“, která v žádném případě neposkytla minimální dobu přepravy. Nejuniverzálnější a nejstabilnější byla vylepšená kombinovaná heuristika (combined+), která vykazala nejlepší dobu přepravy v 74 z 80 studovaných případů. Za zmínku také stojí, že obecně má zvýšení počtu křížových průchodů ze 2 na 3 pozitivní vliv na dobu vychystávání. (31)

2.2 Metody skladování a směrování založené na křivce ABC na základě COI

Caron, F., Marchet, G. a Perego, A. (34) ve své práci vyvinuli analytický model, s jehož pomocí byli schopni odpovědět na otázku optimalizace vychystávání ve skladech pomocí kombinace metod směrování skladu a metod skladování zboží.

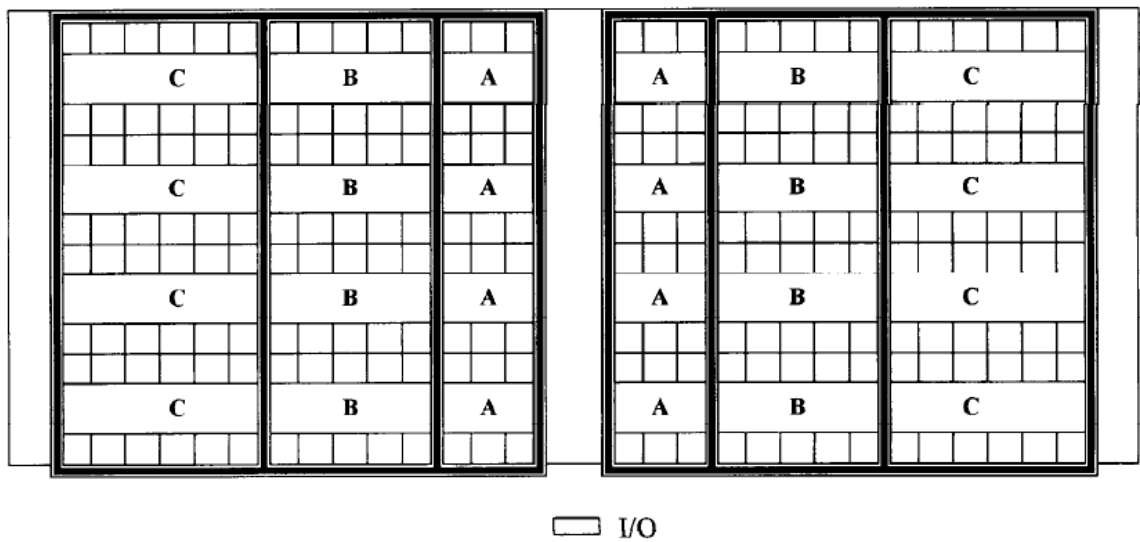
Základem, na kterém byly analytické modely založeny, byl sklad s následujícími charakteristikami: obdélníkové uspořádání se dvěma sekcemi, vychystávacími uličkami probíhajícími rovnoběžně s přední částí skladu, kde se nachází bod I/O, a sudým počtem uliček na sekci. Alternativní uspořádání s vychystávacími uličkami probíhajícími kolmo k přední části skladu nebylo zohledněno, protože přináší nejhorší výsledky z hlediska přepravní vzdálenosti „napříč uličkami“. Skladovací politika založená na COI a náhodné skladování jako reference pro srovnání.

Ve strategii umístění produktů založené na indexu COI (Cube-per-Order Index) byly vyvinuty efektivní přístupy pro heuristiky „průchodu (S-tvar)“ (Obr. 17) i „návratu (Return)“ (Obr. 18). Tyto přístupy zahrnují umístění produktů s nejnižšími hodnotami COI do zásobníků, které jsou podle zvolené strategie pohybu nejbližší vstupnímu/výstupnímu bodu (I/O) skladu.

S heuristikou „návratu“ jsou položky s nízkými hodnotami COI umístěny v těsné blízkosti vstupu/výstupu každé uličky. To snižuje pravděpodobnost přístupu k přihrádkám

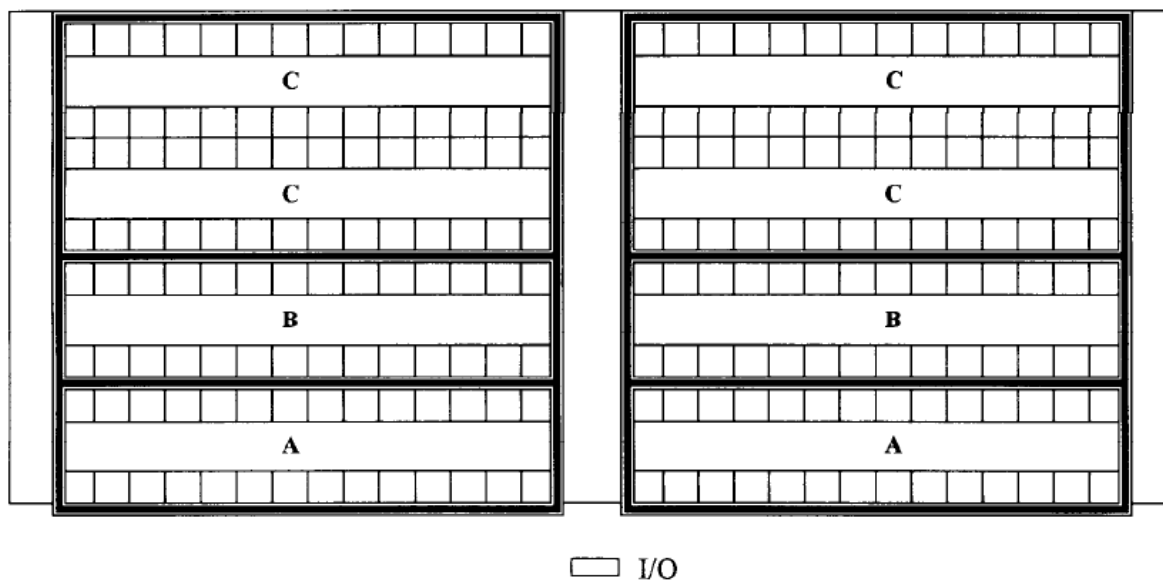
umístěným hluboko v uličce a v důsledku toho se snižuje očekávaná vzdálenost pohybu v uličkách ve srovnání s náhodným umístěním. (34)

U heuristiky „průchodu“ je primárním cílem skladovací strategie orientované na COI minimalizovat počet uliček, do kterých je nutné vstoupit. Vzhledem k tomu, že tato politika vždy vyžaduje, aby vychystávač kompletně prošel každou uličkou, která obsahuje alespoň jednu požadovanou položku, je konkrétní umístění v uličce irrelevantní. V tomto případě jsou položky s nejnižšími hodnotami COI umístěny do uliček nejbližší společnému bodu I/O skladu, čímž se snižuje celková vzdálenost, kterou vychystávač urazí. (34)



Obr. 17 Rozdělení skladu na oblasti vyhrazené pro položky s nízkým (A), středním (B) a vysokým (C) COI pro „Return“ heuristiku.

Zdroj: (34)



Obr. 18 Rozdělení skladu na oblasti vyhrazené pro položky s nízkým (A), středním (B) a vysokým (C) COI pro „Traversal” heuristiku

Zdroj: (34)

Model pro „return“ a „traversal“ heuristiku

Analytické modely byly orientovány na součet všech vzdáleností a použití očekávaných hodnot (např. očekávaný počet vychystávacích míst, očekávaná vzdálenost tam a zpět, očekávaná hodnota nejvzdálenějšího vychystávacího místa atd.). Analytické modely vypočítaly vzdálenost, kterou by vychystávač urazil v oblasti vychystávání ve skladu.

2.2.1 Potvrzení funkčnosti analytického modelu

Pro ověření funkčnosti analytického modelu vytvořili Caron, F., Marchet, G. a Perego, A. (34) simulační model, který byl implementován v jazyce Visual Basic. Simulační model byl spuštěn 10 000krát.

Z výsledků simulačního modelu lze vyvodit několik závěrů:

- Rozdíly mezi analyticky předpovězenou hodnotou a průměrným výsledkem simulace jsou obvykle menší než 5 %, což potvrzuje spolehlivost modelů pro odhad očekávané celkové délky trasy sběrače.
- Při použití „return“ heuristiky analytický model mírně nadhodnocuje očekávanou délku trasy (ale ne o více než 5 %). Analytický model předpokládá, že produkty jsou rovnoměrně rozloženy, a proto vychází z předpokladu: například pokud jsou v uličce dva produkty, je třeba jít hlouběji. Ve skutečnosti však mohou být produkty koncentrovány u vchodu. Skutečná trasa je proto kratší a vzorec mírně nadhodnocuje výpočet. (34)

- Rozdíly mezi analytickými a simulačními odhady při použití „traversal“ heuristiky jsou způsobeny především předpokladem, že při lichém počtu navštívených průchodů se návrat provádí průchodem s „největší mezerou“, jehož délka se odhaduje na polovinu délky průchodu.

2.2.4 Srovnávací analýza mezi "return" heuristikou a "traversal" heuristikou

Získané výsledky ukazují, že největší vliv na volbu preferované heuristiky směřování má průměrný počet vychystávání na uličku a tvar křivky ABC založený na COI. Zároveň má počet uliček nevýznamný vliv na efektivitu strategie. (34)

Obecně platí, že „traversal“ heuristika překonává „return“ heuristiku, s výjimkou případů, kdy je průměrný počet vychystávání na uličku < 1 . (34)

Na podporu těchto závěrů jsou uvedena následující fakta:

Při náhodném umístění zboží: přechody mezi uličkami jsou při „traversal“ heuristice kratší; Při náhodném umístění je trasa „traversal“ heuristiky stabilnější a méně citlivá na počet vychystávání v uličce; V „return“ heuristice, pokud je v uličce více než jedna položka, trasa se stane delší než pouhá délka uličky.

Při COI umístění: výhody COI jsou výraznější v "return" heuristice než v "traversal" heuristice; S malým počtem vychystávání a umístění COI může být „return“ heuristika lepší.

S velkým množstvím vychystávání: „traversal“ heuristika je vždy lepší, bez ohledu na tvar křivky ABC. To je způsobeno tím, že prodloužení trasy uvnitř uličky při použití „return“ heuristiky převáží výhody plynoucí z uspořádání skladu podle COI.

3 Porovnání metod pomoci fiktivního skladu

V předchozí kapitole byla provedena srovnávací analýza heuristik směřování pro vychystávání a strategií pro umístování regálů a zboží na regály s různými heuristikami směřování. Závěry z analýzy pomohou optimalizovat práci vychystávačů ve skladech.

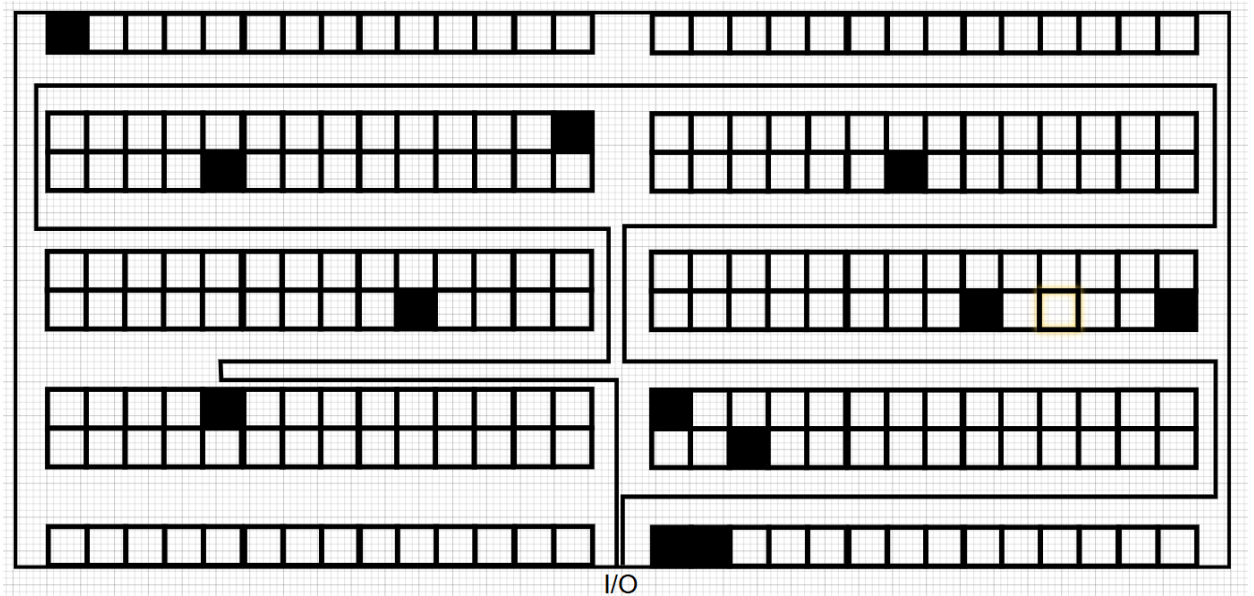
Tato kapitola bude prezentovat srovnání fiktivních vychystávacích zón ve skladech. Příkladem bude sklad s centrální uličkou a dvěma bloky umístěnými vlevo a vpravo od centrální uličky. Každý čtverec má 1 metr. Vzdálenost mezi uličkami je 2 metry jak pro vychystávací uličky, tak pro hlavní uličku. To znamená, že při vstupu do hlavní uličky se bude při dosažení středu uličky počítávat vzdálenost 1 metr. Celkem bude k vychystávání umístěno 12 položek zboží. Bude porovnáno obvyklé použití heuristik směřování a skladovacích metod založených na křivce ABC založené na COI.

3.1 Obyčejné použití heuristik

Pro pochopení, všechny položky pro vychystávání uvedené v těchto příkladech odpovídají náhodnému uspořádání.

Heuristika „Traversal” při náhodném umístění položek

Při použití heuristiky „Traversal“ byly všechny uličky kompletně projety, s výjimkou poslední uličky, která obsahovala zboží k vychystávání, protože jinak by se vzdálenost zvětšila. Celková vzdálenost ujetá pomocí této heuristiky byla 131 metrů. Je důležité si uvědomit, že při použití této heuristiky je třeba vzít v úvahu počet uliček, které vychystávač projde. Pokud je vychystávač nucen projít lichý počet uliček v bloku, pak bude výhodnější použít metodu největší mezery v poslední uličce. Obr. 19

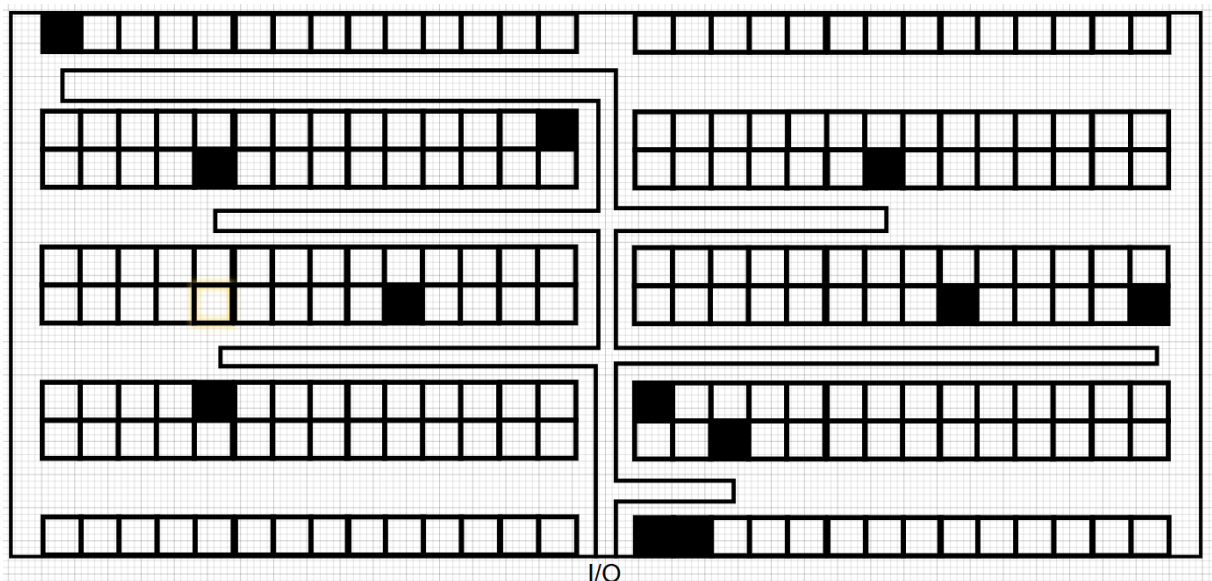


Obr. 19 Heuristika „Traversal” při náhodném umístění položek

Zdroj:(autor)

Heuristika „Return” při náhodném umístění položek

Při použití heuristiky „Návrat“ vychystávač po vstupu do uličky došel k nejvzdálenější položce k vychystávání. Po kompletace se vychystávač stejnou cestou vrátil ke vchodu a přesunul se k další uličce. Celková vzdálenost ujetá pomocí této heuristiky je 136 metrů. Obr. 20



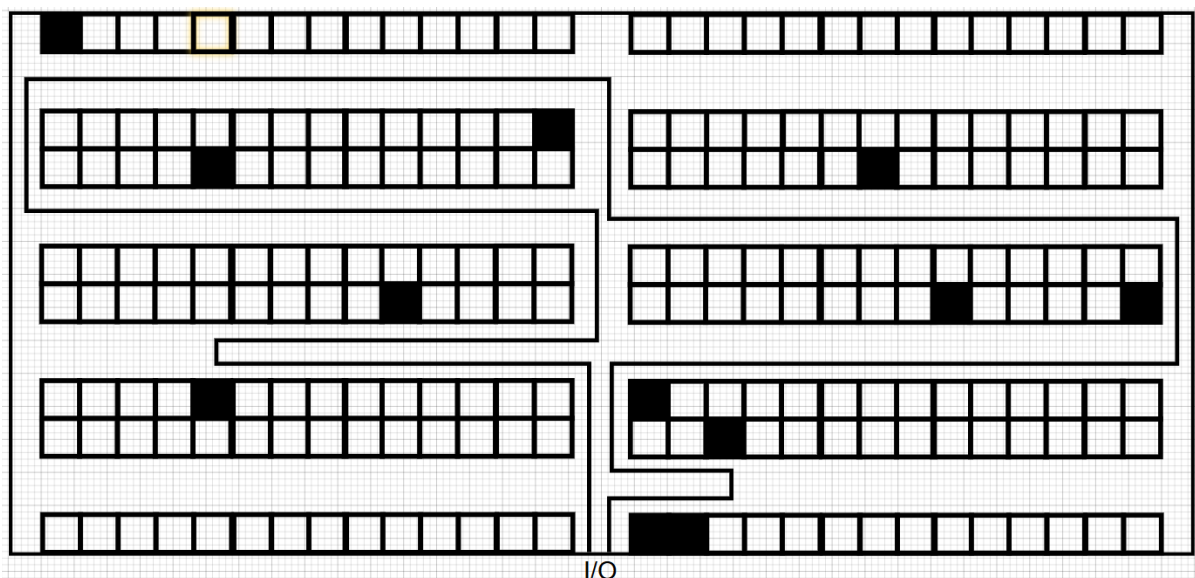
Obr. 20 Heuristika „Return” při náhodném umístění položek

Zdroj:(autor)

Kombinovaná heuristika při náhodném umístění položek

Při použití kombinované heuristiky byla zvolena nejkratší vzdálenost mezi položkami pro vychystávání. Celková vzdálenost ujetá pomocí kombinované heuristiky byla 108 metrů.

Obr. 21



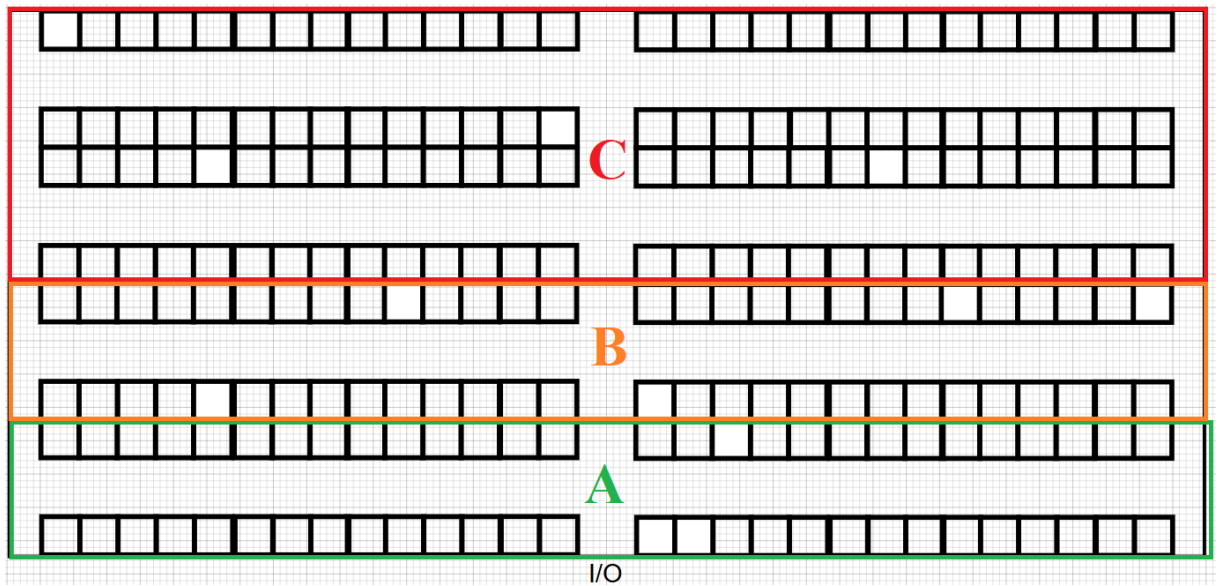
Obr. 21 Kombinovaná heuristika při náhodném umístění položek

Zdroj:(autor)

Pokud porovnáme výše uvedené heuristiky, vidíme, že kombinovaná metoda vykazuje lepší výsledky ve srovnání s individuálními heuristikami směřování.

3.2 Uspořádání zboží pro vychystávání pomocí ABC

Tato část pojednává o umístění položek pro vychystávání pomocí křivky ABC založené na COI, kde A představuje rychle se pohybující položky (80 % vychystávaných položek je v zóně A), B představuje středně se pohybující položky (15 % vychystávaných položek je v zóně B) a C představuje pomalu se pohybující položky (5 % vychystávaných položek je v zóně C). Zóna A je nejbližší k východu pro rychlé vychystávání požadovaných položek. Obr. 22



Obr. 22 Ilustrace skladu s uspořádáním zboží podle ABC

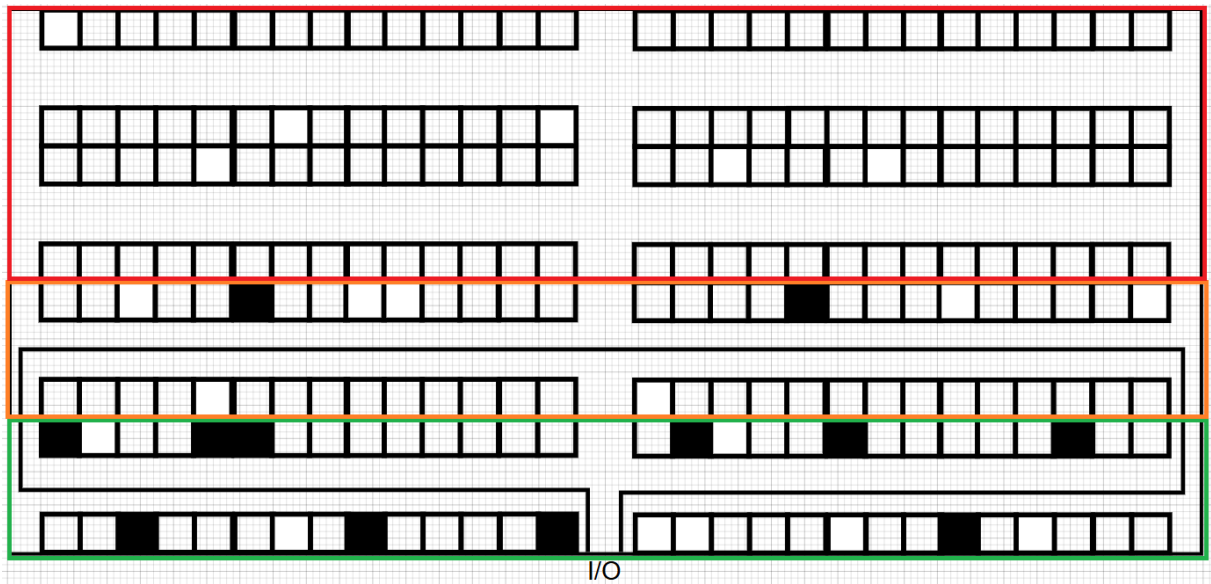
Zdroj:(autor)

Heuristika “Traversal” při umístění zboží podle ABC

Podle článku Carona, F., Marcheta, G. a Perega, A. (34) bude pro toto uspořádání zboží použita heuristika „Traversal“, protože vychystávání zboží začne od zóny A, kde se nachází polovina veškerého zboží k vychystávání. V jednom průchodu uličkou bude tedy shromážděno veškeré rychle se pohybující zboží. Poté proběhne přechod do dalšího bloku v zóně B nebo v zóně C, v souladu s posledním uspořádáním zboží. Posledním krokem bude průchod všemi uličkami stejnou heuristikou směrem k východu.

V prvním příkladu, při použití této heuristiky, vychystávač prošel 71 metrů vychystávací zónou skladu, přičemž všechny položky určené k vychystávání se nacházely v zóně A a zóně B.

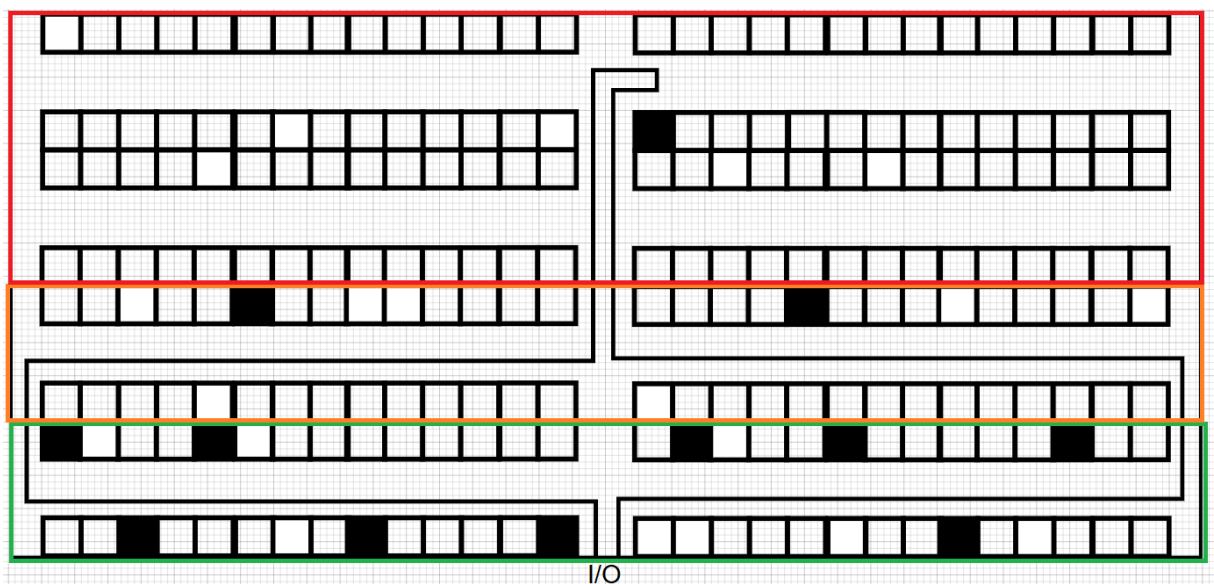
Obr. 23



Obr. 23 Heuristika “Traversal” při umístění zboží podle ABC. 71 metrů

Zdroj:(autor)

Ve druhém příkladu, s použitím stejné heuristiky, sběrač ušel 86 metrů. Zboží však již bylo rozloženo ve všech třech zónách. Obr. 24



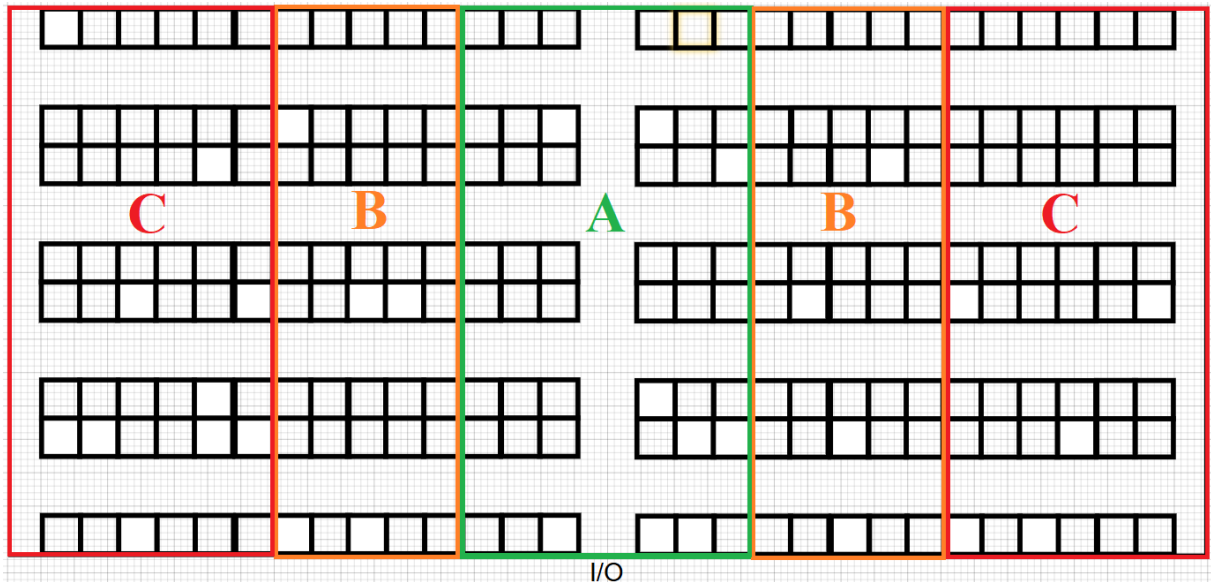
Obr. 24 Heuristika “Traversal” při umístění zboží podle ABC. 86 metrů

Zdroj:(autor)

Z toho můžeme usoudit, že tato heuristika závisí na počtu položek pro vychystávání. Čím více položek, tím vyšší je pravděpodobnost návštěvy více uliček.

Heuristika „Return“ při umístění zboží podle ABC

Stejně jako heuristika „Traversal“ odpovídá heuristika „Return“ danému (Obr.25) uspořádání zboží ve vychystávací oblasti skladu, v souladu s článkem Carona, F., Marcheta, G. a Perega, A. (34).



Obr. 25 Ilustrace skladu s uspořádáním zboží podle ABC

Zdroj:(autor)

V tomto příkladu sběrač urazil vzdálenost 86 metrů, přičemž všechny položky k vychystávání se nacházely ve všech třech zónách. Je však třeba zvážit, že pro tuto heuristiku s takovým uspořádáním ABC má velký význam vzdálenost vychystávané položky v samotných uličkách. Čím dále se tedy položka v uličce nachází, tím větší vzdálenost sběrač urazí. Obr. 26

- 12. Při větším počtu vykazuje heuristika „Traversal“ lepší výsledky, protože při velkém počtu vybraných produktů se zvyšuje šance navštívit všechny uličky, což znamená, že vzdálenost, kterou vychystávající ujde, se blíží k jedné hodnotě. Heuristika „Return“ tedy vykazuje o něco lepší výsledky při malém počtu zboží pro vychystávání, protože čím méně objednávek, tím menší je šance dojít na konec uličky a opakovat cestu návratem ke vstupu do této uličky.

Dalším faktorem ovlivňujícím vzdálenost, kterou vychystávač urazí, je procentuální zastoupení zboží v metodě ABC. Výše uvedené příklady měly kladnější procentuální složku – 80/20. Čím nižší procentuální zastoupení pro kategorii A, tím vyšší je pravděpodobnost, že zboží k vychystávání bude v zóně B nebo C, což znamená, že ujetá vzdálenost bude vyšší. Všechny tyto závěry jsou také zcela v souladu se závěry v článku Carona, F., Marcheta, G. a Perega, A. (34).

Celkové porovnání metod

Pokud porovnáme obvyklé použití heuristik směřování s náhodným umístěním položek pro vychystávání a použití heuristik s ABC umístěním položek pro vychystávání na základě COI, je zřejmým závěrem, že metoda ABC umístění položek má oproti běžnému použití heuristik několik výhod. Rychle se pohybující položky umístěné v blízkosti vstupního/výstupního (I/O) bodu umožňují zkrátit vzdálenost podél vychystávací zóny a tím i zkrátit dobu vychystávání položek.

Nejlepšího výsledku při použití heuristik pro náhodné umístění produktu dosahuje kombinovaná heuristika - 108 metrů. Procentuální rozdíl mezi touto heuristikou a heuristikou založenou na umístění produktu pro vychystávání na základě ABC je: 27 % mezi kombinovanou heuristikou a heuristikou „Traversal“ založenou na ABC; 28 % mezi kombinovanou heuristikou a heuristikou „Return“ založenou na ABC. Jak již bylo uvedeno výše, s nižším procentem rychle se pohybujících produktů bude procentuální rozdíl mezi metodami menší.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala problematikou optimalizace vychystávacích tras ve skladech, což je klíčový aspekt moderní skladové logistiky. Cílem bylo identifikovat nejefektivnější metody plánování pohybu vychystávačů zboží tak, aby se minimalizovala celková délka trasy a snížil čas potřebný pro zpracování objednávek.

V první části práce byla provedena detailní analýza způsobů skladování a vychystávání, včetně popisu různých typů skladů, regálových systémů a přístupů k rozmístění zboží. Byl rovněž představen princip adresního skladování, ABC analýza a metoda COI (Cube per Order Index), které mají zásadní vliv na organizaci skladu a rychlost vychystávání.

Dále byly podrobně rozebrány heuristické metody směřování, jako například strategie „S-shape“, „Return“, „Largest gap“ nebo kombinované přístupy. Jejich výkonnost byla porovnávána jak v rámci teoretických modelů, tak na základě výsledků z praxe a simulačních studií. Ze srovnání vyplynulo, že žádná univerzální metoda neexistuje – výběr vhodné strategie závisí na konkrétním uspořádání skladu, frekvenci vychystávání, počtu příčných uliček a dalších faktorech.

Výsledky ukázaly, že nejstabilnější a nejvýkonnější metodou je vylepšená kombinovaná heuristika („combined+“), která ve většině případů dosahovala nejkratší doby vychystávání. Zároveň se potvrdilo, že implementace logiky COI a ABC analýzy do rozmístění zboží výrazně zvyšuje efektivitu procesu.

Z pohledu praktické aplikace tato práce nabízí konkrétní doporučení, jak lze ve skladech s nízkoúrovňovým vychystáváním dosáhnout zlepšení výkonu bez nutnosti rozsáhlých investic do automatizace. Vhodnou kombinací existujících směrovacích strategií, analýzy zboží a optimalizace rozmístění je možné dosáhnout významných časových i nákladových úspor.

Téma zůstává aktuální i do budoucna – s rostoucím objemem e-commerce a tlakem na rychlé dodávky bude optimalizace vychystávacích procesů hrát stále důležitější roli. Další výzkum by se mohl zaměřit například na propojení heuristik s reálným datovým monitoringem nebo na automatizované úpravy tras v reálném čase pomocí strojového učení.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) md-progress.ru. Vidy skladov, ikh klassifikatsiya, naznachenije i funktsii skladских pomeshcheniy [online]. Moskva, 2021 [cit. 2024-06-11]. Dostupné z: <https://md-progress.ru/blog/vidy-i-naznachenie-skladov/#:~:text=%D0%97%D0%B0%D0%BA%D1%80%D1%8B%D1%82%D1%8B%D0%B5%20%D0%B2%D0%B8%D0%B4%20%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%BE%D0%B2%20E2%80%93%20%D0%BE%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D1%81,%D0%B1%D0%B5%D0%B7%20%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BA%20%D0%B8%20%D0%BF%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9>
- (2) sklad-prog.ru. Klassifikatsiya skladov. Chast' 2. [online]. [cit. 2024-06-11]. Dostupné z: <https://sklad-prog.ru/logist/log6.htm>
- (3) ablcompany.ru. Osobennosti napol'nogo khraneniya na skladakh [online]. Yekaterinburg, 2023 [cit. 2024-06-12]. Dostupné z: <https://www.ablcompany.ru/news/osobennosti-napolnogo-khraneniya-na-skladakh>
- (4) ablcompany.ru. Vidy khraneniya tovara na sklade [online]. Yekaterinburg, 2022 [cit. 2024-06-11]. Dostupné z: <https://www.ablcompany.ru/news/vidy-hraneniya-tovara-na-sklade>
- (5) Export Preview | Logistics Operational Guide [online]. [cit. 2024-06-12]. Dostupné z: <https://log.logcluster.org/ru/print-preview/131>
- (6) PROMSTELLAZH. Shtabelirovaniye gruzha chto eto takoye | Metallicheskiye stellazhi [online]. Moskva, 2023 [cit. 2024-06-12]. Dostupné z: <https://promstellage.ru/blog/shtabelirovanie-gruza.html>
- (7) Transportnaya kompaniya Reyl Kontinent. Pravila razmeshcheniya gruzov na stellazhakh i v shtabelyakh [online]. [cit. 2024-06-14]. Dostupné z: <https://www.railcontinent.ru/articles/razmeshchenie-gruzov-v-shtabelyakh-i-na-stellazhakh-mery-bezopasnosti/>
- (8) SAP Help Portal. Strategiya: Bulk Storage (Biblioteka SAP - Strategii priyemki na sklad) [online]. [cit. 2024-06-14]. Dostupné z: https://help.sap.com/doc/saphelp_scm70/7.0/ru-RU/88/4a8041a17e060de10000000a1550b0/content.htm?no_cache=true
- (9) ProfStellazh. Tipy stellazhey | Vidy stellazhey dlya sklada [online]. [cit. 2024-06-17]. Moskva, 2023 Dostupné z: <https://profstellag.ru/stati/vidy-stellazhey.html>
- (10) POLIMETALL-M. Skladskiye stellazhi [online]. Moskva, 2022 [cit. 2024-06-17]. Dostupné z: <https://polimetal.ru/stellagi/>
- (11) PROMSTELLAZH. Vidy stellazhey dlya sklada | Metallicheskiye stellazhi [online]. Moskva, 2022 [cit. 2024-06-17]. Dostupné z: <https://promstellage.ru/blog/vidy-stellazhey-dlya-sklada.html>
- (12) V"yezdnyye stellazhi [online]. [cit. 2024-06-17]. Dostupné z: <https://ssk.ua/product/vezdnye-stellazhi-drive-ili-nabivnye-34>

- (13) Mecalux.cz. Dostupné z: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.mecalux.cz%2Fskladove-regaly%2Fvezdove-regaly-drive-in&psig=AOvVaw0tR4yQxd6OE-ii3wjRS7ud&ust=1749582569235000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBcQjhxqFwoTCJCbq4-F5Y0DFQAAAAAdAAAAABAL>
- (14) Beg Bohemia. SPÁDOVÉ REGÁLY [online]. [cit. 2024-06-24]. Dostupné z: <https://www.beg-regaly.cz/cz/sortiment/paletove-regaly/spadove-regaly>
- (15) Vikipediya. Gravitacionnye stellazhi — Vikipediya [online]. 2023 [cit. 2024-06-18]. Dostupné z: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B0%D0%B6%D0%B8
- (16) V"yezdnyye stellazhi [online]. [cit. 2024-06-17]. Dostupné z: <https://ssk.ua/product/vezdnye-stellazhi-drive-ili-nabivnye-34>
- (17) STOREHOUSE. V"yezdnyye stellazhi (glubinnyye, nabivnyye) [online]. [cit. 2024-06-17]. Dostupné z: <https://storehouse.ua/warehouse/racks/drive-in/>
- (18) StellMart. Preimushchestva i nedostatki gravitatsionnykh stellazhey [online]. Moskva, 2019 [cit. 2024-06-18]. Dostupné z: <https://stellmart.ru/obshhie-polozheniya/preimushchestva-i-nedostatki-gravitatsionnyh-stellazhey/>
- (19) BSK Logistiks. Stellazhnoye khraneniye: plyusy, minusy i osobennosti — stat'ya Kompanii «BSK Logistiks» [online]. Bryansk [cit. 2024-06-18]. Dostupné z: <https://bsc-logistics.ru/articles/stellazhnoe-khraneniye-plyusy-minusy-i-osobennosti/>
- (20) Franco Caron a Gino Marchet. Optimal layout in low-level picker-to-part systems. [online]. [cit. 2010-11] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/261683190_Optimal_layout_in_low-level_picker-to-part_systems#:~:text=1.,I/O%20point%2C%20the
- (21) moshol14. Umístění a skladování zboží ve skladu. [online]. Moskva, [cit. 2020-04-24] Dostupné z: <https://www.moshol14.ru/informaciya/stati/razmeschenie-i-hranenie-tovarov-na-sklade/>
- (22) JUDr. Ondřej Preuss, Ph.D. Adresa není jen jedna. Jak se v nich vyznat? [online]. [cit. 2025-02-27]. Dostupné z: <https://dostupnyadvokat.cz/blog/adresa?utm>
- (23) Offirent. Co je doručovací adresa a jak ji změnit? [online]. [cit. 2025-04-16]. Dostupné z: <https://offirent.cz/co-je-dorucovaci-adresa-a-jak-ji-zmenit/?utm>
- (24) Niranjana K. COI. Dostupné z: https://www.linkedin.com/posts/niranjana-k-pppollplppplpppl_the-cube-per-order-index-coi-is-a-storage-activity-7326928688678125570--nMs?utm
- (25) F. Caron, G. Marchet & A. Perego. Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/002075498193651?utm>

- (26) ABM Cloud. Avtomatizatsiya komplektatsii tovarov na sklade [online]. 2017 [cit. 2024-06-22]. Dostupné z: <https://abmcloud.com/avtomatizatsiya-komplektatsii-tovarov-na-sklade/>
- (27) Sklady a skladování. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/econ/jaro2016/MPH_LSCM/um/62234099/Sklady_a_skladovani_2015.pdf
- (28) Vladimir Penzev. Sredstva komplektatsii pri podbore zakazov (Chast' 1) [online]. 2017 [cit. 2024-06-22]. Dostupné z: <https://sitmag.ru/article/13795-podhody-k-komplektatsii-zakazov-i-sistemy-upravleniya-podborom-i-sortirovki-tovara-v-zakaz-sups-sredstva-komplektatsii-pri-podbore-zakazov-ch-1>
- (29) Quantum International. Vybor metoda komplektatsii na sklade [online]. Kiyev [cit. 2024-06-24]. Dostupné z: <https://quantum-int.com/ru/news/vybor-metoda-komplektacii-na-sklade/>
- (30) Tekhnologii ucheta. Batch picking [online]. Rostov-na-Donu [cit. 2024-06-27]. Dostupné z: <https://tu-don.ru/dictionary/batch-picking/>
- (31) Roodbergen, KJ. (2001). Layout and Routing Methods for Warehouses. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/254804890_Layout_and_Routing_Methods_for_Warehouses
- (32) ERIM Home - Erasmus Research Institute of Management – ERIM. Routing strategies [online]. [cit. 2024-06-22]. Dostupné z: <https://www.erim.eur.nl/material-handling-forum/research-education/tools/calc-order-picking-time/what-to-do/routing-strategies/#:~:text=The%20S%2DShape%20routing%20strategy&text=Thus%20aisles%20are%20visited%20in,front%20end%20of%20the%20aisle.>
- (33) Ratliff, H.D., and Rosenthal, A.S. (1983), Orderpicking in a rectangular warehouse: a solvable case of the traveling salesman problem, *Operations Research* 31(3), 507-521.
- (34) Caron, F., Marchet, G., & Perego, A. (1998). Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems. *International Journal of Production Research*, 36(3), 713–732. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/002075498193651>