

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

Technologie provozu automatických parkovacích
systémů

Bc. Martin Švajgl

Diplomová práce

2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin Švajgl**
Osobní číslo: **D13630**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Technologie a řízení dopravy**
Název tématu: **Technologie provozu automatických parkovacích systémů**
Zadávací katedra: **Katedra technologie a řízení dopravy**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

ÚVOD

- 1 Analýza základních druhů, principů a funkcí parkovacích systémů
- 2 Analýza publikovaných metod řízení ve skladovacích a parkovacích systémech
- 3 Návrh systému řízení parkovacího systému
- 4 Ověření návrhů

ZÁVĚR

Rozsah grafických prací: 4 - 5
Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60
Forma zpracování diplomové práce: tištěná
Seznam odborné literatury:

MANZINI R., Warehousing in the Global Supply Chain. Advanced Models, Tools and Applications for Storage Systems. London, New York. 2012. ISBN 978-1-4471-2273-9.

BENYOUCEF L, et al. Applications of Multi Criteria and Game Theory Approaches. Manufacturing and Logistics. London, New York. 2014. ISBN 978-1-4471-5294-1.

ROODBERGEN, K., J a VIS, I. F. A. A survey of literature on automated storage and retrieval systems. [online]. European Journal of Operational Research, 2009, Dostupné z: www.sciencedirect.com.

Automated Robotic Parking. A professional look at the automated parking industry. [online]. Dostupné z: <http://www.automatedroboticparking.com/parking-equipment-types/rgc/>.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Josef Bulíček, Ph.D.**
Katedra technologie a řízení dopravy

Datum zadání diplomové práce: **1. února 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **22. května 2015**



doc. Ing. Ivo Drahošský, Ph.D.
děkan

L.S.



doc. Ing. Pavel Drdla, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 1. února 2015

Prohlašuji:

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 15. 08. 2015

MARTIN ŠVAJGL

Anotace

Tato diplomová práce je zaměřena na technologii provozu automatických parkovacích systémů. V analytické části jsou popsána kontrolní pravidla a druhy automatických parkovacích systémů. Praktická část je zaměřena na optimalizaci vybraného parkovacího systému. V závěru jsou vytvořena doporučení pro použití jednotlivých metod k řízení automatické parkovacího systému.

Klíčová slova

Automatické parkovací systémy, dwell – point, load shuffling, optimalizace, simulace, storage assignments.

Název (anglicky)

Technologie of automated parking systems operation.

Anotace (anglicky)

This diploma thesis is focused on the operational technology of automatic parking systems. The analytical part describes control rules and different types of automatic parking systems. The practical part is aimed at optimization of the selected parking system. In final part the author suggests recommendations for the use of different methods to control automatic parking system.

Klíčová slova (anglicky)

Automated parking systems, dwell - point, load shuffling, optimization, simulation, storage assignments.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM TABULEK.....	11
SEZNAM ZKRATEK	12
ÚVOD.....	14
1 METODY UKLÁDÁNÍ A VYCHYSTÁVANÍ ZBOŽÍ V AUTOMATICKÝCH PARKOVACÍCH A LOGISTICKÝCH SYSTÉMECH	15
1.1 Základní principy automatického skladování	15
1.2 Fyzický design systému	17
1.3 Kontrolní pravidla	18
1.3.1 Přiřazení místa (storage assignments).....	19
1.3.2 Dwell – point.....	36
1.3.3 Sequencing	38
1.3.4 Batching	40
1.3.5 Load shuffling	41
1.3.6 Další pravidla	42
1.3.7 Výhody, nevýhody a hodnocení metod.....	46
2 ROZDĚLENÍ A KLASIFIKACE AUTOMATICKÝCH A MECHANICKÝCH PARKOVACÍCH SYSTÉMŮ.....	48
3 DRUHY NEKONVENČNÍCH PARKOVACÍCH SYSTÉMŮ	51
3.1 Mechanizované parkovací systémy.....	51
3.1.1 Posuvné plošiny (Pallet).....	51
3.1.2 Točna.....	53
3.1.3 Dvoupilířovité parkovací systémy	54
3.1.4 Čtyřpilířovité parkovací systémy	55
3.1.5 Parkovací systémy bez pilířů (lanové).....	56
3.1.6 Šachtové parkovací systémy	57

3.1.7	Otočné systémy typu páternoster	58
3.2	Automatické parkovací systémy	59
3.2.1	2D parkovací systémy (vertikální puzzle systém)	59
3.2.2	2D věž	60
3.2.3	Automaticky naváděné pohyblivé manipulátory	61
3.2.4	Jeřábové parkovací systémy (Crane, Shelf)	64
3.2.5	Puzzle systémy	65
3.2.6	Klouzavé systémy (válečkové, Glide)	66
3.2.7	Shuttle systémy	67
3.2.8	Lift / Shuttle systémy	68
3.2.9	Layer systém (Decker)	69
3.2.10	Parkovací systémy ve tvaru sila	70
3.2.11	Parkovací systémy typu věž	71
3.2.12	Parkovací systém typu Ring (KOMA)	71
3.2.13	Další systémy	72
3.3	Srovnání systémů automatických parkovišť	73
4	OPTIMALIZACE PARKOVACÍHO DOMU V ÚSTÍ NAD LABEM.....	76
4.1	Obecný popis systému.....	76
4.2	Schéma systému	77
4.3	Manipulační prostředky.....	79
4.4	Kontrolní pravidla a systémy řízení	80
4.5	Technologické časy	84
4.6	Typový výpočet příjezdu a odjezdu	84
4.7	Zpracování statistických dat.....	87
4.8	Optimalizace parkovacího systému.....	93
4.8.1	Velikost prostoru pro optimalizaci.....	93
4.8.2	Předpoklady modelu	93

4.8.3	Model a proces modelování	94
4.8.4	Simulační scénáře	96
4.8.5	Výsledky simulace 24 h	102
ZÁVĚR	106
SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	109
SEZNAM PŘÍLOH	113

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Celkový přehled systému	16
Obr. 2 Fyzický design systému	17
Obr. 3 Kontrolní pravidla	18
Obr. 4 Rozvržení zón	22
Obr. 5 Alokační vzorce	23
Obr. 6 Rozložení zboží ve skladu	38
Obr. 7 Příklad SC a DC	40
Obr. 8 Batching heuristiky	40
Obr. 9 Příklad LOS	42
Obr. 10 S – tvar, return tvar	43
Obr. 11 Midpoint, largest gap	44
Obr. 12 Optimal	44
Obr. 13 Schéma principu příčných plošin.....	51
Obr. 14 Příčné plošiny	52
Obr. 15 Schéma principu podélné plošiny	52
Obr. 16 Podélné plošiny	53
Obr. 17 Schématický náskres točny	53
Obr. 18 Dvoupilířovitý parkovací systém	54
Obr. 19 Schématický náskres dvoupilířovitého parkovacího systému	55
Obr. 20 Čtyřpilířovité parkovací systémy 1	55
Obr. 21 Čtyřpilířovité parkovací systémy 2	56
Obr. 22 Parkovací systém bez pilířů	56
Obr. 23 Šachtové parkovací systémy	57
Obr. 24 Šachtové parkovací systémy – náskres	58
Obr. 25 Historický páternoster	58
Obr. 26 Moderní páternoster	59
Obr. 27 2D parkovací systém	60
Obr. 28 Náskres 2D věž	61
Obr. 29 Příklad AGV	61
Obr. 30 Schéma manipulační plošiny AGV	62
Obr. 31 Schéma RGC	62

Obr. 32 RGC v logistice	63
Obr. 33 Serva	64
Obr. 34 Jeřábový parkovací systém	65
Obr. 35 Puzzle systém	66
Obr. 36 Scissor lifts	66
Obr. 37 Klouzává systém v logistice	67
Obr. 38 Shuttle systém	68
Obr. 39 Lift / Shuttle systém	68
Obr. 40 Bokorys lift / shuttle systém	69
Obr. 41 Layer systém 1	69
Obr. 42 Layer systém 2	70
Obr. 43 Parkovací systémy ve tvaru síla	70
Obr. 44 Parkovací systémy typu věž	71
Obr. 45 Parkovací systém typu Ring	72
Obr. 46 Přízemní patro	77
Obr. 47 První podzemní patro	78
Obr. 48 Druhé podzemní patro	78
Obr. 49 Třetí podzemní patro	79
Obr. 50 První fáze rozhodovacího procesu	81
Obr. 51 Druhá fáze rozhodovacího procesu	81
Obr. 52 Třetí fáze rozhodovacího procesu přesunu do 1. řady	82
Obr. 53 Čtvrtá fáze rozhodovacího procesu přesunu do 1 řady	82
Obr. 54 Třetí fáze rozhodovacího procesu přesunu do 2 řady	83
Obr. 55 Čtvrtá fáze rozhodovacího procesu přesunu do 2 řady	83
Obr. 56 Počet operací – jednotlivé dny	89
Obr. 57 Četnost operací – jednotlivé hodiny	90
Obr. 58 Histogram počtu operací podle zákazníka	91
Obr. 59 Výsek z Ganttova diagramu obsazenosti parkoviště	92
Obr. 60 Model systému v programu MS Excel	95
Obr. 61 Typové příjezdy MS Excel	96
Obr. 62 Náhled posunutí přesuvny	98
Obr. 63 Přiřazení míst TI Index	99
Obr. 64 Rozdělení zón pro scénář č. 7	100

Obr. 65 Stav systému ve 12:05 pro jednotlivé simulační scénáře	103
Obr. 66 Výsledky simulace 24 h	104

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Incidenční matice.....	25
Tab. 2 Výpočet OC indexu	26
Tab. 3 Klady, zápory a hodnocení jednotlivých metod	46
Tab. 4 Srovnání systémů mechanizovaných parkovišť	73
Tab. 5 Srovnání systémů automatických parkovišť.....	74
Tab. 6 Manipulační prostředky	80
Tab. 7 Technologické časy	84
Tab. 8 Typový výpočet příjezdu vozidla na pozici 1.1.5.....	85
Tab. 9 Typový výpočet odjezdu vozidla z pozice 1.1.5	86
Tab. 10 Hlavička datové matice	87
Tab. 11 Souhrn operací podle druhu operace	88
Tab. 12 Souhrn operací pro jednotlivé dny	88
Tab. 13 Operace jednotliví zákazníci	91
Tab. 14 Výsledky simulace 24 h.....	104

SEZNAM ZKRATEK

APS	Automatický parkovací systém
AS/RS	Automated storage and retrieval systém, automatické systémy skladování a vychystávání
AGV	Automated guided vehicle
BA	Batching
BHM	Bartholdi – Hackman model na minimalizaci prázdných jízd
CBA	Class-based storage assignment
COI	Cube per order index
CP	Corraleted storage policy
CPC	Claster-based & COI Claster-based
CPO	Claster-based & Order closing
CPP	Claster-based & popularity
CPR	Claster-based rule
CPT	Claster-based & turn
CSA	Closest open location storage assignment
CSP	Continuous storage policy
DC	Dual/command cycle (režim)
DLM	Direct link method
DP	Dwell – point
DSA	Dedicated storage assignments
EALS	End of aisle lifts
FDS	Fyzický design systému

INM	Individuální nákladový model
I/O	Input/output, vstup/výstup
LOS	Load shuffling
MAS	Celočíselný binární model Askina a Standrige
MDO	Metoda deterministických odjezdů
MF	MONTIFER s. r. o.
MP	Manipulační prostředek
MPU	Metoda předvídající uskladňování
MSO	Metody spolupracující s ostatními systémy
MPV	Metoda přípravného vyskladňování
OC	Order closing index
OALS	Off Aisle lifts
PI	Popularity index
QAP	Quadratic assignment problém
RGC	Rail guided cart
RIB	Ranked index based rules
RSA	Random storage assignment
SC	Single – command cycle
SE	Sequencing
TI	Turn index
UR	Urgency rules
VV	Vjezd(ový) a výjezd(ový)
VVA	Výběr volného místa

ÚVOD

Moderní doba přinesla do systému parkování nové moderní technologie. Většina vyspělých systémů využívaných pro parkování vznikla původně v logistickém odvětví. Tyto rozšiřující technologie vznikly v logistice v 50. letech 20. století, ale masovějšímu využití v parkovacích systémech došlo až v poslední dekádě 20. století. Počátky těchto technologií jsou spjaty s vysoce rozvinutými státy s vysokým stupněm urbanizace, například Spojené státy americké nebo Japonsko. I v dnešní době tyto státy symbolizují motory inovace.

V České republice v posledních letech došlo k rozvoji parkovacích systémů. Zvláště v historických centrech měst je zaměřen pohled na zlepšení estetického hlediska prostoru. Uvnitř velkých českých měst také došlo zvýšení cen za pozemky, což vyústilo ve hledání moderních způsobů parkování. Jednou z možných odpovědí na tyto trendy jsou robotické též označované jako automatické parkovací domy.

V diplomové práci jsou zachovávány některé elementární anglické zkratky a názvy, jelikož autor pracoval většinou s anglickými zdroji a pro čtenáře bude jednodušší si vyhledat další informace k dané tématice. Dále práce pracuje také se zdroji v oblasti logistiky, protože k automatickým parkovacím systémům neexistuje dostatek odborné literatury.

Cílem diplomové práce je vyhledat v oblastech logistiky a jiných oblastech metody vhodné k řízení automatických parkovacích domů, metody zhodnotit vzhledem k možnostem využití a metody porovnat na vybraném parkovišti.

K tomu, aby autor dosáhl cíle, je nutné analyzovat jednotlivé druhy automatických parkovacích systémů. Na základě tohoto porovnání lze usuzovat o přenositelnosti jednotlivých metod na další automatické parkovací systémy.

Diplomová práce je zaměřena na technologii provozu automatických parkovacích systémů. Hlavní důraz je věnován řízení systémů a procesům probíhajícím v těchto systémech nikoliv na stavební nebo technické pojetí. Diplomová práce zkoumá systémy z hlediska procesní analýzy nikoliv z hlediska informačních technologií, a tudíž se nevěnuje přesné konfiguraci hardwaru nebo tvorbě softwaru.

1 METODY UKLÁDÁNÍ A VYCHYSTÁVÁNÍ ZBOŽÍ V AUTOMATICKÝCH PARKOVACÍCH A LOGISTICKÝCH SYSTÉMECH

První část diplomové práce je věnována kontrolním pravidlům využívaným převážně v logistice nebo pro systémy parkování. Delší tradice logistických přístupů umožňuje naučit se principy, které jsou po úpravě vhodné k aplikaci v systémech pro parkování. Dále autor uvede vztah mezi fyzickým designem a kontrolními pravidly. Autor nenabízí vyčerpávající vhled do problematiky, ale uvádí základní přehled metod a jejich principy, které jsou z úhlu pohledu automatických parkovacích systémů vhodné. Na konci kapitoly jsou uvedeny jejich klady, zápory a hodnocení vhodnosti pro parkovací systémy.

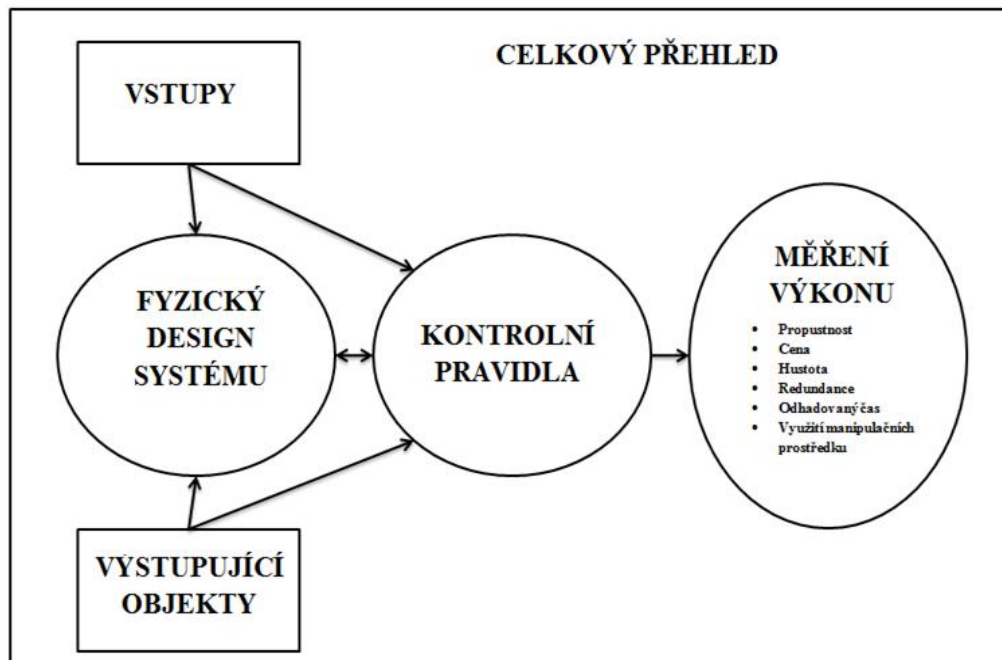
1.1 Základní principy automatického skladování

Automatické systémy skladování a vychystávání zboží (automated storage and retrieval system) se rozšířily první v logistice, kde umožnily ušetřit čas a finance. Pro tato zařízení je zažitou zkratkou AS/RS, která pochází z anglického názvu. Využívání AS/RS v logistice si vyžádalo z důvodu silné konkurence použít optimalizační přístupy. V anglické literatuře čtenář může najít obrovské množství různých přístupů k danému problému. Autor si dal za cíl vysvětlit nejčastěji používané přístupy a uvést zdroje pokud by se čtenář chtěl hlouběji věnovat této tématice.

Důležité je srovnat charakteristiky mezi AS/RS v logistice a automatickými parkovacími domy. AS/RS používají stejné způsoby manipulace se zbožím a často využívají stejné optimalizační hledisko a tím je minimalizace celkového času uskladňování a vychystávání zboží. Rozdílem je množství, variabilita a unikátnost skladovaného materiálu. Častými metodami v logistice je grupování stejného zboží a umístování zboží s podobnými charakteristikami do vzájemné blízkosti. V automatických parkovacích domech je každé vozidlo unikátním zbožím, které má přesně definovaného zákazníka. Při optimalizaci se používá software, který dle daného algoritmu, hledá optimální případně suboptimální způsob skladování. Pro základní pochopení tematiky autor doporučuje „*A survey of literature on automated storage and retrieval systems*“ (1).

Pro řešení problému AS/RS jsou využívány analytické metody a simulační metody. V optimalizačních modelech jsou použity přístupy lineárního, kvadratického, dynamického programování a heuristické, metaheuristické, deterministické metody. Mezi nejmodernější

přístupy patří využití metod shlukování, genetických algoritmů, algoritmus větví a mezí, mravenčí nebo včelí algoritmus a fuzzy logika. Přehled systému na makroúrovni a vztahy mezi prvky je uveden na obrázku č. 1.

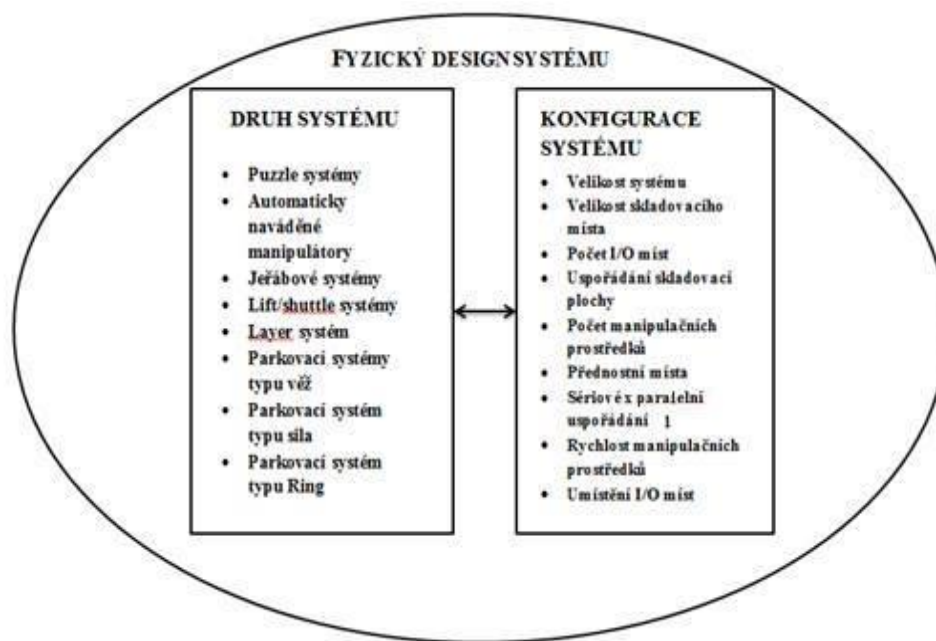


Obr. 1 Celkový přehled systému

Zdroj: Autor

1.2 Fyzický design systému

Fyzický design systému (FDS) je udán dvěma základními proměnnými. První je druh systému (kapitola 3) a druhou je konfigurace systému. Přehledná grafika o těchto proměnných je uvedena na obrázku č. 2.



Obr. 2 Fyzický design systému

Zdroj:(1) Autor

Prvním krokem tvorby automatického parkovacího systému je vytvořit množinu využitelných druhů systémů. Kritickým bodem je určení počtu skladovacích míst, počet manipulačních zařízení a počet I/O (input/output) míst. K odhadu těchto veličin je vhodné využít statistických dat, statistické predikce, charakteristik skladovaných produktů, dostupného rozpočtu, umístění systému a vlivu okolí, požadovaných výkonových veličin a požadavků zákazníků (vlastníci i uživatelé systému).

Další veličinou ovlivňující výkonové charakteristiky je umístění a tvar jednotlivých prvků. V AS/RS pro parkovací účely je uvažována pouze jedna ulička pro systémy jeřábové a lift/shuttle. Vhodným tvarem je časově čtvereční rozvržení, to znamená, že do nejvzdálenějších míst manipulační prostředek doputuje za stejný časový úsek pro vertikální i horizontální směr. Jelikož rychlost pro vertikální i horizontální se liší, jde o obdélníkový tvar. U jiných systému bude rozhodující prostor, který lze využít. Pro složitější úlohy lze využít řešení 2D řezného problému. Umístění I/O místa je nejčastěji voleno v jednom z rohů systému nebo v blízkosti středu. Umístění zároveň závisí na počtu

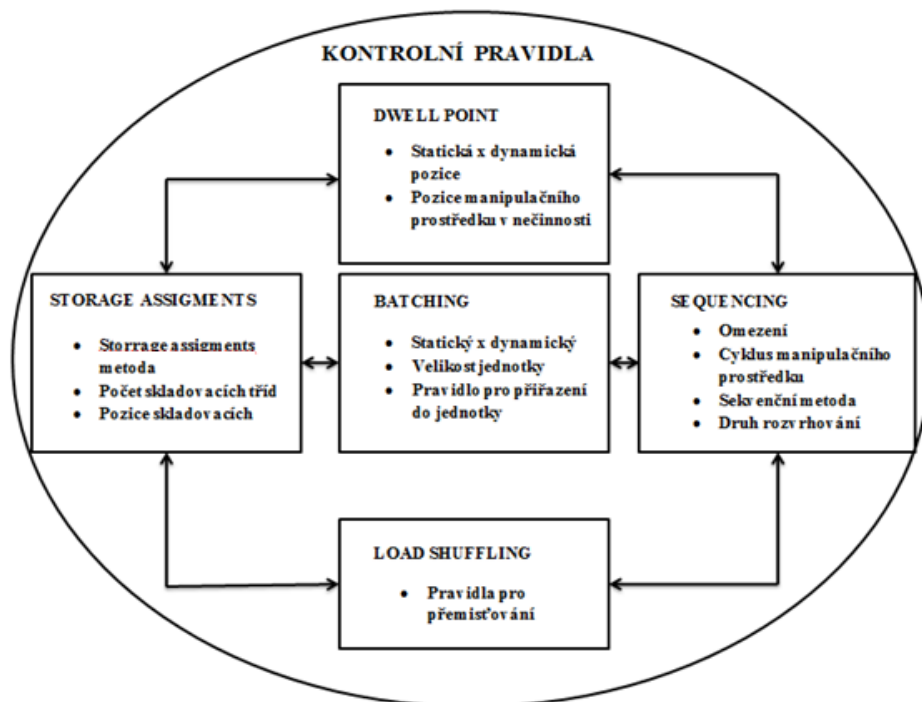
manipulačních zařízení. Nelze obecně zjistit ideální rozložení skladovacích ploch, protože to úzce souvisí s kontrolními pravidly. Pro řešení lze využít simulačního přístupu pro jednotlivé případy. V praktických problémech je toto definováno často možnostmi prostoru (např. výjezd do ulice, jednopatrové parkoviště).

V logistických skladech jsou budovány rychlé zóny, kam jsou přemísťovány výrobky v případě, že se očekává brzký požadavek na vyskladnění. U vysoce obrátkových položek je udržována potřebná hladina v rychlé zóně. Tato zóna je často pohybujícím pásem, kam AS/RS průběžně vyskladňuje produkty z jedné strany a z druhé strany je možné je odebírat.

1.3 Kontrolní pravidla

Kontrolní pravidla lze definovat pro potřeby diplomové práce jako soubor procesu, které se jsou tvořeny všemi řídicími procesy v automatickém parkovacím systému. Tyto procesy jsou složeny zejména z metod přiřazení místa, sequencing, load shuffling, batching a dwell – point. Bližší informace k metodám jsou uvedeny v jednotlivých kapitolách.

Přehled kontrolních pravidel je na obrázku č. 3 včetně přiřazení místa.



Obr. 3 Kontrolní pravidla

Zdroj: (1), Autor

Storage assignments (kapitola 1.3.1) jsou pravidla určená k přiřazení místa. Účelem těchto pravidel je vytvořit pevné páry mezi požadavky a skladovacími místy. Kategorie dwell – point pravidel (kapitola 1.3.2) určuje umístění manipulačního prostředku uvnitř systému. Batching (kapitola 1.3.4) je soubor pravidel, který sloučí více požadavků do jednoho podle vybraného klíče. Díky batchingu lze uspořit celkový čas vhodným shlukováním požadavků. Load shuffling (kapitola 1.3.5) jsou metody zkoumající možnosti přesunu zboží mezi jednotlivými skladovacími místy v období prostojových časů. Sequencing (kapitola 1.3.3) se zabývá tvorbou vhodné okružní trasy pro obsluhu více požadavků. Kromě uvedených kategorií se uplatňují další pravidla (kapitola 1.3.6), která je blíže specifikují.

1.3.1 Přiřazení místa (storage assignments)

Rozhodnutí o přiřazení skladovacího místa je klíčovou operací, která umožní minimalizovat čas nutný pro práci manipulujícího zařízení. V AS/RS je používáno mnoho metod, které se liší využitím kapacity, rychlostí a svou jednoduchostí. Autor vybral nejpoužívanější metody a ty, které jsou vhodné právě i pro použití v automatických parkovacích systémech.

Přehled metod přiřazení místa

- Random storage assignment (RSA)
- Closest open location storage assignment (CSA)
- Dedicated storage assignments (DSA)
 - Ranked index based rules (RIB)
 - Cube per order index (COI)
 - Order closing index (OC)
 - Turn index (TI)
 - Popularity index (PI)
 - Quadratic assignment problem (QAP)
 - Individuální nákladový model (INM)
 - Celočíselný binární model Askina a Standrige (MAS)
- Class-based storage assignment (CBA)
- Correlated storage policy (CP)
 - Cluster-based rule (CPR)
 - Cluster-based & popularity (CPP)

- Cluster-based & COI Cluster-based (CPC)
- Cluster-based & Order closing (CPO)
- Cluster-based & turn (CPT)
- Direct link method (DLM)
- Metoda přípravného vyskladňování (MPV)
- Metoda předvídající uskladňování (MPU)
- Metoda deterministických odjezdů (MDO)
- Metody spolupracující s ostatními systémy (MSO)
- Continuous storage policy (CSP)
- Bartholdi – Hackman model na minimalizaci prázdných jízd (BHM)

Random storage assignment

Metoda random storage assignment (RSA) je v české literatuře překládána jako metoda náhodného nebo chaotického skladování. Principem je, že každé skladovací operaci je přiřazena stejná priorita a náhodně je vybráno skladovací místo. Tudíž pravděpodobnost využití volného skladovacího prostoru je stejná.

Pravděpodobnost uskladnění na místo x_{ij} lze zapsat jako vzorec č. 1:

$$P(x_{ij}) = \frac{1}{n} \quad (1)$$

Kde

- i ... index aktuální řady [-]
- k ... index aktuálního skladovacího místa [-]
- n ... celkový počet skladovacích míst [-].

Přiřazení volného místa je určeno náhodným generátorem čísel (lze měnit hustotu pravděpodobnosti daného rozdělení na jiné než rovnoměrné rozdělení, čímž dojde i ke změně pravděpodobnosti jednotlivých uskladnění ve vzorci č. 1). Výhodou tohoto systému přiřazení je jednoduchost a využití kapacity zařízení (nejmenší velikost skladovacích prostor). Nevýhodou je skladování položek s vysokou obratovostí do vzdálených míst od I/O (Input/Output) místa. I/O je místo, kde dochází ke vstupu a výstupu skladovaných položek ze systému.

Closest open location storage assignment

Metoda closest open location storage assignment (CSA) přiřazuje skladovací místo položce, která je nejbližší I/O místu. Vzdálenost v tomto případě je myšlena jako časová vzdálenost, tedy čas, za který je možno požadavek uskladnit na dané místo. Protože manipulační prostředky mají různou rychlost v horizontálním a ve vertikálním směru, autor bude pro výpočet používat chebyshovovu vzdálenost. Chebyshovova vzdálenost je definována jako maximum z absolutních hodnot z jednotlivých složek (v našem případě časová vzdálenost). Definici chebyshovovy metriky čtenář najde např. v zdroji „*Optimalizace provozních režimů zážehového motoru*“ (2).

Chebyshovova vzdálenost je výhodná v případě pokud lze oddělit jednotlivé složky rychlosti pro jednotlivé osy. Rychlosti v osách jsou konstantní a nemění se podle vzdálenosti definované v euklidovském prostoru. Poté je výpočetně jednodušší porovnat dvě (nebo více hodnot) než počítat pythagorovou větou délku přepony. Vhodné například pro jeřábové systémy (kapitola 3.2.4).

Pro výpočet matice vzdálenosti je potřeba vytvořit dvě matice vzdáleností pro horizontální osu a vertikální osu a mezi nimi najít maximální hodnoty pro dané prvky a vytvořit chebyshovovu matici vzdáleností. V případě, že přijde více požadavků na vychystávání v momentě, kdy je skladováno, musím být tato matice vytvořena pro všechny skladovací místa, aby software dokázal ohodnotit nejbližší požadavek na vychystávání. Tato možnost vznikne pouze, pokud uvažujeme s dual/command (DC) požadavkem. DC je systém, kdy při zpáteční cestě dochází k vyskladňování jiného požadavku. Tento systém šetří až 30 % z celkového času. Pravděpodobnost využití místa nelze triviálně určit jako u předchozího modelu, protože záleží na rozdělení hustoty pravděpodobnosti přicházejících požadavků a systému řízení.

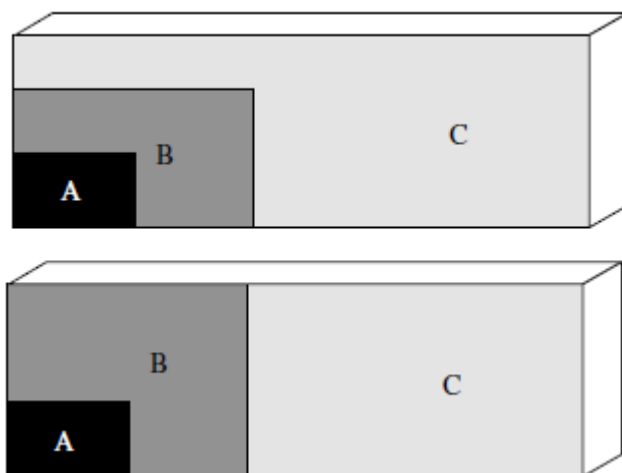
Dedicated storage assignments

Dedicated storage assignmet (DSA) metodu lze přeložit jako metodu přiřazování s vyhrazeným místem pro skladování. Extrémním případem této metody je, že každé položce v seznamu je přiřazeno unikátní místo. V automatických parkovacích systémech lze využít tohoto přístupu například v obytných domech, kde cena parkovacího místa je určena časem vyskladnění vozidla. Otázkou je jak dlouhou vychystávací dobu je zákazník ochoten tolerovat. Níže uvedené metody jsou teoreticky podmnožinou DSA, ale v literatuře je lze najít

samostatně, protože tvoří další velké množiny metod. Nevýhodou je nutnost vytvořit pro každý požadavek skladovací prostor, a tudíž nutnost vybudovat rozsáhlý AS/RS systém.

Class - based storage assignment

Class – based storage assignment (CBA) je speciálním případem metody DSA. Metoda je založena na tvorbě několika skladovacích zón (v angličtině tříd), ve kterých jsou skladovány jednotlivé položky. Důležité je vybrat optimální počet, velikost a umístění jednotlivých zón. V praxi jsou používány statické zóny, které se nemění v čase. V předem definovaných intervalech dochází k novému přepočtu výše uvedených parametrů a k tvorbě nových zón. Opakem je metoda dynamických zón, kdy dochází k neustálému výpočtu a definování zón. V případě statických zón se nejčastěji vychází z modelových zón. Modelové zóny vychází z předem známých tvarů nebo se řídí obecnými vzorci pro rozřazení skladovacího prostoru. Typické rozvržení zón je na obrázku č. 4.

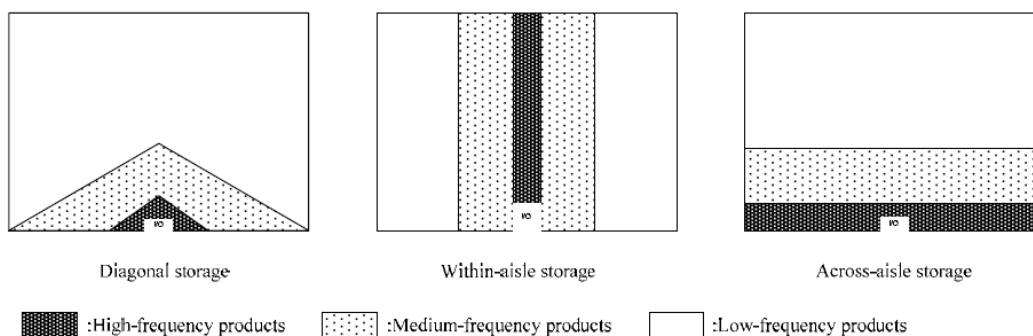


Obr. 4 Rozvržení zón

Zdroj: Autor

K odhadu velikosti zón lze využít ABC analýzu (parametrem zde není cena, ale obrátkovost) nebo procentuální rozvržení na základě poptávky. Umístění zón je definováno podle vzdálenosti od I/O místa. Důležitá je znalost poptávky po skladovacích a vyskladňovacích operacích. Optimálnímu rozvržení zón se věnuje například zdroj „*Modelling of three-dimensionalwarehouse systems*“ (4). Obdobou CBA je skladování podle alokačního vzorce (Slotting based on storage allocation patterns).

Na obrázku č. 5 jsou zobrazeny nejčastěji používané alokační vzorce.



Obr. 5 Alokační vzorce

Zdroj: (5)

Dalšími využívanými metodami jsou vytváření pruhů (strip) nebo zón, které mají stejnou časovou vzdálenost od I/O místa.

Ranked index based rules

Ranked index based rules (RIB) jsou metody zaměřené na porovnávání jednoduchých indexů mezi sebou.

Cube per order index

Metoda cube per order index (COI) je založena na porovnávání poměru velikosti místa nutného ke skladování vůči obrátkovosti zboží. Zboží s nejnižším COI indexem je přiřazeno místu nejbližší I/O místu. Tato metoda je jednou z nejpoužívanějších a nejcitovanějších v literatuře. Předpokladem metody je vyváženost úlohy to znamená, že počet skladovacích míst se rovná počtu skladovaných jednotek (obdobu dopravní úlohy). V praxi je podmínkou zajistit, aby počet skladovacích míst byl stejný nebo vyšší než počet skladovaných jednotek. Lze řešit pomocí imaginárních skladovacích míst. Metodu COI lze zapsat jako úlohou lineárního programování. (5) Účelová funkce (vzorec č. 2)

$$\min z = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q \frac{T_j}{S_j} \sum_{i=1}^m p_i \cdot d_{ik} \cdot x_{jk} \quad (2)$$

Omezující podmínky (vzorec č. 3, 4, 5)

$$\sum_{j=1}^n x_{jk} = 1 \quad ; k = 1 \dots q \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^q x_{jk} = S_j \quad ; j = 1 \dots n \quad (4)$$

$$x_{jk} = \{0,1\} \quad ; \forall j, k \quad (5)$$

Kde

- j ... index aktuálního skladovací jednotky [-]
- k ... index aktuálního skladovacího místa [-]
- i ... index aktuálního I/O místa [-]
- n ... počet skladovacích jednotek [-]
- q ... počet skladovacích míst [-]
- m ... počet I/O míst [-]
- T_j ... počet cest skladovací jednotky j [-]
- S_j ... počet potřebných míst pro skladovací jednotku j [-]
- p_i ... procento cest k danému I/O místu i [%]
- d_{ik} ... vzdálenost místa k I/O místu i [m]
- x_{jk} ... proměnná určující přiřazení skladovací jednotky j
ke skladovacímu místu k [-]
- z ... proměnná účelové funkce [m]

K řešení této úlohy se využije algoritmu, kde:

1. Spočteme $f_k = \sum_{i=1}^m p_i \cdot d_{ik}$ [% · m].
2. Přečíslijeme skladovací místa podle $f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_q$.
3. Přečíslijeme skladovací jednotky $\frac{T_1}{S_1} \geq \frac{T_2}{S_2} \geq \dots \geq \frac{T_n}{S_n}$.
4. Přiřadíme skladovací místo 1, 2, ..., S_n skladovací jednotce 1, skladovací místo $S_1 + 1, S_1 + 2, \dots, S_1 + S_2$ skladovací jednotce 2 atd.

Nevýhodou je, že tato metoda je statická. V některých automatických parkovacích systémech lze využít obdobu tohoto indexu, kde čitatel rovnice bude zaměněn za hmotnost vozidla, protože hmotnost ovlivňuje rychlost manipulačních prací. Velikost ovlivnění rychlosti hmotností závisí na jednotlivém druhu systému a na realizaci. V případě některých systémů je toto ovlivnění minimální a lze uvažovat s konstantními rychlostmi.

Order closing index

Order closing index (OC) metoda je založena na principu shlukování jednotek do větších celků. OC index ohodnocuje pravděpodobnost, že skladovací jednotka bude součástí většího celku (kritérium pro shlukování je OC index). V logistice našla uplatnění i pro svoji jednoduchost. V parkovacích systémech autor nepředpokládá shlukování, proto tato metoda není vhodná. OC lze zapsat jako (vzorec č. 6 a 7):

$$f_{ij,T} = \frac{x_{ij}}{\sum_{z=1}^{m(j)} x_{zj}} \quad (6)$$

$$OC_{i,T} = \sum_{j=1}^{\max j \text{ za } T} f_{ij,T} \quad (7)$$

Kde

$$x_{ij} \begin{cases} 1 \text{ když položka } i \text{ je v požadavku } j \\ \text{jinak } 0 \end{cases}$$

T ... časové období [h]

i ... index skladovací jednotky [-]

j ... index požadavku na přemístění [-]

$m(j)$... celkový počet požadavku j

V tabulce č. 1 je uveden příklad incidenční matice x_{ij} mezi produkty a požadavky.

Tab. 1 Incidenční matice

	Požadavek na přemístění j	1	2	3	4	5
Skladovací jednotka i						
1		1	0	0	0	1
2		1	0	1	1	0
3		0	1	1	1	0
4		1	0	1	1	0
5		1	0	0	1	0
6		0	1	0	0	0

Zdroj: Autor

Tabulka č. 2 ukazuje výpočet OC indexu.

Tab. 2 Výpočet OC indexu

	Požadavek na přemístění j	1	2	3	4	5	OC index
Skladovací jednotka i							
1		0,25	0,00	0,00	0,00	1,00	1,25
2		0,25	0,00	0,33	0,25	0,00	0,83
3		0,00	0,50	0,33	0,25	0,00	1,08
4		0,25	0,00	0,33	0,25	0,00	0,83
5		0,25	0,00	0,00	0,25	0,00	0,50
6		0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50

Zdroj: Autor

Velikost OC indexu je v rozmezí:

1. Min hodnota = převrácená hodnota celkového počtu skladovacích jednotek i .
2. Max hodnota = počet požadavků na přemístění. (6)

Turn index

Turn index (TI) je definován na základě obrátkovosti. Položky s nejvyšším indexem jsou přiřazovány nejbližší I/O místu. Tento index lze zapsat jako (vzorec č. 8): (6)

$$TI_{i,T} = \sum_{j=1}^{\max j \text{ za dobu } T} x_{ij} \quad (8)$$

Kde

$$x_{ij} \begin{cases} 1 \text{ když položka } i \text{ je v požadavku } j \\ \text{jinak } 0 \end{cases}$$

T ... časové období [h]

i ... index skladovací jednotky [-]

j ... index požadavku na přemístění [-]

Popularity index

Popularity index (PI) index je definován na základě oblíbenosti. Položky s nejvyšším indexem jsou přiřazovány nejbližší I/O místu.

Tento index lze zapsat jako (vzorec č. 9): (6)

$$P_{i,T} = \sum_{\text{Počet požavků } j \text{ v periodě } T} x_{ij} \quad (9)$$

Kde

$$x_{ij} \begin{cases} 1 \text{ když položka } i \text{ je v požadavku } j \\ \text{jinak } 0 \end{cases}$$

T ... časové období [h]

i ... index skladovací jednotky [-]

j ... index požadavku na přemístění [-]

Rozdíl mezi PI a TI indexem je, že PI index si všímá maxim za dané období, zatímco TI index operuje s kumulativním součtem. Například pokud měsíc je prodáváno zboží v obchodě, tak TI index sečte všechny prodané kusy a PI index zjistí, že třetí pondělí v měsíci byl největší prodej kusů, pokud zvolená perioda je jeden den. Volba periody záleží konstruktérovi indexu. Oba indexy jsou vhodné pro automatické parkovací systémy. Z hlediska použitelnosti je výhodnější TI index.

Corraleted storage policy

Corraleted storage policy (CP) metody jsou založeny na shlukování položek na základě vnitřní podobnosti nebo jiné souvislosti. Například v typovém skladě výpočetní techniky budou skladovány monitory a klávesnice a další výrobky. Předpokladem je, že vyskladňovací požadavek bude s vysokou pravděpodobností na obě položky, protože zákazníci obvykle potřebují obě položky to je monitor i klávesnici. Tudiž je výhodné, aby obě položky byly skladovány ve své blízkosti. Vhodné algoritmy pracují ve dvou fázích. Nejdříve vytvoří shluk položek (clustering problem) a poté přiřadí danému shluku pozici (location-assignment problem). Předpokladem je otestovat položky, které mají spolu vnitřní vztah a aplikace metod sběru více položek při jedné cestě. Přirazení místa lze určit na základě těchto pravidel.

- Cluster-based rule
- Cluster-based & popularity
- Cluster-based & COI
- Cluster-based & order closing
- Cluster-based & turn. (6)

Jelikož v automatických parkovacích systémech se nepředpokládají vnitřní souvislosti mezi vozidly a lze vyskladňovat pouze jednu položku v daný čas tyto metody nejsou vhodným přístupem. Výjimkou jsou některé specifické parkovací systémy, odkud vyjíždějí např. fixně určené dvojice montážních vozidel. Pro běžné parkovací systémy toto nemá význam, proto nebude dále řešeno. Čtenář si může prohloubit znalosti o těchto metodách ve zdroji „*Design of an efficient tool for slotting the manual picking area at Wolters-Noordhoff*“ (5) a zde „*Warehousing in the Global Supply Chain. Advanced Models, Tools and Applications for Storage Systems*“ (6).

Direct link method

Direct link method (DLM) metoda v sobě kombinuje řešení dvou problémů. Prvním je sequencing a druhým je CP. V modelu jsou definovány dvě proměnné: (5)

D_{ij} ... chebyshevova vzdálenost [m]

F_{ij} ... direct link frekvence udávají, jak často skladovací jednotka i je skladována před nebo po skladovací jednotce j [-]

Algoritmus k řešení je definován jako:

1. Začni s počátečním rozložením skladovacích jednotek v systému.
2. Spočti $z_0 = \frac{1}{2} \cdot D_{ij} \cdot F_{ij}$.
3. Spočti $z_1 = \frac{1}{2} \cdot D_{ij} \cdot F_{ij}$.
4. Pokud lze snížit hodnotu z_1 prohozením dvou skladovacích jednotek udělej krok 5 jinak krok 7.
5. Prohod' skladovací jednotky.
6. Aktualizuj hodnotu D_{ij} .
7. Pokud $z_0 = z_1$, udělej krok 10. Jinak krok 8.
8. Urči novou cestu pro sequencing.
9. Aktualizuj hodnotu F_{ij} .
10. Konec.
11. Procedura lze znovu začít s jiným počátečním rozložením.

Metoda přípravného vyskladňování

Metoda přípravného vyskladňování (MPV) pracuje s prostoji manipulačních zařízení. V období nečinnosti manipulačních zařízení dochází k přeskladnění položek, u kterých se očekává, že brzy přijdou na řadu, do blízkosti I/O místa. Předpokladem v tomto modelu je existence stojových časů. Nevýhodou je značná pracnost a zatížení manipulačních zařízení. V případě dlouhých manipulačních časů výrazně omezuje vyskladňovací čas. Optimalizačním kritériem může být obrátkovost nebo jiná z výše uvedených metod. (7)

Metoda předvídající uskladňování

Metoda předvídající uskladňování (MPU) využívá prognostických metod ze statistiky. Cílem této metody je omezit manipulační časy. Metoda využívá odhadu času, kdy jednotlivé položky budou vyskladňovány. Podle odhadnutého času vyskladnění přidělí nejvhodnější volné umístění. Podmínkou je znalost poptávky po manipulačních pracích AS/RS.

Metoda deterministických odjezdů

Metoda deterministických odjezdů (MTO) je aplikace systému fungujícího na časově placených parkovištích. Uživatel placeného parkoviště si v systému koupí lístek na předem daný časový úsek. V AS/RS uživatel zadá předpokládaný odjezd a jeho vozidlo bude podle toho uskladněno (vozidla s nejbližším očekávaným odjezdem budou skladovány nejbliže). Nutností je aplikovat další pravidla, pokud uživatel nedodrží předpokládaný odjezd (práce policejních složek nebo ostrahy u konvenčních parkovišť). Autor doporučuje pro časově vzdálenější odjezdy rozšiřovat interval akceptovaného odjezdu. Uživatele lze penalizovat finančně nebo uskladněním do vzdálenějšího místa. Nevýhodou je nutnost hardwarového zařízení pro zadávání předpokládaných odjezdů a vzniku dalšího kroku uživatele spojeného s obsluhou zařízení.

Metody spolupracující s ostatními systémy

Metody spolupracující s ostatními systémy (MSO) jsou založeny na spolupráci s ostatními informačními systémy. Klasickým příkladem je spolupráce s mobilním operátorem. V případě, že vlastník skladovaného vozidla chce vyskladnit vozidlo, zadá prostřednictvím mobilní aplikace nebo SMS zprávy pokyn a dané vozidlo bude vyskladněno. Jiným možným použitím je spolupráce na letišti se systémem příletů. V situaci, kdy letadlo přistane je vozidlo přeskladněno do blízkosti I/O místa nebo vyskladněno na předávací místo.

Tato metoda je vysoce efektivní, ale nevýhodou je tvorba cenově drahého informačního systému.

Continuous storage policy

V continuous storage policy (CSP) metodě lze odhadnout potřebnou velikost skladovacího prostoru jako u náhodného skladování. Ať t_j^{in} a t_j^{out} znamená čas potřebný k pohybu manipulačního prostředku od místa j k I/O místu dovnitř a ven (uvažujeme více I/O míst, jinak $t_j^{in} = t_j^{out}$). Potom metoda CSP ohodnotí všechna skladovací místa v neklesající posloupnosti $t_j^{in} + t_j^{out}$ a všechny skladovací jednotky do nestoupající posloupnosti podle poptávky na jednotlivé místo. Potom pro každou skladovací jednotku je spočteno nejmenší celé číslo l_i tak, že splňuje nerovnici (vzorec č. 10):

$$P(Q^{i-1} \leq l_i - 1) \geq \alpha \quad (10)$$

Kde P ... pravděpodobnost [-]
 Q^{i-1} ... náhodná proměnná označující počet skladovacích jednotek v daném časovém úseku [-]
 α ... frakce času z celkového časového úseku [-]
 l_i ... odhadované nejmenší celé číslo [-]

Nakonec metoda přiřadí skladovací jednotku volnému skladovacímu místu, pro které platí, že index $j \geq l_i$. CSP rezervuje místa blíže k I/O místu produktům s vyšší poptávkou. Metoda je dynamickou metodou a kombinuje výhody mezi chaotickým skladováním a DSA. V případě že $\alpha = 1$ se tato metoda stane jednou z metod DSA (pro každou skladovací jednotku určeno skladovací místo podle poptávky). (8)

Quadratic assignment problem

Metoda kvadratického přiřazování (QAP) je široce známa v literatuře již od roku 1957. Model přiřazuje nedělitelné zařízení (facilities) ke skladovacím místům. Jednotlivá skladovací místa mají stejný tvar a vzdálenost mezi nimi je měřena pomocí centroidů (zvolený střed skladovacího místa určený souřadnicemi). QAP je metodou kvadratického programování, jak napovídá její název. Model lze zapsat jako:

Účelová funkce (vzorec č. 11)

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n f_{ik} \cdot d_{jl} \cdot X_{ij} \cdot X_{kl} \quad (11)$$

Omezující podmínky (vzorec č. 12, 13, 14)

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad ; \quad \forall i \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad ; \quad \forall j \quad (13)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad ; \quad \forall i, j \quad (14)$$

Kde

i, k ... označení zařízení [-]

j, l ... označení místa [-]

n ... počet zařízení, míst [-]

f_{ik} ... tok mezi zařízeními [počet / čas]

d_{jl} ... vzdálenost mezi místy [m]

X_{ij} ... přiřazení zařízení i k zařízení j [-]

X_{kl} ... přiřazení zařízení k k zařízení l [-]

z ... účelová proměnná [(počet · m) / čas]

Účelová funkce (vzorec č. 11) minimalizuje celkovou vzdálenost mezi místy j, l přenásobenou tokem mezi zařízeními i, k . První podmínka (vzorec č. 12) přiřazuje maximálně jedno zařízení i místu j a druhá podmínka (vzorec č. 13) přiřazuje maximálně jedno místo j zařízení i . Jak je vidět ze zápisu modelu, tak tento model posuzuje páry míst a zařízení podobně jako shlukovací metody. Nevýhodou je nutnost znalosti toku a početní náročnost. Vzhledem k početní náročnosti tato metoda zatím existuje pouze v literatuře. (9), (10)

Individuální nákladový model

Individuální nákladový model (INM) je modelem lineárního programování. Účelová funkce minimalizuje náklady (vzorec č. 15) spojené s manipulací s jednotlivými přepravními jednotkami. První omezující podmínka (vzorec č. 16) definuje, že každý náklad bude skladován právě jednou. Druhá podmínka omezuje (vzorec č. 17), že nebude překročena kapacita jednotlivého místa. Vektor b_{ij} je časovým vektorem, který určuje, po jakou dobu bude jednotka v systému. Přidáním vektoru b_{ij} se model stane dynamickým modelem. Velikost časového úseku si je nutno definovat. Čím kratší časový usek je, tím se model stává náročnějším z hlediska početní náročnosti. Model se řeší pomocí transformace časového vektoru. Více čtenář najde ve zdroji „*Warehousing in the Global Supply Chain. Advanced Models, Tools and Applications for Storage Systems*“ (6).

Účelová funkce (vzorec č. 15)

$$\text{Min } f = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (15)$$

Omezující podmínky (vzorec č. 16, 17, 18)

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^M b_{ij} \cdot x_{ij} \leq 1 \quad \forall j \quad (17)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} ; \forall i, j \quad (18)$$

Kde

i ... označení skladovací jednotky [-]

j ... označení místa [-]

m ... celkový počet jednotek [-]

n ... celkový počet míst [-]

c_{ij} ... náklady jedné cesty sk. jednotky i na místo j [Kč]

x_{ij} ... proměnná přiřazující náklad i místu j [-]

b_{ij} ... časový vektor obsazení například (0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0)
 [-]
 f ... proměnná účelová funkce [Kč]

Celočíselný binární model Askina a Standrige

Celočíselný binární model Askina a Stanbrige (MAS) je model minimalizující celkové přepravní náklady. Model rozděluje prostor do skladovacích krychlí A_i . Jednotlivé skladovací krychle obsahují jednu nebo více skladovacích jednotek i . Podmínkou je, že všechny obsahují stejný počet skladovacích jednotek i . Počet skladovacích krychlí je dán vztahem (vzorec č. 19):

$$\sum_{i=1}^N A_i = M \quad (19)$$

Skladovací prostor obsahuje celkem p I/O míst. Počet skladovacích jednotek procházející p místem je předem znám. W_{ip} jsou proporciální náklady za časové období na přemístění skladovací jednotky i skrz místo p . Běžně jsou voleny jako počet cest za časovou jednotku. Pokud se náklady liší podle skladovací jednotky i je nutno vytvořit matici pro každý výrobek. Vzdálenost není známa, dokud není vyřešeno přiřazení produktu k danému místu. Na druhou stranu je známa vzdálenost d_{pj} (vzdálenost skladovací krychle A_j od místa p). Předpokladem je, že každé místo p je využito stejně pro každou skladovací jednotku i .

Náklady na přiřazení skladovací jednotky i ke skladovací krychli j jsou (vzorec č. 20):

$$c_{ij} = \frac{1}{A_i} \sum_{p=1}^p w_{ip} \cdot d_{pj} \quad (20)$$

Kde $\frac{1}{A_i}$ je tok skladovací jednotky i ke skladovací krychli j . Cílem toho modelu je minimalizovat celkové náklady (vzorec č. 21) vytvořením ideálních skupin skladovacích jednotek S_r kde každá skladovací jednotka i bude náležet skladovací krychli A_i . Pokud skladovací jednotka i bude přiřazena krychli j ($j \in S_i$). Toto lze zapsat jako úlohu lineárního programování. První podmínka omezuje (vzorec č. 22), že skladovací jednotky i je přiřazena skladovací krychli. Druhá omezuje, že všechny skladovací krychle jsou využity (vzorec č. 23).

Účelová funkce (vzorec č. 21)

$$\min z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (21)$$

Omezující podmínky (vzorec č. 22, 23, 24)

$$\sum_{j=1}^M x_{ij} = A_i \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1 \quad ; \quad \forall j \quad (23)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (24)$$

Kde

i ... označení skladovací jednotky [-]

N ... počet skladovacích jednotek [-]

M ... počet skladovacích krychlí [-]

A_i ... skladovací krychle výrobku i [-]

j ... označení skladovací krychle [-]

p ... označení místo I/O [-]

w_{ip} ... proporciální náklady na odeslání skladovací jednotky i přes místo I/O [počet cest / h]

d_{pj} ... vzdálenost mezi středem skladovací krychle j a místem I/O [m]

c_{ij} ... náklady jedné cesty skladovací jednotky i na místo j [(počet cest / h) · m]

x_{ij} ... proměnná přiřazující náklad i skladovací krychli j [-]

z ... proměnná účelová funkce [(počet cest / h) · m]

Ovšem tento model je výpočetně náročný (obdoba dopravní úlohy). Model, lze zjednodušit za předpokladu, že všechny místa p jsou využita rovnoměrně např. jedno místo pro uskladnění a druhé místo pro vyskladnění. Tento předpoklad, lze zapsat (vzorec č. 25):

$$w_{ip} = c_i \cdot w_p \quad (25)$$

Kde

c_i ... množství skladovacích jednotek i za čas [počet/h]

w_p ... jednotkové náklady na 1 skladovací jednotku [Kč]

W_p jsou nezávislé na skladovací jednotce i krychli. Poté můžeme napsat (vzorec č. 26):

$$C_{ij} = \frac{1}{A_i} \cdot \sum_{p=1}^p w_{ip} \cdot d_{pj} = \frac{c_i}{A_i} \cdot \sum_{p=1}^p w_p \cdot d_{pj} \quad (26)$$

Necht' (vzorec č. 27):

$$f_j = \sum_{p=1}^p w_p \cdot d_{pj} \quad (27)$$

Kde f_j ... funkce [(počet/h) · Kč]

Poté lze napsat minimalizující účelovou funkci (vzorec č. 28):

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j \in S_i} C_i \cdot f_j / A_i \quad (28)$$

Odsud lze vidět, že pro každé f_j existuje $\frac{c_i}{A_i}$. Ted' existují dvě řady čísel, které je nutno srovnat, aby funkce (vzorec č 28) byla minimální. Využijeme algoritmu, kde:

1. Spočteme a srovnáme do neklesající posloupnosti f_j tak, že $f_1 \leq f_2 \leq f_m$.
2. Srovnáme skladovací jednotky do nestoupající posloupnosti tak, že $\frac{c_1}{A_1} \geq \frac{c_2}{A_2} \geq \frac{c_n}{A_n}$.
3. Pro všechny skladovací jednotky $i = 1, \dots, N$ přiřadíme produkt i prvnímu volné skladovací krychli A_i . (3)

Bartholdi – Hackman model na minimalizaci prázdných jízd

Bartholdi – Hackman model na minimalizaci prázdných jízd (BHM) je orientován na minimalizaci prázdných jízd manipulačních prostředků, které nepřinášejí užitek. Model předpokládá, že existuje list $i = 1, \dots, N$ požadavků na uskladnění a list $j = 1, \dots, M$ požadavků na vyskladnění. Cílem je minimalizovat prázdné jízdy a to lze zapsat do účelové funkce vzorec č. 29. Proměnná $x_{ij} = 1$ znamená, že bude proveden i požadavek na uskladnění a poté se manipulační prostředek minimální cestou přesune k j požadavku na vyskladnění a provede ho. Dále omezující podmínka vzorec č. 30 definuje, že každé uskladnění bude spárováno s vyskladněním a omezující podmínka vzorec č. 31 omezuje, že každé vyskladnění je spárováno s uskladněním. (3)

Účelová funkce (vzorec č. 29)

$$\min z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M d_{ij} \cdot x_{ij} \quad (29)$$

Omezující podmínky (vzorec č. 30, 31, 32)

$$\sum_{j=1}^M x_{ij} = 1 \quad ; \quad \forall i \quad (30)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1 \quad ; \quad \forall j \quad (31)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (32)$$

Kde

- i ... požadavek na uskladnění [-]
- j ... požadavek na vyskladnění [-]
- M ... celkový počet požadavků na vyskladnění [-]
- N ... celkový počet požadavků na uskladnění [-]
- d_{ij} ... nejkratší vzdálenost mezi požadavkem i a j [m]
- x_{ij} ... binární proměnná, požadavek proveden ano/ne [-]
- z ... proměnná účelové funkce [m]

1.3.2 Dwell – point

Dwell – point (DP) je soubor pravidel, kterými se řídí manipulační prostředek v době své nečinnosti. Tato pravidla se snaží snížit neproduktivní časy, které jsou způsobeny přistavnými jízdami manipulačního prostředku. Nejčastějšími pravidly, pokud budeme uvažovat pouze jeden manipulační prostředek, jsou:

- Manipulační prostředek se navrácí k vstupnímu bodu, pokud již je v nečinnosti. V případě, že se nachází ve výstupním bodu, tak v tomto bodě setrvává.
- Manipulační prostředek zůstane v pozici, kde se nachází, když ukončí svou činnost.
- Manipulační prostředek se navrácí do středního bodu, pokud je v nečinnosti.
- Po dokončení činnosti, manipulační prostředek se přesune do výstupního nebo vstupního bodu.

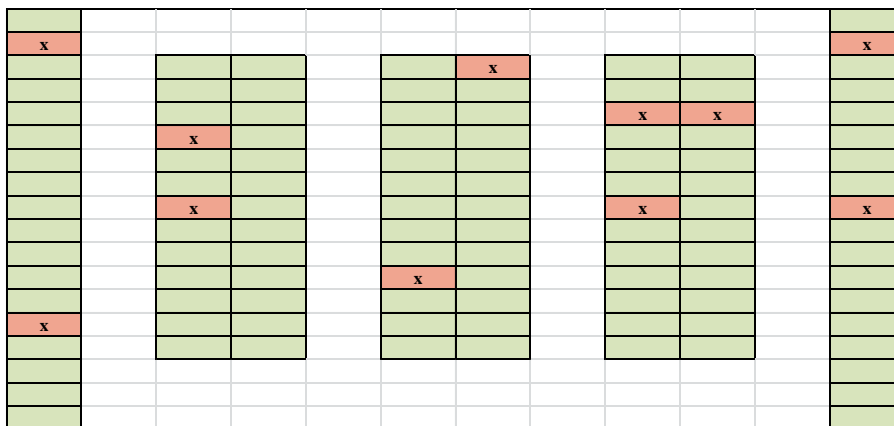
- V logistických skladech jsou dále používány varianty: manipulační prostředek zůstává v místě komplementace, na konci uliček nebo na začátku uličky.
- Dynamické řízení, kdy manipulační prostředek vždy putuje do jiného místa (podle druhu skladovací činnosti, předvídané další činnosti, podle denní doby).

V systému AS/RS s čtvercovým uspořádáním, DSA přiřazováním lze dokázat, že kontrolní politika v druhém odstavci je ideální. Pravděpodobnost skladovací operace ovlivňuje výběr metody. Pokud je pravděpodobnost uskladnění vyšší než 0,5 je vhodné se navrátit ke vstupnímu bodu například. Jedním z důležitých momentů tvorby DP pravidel je určení středního bodu. Tomuto problému se věnuje zdroj „*RECENT ADVANCES AND CHALLENGES IN QUADRATIC ASSIGNMENT AND RELATED PROBLEMS*“ (8). Autor předpokládá jako vhodnou politiku, aby ve středním bodě měla manipulační zařízení časovou vzdálenost do nejdlejších míst stejnou. Pro hlubší pochopení autor doporučuje prostudovat zdroj „*RECENT ADVANCES AND CHALLENGES IN QUADRATIC ASSIGNMENT AND RELATED PROBLEMS*“ (8).

Kromě pravděpodobnosti skladovacích operací a kontrolních pravidel dále ovlivňuje DP pravidla počet manipulačních prostředků a závislost mezi nimi. Případ více manipulačních prostředků autor nebude uvažovat. Dynamické řízení je výhodné u obytných domů, kde se v ranních hodinách předpokládá odjezd vozidel a ve večerních hodinách příjezd vozidel.

1.3.3 Sequencing

Sequencing (SE) jsou metody, které vznikly v logistice. V minulosti dostala osoba seznam položek, které jsou určeny k vyskladnění. Klasický problém je znázorněn na obrázku č. 6. Zelenou barvou jsou vyobrazeny regály a červenou skladovací jednotky, které je nutno při jedné cestě obejít. (11)



Obr. 6 Rozložení zboží ve skladu

Zdroj: Autor

Vzhledem k tomu, že si skladník mohl zvolit pořadí a trasu mezi nimi, se časem ukázalo, že si volil neefektivní trasy, které prodlužovaly potřebný čas k obslužení. SE jsou metody, pomocí nichž hledáme nejkratší cestu mezi vrcholy za podmínky, že obslužíme všechny vrcholy. V teorii grafů je tato metoda nazvána jako úloha obchodního cestujícího.

Úloha obchodního cestujícího

Úloha obchodního cestujícího (ÚOC) je definována takto: v daném ohodnoceném úplném grafu nalézt nejkratší hamiltonovskou kružnici. Kde hamiltonovská kružnice grafu je taková kružnice, která projde všechny vrcholy právě jednou. Lze zapsat jako úlohu lineárního programování, kde:

Účelová funkce (vzorec č. 33)

$$\min z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (33)$$

Omezující podmínky (vzorec č. 34, 35, 36, 37)

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad ; j \in \{1, \dots, n\} \quad (34)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad ; i \in \{1, \dots, n\} \quad (35)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \notin S} x_{ij} \geq 1 \quad \text{pro } S \subset N, S \neq \emptyset \quad (36)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad ; \forall i, j \quad (37)$$

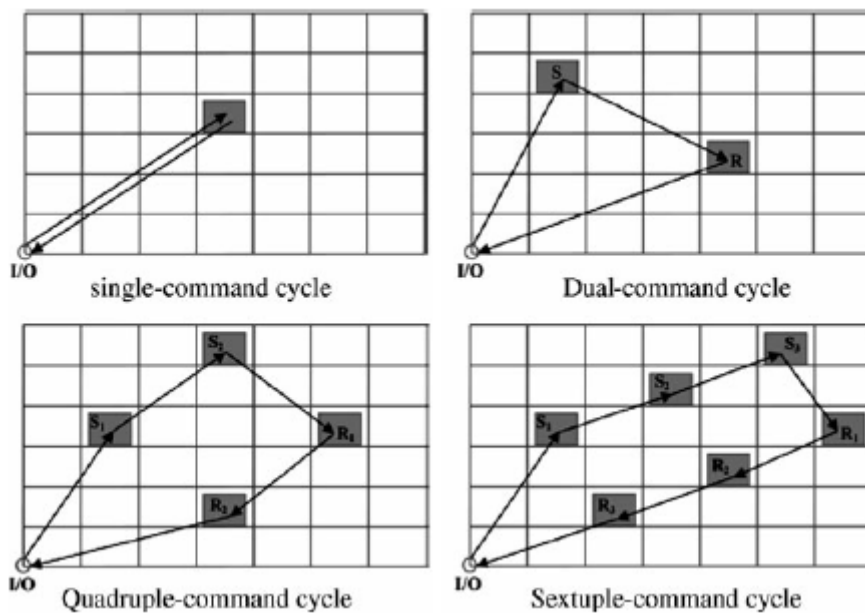
Kde x_{ij} ... binární proměnná (návštěva vrcholů) [-]
 i, j ... indexy vrcholů [-]
 N ... přirozená čísla [-]
 c_{ij} ... náklady navštívení vrcholů [Kč], [m],
 n ... počet vrcholů [-]

Účelová funkce minimalizuje náklady spojené s návštěvou všech vrcholů (vzorec č. 33). První dvě podmínky zaručují (vzorec č. 34, 35), že každý vrchol je navštíven právě jednou. Třetí podmínka (vzorec č. 36) zaručuje, že na grafu nevzniknou lokální smyčky.

ÚOC ji široce známý problém. Tento problém patří mezi silné NP – obtížné algoritmy. Lze ho řešit například pomocí Christofidesova algoritmu nebo Littlova algoritmu. Další metody lze vyhledat v odborné literatuře. Vzhledem k tomu, že autor bude uvažovat maximálně dual – command cycle. To znamená, že v jednom cyklu je uvažováno jedno uskladnění a jedno vyskladnění, autor se nebude dále zabývat metodami SE.

Název sequencing nesouvisí pouze se správným pořadím položek při obcházení položek (sekvence položek), ale také s vhodným pořadím zboží v sekvenci při vychystávání. Například jsou položky vychystávány na pásy ve vhodném pořadí, aby mohly být srovnány na připravené palety.

Rozdíl mezi single – command cycle (SC) a dual – command cycle (DC) je zobrazen na obrázku č. 7.



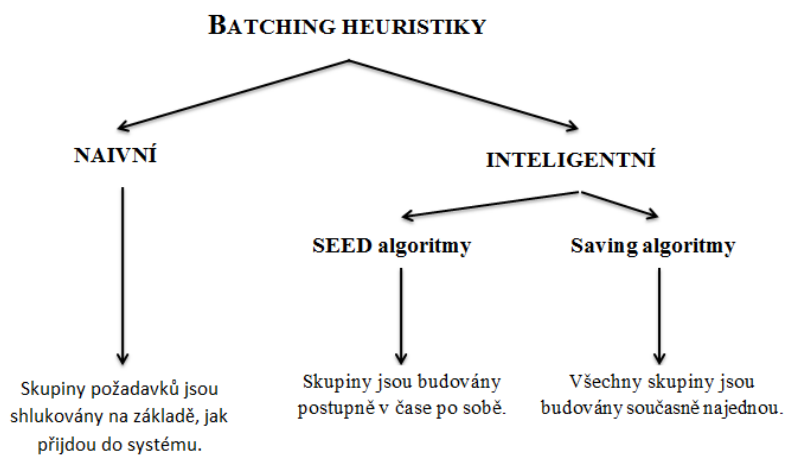
Obr. 7 Příklad SC a DC

Zdroj: (3)

1.3.4 Batching

Batching (BA) je skupina metod, které se snaží shlukovat skupiny požadavků do jednoho tak, aby byl minimalizován čas potřebný obsluze. Tyto metody úzce souvisí a závisí na SE.

Přehled metod je na obrázku č. 8.



Obr. 8 Batching heuristiky

Zdroj: Autor

Seed (jádro) algoritmy:

- náhodný výběr
- požadavek nejvzdálenější věci
- požadavek z nejvzdálenější uličky
- požadavek s největší vzdáleností mezi uličkami
- požadavek s největším počtem dílčích požadavků
- požadavek s nejdelším časem.

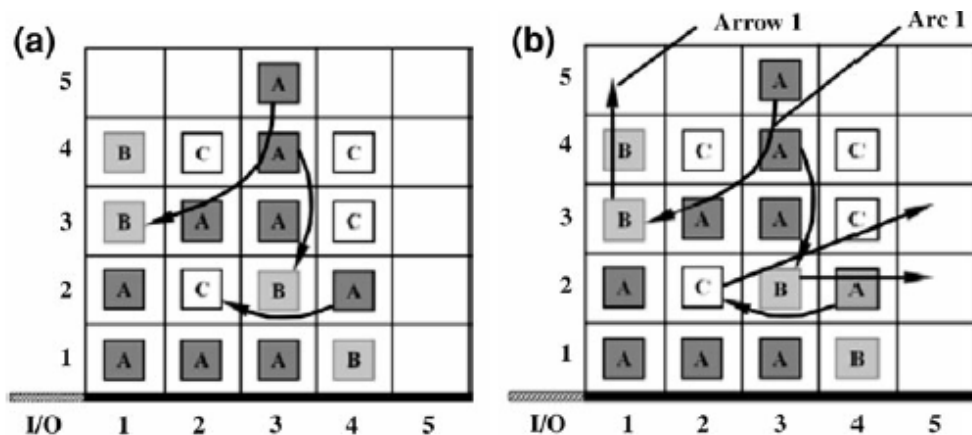
Saving algoritmy pracují na principu měření úspor přidáním dalšího požadavku do celku. Podobně jako okružní algoritmy nebo hledání minimálních vzdáleností pomocí Floydova algoritmu. Dále se autor nebude zabývat touto skupinou metod, protože u automatických parkovacích systémů předpokládáme maximálně DC.

1.3.5 Load shuffling

Load shuffling (LOS) metody jsou založeny na principu přerovnávání v době, kdy je manipulační prostředek v nečinnosti. V současné literatuře existuje poměrně malé množství třídících a přerovnávacích heuristik. Jejich přínos je prokázán pouze pro individuální případy. Lze obecně diskutovat, jestli přínosy heuristik převáží energetickou náročnost těchto metod z hlediska ekonomické udržitelnosti systému. Většina autorů doporučuje další prozkoumání této tematiky.

Algoritmus pro přerovnávání pracuje v několika fázích. Pro všechny skladovací jednotky spočítá, jestli se jejich aktuální pozice je shodná s ideální pozicí podle daného přiřazovacího pravidla. Poté využije volného místa, kam přesune volnou skladovací jednotku a poté přemístí další skladovací jednotky. Podmínkou tohoto algoritmu je alespoň jedno volné místo. Zde lze diskutovat, jestli v každé řadě, uličce atd. Z tohoto důvodu je důležitou proměnnou druh a konfigurace systému. Více čtenář najde ve zdroji „*Efficient Algorithms for Load Shuffling in Split-Platform AS/RS*“ (12).

Příklad LOS je uveden na obrázku č. 9.



Obr. 9 Příklad LOS

Zdroj: (3)

Autor doporučuje využití těchto metod zvážit po důkladném statistickém zkoumání parkovacího nebo logistického systému. Nedostatečně dlouhé doby nečinnosti manipulačních zařízení mohou naopak snížit výkonnost celého systému. Například pokud bude docházet k přerovnávání vozidel v době ranní špičky a uživatelé budou zdržováni čekáním.

1.3.6 Další pravidla

Výběr volného místa

Výběr volného místa (VVA) pravidla doprovází a upřesňuje pravidla storage assignments (SA). Pokud je rozhodnuto, že další operace bude skladování, tak pravidla SA určí místo. Pokud SA určí více možných míst ke skladování, bude uplatněno jedno z pravidel pro výběr volného místa.

- Náhodný výběr místa (náhodně vybere volné místo).
- Nejbližší volné místo (vybere místo pro které platí, že $(t_j^{in} + t_j^{out}) = \min$, kde t_j^{in} je časová vzdálenost k místu j od vstupního bodu a t_j^{out} je časová vzdálenost od místa j k výstupnímu místu).
- Nejbližší soused (vybere místo, které je nejbližší místu, kde bude prováděna další operace).
- Nejkratší noha (vybere místo, které je nejbližší místu, kde bude prováděna další operace a zároveň zhodnotí t_j^{in} . Lze zapsat jako $t_j^{in} + t_{ij} = \min$.

Urgency rules

Urgency rules (UR) je soubor pravidel, která se uplatňují v případě, pokud některé operace začnou zdržovat celý systém. Například při použití pravidla first come – first serve (FCFS) může docházet k neustálému oddalování vyskladňování. Proto je nutné nastavit maximální dobu nebo počet uskladnění. Dalším případem UR jsou případy přednostní (předplacený přístup) nebo LOS, který musí být ukončen, pokud dorazí požadavek do systému.

Request selection rules

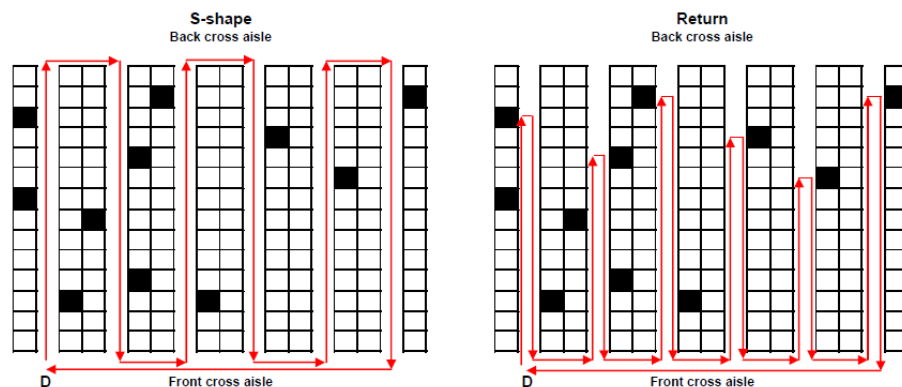
Tato pravidla jsou použita v případě, že do systému dorazí více požadavků a je nutné si vybrat jeden z nich, který budeme preferovat. Neznámějšími pravidly jsou:

- nejdéle čekající požadavek,
- nejbližší požadavek na vyskladnění,
- nejbližší požadavek na uskladnění a vyskladnění.

Routing

Routing úzce souvisí se pravidly SE. Vzhledem k tomu, že vypočítat SE je náročná úloha, začala se využívat obecná zjednodušující pravidla pro trasování jednotlivých cest.

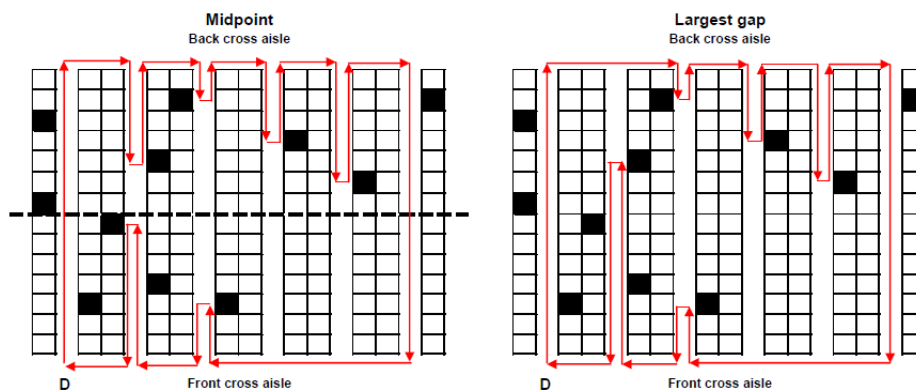
Příklad s – shape a return tvaru je uveden na obrázku č. 10.



Obr. 10 S – tvar, return tvar

Zdroj:(5)

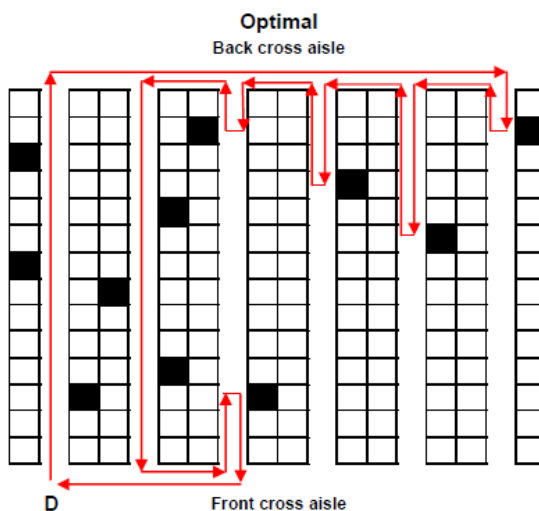
Příklad midpoint a largest gap trasování je uveden na obrázku č. 11.



Obr. 11 Midpoint, largest gap

Zdroj: (5)

Příklad optimal tvaru (ideálního tvaru pro dané rozložení skladovacích jednotek) je uveden na obrázku č. 12.



Obr. 12 Optimal

Zdroj: (5)

Výběr manipulačního prostředku

Tento soubor pravidel je využit, pokud je v systému více jak jedno manipulační zařízení a pro rozlehlejší parkovací systémy. Pravidla si liší, jestli se manipulační prostředky navzájem ovlivňují. Systémy, které například využívají kolejové technologie (např. jeřábové), mají alokovány manipulační prostory, které se navzájem vylučují nebo jsou definovány minimální vzdálenosti mezi manipulačními zařízeními.

V systémech, kde se navzájem neovlivňují manipulační prostředky (MP) např. AGV, je nutno rozhodnout, který manipulační prostředek obslouží další požadavek. Nejčastěji používaná pravidla jsou:

- Každý MP má definovaný obslužný prostor.
- Nejbližší MP.
- Nejdéle nečinný MP.
- Obsloužení požadavku daným MP zabere nejméně času.

1.3.7 Výhody, nevýhody a hodnocení metod

V tabulce č. 3 je uvedeno základní shrnutí všech metod a jsou zde uvedeny jejich výhody a nevýhody. V posledním sloupci je slovní hodnocení autora, které se týká použitelnosti pro automatické parkovací systémy. Vysvětlení tohoto hodnocení je uvedeno v tabulce č. 3, ale především v předchozím textu.

Tab. 3 Klady, zápory a hodnocení jednotlivých metod

Název	Klady	Zápory	Hodnocení
RSA	využití místa, jednoduchost, dynamická metoda	doba obsluhy	vhodná metoda
CSA	jednoduchost, využití místa, dynamická metoda	nepředvídá budoucí požadavky	velmi vhodná metoda
DSA	doba obsluhy	prostor	vhodné metody
COI	poměrná jednoduchost, dynamická metoda	předpoklad nestejnorodosti skladovaného substrátu, prostor	spíše nevhodná metoda
OC	jednoduchost, dynamická metoda	předpoklad sdružování požadavků, prostor	nevhodná metoda
PI, TI	jednoduchost, dynamická metoda	prostor	velmi vhodná metoda
QAP	doba obsluhy	prostor, velmi vysoká početní náročnost, potřebná data, optimalizační metoda	spíše nevhodná metoda, použitelné u malých parkovacích systémů
INM	doba obsluhy, dynamická metoda	početní náročnost, optimalizační metoda	velmi vhodná metoda
MAS	orientace na náklady, poměrná jednoduchost	statická metoda, prostor, optimalizační metoda	vhodná metoda, zvláště pro velké parkovací systémy
CBA	doba obsluhy, jednoduchost	nevhodná pro malé parkovací systémy	spíše nevhodná metoda
CP	tvorba kompletů	prostor, nutnost obsluhy více požadavků během jednoho cyklu	nevhodné metody
DLM	řeší problém CP a SE	předpoklad tvorby kompletů	nevhodná metoda
MPV	doba obsluhy, dynamická metoda	zatížení, existence prostojeových časů, ekonomická stránka	lze využít v kombinaci s jinou metodou
MPU	doba obsluhy, jednoduchost	potřebná data, nepřesnost dat	velmi vhodná metoda
MDO	doba obsluhy, jednoduchost, dynamická metoda	nutná technická úprava	velmi vhodná metoda
MSO	doba obsluhy	cena informačního systému	velmi vhodná metoda

Název	Klady	Zápory	Hodnocení
CSP	kombinace výhod málo prostoru a rychlé doby	detailní statistika, možnost odmítnutí zákazníka	vhodná metoda
BHM	minimalizace přístavných manipulací	doba obsluhy, předpoklad známých skladových procesů, optimalizační metoda	spíše nevhodná metoda
SE	využití manipulačních jízd, doba obsluhy	předpoklad zpracování více požadavků	omezené použití pro DC
BA	minimalizace doby obsluhy	předpoklad zpracování více požadavků	nevhodné metody
LOS	minimalizace doby obsluhy	ekonomická stránka, využitelnost, nepříliš známé metody	spíše nevhodné metody

Zdroj: Autor

Optimalizační metody lze využít k porovnání s ostatními metodami nebo k vyhodnocení po předem definované době. Toto vyhodnocení může sloužit k úpravě stávajících algoritmů nebo ke statistickému zpracování. Pomocí statistického zpracování z více period lze najít opakovaná umístění pro optimalizované úlohy.

Na vědeckých serverech (např. „*sciencedirect*“ (1) a „*International Journal of Production*“ (4)) existuje ještě mnoho dalších metod. Vzhledem k tomu, že většina jich je specializovaná pro logistické sklady a jejich využitelnost je v současnosti diskutabilní z důvodu výpočetní náročnosti, autor tyto metody nebude dále uvádět.

2 ROZDĚLENÍ A KLASIFIKACE AUTOMATICKÝCH A MECHANICKÝCH PARKOVACÍCH SYSTÉMŮ

Druhá kapitola diplomové práce je věnována možnému rozdělení nekonvenčních parkovacích systémů.

Parkovací systémy lze dělit podle mnoha kritérií. Autor níže uvedl pouze nejdůležitější rozdělení. Jedním z kritérií je velikost. Množství parkovacích míst úzce souvisí se složitostí a výběrem metod řízení parkovacího systému.

Podle velikosti:

- (1) velmi malé systémy (1 – 4 parkovací místa)
- (2) malé systémy (4 – 10 parkovacích míst)
- (3) střední systémy (10 – 50 parkovacích míst)
- (4) velké systémy (50 – až stovky míst)
- (5) velmi velké systémy (stovky nebo tisíce parkovacích míst)

Dalším hlediskem je umístění parkovacího systému. Umístění parkovacího systému ovlivňuje druh technologií a řízení. Některé systémy lze umístit například pouze dovnitř (plošiny) nebo do podzemí (šachtové).

Podle umístění:

- (1) venkovní
- (2) vnitřní
- (3) podzemní
- (4) nadzemní
- (6) úrovňové

Důležitým hlediskem je vzájemný vztah mezi parkovacími místy. Toto rozdělení je důležité pro určení pravidel uvnitř parkovacího domu. Vzájemný vztah mezi místy je určen dvěma kritérii: uspořádáním a závislostí.

Podle uspořádání:

- (1) sériové (parkovací místa jsou seřazena za sebou)
- (2) paralelní (parkovací místa jsou řazena vedle sebe)

Podle závislostí:

- (1) nezávislé (manipulace s vozidlem na místě A nezáleží na místě B)
- (2) závislé parkování (manipulace s vozidlem na místě A záleží na místě B)

Parkovací systémy lze také rozdělit podle použité manipulační technologie. Bližší informace k jednotlivým manipulačním technologiím jsou uvedeny v kapitole 3. **Jednotlivé parkovací domy často obsahují více druhů manipulační techniky.** Častou kombinací je například točna, výtah a paleta. Jednotlivé druhy manipulační technologie ovlivňují technologické časy a kapacitu systému.

Podle použité manipulační technologie:

- (1) točna
- (2) výtah
- (3) posuvník
- (4) vozidlo
- (5) paleta
- (6) jeřáb
- (7) lano
- (8) pilř
- (9) shuttle

Posledním uvedeným důležitým hlediskem je způsob obsluhy. Úroveň obsluhy souvisí se stupněm automatizace jednotlivých parkovacích systémů.

Podle obsluhy:

- (1) mechanizované parkovací systémy (manipulace s vozidlem s pomocí člověka)
- (2) automatické parkovací systémy (manipulace s vozidlem plně automatická)

Další způsoby dělení souvisí s kontrolními pravidly a umístěním jednotlivých prvků a jsou uvedeny v kapitole 1.

3 DRUHY NEKONVENČNÍCH PARKOVACÍCH SYSTÉMŮ

Třetí kapitola je věnována jednotlivým druhům nekonvenčních parkovacích systémů. Tato kapitola je sestavena vždy z textu a z obrázkové přílohy, jelikož je autor považuje za velmi názornou a jednoduchou pomůcku k pochopení systému. Autor z hlediska omezeného rozsahu věnuje místo jednotlivým systémům pouze pro základní pochopení. Bližší informace lze velmi jednoduše vyhledat na internetu nebo u výrobců. Na konci je uvedeno srovnání jednotlivých systémů podle výkonových charakteristik.

3.1 Mechanizované parkovací systémy

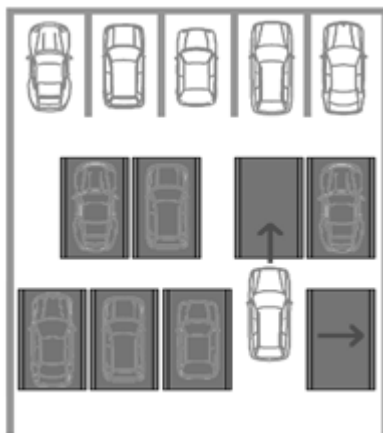
Mechanizované parkovací systémy vyžadují vyšší míru asistence člověka, zejména v oblasti kontrolních pravidel.

3.1.1 Posuvné plošiny (Pallet)

Posuvné plošiny lze rozdělit na příčné a podélné plošiny podle směru pohybu.

Příčné plošiny

Posuvné plošiny se umísťují do konvenčních parkovacích garáží a slouží k lepšímu využití parkovacího prostoru. Výhodné jsou zejména v místech, kde vznikají rozsáhlé mrtvé parkovací prostory (za sloupy, členité stěny). Plošiny jsou umístěny na nevyvýšených kolejnicích, po kterých jsou schopny pojíždět. Kolejnice je možné umístit do dvou nebo tří řad a v každé řadě musí zůstat prostor široký 2,8 m pro manipulaci. Schéma principu je zobrazeno na obrázku č. 13.



Obr. 13 Schéma principu příčných plošin

Zdroj: (13)

Tento systém je nezávislý s jednoduchým mechanickým zařízením. Vhodným použitím lze navýšit kapacitu až o 100 %. (14) Na obrázku č. 14 je reálné provedení příčných plošin.

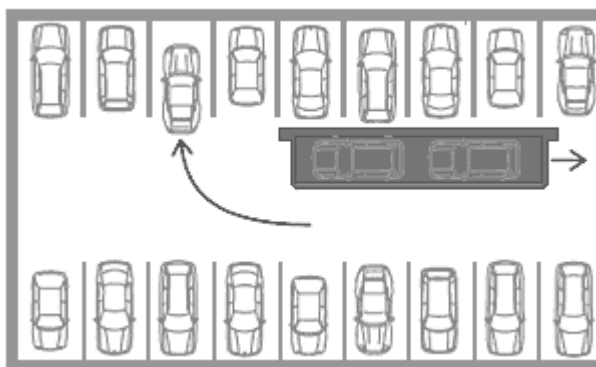


Obr. 14 Příčné plošiny

Zdroj: (14)

Podélné plošiny

Podélné plošiny jsou obdobou příčných. Slouží ke zvýšení kapacity parkoviště. Umisťují se do manipulačních prostor a v případě využití toho prostoru, lze prázdné podélné plošiny pojíždět nebo ovládat tlačítkem, aby bylo možné vyjet s dalším vozidlem. Schéma principu je uvedeno na obrázku č. 15.



Obr. 15 Schéma principu podélné plošiny

Zdroj: (15)

Výrobce uvádí navýšení možné kapacity až o 30 %. (14) Praktické provedení je na obrázku č. 16.

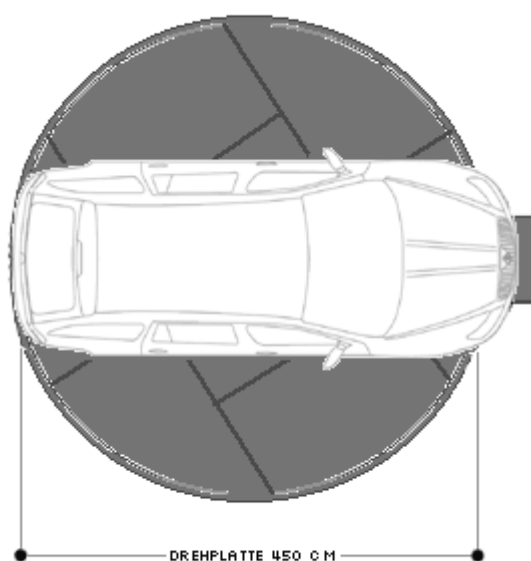


Obr. 16 Podélné plošiny

Zdroj: (16)

3.1.2 Točna

Tam, kde je nutné z hledisek dopravní situace nutný výjezd jen popředu, nebo kde není možné na omezeném prostoru otáčení vozidel vlastním manévrováním, se vozidlo jednoduše otočí na točně do potřebné polohy. Točna je také součástí většiny ostatních parkovacích systémů. Podmínkou je zastřešení daného prostoru z důvodu umístění elektronických zařízení u vybraného výrobce. Schématický náčrt točny je na obrázku č. 17.



Obr. 17 Schématický náčrt točny

Zdroj: (17)

3.1.3 Dvoupilířovité parkovací systémy

Tento parkovací systém je jednoduchý mechanizovaný systém pro parkování dvou vozidel. Základním prvkem jsou dva pilíře (cantilever) umístěné vzadu nebo na straně mezi které je rozložena váha vozidla zaparkovaného v horní vrstvě. Umístění nosných pilířů umožňuje příčné nebo podélné parkování. Horní vrstva je často nakloněna, aby využila lépe prostory pro parkování. Na pilířích je také uchyceno manipulační zařízení, které slouží k posouvání horní vrstvy směrem dolů, aby mohl řidič s vozidlem vyparkovat a zaparkovat. Dvoupilířovitý systém je uveden na obrázku č. 18.



Obr. 18 Dvoupilířovitý parkovací systém

Zdroj: (18)

Tento parkovací systém je systémem závislého parkování. Pokud chce zákazník odjet s vozidlem v horní vrstvě, musí uvolnit místo ve spodní vrstvě (odjetím vozidla). Tento systém je často instalován na parkovištích vícekrát vedle sebe, aby zvýšil kapacitu parkoviště. K ovládní postačí jedno tlačítko ke zvednutí a sklopení horní plošiny. V rozvinutých státech bývá systém doplněn o zástrčky k rychlonabíjení elektromobilů. Výhodou tohoto zařízení je jeho nízká cena a jednoduchost. Nevýhodou je v případě poruchy nemožnost odjetí s vozidlem v horní vrstvě nebo v případě, kdy je obsazeno spodní místo. Lze řešit pomocí managementů klíčů, kdy jsou klíče odevzdaný vrátnému a v případě nutnosti přeparkuje s tímto vozidlem.

Schématický nákres je obrázku č. 19.



Obr. 19 Schématický nákres dvoupilířovitého parkovacího systému

Zdroj: (19)

3.1.4 Čtyřpilířovité parkovací systémy

Parkovací systém opírající se o čtyři pilíře je obdobou systému s dvěma pilíři. Další dva pilíře jsou přidány, aby systém umožňoval přidat více než 2 vrstvy. Ve své podstatě se jedná o systém stohování známý z logistiky. Systém je využíván i z důvodu snadné konstrukce. Konstrukce systému je zobrazena na obrázku č. 20.



Obr. 20 Čtyřpilířovité parkovací systémy 1

Zdroj: (20)

Velkou nevýhodou je závislý odjezd vozidel. Z tohoto důvodu lze doporučit tento systém jen pro parkování, kde známe odjezdy jednotlivých vozidel nebo nerozlišujeme mezi vozidly (velká firma se stejnými vozidly pro zaměstnance bez pevného přiřazení řidič – vozidlo).

Závislost odjezdu lze vidět na obrázku č. 21.



Obr. 21 Čtyřpilířovité parkovací systémy 2

Zdroj:(21)

3.1.5 Parkovací systémy bez pilířů (lanové)

Lanové parkovací systémy byly vyvinuty, aby se systémy zbavily postranních pilířů. V situaci, kdy je umístěno více dvoupilířovitých parkovacích systémů vedle sebe, pak tyto pilíře zabírají neefektivně místo. Systém je tvořen konstrukcí, na které je pomocí 4 lan zavěšena paleta. Na tuto paletu řidič najede svým vozidlem a po opuštění tohoto prostoru dojde ke zvednutí palety s vozidlem pomocí elektromotoru a 4 lan. Další výhodou je vyšší rychlost zvedání a klesání. Parkování je možné ve dvou nebo třech vrstvách. Na parkovišti lze spojit více parkovacích míst pomocí jedné konstrukce. Srovnání klasického systému s pilíři a lanovým systémem je na obrázku č. 22.



Standard 2 Post System



New No-Post System

Obr. 22 Parkovací systém bez pilířů

Zdroj: (22)

3.1.6 Šachtové parkovací systémy

Šachtové parkovací systémy slouží k využití podzemních prostor. Tyto systémy jsou složeny z jednoho nebo z více podzemních pater. Nosná konstrukce se skládá z dvou nebo z více pilířů zabudovaných ve stěnách nebo umístěných v šachtě. Technologie zvedání a klesání využívá hydraulické zvedáky. Šachtový parkovací systém je zobrazen na obrázku č. 23.



Obr. 23 Šachtové parkovací systémy

Zdroj: (23)

Občas je tento systém provozován kombinací s klasickými nadzemními pilířovitými systémy a podzemní šachtovou částí. Horní část lze konstruovat podle okolního terénu. Systém se stane poté prakticky neviditelným. Ovládat lze systém pomocí bezdrátových technologií (mobilní telefon, dálkový ovladač či jiné elektronické zařízení). Další výhodou je možnost tento systém koncipovat jako nezávislý (dochází k vysunutí palet nad úroveň terénu). Využití je časté u luxusních domů nebo u urbanisticky cenných lokalit. Nevýhodou je vysoká cena z důvodu nutných zemních prací.

Nákres funkce šachtového parkovacího systému je na obrázku č. 24.



Obr. 24 Šachtové parkovací systémy – nákres

Zdroj: (24)

3.1.7 Otočné systémy typu páternoster

Otočné systémy jsou historicky nejstaršími mechanizovanými parkovacími systémy. Idea těchto parkovacích zařízení vznikla v Americe ve 20. letech. Inspirací k tomuto byly používané výtahy páternoster v mrakodrapových částech tehdejších měst. Historický páternoster na Manhattnu je zobrazen na obrázku č. 25.



Obr. 25 Historický páternoster

Zdroj: (25)

První typy vypadaly spíše jako ruská kola než dnešní úzké systémy. Japonsko prošlo po druhé světové válce překotným rozvojem, který znamenal dnešní problémy s parkovacími místy. Z těchto důvodů došlo k širokému rozvoji těchto systémů v Japonsku. Technologie je založená na rotující ose, okolo které se vozidla otáčejí. Zákazník si přivolá svojí buňku a čeká, dokud se neotočí buňka do správné polohy. Starší systémy se neustále otáčejí a zákazník zastaví otáčení v momentě, kdy se dostane jeho paleta s vozidlem na úroveň země. Moderní systémy se mohou otáčet na obě strany a zákazník si přivolá svoje vozidlo. Obvyklá velikost zařízení je okolo 10 až 20 parkovacích míst. Moderními páternoster systémy jsou zobrazeny na obrázku č. 26.



Obr. 26 Moderní páternoster

Zdroj: (26)

3.2 Automatické parkovací systémy

Automatické parkovací systémy vyžadují nižší míru asistence člověka, zejména oblast řízení systému je plně automatizovaná.

3.2.1 2D parkovací systémy (vertikální puzzle systém)

2D parkovací systém je plně automatický systém budovaný zpravidla pro venkovní použití. Zákazník zaparkuje na paletu ve spodním patře a s ní je pohybováno ve směru vzhůru/dolů a vlevo/vpravo. Pohyb palety připomíná posunovací puzzle, odkud i vznikl název tohoto systému. Počet volných pozic ovlivňuje rychlost přistavení a odstavení vozidla. Nutností je v každém patře nechat alespoň jednu volnou pozici, aby vozidlo mohlo efektivně putovat systémem. Systém je velmi variabilní. Systém je budován v 2 až 15 patrovém provedení (dvou až tří patrové systémy jsou poháněny elektrickou energií, ostatní

hydraulicky). Výhodou tohoto systému je nejnižší pořizovací cena díky jednoduché konstrukci. Systém je zobrazen na obrázku č. 27.



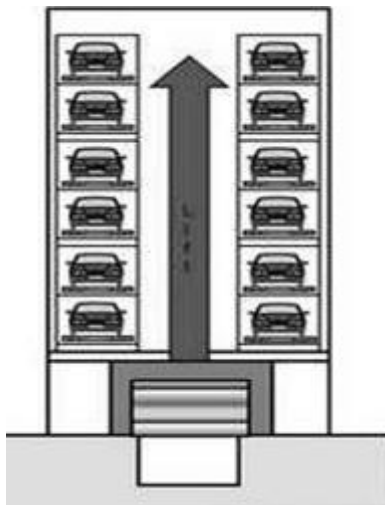
Obr. 27 2D parkovací systém

Zdroj: (27)

3.2.2 2D věž

2D věž je zjednodušeným parkovacím systémem typu věž (více informací je uvedeno v kapitole 3.2.11). Tento systém je budován pro menší parkoviště, kde postačí pouze jedna řada parkovacích míst. Typická varianta je nadzemní s parkovacím modulem umístěným na zemi.

2D věž je zobrazena na obrázku č. 28.



Obr. 28 Náskres 2D věž

Zdroj: (28)

3.2.3 Automaticky naváděné pohyblivé manipulátory

AGV

Automated guided vehicle (AGV) v českém překladu znamená automaticky naváděná vozidla. Jedná se o moderní systém vyvíjený firmou Boomerang. Tato firma se specializuje na AS/RS systémy v logistice. Příklad AGV systému je uveden na obrázku č. 29.

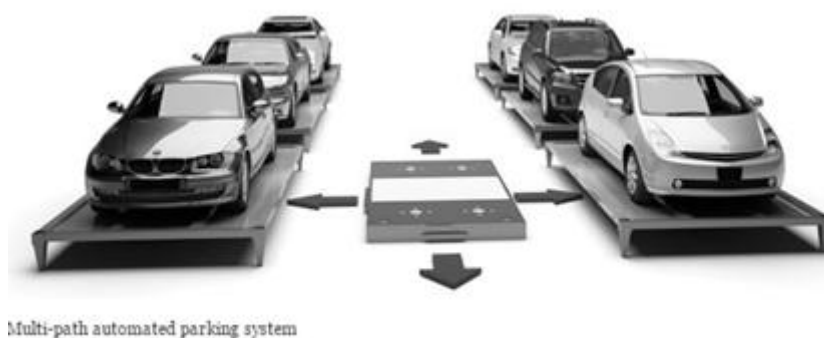


Obr. 29 Příklad AGV

Zdroj: (29)

Pro parkování vozidel využil systém specifičnosti klasických parkovišť. Systém je založen na automaticky se pohybujícím MP s elektromotorem. Tento MP se může pohybovat do všech směrů v horizontální rovině. K překonání výškových rozdílů

jsou používány výtahy. Volností pohybů jsou eliminována úzká místa, kde vznikají kongesce na klasických mechanických drahách. Uživatel systémů zaparkuje na určenou paletu své vozidlo. Řídicí systém přidělí automatické vozidlo k dané paletě. MP zajede pod paletu, zvedne se a odváží paletu i s vozidlem na přidělené parkovací místo. Existují dvě variace systému: monopaths a multipaths. Multipaths je složitější systém, kde je větší volnost pohybu. Více informací najde čtenář ve zdroji „*Continuing Education. Robots Update the Parking Garage*“ (29). Manipulace s vozidly je zobrazena na obrázku č. 30.



Obr. 30 Schéma manipulační plošiny AGV

Zdroj: (29)

Podle velikosti systému a využití ložné plochy je optimalizován počet automatických vozidel. Výhodou systému je vysoká variabilita a možnost jednoduchého urychlení systému přidáním dalšího vozidla (lze urychlit i omezením počtu parkovacích míst).

RGC

RGC je zkratka pro rail guided cart systém (systém naváděný po kolejkách). Tento systém je velmi podobný systému AGV. Schéma RGC systému je uvedeno na obrázku č. 31.



Obr. 31 Schéma RGC

Zdroj: (30)

Odlišností je vznik malých drážek v podlaze parkoviště (v originále koleje), které tvoří hlavní koridory na parkovišti. Tyto koridory mohou vzniknout i pouze softwarově pro zjednodušení početní náročnosti. Tento systém je zjednodušeným systémem AGV pro velká parkoviště. Inspiraci autoři tohoto systému našli v již používaných systémech v logistice. Systém RGC v logistice je zobrazen na obrázku č. 32.



Obr. 32 RGC v logistice

Zdroj: (31)

SERVA

SERVA je futuristickým řešením automaticky naváděných vozidel vzniklým v Německu. Rozdíl mezi AGV a SERVA je v tom, že SERVA nepotřebuje paletu nebo jiné manipulační zařízení k pohybu s vozidlem. K manipulaci s osobním vozidlem používá automaticky vedený MP, který ze strany podjede pod vozidlo a svými háky toto vozidlo nadzvedne. SERVA je schopná se přizpůsobit různé velikosti osobních vozidel nastavením rozteče mezi jednotlivými vidlicemi. Nastavení rozteče vidlic je pomocí laserových čidel. Nevýhodou je robustnost těchto vozítek a jejich vysoká cena oproti ostatním systémům.

System SERVA je zobrazen na obrázku č. 33.



Obr. 33 Serva

Zdroj: (32)

Jedinou instalací tohoto systému je v současné době Düsseldorf Airport P3 SERVA. Rezervace místa probíhá pomocí online aplikace. Po příjezdu uživatel předloží kreditní kartu, kterou zaplatil svůj let. Poté je vpuštěn na předávací místo, kde si nastaví parkovací místo, a systém se ho zeptá na bezpečnostní otázky. Z terminálu vytiskne QR lístek, který použije k naskenování do systému. V případě odjezdu přiloží uživatel QR lístek do terminálu a ten zobrazí, kde je jeho auto připraveno k odjezdu. Systém automaticky sleduje přílety, možná zpoždění a vozidla připravuje na předávací místo. Zaplacení je provedeno u odjezdového terminálu. Doba přistavení vozidla je 3 až 5 minut v tomto systému.

3.2.4 Jeřábové parkovací systémy (Crane, Shelf)

Někdy jsou tyto systémy označovány jako první generace automatických parkovišť. Pro tyto systémy je typické umístění MP, který dokáže paletu s vozidlem pohybovat v horizontálním i vertikálním směru najednou. Tato MP jsou označovány jako rolling tower (pohybují se věž), která je umístěna na kolejích. Velikosti zařízení je omezena velikostí rolling tower (kolik vrstev je schopna obsloužit) a taky jejich počtem (velké automatické parkovací systémy mají více rolling towers). V případě umístění další rolling tower je nutno vyřešit prostor, kde se může pohybovat. Místo palety je občas pro manipulaci použit shuttle systém, proto je může čtenář na stránkách výrobců pod tímto názvem vyhledat.

V jednoduchých systémech je častým problémem redundance (schopnost obsloužit požadavek v případě poruchy jednoho z prvků). Jeřábový parkovací systém je zobrazen na obrázku č. 34.



Obr. 34 Jeřábový parkovací systém

Zdroj: (33)

3.2.5 Puzzle systémy

Jsou označovány také jako horizontální puzzle systémy. Jsou využívány pro systémy jednopatrové nebo s malým počtem pater, kde se využívá horizontální plocha parkoviště. Vozidla jsou umístěna na jednotlivých paletách. Každá paleta má svá kolečka, pomocí kterých je pohybováno s vozidly. Pod každým místem k parkování jsou umístěny otočné pásy, které mohou pohybovat s paletou do všech stran. K manipulaci jsou zachována pravidla jako u 2D puzzle systému, kdy v každé řadě je vynecháno alespoň jedno místo k možné manipulaci. K horizontálnímu pohybu je využit výtah. Výhodou systému je možnost tvorby rozmanitých tvarů a velmi dobrá využitelnost kapacity parkoviště (až 95 %).

Příklad puzzle systému je na obrázku č. 35.



Obr. 35 Puzzle systém

Zdroj: (34)

3.2.6 Klouzavé systémy (válečkové, Glide)

Klouzavé kolečkové systémy jsou prakticky obdobou klasických puzzle systémů. Na rozdíl od nich používají k pohybu s paletami elektricky poháněná kolečka umístěná přímo v zemi (tento systém je znám z logistiky jako válečkové regály). K horizontálnímu pohybu používají Scissor lifts. Scissor lifts jsou zobrazeny na obrázku č. 36.



Obr. 36 Scissor lifts

Zdroj: (35)

System klouzavý používaný v logistice je obrázku č. 37.



Obr. 37 Klouzavý systém v logistice

Zdroj: (36)

3.2.7 Shuttle systémy

Shuttle systémy jsou pojmenovány podle manipulační jednotky Shuttle. Shuttle je vozítko, které se pohybuje v pevně určeném prostoru pouze ve směru jedné osy. Pro usazení osobního vozidla vyjíždí z shuttle další manipulátor ve směru pravoúhlém na směr jízdy shuttle. Na tomto manipulátoru je umístěno vozidlo, které doveze pomocí dalších kolejnic na parkovací místo, kde osobní vozidlo je odstaveno. Tento systém je budován v horizontální rovině a jednotlivé shuttle se pohybují v tzv. shuttle line. Shuttle linie je tvořena buď kolejnicemi, nebo drážkami v podlaze, kde se pohybují jednotlivé shuttle na kolečkách. Počet shuttle je flexibilní podle rozpočtu klienta a nutné propustnosti systému. Shuttle lze rozdělit na dva druhy: Off Aisle lifts (OALs) a End of aisle lifts (EALS). OAls je se pohybuje ve své linii na svém patře. EALS využívá výtahy k překonání horizontálních převýšení, čímž se zvyšuje jeho redundance, protože jednotlivé shuttle jsou zaměnitelné. V logistice jsou obdobné systémy označovány jako radioshuttle nebo pallet shuttle. Shuttle může manipulovat přímo s vozidly nebo pomocí palet.

Příklad shuttle systému je na obrázku č. 38.



Obr. 38 Shuttle systém

Zdroj: (37)

3.2.8 Lift / Shuttle systémy

Tyto systémy jsou označovány jako druhá generace automatických parkovišť. Příklad systému je na obrázku č. 39.

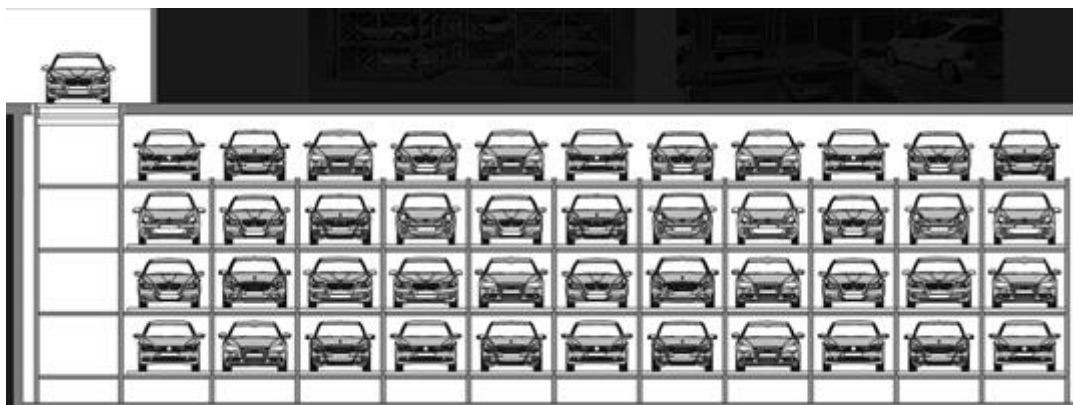


Obr. 39 Lift / Shuttle systém

Zdroj: (38)

Nejdůležitější rozdíl mezi Shuttle systémy a Lift / Shuttle je v prostoru v jakém se používají. Shuttle systémy vyžadují rozdělení prostoru do pater oddělených pevnou podlahou. Lift/Shuttle se používá v objemných prostorech, kde se buduje železo/ocelová konstrukce. Dalším rozdílem je, že jednotlivé shuttle zůstávají na kolejnicích ve svých patrech (pouze pro OALs). Rozsah systému je převážně ve vertikální rovině. Vozidla jsou skladována v jedné nebo ve dvou řadách.

Pohled z boku na systém je na obrázku č. 40.

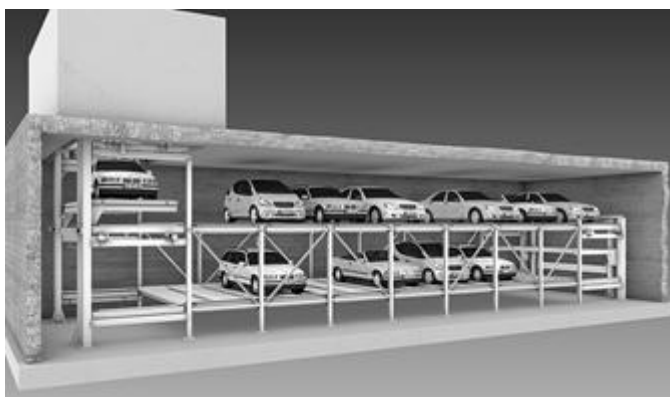


Obr. 40 Bokorys lift / shuttle systém

Zdroj: (38)

3.2.9 Layer systém (Decker)

Layer systém je pojmenován, protože vytváří vrstvy, ve kterých jsou vozidla za sebou sériově umístěna. Vrstvy jsou vidět na obrázku č. 41.



Obr. 41 Layer systém I

Zdroj: (39)

Klasické řešení je pomocí dvou výtahů na obou stranách, kde se pohybuje s oběma řadami, dokud není vozidlo u správného výtahu. Druhou možností řešení je umístit jeden výtah a více řad vozidel v každé vrstvě. V každé horizontální vrstvě to poté funguje jako puzzle systém nebo otočný systém, kdy musí být vynechána aspoň jedno auto. Systémy jsou řešeny do velikosti 5 vrstev a maximálně 50 vozidel kvůli své nízké propustnosti systémem způsobené dlouhými časy vyparkování kvůli nutnosti manipulace s ostatními vozidly a pohybu celými řadami.

Druhá konfigurace systému je na obrázku č. 42.



Obr. 42 Layer systém 2

Zdroj: (39)

3.2.10 Parkovací systémy ve tvaru sila

Parkovací systémy ve tvaru sila mají typický kruhovitý půdorys. Uprostřed tohoto kruhu je sloup, na kterém je umístěno MP. MP se může otáčet okolo sloupu a zároveň se pohybovat směrem vzhůru a dolů. Osa parkovacích míst je umístěna na nejkratší spojnici mezi sloupem a okrajem budovy (pomyslný poloměr kruhu). Nejrozšířenější jsou parkovací domy, které jsou obsluhovány pouze jedním MP. Společnost FATA Automation doporučuje budovat tyto systémy v podzemí. Systém vyniká díky kruhovitému půdorysu rychlou manipulací s vozidly. Systém ve tvaru sila je na obrázku č. 43.



Obr. 43 Parkovací systémy ve tvaru sila

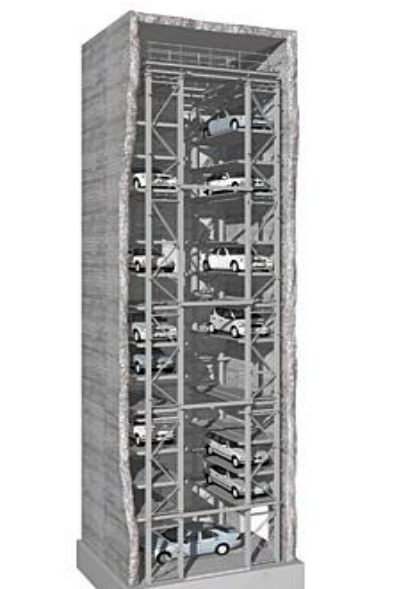
Zdroj: (40)

Nevýhodou je pouze jedno manipulační zařízení, které ovlivňuje nízkou propustnost a nemožnost redundance. Velké parkovací systémy jsou převážně budovány nad zemským

povrchem a jsou zde zdvojeována manipulační zařízení. Problém ovšem zůstává omezený počet manipulačních zařízení daný technickým řešením konstrukce.

3.2.11 Parkovací systémy typu věž

Z názvu lze odvodit typické vlastnosti systému. Parkovací systém je budován jako vícepatrový na co nejmenší ploše (úspora v případě drahých pozemků). Uprostřed je zbudována výtahová šachta. Na obou stranách šachty je jedna řada parkovacích míst podélně nebo příčně. Případně je zbudována i druhá řada, která zvýší kapacitu, ale sníží propustnost (nutnost manipulovat s vozidly mezi jednotlivými parkovacími místy). Lze zbudovat více řad za sebou s více výtahy. Zde je nutno vyřešit předávání si vozidel mezi jednotlivými výtahy. Nevýhodou je nemožnost redundance. Parkovací systém typu věž je na obrázku č. 44.



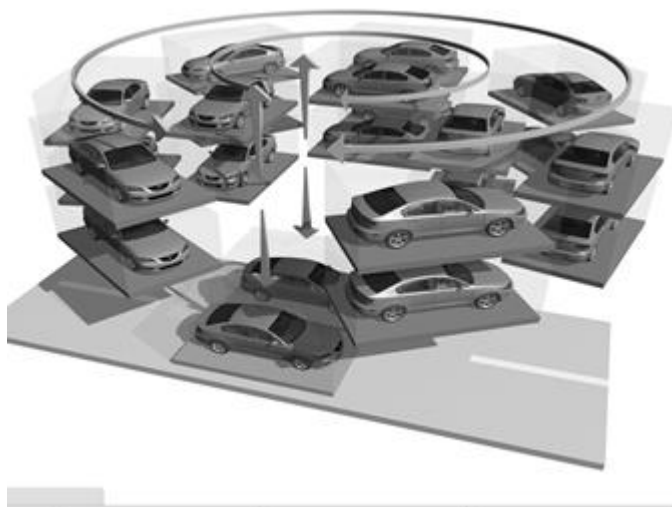
Obr. 44 Parkovací systémy typu věž

Zdroj: (41)

3.2.12 Parkovací systém typu Ring (KOMA)

Česká společnost KOMA nabízí unikátní systém kruhovitého půdorysu. Vozidla jsou umístěna na paletách na obvodu ve dvou poloměrech (vnitřní a vnější kruh). K manipulaci jsou použity dva výtahy uprostřed, které mohou uložit paletu v jednom místě. Jednotlivá mezikruží se otáčejí okolo své osy, což umožňuje manipulaci s vozidly. Počet vjezdů je dán počtem mezikruží. V kombinovaném provedení (nad i pod zemí) může být počet vjezdů zdvojnásoben jejich umístěním i na protilehlých stranách. Nevýhodou

je nemožnost přízemní patro použít pro parkování (umístění vjezdu a výjezdu). Parkovací systém typu Ring je na obrázku č. 45.



Obr. 45 Parkovací systém typu Ring

Zdroj: (42)

3.2.13 Další systémy

Další systémy se autor rozhodl neuvádět, protože jsou kombinací výše uvedených systémů nebo se liší softwarovým řízením jako např. Smart systémy od firmy Klaus multiparking. U jednotlivých výrobců čtenář může najít i jiné dělení např. parkovací systém věž má 3 podsystémy (Line, Cross, Circle). (43) Také jednotliví autoři a firmy používají jiné názvy pro systémy (například systémy, které používají palety označují jako paletové). Autor považuje výše uvedené rozdělení za nejpřesnější.

3.3 Srovnání systémů automatických parkovišť

Srovnání mechanizovaných parkovacích systémů je uvedeno v tabulce č. 4. Jelikož nelze zjistit přesné hodnoty charakteristik, je toto provedeno formou známkování od 1 do 5. Pro všechny kategorie znamená 1 nejnižší a 5 nejvyšší hodnocení. Tučně jsou vyznačeny nejnižší hodnoty u ceny a nejvyšší hodnoty u ostatních kategorií.

Tab. 4 Srovnání systémů mechanizovaných parkovišť

	Cena	Hustota	Propustnost	Spolehlivost
Příčné plošiny	1	3	4	3
Podélné plošiny	1	2	4	3
Točna	1	1	5	3
Dvoupilířovité parkovací systémy	1	1	4	3
Čtyřpilířovité parkovací systémy	2	2	1	3
Parkovací systémy bez pilířů (lanové)	3	5	4	3
Šachtové parkovací systémy	4	2	3	2
Otočné systémy typu páternoster	3	2,5	4	3

Zdroj: (44) Upraveno autorem

Kde

Cena ... [Kč]

Hustota ... [počet parkovacích míst / m²]

Propustnost ... [počet obslužených požadavků / h]

Spolehlivost ... [počet poruch / rok]

V tabulce č. 5 je uvedeno srovnání automatických parkovacích systémů. Jelikož nelze zjistit přesné hodnoty charakteristik, je toto provedeno formou známkování od 1 do 5. Pro všechny kategorie znamená 1 nejnižší a 5 nejvyšší hodnocení. Tučně jsou vyznačeny nejnižší hodnoty u ceny a nejvyšší hodnoty u ostatních kategorií.

Tab. 5 Srovnání systémů automatických parkovišť

	Cena	Hustota	Propustnost	Redundance
2D parkovací systémy (vertikální puzzle systém)	1	3	5	2
2D věž	1,5	2	5	2
AGV	4	3	4	4
RGC	4	3	4	4
SERVA	5	3	4	4
Jeřábové parkovací systémy (Crane, Shelf)	4,5	2	1,5	1,5
Puzzle systémy	3,5	3,5	3	3
Klouzavé systémy (válečkové, Glide)	3,5	3,5	4	3
Shuttle systémy	4	2	3	3
Lift/Shuttle systémy	4	3	4	3
Layer systém (Decker)	3	3	1	1
Parkovací systémy ve tvaru síla	4,5	2	3	3
Parkovací systémy typu věž	3	2	1	1,5
Parkovací systém typu Ring (KOMA)	4	3	2	2

Zdroj: (44) Upraveno autorem

Kde

Cena ... [Kč]

Hustota ... [počet parkovacích míst / m²]

Propustnost ... [počet obslužených požadavků / h]

Redundance ... [počet náhradních zařízení]

Pro nalezení optimálního řešení lze využít nástroje multikriteriální analýzy. Jednotlivé váhy lze určit nebo využít metody odhadu vah (metoda pořadí, bodovací metoda, Fullerova metoda nebo Saatyho metoda). Při výběru je nutné také přihlídnout k velikosti systému, protože některé systémy jsou vhodné pouze pro malé nebo velké parkovací systémy. V prostředí České republiky je nutné ověřit dostupnost nabídky v dané lokalitě vzhledem k tuzemským výrobcům případně ověřit možnost využití zahraničního výrobce.

4 OPTIMALIZACE PARKOVACÍHO DOMU V ÚSTÍ NAD LABEM

Praktická část diplomové práce je zaměřena na vyhodnocení provozu automatického parkovacího domu v Ústí nad Labem, zpracování a zhodnocení statistických dat ze skutečného provozu, **vytvoření návrhů k optimalizaci systému řízení a ověření tohoto návrhu** pomocí 24 h simulace provozu pro různé scénáře řízení. Simulace je ověřením vhodnosti metody pro individuální systém.

V obecnější rovině simulace 24 h doplňuje analýzu jednotlivých metod. Simulace a analýza jednotlivých metod vytvoří teoretický i praktický základ pro tvorbu jednotlivých doporučení. V závěru diplomové práce jsou uvedena doporučení pro použití jednotlivých metod vzhledem k typu, velikosti parkovacího systému a vzhledem ke statistickým údajům.

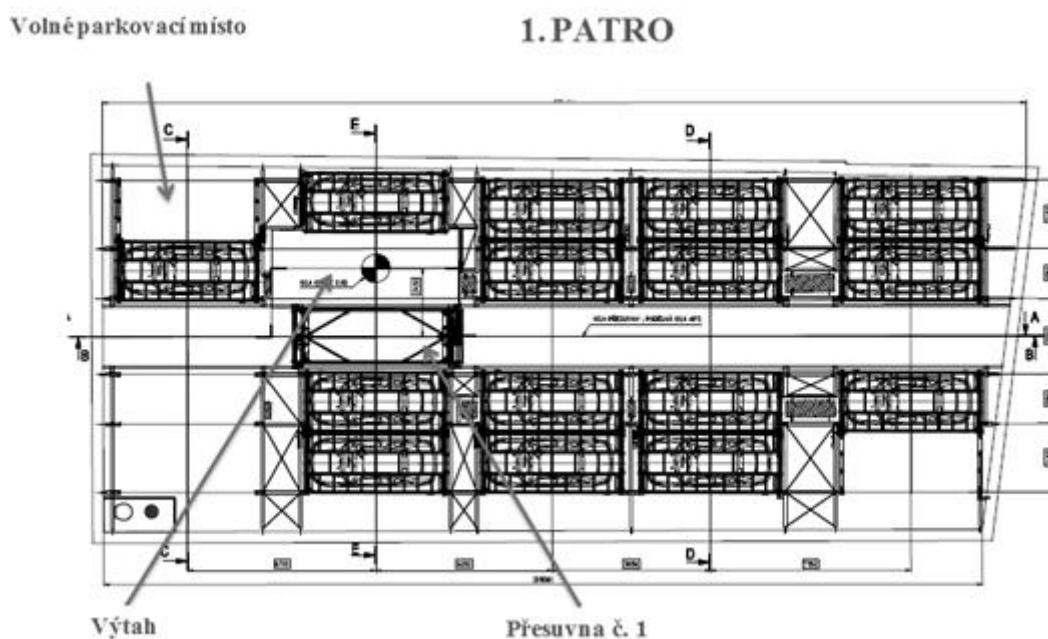
4.1 Obecný popis systému

Vybraný automatický parkovací systém se nachází v Ústí nad Labem a jeho vyhotovitelem je firma MONTIFER s. r. o. (MF). Systém je funkční od června roku 2010 a je nejstarším systémem od této firmy. Typ tohoto systému je podle výše uvedeného rozdělení Lift/Shuttle systém ve variantě s paletami. Firma MF tento systém označuje jako MONTIPARK P (další realizace tohoto systému je na Václavském náměstí v Praze a jiné jsou do budoucna plánovány).

Parkovací dům je umístěn v podzemní části polyfunkčního domu. Uvnitř polyfunkčního domu jsou převážně umístěny kancelářské prostory. Celková kapacita systému je 54 míst ve třech podzemních patrech. Samotný systém je tvořen vjezdovým a výjezdovým (VV) prostorem, točnou, horizontálními dopravníky, přesuvnými a dopravníky. Vozidla jsou umístěna na paletách, které jsou řízeny pomocí průmyslového automatu Omron CJ. VV místo, kde řidiči předávají a vyzvedávají svá vozidla, je umístěno v přízemí. Příjem a výdej vozidel je ovládán pomocí identifikačních karet a pagerů. Maximální velikost vozidel je 5150 x 2150 mm a výška je 1500 mm.

V původním řešení jsou vyhrazena místa pro vozidla do výšky 1900 mm, ale v současnosti se tato možnost nevyužívá. Vyšší místa tzv. „SUV místa“ jsou v případě potřeby vyhrazena konstrukčním řešením. Z tohoto důvodu jsou řešena jako samostatná s možností odlišné politiky řízení systému. Nutnost vyhrazení míst sníží kapacitu parkoviště pro ostatní vozidla. Lze diskutovat o možnosti dynamického vyhrazení míst pro „SUV místa“.

jsou palety na parkovací místo přesunovány pomocí horizontálního dopravníku. Pokud je obsazena první pozice a paleta je přesunována z místa za ní, je využito volného místa k přesunu. Schéma prvního patra je na obrázku č. 47.



Obr. 47 První podzemní patro

Zdroj: Interní materiály MF

V druhém podzemním patře automatického parkovacího systému (APS) je celkem 19 míst a je zobrazeno na obrázku č. 48. Toto patro se liší od prvního počtem míst, kterých je zde o tři více.



Obr. 48 Druhé podzemní patro

Zdroj: Interní materiály MF

V třetím podzemním patře APS je celkem 19 míst a je zobrazeno na obrázku č. 49. Druhé a třetí patro jsou shodné.

3. PATRO



Obr. 49 Třetí podzemní patro

Zdroj: Interní materiály MF

4.3 Manipulační prostředky

V této podkapitole je uvedeno jednoznačné označení jednotlivých manipulačních zařízení. V systému se nachází celkem 10 MP. V horním patře (prostor s točnou a VV prostor) je dopravník č. 1, výtah, a točna. Výtah se přesunuje mezi všemi patry parkoviště. Na výtahu je umístěna točna (použití pouze v horním patře) a dopravník č. 2 (použití ve všech patrech). Na výtahu jsou umístěny dva dopravníky, ale pro zjednodušení jsou označeny jako dopravník č. 2.

V prvním podzemním patře je přesuvna č. 1 a na ní umístěny dopravník č. 3. V druhém podzemním patře je přesuvna č. 2 a na ní umístěny dopravník č. 4. V třetím podzemním patře je přesuvna č. 3 a na ní umístěny dopravník č. 5.

Jednotlivé MP jsou uvedeny pro přehlednost v tabulce č. 6.

Tab. 6 Manipulační prostředky

Manipulační prostředky	Patro	Pohyb
výtah	všechny	vertikální
Točna	horní	horizontální, otáčivý
dopravník č. 1	horní	horizontální
dopravník č. 2	všechny	horizontální
dopravník č. 3	1. podzemní	horizontální
dopravník č. 4	2. podzemní	horizontální
dopravník č. 5	3. podzemní	horizontální
přesuvna č. 1	1. podzemní	horizontální
přesuvna č. 2	2. podzemní	horizontální
přesuvna č. 3	3. podzemní	horizontální

Zdroj: Autor

4.4 Kontrolní pravidla a systémy řízení

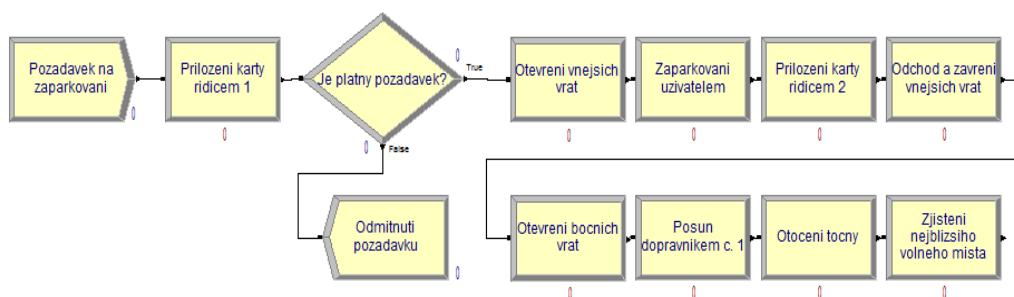
Přiřazení místa je určeno politikou CSA (kapitola 1.3.1) a je odlišeno pro jednotlivá patra a řady postupně. DP dopravníku, točny a přesuvny je nastaven vždy pro návrat do polohy nejbližší k VV prostoru nebo k místu předání mezi manipulačními prostředky. V praxi to znamená, že výtah se navrácí do horního patra, točna se otáčí do polohy umožňující rychlé zaparkování a přesuvna do míst předávání palety na horizontální dopravník. Pravidla LOS nejsou uplatňována a systém pracuje v režimu SC nebo maximálně DC.

Schéma, návaznost a složitost procesů, které jsou spojeny se zaparkováním jednoho vozidla, je zobrazeno pomocí vývojového diagramu na obrázcích č. 52 – 57. Vývojový diagram byl zpracován v programu Arena verze 14.7 od Rockwell Automation Technologies. Vývojový diagram byl zpracován autorem na základě popisu funkcí systému a vlastního pozorování autora. Přesný způsob řízení a algoritmizace systému je obchodním tajemstvím firmy MF.

Jednotlivé procesy jsou reálné procesy (některé procesy jsou shrnuty do jednoho) a vývojový diagram zobrazuje složitost problému pro vybraný systém řízení. Vývojový diagram sloužil jako podpůrný prostředek pro celkové pochopení funkcí systému. Také popisuje proces zaparkování pro první scénář v kapitole 4.8.4.

Kvůli rozsáhlosti diagramu byl rozdělen na několik fází. Program Arena nemá českou mutaci, proto zde není diakritika. Zároveň za některými procesy jsou uvedena čísla, protože program neumožňuje pojmenovat dva procesy stejným názvem. Přehled celkového diagramu je v příloze A.

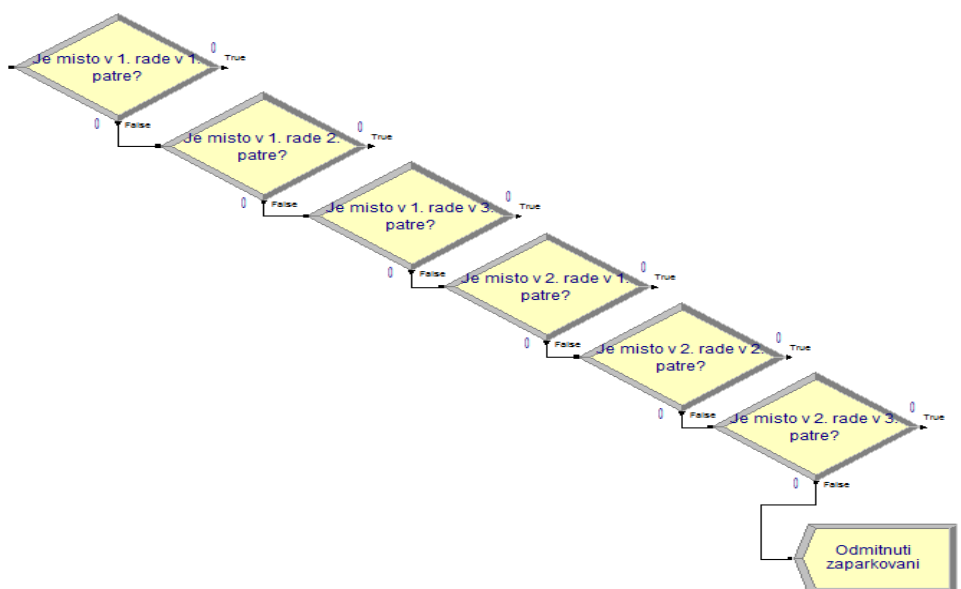
Obrázek č. 50 zobrazuje první fázi rozhodovacího procesu, kdy dochází k přijetí nebo odmítnutí požadavku a procesy spojené s nadzemním prostorem.



Obr. 50 První fáze rozhodovacího procesu

Zdroj: Autor v sw. Arena

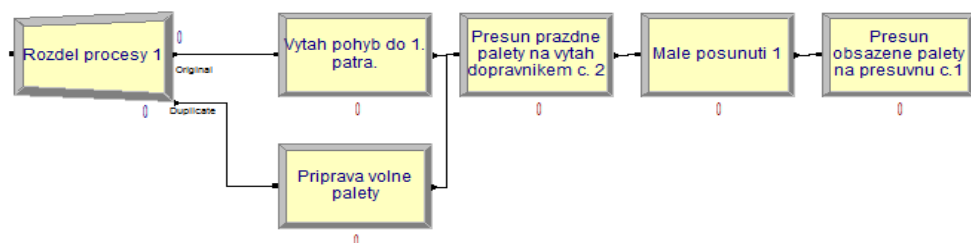
Další fáze je rozhodovací fáze, kdy dochází ke zjištění možnosti zaparkování na volné místo. Problém je řešen pro kontrolní pravidla CSA, DP a MP nejbližší vstupu a postupně odlišeny podle pater a řad (druhá řada potřebuje přesunovat jednotlivá palety mezi sebou, což je časově náročné). Tato fáze je na obrázku č. 51.



Obr. 51 Druhá fáze rozhodovacího procesu

Zdroj: Autor v sw. Arena

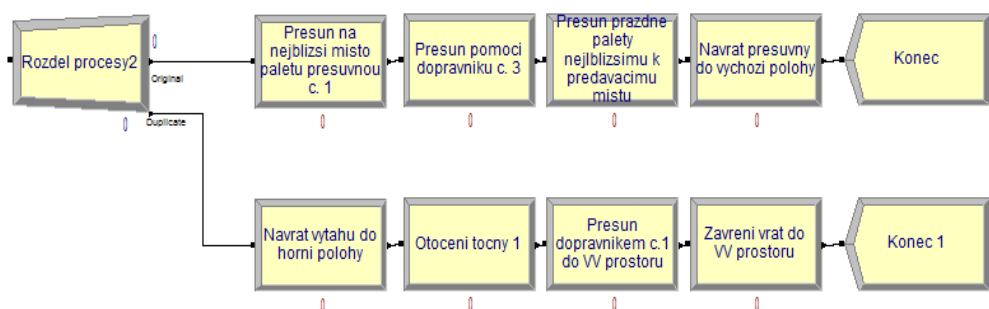
Třetí fáze parkovacího rozhodovacího procesu je na obrázku č. 52. Tato fáze je vytvořena pro zaparkování do první řady v prvním patře (pro první řadu do všech pater platí obdobné procesy). Fáze obsahuje jeden paralelní proces.



Obr. 52 Třetí fáze rozhodovacího procesu přesunu do 1. řady

Zdroj: Autor v sw. Arena

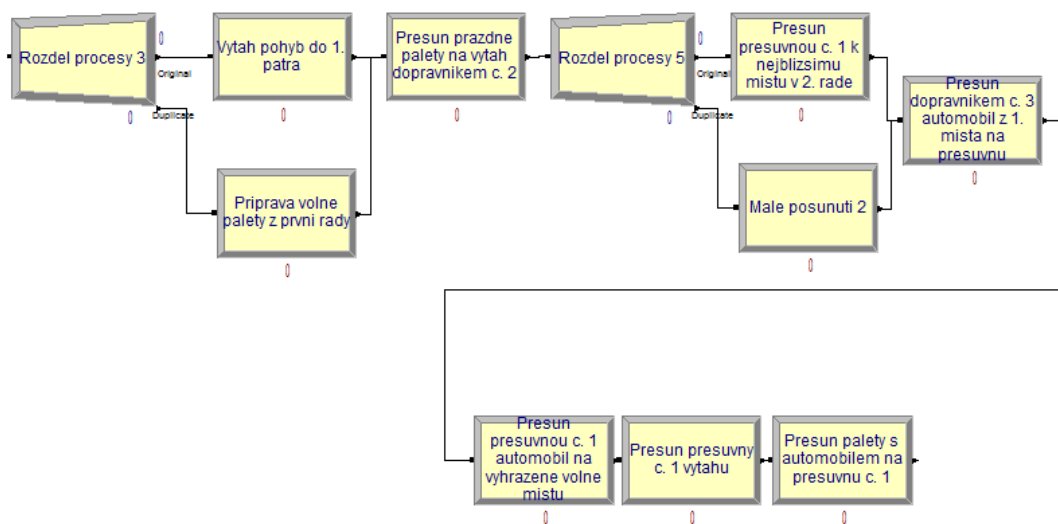
Poslední fáze při parkování do první řady je oddělena od předání obsazené palety z výtahu na přesuvnu. V této fázi jsou dva paralelní procesy a je důležité při simulaci posoudit, který z nich trvá delší dobu. Fáze je na obrázku č. 53.



Obr. 53 Čtvrtá fáze rozhodovacího procesu přesunu do 1 řady

Zdroj: Autor v sw. Arena

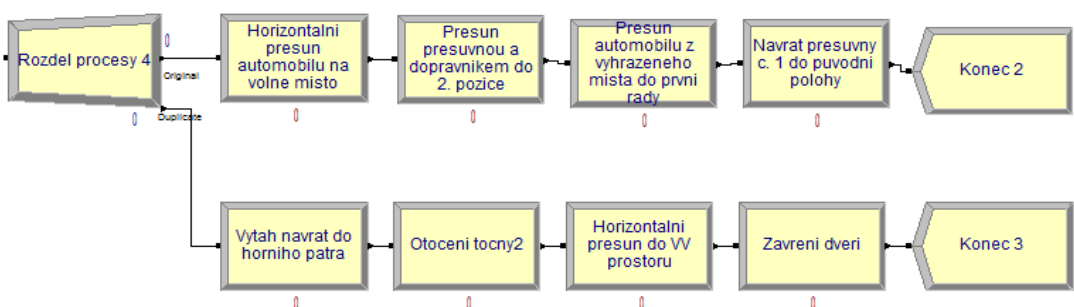
Třetí fáze rozhodovacího procesu při parkování do druhé řady je podstatně složitější než do první, protože dochází k manipulaci a přesunování i volných nebo obsazených palet, které jsou v první řadě a blokují uskladnění obsazené palety do druhé řady. Situace je na obrázku č. 54.



Obr. 54 Třetí fáze rozhodovacího procesu přesunu do 2 řady

Zdroj: Autor v sw. Arena

V poslední fázi přesunu do druhé řady dochází k manipulaci obsazenou a volnou paletou (některé procesy zde jsou spojeny do jednoho z důvodu přehlednosti) a paralelním procesem je návrat výtahu do původní polohy a předání palety.



Obr. 55 Čtvrtá fáze rozhodovacího procesu přesunu do 2 řady

Zdroj: Autor v sw. Arena

Z výše uvedeného diagramu na obrázku č. 55 lze usuzovat o složitosti řešeného problému, při modelování procesu je dále nutno uvažovat se současnými vjezdy a odjezdy, kdy dochází ke vzniku více paralelních procesů.

4.5 Technologické časy

Jednotlivé technologické časy použité pro modelování situace jsou uvedeny v tabulce č. 7. Modelované časy odpovídají reálným časům s přihlédnutím ke zjednodušujícím předpokladům modelu v kapitole 4.8.2. Proces tvorby simulačního modelu je vysvětlen v kapitole 4.8.3.

Dle předpokladu (kapitola 4.8.2) jsou technologické časy uvažovány jako neměnní konstanty. Ve skutečnosti se drobně liší podle jednotlivých měření a váhy vozidla. Měření si nechala firma MF v roce 2010 provést specializovanou firmou pro zatížení 600 kg (prázdná paleta), 1900 kg a 3800 kg.

Tab. 7 Technologické časy

Pohyb	Doba trvání [s]
1. Otevření vnějších vrat	8,0
2. Zavření vnějších vrat	8,0
3. Otevření bočních vrat	8,0
4. Zavření bočních vrat	8,0
5. Manipulace dopravníkem č. 1	13,0
6. Otočení točny o 90°	9,0
7. Přesun výtahu o 1 patro	10,6
8. Manipulace dopravníkem č. 2	14,0
9. Manipulace dopravníkem č. 3, 4, 5	8,0
10. Malé posunutí výtahu	3,0
11. Zaparkování, vyparkování	90,0
12. Přesuvna č. 1, 2, 3 o jedno místo	4,8

Zdroj: Interní informace MF

4.6 Typový výpočet příjezdu a odjezdu

Pro výpočet z hlediska systému jsou definovány dva parametry: produktivní a neproduktivní čas. Produktivní a neproduktivní čas je nahlížen z roviny systému. Z hlediska klienta je zavedena doba čekání zákazníka.

Produktivní čas je tvořen od doby zadání požadavku do doby předání vozidla na skladovací místo nebo vyjetí z VV místa a zavření dveří. Neproduktivní čas spočívá v návratu MP do původní polohy po uspokojení daného požadavku.

V této podkapitole je zpracován typový příjem a výdej vozidla z automatického parkovacího systému. Požadavky jsou zpracovány pro parkovací místo 1.1.5 (obrázek č. 62).

Jednotlivé procesy jsou rozděleny na podprocesy (fáze), které souvisí s produktivitou a paralelními operacemi.

Výpočet je rozdělen na 4 fáze. V první fázi je interakce uživatele se systémem, kdy nedochází k pohybu MP. Fáze dvě je tvořena vlastním pohybem MP a usazením obsazené palety na vybrané místo. Poslední dva procesy jsou variabilní pro libovolné pozice na patře v první řadě. Fáze č. 3 probíhá zároveň s fází č. 2 a č. 4 a je tvořena návratem MP do původní polohy. Poslední fáze se skládá z manipulace s prázdnou paletou na místo v blízkosti výtahu a návratu přesuvny do původní polohy.

První dvě fáze jsou vyznačeny tučně, protože se jedná o produktivní čas systému. Třetí fáze tvoří neproduktivní čas (tento čas může být nulový). Poslední fázi autor nezapočítává, protože může probíhat na jednotlivých patrech paralelně a neovlivňuje kapacitu systému.

V tabulce č. 8 je spočten typový případ příjezdu a zaparkování na pozici 1.1.5 (obrázek č. 62 vlevo).

Tab. 8 Typový výpočet příjezdu vozidla na pozici 1.1.5

	Pohyb	Doba trvání [s]	Souběžný pohyb	Doba trvání [s]	
Fáze č. 1	1.	8,0			
	11.	90,0			
	2.	8,0			
Fáze č. 2	3.	8,0			
	5.	13,0			
	6.	9,0			
	7.	10,6			
	8.	14,0			
	10.	3,0			
	8.	14,0			
	12.	4,8	7.	10,6	Fáze č. 3
	9.	8,0	6.	9,0	
Fáze č. 4	12.	4,8	5.	13,0	
	9.	8,0	4.	8,0	
	12. + 12.	9,6			
	9.	8,0			
	12.	4,8			

Zdroj: Autor

Jednotlivé značení pohybů odpovídá tabulce č. 7 Technologické časy. K souběžnému pohybu dochází například v případě, kdy je předána paleta s vozidlem z výtahu na přesuvnu. Souběžně se přesunuje mezi patry výtah a přesuvna mezi jednotlivými místy.

Produktivní čas je dlouhý 190,4 s a neproduktivní čas 27,8 s, protože je započten pouze čas, který přesahuje produktivní čas.

Typový výjezd z pozice 1.1.5 je v tabulce č. 9. Výjezd je rozdělen na tři fáze. Z toho produktivní fáze jsou fáze č. 1 a č. 3 a fáze č. 2 je paralelní fází. V první fázi je ohraničena od doby podání požadavku až po dobu předání vozidla do VV prostoru a návratu dopravníku do prostoru s točnou. Fáze č. 3 spočívá v otvírání a zavírání dveří a předání vozidla zákazníkovi. Během fáze č. 3 může být souběžně připravováno další vozidlo k výdeji.

Tab. 9 Typový výpočet odjezdu vozidla z pozice 1.1.5

	Pohyb	Doba trvání [s]	Souběžný pohyb	Doba trvání [s]	
Fáze č. 1	3.	8,0	12., (10.)	4,8 (3,0)	Fáze č. 2
	5.	13,0	9.	8,0	
	6.	9,0	12.	4,8	
	7.	10,6			
	8.	14,0			
	10.	3,0			
	8.	14,0			
	7.	10,6			
	6.	9,0			
	5.	13,0			
5.	13,0				
Fáze č. 3	4.	8,0			
	1.	8,0			
	11.	90,0			
	2.	8,0			

Délka produktivního času tvoří 231,2 s a délka neproduktivního času je 0 s (v případě otočení automobilu do druhého směru je tato fáze stejně dlouhá, protože točna se může otáčet na obě strany).

Při výpočtu příjezdu a odjezdu z druhé řady je nutno počítat s variabilní složkou, která je tvořena nutným přesouváním palet na jednotlivých patrech.

4.7 Zpracování statistických dat

Firma MONTIFER s. r. o. na požádání nasbírala data mezi 9. 3. 2015 a 31. 3 2015. Data byla předána celkem v 15 textových souborech. Data byla sbírána po zapnutí každý den prostřednictvím vzdáleného přístupu do řešeného parkovacího systému. Vzhledem k provozním důvodům firmy MF nebyla data sbírána o víkendech a v některé pracovní dny. Vzhledem k uvedeným problémům nemohou být data konzistentní a nelze sledovat přesný pohyb jednotlivých vozidel. Identifikace jednotlivých vozidel byla sledována pomocí číselného označení zákazníků. Čísla těchto zákazníků byla pro potřeby diplomové práce pozměněna z hlediska ochrany osobních údajů.

K prvnímu zpracování dat byl zvolen program MS Excel. V první fázi byla data importovaná autorem do programu a zformátována do vhodné podoby. Nejprve autor přistoupil k filtraci dat podle data a času. V první fázi byla odstraněna data vztahující k jiným měsícům a rokům (tato data se objevila nejspíše smícháním dat v automatu s některými z archivu firmy MF). V poslední fázi byly odstraněny odjezdy a příjezdy z dat tak, aby existovaly vždy pevné páry mezi odjezdem a příjezdem. Tvorba jednotlivých páru je nutná z hlediska simulace. Odstraněna byla vždy první nekorektní informace. Například pokud po sobě následoval odjezd, odjezd, odjezd, příjezd, tak byly odstraněny dva první odjezdy.

K poslední filtraci bylo přistoupeno, protože v datové matici existovaly zjevné chyby v systému, kdy došlo k dvaceti odjezdům stejného vozidla během 30 minut a k žádnému příjezdu vozidla. Veškeré níže uvedené tabulky a grafy jsou uvedeny po filtraci dat.

Hlavička datové matice a první záznam je uveden v tabulce č. 10. V prvním sloupci jsou 3 možnosti operací: příjem, výdej a nevím. Operace nevím se neobjevila ve vyfiltrovaném datovém souboru, proto s ní není uvažováno. Situace nevím byla vyfiltrována při odstraňování dat z jiných měsíců. Tato možnost je spojena s chybou v systému.

Tab. 10 Hlavička datové matice

Operace	Zákazník	Den	Měsíc	Rok	Čas	Den v týdnu
Přijem	5	9.	3.	2015	8:21:11	Pondělí

Zdroj: Interní informace MF

V tabulce č. 11 jsou uvedeny základní údaje o velikosti statistického vzorku s rozdělením na příjem a výdej.

Tab. 11 Souhrn operací podle druhu operace

		Počet operací [-]	Počet sledovaných dnů [-]	Průměr [-]
Počet operací	Příjem	296	15	19,7
	Výdej	312	15	20,8
	Celkem	608	15	40,5

Zdroj: Autor na základě interních informací firmy MF

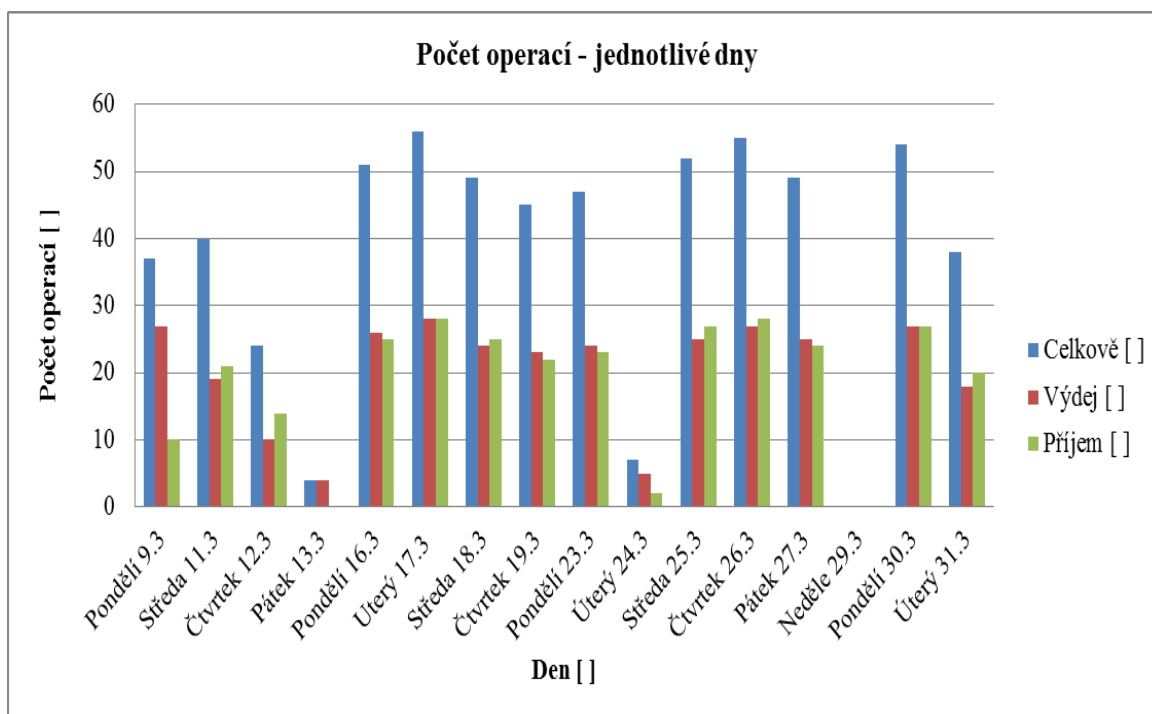
Tabulka č. 12 rozděluje operace na jednotlivé dny a uvádí průměrný počet operací za jeden den. Rozdíl mezi počtem příjmů a výdejmů je spojen s počátečním a konečným rozložením vozidel v parkovacím systému. Z tabulky plyne, že nejvytíženějšími dny jsou pondělí a středa. Zároveň pondělí má největší velikost statistického vzorku dat.

Tab. 12 Souhrn operací pro jednotlivé dny

		Počet operací [-]	Počet sledovaných dnů [-]	Průměr [-]
Dny	Pondělí	189	4	47,3
	Úterý	101	3	33,7
	Středa	141	3	47,0
	Čtvrtek	124	3	41,3
	Pátek	53	2	26,5
	Neděle	0	1	0,0

Zdroj: Autor na základě interních informací firmy MF

Četnosti jednotlivých operací lze zkoumat také s důrazem na jednotlivé kalendářní dny. Tyto údaje jsou zobrazeny na obrázku č. 56.



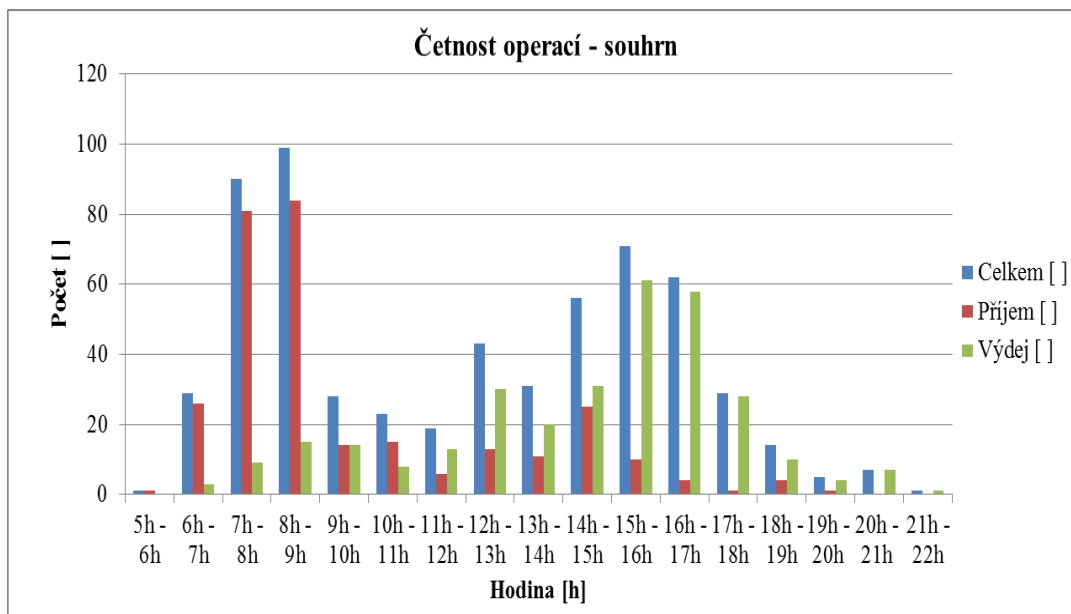
Obr. 56 Počet operací – jednotlivé dny

Zdroj: Autor

Z obrázku č. 58 plyne, že údaje mezi pondělím 9. 3. a pondělím 16. 3. jsou rozdílné od ostatních dat, nejspíše z důvodu chyby při sčítání dat v systému (také zde bylo autorem nejvíce vyfiltrovaných dat).

Dalším zvláštním výsledkem v datech je úterý 24. 3., kdy je zde oproti ostatním dnům minimální počet pohybů. Autorovi se nepodařilo zjistit, jestli jde o chybu při sčítání nebo o jiný důvod např. podnikové volno. Dále plyne, že pokud jsou vybrána pouze pondělí, tak pouze pondělí 30. 3. má vyrovnaný počet příjmů a výdejů. Z těchto údajů bylo vybráno pondělí 30. 3. jako reprezentativní den pro optimalizaci systému.

Dalším úhlem pohledu na data je rozložení příjezdů a odjezdů vozidel v průběhu jednotlivých hodin během dne. Na obrázku č. 57 jsou zobrazeny souhrnně data za všechny dny v sledovaném období.



Obr. 57 Četnost operací – jednotlivé hodiny

Zdroj: Autor

Většina operací příjem se odehrává v dopoledních hodinách zejména v období mezi 7 h a 9 h ráno. Naopak většina operací výdej se odehrává mezi 14 h a 19 h odpolední. Ranní špička je situována v kratším časovém intervalu, kdy dochází k největšímu počtu přesunových operací. Výše uvedené charakteristiky jsou typické pro parkoviště sloužící pro kancelářské účely.

Tyto údaje napovídají, že možnou cestou úpravy kontrolních pravidel je dynamické nastavení DP MP a případně vyzkoušet možnosti LOS v poledních a večerních hodinách.

Datovou základnu lze zkoumat z pohledu jednotlivých zákazníků. Ke zpracování statistických dat a testování hypotéz byl vybrán software Statistica 12.

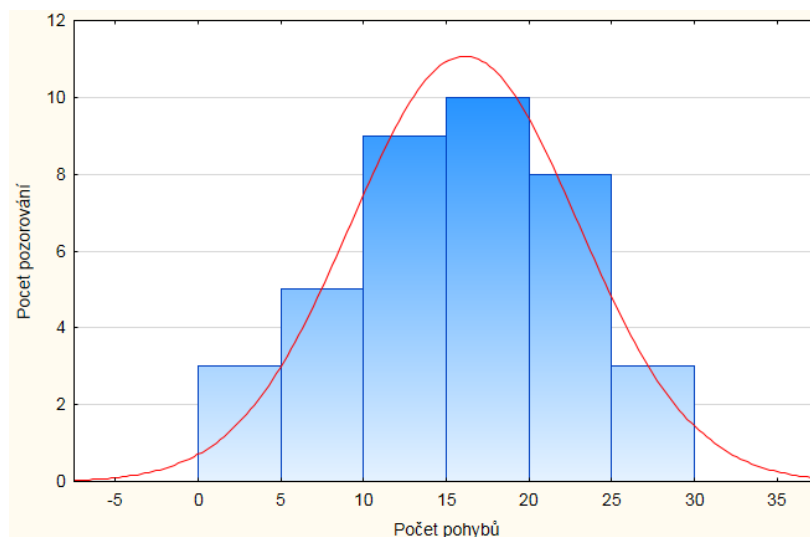
Množství operací pro jednotlivé zákazníky je zpracováno v tabulce č. 13.

Tab. 13 Operace jednotliví zákazníci

Pořadí	Zákazník	Počet operací [-]	Suma [-]	[%]	Pořadí	Zákazník	Počet operací [-]	Suma [-]	[%]
1	22	28	28	4,6	20	3	16	425	69,9
2	72	27	55	9,0	21	4	16	441	72,5
3	82	26	81	13,3	22	18	15	456	75,0
4	71	24	105	17,3	23	23	15	471	77,5
5	77	24	129	21,2	24	88	15	486	79,9
6	8	23	152	25,0	25	12	14	500	82,2
7	73	23	175	28,8	26	24	14	514	84,5
8	21	22	197	32,4	27	14	13	527	86,7
9	90	22	219	36,0	28	7	12	539	88,7
10	74	21	240	39,5	29	10	12	551	90,6
11	84	21	261	42,9	30	15	12	563	92,6
12	11	20	281	46,2	31	25	8	571	93,9
13	20	20	301	49,5	32	96	8	579	95,2
14	83	19	320	52,6	33	17	7	586	96,4
15	85	19	339	55,8	34	16	6	592	97,4
16	5	18	357	58,7	35	89	6	598	98,4
17	13	18	375	61,7	36	6	4	602	99,0
18	75	17	392	64,5	37	40	4	606	99,7
19	87	17	409	67,3	38	33	2	608	100,0

Zdroj: Interní informace

Uvedenou tabulku č. 13 lze vynést do histogramu a testovat na vybraná rozdělení pravděpodobnosti. Histogram je uveden na obrázku č. 58.



Obr. 58 Histogram počtu operací podle zákazníka Zdroj: Autor v programu Statistica 12

Program Statistica 12 rovněž prokládá data teoretickým normálním rozložením. Z grafu lze usuzovat na podobnost s normálním rozdělením. Většina pozorování se drží okolo průměru a směrem k minimu a maximu je čím dál méně pozorovaných dat. Odhad parametrů

normálního rozdělení je proveden prostřednictvím aritmetického průměru (16) a směrodatné odchylky (6,84). Testovací hladina je zvolena pro úroveň alfa 0,05. Prostřednictvím softwaru je proveden Chí – kvadrát test dobré shody. Výsledná úroveň p – hodnoty je 0,81. Jelikož úroveň je vyšší než 0,05, není zamítnuta nulová hypotéza o normalitě. Problémem je malá velikost vzorku dat a z toho plynoucí nízká síla testu zamítnout nulovou hypotézu. Autor doporučuje tento závěr pro rozsáhlejší simulace ověřit na větším vzorku dat.

Vzhledem k rozložení počtu operací pro jednotlivé zákazníky se varianta skladovat vozidla podle indexu vztaheného k zákazníkovi nepřipadá jako výhodná. Ověření nebo vyvrácení autorovy hypotézy se nachází v kapitole 4.9.

K prověření různých scénářů optimalizace bylo vybráno pondělí 30. 3. Z předchozích dnů se nacházely v systému 4 vozidla a na konci zde zůstala také 4 vozidla.

Ganttův diagram

Na obrázku č. 59 je zobrazen výsek z Ganttova diagramu pro pondělí 30. 3. 2015.

		6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00
3									
4									
5									
7									
8									
10									
11									
12									
13									
14									
18									
20									

Obr. 59 Výsek z Ganttova diagramu obsazenosti parkoviště

Zdroj: Autor na podkladě dat

Osa y označuje zákazníky a osa x obsazenost v časové periodě. V celkovém provedení zahrnuje 30 uživatelů a období mezi 6 h ranní a 21 h večerní, protože v období před a potom nebyly zachyceny další pohyby. Z Ganttova diagramu vychází, že maximální počet současně uskladněných vozidel je 27. Počet míst v první řadě je 26, pokud je vynecháno v každém patře místo pro uskladnění prázdné palety. V příloze B je zobrazen celý Ganttův diagram.

4.8 Optimalizace parkovacího systému

Kapitola je věnována možnostem optimalizace, tvorbě modelu a provedení 24hodinové simulaci provozu v automatickém parkovacím domu.

4.8.1 Velikost prostoru pro optimalizaci

Prostor pro optimalizaci existuje mezi dvěma extrémy. Prvním je neustálé skladování na první místo (místo s nejnižším časovým ohodnocením) a druhým extrémem je časově nejvzdálenější místo. Čas vždy je uvažován od přiložení karty při přijetí až po uzavření dveří a tudíž je čas uvažován z hlediska systému. Také nejsou uvažovány paralelní operace.

DP je uvažován pro minimální případ po uskladnění i vyskladnění zůstane MP na místě a pro maximální případ se vrací do původní polohy u vstupu. Zvolené parkovací místo je 1.1.3 a 3.2.10 (viz. kapitola 4.8.3 obrázek č. 60).

Čas zaparkování pro minimální případ činí 177,6 s a vyparkování je 174,6 s. Celkem 352, 2 s. Denní kapacita tohoto parkoviště činí 245 vozidel. Vypočet je pomocí vzorce č. 38.

$$Denní\ kapacita = \frac{24 \cdot 60 \cdot 60}{čas\ zaparkování + čas\ vyparkování} \quad (38)$$

Kde

<i>denní kapacita ...</i>	[počet vozidel]
<i>čas zaparkování...</i>	[s]
<i>čas vyparkování...</i>	[s]

Naopak pro maximální případ doba pro zaparkování činí 353,3 s (včetně návratu MP prostředků). Doba vyparkování činí 314,6 s a celkem tedy 667,9 s. Denní kapacita tohoto parkoviště je 129 vozidel.

4.8.2 Předpoklady modelu

- MP vykonávají rovnoměrný pohyb,
- model má dynamický charakter,
- příjezdy a odjezdy jsou v souladu se statistickými daty,
- velikost vozidel je omezena velikostí palety (ostatní velikosti nejsou uvažovány, v praxi jsou odmítnuty)
- výška vozidel je omezena maximální přípustnou výškou (ostatní velikosti nejsou uvažovány, v praxi jsou odmítnuty),
- váha vozidel neovlivňuje rychlost pojezdu MP,
- v systému nejsou odlišena místa pro jednotlivá vozidla (s výjimkou DSA),

- technologické časy jsou konstanty,
- v systému nevznikne neočekávaná chyba,
- časová velikost modelu je 24 h,
- zpětná logistika prázdných palet je brána v úvahu,
- vozidla z minulého dne jsou umístěny náhodně,
- další předpoklady jsou uvedeny pro jednotlivé scénáře.

4.8.3 Model a proces modelování

První zvažovanou metodou je analytický výpočet. Analytické výpočty lze vytvořit na základě pravděpodobnosti jednotlivých skladovacích operací a odhadované střední doby délky jednotlivých cyklů. Odhad střední doby cyklu a skladovacích operací lze udělat pouze pro RSA politiku. U dalších kontrolních pravidel není předem známo rozložení pravděpodobnosti přidělení jednotlivých míst. Z tohoto důvodu byla tato metoda zamítnuta autorem.

Jinou metodou je tvorba simulačních modelů. Proces modelování zahrnuje nahrazení zkoumaného systému modelem, který napodobuje chování systému. V tomto případě bude systém modelován jako simulační, počítačový, diskrétní a dynamický model. Problém řešeného modelu zahrnuje činnosti související s pohybujícími vozidly, MP, dvěma a kontrolním systémem. Cílem modelu je posoudit možnosti kontrolních pravidel. Výstupem modelu je produktivní, neproduktivní doba a doba čekání zákazníka. Vstupním podkladem jsou statistické informace z kapitoly 4.7. Validaci modelu autor provedl srovnáním naměřené hodnoty vyparkování s teoretickou hodnotou v kapitole 4.6

K tvorbě modelu bylo zvaženo několik softwarů. V první fázi autor zkoumal možnosti tvorby modelu v simulačních programech určených pro parkovací systémy. Bohužel v době tvorby diplomové práce neexistuje softwarový produkt, který by dokázal porovnávat kontrolní pravidla v rozsahu potřebném pro autora.

Další možností bylo vyzkoušet programy sloužící obecně pro simulaci procesů (případně zaměřené na logistiku) jako FlexSim 7.3, AnyLogic, Arena 14.7 a Simulink. Tvorba modelu reálného parkovacího systému je v těchto velmi časově náročná, protože tyto programy nejsou k tomuto primárně uzpůsobeny. Zejména náročná logika definice parkovacích míst pro různé doby obsazení a vylučující se logika manipulačních prostředků (nutnost vytvořit kategorie paralelních procesů, které simulují nutné doby stání). Dalším

problémem je nutnost tvorby nových modelů pro různá kontrolní pravidla. Vzhledem k tomu, že simulace jednoho parkoviště s jedním kontrolním pravidlem ve výše uvedených programech poskytne pouze partikulární řešení daného problému, jsou tyto metody příliš náročné vzhledem k dosaženým výsledkům.

K tvorbě jednoduchého modelu byl vybrán nástroj MS Excel, kde lze testovat více možností řízení pomocí jednoduché úpravy modelu. Výhodou je poměrně jednoduché časové ohodnocení a iterativní krokování jednotlivých operací. Nevýhodou je nutnost v případě souběžných operací zasahovat do toho časového ohodnocení pro jednotlivé případy. Další nevýhodou je, že výpočet je realizován de facto ručně a to je velmi pracné a zároveň náročné na pozornost vzhledem k možnosti vzniku chyby. Na druhou stranu lze tuto chybu nazpět dohledat.

Na obrázku č. 60 je zobrazen náčrt parkoviště včetně počáteční obsazenosti parkovacích míst na začátku vybraného dne (číslo v závorce udává počet parkovacích míst). Výběr míst je stanoven na základě generátoru náhodných čísel, protože není známo, jak vypadalo řazení vozidel minulý den (vlevo je použité značení pro jednotlivá parkovací místa, a vpravo počáteční přiřazení místa a zákazníka na začátku simulace).

NÁKRES PARKOVIŠTĚ					OBSAZENOST					
1. PATRO (16)		1.1.3	1.2.5	1.2.7	1.2.9					
	1.1.1	Výtah	1.1.5	1.1.7	1.1.9			21		22
	Přesuvna									
		1.1.4	1.1.6	1.1.8	1.1.10					
		1.2.4	1.2.6	1.2.8	1.2.10					
2. PATRO (19)	2.2.1	2.1.3	2.2.5	2.2.7	2.2.9				23	
	2.1.1	Výtah	2.1.5	2.1.7	2.1.9					
	Přesuvna									
	2.1.2	2.1.4	2.1.6	2.1.8	2.1.10					
	2.2.2	2.2.4	2.2.6	2.2.8	2.2.10					
3. PATRO (19)	3.2.1	3.1.3	3.2.5	3.2.7	3.2.9					
	3.1.1	Výtah	3.1.5	3.1.7	3.1.9					
	Přesuvna									
	3.1.2	3.1.4	3.1.6	3.1.8	3.1.10				4	
	3.2.2	3.2.4	3.2.6	3.2.8	3.2.10					

Obr. 60 Model systému v programu MS Excel

Zdroj: Autor

V systému značení míst první číslice znamená patro, druhá číslice znamená řadu a třetí číslice označuje místo (liché číslo – strana u výtahu a sudé číslo – strana naproti výtahu).

Velikost dynamického modelu je omezena na 24 h vzhledem k omezeným možnostem zpracování. Pokud je předpokládáno, že průměrný příjezd je tvořen 25 matematickými operacemi a průměrný odjezd je tvořen 22 matematickými operacemi, je nutno vykonat celkem **11 421 matematických operací** (27 příjezdů a odjezdů, 9 scénářů). Pro zjednodušení jsou autorem vytvářeny fáze (kapitola 4.6) a typové příjezdy jako na obrázku č. 61 a typové odjezdy.

VÝPOČET				
	177,6	198,4	203,2	208
190,4		190,4	195,2	200
	185,6	190,4	195,2	200
	193,6	198,4	203,2	208
209	188,2	209	213,8	218,6
201		201	205,8	210,6
201	196,2	201	205,8	210,6
209	204,2	209	213,8	218,6
219,6	198,8	219,6	224,4	229,2
211,6		211,6	216,4	221,2
211,6	206,8	211,6	216,4	221,2
219,6	214,8	219,6	224,4	229,2

Obr. 61 Typové příjezdy MS Excel

Zdroj: Autor

Jednotlivé typové příjezdy a odjezdy jsou upravovány vzhledem ke vzniklé situaci a k zvolenému scénáři. Čísla na obrázku č. 63 udávají čas pro typové zaparkování v sekundách pro jednotlivá místa. Čísla pro druhou řadu nezahrnují čas přesunu z první řady, protože tyto časy závisí na vzniklé situaci (v simulaci jsou ručně přepočteny a upraveny).

4.8.4 Simulační scénáře

K simulaci bylo vybráno celkem 9 scénářů na otestování. Vstupními parametry jednotlivých scénářů je počáteční rozřazení vozidel v parkovacím systému, technologické časy, příjezdy a odjezdy ve zkoumaný den. Výstupními parametry jsou produktivní, neproduktivní doba (hledisko systému) a doba čekání zákazníka (hlediska zákazníka).

Scénář číslo 1: náhodné řazení, pouze jedna akce

Řazení palet je v prvním scénáři řízeno pomocí politiky RSA, počáteční rozřazení je jako na obrázku č. 60, DP pravidla jsou nastavena pro MP vždy nejbliže k vjezdu, volné pozice jsou udržovány 1.1.1, 2.1.1, 3.1.1, LOS pravidla nejsou umožněna. Počáteční rozřazení určuje počet, a jak jsou zákazníci z minulých dnů přiřazeni k místům. Náhodná řada 27 čísel (označuje celkem 27 požadavků na zaparkování a jejich přiřazení k místům v systému) je vytvořena pomocí náhodného generátoru čísel. V systému je dovoleno pouze provádět jeden proces zaparkování nebo vyparkování neboli je povolen SC, který musí být ukončen. Dokud není ukončen nelze začít zpracovávat další požadavek. Cílem scénáře je vyzkoušet pravidla RSA.

Scénář číslo 2: náhodné řazení, paralelní činnosti vjezdu

Druhý scénář je stejný jako první scénář s výjimkou povolení současných vjezdů do systémů. V době po uzavření bočních dveří za první vozidlem, lze současně zaparkovat do VV prostoru druhým vozidlem. Cílem scénáře je možnost porovnat scénář č. 1 a č. 2 tzn., o kolik lze zkrátit jednotlivé sledované doby povolením paralelních operací na vjezdu.

Scénář číslo 3: náhodné řazení, paralelní činnosti vjezdu a výjezdu

Třetí scénář je obdobou druhého, kde navíc jsou povoleny současné odjezdy. V době uzavření bočních dveří do VV prostoru lze začít s přípravou dalšího vozidla k vyparkování. Cílem scénáře je možnost porovnat scénář č. 1, č. 2 a č. 3. Scénář zhodnotí, o kolik lze zkrátit sledované doby povolením i paralelních odjezdů. Lze také porovnat, jestli operace na vjezdu nebo výjezdu více zdržují zákazníka a systém.

Scénář číslo 4: CSA, paralelní VV

V tomto scénáři je řazení vozidel uskutečňováno pomocí pravidel CSA. CSA je upravena podle jednotlivých pater a řad. První je obsazováno první patro první řada, poté druhé patro první řada, poté třetí patro první řada, poté první patro druhá řada, poté druhé patro druhá řada a nakonec třetí patro druhá řada. Počáteční rozřazení je jako na obrázku č. 60, DP pravidla jsou umístěny pro MP vždy nejbliže k vjezdu, volné pozice jsou udržovány 1.1.1, 2.1.1, 3.1.1, LOS pravidla nejsou umožněna. Cílem scénáře je zhodnotit rozdíly mezi politikou CSA a RSA.

Scénář číslo 5: CSA, posunutí DP od 11h, paralelní VV

Scénář č. 5 je obdobou scénáře č. 4 se změnou umístění DP od 11 h dopoledne do 24 h. Změna DP pravidel přesuvny je zobrazena na obrázku č. 62. Výtah je v této době umístěn v druhém patře.

OBSAZENOST				
		21		22
X				
			23	
X				
			4	

Obr. 62 Náhled posunutí přesuvny Zdroj: Autor

Cílem scénáře je zhodnotit změnu sledovaných dob, pokud bude změněna DP pozice jednotlivých MP. Lze porovnat se scénářem č. 5.

Scénář číslo 6: Skladování podle indexu, DP posunutí, paralelní VV

Ve scénáři č. 6 je řazení vozidel děláno pomocí pravidel TI indexu. TI index je upraven podle jednotlivých pater a řad jako ve scénáři č. 4. Počáteční rozřazení a přiřazení míst podle TI indexu je na obrázku č. 63, DP pravidla jsou pro MP vždy nejbliže k vjezdu, v době od 11 h do 24 h je DP jako ve scénáři č. 5, volné pozice jsou udržovány 1.1.1, 2.1.1, 3.1.1, LOS pravidla nejsou umožněna.

PŘÍŘAZENÍ MÍST				
	22	7	15	96
		82	77	73
	72	71	8	21
	14	10	25	17
89	90	40		
		11	83	5
84	74	20	85	13
6	16	33		
	75			
		4	23	12
3	87	18	88	24

Obr. 63 Přiřazení míst TI Index

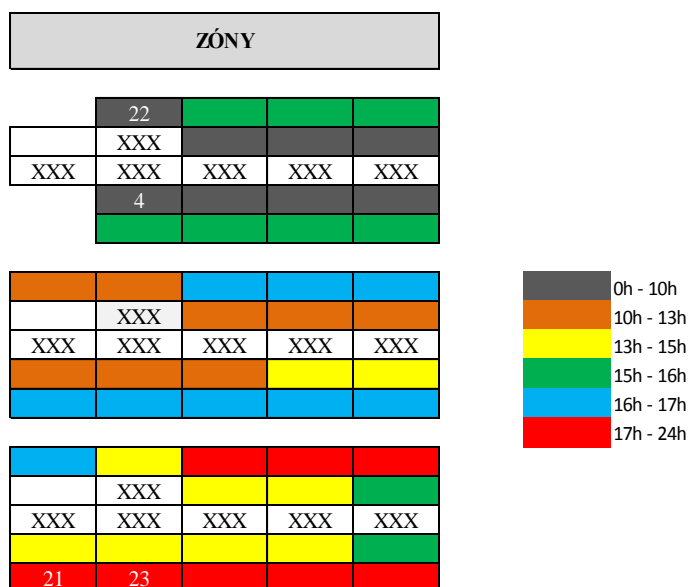
Zdroj: Autor

Cílem scénáře je porovnat řízení automatického parkovacího domu pomocí indexové metody s dalšími metodami.

Scénář číslo 7: Deterministické odjezdy, DP posunutí, paralelní VV

V tomto scénáři je řazení řízeno pomocí metody MTO. Jelikož nelze předvídat, kolik bude ještě dalších odjezdů, je nutné vytvořit zóny (obdoba CBA). Zóny jsou vytvořeny pomocí statistického zpracování (velikosti a umístění podle průměrných příjezdů a odjezdů v celém statistickém vzorku). Vozidla, nejdříve odjíždějící, jsou nejbližší VV prostoru. Skladování uvnitř zón je pomocí pravidel CSA. V modelu je předpokládáno, že v 80 % je čas odjezdů dodržen a zbylých 20 % odjezdů je vytvořeno pomocí náhodného generátoru čísel. DP pravidla jsou pro MP vždy nejbližší k vjezdu, v době od 11 h do 24 h je DP jako ve scénáři č. 5, volné pozice jsou udržovány 1.1.1, 2.1.1, 3.1.1, LOS pravidla nejsou umožněna.

Na obrázku č. 64 je zobrazeno rozvržení zón.



Obr. 64 Rozdělení zón pro scénář č. 7

Zdroj: Autor

Cílem scénáře je porovnat metodu deterministických odjezdů s ostatními metodami.

Scénář číslo 8: CSA, LOS, DP posunutí, paralelní VV

Scénář je obdobou pátého scénáře s výjimkou, že je povolen LOS mezi 11 h a 12 h a mezi 0 h a 4 h ranní. Čas přerovnávání LOS není započten mezi výsledné doby v simulaci. Algoritmus LOS je založen na pravidlu dostaň na první místo první předvídaný odjezd. Poté vozidlo, které původně obsadilo pozici, přesuň na nové místo podle předpokládaného odjezdu a tak pokračuj, dokud nebudou všechna vozidla na místech

odpovídajících předpokládanému odjezdu (podoba s metodou MPU). V případě přijetí jiného požadavku ukončí LOS a pokračuj po uspokojení tohoto požadavku.

Scénář slouží k porovnání hodnot, a jak se změní sledované doby v případě, pokud zde budou aplikována pravidla LOS. Ekonomická efektivita není hodnocena.

Scénář číslo 9: Referenční hodnota algoritmu

Poslední scénář není simulačním scénářem, ale optimalizačním problémem sloužícím ke srovnání s ostatními metodami. Cílem je vozidla, která stráví v systému nejkratší čas, umístit na časově nejbližší pozici I/O místa, aby na tuto pozici v časové periodě mohlo být umístěno, co nejvíce vozidel. Cena místa je oceňována pro časově nejbližší místa nejvyšší částkou a pro vzdálená místa nejnižší částkou. Autor ocenil časově nejbližší místo hodnotou 100 a dále pokračoval s o jedno nižším celým číslem (preferoval místa v první řadě, protože u míst v druhé řadě není známo přesné časové ohodnocení). Vozidla ohodnotil do nestoupající posloupnosti podle času stráveného v systému (opak ocenění parkovacích míst). K řešení problému autor vytvořil algoritmus.

Algoritmus řešení:

1. Přiřaď na místo s nejvyšším oceněním vozidlo s nejnižším stráveným časem v systému.
2. Zkontroluj množinu vozidel, jestli lze přiřadit další vozidlo s o jedno vyšším nejnižším oceněním vzhledem k časovým omezením.
3. Pokud lze přiřadit, tak přiřaď a udělej znovu bod 2 (vždy přiřazené vozidlo vyřaď z množiny vozidel).
4. Bod 3 opakuj do n ($n = \text{počet vozidel}$).
5. Pokud nelze přiřadit, postup na místo s druhým nejvyšším oceněním a pokračuj bodem 2.
6. Bod pět opakuj až do m ($m = \text{počet míst}$) nebo dokud nebude vyčerpána množina vozidel a poté ukonči algoritmus.

Cílem scénáře je získat teoretické hodnoty optimalizační metodou, ke kterým by se ostatní scénáře mohly přibližovat nebo je dokonce vylepšit. Také slouží k odhadu, jak daleko se ostatní scénáře od těchto hodnot odlišují a jaký odhadovaný prostor je nabízen pro optimalizaci.

4.8.5 Výsledky simulace 24 h

V programu MS Excel byla provedena ručním způsobem simulace, kde v jedné tabulce autor sledoval obsazenost parkovacích míst (obrázek č. 60 vpravo) a v další tabulce autor vypočítával jednotlivé odjezdy a příjezdy.

Maximální obsazenost parkovacího systému je v 12:05 h. Tento údaj lze zjistit například z Ganttova diagramu v příloze A. Z hlediska počtu iterací se jedná o 29. krok (scénáře č. 1).

Tato situace je na obrázku č. 65. Z obrázku je patrné rozdílné přiřazení míst vozidlům pro různé scénáře.

SCÉNÁŘ Č. 1, 2, 3				
	74			83
		21	13	22
	11	75	18	71
			5	
14	20		23	
		82	72	
84		77		
7				87
3	73	85		
			8	10
	25	33		
90				5

SCÉNÁŘ Č. 4, 5				
	73			
		21	84	83
	11	13	14	90
	8		23	
		18	75	74
85	87	82	77	10
	7			
		3	25	22
5	72	71	20	33

SCÉNÁŘ Č. 6				
	22	7	15	96
		82	77	73
	72	71	8	21
	14	10	25	17
89	90	40		
		11	83	5
84	74	20	85	13
6	16	33		
	75			
		4	23	12
3	87	18	88	24

SCÉNÁŘ Č. 7				
		85	25	
	XXX	96		
XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
	90	74	5	
	84	14	72	20
	XXX			
XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
	7		33	
18	73	82		71
	83	8	75	10
	XXX			11
XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
				13
21	23	87	77	3

SCÉNÁŘ Č. 8				
	22	33		
		23	7	85
	83	21	14	11
	84			
		25	10	87
13	5	73	72	71
	18			
		75	74	8
77	82	90	3	20

SCÉNÁŘ Č. 9				
	96,33,12			
		84	83	85
	22,7	5	25	74
	23			
	90			
		11	71	18
72	4, 20	82	3	13
	14			
		87	22 (2)	10
75	77	73	8	21

Obr. 65 Stav systému ve 12:05 pro jednotlivé simulační scénáře

Zdroj: Autor

Na obrázku č. 65 je vidět průběh jedné iterace simulace a zároveň kolik vozidel je skladováno pro jednotlivé kontrolní politiky v druhé řadě (čísla buněk označují vozidla jednotlivých uživatelů). Nejvíce vozidel je skladováno ve scénáři č. 7 v druhé řadě.

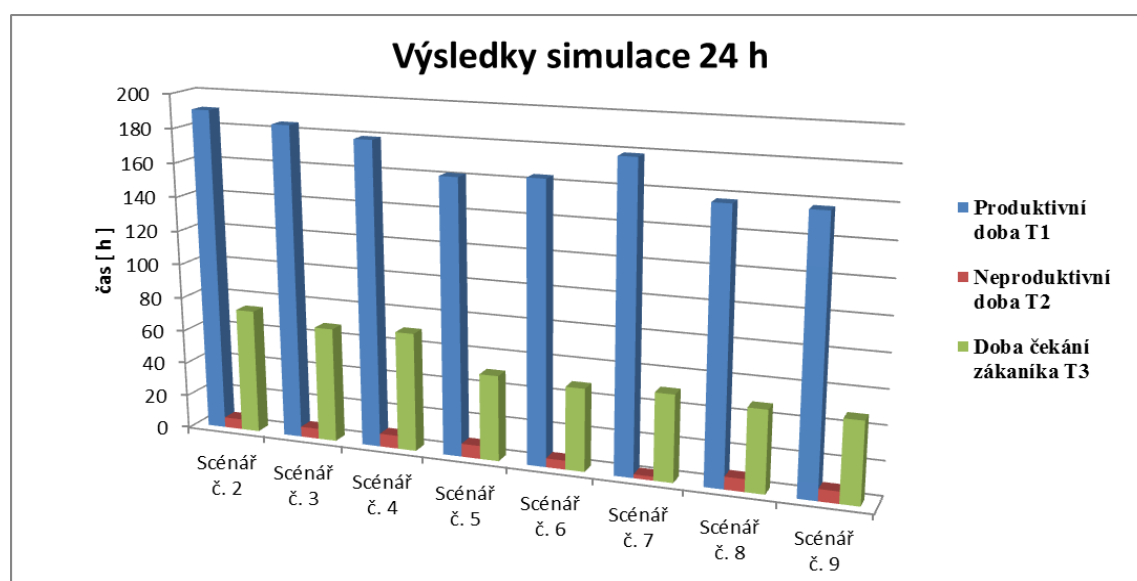
V tabulce č. 14 jsou výsledky jednotlivé simulace s přihlédnutím k rozdělení na jednotlivé doby. Doba čekání je definována dobou, kterou zákazník je nucen strávit od doby přiložení identifikační kartičky do doby zavření vnějších dveří nebo odjetí vozidla a zavření dveří.

Tab. 14 Výsledky simulace 24 h

	Produktivní doba T_1 [min]	Neproduktivní doba T_2 [min]	Doba čekání zákazníka T_3 [min]
Scénář č. 1	204,96	6,02	115,41
Scénář č. 2	190,46	6,02	73,58
Scénář č. 3	184,57	6,02	67,70
Scénář č. 4	179,09	7,76	69,88
Scénář č. 5	161,49	7,76	50,30
Scénář č. 6	163,86	5,26	48,45
Scénář č. 7	178,63	2,28	50,73
Scénář č. 8	157,34	7,41	47,97
Scénář č. 9	157,26	7,02	47,72

Zdroj: Autor

Pro přehlednost jsou tyto výsledky také prezentovány ve formě sloupcového grafu na obrázku č. 66.



Obr. 66 Výsledky simulace 24 h

Zdroj: Autor

V simulaci existují dvě referenční hodnoty a těmi jsou scénář č. 1 a č. 9. V prvním scénáři nejsou povoleny paralelní operace. Lze porovnat tento scénář s třetím scénářem, kde jsou povoleny paralelní operace, a rozdíl produktivní doby činí 20,39 min. Nejdůležitější položkou je snížení doby čekání o 47,71 min. Povolením paralelních akcí na příjezdu lze ušetřit více času než na výjezdu. I přes tento fakt je náhodné řazení nejhorším způsobem řízení parkoviště z testovaných scénářů z hlediska produktivní doby i z hlediska čekání zákazníků.

Politika CSA je testována ve scénářích č. 4 a 5. Z hlediska stávajícího řízení parkoviště lze tuto politiku řízení hodnotit kladně. **Posunutím DP od 11 h dopoledne lze jednoduše snížit produktivní dobu o 17,60 min a hlavně dobu čekání zákazníka o 19,58 min. Toto jednoduché řešení autor doporučuje zavést pro vybrané parkoviště.**

Pro vybraný den simulace dopadla velmi kladně možnost skladovat podle TI indexu. Z hlediska produktivního času je o 2,37 min horší než pravidla CSA, ale z hlediska doby čekání zákazníka je o 1,80 min výhodnější. Autor tento závěr doporučuje přezkoumat rozsáhlejší simulací. Z hlediska rozvržení dat si tyto závěry spolu odporují. Z výběru metod autor preferuje metodu CSA před TI indexem.

Scénář č. 7 je simulací možnosti, kdy si cestující budou zadávat předpokládané odjezdy. Produktivní doba tohoto scénáře je poměrně vysoká, ale naopak doba čekání zákazníka dopadla dobře v porovnání s ostatními scénáři. Jedním z důvodů je, že 20 % náhodných odjezdů se posunulo mimo špičku a tím nedochází k čekání více zákazníků najednou. Efektivitu tohoto scénáře je možné vylepšit lepším uspořádáním zón.

Simulací pravidel LOS v kombinaci s politikou CSA se zabývá scénář č. 8. Tento scénář se nejvíce přibližuje referenční hodnotě ve scénáři 9. Vzhledem k možnostem úspory času je otázkou jestli se z ekonomického hlediska toto přerovnání vyplatí. Další nevýhodou je zdržení v případě příchodu požadavku v době, kdy probíhá přerovnávání (doba přerovnávání okolo 25 min dle zvoleného algoritmu). **Z hlediska technologického lze tento scénář doporučit jako nejúspěšnější.** Kvalitu řešení lze zvýšit také lepším algoritmem, který slouží k přerovnání palet.

ZÁVĚR

Druhy parkovacích systémů lze rozdělit podle mnoha hledisek. Nejčastější rozdělení je podle míry automatizace systému na mechanizovaná a plně automatická. Autor jednotlivé druhy parkovacích systémů označoval a toto značkování lze využít pro multikriteriální analýzu jako pomocným nástroji při rozhodování.

Kontrolní pravidla je vhodné rozdělit na pravidla spojená s přiřazením místa, umístěním MP, tvorby cest MP, vytvářením skupin požadavků a s možnostmi přerovnání položek. Z hlediska automatických parkovacích systémů jsou nejdůležitější pravidla přiřazení místa a umístění MP. Výběr vhodných metod nezáleží tolik na druhu systému, ale na velikosti systému.

Umístění MP je vhodné optimalizovat podle dvou hledisek. Zaprvé fyzické umístění v systému vzhledem k prostorovým proporcím. Dalším hlediskem jsou převládající operace vzhledem k časové periodě. Ze simulace plyne, že je výhodné dynamicky měnit polohu MP podle převládajících operací. Toto lze obzvláště doporučit pro parkovací systémy, kde lze vysledovat výraznou převahu operací pro jednotlivé periody dne (kancelářské domy, firmy se směnným provozem, obytné domy v případě podobných pracovních dob obyvatel). V parkovacích systémech, kde není výrazná převaha jednotlivých operací, je vhodné se zaměřit na fyzické umístění vzhledem k prostorovým proporcím. DP pravidla lze také optimalizovat podle zadání uživatele, například pokud rychlé zaparkování nebo vyparkování je upřednostňováno.

Přiřazení místa tvoří další velkou podmnožinu metod. Z hlediska použití metody rozdělit na náhodné metody, metody s pevným přiřazením místa, kombinace těchto metod, metody spolupracující s ostatními systémy, korelační metody, metody zpracovávající statistické informace a optimalizační metody. Z porovnání vyplynulo, že nejvhodnějšími metodami pro řízení nekonvenčních parkovacích systémů jsou CSA, PI, INM, MPU, MDO a MSO.

Vzhledem k automatickým parkovacím systémům jsou nevhodné korelační metody (výjimkou mohou být specifické systémy, kdy pravidelně pohromadě vyjíždí více vozidel). Metodu RSA lze použít pro svou jednoduchost v malých systémech. Metoda CSA je nejčastěji používanou metodou pro svoji účinnost a jednoduchost. V případě, kdy lze spolupracovat s jiným systémem a odjezd určit deterministicky, je metoda

MSO vhodná. Obecně nelze preferovat jedinou metodu. Ve velmi malých systémech je metoda skladování určena fyzickými možnostmi tohoto systému, případně ovládním člověka (mechanizované parkovací systémy, systémy typu páternoster). U malých, sériových a systémech závislého parkování je metoda CSA nejvhodnější metodou.

Výběr vhodné metody pro systémy střední a větší velikosti závisí nejvíce na rozložení příjezdů a odjezdů jednotlivých uživatelů. Pokud počty příjezdů jednotlivých uživatelů jsou velmi rozdílné, je vhodné tato vozidla skladovat podle TI indexu. Ze simulace vyplynulo, že tato strategie je vhodná, i když uživatelé nemají rozdílné počty příjezdů.

Simulace potvrdila, že je vhodné mezi kontrolní pravidla zařadit pravidla DP a případně i pravidla LOS. **Za nejvhodnější scénář lze označit kombinaci pravidla CSA, DP a LOS pro parkovací systémy střední velikosti – autorem řešený systém (preferována je v případě podobného počtu operací pro jednotlivé zákazníky).** Další vhodnou metodou je skladování podle **TI indexu** (preferována v případě rozdílného počtu operací pro jednotlivé zákazníky). Pro řešený systém vyplynulo, že počet parkovacích míst je pro vybraný parkovací systém předdimenzovaný, nicméně rezerva je zřejmě vhodná s ohledem na možné změny ve využití budovy (zejména větší počet zaměstnanců). Z toho také plyne, že není při současné intenzitě parkoviště výhodné využívat místa v druhé řadě a ponechat je jako rezervu.

Optimalizační metody lze využít pro potřeby zpracování větších statistických souborů a na základě těchto závěrů přiřazovat místa. Tyto metody lze doporučit pro velké a velmi velké systémy. Optimalizační metody se nejlépe uplatňují, pokud během časové periody je více pohybů a jsou rozdílné pro jednotlivé zákazníky. Například ze systémového hlediska pokud existuje pouze 1 příjezd pro každé vozidlo a všechna vozidla jsou umístěna na časově nejbližší místa tak nezáleží na jejich uspořádání (pokud nedochází k paralelním operacím). Puzzle systémy mají odlišné algoritmy řízení (dělané na míru systému), které souvisí s počtem volných míst a prostorovým řešením.

Metoda CSP je vhodná pokud je modelována situace, kde předpokládáme možnost odmítnutí požadavku zákazníka. V případě menších a středních parkovacích systémů se s možností úplného vyčerpání míst nepočítá. Metody DSA, s výjimkou metod skladování podle indexu jsou vhodné pro placená stání, kdy zákazník preferuje si připlatit za místo

s kratší dobou vyskladnění. Metody CBA jsou vhodné pro velmi velké systémy, kdy je snahou zjednodušit řešený problém vzhledem k početní náročnosti.

Výhodnost metody MDO je založena na předpokladu vhodného umístění jednotlivých parkovacích zón. Pokud tyto zóny nejsou vhodně umístěny, tak nevykazuje příznivé výsledky jako v autorově simulaci. Použití metody MPU se jeví jako vhodné pro střední parkovací domy, ale záleží na kvalitě a rozsahu statistického souboru. **Tímto porovnáním, tvorbou doporučení a návrhem řešení pro vybraný systém je dosaženo vytyčeného cíle diplomové práce.** Výše navržené doporučení autor doporučuje vždy otestovat v simulačním programu s nastavením přesných konkrétních parametrů pro realizovaný projekt.

Pro další výzkum v této oblasti autor doporučuje věnovat se tématu vytvoření simulačního softwaru pro jednotlivá pravidla a systémy, zkoumat možnosti metod neuronových sítí pro zpracování statistických informací, ekonomickou efektivitu pravidel LOS a zkoumat příjezdy a odjezdy jednotlivých vozidel pro typová parkoviště, které by sloužily jako odhad pro nově budované parkovací systémy.

Dalšími tématy vhodnými pro další bádání je možnost kombinace jednotlivých kontrolních pravidel, umístění zón v případě deterministických odjezdů a zkoumat možnosti korelačních metod pro specifické parkovací systémy (například firmy, kde není pevně přiřazena dvojice vozidlo – řidič).

SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- (1) ROODBERGEN, K., J a VIS, I. F. A. A survey of literature on automated storage and retrieval systems. [online]. European Journal of Operational Research, 2009, Dostupné z: www.sciencedirect.com , cit. [2014-12-27]
- (2) BERAN M., Optimalizace provozních režimů zážehového motoru. [online]. Brno. 2008. [2014-12-27]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=8398, Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- (3) BENYOUCEF L, et al. Applications of Multi – Criteria and Game Theory Approaches. Manufacturing and Logistics. London, New York. 2014. ISBN 978-1-4471-5294-1.
- (4) Park, Y.H., Webster, D.B., 1989a. Modelling of three-dimensional warehouse systems. International Journal of Production Research 27 (6), 985–1003.
- (5) RUIJTER H., Design of an efficient tool for slotting the manual picking area at Wolters-Noordhoff. [online]. Twente. 2007. [2014-12-27]. Dostupné z: http://essay.utwente.nl/58067/1/scriptie_H_de_Ruijter.pdf, Masters thesis. University of twente.
- (6) MANZINI R., Warehousing in the Global Supply Chain. Advanced Models, Tools and Applications for Storage Systems. London, New York. 2012. ISBN 978-1-4471-2273-9.
- (7) Kulíšková K. Návrh optimální lokalizace zboží ve skladu [online]. Přerov. 2011. [2014-12-27]. Dostupné z: http://theses.cz/id/jrs0tn/Diplomova_prace_-_Kuliskova.pdf, Diplomová práce. Vysoká škola logistiky o. p. s.
- (8) BERG, J., P., V., D., a GADEMANN, A., J., R., M., Simulation study of an automated storage/retrieval system. [online]. 2000, Dostupné z: www.sciencedirect.com, cit. [2014-12-27]
- (9) ZHU Y., R., RECENT ADVANCES AND CHALLENGES IN QUADRATIC ASSIGNMENT AND RELATED PROBLEMS. [online]. Pennsylvania. 2007. [2014-12-27]. Dostupné z: http://www.seas.upenn.edu/~hahn/Dissertation_yrz.pdf, University of Pennsylvania
- (10) GAMBARDELLA, L., M., a TAILLARD, É., D., Ant Colonies for the Quadratic Assignment Problem. [online]. Dostupné z: <http://people.idsia.ch/~luca/tr-idsia-4-97.pdf>, cit. [2014-12-27]
- (11) BARTHOLDI, a HACKMAN, Design of fast pick area. [online]. Dostupné z: <https://www.google.cz/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=order+picking+policies:+pick+sequencing%2C+batching+and+zoning>
- (12) HU, Y., a HSU, W., J., a XU, X. Efficient Algorithms for Load Shuffling in Split-Platform AS/RS. [online]. Dostupné z: <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/3856/CS00?sequence=2>, cit. [2014-12-27]
- (13) *Víme jak parkovat.* Parkovací systémy. [online]. Dostupné z: <http://www.krenotech.cz/parkovacisystemy/produkty/plosiny/qvpp/qvpp.php>. cit. [2014-10-20], 2013

- (14) *Víme jak parkovat*. Parkovací systémy. [online]. Dostupné z: <http://www.krenotech.cz/parkovacisystemy/produkty/plosiny/qvpp/qvpp_foto.php>. cit. [2014-10-20], 2013
- (15) *Víme jak parkovat*. Parkovací systémy. [online]. Dostupné z: <http://www.krenotech.cz/parkovacisystemy/produkty/plosiny/lvpp/lvpp_foto.php>. cit. [2014-10-20], 2013
- (16) *Víme jak parkovat*. Parkovací systémy. [online]. Dostupné z: <<http://www.krenotech.cz/parkovacisystemy/produkty/plosiny/lvpp/lvpp.php>>. cit. [2014-10-20], 2013
- (17) *Víme jak parkovat*. Parkovací systémy. [online]. Dostupné z: <<http://www.krenotech.cz/parkovacisystemy/produkty/dp/dp.php>>. cit. [2014-10-20], 2013
- (18) *Google*. [online]. Dostupné z: <https://www.google.cz/search?q=Cantilever+Parking+System&es_sm=93&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=ZNpUVKWdEYSzyASa_oHYCA&ved=0CAgQ_AUoAQ&biw=1366&bih=624#facrc=_&imgdii=_&imgrc=_ARn8kuccIuh4M%253A%3BScKXaC74P-DOsM%3Bhttp%253A%252F%252Fi00.i.aliimg.com%252Fimg%252Fpb%252F706%252F868%252F508%252F508868706_019.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.alibaba.com%252Fproduct-detail%252FCheap-Two-Post-Parking-System-Cantilever_633224574.html%3B773%3B599>. cit. [2014-10-20], 2014
- (19) *Tradeindia*. Gretec systems Pvt. Ltd.. [online]. Dostupné z: <<http://www.tradeindia.com/fp736209/Cantilever-Car-Parking-System.html>>. cit. [2014-10-20], 2013
- (20) *QINGDAO SHITAI MAOYUAN TRADING CO*. Be Responsible to Products, Be Responsible to Customers, Be Responsible to Society. [online]. Dostupné z: <<http://www.my-autoparking.com/sell-1008287-on-sale-4-post-4-floors-vertical-parking-car-stack-parking-system-3-5-level-parking-lift.html>>. cit. [2014-10-20], 2014
- (21) *Floor Smart Car Lift Parking System Quad Stacker Parking System 4 Post*. [online]. Dostupné z: <http://toplowridersites.com/floor-smart-car-lift-parking-system-quad-stacker-parking-system-4-post/img.xxjcy.com*nimg*43*28*192654cbde1395dc759b3120f799-0x0-0*2_3_4_floor_smart_car_lift_parking_system_quad_stacker_parking_system_4_post_multi_levels.jpg/www.xxjcy.com*imageshydraulics_for_cars*quality2page9.html/>. cit. [2014-10-20], 2014
- (22) *Automated Robotic Parking*. A professional look at the automated parking industry. [online]. Dostupné z: <<http://www.automatedroboticparking.com/parking-equipment-types/no-post/>>. cit. [2014-10-20], 2014
- (23) *Made in China*. Qingdao Bortome Import & Export Co., Ltd.. [online]. Dostupné z: <<http://qingdaobortome.en.made-in-china.com/product/UXWJCyRjfzhV/China-Four-Post-Parking-Lift-Pit-Type-Parking-System.html>>. cit. [2014-10-20], 2014
- (24) *Made in China*. Qingdao Mutrade Co., Ltd. [online]. Dostupné z: <<http://mutrade.en.made-in-china.com/productimage/KXUmlEDBHfhS->

- 2f1j00NsrabBFPHHbT/China-Pit-Two-Post-Stack-Parking-Lift-System-PTP-2-.html>. cit. [2014-10-20], 2014
- (25) *Boingboing. Parking jalopies in a tall stack.* [online]. Dostupné z: <<http://boingboing.net/2011/10/06/parking-jalopies-in-a-tall-stack.html>>. cit. [2014-10-20], 2014
- (26) *Eczi. Sell rotary parking system.* [online]. Dostupné z: <http://www.ec21.com/offer_detail/Sell_rotary_parking_system--10015739.html>. cit. [2014-10-20], 2014
- (27) *Getechelevators.* [online]. Dostupné z: <<http://getechelevators.com/wp-content/uploads/2013/01/p4.jpg>>. cit. [2014-10-20],
- (28) *Automated Robotic Parking.* A professional look at the automated parking industry. [online]. Dostupné z: <<http://www.automatedroboticparking.com/parking-equipment-types/tower/>>. cit. [2014-10-20], 2014
- (29) *Continuing Education. Robots Update the Parking Garage.* [online]. Dostupné z: <http://continuingeducation.construction.com/article_print.php?L=316&C=942>. cit. [2014-10-20], 2012
- (30) *Automated Robotic Parking.* A professional look at the automated parking industry. [online]. Dostupné z: <<http://www.automatedroboticparking.com/parking-equipment-types/rgc/>>. cit. [2014-10-20], 2014
- (31) *Direct industry.* The Online Industrial Exhibition. [online]. Dostupné z: <<http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/automatic-guided-vehicle-80137.html>>. cit. [2014-10-20], 2014
- (32) *Serva.* Transport system. [online]. Dostupné z: <<http://serva-ts.com/product.2.0.html>>. cit. [2014-10-20], 2014
- (33) *Klaus.* Multiparking. [online]. Dostupné z: <<https://www.multiparking.com/index.php?Shelfsystems>>. cit. [2014-10-20], 2014
- (34) *Automated Robotic Parking.* A professional look at the automated parking industry. [online]. Dostupné z: <<http://www.automatedroboticparking.com/parking-equipment-types/puzzle/>>. cit. [2014-10-20], 2014
- (35) *Jiří Žváček.* Montážní práce. [online]. Dostupné z: <<http://www.regalyzvacek.eu/7073/valeckove-a-spadove-regaly/>>. cit. [2014-10-20], 2014
- (36) *Beaton.* Scissor Lifts. [online]. Dostupné z: <<http://www.beatonindustrial.com/scissor-lifts/>>. cit. [2014-10-20], 2014
- (37) *FATA Automation.* System Types. [online]. Dostupné z: <<http://automatedparkingdeck.com/system-types/shuttle-systems/>>. cit. [2014-10-20], 2012
- (38) *KLAUS multiparking .* Fully automatic parking systems. [online]. Dostupné z: <<https://www.multiparking.com/index.php?KLAUS-Multiparking-Lift-Shuttle-systems>>. cit. [2014-10-20], 2014
- (39) *KLAUS multiparking .* Fully automatic parking systems. [online]. Dostupné z: <<https://www.multiparking.com/index.php?Layer-system-MasterVario-F2-F3>>. cit. [2014-10-20], 2014

- (40) *My Parking Sign*. Blog. [online]. Dostupné z: <http://www.myparkingsign.com/blog/automated-parking-systems-field-guide/>. cit. [2014-10-20], 2014
- (41) *KLAUS multiparking*. Fully automatic parking systems. [online]. Dostupné z: <https://www.multiparking.com/index.php?Tower-System>. cit. [2014-10-20], 2014
- (42) *KOMA Parking*. Automatické parkovací systémy. [online]. Dostupné z: <http://www.komaparking.cz/koma-ring/>. cit. [2014-10-20], 2014
- (43) *Víme jak parkovat*. Parkovací systémy. [online]. Dostupné z: http://www.krenotech.cz/parkovacisystemy/produkty/car_tower/car_tower.php. cit. [2014-10-20], 2013
- (44) *Automated Robotic Parking*. A professional look at the automated parking industry. [online]. Dostupné z: <http://www.automatedroboticparking.com/parking-equipment-types/>. cit. [2014-10-20], 2014
- (45) *MONTIPARK*. Na parkování máme systém. [online]. Dostupné z: <http://montipark.cz/cs/references/usti>. cit. [2015-06-06], 2015

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Přehled vývojového diagramu rozhodovacího procesu

Příloha B: Ganttův diagram obsazenosti parkovacího systému

Přílohy

Příloha B

	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30		
Z á k a z n í k	3																															
	4																															
	5																															
	7																															
	8																															
	10																															
	11																															
	12																															
	13																															
	14																															
	18																															
	20																															
	21																															
	22																															
	23																															
	25																															
	33																															
	71																															
	72																															
	73																															
74																																
75																																
77																																
82																																
83																																
84																																
85																																
87																																
90																																
96																																

Obsazenost v časové periodě